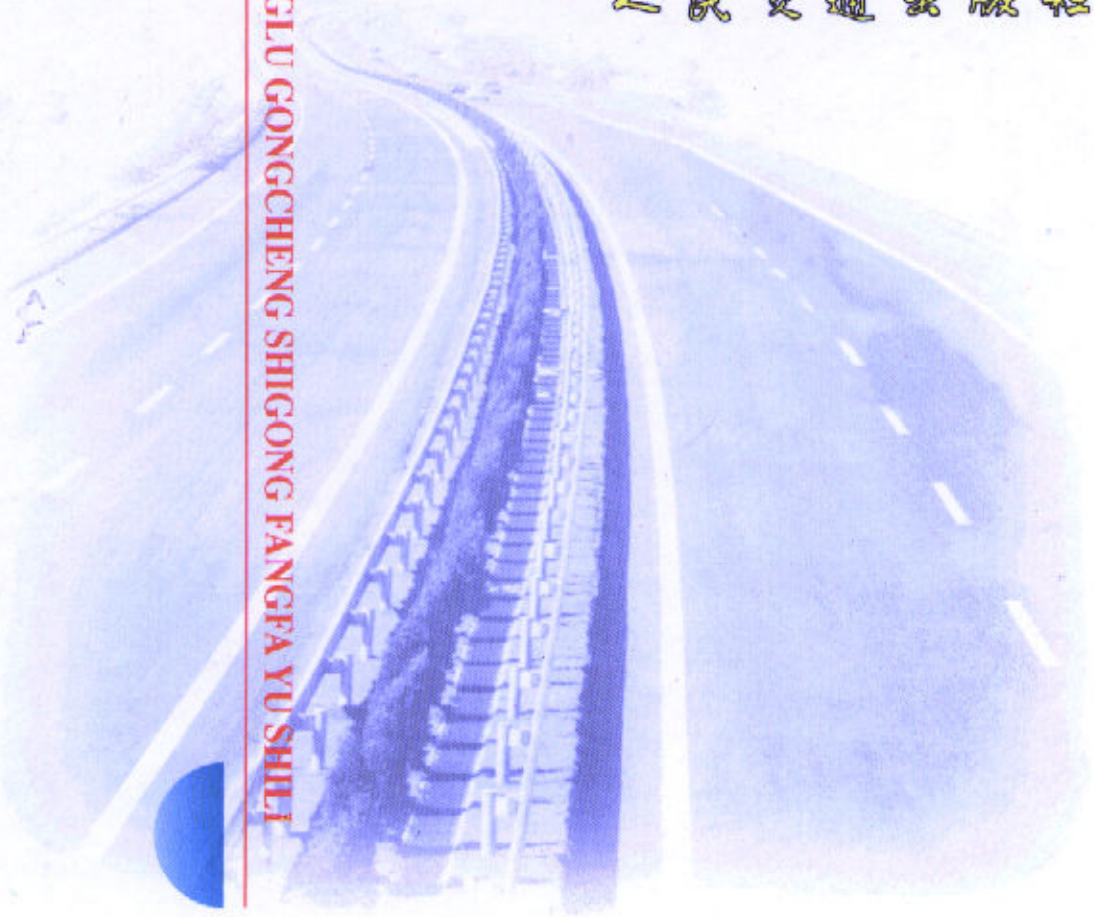
RB

公路工程施工方法与实例

孙大权 主编 / 沈天勇 主审

人民交通出版社

GONGLU GONGCHENG SHIGONG FANGFA YU SHILI



公路工程施工方法实例

孙大权 主编 / 沈天勇 主审

人民交通出版社

20390055

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

出 版 说 明

改革开放以来，我国的公路建设事业突飞猛进，成绩斐然。通过近年来的工程实践，大部分工程技术人员已基本掌握了公路工程施工的常规技术及组织管理方法。广大工程技术人员迫切需要一批反映公路工程关键技术难点，同时辅以工程实例的参考书，供一线工程技术人员解决施工中的具体问题之用。鉴于此，人民交通出版社特约请施工技术水平和组织管理水平均居公路施工行业领先位置的路桥集团公路一局组织编写了《公路一局施工技术丛书》，近期推出《公路与桥涵工程常用施工技术问答》、《公路工程施工方法与实例》、《桥梁施工组织设计与实例》三本，希望该套丛书能为公路工程技术人员解决实际问题提供帮助。

· 《公路与桥涵工程常用施工技术问答》一书集公路一局数位总（副总）工程师四十年实践经验，以问答形式对公路工程中容易出现问题的施工环节中的要点进行了提示和答疑。本书为口袋本，以方便一线技术人员在工地使用。

· 《公路工程施工方法与实例》一书介绍了公路工程的施工方法。施工方法后附公路一局既往承建工程实例，说明具体施工技术及工艺步骤。内容丰富、翔实，具有很强的可参照性。

· 《桥梁施工组织设计与实例》一书介绍了桥梁工程施工组织设计的内容、方法和步骤，并附总体施工组织设计和单位工程施工组织设计的完整案例，实用性强。

路桥集团第一公路工程局（简称公路一局）是我国公路施工行业的大型国有企业，同时是中国建筑施工企业综合实力百强企业。自1963年建局以来，公路一局为我国的公路交通建设事业做出了突出的贡献，多项承建工程荣获国家级和省部级优秀工程奖。

由公路一局主持编写的《公路桥涵施工技术规范》、《公路路基施工

技术规范》、《公路施工手册——桥涵》等交通行业标准和重要的大型工具书为促进公路施工行业整体技术水平的提高做出较大贡献。

本套丛书反映了公路一局总体施工技术及组织管理水平，是公路一局几代工程技术人员智慧的结晶。相信该丛书的出版会受到一线工程技术人员的欢迎。

人民交通出版社

二〇〇二年九月

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

目　　录

第一章　填方路堤施工 …… 1

第一节　填方路堤施工特点和准备 …… 1
一、施工特点 …… 1
二、路堤施工前准备工作 …… 1
三、填方路堤典型断面 …… 2
四、填方路堤一般要求 …… 4
第二节　粉质土路堤施工 …… 7
一、渭潼310线二合同段粉质土路堤填筑 …… 7
二、商开高速公路粉性砂土路堤的压实 …… 11
第三节　填石路堤施工 …… 14
一、黄石互通填石路堤 …… 14
二、临长项目3A合同段填石路堤施工 …… 18
第四节　土、石混合路堤施工 …… 19
一、太旧高速公路十三合同段土石路堤 …… 20
二、杭金衢高速公路岩渣碎石土路堤填筑 …… 24
三、风化红砂岩地区路基施工 …… 28
第五节　石墨矿渣路堤施工 …… 30
一、石墨矿渣的组成及特性 …… 31
二、石墨矿渣的填筑 …… 32
三、运用前景展望 …… 33
第六节　吹填砂和细砂路堤施工 …… 34
一、吹填砂路堤施工 …… 34
二、细砂填筑路堤施工 …… 36
第七节　粉煤灰路堤施工 …… 37
一、一般要求 …… 37
二、粉煤灰路堤填筑施工步骤 …… 38
三、粉煤灰路堤施工实例 …… 40
第八节　过湿土路基施工 …… 42
一、苇田水网区路基施工 …… 42
二、沪宁高速公路A标段过湿土路基施工 …… 49
三、泉厦高速公路过湿土水泥处理概述 …… 54
第九节　桥涵等构造物处的路堤施工 …… 55
一、一般要求 …… 55

二、填土基底的加固处理 …… 56
三、施工实例 …… 56
第十节 路基洞穴、溶洞的处理 …… 61
一、洞穴的处理 …… 61
二、溶洞的处理 …… 64

第二章 挖方路基施工 …… 67

第一节 概述 …… 67
一、施工特点 …… 67
二、横断面组成 …… 67
三、一般要求 …… 68
四、施工准备 …… 69
第二节 挖方土石工程分级 …… 71
一、路基土分类 …… 71
二、土石工程分级 …… 71
第三节 路基的干湿类型 …… 74
一、路基干湿类型的划分 …… 74
二、以路基临界高度判别干湿类型 …… 76
第四节 土方路堑的开挖 …… 81
一、土方路堑开挖的方法 …… 81
二、土方机械作业 …… 82
三、土方机械的类型、性能以及适用范围 …… 86
四、挖方路基其他作业 …… 90
第五节 岩石爆破 …… 94
一、爆破器材 …… 94
二、选用各种爆破方法的基本原则 …… 95
三、综合爆破方法 …… 97
第六节 现场爆破实例 …… 104
一、药壶爆破法 …… 104
二、路堑施工中石方爆破 …… 108
三、预裂爆破 …… 110
四、双连体公路隧道施工实例 …… 113
五、中深孔爆破在杭金衢高速公路中的应用 …… 114

第三章 特殊地区的路基施工 …… 119

第一节 黄土地区路基施工 …… 119
一、工程概况 …… 119
二、黄土的工程特性 …… 119
三、试验段施工 …… 122
四、黄土路基施工特点 …… 122

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

五、施工质量控制 …… 123
第二节 膨胀土路堤施工 …… 124
一、概述 …… 124
二、膨胀土施工的措施和要求 …… 126
三、工程实例 …… 128
第三节 滑坡地段路基施工 …… 131
一、滑坡形态 …… 131
二、滑坡分类 …… 132
三、容易发生滑坡的地带特征 …… 132
四、滑坡整治工程实例 …… 134
第四节 崩塌和岩堆地区路基施工 …… 139
一、崩塌地区路基施工 …… 139
二、岩堆地区路基施工 …… 142
第五节 沙漠地区路基施工 …… 148
一、沙漠地区概述 …… 148
二、风沙对公路的危害 …… 150
三、沙漠地区路基施工 …… 150
四、路基沙害防治措施 …… 153
第六节 盐渍土地区路基施工 …… 163
一、盐渍土分类 …… 163
二、盐渍土的工程性质及路基的主要病害 …… 164
三、盐渍土地区路基施工 …… 165
第七节 沼泽土地区路基施工 …… 169
一、工程概况 …… 169
二、工程特点 …… 170
三、沼泽土地区路基施工 …… 170
四、质量评价 …… 171
第八节 多年冻土地区路基施工 …… 171
一、在保证地基土壤处于冻结状态下的路基施工 …… 171
二、限制土基融化深度的路基施工 …… 172
三、挖方路基施工 …… 172
四、冬季施工排水 …… 173
第九节 岩溶地区路基施工 …… 174
一、概述 …… 174
二、一般原则 …… 175
三、具体施工措施 …… 175
四、高速公路下伏采空区的整治 …… 176
第四章 路基防护与加固 …… 177
第一节 坡面防护 …… 177

一、植物防护 …… 177
二、工程防护 …… 178
第二节 沿河路堤防护 …… 179
一、直接措施 …… 179
二、间接措施 …… 180
第三节 边坡防护加固实例 …… 181
一、边坡注浆加固 …… 181
二、楚大高速公路深路堑边坡防护 …… 183
三、三维植被网边坡防护 …… 186
四、锚杆喷射混凝土支护在公路边坡防护中的应用 …… 188

第五章 软土地基处理 …… 194

第一节 概述 …… 194
一、软土的成因 …… 194
二、软土的主要物理特征 …… 195
三、软土路堤的极限高度 …… 195
第二节 处治方法及选用原则 …… 196
一、处治方法 …… 196
二、选用原则 …… 197
第三节 表层处理 …… 197
一、砂垫层 …… 197
二、反压护道 …… 198
三、土工聚合物处治 …… 198
第四节 换填法 …… 202
一、开挖换填法 …… 202
二、抛石挤淤法 …… 202
三、爆破排淤法 …… 203
四、施工实例 …… 203
第五节 重压法 …… 204
一、堆载预压法 …… 204
二、真空预压软基加固法 …… 207
三、真空预压加堆载预压法 …… 212
第六节 垂直排水法 …… 212
一、砂井 …… 213
二、袋装砂井 …… 214
三、塑料排水板 …… 217
四、施工实例 …… 220
第七节 粉喷桩 …… 224
一、粉喷桩固结原理 …… 224
二、粉喷桩设计 …… 224

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

三、粉喷桩的适用范围及特点 …… 224
四、粉喷桩施工 …… 225
五、施工实例 …… 229
第八节 强夯、挤密碎石桩对液化地基的处理 …… 233
一、概述 …… 233
二、液化土形成的原因 …… 233
三、液化地基处理措施 …… 235
四、处理效果 …… 238

第六章 路面基层、底基层施工 …… 241

第一节 基层、底基层概述 …… 241
一、基层、底基层的分类及特点 …… 241
二、工程资料 …… 241
第二节 半刚性基层、底基层对材料的要求 …… 243
一、土 …… 243
二、无机结合料 …… 246
第三节 半刚性基层、底基层的组成设计 …… 248
一、组成设计的目的和原则 …… 248
二、组成设计方法 …… 248
三、组成设计步骤 …… 248
四、组成设计实例 …… 250
第四节 半刚性基层、底基层施工质量控制 …… 253
一、石灰稳定土 …… 253
二、石灰粉煤灰稳定土 …… 255
三、水泥稳定土 …… 256
四、水泥粉煤灰稳定细粒土 …… 257
第五节 石灰土路拌法施工 …… 258
一、施工工艺流程 …… 258
二、施工的一般要求 …… 258
三、石灰土的路拌法施工 …… 259
四、施工中注意事项 …… 262
五、石灰土基层、底基层测试项目与标准 …… 263
第六节 二灰土施工 …… 263
一、二灰土的特征 …… 263
二、二灰土的施工方法 …… 264
三、二灰土施工质量控制重点 …… 264
四、二灰土施工实例 …… 265
五、二灰土采用低塑性土的施工实例 …… 278
六、二灰土采用弱膨胀土的施工实例 …… 281
第七节 水泥稳定土施工 …… 287

一、路拌法 …… 287
二、厂拌法 …… 290
第八节 石灰、水泥综合稳定土施工 …… 293
一、工程概况 …… 294
二、石灰水泥综合稳定土施工 …… 294
三、质量控制与检测 …… 297
第七章 路面施工 …… 299
第一节 透层、粘层、封层施工 …… 299
一、透层施工 …… 299
二、粘层施工 …… 303
三、封层施工 …… 304
四、下封层施工实例 …… 308
第二节 沥青表面处治施工 …… 310
一、概述 …… 310
二、基鲁公路技术指标 …… 311
三、三层表面处治的施工 …… 313
四、质量检验标准 …… 315
五、施工质量评价 …… 316
六、注意事项 …… 316
第三节 沥青贯入式路面施工 …… 318
一、一般规定 …… 318
二、材料要求及用量 …… 318
三、施工实例 …… 321
第四节 热拌沥青混凝土路面施工 …… 326
一、施工工艺流程 …… 326
二、施工准备 …… 326
三、沥青混合料的拌和 …… 332
四、沥青混合料的运输 …… 334
五、沥青混合料的摊铺 …… 334
六、沥青混合料的压实成型 …… 336
七、施工质量标准及质量控制措施 …… 338
八、施工安全措施 …… 339
第五节 SMA 沥青玛蹄脂路面施工 …… 339
一、概述 …… 339
二、SMA 的组成特点 …… 340
三、SMA 表面层的优点 …… 340
四、SMA 路面材料的选取 …… 341
五、SMA 混合料配合比设计方法 …… 342
六、SMA 路面的施工 …… 346

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第六节　多碎石沥青混凝土表面层施工 …… 352
一、概述 …… 352
二、特点 …… 353
三、材料要求 …… 355
四、配合比设计 …… 357
五、目标配合比设计 …… 357
六、生产配合比设计 …… 358
七、多碎石沥青混凝土的施工 …… 359
八、多碎石沥青混合料的室内检测与控制 …… 361
九、施工质量控制与检测 …… 362
第七节　彩色沥青混凝土路面施工 …… 363
一、原材料的选用 …… 364
二、AC-13-II 型红色细粒式沥青混合料配合比设计 …… 366
三、彩色路面的施工 …… 369
第八节　改建道路沥青混凝土路面施工 …… 371
一、石黄高速公路改建工程概述 …… 371
二、旧路改建问题的处理措施 …… 372
第九节　水泥混凝土路面施工 …… 378
一、我国水泥混凝土路面发展简述 …… 378
二、材料要求 …… 378
第十节　水泥混凝土路面小型机具配套施工 …… 384
一、施工工艺流程 …… 384
二、施工准备 …… 385
三、水泥混凝土路面施工 …… 391
四、施工注意事项 …… 396
五、施工质量控制 …… 397
第十一节　水泥混凝土路面轨道式摊铺机施工 …… 399
一、工程概况 …… 399
二、施工工艺流程 …… 399
三、施工准备 …… 399
四、施工机械的选型配套 …… 402
五、混凝土的拌和、运输与卸料 …… 405
六、混合料的摊铺 …… 407
七、混凝土的振捣 …… 408
八、混凝土表面的修整 …… 409
九、混凝土路面的纹理制作 …… 409
十、施工特点及注意事项 …… 411
第十二节　水泥混凝土路面滑模摊铺施工 …… 412
一、工程概况 …… 412
二、施工组织 …… 412

三、施工准备 …… 415
四、水泥混凝土路面滑模施工 …… 422
五、质量控制 …… 434

第八章 基础施工 …… 440

第一节 明挖基坑 …… 440
一、不加固坑壁的基坑 …… 440
二、加固坑壁的基坑 …… 443
三、工程实例 …… 448
第二节 钻孔灌注桩基础施工 …… 455
一、工程实例(大直径深桩循环钻机成孔) …… 455
二、工程实例(全护筒钻机成孔) …… 461
第三节 挖孔桩施工 …… 466
一、钻、挖结合成孔 …… 466
二、砂砾层中挖孔桩施工 …… 469
三、工程实例(挖孔桩施工) …… 471
第四节 空气幕下沉沉井施工 …… 473
一、概述 …… 473
二、特点 …… 473
三、构造及工艺原理 …… 474
四、施工方法及质量要求 …… 474
五、气幕沉井下沉记录 …… 477
第五节 承台及系梁施工 …… 479
一、厦门集美立交桥承台施工 …… 479
二、钢套箱围堰施工 …… 481
三、大沙河桥水中系梁施工 …… 485
四、大体积混凝土承台施工 …… 489
第六节 锁口钢管桩围堰施工 …… 493
一、龙溪河大桥2号墩围堰施工 …… 493
二、龙溪河大桥基础平台钢管桩施工 …… 500
第七节 基坑预应力锚索加固施工 …… 503
一、预应力锚索的设计方案 …… 503
二、试验锚索的施工 …… 504
三、预应力锚索的施工 …… 506

第九章 墩身、盖梁施工 …… 509

第一节 墩身施工 …… 509
一、圆柱墩施工实例 …… 509
二、高墩翻模施工实例 …… 510
第二节 盖梁施工 …… 513

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

一、有支架施工 …… 513
二、无支架施工 …… 514
三、牛腿支撑的设计与验算要点 …… 514
四、高墩盖梁无支架施工模板提升实例 …… 514
五、剪力销式牛腿支撑施工实例 …… 516
六、预埋式、预留孔式及抱箍式牛腿支撑施工实例 …… 523

第十章 装配式桥梁施工 …… 526

第一节 预应力混凝土T梁施工 …… 526
一、摩苏尔五桥T梁预制施工 …… 526
二、摩苏尔五桥T梁吊装施工 …… 541
第二节 山区弯坡桥预应力混凝土工字梁架设 …… 544
一、工程概况 …… 544
二、跨墩高低脚龙门、双导梁架设法 …… 544
三、墩上墩下高低脚龙门架设法 …… 549
第三节 预应力空心板预制安装 …… 554
一、工程概况 …… 554
二、先张预应力空心板的预制 …… 554
三、空心板的吊装 …… 556

第十一章 预应力混凝土连续箱梁施工 …… 558

第一节 移动模架(滑模)法 …… 558
一、工艺原理及特点 …… 558
二、施工工艺流程及操作要点 …… 558
三、质量标准及注意事项 …… 563
四、移动模架(滑模)法施工实例 …… 563
第二节 软弱地基上满堂支架法 …… 567
一、地基处理概况 …… 568
二、地基承载力验算 …… 568
三、软土地基处理的施工质量控制 …… 570
四、箱梁施工标高控制 …… 571
五、混凝土浇筑质量控制 …… 572
第三节 顶推法 …… 572
一、概述 …… 572
二、顶推法施工实例(一) …… 573
三、顶推法施工实例(二) …… 596

第十二章 预应力混凝土连续刚构桥施工 …… 605

第一节 马鞍石嘉陵江大桥主梁0号块施工 …… 605
一、工程概况 …… 605

二、支架设计与施工 …… 605
三、施工裂缝分析与预防 …… 605
四、施工方案实施效果 …… 608
第二节 黄石长江公路大桥连续刚构箱梁施工 …… 608
一、工程概况 …… 608
二、箱梁悬浇主要设备与施工程序 …… 608
三、钢筋及预应力施工 …… 613
四、悬浇混凝土施工 …… 615
五、边跨现浇段施工 …… 617
六、合龙段施工 …… 622

第十三章 桥面系施工 …… 627

第一节 摩苏尔五桥桥面系施工 …… 627
一、桥面板施工 …… 627
二、桥面加宽 …… 629
三、铰接板施工 …… 632
四、挂块安装和现浇路缘石 …… 632
五、伸缩缝安装 …… 633
第二节 天津高架桥毛勒伸缩缝安装 …… 636
一、工程概况 …… 636
二、安装工艺及注意事项 …… 636
第三节 江津长江大桥纤维网混凝土桥面铺装施工 …… 639
一、纤维网的性能 …… 639
二、纤维网混凝土的优点 …… 639
三、纤维网混凝土桥面铺装的施工工艺 …… 639
四、质量及经济效益比较 …… 640

第十四章 桩的施工与设计 …… 642

第一节 桩的分类 …… 642
第二节 桩的施工 …… 643
一、木桩、预制混凝土桩及钢管桩施工 …… 643
二、钻孔桩施工 …… 669
第三节 桩的设计 …… 684
一、桩的构造 …… 684
二、桩的承载力计算 …… 685
三、桩的内力和变位计算 …… 693
四、桩的稳定和偏心受压计算 …… 707
五、预制混凝土桩在吊运、存放、吊立时的计算 …… 715
六、锤击沉桩抗裂及压曲计算 …… 721
第四节 静压试验 …… 722

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

一、概述 …… 722
二、加载装置 …… 722
三、试验方法 …… 723
四、极限荷载的确定 …… 724

第十五章　临时便桥及支架施工 …… 726

第一节　概述 …… 726
第二节　临时便桥、支架的主要常用部件设备 …… 727
一、装配式公路钢桥桁节 …… 727
二、六四军用梁 …… 729
三、万能杆件 …… 736
四、WDJ 碗扣式支架构件 …… 740
五、浮箱 …… 743
第三节　临时便桥 …… 744
一、装配式公路钢桥 …… 744
二、墩架梁式桥 …… 744
三、浮桥 …… 756
四、索桥 …… 760
第四节　支架 …… 768
一、满堂支架 …… 768
二、钢木混合支架 …… 768
三、钢支架 …… 768
四、万能杆件拼装支架 …… 769
五、拱架 …… 770
第五节　支架设计与施工实例 …… 777
一、嘉陵江大桥重庆岸现浇段支架设计与施工 …… 777
二、海南三亚临春桥箱梁现浇支架设计与施工 …… 784

参考文献 …… 790

第一章　填方路堤施工

第一节　填方路堤施工特点和准备

一、施工特点

1)由于路堤存在沉降和稳定问题,特别是高路堤可能发生的稳定性问题,因此要求其施工质量较高,无论对基底的处理、填料的选择、排水措施、压实标准的控制等方面都要求较严,从而保证路基的稳定与耐久性。

2)高速公路路堤一般都比较高,所需土方量又很大,为确保质量和进度,因此,以机械化作业为宜。从基底处理,填料的开挖、运送、摊铺、压实均宜采用一系列的机械进行施工。

3)高速公路采用封闭形式,桥涵、孔道(汽孔、人孔、拖孔)较多,结构物的增多,势必带来两侧路堤的填筑与压实困难的问题。因此,在施工中应采用各种技术措施,确保路堤的填筑压实质量,从而减少桥头跳车。

4)为尽量减少路堤沉降,提高路堤稳定性,必须广泛采用新材料、新工艺、新设备和新的检测手段,如采用粉煤灰填筑路堤和重型压实标准等。

5)高速公路施工中必须做好环境保护和绿化工作。施工过程中原有的水土、植被、地貌都不应由于施工而遭到破坏,填料中不能含有有害物质,以防止环境受到污染。

二、路堤施工前准备工作

1)开工前,应在全面熟悉设计文件的基础上进行现场核对和施工调查,发现问题及时根据有关程序提出修改意见并报请变更设计。

2)施工前调查的内容包括:

(1)工程范围内的地形、地质、水文和地面排水情况;

(2)工程范围内的交通和地上、地下的构筑物及公用管线情况;

(3)施工现场的供水、供电、电讯设备及场内外运输线路、生产和生活设施的设置地点等情况;

(4)沿线附近可供取土的地点和可供排水的沟渠和涵管等情况;

(5)施工现场附近测量标志及需要保护的植物和构造物等情况。

3)根据现场收集到的情况、核实的工程数量,按工期要求、施工难易程度和人员、设备、材料准备情况,编制实施性的施工组织设计,并报监理工程师审批。经批准同意后,即可提出开工报告。获准后方可开工。

4)征地拆迁、场地清理,其内容包括:由业主办理征地用地手续;对用地范围内的既有房屋、道路、河沟、通讯、电力设施、上下水道、坟墓及其他建筑物,应协助有关单位事先拆迁或改造;对于路基附近的危险建筑物予以适当加固;对文物古迹应妥善保护。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

路基用地范围内的树木、灌木丛等均应在施工前砍伐或移植清理并将树根全部挖除，将坑穴填土夯实。

此外还应根据图纸要求进行放样、编制施工预算，对准备用作填料的土进行物理、力学性质试验。

5)做好排水设施。应事先做好截水沟、排水沟等排水及防渗设施，特别是多雨地区和雨季施工更要加强这方面的工作。路堤施工中各施工层表面不应有积水，表面应做成2%～4%的横坡。雨季施工或因故中断施工时，必须将施工层表面及时修理平整并充分压实。

三、填方路堤典型断面

1)水稻田或长年积水地带，用细粒土填筑高度在6.0m以上时，其他地带填土或填石路堤高度在20m以上时，应按高填方路堤处理。通常采用折线形或阶梯形边坡。折线形为自上而下逐渐放缓边坡斜度，阶梯形是在中间设置护坡平台，平台上下段的边坡斜度可以相同也可以不同。路堤的边坡坡度，可参照表1-1执行。路肩边缘应设置护栏。路基宽度可相应增加，边坡适当进行防护与加固。

路堤边坡坡度表 表1-1

填料种类	边坡高度(m)			边坡坡度		
	全部高度	上部高度	下部高度	全部坡度	上部坡度	下部坡度
粘质土、粉质土、砂类土	20	8	12		1:1.5	1:1.75
砂、砾	12			1:1.5		
漂(块)石土、卵石土、砾(角砾)类土、碎石土	20	12	8		1:1.5	1:1.75
不易风化的石块	20	8	12		1:1.3	1:1.5

注：采用台阶式边坡时，下部边坡可采用与上部边坡一致的坡度。

2)在地势低、水文条件较差地段，应特别注意控制最小填土高度，力求不低于按自然区划和土质等所规定的临界高度，使路基处于干燥或中湿状态。尤以在矮路堤高度小于1.0m时往往接近或小于应力作用区深度，除填方本身要求高质量外，地基往往需特殊处理和加固，如清除基底、换土、设置隔离层和地下排水、加铺砂砾石垫层或用砂桩、石灰桩等加固。

当填方高度在2.0～3.0m时，填方数量较少，可在路基两侧设置取土坑，使之与排水沟渠结合。路堤近旁的沟渠较宽或沿河浸水路堤，为保护填方坡脚不受流水侵害，可在坡脚与沟渠之间预留1.0～2.0m甚至4.0m宽的护坡道。

3)原地面倾斜的全填路堤。当倾斜度陡于1:5时，需将原地面挖成台阶，(土质地面)台阶宽度等于或大于1.0m，向内倾斜1%～2%。石质地面时，将原地面凿毛。原地面陡于1:2时，宜设置石砌护脚等断面形式，倾斜地面的填方上方坡脚，需采取措施阻止地面水渗入路基内。

4)一般路堤的几种横断面形式如图1-1所示。

5)图1-2是几种常见的特殊条件下的路堤横断面形式。图a)是软土地基采用反压护道的路堤，反压护道高度约为路堤高度的一半，每侧宽度根据边坡稳定性验算结果确定，一般不小于路堤高度的2～3倍。反压护道主要是利用其重量，抵抗路堤边坡连同部分软土地基的侧向滑动，保持路堤边坡的稳定。

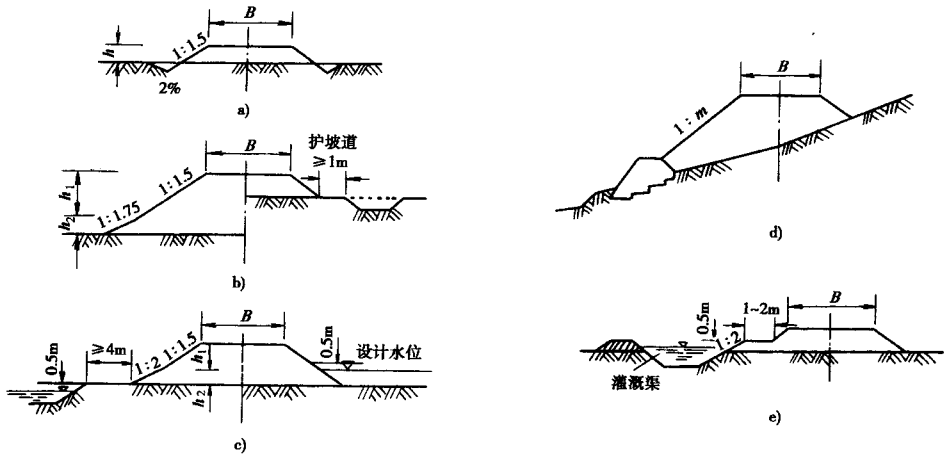


图 1-1　填方路堤的常用横断面形式

a)矮路堤;b)一般路堤;c)浸水路堤;d)护脚路堤;e)挖沟填筑路堤

图 b)是软土地基路堤填筑前在原地面设置全宽式的垫层,垫层厚度视软土层的厚度及土的压缩性而定,一般约为 0.6 ~ 1.0m,宽度应扩大至路堤坡脚之外 0.5 ~ 1.0m。设置砂垫层或砂石垫层,对于多年冻土、盐渍土、季节性冰冻地区,以及水稻田等过湿地带上的路堤,亦是一种简易排水的有效措施。

图 c)是沿河路堤受水浸湿和淘涮,边坡需相应采用变坡形式。设计洪水位 h 加浪高和波高以及 + 0.5m 以上的边坡,按常规横断面,其下采用平缓边坡坡率,并予以砌石防护,两者之间设置宽度不小于 1 ~ 2m 的护坡道,整个边坡尺寸,根据边坡稳定性验算而定。

图 d)是用不同填料修筑的浸水路堤,中间部分填土,两侧用片石或中(粗)砂填筑,两者之间设反滤层。以防浸水对填土的侵害,避免填土随水流出。

图 e)是沙漠地区和积雪地区的路堤,其主要病害是积沙或积雪,危害程度与当地自然条件有关。其中风力作用影响极大。此类地区设置路堤,一般不宜过高,路基两侧或迎风的一侧需设置防护林带或防沙防雪栅栏。就路堤断面而言,宜采用流线型边坡和边沟,以减轻积沙或积雪的危害。一般平均边坡斜度缓于 1:3 ~ 1:4 时,积沙或积雪不致影响路

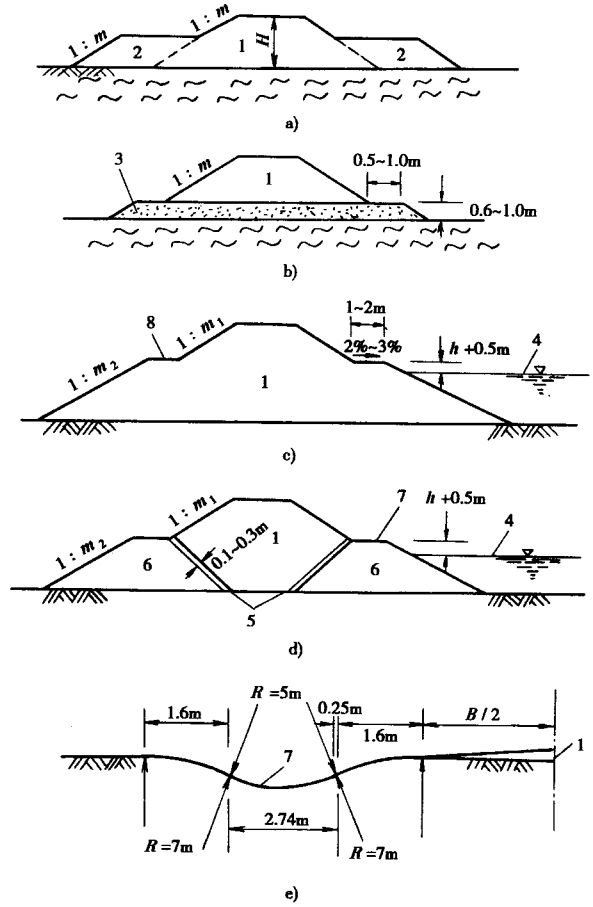


图 1-2　几种特殊路堤横断面示意图

a)反压护道;b)砂垫层;c)土质浸水路堤;d)石质浸水路堤;e)流线型边沟

1-填土路堤;2-反压护道;3-砂垫层;4-设计水位;5-反滤层;6-填石路基;7-边沟;8-护坡道

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

基的正常使用。

四、填方路堤一般要求

1.路堤填料要求

1)不得使用淤泥、沼泽土、冻土、有机土、含草皮土、生活垃圾、树根和具有腐朽特征的土。

2)液限大于50、塑指大于26的土以及含水量超过规定的土,不得直接作为路堤填料。需要使用时必须采取满足设计要求的技术措施处理,经检验合格后方可使用。

3)采用粉煤灰等工业废料作为路堤填料时,应按照设计或有关规定施工。

4)路基填方材料应有一定的强度要求,野外取土试验,其CBR值应符合表1-2的规定。

高速公路路基填料最小强度(CBR)和最大粒径表 表1-2

项目分类(路面底面以下深度)		填料最小强度(CBR)(%)	填料最大粒径(cm)
路堤	上路床(0~30cm)	8.0	10
	下路床(30~80cm)	5.0	10
	上路堤(30~150cm)	4.0	15
	下路堤(>150cm)	3.0	15
零填及路堑路床(0~30cm)		8.0	10

注:①本表摘自《公路路基施工技术规范》(JTJ 033—95);

②表列CBR值,按《公路土工试验规程》(JTJ 053—93)的试验方法测定。

2.施工方法

1)土方路堤根据路段地段的不同,分别采用水平分层填筑法和纵向分层填筑法两种形式。水平分层填筑法,即按设计断面分层水平层次逐层向上填筑,每填一层,需经压实符合要求后,再上一层。纵向分层填筑法,原地纵坡大于12%的路段,应沿纵坡分层,逐层填压密实,采用机械碾压时,分层最大松铺厚度不超过30cm。

2)路堤填筑一般应采用机械化施工,操作程序如图1-3所示。

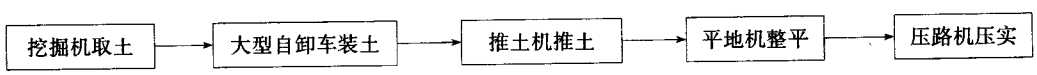


图1-3 路堤填筑机械化施工程序

3)机械作业时,应根据工地地形、路基横断面形状和土方调配图等,合理地确定机械运行路线。土方集中工点,应有全面、详细的机械运行作业图,据以施工。填高在3m以内的路堤,可采用两侧取土,以推土机从两侧分层推填,并配合平地机分层整平。土的含水量不够时,用洒水车洒水,用压路机分层碾压。

4)取土场运距在1km范围内时,可用铲运机运送,辅以推土机开道、翻送硬土、平整取土段、清除障碍和助推。超过1km时,可用松土机械翻松,用挖掘机或装载机配合自卸车运输。用平地机平整填土,配合洒水车和压路机碾压。汽车配备数量应根据运距远近及车型确定。

当卸装范围内有一定高差，汽车等运输方式受到地形和其他条件限制时，可采用卷扬机牵引、空中索道运输。

5)表1-3为路堤填筑机械化施工主要机械备配表，可作为一般参考。

主要机械配备表 表1-3

机械种类	数量	说明	机械种类	数量	说明
挖掘机($1.5m^3$)	2台		平地机(16G)	2台	
自卸车(15～20t)	10辆	运距在5km以内	羊角碾、振动压路机(16t)	1台	
推土机(GH—140)	2台		振动压路机	2台	

3.路基压实

填土经过挖掘、搬运，原状结构已被破坏，土团之间留下了许多孔隙。在荷载作用下，可能出现不均匀或过大的沉陷或坍落，甚至失稳滑动，所以路基填土必须进行压实。对于由土层构成的路堑表面，为改善其工作条件，也应予以压实。

影响压实效果的因素主要包括如下几个方面。

1)含水量

土的含水量对压实效果的影响比较显著。当含水量较小时，由于粒间引力，使土保持着疏松状态，土中孔隙大都互相连通，但由于水膜润滑作用不明显，土粒相对移动也不容易，因此压实效果较差。含水量逐渐增大时，水膜变厚，起着滑润作用，引力缩小，外部压实功能易使土粒移动，压实效果渐佳。当土中含水量过大时，孔隙中出现了自由水，压实功能的一部分被自由水所抵消，效果反而降低。由击实试验所得的曲线图可以看出曲线有一峰值，称为最大干容重，与之对应的称最佳含水量。这就得出一个结论，只有在最佳含水量的情况下压实效果才最好。

但当含水量较小时，土粒间引力较大，虽然干容重较小，但其强度可能比最佳含水量时还要高。可是此时因密实度较低，孔隙多，一经饱水，其强度会急剧下降。这又得出一个结论，在最佳含水量情况下，压实的土水稳性最好。

2)填土类别

在同一压实功能作用下，含粗粒越多的土，其最大干容重越大。而最佳含水量越小，即随着粗粒含量增多，其击实曲线峰点越向左上方移动。因此，施工时，应提前做好取土地点的代表性土样做击实试验。如发现土质有变化，应及时补做。并应做好试验路段，从中选出路基压实的最佳方案，以确定层铺厚度与碾压机械类型和碾压遍数的关系。

碾压机械的要求和选择，可参见表1-4。

各种土质适宜的碾压机械 表1-4

土的类别 / 机械名称	细粒土	砂类土	砾石土	巨粒土	备注
6～8t两轮光轮压路机	A	A	A	A	用于预压整平
12～18t三轮光轮压路机	A	A	A	B	最常使用
25～50t轮胎压路机	A	A	A	A	最常使用
羊足碾	A	C或B	C	C	粉、粘土质砂可用
振动压路机	B	A	A	A	最常使用

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

机械名称 \ 土的类别	细粒土	砂类土	砾石土	巨粒土	备注
凸块式振动压路机	A	A	A	A	最宜使用于含水量较高的细粒土
手扶式振动压路机	B	A	A	C	用于狭窄地点
振动平板夯	B	A	A	B或C	用于狭窄地点,机械质量800kg的可用于巨粒土
手扶式振动夯	A	A	A	B	用于狭窄地点
夯锤(板)	A	A	A	A	夯击影响深度最大
推土机、铲运机	A	A	A	A	仅用于摊平土层和预压

注:①表中符号:A代表适用;B代表无适当的机械时可用;C代表不适用;

②土的类别按《公路土工试验规程》的规定划分;

③对特殊土和黄土(CLY)、膨胀土(CHE)、盐渍土等的压实机械选择可按细粒土考虑;

④自行式压路机宜用于一般路堤路堑基底的换填等的压实,宜采用直线式进退运行;

⑤羊足碾(包括凸块式碾、条式碾)应有光轮压路机配合使用。

3)压实功能

同一类土,其最佳含水量随压实功能的加大而减小,而最大干容重则随压实功能的加大而增大。当土偏干时,增加压实功能对提高干容重影响最大,偏湿时,则收效甚微。因而对偏湿的土,企图用加大压实功能的办法来提高土的密度是不经济的。若土的含水量过大,此时就会出现"弹簧"现象。

4.压实标准

1)路堤、路堑和路堤基底均应进行压实。土质路堤(含土、石)的压实度应不低于表1-5的标准。

土质路堤压实度标准(重型)　　表1-5

填挖类型		路面底面以下深度范围(cm)	压实度(%)	
			高速公路、一级公路	其他公路
路堤	上路床	0~30	≥95	≥93
	下路床	30~80	≥95	≥93
	上路堤	80~150	≥93	≥90
	下路堤	>150	≥90	≥90
零填及路堑路床		0~30	≥95	≥93

注:①表列压实度以部颁《公路土工试验规程》重型击实试验法为准;

②对于铺筑中级或低级路面的三、四级公路路基,允许采用表1-6轻型击实试验法规定的路基压实标准;

③其他等级公路,修建高级路面时,其压实标准,应采用高速公路、一级公路的规定值;

④特殊干旱地区的压实度标准可降低2%~3%;

⑤多雨潮湿地区的粘性土,其压实度标准按JTJ 051—93的具体规定执行;

⑥用灌砂法、灌水(水袋)法检查压实度时,取土样的底面位置为每一压实层底部;用环刀法试验时,环刀中部处于压实层厚的1/2深度;用核子仪试验时,应根据其类型,按说明书要求办理。

2)路堤基底应在填筑前进行压实。高速公路、一级公路和二级公路路堤基底的压实度不

应小于85%；当路堤填土高度小于路床厚度(80cm)时，基底的压实度不宜小于路床的压实标准。

3)零填及路堑路床压实，应符合表1-5的规定，换填超过30cm时，按表列数值90%的标准执行。

4)天然稠度小于1.1，液限大于40，塑指大于18的粘质土，用于下路床及上下路堤时，应进行处治或采用重型压实标准。确有困难时以及三、四级公路可采用表1-6轻型压实标准。

路基压实度标准(轻型) 表1-6

填挖类型		路面底面以下深度(cm)	压实度(%)	
			高速公路、一级公路	其他等级公路
填方路基	上路床	0~30	—	≥95
	下路床	30~80	≥98	≥95
	上路堤	80~150	≥95	≥90
	下路堤	>150	≥90	≥90
零填及路堑路床		0~30	—	≥95

注：表列数值系按《公路土工试验规程》轻型击实试验法求得的最大干密度的压实度。

5.取土坑和弃土堆

1)路侧取土坑的设置应有统一规划，使之具有规则的形状及平整的底部。平原地区的高速公路及一级公路不宜设路侧取土坑。路线外集中取土坑应尽量设在荒坡、高坡上，使之能兼顾农田、水利、鱼池等设施。

2)取土坑底应设纵、横向坡度，以利排水。坑底纵坡不宜小于0.3%，横坡度宜为2%~3%，并向外侧倾斜。取土坑出水口应与路基排水系统衔接。取土坑边坡坡度，视土质性质而定，不宜陡于1:1，靠路基一侧不宜陡于1:1.5。

3)当地面横坡陡于1:10时，路侧取土坑应设在路基上方一侧。填方路基设置路侧取土坑时，路基边缘与取土坑底的高差大于2.0m时，对于一般公路应设置护坡道，宽度为1~2m；对高速公路、一级公路宽度不小于3.0m。

4)路基开挖的弃方，首先考虑充分使用，如用于加宽路基或加固路堤，填补坑洞或路旁洼地，亦可兼顾农田水利或基建等所需，做到变废为用，弃而不乱。

第二节 粉质土路堤施工

一、渭潼310线二合同段粉质土路堤填筑

1.工程概况

渭(南)—潼(关)高速公路是国道310线在陕西境内的一段。路线全长78.52km，共分5个标段，公路一局承建第二合同段，桩号K75+000~K92+500，全长17.5km，其中路基土方170.8万m^3，绝大部分为借土填筑。

本段位于关中平原东部，南依秦岭，北邻渭河、黄河。秦岭北麓为宽度不等的洪积冲积扇，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

沿线土质大部为陆相沉积的粉质中低液限的粘性土。

2.土质分析

以本段取土场为例,经取样试验,其各项性能指标如表1-7所示。

从表1-7看出,绝大多数属于低液限粉质土,少量属低液限粘性土。颗粒组成以小于0.075mm为主,属细粒土组,为较差的填筑材料。其主因是含有较多的粉土粒,干时虽稍有粘性,但易被压碎,扬尘又大。浸水后很快被湿透,又易成流体状态,且毛细水上升高度大,在季节性冰冻地区,更容易使路基产生水分聚集,造成冬季冻胀,春时翻浆。

以重型标准击实法进行击实试验,其结果粉质土最大干密度为1.88~1.95g/cm^3,个别为1.98g/cm^3,最佳含水量11.5%~13.89%,如表1-7所示。

填筑土性能表 表1-7

序号	取土场位置	颗粒组成(%)						塑性指标				有机质含量(%)	击实试验	
		>2(mm)	0.5(mm)	>0.25(mm)	>0.075(mm)	>0.005(mm)	0.005以下(mm)	液限	塑限	塑性指数	土名		最大干密度(g/cm^3)	最佳含水量(%)
1	K75+000南	2.3	8.2	10.5	28.5	88.2	11.8	28.8	19.9	8.9	ML	0.31	1.94	12.4
2	K75+882南	1.0	3.0	4.5	8.0	78.5	21.5	27.9	20.3	7.6	ML	0.52	1.88	12.8
3	K76+12南	4.7	15.2	20.3	38.4	83.2	16.8	30.7	19.8	10.9	CL	0.42	1.95	12.3
4	K77+900南	7.3	18.4	27.3	33.8	76.3	23.7	31.6	20.5	11.1	CL	0.50	1.98	11.9
5	K84+485北	0	2.5	4.0	7.5	75.5	24.5	26.2	18.0	8.2	ML	0.84	1.88	14.4
6	K84+700北	0	0.7	1.68	2.62	87.38	12.6	28.7	19.2	9.5	ML	0.40	1.89	12.8
7	K86+400北	5.0	13.5	16.5	24.0	79.5	20.5	30.0	19.3	10.7	CL	0.39	1.92	11.5
8	K87+400北	0	0	0	0.5	79.5	20.5	30.7	19.8	10.9	CL	0.43	1.92	13.8
9	K88+900南	0.9	2.8	4.4	6.3	83.7	16.3	27.6	19.5	8.1	ML	0.63	1.90	13.3
10	K89+300南	2.1	3.5	10.3	25.0	76.7	23.3	28.9	20.4	8.5	ML	0.33	1.93	12.8
11	K90+600南	1.2	3.4	14.7	28.5	80.5	19.7	28.4	20.3	8.1	ML	0.33	1.93	12.8

3.压实机具选择与操作

不同的压实机具适用于不同施工、土质及土层厚度等条件,这是选择压实机具的主要参数。尤其对于本合同段,填料材质较差,选择合适的压实机具,对于组织施工生产以及保证质量更加重要。因此经过分析比较,本段选择CA25D和YZT16型振动压路机组合碾压施工。其主要技术性能如表1-8所示。

压路机技术性能表 表1-8

机械名称	全机重(t)	振动轮直径×宽度(mm)	激振力(kN)	振动频率(Hz)	行走速度(km/h)
CA25D振动压路机	9.4	1 525×2 130	163	28.3	2~3
YZT16振动压路机	16	1 720×2 000	343	24~29	2~4

施工过程中,压路机行走速度控制在2~4km/h。过慢影响生产率;过快则对土的接触时间短,压实效果较差。碾压开始时用慢速,随着土层逐渐密实,速度逐步提高。压实时的单位

压力不应超过土的极限，否则土体将会遭到破坏。开始时，由于土体疏松、强度低，故宜先轻压，随着土体密度的增加，再逐步提高压强。

碾压时，横向接头的轮迹，应有一部分重叠 1/3 轮迹，前后相邻两区段，纵向重叠 1.5m。在直线和大半径曲线路段，应先压边缘，后压中间；小半径曲线地段，因有较大的超高，碾压程序应先低后高。并做到无漏压，无死角，确保压实均匀。

4.施工质量控制

施工中压实机械以 CA25D 光轮振动压路机配合 YZT16 型拖式振动压路机组合，PY160A 平地机摊铺、整平后，以 CA25D 先静压一遍，再由 YZT16 型压路机振压几遍，最后 CA25D 再静压一遍。

表 1-9 是该段在开工前所做试验路段的结果汇总。其松铺厚度分 20cm、30cm、40cm 三种。桩号为 K88 + 500 ~ K88 + 600，长度 100m，所用取土场为 K88 + 900，其最大干密度为 1.90g/cm^3，最佳含水量为 13.3%。试验路段为施工生产中严格控制松铺厚度和压实遍数以及摊铺含水量提供了科学的根据。

试验路段击实试验表 表 1-9

松铺厚度	CA25D 静压遍数	YZT16 振压遍数	CA25D 静压遍数	压实结果 点位	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	检测位置
20cm	1	2	1	含水量(%)	10.8	12.5	13.4	14.6	11.9	14.8	15.2	15.1	
				压实厚度(cm)	15.4	15.7	15.5	15.0	15.5	15.3	15.6	15.5	
				压实度(%)	90	92	93	92	91	92	92	92	
	1	3	1	含水量(%)	11.0	12.4	13.4	14.4	11.8	14.7	15.1	15.2	+100 ① ⑤ ② ⑥ ③ ⑦ ④ ⑧ +200 路中线
				压实厚度(cm)	15.2	15.4	15.4	15.2	15.3	15.2	15.4	15.3	
				压实度(%)	93	94	95	94	93	94	94	93	
	1	4	1	含水量(%)	11.0	12.5	13.3	14.5	12.0	14.7	15.2	15.2	
				压实厚度(cm)	15.2	15.3	15.4	15.1	15.2	15.1	14.9	14.9	
				压实度(%)	96	97	98	97	96	96	95	96	
	1	5	1	含水量(%)	10.9	12.6	13.3	14.7	12.0	14.9	15.1	15.0	
				压实厚度(cm)	15.1	15.2	15.2	15.1	15.2	15.1	14.8	14.7	
				压实度(%)	98	99	100	99	98	98	98	99	
30cm	1	2	1	含水量(%)	10.8	12.5	13.4	14.6	12.0	14.7	15.2	15.2	
				压实厚度(cm)	23.5	23.4	23.5	23.4	23.8	23.4	23.5	23.7	
				压实度(%)	87	88	90	89	87	89	88	87	
	1	3	1	含水量(%)	10.8	12.4	13.4	14.5	12.1	14.8	15.1	15.2	
				压实厚度(cm)	23.3	23.2	23.2	23.2	23.5	23.2	23.2	23.5	
				压实度(%)	90	91	93	92	91	91	92	90	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

松铺厚度	CA25D静压遍数	YZT16振压遍数	CA25D静压遍数	压实结果									检测位置
				点位	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
30cm	1	4	1	含水量(%)	10.9	12.5	13.3	14.5	12.3	14.7	15.2	15.1	
				压实厚度(cm)	23.2	23.1	23.2	23.1	23.3	23.2	23.1	23.3	
				压实度(%)	93	93	96	94	92	93	94	93	
	1	5	1	含水量(%)	10.8	12.6	13.2	14.6	12.4	14.8	15.2	15.2	
				压实厚度(cm)	23.0	22.9	23.1	23.0	23.0	23.1	22.8	23.0	
				压实度(%)	95	97	98	97	97	97	96	96	
40cm	1	3	1	含水量(%)	12.6	13.4	14.3	14.8	15.0	11.9	11.5	11.0	
				压实厚度(cm)	32.5	32.4	32.5	32.3	32.4	32.5	32.6	32.7	
				压实度(%)	85	87	85	86	86	86	85	84	
	1	4	1	含水量(%)	12.5	13.3	14.4	14.7	15.1	11.8	11.4	11.1	
				压实厚度(cm)	32.3	32.2	32.3	32.1	32.2	32.3	32.33	32.4	
				压实度(%)	89	89	90	90	89	88	87	86	
	1	5	1	含水量(%)	12.4	13.4	14.5	14.5	14.9	12.5	11.5	11.2	
				压实厚度(cm)	32.2	32.1	32.2	32.0	32.0	32.1	32.1	32.3	
				压实度(%)	90	92	90	90	90	89	88	87	
	1	6	1	含水量(%)	12.4	13.4	14.4	14.6	14.9	12.1	1.6	11.0	
				压实厚度(cm)	32.2	32.2	32.3	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	
				压实度(%)	91	93	90	90	90	90	89	88	

从上表明显看出:松铺厚度20cm时,YZT16型压路机碾压两遍,压实度即可达90%,3遍可达到93%~95%,4遍完全达到95%以上;松铺厚度30cm时,碾压3遍可达90%,4遍达93%~95%,5遍完全达95%以上;松铺40cm时,碾压4遍可达90%,5遍、6遍与4遍相比,提高甚少,相差无几。

因此,松铺40cm是不合理的,达到压实标准有一定难度。松铺厚度20cm时,其压实厚度平均为15cm左右,而松铺30cm时,其压实平均厚度为23cm左右。从施工组织上分析,虽松铺厚度为20cm时,比30cm达到相对应的压实度少压一遍,但从压实数量上看,其产量将近少50%,且也相应增加平地机平整遍数,影响进度,这显然是不可取的。通过对比分析,决定以松铺厚度30cm控制施工。

二、商开高速公路粉性砂土路堤的压实

1.工程概况

商(丘)—开(封)高速公路是国家十二条公路主干道之一——连云港至霍尔果斯主干线的组成部分,采用全封闭全立交分道双向行驶。高速公路地处黄河冲积平原,地势平坦,土层变化较大,但均为第四系粘性土、粉性土和砂性土。

2.土的强度形成原理

在路基施工中,填土经过挖掘、搬运,原状结构已被破坏,土团之间留下了许多孔隙,为保证路基在荷载作用下,不致出现不均匀或过大的沉陷或坍落,甚至失稳滑动,路基填土必须进行压实,压实一般采用机械对土施以碾压能量,使土颗粒重新排列,彼此挤紧,孔隙减少,形成新的密实体,增强粗粒土之间摩擦和咬合,以及增加土颗粒之间的分子引力,从而提高土的强度和稳定性。对土的塑性变形、渗透系数、毛细水作用及隔温性能等,都有明显改善。

3.影响压实效果的因素

1)含水量对压实效果的影响

当土体含水量较小时,由于颗粒间引力使土保持着比较疏松的状态或凝聚结构,土中孔隙大都互相连通,水少而气多,在一定外部压实功能作用下,虽然土孔隙中气体易被排出,密度可以增大,但由于水膜润滑作用不明显以及外部功能也不足以克服粒间引力,土粒相对移动不容易,因而压实效果比较差。

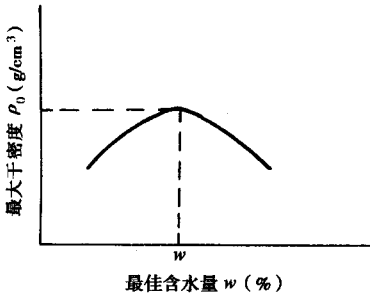


图 1-4 击实试验曲线

含水量逐渐增大时,水膜变厚,引力减小,水膜又起着润滑作用,外部压实功能比较容易使土粒移动,压实效果渐佳。由图 1-4 击实试验所得的击实曲线图可以看出,在与最大干密度相对应的最佳含水量的情况下压实,其压实效果最好,且土体的水稳性最好。

土中含水量过大时,孔隙中出现了自由水,压实功能不可能使气体排出,压实功能的一部分被自由水所抵消,减小了有效压力,压实效果反而降低。

土的压实应在接近最佳含水量的情况下进行。由于本合同段天然土含水量低于最佳含水量,上层摊铺后应用洒水车补足水分,使其含水量大于最佳含水量 2~3 个百分点,以弥补碾压过程中水分损失。本路段施工采用的补水方式是将土运至路堤摊铺后再洒水,当然也可在前一天于取土地点浇洒,使水均匀渗入土中。加水量可按下式估算:

$$V = (w_0 - w)\frac{Q}{1 + w} \tag{1-1}$$

式中:V——所需加水量,t;

w——天然土的含水量,%;

w_0——最佳含水量,%;

Q——需加水的土的质量,t。

2)土质对压实效果的影响

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

经过重型标准击实及土质分析所获得的本合同段的土质状况如表 1-10 所示。

土质分析报告表 表 1-10

液限	塑限	塑性指数	最佳含水量(%)	最大干密度(g/cm³)	土的分类
27.2	17.2	10.0	14.0	1.74	低液限粉土
28.1	18.0	10.1	12.9	1.80	
29.3	16.8	12.5	13.8	1.72	
29.0	18.2	10.8	14.6	1.74	
28.1	17.8	10.3	12.9	1.74	

3)压实功能对压实效果的影响

本地区土的天然含水量一般低于压实土的最佳含水量,且保水性差,水分损失快,土体常处于偏干状态,压实功能加大对最佳含水量的减小和最大干容重的提高并不明显,单纯用增大压实功能来提高土的密实度未必合算,压实功能过大还会破坏土体结构,这给路基压实带来一定的困难。

图 1-5 统计曲线显示压实遍数与压实度并非成正比例关系。

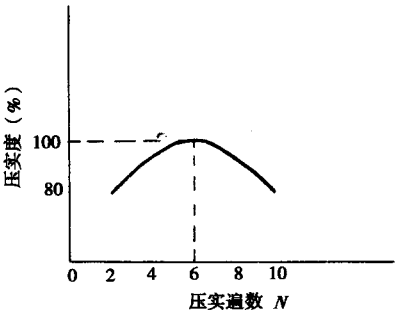


图 1-5 压实遍数与压实度关系

如果洒水过多土体偏湿时,增加压实功能对提高干容重收效甚微。故对偏湿的土企图用加大压实功能的办法来提高土的密实度是不经济的,若土的含水量过大,此时增大压实功能就会出现"弹簧"现象。效果适得其反。

4.机械的选择

1)本合同段压实度要求见表 1-11。

压实度要求 表 1-11

填挖类型		路面底面以下深度范围(cm)	压实度(%)
路堤	上路床	0~30	≥96
	下路床	30~80	≥96
	上路堤	80~150	≥93
	下路堤	>150	≥90
零填及路堑路床		0~30	≥96

2)依据本合同段土质状况,本项目选用压实效果较好的重型轮胎压路机和振动压路机,如表 1-12。

机械的选择　　表 1-12

机械名称	适用土质	压实原理	压实效果
重型轮胎压路机	细粒土	依靠机械自重使压实层产生一定程度永久变形而达到压实的目的	对土起揉合作用
羊足碾	细粒土、粉质土与粘土质砂	因凸爪以较小的面积深入土壤中增加单位压力，可大大提高工效	压实深度大、均匀并能挤碎土块
振动压路机	砂类土、砾石土和巨粒土	利用高频率的振动使材料产生共振，以增大其密实度	单位线压力大，振动力影响深，压实深度大

3)土在外力作用下，压实土层的密实度随深度递减，对于本合同段的粉性砂土来讲，表面1～3cm往往成松散状，而3～15cm压实层才符合上述规律。为保证路基的压实要求，应控制填土分层的压实厚度、压实遍数及压实机械类型的组合。对此特做下列选择，如表1-13。

压实厚度、压实遍数及压实机械类型的选择　　表 1-13

压实厚度	压实遍数	机械类型	检验方式
10～20cm	8～10	轮胎压路机、振动压路机	环刀法、灌砂法

其中轮胎式压路机排压2～3遍，再用振动式压路机压实8～10遍。

5.压实质量控制

1)本地区土质保水性差，土体板结性较差，在静置一定时间或随着车辆上土过程中的碾压，表面易形成1～3cm厚的浮土层。在上土之前，在前一土层适量洒水，并用压路机碾压密实，以防止表层浮土产生弹性体，影响下一层成型，也防止两者之间产生松散体影响路基质量。

2)在土体摊铺后，由于开始时土体较疏松，强度低，应用压路机进行预压，此时若用羊足碾反复碾压效果更佳。振动压路机作业时，先弱振再强振，压强的提高应随着土体密度的增加而逐步提高。

3)由于高速公路对压实度要求高，碾压开始宜用慢速，随着土层的逐步密实，速度逐步提高。压实时的单位压力不应超过土的强度极限，否则土体将会遭到破坏。如果压实遍数超过10遍仍达不到压实度要求，则继续增加遍数产生的效果很小，不如减小压实层厚。

4)因振动压路机振动接触面较大，压实强度被均匀分散，对于粉性砂土来讲，仅靠振动很难达到压实要求。因此，实际作业时须配备重型轮胎压路机，对土进行多次的挤密揉合，效果比较理想。

5)在路基碾压时，路堤边缘往往不易压实，处于松散状态，雨后容易滑坍，故两侧可采取多填宽度40～50cm，以保证路堤边缘的压实度。压实工作完成后再按设计宽度和坡度予以刷齐整平。

6)碾压时，在直线路段和大半径曲线路段，应先压边缘，后压中间；小半径曲线地段因有较大的超高，碾压顺序宜先低(内侧)后高(外侧)。

7)碾压时，横向接头的轮迹应有一部分重叠，对振动压路机一般重叠40～50cm，前后相邻两区段亦宜纵向重叠1～1.5m。应做到无漏压、无死角和确保碾压均匀。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

6.路基压实度评定

路基作业作为一项分部工程应以 1～3km 路段为一评定单元，评定目的是为避免土质和材料的均匀性对压实度指标带来明显影响。为此，采用数理统计方法进行压实度合格评定，并增加了单点极值规定。压实度代表值和单点极值均作为否决指标，任一指标低于规定值时，压实评为零分。

路基压实度评定示例见表 1-14。

路基压实度评定示例 表 1-14

区 段	检测结果	评定公式	评定结果
某一区段 90 区	92.4 91.3 92.5 92.7 92.6 91.9 94.3 96.7 95.9 97.3 92.7 94.7 96.5 93.1 96.6 90.5	$K=\bar{k}_1-t_a S/\sqrt{n}$ 式中：$\bar{k}$——压实度的算术平均值； S——均方差； n——检测点数； t_a——系数。	经计算：$\bar{k}=93.857$ $S=2.159$ $t_a/\sqrt{n}=0.438$ $K=92.91\geqslant 90$ 判断为合格，若检验不合格应及时补压

第三节 填石路堤施工

在山岭区修筑高速公路，往往要进行大方量的山体开挖，以取得较好的平竖曲线。在土源缺乏，石方比例大的情况下，利用山体开挖的石方来填筑路堤，可以降低工程造价，节约用地，保护生态环境。因此，如何提高填石路堤的施工工艺水平和质量控制水平，具有重要的现实意义。

公路一局通过福泉高速公路黄石互通填石路堤和临时项目的施工实践，初步积累了一些经验，工程质量良好，现简述如下。

一、黄石互通填石路堤

1.工程概况

黄石互通地处福州盆地南侧乌龙江南岸，闽侯与长乐的交界处，为闽东南剥蚀微丘与福州海积平原的接壤地带，此地段底层主要为第四纪全新统长乐组海积层与冲洪积层。本工程施工范围比较集中，共填方 110 万 m^3，全部使用就近挖方。公路设计等级为山岭区高速公路。填方路堤长 5.34km，占路线总长 7.94km 的 67.3%。主要由两条主线和四条匝道组成。路堑最大挖深为 42.5m。路堤最高填方为 16.8m，大填大挖是该工程的主要特点。

2.填石路堤的施工

1)施工工艺流程(如图 1-6 所示)。

2)施工准备

首先进行施工放样，然后清除表土和树根草皮或腐殖土。在水稻田地区，施工前沿公路用地筑埂，在埂内开挖纵横排水沟，沟底设 0.5%以上坡度并接通出水沟以疏干表土。地基填筑

前应进行压实，基底压实度不小于85%。填土高度小于路床厚度时，基底的压实度不小于路床的标准。基底松散层厚度大于30cm时，要翻挖后再分层回填压实。

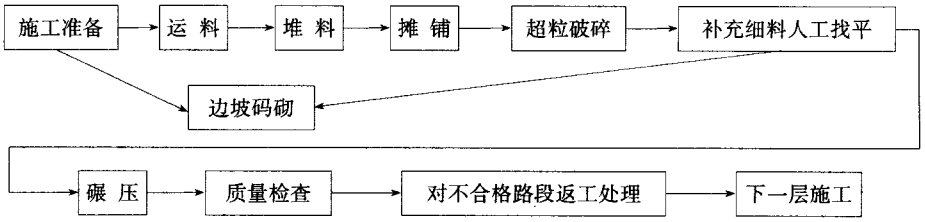


图1-6 路堤施工工艺流程

3)边坡码砌

在填石路堤倾填前，要进行边坡码砌，石块粒径应大于30cm，并尽量规则，码砌石块尽量紧贴、密实、无明显空洞和松动现象。砌块间承力接触面稍微向内倾斜。填高小于6.0m时，码砌厚度为1.0m；当高度大于6.0m时，码砌厚度为2.0m。边坡坡面可进行台阶式的码砌。

4)运料与摊铺

石料采用石质均匀、未风化、无裂纹的硬质材料。石料强度不小于15MPa。运料采用挖掘机配合自卸汽车进行，装料时，尽量使填料混合均匀，避免大粒径过分集中。同时安排好石料运输路线。按水平分层，先低后高，先两侧后中间卸料。填石路堤的堆料和摊铺同时进行，直接堆放在摊铺粗平的表面上，由大功率的推土机向前摊铺，松铺厚度控制在60cm以内。在推土机摊铺初步完成后，对超粒径的石块要进行人工破碎，使之满足规范要求。

对于大料径的石块，要进行人工摆平，块石贴近底面，且大面朝下，在同一位置，大粒径石块不能重叠堆放。对细料明显偏少的段落，在摊铺初平的填石料表面，铺洒一层碎石或石屑料，用量约占大粒料的15%～20%，并确保大粒料之间的缝隙，铺洒细料后，表面保持相对平顺，有利于碾压施工。

5)碾压

因为填石路堤由于粒料之间没有粘聚力，它主要是靠填料之间相互镶嵌、紧密咬合，达到足够大的摩阻力来抵抗路基变形，所以需用大吨位的振动压路机。在施工中采用15t振动压路机进行碾压施工，碾压时速度为2.0～4.0km/h，频率30Hz左右，先静压一遍，然后振压6～8遍，最后再静压一遍。碾压顺序由两侧开始向中间碾压，然后再由中间向两侧碾压，且每次要求错轮1/3轮宽。对于有明显空洞、孔隙的地方补充细料，再行碾压，如仍有松动的石块，用合适粒径的小石块嵌实，并用手锤敲紧。

3.填石路堤的质量控制

施工质量主要由施工工序配合质量检测进行控制。在各个施工工序中，特别是对填料最大粒径、压实厚度、压实遍数，压实沉降差等，严格按规定要求进行控制。在施工中技术人员要详细记录每层填料的压实厚度、压实遍数、粒径，供监理随时查证。

每一层完成后，一定要进行中间检查，对不合格路段，坚决进行返工，以确保质量万无一失，不留后患。

在路基完成后，路面施工前进行了弯沉检测，其结果完全符合规范要求，详见表1-15。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

弯沉检测汇总表　　表 1-15

起止桩号	测点数		平均弯沉值(0.01mm)	标准差(S)	变异系数	与保证率有关系数(Z_a)	代表弯沉值(0.01mm)	计算弯沉值	评定结果
	实测	计算							
AK0 + 700 ~ AK1 + 040	36	36	112.2	21.3	0.190	2	154.8	240	合格
AK0 + 110 ~ AK0 + 290	20	20	132.2	22.3	0.169	2	176.9	240	合格
BK0 + 100 ~ BK0 + 290	20	20	123.5	19.3	0.156	2	162.1	240	合格
BK0 + 680 ~ BK1 + 060	40	40	132.4	23.2	0.175	2	178.8	240	合格
ZK6 + 830 ~ ZK8 + 040	124	124	114.5	15.4	0.134	2	145.3	240	合格
YK6 + 820 ~ YK8 + 600	126	126	120.5	16.3	0.135	2	153.1	240	合格

4.压实标准的确定

1)通过试验路段,制定出填石路堤的质量控制标准。根据甲方暂行规定,压实度检测可采用压实沉降差或压实干密度的方法,考虑到实际施工状况,采用了压实沉降法作为压实检测的方法。

2)检测方法。

首先在压实后的路堤上沿着路堤纵向布点,距离 8.0m 左右,横向间距视现场情况而定。在布好的点位上,用油漆做醒目的标记。用水准仪测量高程,为减少误差,准备一块 20cm × 20cm 的钢质垫块,放置在测点上。然后用 15t 振动压路机作碾压检测(碾压参数:2.0 ~ 4.0km/h,频率 30Hz,碾压 2 遍),碾压后应无明显轮迹。然后再用水准仪测定各点高程,各测点在碾压前后的高差,就是测点的压实沉降差。

甲方的暂行规定中,压实沉降差平均值应小于 5mm,标准差小于或等于 3mm。检测频率为每 2000m^2 检测 12 点;在压实面积不足 200m^2 时至少检测 4 点。

3)试验路段结果。

在填石路堤开工前,进行了压实路段的试验,采用 15t 振动压路机作为压实机具,确定了填石路段的施工工艺和合适的填筑厚度、粒径等参数,现归纳成如表 1-16。

松铺厚度分 40cm、60cm、80cm 三种,桩号为 AK0 + 760 ~ AK0 + 860,共长 100m。从表中明显看出,由于填料的不均匀,填料的松铺系数相差甚大,松铺厚度为 40cm 时,振动压路机碾压 5 遍,压实沉降差能满足要求;松铺厚度为 60cm 时,碾压 6 遍,也能满足要求;当为 80cm 时,碾压 10 遍后仍达不到要求。

从施工组织上综合分析以及经济效益、施工进度、机械利用率等方面考虑,决定在施工中采用松铺厚度 60cm,碾压遍数不少于 8 遍。

4)在石方路堑开挖中,如何合理的选择爆破方案和爆破参数,尽量减小爆破后的岩石粒径,也是重要的一环。采用以药壶炮为主,垂直炮眼(朝天炮)为辅的联合爆破方案,对于不同岩石通过试爆确定更为切合实际的参数。通过药壶炮的充分粉碎,对粒径超过填料粒径限制的部分,集中于挖方区进行松动及垂直炮联合解小,从而使填料基本满足要求。

试验段试验结果汇总表

工程项目:福泉高速公路黄石互通

施工单位:交通部公路一局厦门工程处福州项目经理部

表 1-16

松铺厚度	静压遍数	15t振压遍数	静压遍数	压实结果									
				点位	1	2	3	4	5	6	7	8	检测指标(mm)
40cm	1	4	1	压实厚度(cm)	35.1	33.6	33.3	33.1	35.7	36.0	33.9	35.1	平均沉降差=5.38 标准差=2
				压实沉降差(mm)	3	2	4	6	7	6	7	8	
				松铺系数	1.14	1.19	1.2	1.21	1.12	1.11	1.18	1.14	
	1	5	1	压实厚度(cm)	34.8	33.9	32.5	35.4	32.5	34.5	32.8	36.0	平均沉降差=3.63 标准差=1.7
				压实沉降差(mm)	7	4	5	1	3	2	3	4	
				松铺系数	1.15	1.18	1.23	1.13	1.23	1.16	1.22	1.11	
	1	6	1	压实厚度(cm)	33.3	33.1	35.4	36.7	33.9	32.5	34.2	33.9	平均沉降差=3.38 标准差=1.2
				压实沉降差(mm)	5	3	1	5	3	3	3	4	
				松铺系数	1.2	1.21	1.13	1.09	1.18	1.23	1.17	1.18	
	1	7	1	压实厚度(cm)	33.6	33.1	32.8	32.5	34.8	33.6	32.5	33.1	平均沉降差=3.00 标准差=1.4
				压实沉降差(mm)	4	3	1	2	3	6	2	3	
				松铺系数	1.19	1.21	1.22	1.23	1.15	1.19	1.23	1.21	
60cm	1	4	1	压实厚度(cm)	52.6	50.4	50.0	49.6	53.6	54.1	55.0	55.6	平均沉降差=5.75 标准差=1
				压实沉降差(mm)	5	6	7	6	7	5	6	4	
				松铺系数	1.14	1.19	1.2	1.21	1.12	1.11	1.09	1.08	
	1	4	1	压实厚度(cm)	52.2	50.8	48.8	48.4	48.8	51.7	55.0	54.1	平均沉降差=4.38 标准差=1.5
				压实沉降差(mm)	4	7	3	5	4	6	2	4	
				松铺系数	1.15	1.18	1.23	1.24	1.23	1.16	1.09	1.11	
	1	6	1	压实厚度(cm)	50.0	49.6	56.6	55.0	50.8	51.3	51.3	50.8	平均沉降差=3.63 标准差=1.2
				压实沉降差(mm)	2	3	4	3	3	5	3	6	
				松铺系数	1.2	1.21	1.06	1.09	1.18	1.17	1.17	1.18	
	1	6	1	压实厚度(cm)	50.4	49.6	49.2	48.8	52.2	50.4	48.8	49.6	平均沉降差=3.13 标准差=1.4
				压实沉降差(mm)	3	3	4	2	5	2	1	5	
				松铺系数	1.19	1.21	1.22	1.23	1.15	1.19	1.23	1.21	
80cm	1	5	1	压实厚度(cm)	70.2	67.2	66.7	66.1	71.4	72.1	73.4	74.1	平均沉降差=6.5 标准差=2.4
				压实沉降差(mm)	3	2	8	8	7	9	7	8	
				松铺系数	1.14	1.19	1.2	1.21	1.12	1.11	1.09	1.08	
	1	6	1	压实厚度(cm)	69.6	67.8	65.0	64.5	65.0	69.0	73.4	72.1	平均沉降差=6.25 标准差=1.7
				压实沉降差(mm)	7	4	8	6	7	4	9	5	
				松铺系数	1.15	1.18	1.23	1.24	1.23	1.16	1.09	1.11	
	1	8	1	压实厚度(cm)	66.7	66.1	75.5	73.4	67.8	68.4	68.4	67.8	平均沉降差=5.63 标准差=1.1
				压实沉降差(mm)	5	5	4	8	6	5	6	6	
				松铺系数	1.2	1.21	1.06	1.09	1.18	1.17	1.17	1.18	
	1	10	1	压实厚度(cm)	67.2	66.1	65.6	65.0	69.6	67.2	65.0	66.1	平均沉降差=5.38 标准差=1.5
				压实沉降差(mm)	5	3	8	6	5	4	5	7	
				松铺系数	1.19	1.21	1.22	1.23	1.15	1.19	1.23	1.21	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

二、临长项目 3A 合同段填石路堤施工

1.工程概况

京珠国道主干线临湘至长沙高速公路起于湘鄂交界的坦渡河,止于长沙市牛角冲,与已建长沙至湘潭高速公路相接,全长 182.78km,共分 11 个合同段。3A 合同段由公路一局施工,起止桩号为 K37 + 060 ~ K47 + 760,全长 10.7km。

该路段地处湖南北部,为丘陵山区,地形起伏较大。路基宽 28m,设计车速 120km/h,双向四车道。为满足线型设计要求,沿线穿越部分石质山岭,依据就地取材、方便施工、降低造价、少占良田的原则,路基填料直接利用爆破的石料,经解小后填筑,从而形成填石路堤。

2.填石路堤施工

1)路基填料性质

山体属于风化泥质页岩,通过石料饱水试件的极限抗压强度试验,一般都大于 15MPa,满足设计要求。

2)试验路段

由于缺乏经验,在填石路堤施工以前,采取多种不同的方案,做了填石路堤的试验段。从而确定必要的有关参数,如压实遍数和方法、松铺厚度和压实厚度以及压路机吨位的相应关系等等,便于今后指导施工。

在选取试验路段施工时,应注意所用的材料和机具与实际施工时所用的石料和机具相同。

3)压实机械的选择及压实方法

填料石块本身是密实而不能压缩的,压实工作是使各石块之间松散接触状态变为密实咬合状态。依据这一原理,振动压路机产生的振动力,能使石块产生瞬时振动面向紧密咬合状态移位。由于石块粒径较大,质量也较好,故选用 18t 重型振动压路机进行碾压。

碾压时应特别注意碾压的方法,由于石块同土不同,其相互之间不存在粘聚力,故在中间的石块是松散的,先压两侧不致使石块向边坡方向推移,而后使中间石块由于受到两侧压紧石块的限制而易于压实。同理,对于小半径曲线段,则由内侧向外侧,纵向进退式进行。为确保压实效果,应无漏压、无死角,在横向接头重叠 0.4 ~ 0.5m 进行压实,前后相邻的两区段重叠 1.0 ~ 1.5m 进行压实。在现场施工中采用羊足碾配合,拖碾三遍,先将粒径大的石料碾裂,再用平地机整平,然后用振动压路机碾压,使石料之间的缝隙变小,充填密实以达到紧密状态。

4)压实度的判定

由于填石路堤压实度的判定方法,目前国内外各种规范尚无统一规定,而采用城市道路路基工程施工及验收规范之规定,即当压实层顶面稳定,不再下沉,无明显轮迹时,判定为密实状态。这是因为石块本身是不能压缩的,只要石块之间大部分的缝隙已紧密靠拢,则重型压路机通过时,路堤可达到稳定不再有下沉的轮迹。根据这一原理,在施工中我们采用钢球法测定压实度,具体做法如下:

(1)每 20 ~ 40m 选择一个断面,每个断面设置六个点;

(2)平地机粗平后,在选中的六个点上布置六个钢球,钢球露出松铺面 2 ~ 3cm;

(3)压路机每压一次后,测出钢球的沉降值,当钢球的沉降值不大于 2mm 时,可认为路基已被压实。

由于钢球的钢度足够强,压路机的碾轮与钢球始终保持的是点接触,钢球的变形量可以忽略不计,因此钢球的沉降值较为真实的反映了路基的沉降值,可以作为判定压实度的依据。

5)确定碾压遍数及松铺厚度

依据《招标文件》规定,填石路堤应将石块水平分层填筑压实,其松铺厚度不得超过50cm,且石块的粒径不得大于压实后厚度的2/3。超过的采用二次爆破方法把较大石块粒径改小,对小一些的超尺寸石块,采用人工用铁锤敲击方法改小粒径,不合格的坚决予以清除。

初步确定好松铺厚度后,进行碾压遍数的确定。填石路堤在压实之前,用大型推土机摊铺平整,个别不平之处用人工配合以石屑找平,再用平地机整平。推土机送料时,铲刀与压实层的间距按照由小到大掌握,这样推送填料时石料粒径小于该间距的料先漏下来,而粒径大于该间距的料则不漏下,而被推送至远端。这样在连续不断推送过程中,粒径小的料则能填充先前落下的大料间的空隙及表面,使石料嵌挤紧密,增强了路基的整体稳定性。

通过几组试验数据的对比,采用静压一遍,弱振二遍,强振五遍,为最佳组合。压路机的速度宜为3~6km/h。速度过慢,劳动生产率降低,过快则因压轮对石块的接触点停留时间短,压实效果差。

确定了最佳机械组合,选取30cm、40cm、50cm的松铺厚度进行试验。分层松铺厚度取30cm时,发现因粒径较大,如将石块粒径改小,则费时费力,许多大石块部分露出施工层面,抵抗了压路机的压力,使压实效果相对减弱。此外,这些表面凸起的石块,造成施工层表面不平整,路况环境差,导致压路机和运料车故障多和损坏程度大,对运料车轮胎的破损率非常高,要比一般路基施工高出8倍以上,因而造成工效下降,工程成本大增。

当分层松铺厚度取50cm或60cm时,需增加碾压遍数,经济效益差,不如减少填筑层厚度合算。经比较单位压实费用后,采用松铺40cm厚度最为合适。

6)边坡施工

填石路基边坡防护是一个重要的问题。由于是由石块排列而成,草皮很难在上面生长,因此,采用土包边的方法,解决了这一难题。填筑第一层时,全用石块,从第二层开始在路基两侧各1.5m处用土石混填。采用这种方法,由于第一层是全部由石块组成,具有良好的透水性,不必担心土中的毛细水无处渗透,以保证路基的稳定性。

3.施工中注意的问题

在施工中由于地处的地质环境复杂,填料也是参差不齐,其压实度也不能完全按试验段所确定的遍数,而应根据实情适当灵活运用。多做几组有代表性的试样,以便备用。

石料运输时,应根据确定的松铺厚度,在上一层已压实的路基上打上方格网,由专人指挥按水平分层,先低后高,先两侧后中间进行卸料。填料应按其岩性、坚硬程度(石料强度),将不同岩性的填料分层或分段填筑,禁止两种岩性强度相差过大的填料混填。因为在同种荷载作用下,容易造成路基的不均匀沉降,而形成病害。

石质挖方边坡坡率视岩石风化程度分别采用1:0.5~1:1。严重风化地段,设置浆砌块石矮墙,起挡落石的作用,以保证行车安全。填石路堤在填筑过程中,对边坡要用人工按设计坡率进行修整,超过规范尺寸的大石头要进行清除,不能留在坡面上。

总之,通过对机械配套的选择组合,确定适宜的松铺厚度和相应的碾压遍数,既能保证质量,又能加快进度,从而降低了工程成本。

第四节　土、石混合路堤施工

土石路堤不得采用倾填方法,均应分层填筑,分层压实。每层松铺厚度,应视压实机械类

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

型规格，通过试验路确定，但一般不宜超过 40cm。

当填筑两侧边缘线以下形成填方边坡时，则填筑面的横坡度不小于 4%，且不大于 10%。如原地面有一定横坡，填筑面在山坡上侧边缘线以下未形成填方边坡，则填筑面以单向坡面为宜，填筑面横坡倾向山坡下方，横坡也不小于 4%，且不大于 10%。

压实后渗水性差异较大的土石混合料应分层或分段填筑，一般不宜纵向分幅填筑。

当土石混合料其岩性或土石混合比例相差过大时，应分层或分段填筑，否则应将含硬质石块的混合料铺于填筑层的下面，且石块不得过分集中或重叠，上面铺含软质混合料，再进行整理碾压。

天然土石混合料中所含石料强度大于 20MPa 时，石块最大粒径不得超过压实层厚度的 2/3。当所含石料为软质岩时，石料最大粒径不得超过压实层厚度。当土石混合料中，石料含量超过 70%时，应先铺填大块石料，大面向下，放置平稳，再铺小块石料、石渣或石屑嵌缝找平，然后碾压整型。当石料含量小于 70%时，土石可混合铺填。

一、太旧高速公路十三合同段土石路堤

1.工程概况

太旧高速公路十三合同段，起止桩号为 K96 + 800 ~ K101 + 000，全长 4.2km。路线穿行于崇山峻岭之中，大填大挖是本工程特点之一。

本地区的岩层构成主要为泥岩、砂岩，不少地段两种岩层以夹层形式交错存在，且风化严重，呈碎块状。砂岩粒组成分粗、细两种，有白、灰、黄三种颜色。一般立方体(5cm × 5cm × 5cm)抗压强度在 30MPa 以上。在开山后的碎渣混合料中，其粒径大于 10mm 的含量一般大于 30%。而大量开挖出来的石渣混合料，又必须用于填方，这样大规模地用于高速公路路基填料中，目前尚无成熟的经验和方法。对于其质量控制，有的主张用压实度，有的主张用沉降量，还有的主张采用弯沉。参照这些理论与经验，并结合太—旧路实况，我们对此进行了一些探讨。

2.质量控制

经综合分析，我们认为，沉降与压实度两个指标都能反映出施工质量的好坏。因此，我们以压实度控制为主，以沉降量控制为辅(碾压遍数控制)，对开山碎渣路堤施工进行全方位管理，取得了令人满意的效果。

1)由沉降量确定最少压实遍数

根据业主要求，认为沉降量趋近于零(< 2mm)时，所需的碾压遍数为最少碾压遍数，可认为，此沉降量所对应的填料密度为最大干密度。

为此，我们做了长 60m，宽 20m 的试验路段。填料为开山碎渣，分四层，层厚小于 50cm，用 CA25D 钢轮振动压路机作为碾压代表机械。用标准桩法测沉降量，见图 1-7。

当碾压至 10 遍时，平均干密度 $\bar{\rho}_d = 2.25 g/cm^3$，平均沉降量 $\Delta\bar{h} = 2.03 mm$；当碾压至 12 遍时，平均干密度 $\bar{\rho}_d = 2.23 g/cm^3$，平均沉降量 $\Delta\bar{h} = 0.75 mm$，基本满足趋于零的要求。

对于 YZT16(K)拖式振动压路机，其压实性能比 CA25D 型好得多，因此，可适当减少碾压遍数，并相应增加填筑层厚度，具体论述见下面压实度的确定。

2)采用压实度对质量进行检测

混合料标准干密度依照《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)的方法确定。

从料场取回代表性试样，筛除粒径大于 38mm 颗粒，测出其($d > 38mm$)毛体积相对密度及吸水率，将筛下土样依规程(T 0131—93)做击实试验。得出最大干密度及最佳含水量。并用

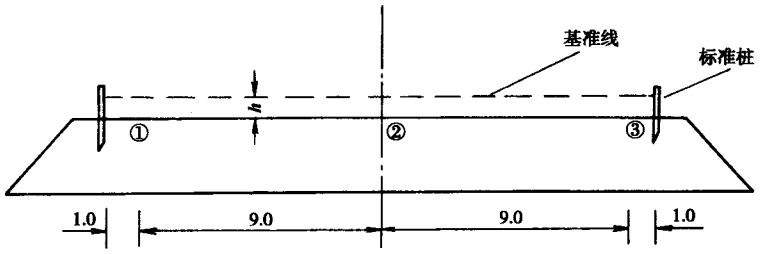


图 1-7　标准桩法测沉降量示意图(单位:m)

注:①、③点为沉降量测点,②为干密度测点。

下面公式进行校正。

(1)最大干密度校正公式:

$$\rho'_{dmax}=\frac{1}{\frac{(1-0.01P)}{\rho_{dmax}}+\frac{0.01P}{G_s}} \tag{1-2}$$

式中:ρ'_{dmax}——校正后的最大干密度,g/cm³;

ρ_{dmax}——用粒径小于 38mm 的土样试验所得的最大干密度,g/cm³;

P——试验中粒径大于 38mm 颗粒的百分数,%;

G_s——粒径大于 38mm 颗粒的毛体积密度,g/cm³;计算至 0.01。

(2)最佳含水量校正公式:

$$w'_o=w_o(1-0.01P)+0.01Pw_2 \tag{1-3}$$

式中:w'_o——校正后的最佳含水量,%;

w_o——用粒径小于 38mm 的土样试验所得的最佳含水量,%;

P——意义同上;

w_2——粒径大于 38mm 颗粒的吸水量。

由于公式(1-2)、(1-3)仅适用于 $P\leqslant 30\%$,且开山石渣中 $d\geqslant 38mm$ 颗粒含量变化不一,但一般不超过 40%(粒径过大者禁止使用),大部分在 30%以下。因此,为简便起见,以 $P=30\%$ 进行校正,求得代表值如下:

$$\rho'_{dmax}=2.28g/cm^3$$

$$W'_o=6.4\%$$

考虑含石量大小,确定干密度标准。

在此,明确三个概念:细粒——粒径 $d<10mm$;粗粒——粒径 $10mm\leqslant d<38mm$;超粒径——粒径 $d\geqslant 38mm$。

(3)粗粒含量小于 30%时,标准干密度的确定可应用以下公式:

$$\rho_{dmax}=\frac{1-0.05P}{\frac{P(1-P)}{\rho_s\rho_{fdmax}}} \tag{1-4}$$

式中:ρ_{dmax}——填料材料干密度,g/cm³;

ρ_{fdmax}——细粒土最大干密度,g/cm³;

P——粗粒含量,%;

ρ_s——粗粒密度,g/cm³。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(4)粗料含量大于30%、小于70%时,其标准干密度的确定可从室内实验确定的含石量与标准干密度关系曲线上直接查得。

由击实试验得到的数据,如表1-17。

击实试验数据　　表1-17

粗粒含量 P(%)	28.4	40	50	60	70
最大干密度 ρ_{dmax}(g/cm³)	2.21	2.24	2.20	2.24	2.16
最佳含水量 w_o(%)	7.9	5.5	6.2	4.9	5.9

下面做出 ρ_{dmax}—P 曲线如图1-8。

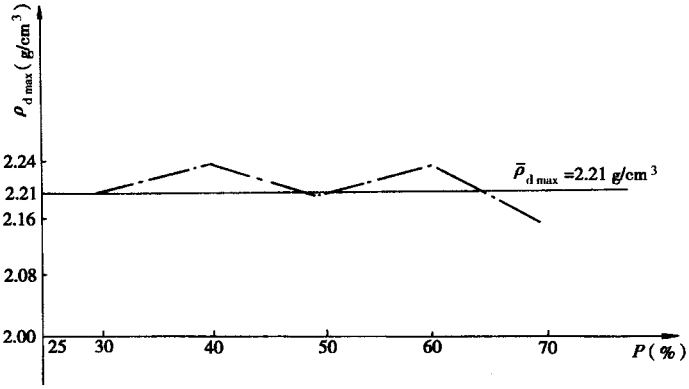


图1-8　ρ_{dmax}—P 曲线

从图1-8可见,各最大干密度 ρ_{dmax} 值在平均值 $\bar{\rho}_{dmax}=2.21g/cm^3$ 上、下摆动,但变化量不大($|\Delta max|=0.05$)。因此,拟用平均值作为最大干密度标准值。

另外,亦可用下面回归分析得出的一元线性方程来确定 ρ_{dmax}。

$$\rho_{dmax}=2.249-0.081P \tag{1-5}$$

粗粒含量大于70%的填料,在实际工程中很少见,可按填石路基施工技术要求施工。

3)压实度的确定

我们在施工过程中,曾先后用两种方法来确定压实度。

(1)根据公式(1-2)及(1-3)确定的标准干密度和最佳含水量,即得压实度计算公式:

$$K_c=\frac{\frac{W}{V}\times(1-w)}{\rho_{dmax}}\times 100\% \tag{1-6}$$

式中:K_c——压实度,%;

W——试坑土料总质量,g;

V——试坑土料总体积,cm³;

w——试坑土料含水量,%;

ρ_{dmax}——标准干密度,g/cm³。

(2)采用第二节所述的方法来确定标准干密度。但在计算压实度 K_c 时,必须剔除超粒径颗粒的影响,具体计算公式如下:

$$K_c = \frac{\dfrac{W - W_G}{V - W_G/\rho_G} \times (1 - w)}{\rho_{dmax}} \times 100\% \tag{1-7}$$

式中：K_c——压实度，%；

W——试坑土料总质量，g；

V——试坑土料总体积，cm^3；

W_G——超粒径石块质量，g；

ρ_G——超粒径石块密度，g/cm^3；

ρ_{dmax}——填料标准干密度，g/cm^3；

w——土料含水量，%。

(3)两种压实度确定方法的比较。

在实际检测过程中，我们对两种不同的方法做了比较，现摘录部分比较结果如表 1-18。

压实度确定比较表 表 1-18

序号	W(g)	超粒径含量(%)	W_G(g)	w(%)	V(cm^3)	K_c(%)		比较$\frac{K_6 - K_5}{K_6}$(%)
						式(1-6)计算	式(1-7)计算	
1	5780	5.8	335.24	6.2	2425	98.2	100.9	2.7
2	5965	16.2	966.33	6.6	2585	95.2	96.2	1.0
3	7450	4.9	365.05	5.3	3008	103.5	106.2	2.5
4	5215	14.1	735.32	6.7	2290	93.9	94.9	1.1
5	6420	15.7	1007.94	4.7	26.85	100.0	102.4	2.3
6	4025	18.6	748.65	6.0	1814	91.7	91.9	0.2
7	4170	11.4	475.38	4.3	1720	102.0	104.5	2.4
8	5815	36.6	2128.29	6.4	2394	100.0	101.0	0.9
9	4435	11.3	501.16	5.5	1831	100.4	103.1	2.6
10	5715	35.1	2005.97	4.8	2425	98.6	98.3	-0.3

注：①由式(1-6)计算 K_c 时，采用 $\rho_{dmax} = 2.28 g/cm^3$；

②由式(1-7)计算 K_c 时，采用 $\rho_{dmax} = 2.21 g/cm^3$；

③取 $\rho_G = 2.51 g/cm^3$。

由表中计算结果分析，由式(1-7)计算 K_c 比式(1-6)计算的结果偏高，但不超过 5%(第 10 项偏小，但也几乎相等)。

为了安全起见，我们采用了式(1-6)来计算 K_c，简便易行，但在与业主的商议研究过程中，我们也采用了经业主承认的比较合情合理的式(1-7)来计算 K_c，使大家都能接受。

4)施工操作

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1)填料采用砂岩碎碴混合料,其最大粒径不得超过填筑层厚的2/3。

(2)压实机具采用CA25D型钢轮压路机及YZT16(K)型拖式振动压路机。

(3)当粗料含量小于70%时,填筑厚度宜为50cm左右,对于CA25D压8遍(90区)、10遍(93区);对于YZT16(K)压4遍(90区)、6遍(93区),然后用灌砂法检测压实度。

(4)粗料含量大于70%时,依填石路基施工技术要求施工。具体做法包括:石料抗压强度必须大于20MPa,砂岩能满足此要求;分层填筑厚度应不大于1.0m;路堤两侧应有不少于2.0m的包边土。

具体做法见图1-9。

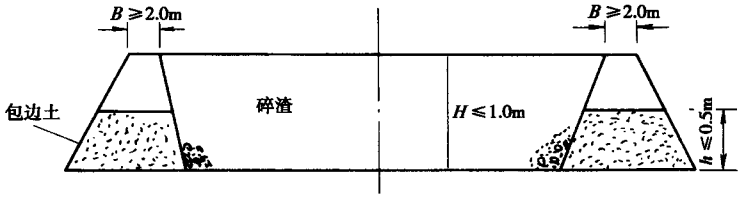


图1-9 碎石土路基

(5)采用YZT16(K)型拖式振动压路机碾压,压实遍数不小于8遍。

(6)适当洒水使石块之间有一层润滑膜,碾压时石块易于相互移动、嵌锁。

3.后记

采用开山碎碴填筑路基在山区公路建设中是不可避免的,如果处理不好,将后患无穷。因此,我们十分慎重,除严把选料关、施工工艺关及检测关外,我们还建议业主在路基完工后,最好能经过一个冰冻期及雨期,待沉降基本完成后,方可进行路面工程的施工。这样,对确保高速公路的使用寿命大有裨益。

二、杭金衢高速公路岩渣碎石土路堤填筑

1.工程概况

杭金衢高速公路地处江南,沿线多为山体,填料粒径大。根据杭金衢高速公路招标文件定义,岩渣是一种经开采其粒径大于40mm的石块含量大于30%的土石混合料。其中石块的最大粒径不大于200mm,是碎石土的一种。

用碎石土填筑路基,相对于细粒土而言,其压实理论与工程实践都还处于摸索阶段。如何有效地控制碎石土填筑质量,对山区高速公路来说,是个关键性问题。经过一年多的施工实践,我们深刻体会到,要控制好碎石土路基填筑,确保工程质量,要从三个方面着手,一是采用合理有利的路基填料,以满足压实度要求;二是现场影响压实因素的有效控制;三是室内确定标准干密度采取正确的试验方法。

2.采用合理有利的路基填料保证压实度要求

1)土质对填料的影响

土的各种工程性质研究,首先考虑的是土粒的物理特性、土的物理状态以及土的三相比例关系,利用这些物理指标,可对土进行分类,间接推测土的其他工程特性,如渗透性、力学强度、压缩性等。碎石土的渗水性好,力学强度大,不易压缩,对处于高地下水位和高降水量的山区高速公路而言是很好的路基填料。

2)碎石土级配对材料可压实性的影响

碎石土属单粒结构土体。压实后土粒排列主要为骨架—空隙和密实—悬浮两种形式。这

两种排列形式取决于碎石土的级配状况。从土的三相体角度考虑，前者的孔隙率大于后者，土粒排列的紧密程度也低于后者。在分子力的作用下，骨架—孔隙排列形式的土粒之间势必寻求一种更为有利的组成形式，以达到最大密实度。这种大颗粒碎石土，难以以压实方式提高材料强度减少其孔隙率。因此在路基材料的选用上宜采用具有良好级配的碎石土。

3)碎石土级配的判定

可采用最大密度曲线理论中最大密度曲线 n 幂公式：

$$P = 100\left(\frac{d}{D}\right)^n \tag{1-8}$$

式中：P——希望计算的某级材料通过量，%；

d——希望计算的某级材料粒径，mm；

D——材料的最大粒径，mm；

n——取 0.3～0.7。

根据路基填料最大粒径为 200mm，利用上式，可得各级材料的通过百分率，如表 1-19。

各级材料的通过百分率 表 1-19

分级顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
理论粒径(mm)		200	100	40	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.074
d/D		1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.00125	0.00037
级配范围曲线	$n=0.3$	100	81.23	61.70	50.12	40.71	33.07	25.12	20.40	16.57	13.46	9.34
	$n=0.7$	100	61.56	32.41	19.95	12.28	7.56	3.98	2.45	1.51	0.93	0.40

按上述级配理论公式计算所得的各级材料通过的百分率，以通过百分率为纵坐标，以粒径的对数值为横坐标，绘制级配范围曲线，如图 1-10。

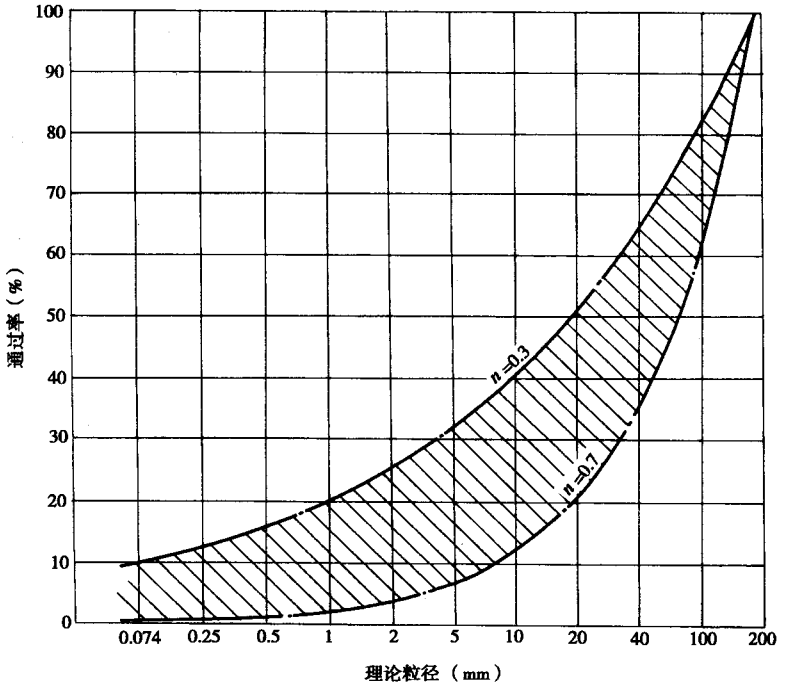


图 1-10 级配范围曲线

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

当碎石土筛分级配落入该级配曲线范围内，则该路基填料为良好的级配材料。

3.现场影响压实因素的有效控制

1)压实机具对压实效果的影响

路基的压实机具种类很多，大致可分为碾压式、夯击式、振动式三大类型。振动式压路机以其振幅带动被碾压的材料参与振动，从而增加了压实影响深度的优势已广泛应用在路基填筑施工中。对于单粒结构的碎石土，采用振动式压路机，通常效果最好。

2)压实工艺对压实效果的影响

碾压过程中振动压路机振幅愈大，离心力就愈大，材料密实效果也就愈好，但若离心力和自重产生的应力超过材料抗压强度，压实效果则会下降。

路基上碎石土摊铺后，如立即采用重型压路机碾压，在压路机钢轮前会产生相当大的推挤，形成大波浪。严重影响平整度及所能达到的压实度，因而，在压实作业中，必须采用先轻后重的方法。振动压路机碾压后，由于表层材料直接随滚轮一起振动。在振动轮压力作用下，表层材料往往变得疏松。要克服这一缺陷，则应在振动碾压后继续静力碾压。在实际施工中，我们通常先静压一遍，后小振一至两遍，大振若干遍后，再静压一遍，以消除一系列影响压实质量的因素。

我们于2000年9月份在杭金衢高速公路第八合同段，K118+710～K118+810段落内，于开工前进行了95区(压实度控制为95%)试验路段施工。填料为红色碎石土(岩渣)，最大干密度为2.28g/cm^3，最佳含水量为6.5%，松铺厚度30cm，现场含水量为7.3%，整平后采用以上施工作业，根据碾压不同遍数，测定压实度如表1-20和图1-11。

压实度测定表 表1-20

施工过程	压路机行走速度(km/h)	平均压沉值(mm)	平均压实度(%)
静压(第一遍)	2.5	10	82.1
小振(第二遍)	2.8	8	85.0
大振(第三遍)	3.0	5	89.0
大振(第四遍)	3.2	3	91.4
大振(第五遍)	3.3	2	93.0
大振(第六遍)	3.3	2	94.1
大振(第七遍)	3.5	1	94.9
静压(第八遍)	3.2	0	95.6

从表1-20和图1-11不难看出，从静压到小振，压实度上涨2.9%，压沉值下降2mm，而当大振后，压实度上涨4.0%，压沉值下降3mm。可见，碎石土路基填筑，大振作业是压实质量提高的根本。

4.室内确定标准干密度的正确方法

1)综合相对密度法

它适用于大粒径含量大的路基填料。根据材料中粒径大于5mm所占的百分比$P_{\geqslant 5}$和粒径小于5mm所占的百分比$P_{<5}$及其相对应的毛体积密度$P'_{\geqslant 5}$和土粒相对密度$P'_{<5}$确定大粒径含量大的路基填料综合相对密度。其计算公式如下：

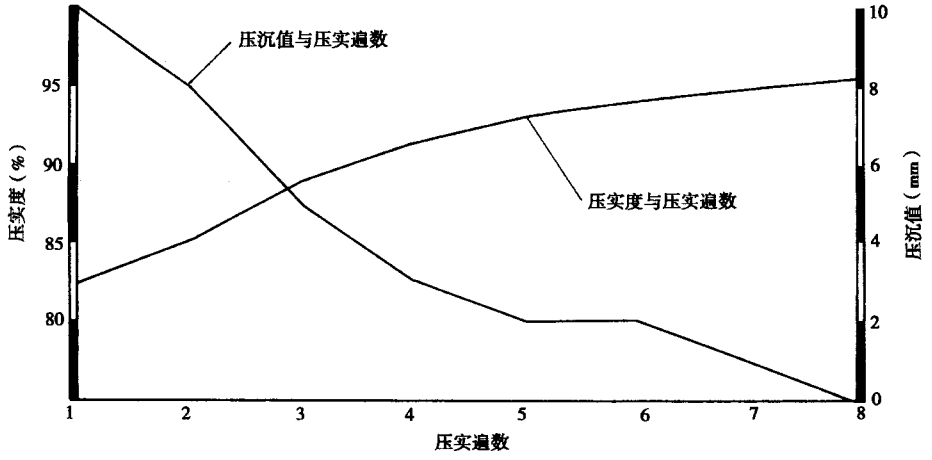


图 1-11　压实度与压实遍数的关系

$$P' = \frac{100}{\frac{P_{\geqslant 5}}{P'_{\geqslant 5}} + \frac{P_{<5}}{P'_{<5}}} \tag{1-9}$$

该计算式中土粒相对密度 $P'_{<5}$的确定可采用比重瓶法，而毛体积密度 $P'_{<5}$的测定方法尚不完善主要采用排水法和水中称重法测定。

采用排水法，在于解决容器的容积与口径能不能满足超尺寸颗粒含量多、粒径大的难题。采用水中称重法，则注重碎石土的岩质情况，对于硬质岩石、软质岩石及岩质新鲜、表面稍有风化的微风化岩石是适用的。但对于极软岩石、强风化、全风化岩石来说，浸水饱和的岩体在水中容易剥落。小于 5mm 的颗料溶于水中，减少岩体质量，同时也增大水的密度，使所得的毛体积密度值减小。由此计算的综合相对密度值偏小，会造成控制现场压实度容易达到要求，甚至超过要求，而实际路基质量并不好。

因此，该试验方法具有很强的机动性，应根据现场土样筛分结果进行数据处理，这样所得的标准干密度才会与实际相符。

2)标准击实试验

确定标准干密度的方法，最常用的还是击实试验。目前采用的大筒击实，由于其模筒尺寸有限，要求最大粒径不超过 38mm(方孔筛)，碎石土超尺寸颗粒含量大，实际应用中还应进行干密度的修正。室内最大干密度修正和现场干密度修正是目前常用的两种方法。

(1)室内修正

该方法是利用超尺寸颗粒所占的百分比与筛除超尺寸颗粒后标准击实所得的最大干密度来确定该材料的最大干密度。

$$\rho_d = \frac{1}{(1 - P_0)/\rho_{dm} + P_0/\rho_0} \tag{1-10}$$

式中：ρ_d——室内修正确定的材料最大干密度；

P_0——超尺寸颗粒所占总质量百分比；

ρ_{dm}——材料筛除超尺寸颗料后所得最大干密度；

ρ_0——超尺寸颗粒的毛体积密度。

该方法也要根据现场土样筛分结果进行数据处理，这样所得的标准干密度才能与实际相符。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(2)现场修正

将现场试洞内材料筛除超尺寸颗粒后,直接利用室内筛除超尺寸颗粒后标准击实所得的最大干密度控制路基压实程度。

$$\rho_u = \frac{m_t - m_0}{V_t - V_0} \tag{1-11}$$

式中:ρ_u——筛除超尺寸颗粒后试洞内材料密度;

m_t——试洞内材料的总质量;

V_t——试洞总体积;

m_0——试洞内材料超尺寸颗粒质量;

V_0——试洞内材料超尺寸颗粒所占百分比。

一般情况,碎石土中碎石颗粒(超尺寸)密度比土颗粒密度大得多。因而在现场调整密度值,实际是减小压实度值。这种筛去法控制施工现场准确且方便快捷。我们可以在挖出试洞内材料后,挑出超尺寸颗粒放入试洞中,再进行灌砂。这样根据剩下的合适尺寸颗粒与洞中砂质量就可求出合适尺寸颗粒的湿密度。从而减少二次试验,加快施工进度。

一年多来,我们对砾石土进行了有关试验,其结果可见表 1-21。

试验结果表　　表 1-21

土场名称	试验时间	土质情况	综合密度(g/cm^3)	筛除超尺寸颗粒后土的密度(g/cm^3)
后宋 2 号借土场	00.5.14	强风化砾类土	2.42	2.30
五塘村取土场	00.10.31	泥质粉砂岩	2.30	2.07
K104 + 950	00.10.24	新鲜灰色岩体	2.63	

由上表可看到,当碎石土为强风化或粉砂类岩石时,用综合相对密度法以 83% 的压实控制路基填筑质量,与用筛除超尺寸颗粒后密度以 95% 的压实控制路基填筑质量相比,往往控制不到位。但当碎石土为新鲜岩体时,其综合比重达到了 $2.63g/cm^3$,换算成筛除超尺寸颗粒后密度为 $2.30g/cm^3$。能满足现场施工要求。

(3)最大干密度查表法

碎石土填筑存在着不均匀性,这主要是现场摊铺不均,因而在路基检测过程中,可能出现压实度超百或达不到要求的现象。采用最大干密度查表法,能有效地避免此类情况。

最大干密度查表法是筛除超尺寸粒径后的碎石土按照材料中粒径大于 5mm 所占的百分比由 0 到 100 相应的最大干密度绘制出大于 5mm 颗粒所占的百分数与最大干密度曲线图。压实度检测时结合现场干密度修正法,同时根据大于 5mm 颗粒所占的百分数,由该曲线图查得相对应的最大干密度控制压实质量。

三、风化红砂岩地区路基施工

湖南省湘潭—耒阳高速公路穿行于湖南省东南部的山岭重丘区,路基土石方工程艰巨,而其中路基开挖的土石方中的红砂岩在沿线广泛分布。由于红砂岩特殊的岩土性质,如何能使其适用于路基填筑,保证工程质量,避免大方量的弃方借土,降低工程的造价,加快工程进度有着重要的意义。以下就谈谈红砂岩的特性与施工的特点。

1.红砂岩定义

湘耒高速公路沿线广泛分布的泥岩、砂质泥岩、泥质或砂质页岩等沉积岩，常因富含有铁的氧化物而呈红色、深红色或褐色，施工时统称这类岩石为红砂岩。

2.红砂岩的特性

红砂岩多为砂岩、泥岩、粉泥岩、页岩等互层，岩石成岩度差，岩质强度有高有低，抗风化能力差，遇水易崩解，开挖时除表面层风化成土外，下层紧密坚硬成岩石状，常常需要爆破施工。填筑时部分红砂岩，因其风化或遇水崩解而成为岩土，施工时应根据不同情况区别对待。通常红砂岩土的液限在35～40之间，塑限在18～22之间，塑性指数小于20，最大干密度大于1.70 g/cm^3，最佳含水量在10%左右，其CBR值非常低，压实度为90%～100%时，CBR值大都在0.2%～0.4%之间，根本不满足高速公路路段填土的最低要求3%。

3.红砂岩的分类

红砂岩的分类是为了施工方便，根据其工程特性将红砂岩简单地分为两大类。开挖后，遇水崩解或单轴饱水抗压强度小于15MPa的红砂岩归为“岩土”类。开挖后，单轴饱水抗压强度大于等于15MPa的红砂岩归为“岩石”类。

4.红砂岩的试验

1)单轴饱水抗压强度试验

用于路基填筑材料的红砂岩，必须做该项试验，以确定其强度大小，该项试验应按《公路工程石料试验规程》的有关规定进行。

2)崩解性试验

(1)试验方法

①取有代表性的砂岩试块10枚左右(每块粒径以20～60mm为宜)置于托盘内，再放入烘箱在105℃恒温下烘干，烘干时间不少于8h。

②将烘干后的试样从托盘取出，放入干燥器内冷却至室温(0.5～1h即可)。

③将冷却后的试样放入玻璃盆或其他敞口容器内，至水淹没试样为止，并开始计时。

④观测和记录试样24h的崩解情况。

(2)浸水24h的试样崩解情况

①不崩解：浸水后试样未崩解，或仅在某些尖棱尖角处有少量崩解，且崩解量不大于总量的1%。

②块状崩解：浸水后试样崩解呈块状。

③粒状崩解：浸水后试样崩解呈颗粒状。

④渣状崩解：浸水后试样崩解呈渣状。

⑤泥状崩解：浸水后试样崩解呈泥状。

3)强度小于15MPa红砂岩的有关试验

(1)该类红砂岩按技术规范规定的有关土工试验项目进行试验。

(2)界限含水量试验、颗粒分析试验必须先让红砂岩崩解，取崩解部分试验。

4)强度大于等于15MPa红砂岩的有关试验

(1)该类红砂岩照技术规范有关岩石的试验项目进行试验。

(2)该类红砂岩用于浸水路堤底部的填筑时，必须先进行崩解性试验，确定其崩解情况。只有当不崩解时，才可充当该部分的填筑材料。

5.红砂岩路基施工的特点

1)“岩石”类红砂岩路堤填筑施工，按技术规范中填石路堤的技术规定执行。“岩土”类红

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

砂岩和“岩土”“岩石”红砂岩混合料填筑路基时，除按技术规范中的有关规定施工外，还应考虑到红砂岩的特点施工。

2)填筑红砂岩路堤最大松铺厚度应控制在40cm以内，含水量应控制在最佳含水量±1%的范围(红砂岩对含水量敏感)。路堤压实应采用40t以上振动压路机碾压。

3)当采用“岩土”类红砂岩或“岩土”“岩石”红砂岩混合料进行路堤填筑时(这是红砂岩路基最普遍的型式)，最大粒径应控制在25cm以内，以利于碾压密实。

4)挖方路段的红砂岩若需要爆破时，应采用小药量分层松动爆破，爆破层厚不应大于2m。由于沉积的红砂岩节理不发育，爆破后常常出现大块的红砂岩不能直接用于路基填筑，就需要采用多种手段将其解小，以便于平整碾压。破碎解小采取的办法有机械爆破锤、二次爆破、风镐、人工，其中以机械爆破锤效率最高。

5)红砂岩填料运到填方路段后，用161.7kW以上的推土机推平，勾松“耙压”以使成岩石状的红砂岩相互嵌挤密实，对于层状的大块岩石(层厚在25cm以内)也可辅以人工摆放平整，填料时应先填大料，上层填细料，以便细粒料嵌挤在大粒料之间平整碾压。

6)为了防止水的侵害，填筑红砂岩路堤时路拱横坡宜采用4%，遇雨及雨后，下层填土必须重新检测压实度，若不符合规范要求，要重新进行碾压。

7)构造物台背回填不准采用红砂岩填筑。

8)路槽底以下30cm，以及低洼易积水、浸水路段不得采用“岩土”“岩石”类红砂岩混填或“岩石”类红砂岩填筑。路槽至少30cm以内应采用合格或经处理合格的填料填筑。

9)为使红砂岩不受水的侵害或风化，在可能条件下(即有其他可用土)尽可能采用包边土的方式施工。在路堤填筑时两侧边坡留一个车道位置(方便运料和碾压)，中间填筑红砂岩，使红砂岩包在路堤的中间保持其稳定性。同时可以解决红砂岩不易修整边坡和土质贫脊不易植草绿化的问题。

10)红砂岩路基压实度的检测。红砂岩强度小于15MPa的填“岩土”路基，应按填土路基压实度检测，检测方法可采用灌砂法或核子密度仪法，如有困难或疑问，应采用水袋法。红砂岩强度大于15MPa的填“岩石”类路堤或“岩土”“岩石”混填路堤按常规的填石路基或土石混填路基进行压实度控制。

在红砂岩路段的施工中，我们认真分析其岩土特性，科学试验分类，注意填筑部位，保证压实机械吨位和压实遍数，路基填筑达到距顶面30cm时，经大吨位冲击压路机压实，下沉量很小(最大不超过5cm)，路基填筑完成后弯沉及各项检测指标均满足要求。

由于其岩土性质，红砂岩路基施工，开挖困难，填筑要求高，质量不易控制，施工进度慢，使得红砂岩的施工成为难点。如何能高效率、高质量地进行施工仍然是一个需要研究的课题。

第五节　石墨矿渣路堤施工

潍莱高速公路起自潍坊市南的206国道，终于莱阳市太平庄东端与烟青一级公路连接，其中有68km长的路线在平度境内，而平度产有大量的石墨矿渣，沿线距主线5km范围内堆存有100多万m^3，占用耕地现象较为严重。如能在潍莱高速公路上作为路基填筑材料，既能解决矿渣占地又可解决公路取土坑的问题。但由于其性质类似砂性土，对其使用心中无底，因此在征得甲方的同意后，我们进行了详细的试验研究。

一、石墨矿渣的组成及特性

1.颗粒组成

经筛分试验，矿渣粒径均在10mm以下，并具有一定的级配，如表1-22、图1-12所示。细度模数分别为1.99、2.06、2.07。

筛分记录　　表1-22

编号 \ 孔径(mm)	20	10	5	2	0.5	0.25	0.074
Ⅰ	100	97.5	94.8	88.2	69.5	33.3	7.8
Ⅱ	100	99.5	96.1	85.9	64.1	34.3	11.9
Ⅲ	100	100	98.9	93.6	68.6	27.7	4.5

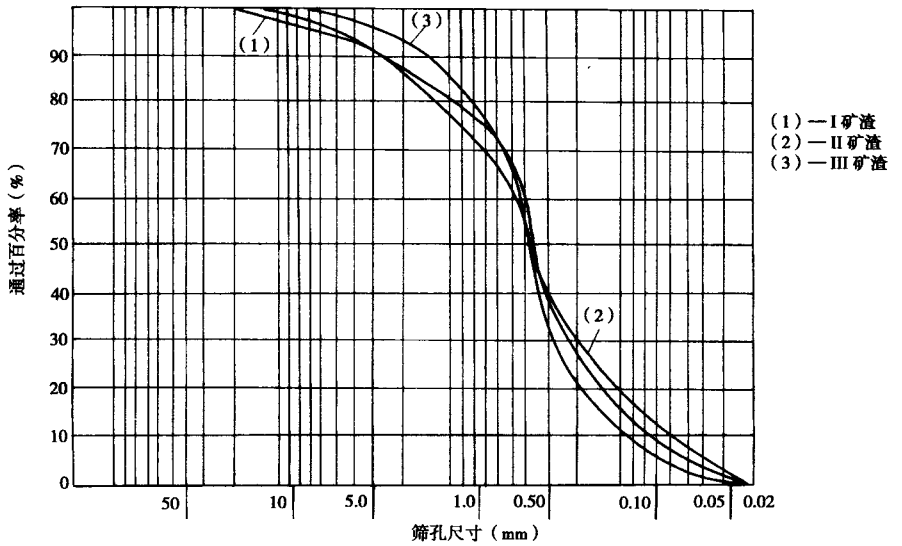


图1-12　矿渣级配曲线

2.化学分析

通过委托山东交通科研所测定，其化学成分如表1-23所示。其中硅铝含量达68%以上，烧失量3.63%，pH值为7~8，呈碱性。

矿渣主要化学成分　　表1-23

名称 \ 化学成分(%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	TiO_2	Na_2O	pH值	烧失量
矿渣	56.28	12.1	5.71	8.17	7.50	0.27	2.82	1.44	1.96	7~8	3.63

3.石墨矿渣与土的水理、物理力学性能

根据我们的试验结果，矿渣具有一定的低塑性，回弹模量53~72.6MPa，CBR值40%~72.5%，类似砂土性质，渗透系数大，毛细作用小，优于当地土的性能指标，如表1-24和表1-25。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

矿渣与土的物理指标比较　　表 1-24

试验项目 \ 土名	I矿渣	II矿渣	III矿渣	土
天然含水量(%)	6.5	6.5	6.5	16.8
松方密度($10^3kg/m^3$)	1.42	1.32	1.25	
相对密度	2.75	2.75	2.64	2.70
液限(%)	25.4	24.0	27.5	31.0
塑限(%)	20.0	19.8	21.5	12.0
渗透系数(cm/s)	1.0×10^{-4}	2.5×10^{-5}	$2.6\times10-5$	$2.83\times10-9$
毛细水上升高度(cm)	45	50	40	58

矿渣与土的力学指标比较　　表 1-25

试验项目 \ 土名		I矿渣	II矿渣	III矿渣	土
最佳含水量(%)		12.0	11.0	12.5	11.8
最大干密度(g/cm^3)		1.98	2.09	1.94	1.99
CBR(%)		72.5	40.0	42.2	
回弹模量(MPa)		72.6	69.7	53.0	
粘结力(kPa)	不饱水	44.1	40.1	44.4	
	饱水	33.0	34.0	39.0	
摩擦角(°)	不饱水	39.8	47.0	41.4	
	饱水	39.0	43.5	41.0	

通过以上几个表中的数字表明,矿渣含有较高的硅铝成分,由于这些物质具有较强的化学活性,通过一系列的化学变化,凝聚成牢固的整体达到较高的强度。即使在饱水的情况下,其粘结力及摩擦角也损失不大,而其抗腐蚀性和板体性以及抗冻性等又较好,完全符合路基规范的要求。因而在 68km 长的路基上,都采用了石墨矿渣填筑。不仅加快了进度,也取得了可观的经济效益,从 1997 年至今,路基路面稳定状况仍然良好,无质量后患。

二、石墨矿渣的填筑

1.基本要求

由于矿渣渗透系数大,以及在重型标准压实条件下粘结力为 33～39kPa,饱水摩擦角为 39°～

43°等特点，为便于施工期间路基在最佳含水量的情况下进行压实，应在路基底部先铺设 10cm 厚的土质路拱，并设 2%～3%的横坡，边坡设不小于 1.0m 厚的粘土保护层，并在保护层中设置纵横向盲沟，其间距 30m，盲沟断面尺寸为 25cm×25cm×150cm，用具有一定级配的砂砾填筑，并予以夯实，以利排水畅通。同时为保证路基顶面平整度，可采用土质封顶，厚度约 0.5m。

所采用土的塑性指数，以不低于 15 为宜。坡度一般为 1∶1.5，这样既可提高矿渣路基的稳定性，亦有利于边坡的植被和防护。

路基横断面如图 1-13 所示。

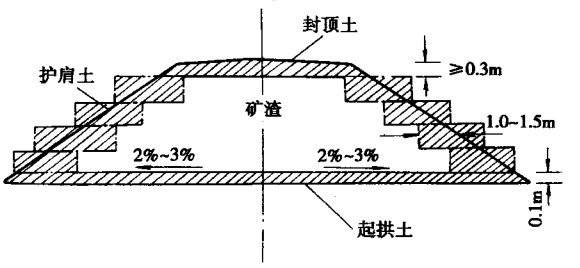


图 1-13　矿渣填筑路基横断面图

2.施工要求

1)填土先从路基坡脚开始做土质路拱，要求达到规定的压实度(≥90%)。在摊铺矿渣前，先填筑护肩土，并予以预压，其宽度不小于 1.5m，以防削坡后厚度小于 1.0m，填筑每层矿渣与护肩土可同步摊铺，同步碾压，以增强粘结性和结构整体性。

2)摊铺压实

首先用推土机摊铺，并初平设置路拱，也起到了稳压作用，然后用平地机整平、整型。在碾压之前对其含水量进行实测检查，并注意其均匀性，否则需及时调整。在达到最佳含水量范围内后，方可开始碾压。

每层矿渣松铺厚度为 30cm，经初平、洒水、稳压、整平、整型后，对压实度要求为 90%的区段，可采用 CA25D 振动压路机先静压一遍，重振两遍，最后静压一遍，即能达到规定要求。

此外，在采用 50t 拖振碾压时发现，第一次重振时压实度为 80%，接着再重振几次，其压实度增加无几，每次仅为 1%，可见单纯使用拖振，压实度是达不到要求的。后来这一段路基用重车来回跑了几次，发现检测压实度全部大于 93%，有半数在 95%以上。因此，我们采用先拖振碾压一遍，再用轮胎压路机静压成型，以此作为压实度为 93%区段的规定要求。

3)施工注意事项

护肩土须先在土场进行晾晒，尽可能达到最佳含水量范围。这样使路基成型时路肩护坡与矿渣可以同步碾压。

矿渣的变化比较频繁，应及时进行试验检测，这不仅与压实机具的选用有关，更关系到合理运用最大干密度的正确性。

由于石墨矿渣类似砂性土的性质，为防止雨水对边坡的冲刷，护肩土宽度必需达到1.5m，经削坡后，最小保持 1.0m。

4)质量要求可按照《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—98)有关规定执行。

三、运用前景展望

我们为探索扩大使用范围，对矿渣直接用水泥稳定，试验结果表明，水泥掺量为 8%时，可满足底基层强度的要求，但这既不经济又易产生收缩裂缝。因此，我们又进行了水泥稳定碎石矿渣试验，水泥剂量为 4%，最大干密度 2.30g/cm^3，最佳含水量 6%～8%，7d 无侧限抗压强度 2.3MPa，最小值 2.20MPa，标准差 0.06，偏差系数 0.03，从细粒含量以及水泥用量分析，均能满足底基层要求。但由于未经实践，效果如何，以及耐久性抗疲劳等特性还未掌握，有待进一步探讨。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第六节　吹填砂和细砂路堤施工

一、吹填砂路堤施工

1.工程概况

1)南昌市一江两岸工程是南昌市重点工程新八一桥的配套工程,全长 3059.54m,全线沿赣江边岸布设,其中岸坡工程为 1713m,根据工程实际情况,我们采用了吹填路基施工。

2)赣江河道地质及水文气候。本工程沿河岸线,地形复杂,地质条件较差,从钻孔情况来看,河床覆盖层 5～10m 范围内绝大部分为松散中砂、细砂、特细砂、杂填土,其中以细砂、特细砂含量最多。个别地段砂层中还夹有淤泥透镜体。细砂和特细砂呈黄灰色,饱和松散,标准贯入击数 3.7 左右,最低标贯击数 1.8。赣江每年九月至次年一月为枯水期,其余时间为梅雨季节,水位都较高。因此,本工程的吹填工作在枯水季完成比较适宜。

2.吹砂船选型

1)根据工程设计和水位、地质以及挡土墙的泄排水等情况,我们选用 200m^3/h 绞吸式吹砂船。因它具有挖、吸、排一次完成的自动化特点,机械化程度较高,成本又较其他船型略低,技术性能较符合本工程要求。

2)由于本工程离停船码头很近,吹砂船可直接由码头从水路开到施工地点。

3.现场布置

1)船位布置

由于施工段在江上游,其路段为 K6＋100～K6＋400 和 K7＋380～K9＋890,占总吹砂段长度的 40%,而方量占总方量的 80%。所以根据吹填量及地层情况,我们采用先集中深层砂地段布置船位,然后就近分段布置,同时也考虑了吹填距离在吹砂船有效行程之内。

2)建造围堰

根据吹填区的地形、范围,围堰应建在地面平整或有高岗、土梗、老堤处,以减少工程量。不宜建在斜坡上,防止滑坡。围堰形式,我们采用梯形断面,如图 1-14 所示。

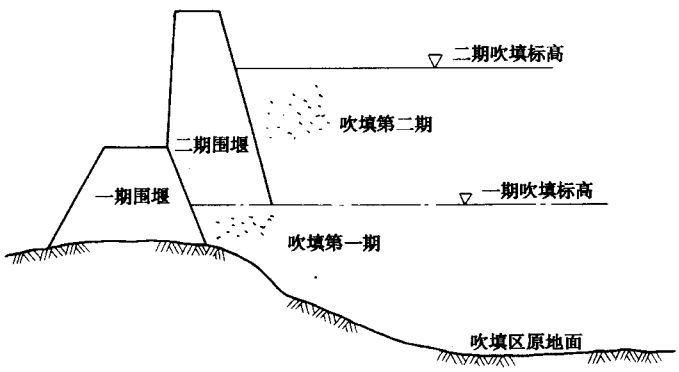


图 1-14　围堰示意

如分期分层吹填,围堰可相应分期分层填筑。但上层的外坡角应落在下一层内坡上,且渗水的浸润线不应超出下一层的外坡角,以保安全。填筑围堰材料应因地制宜,一般用粘性土夯

实或用袋装土堆筑。其边坡坡度可参考表1-26选用，必要时需经计算确定。

围堰边坡参考表 表1-26

项目 / 土层	边坡		备注
	内	外	
混合土	1:1.5	1:2	稍加护坡
砂质土	1:2	1:2.5～1:3	用草皮或草袋护坡
草袋装泥	1:0.5	1:1	
片块石	1:1	1:1	内坡要考虑防漏防渗

围堰顶标高可按下式确定：

$$h = h_T + h_C + h_A \tag{1-12}$$

式中：h_T——设计吹填标高，m；

h_C——预留沉降量，m；视围堰土质及地基而定；

h_A——安全储备，m；内河取0.3～0.5m，海港取0～1.0m，视不同土质围堰及坡度而定。

3)设置泄水口

泄水口的位置与吹填区的面积、排砂管的出口位置和方向有关，一般设在远离排泥管道的吹填区死角处(静水)，但泄出的水不要影响周围环境。泄水口的高度与吹填高程相适应，结构形式能调节吹填区水位，且牢固、经济、易于维护，泄水渠有消能、防淤等措施(如设置泥浆泵等)。

泄水口的总泄水流量和数量可按下式计算：

$$Q_Z = K_z Q(1 - P) \tag{1-13}$$

$$n_x = Q_z / \bar{q} \tag{1-14}$$

式中：Q_z——总泄水流量，m^3/s；

Q——排砂管总流量，m^3/s；

P——泥浆浓度，%；

K_z——修正系数，取1.1～1.5；

n_x——泄水口个数；

$\bar{q}$——泄水口平均泄水流量，m^3/s。

泄水口的形式一般有溢流堰式、跃水式和活动式。活动式就是在围堰内埋设一组或几组在不同标高的泄水管道，因结构简单，安拆方便，多用于小型吹填工程，我们也采用此法。活动式泄水口的过水面积一般采用排砂管断面面积的2～6倍。

4)敷设排砂管线

排砂管一般由管架、陆上排砂管和水上浮筒组成，如排水管通过航道或因气候、海况等条件限制，不能用水上浮筒时，可改用水下潜管。

在确定管线总长度和布置形式时，应充分考虑吹填过程中的水头损失，并应使总的水头损失小于挖(吹)砂船泥泵的扬程。因此，管线应尽可能采取直接形式布置，避免因陡坡、急弯而产生负压。陆上排砂管敷设位置应选在交通方便的路边、岸旁，不要与铁道、公路、河道交叉，如必须交叉应下埋或架高。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

根据吸扬式挖砂船的功率以及土质情况，排砂管的布置间距可参考表 1-27 确定。敷设时，管底宜铺设砌块、枕木、泥土等衬垫物，接头要紧固封密。此外，为获得较好的吹填平整度，对吹填工程除干线外，尚需敷设支线，干、支线连接处设通管和阀门。

排砂管敷设间距表 表 1-27

土质	间距(m)　吸扬式挖船功率(0.735kW)　分项	< 500	500 ~ 1 000	2 000 ~ 3 000	4 000 ~ 5 000	> 7 000
淤泥质粘土	临时围堰与排泥管之间	10 ~ 15	10 ~ 15	20 ~ 25	25 ~ 30	25 ~ 30
	干管和干管之间	100	180	300	350	400
	支管和支管之间	40	60	100	150	180
粉砂	临时围堰与排泥管之间	10	10 ~ 15	20	20 ~ 25	20 ~ 25
	干管与干管之间	80	150	250	300	350
	支管与支管之间	30	50	80	100	120
砂	临时围堰与排泥管之间	5 ~ 10	10	15	20	20
	干管与干管之间	60	120	200	250	300
	支管和支管之间	20	40	60	80	100

(1)永久性围堰与排泥管之间的距离，宜比临时性围堰加大 5m 左右。此外，支管按照现场情况适当布置。

(2)砾石的排砂管线要比砂的排砂管线间距缩小 20% ~ 30%。

(3)水上浮筒管线曲度要平缓，切忌有死弯，管线长度根据挖槽长度确定，且留有富余量。为克服水流、风浪和吹泥冲击力的影响，管线要用锚固定，锚重的选用见表 1-28。

锚重选用表 表 1-28

泵的功率(0.735kW)	350	500 ~ 750	1000 ~ 1500	2000 ~ 3000
排泥管直径(mm)	410	460	560	610
锚重(kN)	3	3	4	6

二、细砂填筑路堤施工

河南省开(封)—洛(阳)高速路郑州—开封段，途经中牟县境，该县砂丘星罗棋布，设计中采用了当地细砂作为填筑路基材料。通过实际施工，取得了较好的经济效益和一定的经验。现将路堤填筑的施工要求，扼要的介绍如下。

1.细砂特性

1)细砂或低液限粉质土，塑性指数很低，一般在 4 以下。因此，填砂路堤必须设置防护。

2)细砂自然干密度平均只有 1.49g/cm^3，与平均最大干密度 1.80g/cm^3 相差较大。因此，凡在挖方地段，应先挖除砂丘，重新摊铺碾压，填方段也应类似处理。

3)自然砂丘的平均天然含水量只有 3.46%(夏、冬两季取样)，而击实平均最佳含水量为 11.7%，所以在填砂路基的施工中，必须喷洒大量水分，才能压实，且应喷洒均匀，施工及时。

2.细砂路堤的防护措施

1)填砂路堤必须包边护坡，为防止暴雨冲刷，确保路基安全，包边土厚 1.0m 是适宜的。

2)用片石砌护,在理论上可靠,但必须保证砌护的工程质量,如坐浆饱满、缝隙封死,不留渗水的进出口。如果封堵不严,大量渗水进入路基以内,渗水必会寻找出路,而会危及填砂路基的安全。

3)至于片石花拱,由于拱内填砂边坡暴露面积太大(3m×3m),即使拱内表层砂土挖除,改换粘性土,但边坡夯实不好,尤其拱圈内周边处难以密实,而成为填砂路基的薄弱环节,危及路基的安全。接近路面的顶部边坡以浆砌片石为宜。

4)在施工中必须控制每层松铺厚度不超过30cm,并在最佳含水量下进行碾压,填筑中必须进行适当洒水,以利路基稳定。

第七节 粉煤灰路堤施工

一、一般要求

凡是电厂排放的硅铝型低铝粉煤灰,都可作为路堤填料。由于是轻质材料,对减轻土体结构自重,减少软土地基路堤沉降,提高土体抗剪强度,均有很好的效果,且有废物利用、节约投资、减少污染和占地等社会效益。因此,目前在高速公路中,粉煤灰路堤已得到普遍的采用。

粉煤灰路堤一般由路堤主体部分、护坡和封顶层(粘性土或其他材料),以及隔离层、排水系统等组成,其结构如图1-15所示。

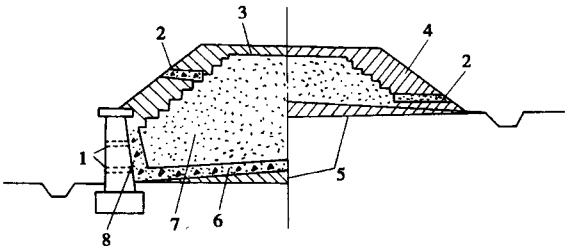


图1-15 粉煤灰路堤结构示意图

1-泄水孔;2-盲沟;3-封顶层;4-土质护坡;5-土质路拱;6-粒料隔离层;7-粉煤灰;8-反滤层

粉煤灰路堤应先调查料源,作好必要的室内试验,以便掌握材料工程特性。室内试验可按表1-29进行。

室内试验一览表 表1-29

序号	试验内容	应提交的试验结果	备注
1	含水量	天然含水量范围	
2	相对密度	相对密度	必要时测定
3	密度	天然密度变化范围	
4	液限	液限	
5	颗粒分析	粒组成分、级配曲线	小于0.074mm含量应大于45%

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

序号	试 验 内 容	应提交的试验结果	备　注
6	天然休止角	天然休止角度(干燥、水中)	必要时测定
7	毛管水上升高度	强烈毛细水上升高度	必要时测定
8	化学分析	化学成分、烧失量、pH 值	烧失量小于 12%
9	重金属含量测定	浸出液有害微量无素含量报告	
10	击实试验	最大干密度、最佳含水量	重型击实
11	不排水抗剪强度	粘结强度 C,内摩擦角 φ(饱水、不饱水)	
12	回弹模量	回弹模量值(饱水、不饱水)	必要时测定
13	承载比	CBR 值	必要时测定

对采用的护坡土,其塑性指数 I_P 应大于 6,并采用重型击实法进行击实试验。

以上项目的试验方法均遵照《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)执行。

二、粉煤灰路堤填筑施工步骤

其施工步骤基本与土路堤施工方法相类似,仅增加了包边土和设置边坡盲沟等工序。其工序包括基底处理、粉煤灰储运、摊铺、洒水碾压、养护与封层等,尤其是压实度能否满足要求又取决于摊铺厚度、含水量控制、压实机械种类和碾压遍数,因此在正式施工前,应先做试验路段,以便取得参数,指导施工。

1.粉煤灰储运

过湿的粉煤灰应堆高沥干水分,过于干燥的粉煤灰应在摊铺前 2~3d 堆场洒水闷料,使含水量调节到略高于最佳含水量,尽量减少现场的洒水工作量。

运输方式要因地制宜,尽量采用大吨位自卸汽车和机械化装车,减少中转环节,降低运输成本。为防止运输途中扬尘污染,必要时应采取防护措施。

2.粉煤灰摊铺

摊铺前先放样画出路堤边线、土质护坡界线、盲沟位置等。边线要准确、顺直。弯道要圆顺,摊铺长度应以能够当天摊铺当天碾压完成为宜。粉煤灰路堤应采用水平分层填筑法施工,当分成不同作业段填筑时,先填地段应分层留台阶,使每个压实层相互重叠搭接,长度应大于 150cm,以保证相邻作业段接头范围内的压实度。

土质护坡应与粉煤灰填筑同步进行。土质护坡摊铺宽度应保证削坡后的宽度满足设计要求,并做好土质护坡的排水盲沟。

摊铺前应在路堤中心、路堤边缘等处设置松铺厚度控制桩,粉煤灰松铺系数应通过试验确定,当无实测资料时,可按下列数值选用,并在施工中予以调整。

人工摊铺　　1.5~1.7

推土机摊铺　　1.2~1.3

平地机摊铺　　1.1~1.2

3.粉煤灰的含水量控制

从粉煤灰击实曲线可看出,它比土的含水量变化范围要大得多。虽然粉煤灰吸水量大,但

泄水也快，所以控制碾压时的含水量应略大于最佳含水量是至关重要的一环。现场压实作业的实践证明，含水偏小时，表层易起壳松散，在压路机轮下有推移现象产生，影响压实效果。当含水量略大于最佳含水量3%～5%时，碾压过程中表层略有溅水，碾压结束时表层较密实，且能达到要求的压实度。

已摊铺的粉煤灰因故造成过湿或过干，应晾晒或喷洒水分调整含水量，以达到1.0～1.1倍最佳含水量为度。加水量可按下式计算：

$$Q = \frac{LBH\rho_w}{1 + 0.1w_0} \times 0.1(w_1 - w_0) \tag{1-15}$$

式中：Q——所需加水量，kg；

L——路段长度，m；

B——路段宽度，m；

H——松铺厚度，m；

ρ_w——松铺湿密度，kg/m^3；

w_0——粉煤灰原始含水量，%；

w_1——粉煤灰要求达到的含水量，%。

4.粉煤灰碾压

压实厚度应根据压实机械种类和压实功能大小而定，事先应进行碾压试验。一般20～30t的中型振动压路机，每层压实厚度不大于20cm；中型振动羊足碾或40～50t的重型振动压路机，每层压实厚度不得大于30cm。

碾压应遵循先轻后重、先低后高、先慢后快的原则。对人工摊铺的灰层宜先用履带式机具或3～12t压路机静压1～2遍，稳压后，用振动压路机碾压3～4遍。机械摊铺的灰层可直接用20t以上中型或重型振动压路机碾压3～4遍，再静压1～2遍。每层粉煤灰碾压结束后，应对其质量进行检测，检测项目如表1-30所示。

中间质量检测项目频率及标准 表1-30

序号	项　目	频　率	质量标准	备　注
1	含水量	异常时随时测	在最佳含水量范围内	
2	外观	随时全面观察	无湿软弹簧、无明显轮迹	目测
3	填筑厚度	每层每100m设控制断面	符合要求	挖坑检查
4	压实度	每层每100m检查2处	不小于设计规定	环刀法或灌砂法
5	护坡宽度	每100m 1处	不小于设计值	皮尺丈量

对局部边角地带，如检查井周围、桥台或挡土墙后背、沟槽回填处等不能使用压路机碾压的部位，应采用小型手扶式振动压路机、蛙式夯实机进行碾压到要求的压实度。由于粉煤灰压实时的含水量较高，为防止粉煤灰含有大量冰晶而影响压实效果和工程质量，因此，施工气温应在0℃以上。铺筑上层时，应控制卸料汽车的行驶方向和速度，并不得在下层灰土上调头、高速行驶、急刹车等，以免造成压实层的松散。当粉煤灰填筑到路槽以下30cm后，可换用与护坡土相同的粘性土进行封顶，以确保粉煤灰层的稳定性。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

高速公路纯粉煤灰路堤压实度要求，如表 1-31 所示。

粉煤灰路堤压实度标准 表 1-31

路堤类型	距路槽底深度(cm)	压实度(%)
纯灰路堤	0～30(封顶层)	95
	30～80	93
	80～150	92
	>150	90

注：①本表摘自部颁标准《公路粉煤灰路堤设计与施工技术规范》(JTJ 016—93)；

②封顶土层一般厚度为 20～30cm，按土方路基压实标准要求；

③灰土间隔路堤可参照执行；

④特殊干旱或特殊潮湿地区，表内压实度数值可减少 1%～2%。

三、粉煤灰路堤施工实例

1.唐津高速公路河北境内天津界至陈庄段三合同

地处滨海沉积平原地段，起迄桩号为 K110＋000～K115＋800，全长 5.8km。本段内地下水发达，水位较高，沿线农田及排灌水渠纵横交错，大部分沟渠常年积水，水深达 1.0～7.5m，属软弱地基。

由于粉煤灰自身具有重量轻、强度高、透水性好的特点，因此，利用粉煤灰填筑路堤，沉降变形相对减少，从而也相应提高了地基的抗滑稳定性。此外既能节约土地，又能减少污染和便于雨季施工，三合同段全线除桥头和涵洞两端外，均采用了超载预压＋粉煤灰＋砂砾垫层＋土工织物砂垫层的方法进行处理。

粉煤灰路堤的施工全部采用唐山电厂的湿排灰，共使用 22.97 万 m^3。粉煤灰路堤的结构形式，如图 1-16 所示。

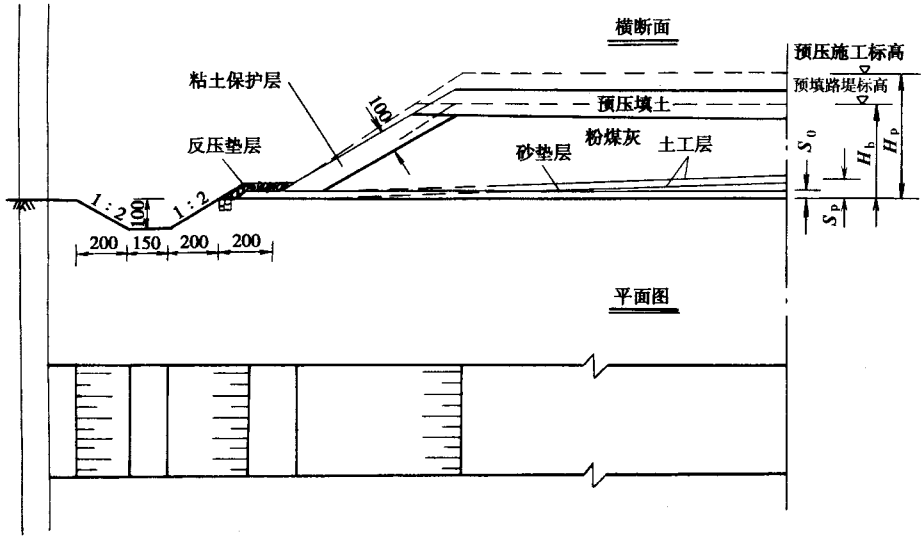


图 1-16 粉煤灰路堤结构形式(单位：cm)

通过在唐津高速公路三合同段粉煤路堤施工中掌握的情况，下面浅谈几点体会。

1)粉煤灰击实标准的确定

目前国内绝大部分电厂排放的粉煤灰均属硅铝型低钙粉煤灰,都可作为路堤填筑料使用。唐山电厂的湿排灰也不例外,其烧失量在8%左右,但材质很不均匀,经多次取样进行筛分试验,发现灰场顶层的粉煤灰粒径小,底层粒径大。而使用的单位又较多,因此,在装车时,按从上到下有顺序的进行,导致运输到路堤施工现场的粉煤灰粗细混合不均。试验人员如果按一般常规方法,确定一组最大干密度和最佳含水量值,并以这一组值,去检测路堤压实度情况,就不能反映施工现场粉煤灰材质变化随意性很大的特点。如果在每次检查压实度前,都进行击实试验,试验人员不仅劳动强度大,且跟不上进度的要求,很不可取。

如何解决粉煤灰材质变化大的问题呢?我们把灰场的粉煤灰按粗、中、细、粗中混合、粗细混合、特细六个等级,分别取六组样做击实试验。然后将样品装瓶保留,把实验结果用标签分别贴于标准样瓶上。检测人员在检测压实度前,先对照样品,根据其粗细等级,确定击实标准。这样基本上能比较准确地检查出粉煤灰路堤填筑时的压实度。从表1-32中明显看出,由于细度不同,其击实标准差别也较大。

粉煤灰击实标准表 表1-32

试样编号	最大干密度 (g/cm^3)	最佳含水量 (%)	试样编号	最大干密度 (g/cm^3)	最佳含水量 (%)
1	1.171	29.2	4	1.078	35.8
2	1.153	30.0	5	1.051	36.5
3	1.128	32.5	6	1.029	42.2

2)灰土下封层的施工

由于三合同段地区地下水位高,地表水又十分丰富,地面潮湿,而粉煤灰的渗透性比粘性土大得多,毛细现象又十分强烈,如果地下水透过粉煤灰,反渗到路堤中,将很难保证路堤的稳定。因此,在填筑之前,应先做灰土下封层,就是为了隔断地下毛细水对路堤的不利影响,所以保证灰土下封层的厚度及压实度以及横坡度与宽度就显得非常重要。

开始施工时,我们往往忽视这一点,只是把下封层作一般路堤的基底层对待,只进行简单的整平和碾压,使下封层没能充分发挥应有的作用。在这方面我们是有深刻教训的。

3)排水盲沟的施工

在第一层包边土碾压成型后,应立即进行测量放样,定出盲沟的中心点位置,按照设计尺寸开挖盲沟槽,然后在沟槽里先铺上200~400g/m^2的无纺土工布,再填满碾压。为防止排水盲沟的淤塞,必须用土工布将碎石包裹严密,并保证盲沟一端紧贴粉煤灰,另一端刚好露出包边土外。由于包边土压实后,人工开挖有些困难,有的施工人员为了省力,在第一层包边土及粉煤灰没有压实前,就开挖沟槽做盲沟,然后再碾压。这样压路机直接碾压在盲沟上,很容易将包裹盲沟碎石的土工布压破,同时也易将沟槽两边的土挤入盲沟中,影响排水效果,所以安排好盲沟开挖与第一层包边土碾压施工顺序是保证盲沟质量的重要一环。

4)粉煤灰洒水和成型

由于粉煤灰在灰场堆积时间很久,水分大部已蒸发损失,而灰场又不具备洒水条件,只能将粉煤灰运到路基再洒水调节其含水量。为避免运输车辆的停滞,应根据施工现场的洒水条件及摊铺碾压能力来合理组织运输设备,尽可能减少中转环节,以降低运输成本。力争做到摊铺一段,洒水一段,碾压成型一段。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

在洒水过程中,有时只重视调整粉煤灰的含水量,使过多的水透过粉煤灰,渗透两侧包边土中,致使包边土含水量过大,出现翻浆而达不到要求的压实度。根据土的压实度与渗透的关系特点,同时也按照规范要求的"粉煤灰与包边土同步碾压"的原则,在上完包边土和粉煤灰后,应先将包边土用 F—410 推土机履带进行初步推压,然后再对粉煤灰洒水,将其含水量调节到比最佳含水量大 3%左右,用平地机按 1.27 的摊铺系数粗平。

5)粉煤灰路堤接头的处理

按规范要求,先填筑的地段应留有台阶,使每个压实层相互重叠搭接,搭接长度应大于 150cm。但在实际施工中,虽按要求分层留了台阶,而有时因施工组织不当,造成前后作业段间隔时间过长或前面段落已完第二层,后面的段落还在上第一层,造成接头处的粉煤灰水分蒸发过大,使已碾压好的台阶失水而松散。这就需要重新洒水调整,同时应把原来的台阶长度往后加长到压实效果较好的粉煤灰层,再进行后面段落的施工。

6)关于上封层的施工

唐津高速公路三合同段,地处软弱地区,按设计要求,粉煤灰路堤填筑后,应进行上封层灰土的施工,然后填筑 110cm 厚的预压土,进行超载预压六个月,再将土卸走,最后做路面结构层。但由于地基软弱层厚度不同,预压期的下沉深度也不会相同,而产生不均匀沉降。顶层的上封层灰土,很有可能因路基不均匀沉降而发生龟裂,并与粉煤灰层分离。因此,我们改变了原设计要求的施工顺序,先进行超载预压,预压期完成卸载后,将粉煤灰顶层重新整平,恢复到原要求压实度,最后进行灰土上封层的施工。

2.沪宁高速公路 A 标段

该段位于江苏昆山境内,地面以下 60m 范围内,均为第四纪土更新纯至全新纯沉渍粉,主要由饱水粘性土和细质砂性土组成,其中有一层淤泥质亚粘土软弱层,层厚 5~25m,且全线分布。

软基处理共 15km,平均填高 4.0m,最大填高 6.8m。为减轻土基本身自重,以减少沉降量为目的,全都采用了纯粉煤灰填筑路堤和土质包边。粉煤灰全部采用苏州望亭电厂的湿排灰,共使用 50 余万 t。其技术指标符合设计要求,自然含水量 40%,重型击实最大干密度为 1.11g/cm^3,最佳含水量为 28%。实际施工含水量控制在 28% + (3~5)%。实测压实度均能达到 90%以上的要求。两侧包边土厚度不小于 1.0m。顶层厚度不小于 30cm,塑性指数为 12。

3.石太高速公路九标段柳辛庄互通立交路堤

该段全长 2km,全部采用粉煤灰填筑,用灰数量 28 万多 m^3。该工程基本按规范要求的方法和顺序施工。在实际施工中基本做到了程序化、标准化和质量标准检测规范化,不仅取得了良好的社会效益和经济效益,在质量上也得到了甲方的好评。通过 5~6 年的使用,路面平整度仍然良好。

第八节　过湿土路基施工

一、苇田水网区路基施工

1.工程概况及沿线地质情况

公路一局施工的沱山高速公路国际四合同段 K202 + 800 ~ K214 + 500 段,全长 11.7km。其中有 7.65km 位于苇塘低洼内涝地区,该区丛生芦苇,地表长年积水,地下水 0.3~1.0m,基本连为一体,相互补给,沿线全为填方,平均填土高度为 4.99m,填筑材料利用在一期工程中所

备的苇田土。

根据地质勘察资料表明，该地区属辽河冲积海积平原，为河流冲积和近代海洋沉积的共同作用而成。地表 0～0.40m 为淤泥及苇根。其下为淤泥质粘性土，呈软塑，流塑状态，层厚约 1～5m，局部可达 10m，在纵横向均有变化，属欠固结中高压缩性，高触变性土。土质软弱，性质极差，天然干密度 1.26～1.5g/cm^3，天然含水量 30%～45%，孔隙比介于 0.88～1.4 之间，压缩系数 0.12～1MPa^{-1}。固结快剪内摩擦角 1.5～10°，粘聚力 7～20kPa。第三层为砂土和粉、细砂交互层，厚度为 4.1～12.1m，性质稍好。

由于盘锦地处平原，使用土场极少，运距又远，交通运输条件很不理想。针对以上情况，业主决定采取分二期工程施工方案（公路一局承担二期工程施工）。

2.一期工程施工方案

1）利用冬季冻封季节（此时便道畅通），以挖掘机配合自卸车在取土坑取土、备土，放至备土带上。经过 3～4 个月的自然风干和冻干，以减少天然含水量，第二年开春再晾晒后压实。

2）在主线路基上，提前填筑 80cm 厚石渣，阻断毛细水的上升，增加路基的整体强度，同时作为二期工程的施工便道。

3）将路床部分改填山皮土，以提高路基的 E_0 值。

苇田地区的路基标准横断面，如图 1-17 所示。

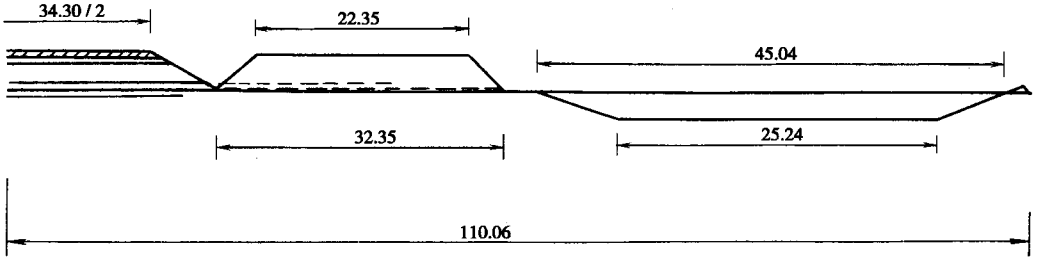


图 1-17　苇田段标准横断面图（单位：m）

3.路基备土的土质分析

1）路基用土的液塑性

室内试验表明，用于填筑路基的就地土，主要由大量中低液限粘性土（CL）组成，见图1-18。由于该地区地下水位高，地表常年积水，取土坑内基本处于饱和状态，天然含水量大大超过其塑限，属沉积类过湿土，需经充分晾晒或稳定处理后方可使用。

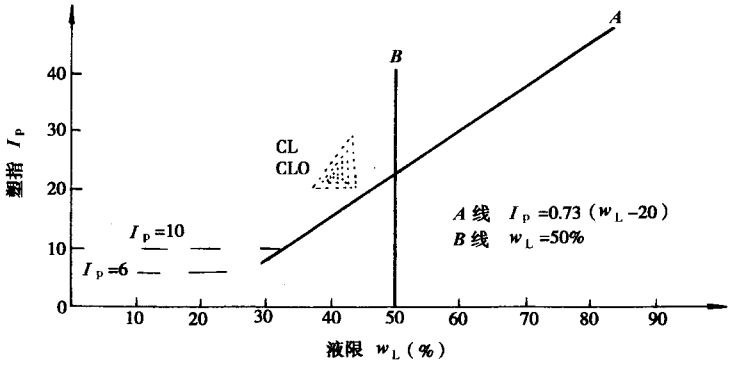


图 1-18　路基用土塑性图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)路基用土的化学分析(见表 1-33)

路基用土易溶盐及有机质分析成果表 表 1-33

指标名称	试验结果	规定值	符合规范程度	备注
氯盐	0.3%~1.5%	≤3%	可用	
硫酸盐	0.3%~0.8%	≤1%	可用	
碳酸盐	0.01%~0.08%	≤0.5%	可用	
有机质	0.13%	≤4%	可用	剔除备土中苇根后的结果

由于所备苇田土中含苇根、苇絮很多,现场取代表试样 10 组,实测苇根、苇絮含量为(质量比)4.5%、3.8%、2.5%、2%、4.1%、1.8%、0.8%、2.8%、0.9%、4.2%,平均值为 2.74%。按施工过程中苇根、苇絮能捡出 50%计算,还有 1.37%的苇根、苇絮进入有机质含量中,所以说,有些备土中,有机质含量有超值的可能。

3)路基用土击实试验结果(见表 1-34)

路基用土击实试验结果 表 1-34

项目 / 编号	液限 w_L (%)	塑限 w_P (%)	塑性指数 I_P	天然含水量 w (%)	液性指数 I_L	最佳含水量 (%)	最大干密度 (g/cm³)	描述
1	38.7	17.4	21.3	31	0.64	14	1.85	流塑状态
2	41.3	17.9	23.4	35	0.73	12.3	1.85	流塑状态
3	40.8	19.2	21.6	39	0.92	14	1.86	软塑状态
4	42.3	18.4	23.9	38	0.82	13.1	1.88	软塑状态
5	42.4	19.3	23.1	42	0.98	14.3	1.85	软塑状态
6	40.3	17.1	23.2	39	0.94	15.3	1.85	软塑状态
7	43.3	18.4	24.9	45	1.07	15	1.84	软塑状态
8	39.7	17.2	22.5	38	0.92	15.5	1.82	软塑状态
9	41.7	18.3	23.4	41	0.97	14.7	1.92	软塑状态
10	43.5	16.5	27	44	1.02	11.9	1.9	软塑状态
11	41.5	18.7	22.8	43	1.07	14.2	1.9	软塑状态
12	42.7	19.3	23.4	37	0.76	14.4	1.92	软塑状态

根据勘探资料统计,取土坑原状土的天然干密度为 1.446g/cm³。由上表求得最大干密度与天然干密度的松方比为 1.259~1.328。业主在一期备土时,按 1.36 系数备土,其中考虑了 5%的备土损耗。

4)路基用土的 CBR 试验

CBR 是路基用土和路面材料的强度指标,是路基路面设计的主要参数之一。为确保路基稳定性和强度,除了对路基土质和压实度规定外,我国现行的《公路路基施工技术规范》(JTJ 033—95)对路基也提出了 CBR 值的要求,见表 1-35。

路基土压实度(重型)和(CBR)值要求表　　表 1-35

项目分类		路面底面以下深度(cm)	高速公路、一级公路	
			压实度(%)	CBR(%)
填方路基	上路床	0～30	≥96	≥8
	下路床	30～80	≥96	≥5
	上路堤	80～150	≥94	≥4
	下路堤	150 以下	≥91	≥3
零填及路堑路床		0～30	≥96	≥6

注:表列压实度要求为辽宁省交通厅对该项目的规定。

CBR 值试验方法采用重型击实法,测试前先将试件饱水浸泡四昼夜,目的是试验状态能接近于路基土将来可能遭到的最恶劣气候状态。我们共做了 6 组试验,其 CBR 值分别为 2.8%、3.0%、1.4%、2.0%、2.14%、2.34%。结果表明,就地取土的 CBR 值,均不能符合规范要求,浸水后的水稳性较差,故不宜直接用来填筑路基。但若要利用一期工程备土填筑路基,必须掺入适当的无机结合料,进行适当的处治。

通过二期工程初期施工发现,一期工程施工个别方面效果并不明显,主要有以下问题。

(1)冬季备土,大部分为冻块,苇根、顶层淤泥无法取出,即使在填筑过程中,苇根也仅能捡出 50%左右,增加了填土的有机质含量,甚至在夏季气温最高季节,备土里也时常发现有大的冻块存在。

(2)设计底层填筑 80cm 厚的一期工程,施工很不规范,最薄处仅 10cm 左右,局部地段苇田区水位较高,石渣处于水浸状态,毛细水上升严重,素土无法填筑。

(3)素土通过翻拌、晾晒达最佳含水量(气温在 25℃时)需 7～10d,周期长,远远不能满足合同工期,且质量也难以保证。

(4)最后,我们根据施工实际情况,征得业主同意,提出素土中掺加 6%生石灰的变更。通过掺加生石灰,改善土的性能,降低塑性指数及含水量,使土质砂化,提高强度,以保证质量、缩短工期为目的。

5)备土掺灰试验

选取营口大石桥镇生产的一级生石灰,消解后按 3%、4%、5%、6%、8%、10%、12%的比例,进行重型击实和强度试验,以求得各级比例下的最大干密度和最佳含水量,以 7d 和 28d 龄期的强度指标和强度增长规律,得出最佳掺量。试验结果,见图 1-19 和表 1-36。

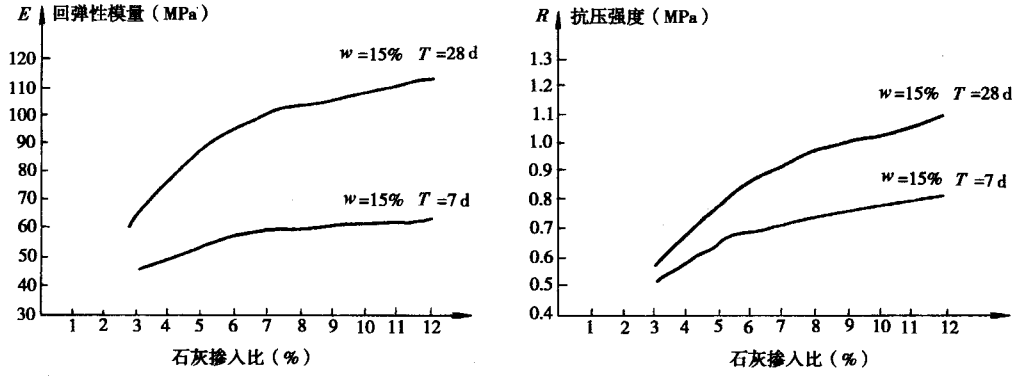


图 1-19　土的回弹模量和抗压强度与石灰掺入比例的关系曲线

苇田土掺加 6%生石灰后,室内击实试验(重型)最大干密度为 1.76～1.86g/cm^3,最佳含水

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

量 13.2%～16.8%。下面以最大干密度为 1.92g/cm³ 的土为例，阐述在不同白灰掺量的情况下，各项指标的变化情况。

石灰稳定土试验结果　　表 1-36

掺灰量(%) / 试验项目	0	3	4	5	6	8	10	12
最佳含水量(%)	21.6	13.4	13.8	14.0	14.4	15.0	15.0	15.6
最大干密度(g/cm³)	1.92	1.88	1.85	1.84	1.83	1.82	1.82	1.81
7d 回弹模量(MPa)		45	50	54	57	60	62	64
28d 回弹模量(MPa)		59	76	87	94	104	108	112
7d 抗压强度(MPa)		0.51	0.58	0.65	0.68	0.74	0.77	0.88
28d 抗压强度(MPa)		0.56	0.65	0.77	0.85	0.98	1.02	1.10

随着石灰剂量的增加，石稳稳定土的最佳含水量升高，而最大干容重下降。当灰土含水量接近并不低于最佳含水量时，其强度随石灰剂量的增加而提高，且 28d 龄期强度的提高幅度要大于 7d 龄期。当石灰剂量由 3%增至 8%时，关系曲线较陡，表明灰土强度增长较大；当石灰剂量超过 8%时，关系曲线较为平缓，表示增长的强度较小。

按照规范，高速公路路面对土基顶面回弹模量要求不低于 35～40MPa。施工时，只要掺入 4%剂量的石灰，就可满足要求，但业主考虑到进场石灰的质量差异及掺拌时掺量的误差，统一要求按 6%剂量控制。

4.苇田区掺灰施工工艺

根据现场的客观情况和业主要求，掺灰施工主要采用两种方法：闷料法和路拌法。现就两种施工方法分述如下。

1)闷料法

此种方法施工周期短，成型一层约需 5～7d。但机械台班消耗严重，灰的掺量控制有时不够准确。

(1)测量放样

按照恢复定线成果，放出路基的中、边桩，桩距 30m，边桩放样时，要考虑 30cm 路基的超填范围。

(2)主线路基分层备土、掺灰、闷料

挖掘机或推土机配合装载机，将备土带表层已晾晒一定时间的土倒至路基边缘，按一定间距定点堆放，备土方数按作业段的压实方数用 1.5 的松方系数进行换算，边倒土，装载机边按 6%比例进行生石灰掺加，在主线路基两侧形成新的备土带(进场的石灰车辆要记好数量，与所倒土的比例相对应)进行闷料处理。

(3)恢复排水系统

由于备土堆与坡角相连，每次横向上土都会将原有的排水沟破坏，需重新形成，以利排泄雨水及备土堆融化水，个别排水不畅地段，需要开挖集水坑，用水泵排出或在备土堆上间隔几百米开挖一个横向豁口，让积水排向苇田。

(4)集中翻拌

备土闷料 5～6h 后，开始用挖掘机进行集中翻拌，每一作业段至少要保证两台挖掘机，形成流水作业，将闷好料的备土翻拌三遍，灰要拌匀、拌透，使大的泥块自动松散，粒径不大于 10cm 为止，所有颗粒外面都要包裹一层白灰。通过现场试验证明，从路基倒土，到掺灰翻拌三遍后，含水量能降低 10%左右。

(5)备土摊铺

推土机配合挖掘机将已翻拌好的灰土进行摊铺，厚度要均匀(松铺厚度不大于 30cm)，摊铺时要在主线一侧预留一条临时便道，待其他路段成型后，再进行施工。

(6)翻拌晾晒

利用翻铧犁、旋耕机进行交错作业，将土层犁透，土块打碎，每天要保证两遍以上。在翻拌过程中，人工配合，拾出苇根、苇絮等杂物。在晴好天气下，翻拌晾晒需 3～5d 达最佳含水量；如遇阴雨天气，时间需更长，但要马上用压路机封住，防止雨水渗漏。天晴后，重新翻开，重复以上工作。现场实测表明，在晴好天气下，土的含水量每日能下降 2%左右。

(7)整平、碾压

当现场实测含水量与最佳含水量偏差 +4%～-1%时，开始整平碾压。推土机先粗平，平地机细平，整平过程中要注意形成路拱。碾压时，先两边后中间，轮迹要 1/2 错轮。先用 15t 振动羊角碾压 1～2 遍，压实度为 83%～86%；25t 振动压路机碾压 2～3 遍，压实度为 88%～91%；最后光轮压路机碾压 2～4 遍，压实度为 92%～96%。碾压完后，表层苇根要拾出。

(8)压实度检测

试验室配合监理进行压实度检测，个别地段压实度不够或出现弹簧的，要及时翻开掺灰处理，检测合格后，测量标高，放出中边桩，重复以上工作。

2)路拌法(网格法)

此种方法灰量控制准确，节省机械台班，但周期长(成型一层土约需 7～10d)。

(1)测量放样

(2)主线路基备土、摊平

用挖掘机、推土机将备土带土倒至路基，摊平。倒土方量与压实方量按 1.5 系数计算，控制松铺厚度在 30cm 以内。

(3)恢复两侧排水沟

(4)翻拌、晾晒

先用翻铧犁将路基上的土翻开，此时翻开的土全为“泥饼”，晾晒一定程度后，开始用旋耕机将土块打碎，中间辅以翻铧犁操作。

(5)打网格掺灰

当实测含水量比最佳含水量高 15 个百分点左右，开始粗平，打网格(每个网眼 $5m^2$)按计算单位面积的掺灰量进行倒灰、抛撒(用固定质量容器)，然后用翻铧犁、旋耕机进行翻拌、晾晒，往复多次，直至颜色一致，无花团、花面为止。

(6)整平、碾压

当实测含水量在与最佳含水量偏差 +4%～-1%时，可开始整平、碾压，直至达到相应的压实度。

(7)检测压实度

合格后另上一层，重复以上工序。

3)路基掺灰施工工艺流程(如图 1-20 所示，施工中可供参考)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

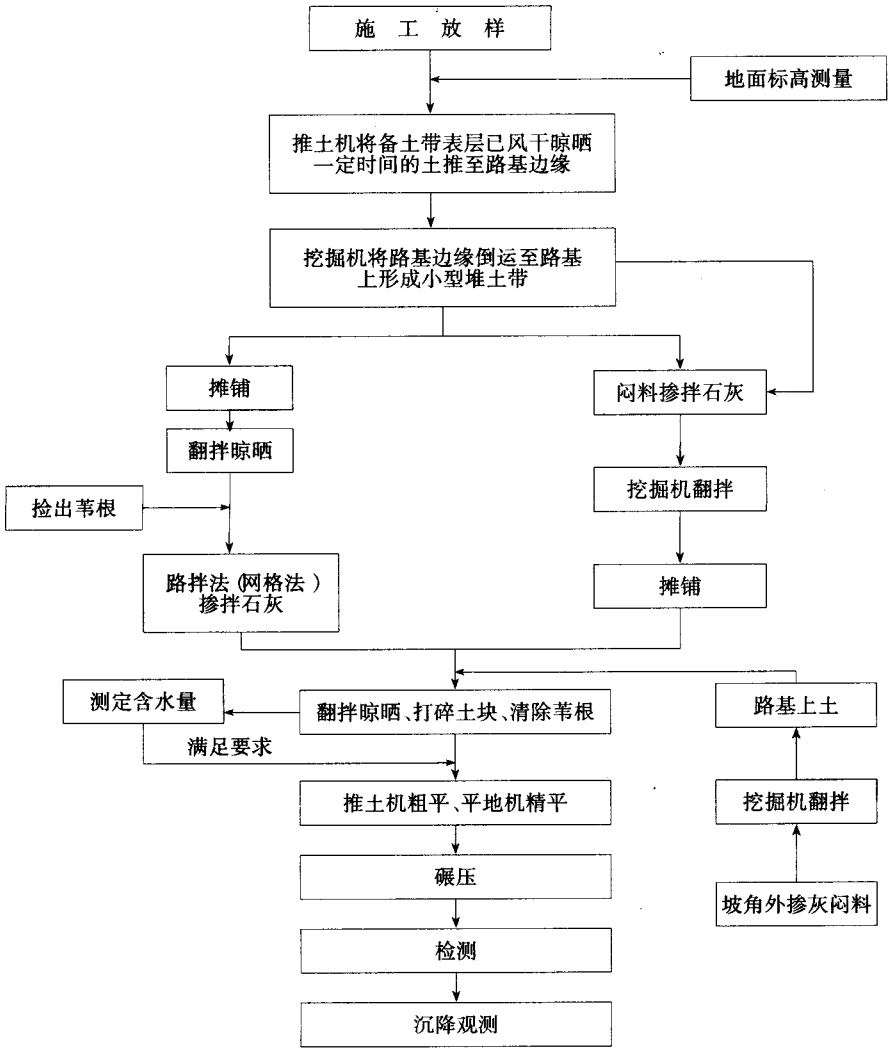


图 1-20　路基掺灰施工艺流程图

5.施工中应注意的问题

1)由于一期工程所备土堆不够规范,顶面坑洼不平,雨季雨水全部积聚渗漏,给施工造成一定难度。进场后利用湿地推土机,将备土堆整形成单面坡,使雨水排向路基以外,有效的防止了雨水渗漏。

2)路基分层上土时,应尽量避免由里向外一刀切备土。应从外利用推土机向里推剥备土堆表层土,增加备土堆的晾晒表面积,为晾晒赢得时间。

3)进入旱季后,可以在主线路基两边坡角处进行左右掺拌、闷料,与主线路基的翻拌、晾晒、碾压同步进行,以缩短每层上土的周期。

4)进场石灰的质量(CaO、MgO 含量)不稳定,有时受雨淋或进场时间长等因素影响,CaO、MgO 含量损失严重,所以要经常根据试验成果及时调整掺灰量。

5)由于掺灰量调整,导致灰土的标准击实也随之变化,这就要求在试验室进行修配试验时,多做几组灰土剂量不同的标准击实,以便根据现场实测的含灰量及时调整标准击实。

6.沉降观测

设计单位提供的数据表明,理论计算瞬时填土极限高度为3.5m,总沉降量为0.73m,固结时间约为3年。若按二年预压时间考虑,施工期内地基固结度可达70%。根据规范要求,目前国内对软基处理的控制标准如下。

高速公路完工后沉降(公路营运期间):桥头路基小于10cm;涵洞路基小于20cm;一般路基小于30cm。

在设计上,苇田区结构物台后,均采取了粉喷桩和超载预压方法处理。而对一般路基,仅作了填土预压自由沉降的处理方案。

1)施工控制

中间每隔200m埋设一根沉降板,两侧(土路肩内缘)每隔400m埋设一根,试验路段每隔25m埋设一根。一般路堤,每上一层土观察一次,试验路每5d观测一次。侧向位移,未作控制。

2)观测分析

由于K211+925~K212+375段备土填筑已完工,现正在施工顶层80cm厚的山皮土,因而以此段为例,进行沉降数据的汇总和分析,见表1-37。

K211+925~K212+375段沉降观测数据分析表 表1-37

桩　号	K211+925	211+975	K212+050	K212+125	K212+175	K212+250	K212+325	K212+375
地基处理方法	自然沉降	自然沉降	自然沉降	自然沉降	自然沉降	自然沉降	自然沉降	自然沉降
设计填土高度(m)	5.13	4.91	4.74	4.55	4.43	4.23	4.04	3.91
实际填土高度(m)	5.64	5.50	5.24	5.01	4.90	4.71	4.50	4.40
实测沉降值(cm)	50.8	56.4	49.9	46.0	47.1	48.3	46.4	48.5
当量作用时间(月) 97.3.20~98.7.20	16	16	16	16	16	16	16	16
理论计算沉降值(cm)	73	73	73	73	73	73	73	73
完成固结度(%)	69.6	77.3	68.4	63.0	64.5	66.2	63.6	66.4
剩余沉降量(cm)	22.2	16.6	23.1	27	25.9	24.7	26.6	24.5
沉降速率(cm/月)	3.18	3.53	3.12	2.88	2.94	3.02	2.9	3.03

从以上数据分析可以看出:经过16个月的自然沉降,最大沉降值为56.4cm,最小沉降46cm,平均沉降49.18cm,平均沉降速率3.07cm/月,每天沉降约1mm,沉降速率稳定。施工中未发现路堤边坡滑移、隆起现象,路基处于稳定状态之中。

自1998年7月至1998年8月,一个月时间内,由于进入雨季,此段没有填土,属空白填土时间,但实际观测沉降速率为3cm/月左右,说明进入雨季,雨水偏多,加快了路基的沉降。

从沉降观测曲线可以看出:路基施工前期沉降速效快,后期缓,随着沉降时间的增长,固结度慢慢增大,路基逐渐趋于稳定。沉降观测曲线见图1-21。

二、沪宁高速公路A标段过湿土路基施工

1.工程概况

沪宁高速公路A标段地处上海市的安亭镇至苏州阳澄湖之间,全长37.913km。沿线村镇稠密,江河密布,是典型的江南水乡。根据地质勘探报告,沪宁高速公路江苏段沿线软土以淤泥质粘性土为主,按卡萨格兰特塑性图的分类方法来评估淤泥土的压缩特性,则绝大多数属中压缩性土。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

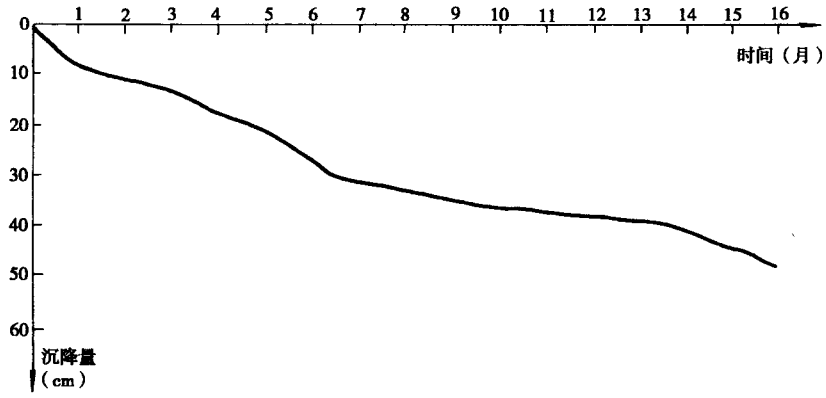


图 1-21　K212 + 375 断面路基沉降观测曲线

这里潮湿多雨，地下水位高，土质表层为塑性指数相对较低的粘性土，地表 1.5m 以下为高塑性淤泥质亚粘土，塑性指数超过 22，天然含水量在 38% ~ 42%之间，土的最佳含水量为 13.8%左右，属过湿土。

在这类地区修筑高速公路需要提高路基的压实度，目的在于提高路基的强度和稳定性，除对地基做适当处理外，还必须对填土做“砂化”处理。

2.“砂化”处理过湿土

在过湿、高塑性土中掺加一定剂量的生石灰粉，通过翻拌、晾晒，降低土的塑性指数及含水量，同时灰土的最佳含水量相对提高，使过湿土接近最佳含水量，高塑性土易于粉碎，这一过程称“砂化”。

1)生石灰粉的剂量计算

生石灰粉的使用使过湿土的含水量降低到最佳含水量或临界最大含水量。常用掺灰剂量为 3% ~ 10%。可按Ⅲ级生石灰粉处治粘性土的剂量公式计算：

外掺：
$$a = \frac{w - w_0}{w_0 + (w_0 + \eta)0.32\beta} \tag{1-16}$$

内掺：
$$a = \frac{w - w_0}{w + (w_0 + \eta)0.32\beta} \tag{1-17}$$

式中：a——生石灰粉剂量，%；

w——土的天然含水量，%；

w_0——a 剂量灰土的最佳含水量或临界最大含水量，%；

η——蒸发系数，1.75 ~ 2.4；

β——生石灰粉的活性氧化钙含量，%。

生石灰粉质量、内掺量与湿土含水量减少量的关系，见表 1-38。

生石灰掺量与湿土含水量减少量的关系表　　表 1-38

湿土含水量减少量(%) / 生石灰粉内掺剂量（%） / 有效钙镁含量(%)	2	4	6	8	10
40	4.4	8.9	12.8	16.2	19.2
60	3.4	7.0	10.1	13.0	15.6
80	2.8	5.8	8.4	10.9	13.0

2)掺进土里的生石灰粉的作用

(1)可使湿土的含水量降低。

生石灰导致土含水量降低有以下三方面原因:一是湿土掺入干灰,干湿材料的混合作用;二是生石灰的水化吸水作用,即氧化钙变成氢氧化钙的过程,吸收32%的水;三是水化时生热及拌和过程的水分蒸发作用。

(2)生石灰粉处治土的最佳含水量比素土大,适宜压实度的含水量范围比素土宽。

由击实试验得知(见图1-22)对应于土的最大干密度有一个最佳含水量。对应于要求的某个干密度则有两个含水量:一个为最小临界含水量,一个为最大临界含水量。灰土的最佳含水量比素土的最佳含水量高,同时对应某个干密度的临界含水量,灰土比素土宽。采用掺入生石灰粉方法施工时,湿土的含水量可更快地降低到灰土最佳含水量或临界最大含水量,更早进行压实,可以加快工程进度。

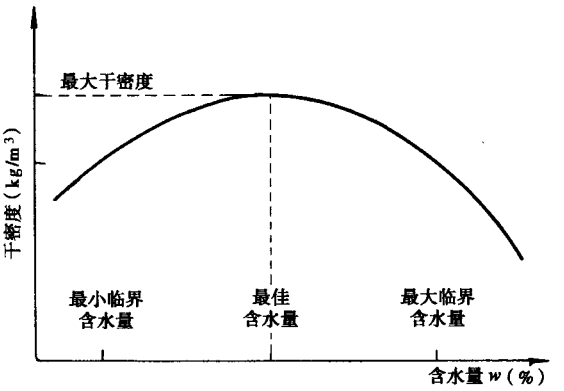


图1-22 击实试验曲线

(3)生石灰粉可以改变土的塑性性质。

生石灰掺入土后,石灰中的钙离子与土中的阳离子发生交换并使土粒产生绒聚作用。用手触摸可以感觉到土变粗、松散。生石灰这种作用产生得很快。另外,掺灰剂量达2%时便对土的液、塑限产生影响。特别是塑限的提高,使反映土软硬状态的稠度指数提高。生石灰粉对土塑性性质的改变结论是:含水量相同时,素土为软塑状态,灰土变成可塑状态或硬塑状态;素土为可塑状态,灰土变成硬塑状态或坚硬状态;素土为硬塑状态,灰土变成坚硬状态。如表1-39所示。

土的塑性性质变化表 表1-39

分界标准		含水量	素土		生石灰粉处治土	
状态	稠度指数	w(%)	稠度指数 B	状态	稠度指数 B	状态
坚硬	>1	18.7	0.87	硬塑	1.25	坚硬
硬塑	$0.75<B<1$	18.7~20.7	0.87~0.66	硬塑~可塑	1.25~1.09	坚硬
可塑	$0.25<B<0.75$	20.7~24.8	0.66~0.22	可塑~软塑	1.09~0.76	坚硬~硬塑
软塑	$0<B<0.25$	24.8~26.5	0.22~0.04	软塑	0.76~0.62	硬塑~可塑
流塑	$B<0$	26.5	0.04	软塑	0.62	可塑

众所周知,压实是通过外力作用排除土中空气实现的。土的含水量超出相应压实功能的最佳含水量±3%,土很难压实到规范规定的压实度。当含水量大时,外力不能直接作用于土粒,而只能传给土粒周围的水分或被封闭的空气。因此,尽管花费很大的压实功,也难以改变土粒的本来状况。若继续施加外力,不但不会明显地增加土的密实度,反使土体产生剪切破坏,而导致"弹簧"现象。但湿土掺入生石灰粉后,使土的含水量减少,改变了土粒的带电状态,土粒表面水膜减薄,分散性增强,内摩阻力提高,封闭空气减少,原来的流塑、软塑、可塑状态的湿、软土变为可塑、硬塑、坚硬状态的土。所以,在外力作用下,土粒容易生产相对位移,土中空气容易排除,从而使土体得以压实。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

压实后，石灰与土相互作用产生结晶结构和火山灰反应，处治土逐步成凝胶结构，其强度、水稳性、内聚力、内摩擦角提高。例如：换填于软湿土基中的干土在毛细水的作用下将被润湿，抗压强度损失 40%～60%，仅有 0.05～0.09MPa。而相同压实度的处治土（白灰土），3d 龄期时即使毛细水润湿，其强度仍可达 0.15～0.30MPa，是素土的三倍。随着龄期增长，强度不断增长，高出素土几十倍。素土掺入 20%生石灰粉后，内聚力从 0.04MPa 提高到 0.28MPa；内摩擦角由 1°15′提高到 5°25′。这些资料说明，压实后的处治土的水稳性提高，强度提高并显著地增加了软湿土基承载能力，为继续下道工序施工提供了一个坚实的基础。

3.“砂化”处理的施工

根据施工规范，路基压实度（重型击实）要求分三个层次。路基顶以下 0～80cm 范围内压实要求大于 95%（简称 95 区）；80cm 以下要求大于 90%（简称 90 区）；零填及路堑 0～30cm 要求大于 95%（简称 0 填区）。

按设计要求，沪宁高速公路 A 标段“0 填区”掺灰量为 10%，“90 区”掺灰量为 5%，“95 区”掺灰量为 10%。我们通过吸取昆山试验段的经验和通过一段时间的摸索，总结出一套行之有效的施工工艺，效果比较理想。现就“90 区”和“95 区”施工工艺分述如下。

1）“90 区”施工工艺

备土→掺灰→挖拌→闷放→翻倒→装运→布土→推平→翻拌、晾晒→粉碎→整平→碾压成型→自检交验。

（1）备土：沪宁高速公路路基填筑土是由业主指定取土场取土。鉴于地下水位高，在取土场取土时必须按顺序由远往近，用挖掘机一次深挖至要求深度（沪宁要求深挖为 3.5m）把土堆放起来。这时的土质为亚粘土和淤泥质亚粘土，是过饱和、高塑性指数土，表层呈流塑状，内里呈硬塑状。土可堆放 3～5d，起到一定的渗水作用。

（2）掺灰：石灰剂量的掺配按干灰：干土 = 5:95 质量比计量。土堆放 3～5d 后，开始掺灰，掺灰用挖掘机或装载机均可，计量尽量精确，掺配尽量均匀。

（3）挖拌：备土掺灰是“砂化”处理的第一步，是非常粗放的，然后再用挖掘机挖拌，尽量将土和生石灰掺拌均匀。

（4）闷放：挖拌后闷放 1～3d，以使生石灰粉对过湿土的改善作用（即干湿材料的混合作用、生石灰的水化吸水作用、水化热产生的水分蒸发作用）都充分发挥出来。

（5）翻倒：用履带式推土机将闷放掺拌好的灰土推至靠近运输便道的地方，以利于装运。在推动过程中，起到了翻倒作用，增加了翻拌的次数，使灰与土掺配更加均匀。此时，流塑状的土已经硬化，硬塑状的土已经松散，虽然还有较大土块，但具备了填筑路基土的要求。

（6）装运：当检测掺拌好的灰土已具备了填筑路基土的要求，就用装载机装车，用自卸翻斗载重汽车将灰土运到路基上。

（7）布土：按体积法计量，预控卸土数量，每层虚铺厚度要根据设计要求和拌和机、压路机的性能而定。分层太厚，拌和和压实机械性能不佳，就得不到最佳压实效果；分层太薄，又要造成拌和和压实机械的浪费。我们掌握虚铺厚度控制在每 17cm 一层，拌和成型容易，压实效果也最佳。

（8）推平：用推土机将预控布放的土按控制层厚大致推平。

（9）翻拌：用东方红履带拖拉机带三铧或四铧犁进行翻拌，或用旋耕犁翻拌均可。对局部掺灰不均的可用人工再布撒，同时拌和。边翻边拌边晾晒，周而复始，直至灰土达到接近最佳含水量时为止。

(10)打碎:灰土闷放、堆平、翻拌过程中,还会有些土块,这时要用旋耕犁配刀头将土块打碎。若土块很大、很硬,还需要用重力式缺口盘耙切碎。

(11)整平:整平前要打桩、放线、测量,然后用平地机细细整平。

(12)碾压成型:先用振动压路机压一遍,而后用光轮压路机反复碾压,直至达到最大密度为准。

(13)自检交验:整型平整,碾压成型后,要做压实度测定,要量测宽度、横坡度、分层厚度及顶面标高等。自检合格后,填报中间检验单待监理验收签认。

这几道工序只能合并,不能省略。"砂化"处理过程分两个阶段。第一阶段是前五道工序,主要通过掺入生石灰粉,使生石灰的水化热作用尽量释放出来,降低土的含水量将流塑性土改变为可操作的软塑性土;第二阶段则主要是利用翻、拌、晒,使土中的水分自然蒸发,以达到最佳含水量的效果。为什么不采用一次性掺灰将过湿土的含水量降到最佳含水量呢?通过表1-38我们可以看出:湿土含水量的减少是与掺灰剂量和生石灰质量成正比的,若用掺灰法将过湿土的多余水分一次降至最佳含水量的程度,即不经济又不科学。所以,"砂化"处理过湿土既要掺配一定剂量的生石灰,又要翻、拌、晒,利用自然蒸发的功能,两者结合起来就达到了既经济又科学的目的。

2)"95区"施工工艺

"95区"施工工艺与"90区"施工工艺大体相同,但也不尽然。因为"95区"设计掺灰剂量为10%,为了达到更好的"砂化"效果,我们将10%的剂量,分两次掺入,因此施工工艺改为:

备土→掺灰(5%)→挖拌→闷放→翻倒→装运→布土→推平→翻拌→二次掺灰(5%)→翻拌→打碎→整平→碾压→自检交验。

尽管在"90区"施工中经过多次翻拌、闷放、晾晒,仍然出现"砂化"不够的问题,其表现是土颗粒仍有大于3cm粒径的。"95区"施工压实密度要求更高,必须将土更进一步砂化,所以采取了两次掺灰。第二次掺灰放在第一次推平、翻拌之后,照路拌灰土施工布灰计量法计量,在摊好的土基上用灰线划好方格,严格按设计用灰量布灰,然后再翻拌、晾晒,让土的"砂化"结果达到最大颗粒不大于2cm左右,使压实密度更进一步提高,以达到设计压实度要求。

4.高塑性指数过湿土"砂化"处理施工中应注意的问题

1)施工的时限

生石灰中有效钙镁含量,对湿土含水量减少起关键性的作用,有效钙镁含量高,减小含水量效果就好,否则要用成倍加大含灰剂量的方法弥补有效钙镁含量的不足,这就在经济上造成很大浪费。有效钙镁含量的散失与时间成正比。由图1-23可见,自掺配生石灰起,到"砂化"处理好的填土碾压成型为止这一过程,延续时间的长短,成为路基压实度和最大干密度实现的关键。所以,掌握施工时限,用最快速度,最短的时间来完成"砂化"施工程序是很关键、很重要的问题。我们认为一个"砂化"处理工艺流程以5~7d为宜。

2)击实标准

高速公路规范规定检验路基压实度必须用重型击实标准。室内标准击实试验是干土与消解后的干石灰粉按质量掺配,而后加入不同剂量的水,多次击实形成的具有驼峰形击实曲线,驼峰对应的干密度,即为最大干密度,最大干密度相对应的含水量为最佳含水量。不同剂量的掺配石灰所得到的击实最大干密度和最佳含水量不同,石灰剂量增加,最大干密度降低,最佳含水量提高。反之,则最大干密度增大,最佳含水量降低(见图1-24)。实际施工中,尽量使计量方法与试验室的计量原理一致,但在操作过程中总会有这样或那样的差别,如受雨淋后钙镁

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

含量的散失；由于连续降雨不能施工造成已掺拌生石灰的灰土放置过久等。所以在试验室做掺配试验时，要多做几种灰土剂量的标准击实，如3%、4%、6%、7%等等，以便根据含灰量的不同(可用钙镁含量反推算法)而采用不同的标准击实，或用内插法确定标准击实。

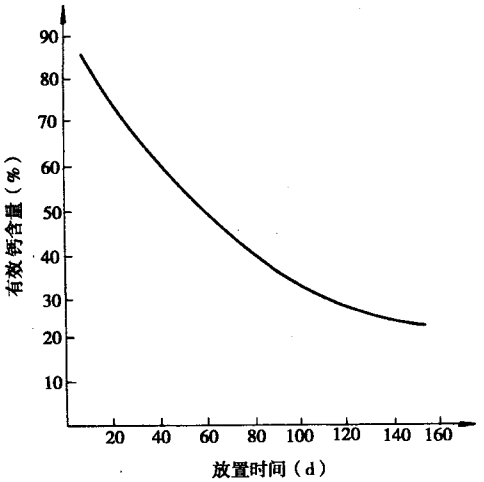


图 1-23　有效钙含量的散失与时间的关系

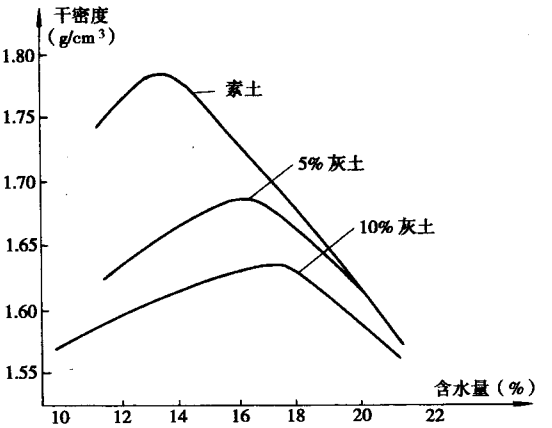


图 1-24　素土、5%灰土及10%灰土击实曲线

3)注意排水

凡是软土地区，多数是地表水充沛，地下水高的地区。南方又属多雨地区，农田灌溉方便的地方。故在路基填筑土方开始之前，就要做好临时排水系统，以防填筑过程受水浸。当路基高出地面，应加强对横坡的控制，并应有较高的平整度，以利排水。取土场也应不断地排水，特别是雨后，应及时将水抽入附近的河道或临近的低洼地区，以降低土场内的水位，以利取土。

4)机械的使用

过湿土“砂化”处理填筑路基的全过程，全部是机械化作业(利用人工的可能性几乎没有)，因此必须投入足够的而且是相互配套的机械。为了充分发挥其生产能力，必须保证机械的完好率和使用率，还要加强指挥调度，以保证机械效率的充分发挥。特别要注意因作业条件差而导致机械损坏。

三、泉厦高速公路过湿土水泥处理概述

1.工程概况

泉厦高速公路D合同段起止桩号为K74+126～K80+450。其中大部分为挖方路堑，深度达7～10m，开挖后发现均为过湿粘性土。这是由于福建地区年降雨量大，地下水丰富，粘性土的透水性又差，水经毛细作用渗透所致。虽经开挖成型，翻开晾晒并进行了碾压，但过几天后地下水又往上渗透，使路基经常处于过湿状态。通过弯沉试验，无法满足路基的要求，而必须经过土质改良，方可使用。

2.处理方案

经多方探讨，决定掺用水泥处理挖方地段的过湿土。在征得监理同意后，为慎重起见，先做了试验路段。

试验段选在K77+660～K77+820，共长160m。根据最大干密度，计算水泥用量，并选定水泥掺量为5%，水泥处理厚度25cm，则水泥用量为1袋/2.25m^2，故每袋水泥纵横间距各为

1.5m。通过试验段，确定了适宜的机械配备和拌和、整平、碾压等工艺及参数，在施工中起了指导作用。

3.结语

1)从松铺系数表1-40的数据可知，若松铺系数为1.28，拌和后松铺厚度达到32cm，即可满足25cm压实厚度的要求。

松铺系数表　　表1-40

检测项目 \ 位置	K77+690	K77+700	K77+730	K77+745	K77+785	K77+800	K77+815
基底标高(m)	13.390	13.555	13.596	13.648	13.751	13.976	13.902
拌和后标高(m)	13.720	13.875	13.910	13.958	14.065	14.120	14.220
压实后标高(m)	13.642	13.803	13.849	13.887	13.977	14.052	14.151
松铺厚度(cm)	33.0	32.0	31.4	31.0	34.1	32.4	31.8
压实厚度(cm)	25.2	24.8	25.3	23.9	24.6	25.6	25.0
松铺系数	1.31	1.29	1.24	1.29	1.26	1.27	1.27

2)本次试验段长160m，拌和水稳土所需时间就达4h 40min，再加上整平、碾压时间，满足不了施工时间控制在6h要求的范围以内，所以在施工中，每段长度不超过120m。

3)通过压实度及弯沉检测，完全达到要求。说明试验段是成功的，这种方案是可行的。

4)将试验段所取得的体会和资料，进行分析汇总，并上报监理，很快得到批复。因此，我们D标段的过湿土路段，都采用此法进行处理。由于效果显著，已推广到A、B、C标段。

5)经过水稳处理的路段，路基强度大大提高，水稳性增强，25cm厚的水泥稳定土对地下水起到了隔离作用，阻止毛细水的向上渗透。从而保证了路基的稳定，通过二年的行车，路面仍然保持正常。

第九节　桥涵等构造物处的路堤施工

桥台台背、涵洞两侧及涵顶、挡土墙墙背的填筑，在这些构造物基本完成后进行。由于场地狭窄，死角较多，又要不损坏构造物，填筑压实比较困难，而且容易积水。如果填筑不良，完工后填土与构造物连接部分出现沉降差，会发生跳车，影响行车速度、舒适与安全，甚至影响构造物的稳定，所以要注意选好填料并认真施工。

一、一般要求

1.填料

在下列范围内，一般应选用渗水性土填筑：台背顺路线方向，上部距翼墙尾端不少于台高加2m范围内，下部距基础内缘不少于2m范围内；拱桥台背不少于台高的3～4倍范围内；涵洞两侧不少于孔径的2倍范围内。挡土墙回填部分，如果采用渗水土有困难时，在冰冻地区自路堤顶面起2.5m以下，非冰冻地区高水位以下，可用与路堤相同的填料填筑。特别要注意，不要将构造物基础挖出来的劣质土混入填料中。

当确有困难，不得不采用非渗水性土时，应在土中掺加石灰或水泥等稳定材料进行处理。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2.填筑

桥台背后填土应与锥坡填土同时进行,涵洞、管道缺口填土,应在两侧对称均匀回填。涵顶填土的松铺厚度小于 50～100cm 时,不得通过重型车辆或施工机械;靠构造物1.0m 范围内不得有大型机械行驶或作业。

3.排水

桥涵等结构物处填土,在施工中要竭力防止雨水流入,对已有积水应挖沟或用水泵将其排除。对于地下渗水,可设盲沟引出。当非渗水土填筑时,应在其上设置横向盲沟或用粘性土等不透水材料封顶。挡土墙墙背应作好反滤层,使水能顺利地从泄水孔流出。

4.压实

应在接近最佳含水量状态下,分层填筑,分层压实。每层松铺厚度不宜超过 20cm。当采用小型夯实机具时,松铺厚度不应超过 15cm。并应充分压(夯)实到规定的要求为止。

二、填土基底的加固处理

1)高速公路桥台填土路堤工后沉降控制标准一般在 10cm 以内。因此,为尽量减少路、桥衔接处的沉降差异,往往采用加设钢筋混凝土搭板的形式。

2)对正确处理好桥背软弱土地基,也是减少工后沉降、控制桥头跳车的重要技术措施。目前处理的方法很多,如换土法、超载预压法、排水固结法、粉体搅拌法、高压喷射注浆法以及振动碎石桩和矿渣桩等复合地基法,这些方法均已广泛应用于高速公路的路堤施工中,并取得了显著的效果。

三、施 工 实 例

(一)济青高速公路构造物处路堤回填

1.回填材料

除管涵外,所有构造物的台背以及锥体护坡和基坑均回填透水性较好的砂性土(或用石灰土,管涵用路基土)。为了便于边坡植草,台后回填部分横向外侧两侧,各有 1.0m 厚的路基土包封,并同路基顺接。

2.回填范围

1)台后部分:顺路线方向长度,底部离台身 1.0m,然后按 1:1 的边坡开挖台阶回填至与路面底基层底面交会处;当涵顶填土大于等于 40cm 时,台背回填高度与板顶高度一致,板顶与路基用同一材料同时填筑。

2)垂直线路方向至锥坡坡脚(1:1.5 方向)。

3.压实度要求

1)基坑回填压实度为 90%。

2)台背部分:高度至路面底层以下 0～0.80cm 深度,压实度 95%,80cm 以下为 90%,锥坡为 90%。

4.施工中采取的主要技术措施

1)构造物有防水要求时,要先做好防水层,才能回填。

2)每层松铺厚度原则上不大于 15cm。从基础顶面开始,把每层填筑厚度在台背墙上做上记号,以参照进行每层的施工。

3)与台背相接的路基端头,是控制的重点,对压实度应进行复测,以消除隐患。路基端头

每层检查3个点,中间一个,两侧各一个。如果临近台背的第一桩号,检测不满足要求,继续向路基方向的下一个桩号检测,直至合格为止,这样就可确定台背回填的实际范围。

4)如台背回填为砂砾料,为解决顶层松散现象,顶层应做30cm厚的8%灰剂量的石灰土封层,但回填总高度不变。

(二)沪宁高速公路构造物处路堤施工

1.预留回填段落

路基和构造物同步施工,即在构造物两端预留一个填筑段,待路基与构造物完成后再回填。一般要求预留段最小不得小于15m。以满足各类重型机械的需要。其边坡采用1:1.5。

2.开槽回填施工

在软基路段,采用超载预压法时,构造物(包括因变更设计而增设的)只能待路堤填筑完毕后,重新开槽施工。开槽回填断面应满足图1-25的要求。

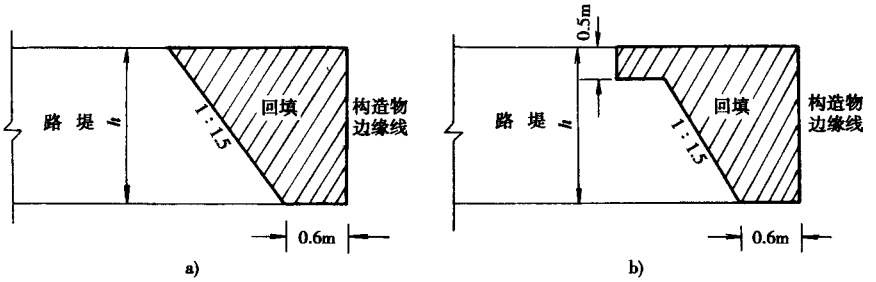


图1-25 构造物两端路堤开槽断面示意图

3.回填材料

为确保达到规定的密实度,构造物回填一律采用易碾压,易成形的回填材料。

4.施工控制

1)构造物回填时必须分层填筑,从两边对称进行,每层虚铺厚度控制在15cm。圆管涵涵体下侧无法用机械压实的部位,要求人工斜向捣实。回填过程中,顺路基方向形成3%的横坡,以防止雨水沿构造物的外壁向下渗透。

2)要求采用小型压实机械施工,如手扶振动压路机、重型蛙式打夯机、小型汽锤等。

3)构造物回填断面下未经开挖的原地面的密实度要求达到88%以上,每层的密实度要比同层次路基密实度提高两个百分点。当回填高度达到构造物顶上30cm后和路基填筑应同步进行。

4)构造物回填中及施工完毕后,均应注意防止路面及中央分隔带水流对其浸泡或冲刷,并尽量加快防护工程的施工。

5)加强现场监理人员的旁站,仔细检查回填断面尺寸、材料质量、填筑厚度、抽检压实度等等。防患于未然。

6)对于有搭板的构造物,必须待回填土体的沉降趋于稳定,连续两个月的沉降率小于3mm/d后,才允许施工搭板。

5.施工中易出现的问题及处理

1)路基预留段结合面的处理,应挖成台阶形,然后再分层填筑压实,如图1-26所示。

2)为防止搭板下脱空,锥坡和台前溜坡一定要和构造物回填同步超宽填筑。沪宁路在高

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

路堤施工过程中，由于边坡、锥坡、台前溜坡等防护工程未能及时跟上，雨水渗入而导致不少桥梁边坡滑坍，搭板下形成空洞。

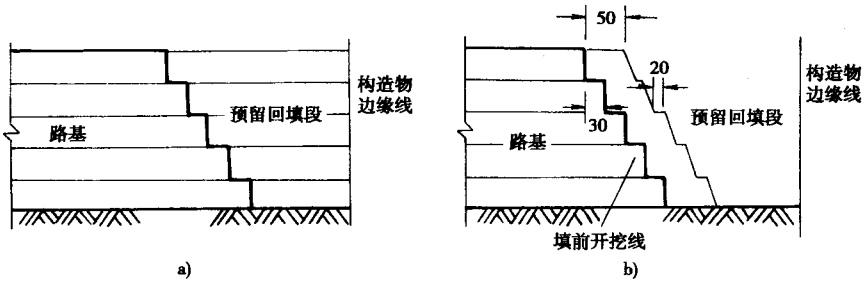


图 1-26　结合面预留台阶及分层填压方法(单位:cm)

若发现以上情况，应先检查边坡，重新压实，并做好防护工程。然后在搭板的三边下面，挖成 15cm × 30cm 的槽，浇上钢筋混凝土，并在搭板上开孔压浆，以填充空洞。

沪宁路由于构造物回填质量较好，经过二年多的通车考验，基本上消除了桥头跳车现象。

(三)无砂大孔混凝土回填桥涵台背的应用

柳州—南宁高速公路的宾阳—南宁段为第十标段，属山岭重丘区，由公路一局承担。其路基土方施工难度大，高填方地段很多，而工期要求又短，很多结构物施工都采用先填后挖工艺。为避免结构物及桥头填土的漏压或压而不实，或局部沉降，我们采用粉煤灰无砂大孔混凝土作为全段 80km 所有的管涵基础和结构物回填及桥台台背填料。通过一年多的通车运行，跳车现象几乎没有。后期施工的钦州—北海高速公路，也采取了这种方式，效果同样良好。这种工艺的实施，尽管前期会增加一些投入，但能达到不跳车的效果，比后期产生跳车再进行维修处理所带来的负面影响及损失要少得多。下面简要叙述利用无砂大孔混凝土进行台背回填的施工。

1.无砂大孔混凝土材料及配比

1)无砂大孔混凝土是指配合料中不掺砂，由少量水泥和粗骨料及适量的水混合搅拌而成的混凝土。由于内部存在较大较多的孔隙，表观密度为 1 600 ~ 1 800kg/m^3。根据骨料不同，可分为 A 型料、B 型料两种。A 型料主要用于台背回填及管涵两侧；B 型料主要用于管涵基础。

当掺入少量的粉煤灰，以取代部分水泥，称为粉煤灰无砂大孔混凝土。

2)其强度等级可划分为 C1.5、C2.5、C3.5、C5.0、C9.5 和 C10 六个等级。用作基础其强度应达到 C2.5 以上；用作结构物回填部分应在 C1.5 以上；用作透水基层的应在 C5.0 以上。

3)材料要求。

(1)水泥。C5.0 以下的无砂大孔混凝土宜选用强度等级 42.5 的普硅或矿渣水泥。C5.0 及 C5.0 以上的宜选用强度等级 52.5 的普通硅酸盐水泥。

(2)碎石(砾石)。宜选用 10 ~ 20mm、10 ~ 30mm 的粒径，当有困难时，也允许使用 10 ~ 40mm 的粒径。碎石针片状含量不大于 15%，压碎值不大于 5%，含泥量不大于 1%。

(3)粉煤灰。化学成分中 S_iO_2 和 Al_2O_3 总量不低于 70%，烧失量不大于 10%，细度以 80μm 标准筛测定不大于 25%。

4)配比设计

(1)配比设计的原则是保证混凝土强度及和易性。

(2)水泥用量按下式确定：

$$C = A + BR_P \tag{1-18}$$

式中：C——单位水泥用量，kg/m³；

R_P——配制强度，MPa；$R_p = R_{28}(1 - C_v)$；R_{28}为28d设计强度，MPa；C_v为变异系数，在10%～25%内取值，一般水平取15%；

A、B——与骨料品种、水泥强度等级有关的系数，按表1-41取值。

A、B系数表 表1-41

骨料种类	水泥品种及强度等级	A	B
卵石	强度等级42.5普通硅酸盐水泥	37.19	20.5
卵石	强度等级52.5普通硅酸盐水泥	59.58	13.78
碎石	强度等级42.5普通硅酸盐水泥	69.36	$284.93/R_c$

注：R_c为水泥28d的测定强度，单位为MPa。

(3)水灰比按下式确定：

$$w/C = a - bC \tag{1-19}$$

a、b可按表1-42选取。

a、b取值表 表1-42

骨料种类	水泥品种标号	插捣方式	a	b
卵石	强度等级42.5普硅酸盐水泥	不插捣	0.5600	0.001
卵石	强度等级52.5普通硅酸盐水泥	不插捣	0.5797	0.000715
碎石	强度等级42.5或52.5普通硅酸盐水泥	人工全插捣	0.5800	0.000715
碎石	强度等级42.5或52.5普通硅酸盐水泥	锤击板法	0.5372	0.0007914

(4)每1m³无砂大孔混凝土的粗骨粒用量为碎(砾)砾的紧堆密度的0.98倍。

2.无砂大孔混凝土施工

1)搅拌

可采用各种普通混凝土拌和机搅拌无砂大孔混凝土。采用自落式搅拌机搅拌时，投料顺序为：①1/2的水；②从前面加入石子和水泥；③投余下1/2的水；④搅拌5min；⑤出料。

2)成型

无砂大孔混凝土应分层浇筑，每层厚度为20～30cm，浇筑时自由落下高度应以不产生离析为前提，一般在1.0m左右为宜。浇筑时，除了转角处用插杆轻微插捣外，不允许强烈振捣或夯实，可用人工踩实，并对混凝土水平面整平。

3)养护

混凝土浇筑后，用麻袋或草袋覆盖以防止水分大量损失，浇筑后1d开始洒水养护，养护3～7d，在终凝前不得被水冲淋。干热天气时，应在8h后开始养护，淋水时不得用压力水直接冲淋混凝土表面。

4)质量评定标准

(1)无砂大孔混凝土的粗骨料、水泥应经过试验，并满足规范要求。

(2)应进行配合比设计，选择最佳的水灰比以及最节省的单位水泥用量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(3)浇筑的混凝土应做到粗骨料分布均匀;无整片水泥浆或粗集料窝。

(4)施工中每一配比或每一结构部位至少取样两组,作 28d 抗压强度试验,以试件平均强度作为验收强度。

(5)几何尺寸的要求与相应结构部位的质量检验评定要求相同。

3.各种结构物回填形式

1)涵洞通道的回填(先填后挖的涵洞)

(1)采用无砂大孔混凝土 A 型料满槽回填范围如图 1-27 所示。回填长度与涵长相同,其中图 c)、d)是盖板涵洞,其回填范围从基础襟边外 30cm 起至顶部(顶宽 1.0m)的范围进行回填计量(包括涵洞顶 50cm 厚)。

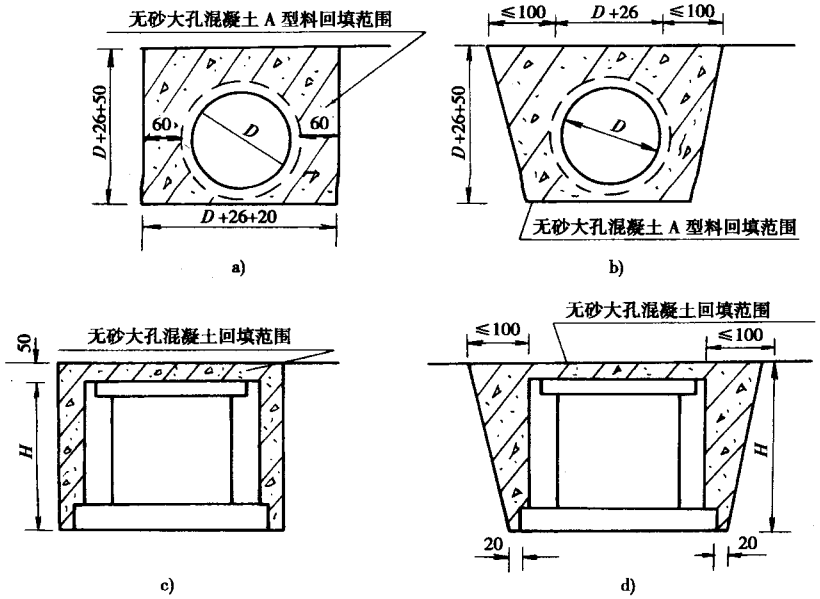


图 1-27 回填范围示意图(单位:cm)

a)、b)圆管涵;c)、d)盖板涵

(2)对于开挖基坑超宽部分,出于经济方面的考虑,可不采用无砂混凝土满槽回填,先填土,为保证回填土与混凝土接触处的压实度,应沿混凝土边开挖出宽 30cm,深 150cm,长度与涵长相同的坑槽,用无砂大孔混凝土 A 型料回填,如此反复,直至涵顶。

2)桥台台背回填

(1)U 形桥台台背回填:在 U 型桥台台背中先用无砂大孔混凝土 A 型料满槽回填,回填高 300cm(自基底算起),然后再用上路床填料回填主台背顶,上路床填料与台背周边接触处应再挖 30cm 宽回填无砂大孔混凝土 A 型料,以保证台背周边的压实度,见图 1-28。

(2)埋置式桥台的回填:沿桥台基础周边用无砂大孔混凝土 A 型料满槽回填,回填高度与基础同高,回填顶宽不大于 100cm,基础顶面以上用路床填料回填,回填范围如图 1-29 所示。桥台肋板周围 30cm 厚的无砂大孔混凝土 A 型料应在上路床填料分层压实至适当高度后再开挖进行回填,为确保能用压路机对回填料进行压实,桥台盖梁应在回填完成后再浇筑。

4.结束语

利用无砂大孔混凝土进行桥涵台背回填,可以说是一种比较新颖可行的施工工艺。它尽可能地减小了因结构物及桥头填土漏压或压而不实,而出现的局部沉降现象,施工工艺比较简

单，而且又经济。桥涵台背用无砂大孔混凝土回填，这种施工工艺可能会在以后的高速公路施工中被广泛应用。

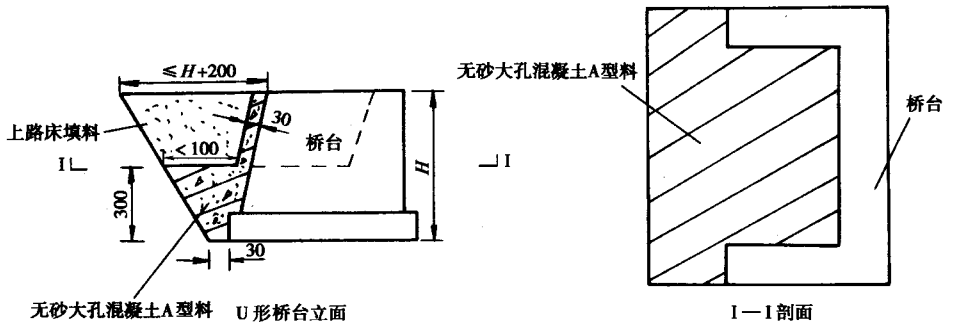


图 1-28　U形桥台回填(单位:cm)

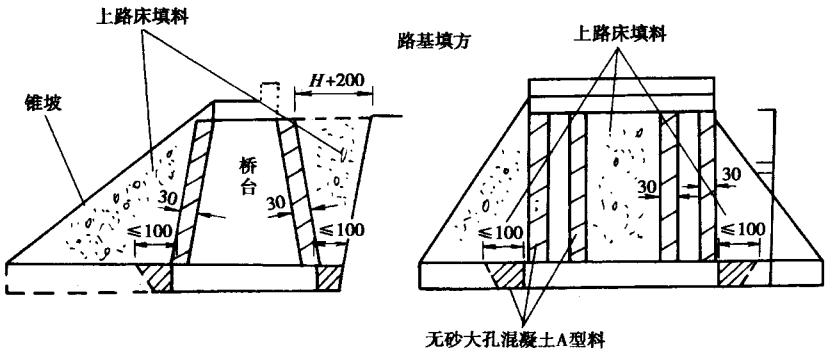


图 1-29　埋置式桥台回填(单位:cm)

第十节　路基洞穴、溶洞的处理

一、洞穴的处理

(一)工程概况

洛阳至三门峡高速公路一合同段全长 12.433km，路线处于北侧黄土高原与南侧洛阳盆地交界带上，属于黄土丘陵地形。洛阳历来被认为是最终归宿的风水宝地，所以沿线墓穴甚多，现在所发现的墓穴群有 10 余处，墓穴 200 余个。沿线地表为黄土覆盖，黄土有在天然含水量时具有较高强度及能保持直立的特性，能够开挖窑洞，沿线老百姓一直沿袭着居住窑洞的传统，其中以天井院形式居多。所谓天井院就是在平地上下挖一个 10m 左右见方深 7m 左右的天井，然后在四周挖窑洞，窑洞有单间的，也有套间的，有人居住的，也有专为牲畜住的，有储藏室，也有磨房，院内开挖有水井、渗水井及菜窖。解放以后，人们逐渐从窑洞迁出，有的被填平造地，有的形成废窑。据调查，沿线共有明、暗窑洞群 20 余处。本文所说的洞穴就是指墓穴、水井和窑洞等。

洞穴必须认真处理，否则会给路基留下隐患。我们向监理工程师上报了洞穴处理方案，有的已得到批准并得以实施。下面举例介绍洞穴处理方法。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(二)洞穴处理

1.墓穴处理

目前,洛三线一合同所发现的墓穴有两种形状,一种呈"L"状,如图 1-30 所示;一种在陡壁上的墓穴,横向呈直筒状,如图 1-31 所示。

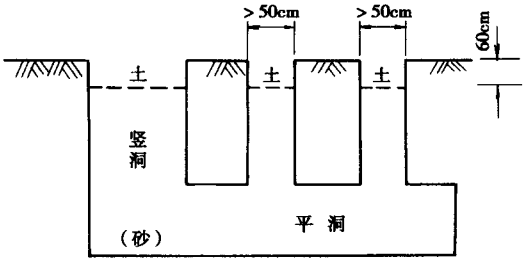


图 1-30 "L"状墓穴

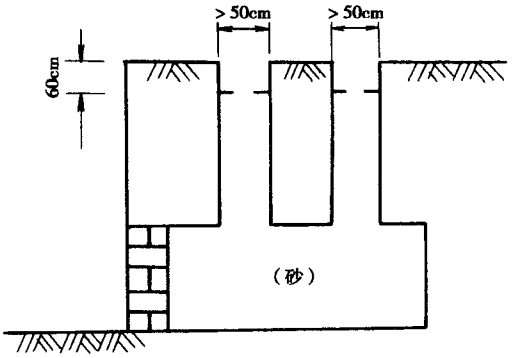


图 1-31 直筒状墓穴

1)单个"L"形墓穴,采用灌砂法,具体过程如下:

(1)先在平面顶上用洛阳铲打孔,孔径不小于 50cm,按洞内底面积计算,每平方米 1 个,均匀排列;

(2)将洞内松土和废物清除干净;

(3)从孔口向洞内灌中粗砂或细砂,每灌砂 50cm 厚灌一次水,水下渗时带动砂下沉使其密实,由于黄土孔隙率较大,所以最后水能完全渗入土中;

(4)竖洞也同时灌砂;

(5)地面以下 60cm 填土,用人工夯实。

2)单个直筒状墓穴也采用灌砂法,只是灌砂前将洞口部分用机砖砌墙(50cm 厚)封口。

3)墓穴比较集中的墓群,采用大开挖法,然后分层回填压实。

2.水井处理

首先清除井内杂物及松土,然后灌砂,每灌砂 50cm 厚用水冲使其密实。灌砂至距原地面 60cm 后填土,用电夯夯实。

3.窑洞处理

1)K1 + 262 ~ K1 + 292 天井院(平面如图 1-32 所示)

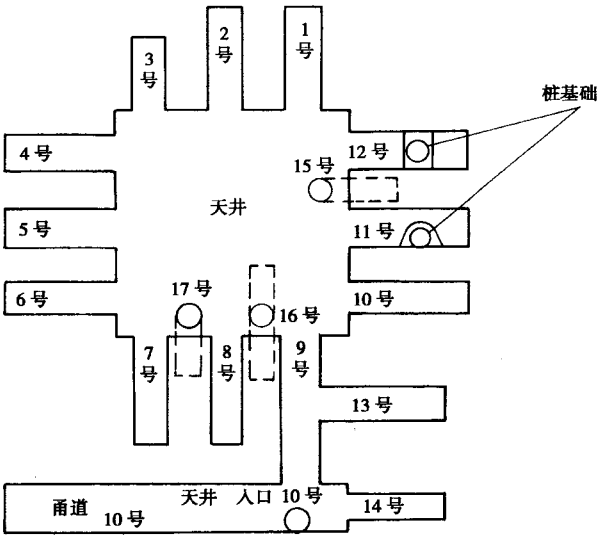


图 1-32 天井院平面图

(1)天井院周围窑洞。

1~10 号窑洞,首先清理洞内杂物,然后回填 6%石灰土至距洞顶 1.5m 处,石灰土每 15cm 一层用电夯夯实,压实度控制在 90%以上,洞内剩余空间用 M7.5 砂浆砌片石砌满。

K1 + 245.5 魏家坡通道桥 1 号台桩身穿过 11、12 号窑洞(桩周围已用 M7.5 砂浆砌片石处

理),1 号窑洞局部由于面积狭小,很难进行灰土的施工,所以整个填 M7.5 砂浆砌片石,如图 1-33 所示。12 号窑洞局部不进行处理。

(2)天井院和甬道

天井院和甬道内回填素土,用电夯夯实,每层 15cm,压实度要求在 90%以上。为使新旧土结合紧密,距顶面 3m 范围内每 1m 挖一层台阶,台阶宽 0.5m。如图 1-34 所示。

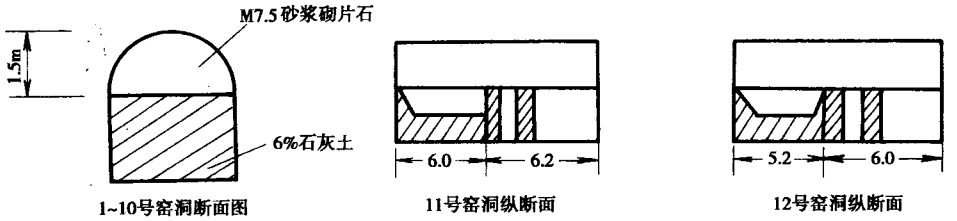
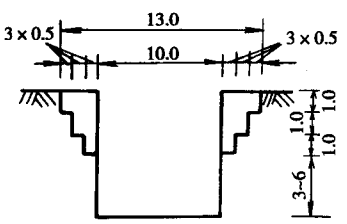


图 1-33 天井院处理示意(单位:m)



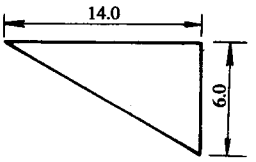


图 1-34 天井院开挖断面(单位:m)

(3)菜窑、水井

水井为直筒状,采用水冲灌砂方法灌至井口。菜窑为"L"状或"⊥"状,对伸入天井院中的洞采用灌砂处理,具体方法同单个"L"形墓穴。对于伸入墙中的菜窑,用 M7.5 砂浆砌片石填塞密实。如图 1-35 所示。

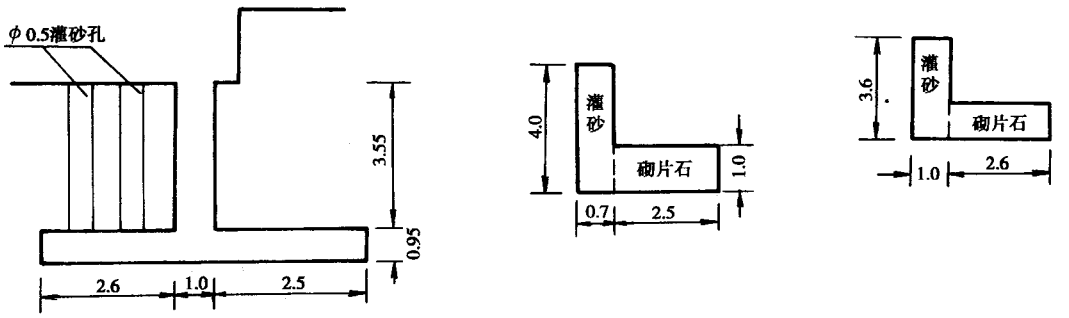


图 1-35 菜窑、水井处理方法(单位:m)

2)K7 + 214 ~ K7 + 292 古窑洞群处理

K7 + 214 ~ K7 + 292 中线处有一座孤台,孤台四周是陡坎,高差约 16.5m,顺路基方向约 78m,横路基方向约 70m。孤台四周陡坎上可见许多窑洞口,洞顶距原地面 3 ~ 6m 不等,洞内已坍塌,孤台顶上可见 3 处明显坍陷。据村民反映,此孤台是明朝时期的一个兵寨,下面有许多空窑洞,互相连通,走向不明。此段路基填土高度为 7m。

庄沟大桥 0 号桥台位于此孤台上,桩基础可能打在窑洞上。窑洞群在路基部分的可用大开挖再回填方法处理,但桥台部分却不能用此方法处理,因为此桥桩基础为摩擦桩,回填土有一定沉降,将形成一个与桩基摩阻力相反的力。此孤台大约开挖 8m,具体对桩基础有多大影响,我们已给设计部门打报告,请他们进行验算,确定处理方案。

3)魏家坡大桥 0 号台 1 号桩

钻孔时,刚钻入 1m 多,孔内水头急剧下降,很快消失,护筒下沉,井架倾斜。据当地村民讲,此处原为一个井院,几十年前填平,为暗窑洞群,须设计部门确定处理方案。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

二、溶洞的处理

1.工程概述

溶洞的处理是喀斯特地貌区域修建公路必须要解决的棘手问题。

由于地质勘探设计的局限性,对于大多中、小溶洞很难勘测得到,山区地形复杂,在施工过程中,路基桥涵挡墙开挖之后,才得以发现。溶洞的走势或横穿或纵向深延,多为山区地表水的通道,水流或小或大曲折流入低标高地区。因此,溶洞具有两个特点:一是它的排水性,处理过程中不能单纯将其堵死,否则将妨碍其排水功能,破坏生态环境,影响农民耕地灌溉;二是溶洞洞壁多为石灰质岩石,岩石强度较高。

溶洞大小不一,若其范围过大难于处理,是改线还是直接处理,必须从造价和工期的角度进行方案比较,以取得满意的效果。现介绍贵阳至新寨汽车专用公路第十一合同段实际出现的各类中、小溶洞的处理方法。

2.路基挖方内向纵深发展的溶洞处理方案

1)浇筑片石混凝土

若洞内形状上大下小,呈漏斗状,如图 1-36 所示,将其狭窄部分用片石封住,防止混凝土透入到溶洞深处,再在其上浇筑 C15 片石混凝土,混凝土与溶洞壁牢固地靠接且不影响溶洞排水,达到处理的目的。

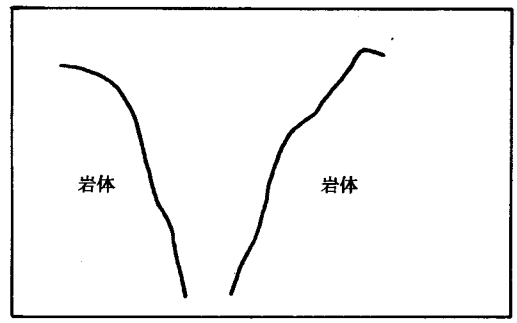


图 1-36　漏斗状溶洞示意

2)制作盖板(此溶洞盖板类似于涵洞盖板、桥梁的简支板、梁,以下简称盖板)

大多数溶洞洞内范围很大,形状或基本垂直,或上小下大,或下部曲折蜿蜒。若浇筑混凝土,方量大,造价高,且妨碍溶洞排水。可制作盖板以封住洞口。盖板设计应注意以下事项(参照图 1-37 所示)。

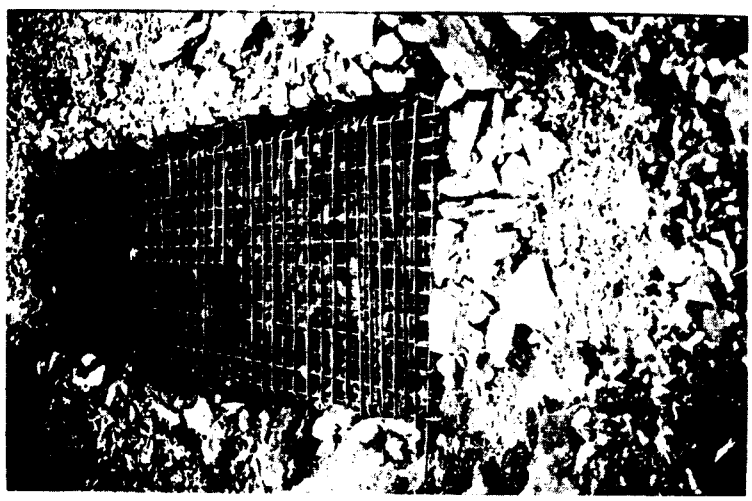


图 1-37　盖板设计参照图

(1)盖板支承处的承力层厚度和岩石地质情况必须满足盖板的受力要求,否则必须将其凿开处理至满足要求为止。承力层如图 1-38 所示。

(2)盖板下支承处要进行砂浆整平处理,且满足盖板搭接宽度要求。

(3)盖板多为四边支承,根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)规定,当支承的长边与短边之比等于或大于2时,可按以短边为跨径的单向板计算;若该比值小于2时,则按双向板计算。

(4)盖板短边长度小于5m时,盖板视为涵洞盖板,将支承处凿平后砂浆抹平即可;盖板短边长度为5~10m时,盖板视为桥梁的梁板,其中短边5~10m的盖板支承处可采用油毛毡等垫层或平板支座。若溶洞尺寸过大则考虑架桥。

(5)盖板的顶面标高与路槽标高一致,不可影响路面施工。

(6)盖板的结构尺寸和钢筋设计应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)的规定。

(7)盖板下多采用干砌片石填塞溶洞,并在干砌片石上铺三层20~30cm的级配碎石。既可起到支承作用又可当成盖板的底模。

3)溶洞横跨路基的处理方案

此类溶洞多因地质断层而产生,形状狭而长,地表水延其裂隙汇集在洞中且水流很大,处理时必须考虑其排水要求,不可用干砌片石填塞,而是将溶洞纵向两侧稍加修整,再浆砌片石两侧支承墙(视为涵洞墙身),在其上制作盖板。

若溶洞过深,上述盖板可置于溶洞之间,其上采用干砌片石填塞;干砌片石顶再制作盖板,即为第二层盖板。另须注意第一层盖板的设计要考虑其上干砌片石的荷载。

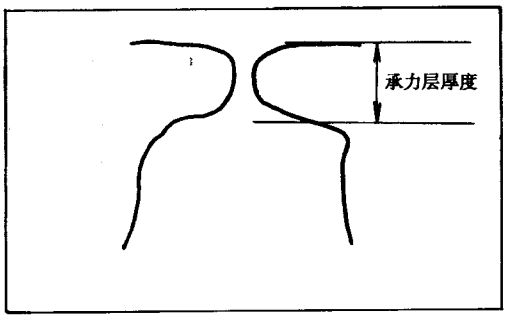


图1-38 承力层示意

3.溶洞出口处于半填半挖路基中间的处理方案

溶洞出口处于半填半挖路基中间的处理,须经水文记录调查,若有水流则根据其流量设计半截涵连接溶洞出口以满足排水要求。注意涵洞与溶洞的连接必须保证严实。若溶洞水流量过大则考虑架桥。

4.溶洞处于挡土墙基础下的处理方案

处理方法可在溶洞口设一浆砌石拱以承担挡土墙的重量且不妨碍溶洞排水,具体方法如下(参照图1-39)。

1)将基坑挖至设计标高,若不是基岩则继续下挖。考察溶洞洞口边缘承力层的厚度和岩石地质情况,确定是否满足拱脚受力要求,若不能满足可加大拱跨,直至拱脚落在安全可靠的位置。

2)石拱的跨径确定后,再参照《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)确定拱圈厚、矢跨比。拱的径向长度根据挡土墙基础宽度和溶洞口尺寸而定,考虑拱将受到横向剪力,要求其必须有一定的径向长度。

3)溶洞洞内到拱下范围内采用干砌片石填塞,其上抹一层M5砂浆,既可起到拱圈模板作用又防止挡土墙内侧路基填土外泻。

5.桥台基础下的溶洞处理方案

1)桥台基础开挖后发现溶洞范围过大,可考虑加大桥梁跨径或增加桥跨以避开溶洞。

2)桥台基础开挖后,溶洞范围不大,可制作盖板或挡土墙进行处理。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

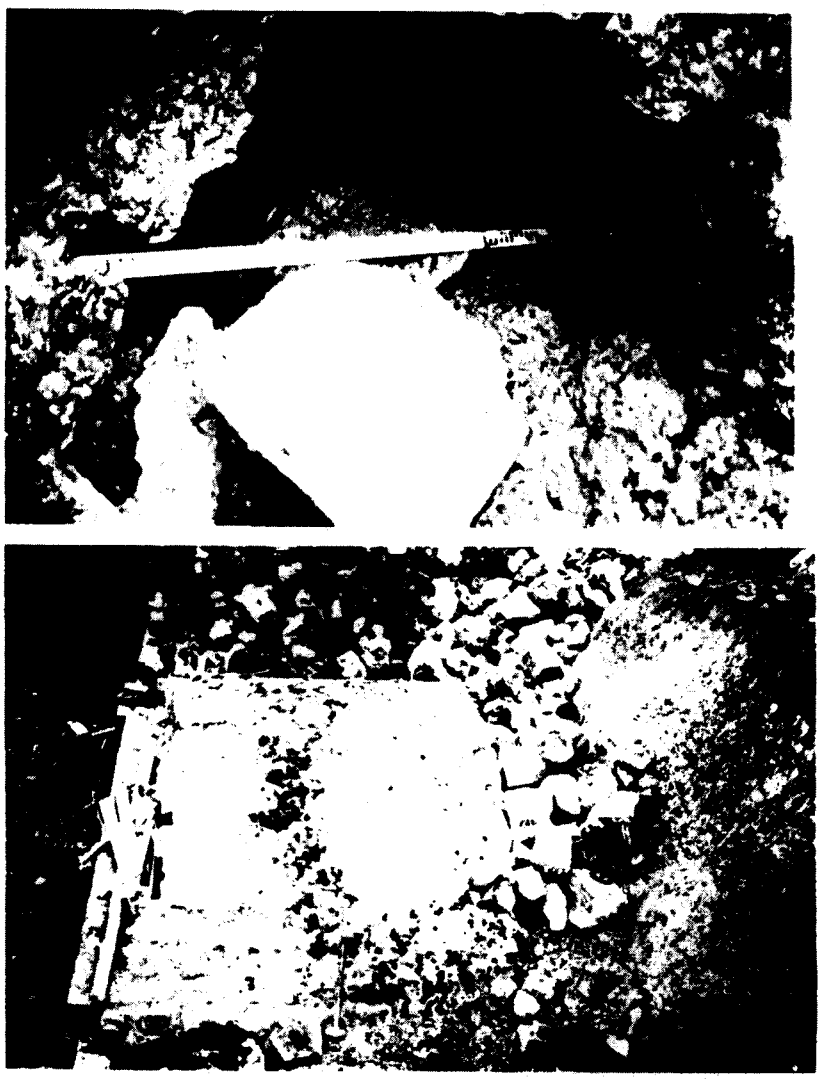


图 1-39　溶洞处于挡土墙基础下处理方案参照图

第二章　挖方路基施工

第一节　概　　述

一、施工特点

挖方路基施工是路基工程中的一个重点，在山岭重丘区往往是控制工程进度的关键。公路建成通车后，又是养护部门的重点。

由于路堑开挖后破坏了地层的平衡状态，其稳定性主要取决于地质与水文条件，以及边坡深度和边坡坡度。一般情况下，地质条件较差主要表现为：岩层倾向边坡、岩层软弱极易风化、岩石破碎成碎块土状；水文状况不利主要表现为：地层含有地下水或渗水层，暴雨集中或地面排水不畅等。在这些地段，如开挖较深路堑，则边坡稳定性差，路基的后遗病害较多，诸如滑坡、崩坍、落石、路基翻浆等等，严重时甚至影响整个工程进度。因此，在施工中要认真对待。

二、横断面组成

挖方路基一般由路床、边沟、碎落台、边坡及截水沟组成，其横断面及各部分组成，如图 2-1 所示。

1.路床

是指路面底面以下 30cm 范围内的路基部分，与填方路基的路床一样，需要有足够的强度，高速公路路床材料的 CBR 值不小于 8%，压实度不小于 95%。

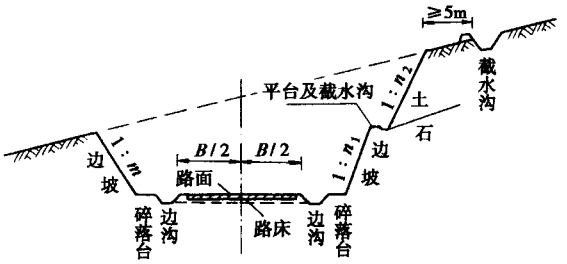


图 2-1　挖方路基横断面

挖方地段的路床为岩石或土质良好时，可直接作为路床，并应平整碾压密实。地质条件不良或土质松散、渗水、湿软、强度低时，应采取防水、排水措施或掺石灰处理和换填渗水性土等等。处理深度可视情况而定。

2.边沟

挖方路基应设置边沟，边沟横断面一般采用梯形，石方路段的边沟宜采用矩形，少雨浅挖地段的土质边沟可采用三角形断面。高速公路边沟的深度及底宽不应小于 0.6m，边沟纵坡不宜小于 0.5%。边沟应全部采用浆砌片石防护。

3.碎落台

容易产生碎落的风化破碎岩石、软质岩石、砾(碎)类土地段的挖方路基，应在边沟外侧设置碎落台，其宽度不宜小于 1.0m。为了给养护人员提供通路，高速公路挖方路基边沟外侧应设置碎落台。当边坡高度超过 12.0m 时，碎落台宽度不宜小于 2.0m。

4.挖方边坡

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

挖方地段边坡的稳定性主要和当地的工程地质、水文地质和地面排水条件有关。

土质挖方边坡坡度应根据边坡高度、土的湿度、密实程度、地下水及地表水等情况决定。岩石挖方边坡坡度应根据岩性、地质构造、岩石的风化破碎程度、边坡高度、地下水和地面水等因素综合分析确定。

挖方边坡形式主要有直线形、折线形、台阶形。当挖方边坡较高时，可根据不同的土、石性质和稳定要求开挖成折线形或台阶形边坡。高速公路挖方边坡宜采用台阶形，边坡高度方向每隔 6～10m 设平台一道，宽度为 1～3m，视需要设置平台排水沟。

对高速公路，当挖方为软质、风化岩层及土质边坡时，可根据坡面状况和碎落情况设置挡土墙、矮墙或坡面防护，并考虑绿化与工程措施相结合。

5.截水沟

为汇集并排除挖方路基边坡上侧的地表径流，应设置截水沟，其位置应设在坡顶 5.0m 以外。截水沟横断面可采用梯形，山坡较陡时，也可采用矩形，其尺寸大小根据汇水面积经水力计算而定。

三、一般要求

1)水文状况对路堑的影响较大，地质条件越差，水的破坏作用愈明显，因此，路堑排水至关重要。路堑必须设置边沟，以排除边坡和路基表面的降水。边沟排水要求具有合适的纵坡，对于较长的路堑地段，不宜设置纵向水平纵坡，或超过边沟允许水流冲刷的较大纵坡。必须设置平坡或陡坡时，边沟要进行特别处治，如加深、加固或改用跌水与急流槽等。为防止大量地面水流向路基，造成坡面冲刷或边沟溢流，路堑两侧坡面上方的坡顶，距离不小于 5.0m，需设一道或多道截水沟。

2)如挖方路基位于土层，因地下水文状况不利，经常产生水分聚积现象，可能导致路面的破坏。所以路堑以下的天然土基，要人工压实到规定的压实度；必要时，还应翻挖重新分层填筑或换土，或采取加铺隔离层以及土工织物，设置必要的地下水排水设施。

3)路堑要根据地质及水文条件，选用合适的边坡坡率，并以自下而上逐层放缓而成折线形边坡，如图 2-2a)所示。陡峻山坡上的半路堑，路中线宜向内移动，尽量采用台口式路基，如图 2-2b)，以避免路基外侧的少量填方。当遇有整体性的坚硬岩层，为节省大量石方工程，而条件又允许时，可采用半山洞路基，如图 2-2c)。图 2-2 中 B 为路堤宽度。

4)如果山坡比较平稳，路中心线的填挖很小，路基全宽将形成半挖半填的横断面。事实上山坡并非平整，路中心线标高受纵坡设计制约，任一横断面的挖填比例。随着山坡横坡度大小不同，变化很大。从路基稳定性需要出发，较陡山坡上的路基宁挖不填或多挖少填。在陡峭山坡上尤其是沿溪路线，为减少石方的开挖数量，避免较多废方阻塞溪流，有时又需少挖多填。因此，挖填结合的路基在选定路线和线形设计时，应予统一安排，进行路线的平、纵、横三者综合考虑。

挖填结合的路基横断面，兼有路堤和路堑的设置要求，均应对照采用。如图 2-3a)，因填方部分的地面陡于 1:5，土质应挖台阶，石质应凿毛，挖方部分应设边沟，并同时设置截水沟。

5)当挖方边坡较陡，坡面岩土性质较差或有其他不良地质现象，可设置上方挡土墙，以支撑边坡不致滑动。如坡面为易风化的岩土，将产生坡面剥落现象，零碎岩土不断落下，经常堵塞边沟时，坡面就需要防护，同时也可在挖方坡脚处设置高度为 1.0m 左右的矮挡土墙，顶宽适当放大，兼起碎落台作用，定期予以清理。如图 2-3b)所示。

6)填方部分的局部路段,如遇原地面的短缺口,可采用砌石护肩。如果填方量较大,且地面横坡陡峻,填方不易稳定或无法填筑,则可就近利用废石方,选择较大石块,采用石砌护坡或护墙,其边坡坡度可采用 1:0.5 或更陡,如图 2-3c)、d)、e)所示。石砌护坡和护墙,相当于简易式挡土墙,承受一定的侧向压力,要求坚固稳定,并埋置一定深度,基底应具有足够的稳定性。

7)图 2-3f)为挡土墙支撑路基,以确保路基稳定和进一步压缩用地宽度。当填方部分悬空,而纵向又有适宜的基岩时,则可沿路基纵向设置单跨或连跨的石拱,以支挡上部填方,形成半山桥路基,如图 2-3g)所示。

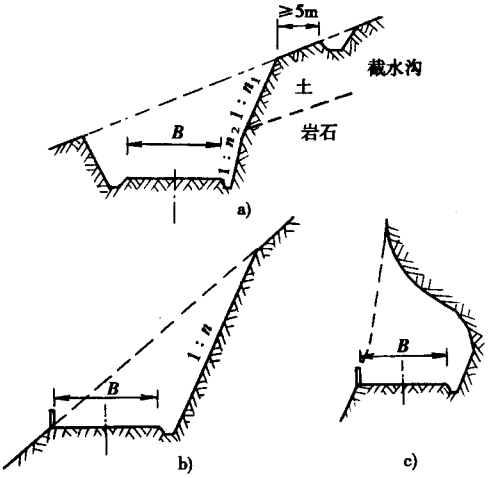


图 2-2 挖方路基的几种横断面形式示意图
a)全挖路基;b)台口式路基;c)半山洞路基

四、施工准备

1.征地拆迁

其范围可分为临时设施用地(包括生活区、生产区、临时道路用地等)和路基施工占地两部分。施工单位进场前应提供给施工业主一份用地平面位置图,说明用途、拆迁建筑物的结构类型,建筑面积以及其他构造物的规格、数量。

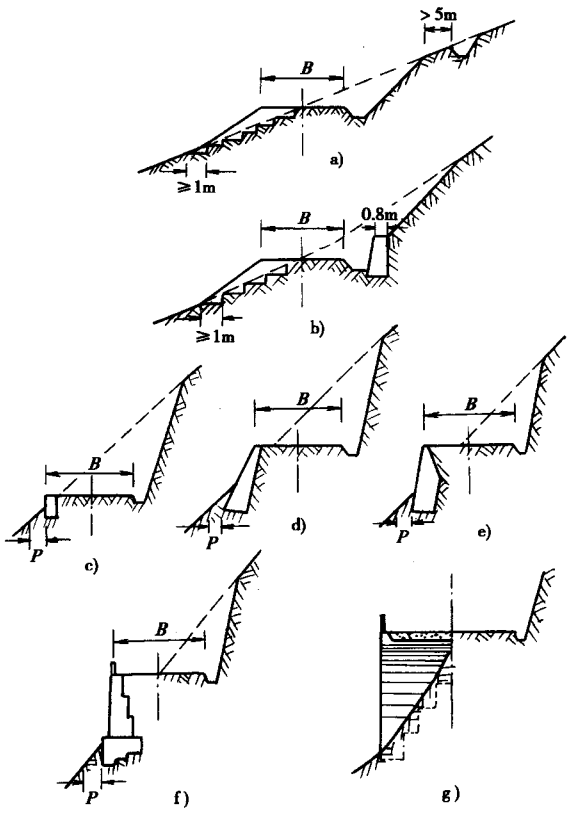


图 2-3 挖填结合的几种路基横断面示意图
a)一般挖填路基;b)矮挡土墙路基;c)护肩路基;d)砌石护坡路基;e)砌石护墙路基;f)挡土墙支撑路基;g)半山桥路基
B-路堤宽度;*P*-挡墙趾至边坡水平距

2.测量放样

施工恢复定线测量及施工放样是施工准备阶段的主要技术工作,承包单位根据设计图纸,监理提供的各导线点坐标及水准点标高进行复测,闭合后将复测资料交监理工程师审核。承包人应根据监理工程师批准的定线数据进行施工放线。按规范中规定,路基施工前,应根据恢复的路线中线标、设计图、施工工艺和有关规定钉出路基用地界、路堑坡顶、边沟、取土坑、护坡道、弃土堆等的具体位置桩。道路中线桩直线部分每 20m 一个,每 100m 设一个永久性固定桩,曲线部分除 20m 设一整里程桩外,曲线的起点、终点、圆缓点、缓圆点都应设置固定桩。在中线桩施测后,进行横断面测量,然后根据路基横断面图及实测标高进行边桩放线。在挖方断面的坡顶点位置上,钉开挖断面的边桩,边桩上应注明里程、挖深,左右边桩以拼音字头或英文字头表示。一般在距边桩

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

一定距离的外侧，设拴(护)桩，以备边桩丢失后及时恢复。同时导线点、水准点应设立特殊标志，进行保护以免施工中遭到破坏。

承包人经过准确放样后，应提供放样数据及图表，报监理工程师审批。经批准后承包人才可进行清表开挖。测量精度应满足交通部颁有关公路工程验收标准或合同规定标准。

3.施工预算

依据设计图纸和交通部颁《公路工程预算定额》编制的预算为施工图预算，在许多场合用来作为工程成本控制、编制施工组织设计的基础资料。对于一些管理上比较成熟的施工企业，为了加强企业内部经济核算，实行班组承包，还应根据施工图纸和施工定额编制工程施工预算。其性质与工程概算和施工图预算不同，属于施工阶段企业内部为了提高经济效益所采取的一种手段，编制的依据是经监理工程师批准的设计图纸，有关的施工定额，以及已经确定的施工组织设计。其劳动定额、材料消耗定额、机械台班定额与费用，多为企业内部进行过查定与测算的，通过施工图预算与施工预算进行两算对比，可以得到本工程的成本降低额，用来保证工程计划利润的实现。

4.施工前的复查和试验

公路的路基是一种线形构造物，贯穿地域广，施工周期长，受自然条件的影响和制约较大。路基施工前，施工人员应对路基工程范围的地质水文情况进行详细调查，通过取样试验确定其性质和范围，并了解附近既有建筑物对特殊土的处理方法。对有岩石的地段要掌握岩层风化、龟裂程度，岩层的层理、节理、片理状态，对于易崩塌地带的断层和土质变化区段的情况尤应给予特别的重视。

土工试验取样一般按设计文件提供的资料每一种土类取样不少于三组，也有按桩号取样进行土工常规试验的。

《公路路基施工技术规范》(JTJ 033—95)规定，挖方、借土场用做填料的土应进行下列试验项目，其试验方法按《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)办理：

1)液限、塑限、塑性指数、天然稠度和液性指数；

2)颗粒大小分析试验；

3)含水量试验；

4)密度试验；

5)相对密度试验；

6)土的击实试验；

7)土的强度试验(CBR 值)；

8)有机质含量试验(必要时)；

9)易溶盐含量试验(必要时)。

对特殊土，除进行以上试验外，还应结合各种土定名的需要，辅以相应的专门鉴别试验，以确定其种类及处治方法。

5.开挖前路堑的排水设施

由于水是造成路堑各种病害的主要原因，所以不论采取何种开挖方法，均应保证开挖过程中及竣工后的有效排水。

1)在路堑开挖前做好截水沟，土方工程施工期间应修建临时排水沟。

2)临时排水设施与永久性排水设施相结合，流水不得排于农田、耕地，污染自然水源，也不得引起淤积和冲刷。

3)路堑施工时应注意经常维修排水沟道,保证流水畅通。渗水性土质或急流冲刷地段的排水沟应予以加固,防渗防冲。水文地质不良地段,必须严格搞好堑顶排水。

4)引走一切可能影响边坡稳定的地面水和地下水,在路堑的线路方向上保持一定的纵向坡度(单向或双向),以利排水。

6.施工组织设计与工程监理

施工前的各项准备工作都是围绕施工组织设计总体安排进行的,承包单位在开工前应将编制好的施工组织设计方案报监理工程师审批。其工程组织与施工进度计划,应满足工程总体安排。承包单位应按批准的施工组织设计积极做好施工前的准备工作,当组织机构就位、机械设备进场、材料供应渠道及其他各项准备工作完成后,经审批同意,工程承包人应填报"路基工程开工申请单",并附有施工进度计划及说明。监理工程师在详细调查后,确认承包人为完成工程而提供的进度计划是切实可行的,则下达路基工程开工令。

事实上,承包人在施工准备阶段即处于监理工程师的全面监督之下,这对于加强企业管理,完成工程进度,落实合同条款是十分必要的。

第二节　挖方土石工程分级

一、路基土分类

土的分类方法很多,目的不同,方法各异,有地质分类、工程分类等等。每一种分类都只能反映土的某些方面特征。如地质分类突出成因,着重反映土的发生、变化过程,为确定其物理和化学性质服务。在工程实践中需要的是能表达土的主要工程特性的分类,如为了解决渗流问题,则要突出土的渗透性;在考虑粒度成分界限值时,要注意使粒组的划分与其透水性的变化相协调。而路基土的分类,则要突出土的压实性和水稳性。

我国公路路基土采用的分类方法,首先按有机含量多少,划分为有机土和无机土两大类。其次将无机土按粒组含量由粗到细划分为如下四类:

1)巨粒土:包括漂石、块石、卵石、碎石、卵石夹土;

2)砾石土:包括级配良好与级配不良砾、含细粒土粒、粉土质砾与粘土质砾;

3)砂类土:包括级配良好砂与级配不良砂、细粒土质砂、粉土质砂与粘土质砂;

4)细粒土:包括高低液限粉土和高低液限粘土;

二、土石工程分级

对安排施工和确定定额来说,最有实用意义的是将土石按其开挖的难易程度进行分级。表2-1是土石的六类分级,即将土分为松土、普通土和硬土三级;将岩石分为软石、次坚石和坚石三级。表2-2与表2-3为土石的十六类分级,即将土分为Ⅰ~Ⅳ级,岩石分为Ⅴ~XVI级。

我国公路土石方分级,通常采用六级,但有时也要用到十六级。六级与十六级的对应关系如下:

六级:	松土	普通土	硬土	软石	次坚石	坚石
十六级:	Ⅰ~Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ~Ⅵ	Ⅶ~Ⅸ	Ⅹ~XVI

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

土、石工程分级(六级) 表 2-1

土石等级	土石类型	土石名称	钻 1m 所需时间			爆破 $1m^3$ 所需炮眼长度(m)		开挖方法
			湿式凿岩一字合金钻头净钻时间(min)	湿式凿岩普通淬火钻头净钻时间(min)	双人打眼(工日)	路堑	隧道导坑	
I	松土	砂类土、腐殖土、种植土、中密的粘性土及砂性土、松散的水分不大的粘土,含有 30mm 以下树根或灌木根的泥炭土						用铁锹挖,脚蹬一下到底的松散土层
II	普通土	水分较大的粘土、密实的粘性土及砂性土、半干硬状态的黄土、含有 30mm 以上的树根或灌木根的泥炭土、碎石类土(不包括块石土及漂石土)						部分用镐刨松,再用锹挖,以脚蹬锹需连蹬数次才能挖动
III	硬土	硬粘土、密实的硬黄土,含有较多的块石及漂石土,各种风化成土状的岩石						必须用镐先整个刨松才能用锹挖
IV	软石	各种软岩石、盐岩、胶结不紧的砾岩、泥质页岩、砂岩、较坚实的泥灰岩、块石土及漂石土、软而节理多的石灰岩		7 以内	0.2 以内	0.2 以内	0.2 以内	部分用棍或十字镐及大锤开挖,部分用爆破法开挖
V	次坚石	硅质页岩、硅质砂岩、白云岩、石灰岩、坚实的泥灰岩、软玄武岩、片麻岩、正长岩、花岗岩	15 以内	7~20	0.2~1.0	0.2~0.4	2.0~3.5	用爆破法开挖
VI	坚石	硬玄武岩、坚实的石灰岩、白云岩、大理岩、石英岩、闪长岩、粗粒花岗岩、正长岩	15 以上	20 以上	1.0 以上	0.4 以上	3.5 以上	用爆破法开挖

关于石方的分级鉴别,有些工程也有以指定功率的推土机、松土器勾不动的为石方分类法,应视具体工程标书中的规定而言。

十六级土石分级表(土分级) 表 2-2

土级别	土质名称	天然湿密度($10^3kg/m^3$)	外形特征	开挖方法
I	1.砂土; 2.种植土	1.65~1.75	疏松、粘聚力差或易透水、略有粘性	用锹或略加脚踩开挖
II	1.壤土; 2.淤泥; 3.含壤种植土	1.75~1.85	开挖时能成块并易打碎	用锹需要用脚踩开挖
III	1.粘土; 2.干燥黄土; 3.干淤泥; 4.含少量砾石粘土	1.80~1.95	粘手,看不见砂粒或干硬	用镐、三齿耙开挖或用锹需用力加脚踩开挖
IV	1.坚硬粘土; 2.砾质粘土; 3.含卵石粘土	1.90~2.40	土质结构坚硬,土分裂后成块状或含粘粒砾石较多	用镐、三齿耙等工具开挖

岩石分级表

表 2-3

岩石级别	岩石名称	实体岩石天然湿度时的平均密度($10^3kg/m^3$)	净钻时间(min/m)			极限抗压强度(MPa)	强度系数(f)
			用直径30mm合金钻头凿岩机打眼[工作压力为411kPa(4.5工程大气压)]	用直径30mm淬火钻头凿岩机打眼[工作压力为411kPa(4.5工程大气压)]	用直径30mm钻杆人工单人打眼		
1	2	3	4	5	6	7	8
V	1.硅藻土及软的白垩岩; 2.硬的石炭纪的粘土; 3.胶结不紧的砾岩; 4.各种不坚实的页岩	1.55 1.95 1.9~2.2 2.0		3.5以下	30以下	19.6	1.5~2
VI	1.软的有空隙的节理多的石灰岩及贝壳石灰岩; 2.密实的白垩土; 3.中等坚实的泥灰岩	1.2 2.6 2.7 2.3		4 (3.5~4.5)	45 (30~60)	19.6~39.2	2~4
VII	1.水成岩卵石经石灰质胶结而成的砾岩; 2.风化的节理多的粘土质砂岩; 3.坚硬的泥质页岩; 4.坚实的泥灰岩	2.2 2.2 2.8 2.5		6 (4.5~7)	78 (61~95)	39.2~58.8	4~6
VIII	1.角砾状花岗岩; 2.泥灰质石灰岩; 3.粘土质砂岩; 4.云母页岩及砂质页岩; 5.硬石膏	2.3 2.3 2.2 2.3 2.9	6.8 (5.7~7.7)	8.5 (7.1~10)	115 (96~135)	58.8~78.4	6~8
IX	1.软的风化较甚的花岗岩、片麻岩及正长岩; 2.滑石质的蛇纹岩; 3.密实的石灰岩; 4.水成岩卵石经硅质胶结的砾岩; 5.砂岩; 6.砂质石灰质的页岩	2.5 2.4 2.5 2.5 2.5 2.5	8.5 (7.8~9.2)	11.5 (10.1~13)	157 (136~175)	78.4~98.0	8~10
X	1.白云岩; 2.坚硬的石灰岩; 3.大理石; 4.石灰质胶结的质密的砂岩; 5.坚硬的砂质页岩	2.7 2.7 2.7 2.6 2.6	10 (9.3~10.8)	15 (13.1~17)	195 (176~215)	98.0~117.6	10~12
XI	1.粗粒花岗岩; 2.特别坚实的白云岩; 3.蛇纹岩; 4.火成岩卵石经石灰质胶结的砾岩; 5.石英质胶结的坚实的砂岩	2.8 2.9 2.6 2.8 2.7	11.2 (10.9~11.5)	18.5 (17.1~20)	240 (218~260)	117.6~137.2	12~14

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

岩石级别	岩石名称	实体岩石天然湿度时的平均密度($10^3kg/m^3$)	净钻时间(min/m)			极限抗压强度(MPa)	强度系数(f)
			用直径3mm合金钻头凿岩机打眼[工作压力为411kPa(4.5工程大气压)]	用直径30mm淬火钻头凿岩机打眼[工作压力为411kPa(4.5工程大气压)]	用直径30mm钻杆人工单人打眼		
1	2	3	4	5	6	7	8
XII	1.有风化痕迹的安山岩及玄武岩; 2.片麻岩、粗面岩; 3.特别坚实的石灰岩; 4.火成岩卵石经硅质胶结的砾岩	2.7 2.6 2.9 2.6	12.2 (11.6~13.3)	22 (20.1~25)	290 (261~320)	137~156.8	14~16
XIII	1.中粒花岗岩; 2.坚实的片麻岩; 3.辉绿岩; 4.玢岩; 5.坚实的粗面岩; 6.中粒正长岩	3.1 2.8 2.7 2.5 2.8 2.8	14.1 (13.4~14.8)	27.5 (25.1~30)	360 (321~400)	156.8~176.4	16~18
XIV	1.特别坚实的细粒花岗岩; 2.花岗片麻岩; 3.闪长岩; 4.最坚实的石灰岩; 5.坚实的玢岩	3.3 2.9 2.9 2.9 2.7	15.5 (14.9~18.2)	32.5 (30.1~40)		176~196.0	18~20
XV	1.安山岩、玄武岩、坚实的角闪岩; 2.最坚实的灰绿岩及闪长岩; 3.坚实的辉长岩及石英岩	3.1 2.9 2.8	20 (18.3~24)	46 (40.1~60)		196.0~245.0	20~25
XVI	1.钙钠长石质橄榄石质玄武岩; 2.特别坚实的辉长岩、辉绿岩、石英岩及玢岩	3.3 3.3	24以上	60以上		245.0以上	25以上

第三节 路基的干湿类型

路基的干湿类型,划分为干燥、中湿、潮湿和过湿四类,这四种类型表示路基在最不利季节所处的干湿状态。高速公路应使路基处于干燥或中湿状态。因此,正确区分路基的干湿类型,是做好高速公路路基设计与施工的前提。

路基干湿类型的划分有以下两种方法。

一、路基干湿类型的划分

对原有公路路基土的干湿类型,可以根据路基的分界相对含水量建议值(表2-4)或分界稠度建议值(表2-5),以实测不利季节路床表面以下80cm深度内土的平均相对含水量或平均稠度划分。

1)以分界相对含水量划分，在不利季节，路床范围内每 10cm 取土样测定其天然含水量和液限含水量，以下式计算：

$$w_{xi} = \frac{w_i}{w_y} \tag{2-1}$$

$$w_x = \frac{\sum_{i=1}^{8} w_{xi}}{8} \tag{2-2}$$

式中：w_i——路床范围(80cm)内，每 10cm 为一层，第 i 层土的天然含水量，%；

w_y——同一层土的液限含水量(76g 平衡锤)，%；

w_{xi}——第 i 层土的相对含水量；

w_x——路床范围(80cm)内土的算术平均相对含水量。

根据 w_x 判断路基的干湿类型，可按公路所在自然区和路基土的类别查表 2-4，与分界相对含水量建议值 w_1、w_2、w_3 相比较，再依据表 2-5 来确定所属的路基干湿类型。

分界相对含水量建议值 表 2-4

分界相对含水量 / 土组 / 自然区划	土质砂			粘质土			粉质土			附注
	w_1	w_2	w_3	w_1	w_2	w_3	w_1	w_2	w_3	
$II_{1,2,3}$ II_{1a} II_{2a}	0.70	0.75	0.80	0.50	0.60	0.70	0.55	0.60	0.70	粘质土：分母适用于 II 1,2,3区 粉质土：分母适用于II_2a副区
		—	—	—	—	—	—	—	—	
				0.55	0.65	0.75	0.60	0.65	0.75	
II_4 II_5	0.75	0.80	0.85	0.50	0.60	0.70	0.55	0.65	0.75	
III	0.70	0.78	0.85				$\frac{0.50}{0.55}$	$\frac{0.60}{0.65}$	$\frac{0.70}{0.75}$	分子适用于粉土地区； 分母适用于粉质亚粘土地区
IV	0.65	0.75	0.80	0.60	0.65	0.75	0.60	0.65	0.75	
V				0.57	0.70	0.75	0.60	0.70	0.75	
VI	0.70	0.78	0.85	0.55	0.63	0.70	0.55	0.65	0.75	
VII	0.65	0.73	0.80	0.55	0.63	0.70	0.55	0.65	0.75	

注：w_1——干燥和中湿状态路基的分界相对含水量；

w_2——中湿和潮湿状态路基的分界相对含水量；

w_3——潮湿和过湿状态路基的分界相对含水量。

2)根据土的平均稠度 w_c 划分，土的平均稠度 w_c 按下式计算：

$$w_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p} \tag{2-3}$$

式中：w_c——平均稠度；

w——土的平均含水量，%；

w_L——土的液限；

w_P——土的塑限。

通过实测 w_L 和 w_P 来计算平均稠度 w_c，同时还应考虑路基填土高度以及有无地下水、地

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表积水的影响，可通过查表 2-5，与分界稠度建议值 w_{c0}、w_{c1}、w_{c2}、w_{c3}相比较，再依据表 2-6 来确定所属路基的干湿类型。

分界稠度建议值 表 2-5

分界稠度 w_{ci} / 土组 / 自然区划	土质砂				粘质土				粉质土				附注
	w_{c0}	w_{c1}	w_{c2}	w_{c3}	w_{c0}	w_{c1}	w_{c2}	w_{c3}	w_{c0}	w_{c1}	w_{c2}	w_{c3}	
$II_{1,2,3}$ II_{1a} II_{2a}	1.87	1.19	1.05	0.91	1.29 1.20	1.20 1.12	1.03 0.94	0.86 0.77	1.12	1.04 0.96	0.96 0.89	0.81 0.73	粘质土：分母适用于 $II_{1,2,3}$区； 粉质土：分母适用于 II_{2a}副区
II_4 II_5	1.87	1.05	0.91	0.78	1.29	1.20	1.03	0.86	1.12	1.04	0.89	0.73	
III	2.00	1.19	0.97	0.78					1.20	1.12 1.04	0.96 0.89	0.81 0.73	分子适用于粉土地区； 分母适用于粉质亚粘土地区
IV	1.73	1.32	1.05	0.91	1.20	1.03	0.84	0.77	1.04	0.96	0.89	0.73	
V					1.20	1.08	0.86	0.77	1.04	0.96	0.81	0.73	
VI	2.00	1.19	0.97	0.78	1.29	1.12	0.98	0.86	1.20	1.04	0.98	0.73	
VII	2.00	1.32	1.10	0.91	1.29	1.12	0.98	0.86	1.20	1.04	0.98	0.73	

注：w_{c0}——干燥状态路基常见下限稠度；

w_{c1}——干燥和中湿状态路基的分界稠度；

w_{c2}——中湿和潮湿状态路基的分界稠度；

w_{c3}——潮湿和过湿状态路基的分界稠度。

路基干湿类型 表 2-6

路基干湿类型	路床深度内的平均稠度 w_c 与分界稠度 w_{ci}（或平均相对含水量）$\bar{w}_x$ 与分界相对含水量 w_i）的关系	一般特征
干燥	$w_c > w_{c1}$（或 $\bar{w}_x < w_1$）	路基干燥稳定，路面强度和稳定性不受地下水和地表积水影响，路基高度 $H_0 > H_1$
中湿	$w_{c1} > w_c > w_{c2}$ （或 $w_1 < w_x < w_3$）	路基上部土层处于地下水或地表积水影响的过渡带区内，路基高度 $H_2 < H_0 < H_1$
潮湿	$w_2 > w_c > w_{c3}$ （或 $w_1 < \bar{w}_x < w_3$）	路基上部土层处于地下水或地表积水毛细影响区内，路基高度 $H_3 < H_0 < H_2$
过湿	$w_c > w_{c3}$ （或 $\bar{w}_x > w_3$）	路基极不稳定，冰冻区春融翻浆，非冰冻区软弹土基经处理后方可铺筑路面，路基高度 $H_0 < H_3$

注：①H_0 为不利季节路床表面距地下水位或地表积水水位的高度；

②地表积水指不利季节积水 20d 以上；

③ω_1、ω_2、$\bar{w}_x$ 为干燥、中湿、潮湿状态路基的分界相对含水量，$\bar{w}$ 为路床表面以下 80cm 深度内的平均相对含水量，w_c 为平均稠度，分界稠度 $w_{c1}=1$，$w_{c2}=0.9$，$w_{c3}=0.75$；

④H_1、H_2、H_3 分别为干燥、中湿和潮湿状态的路基临界高度，见表 2-7；

⑤划分路基干湿类型以 w_c 为主，缺少资料时可参照表中一般特征确定。

二、以路基临界高度判别干湿类型

对于新建公路，路基尚未建成，无法通过测定相对含水量或平均稠度来判定路基干湿类型，此时，可采用地下水或地表长期积水的水位至路床表面的距离，与路基临界高度进行比较

来判别路基干湿类型。

所谓路基临界高度，是指在不利季节，当路基分别处于干燥、中湿、潮湿和过湿状态时，路床表面距地下水或地表积水水位的最小高度，分别用 H_1、H_2 和 H_3 表示。临界高度可根据土质和气候因素按当地经验确定。缺乏资料时，可按表 2-7 选用。

当 $H > H_1$ 时，路基为干燥状态；

$H_1 > H > H_2$ 时，路基为中湿状态；

$H_2 > H > H_3$ 时，路基为潮湿状态；

$H < H_3$ 时，路基为过湿状态。

以临界高度判别路基干湿类型，同样是以分界相对含水量为依据的。路基干湿类型、土的分界相对含水量和路基临界高度是互相对应的。其关系可参见图 2-4。

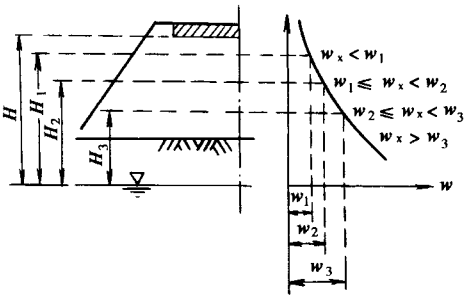


图 2-4　路基临界高度与路基干湿类型

为了保证路基的强度和稳定性，不受地面水和地下水的影响，要求路基保持干燥或中湿状态，路床表面距地下水位或地表积水水位的距离，应大于或等于干燥、中湿状态的临界高度。不同土质和自然区的临界高度可参见表 2-7。

路基临界高度参考值　　表 2-7

土组	土质砂								
路床表面至各水位临界高度(m)	地下水			地表长期积水			地表临时积水		
自然区划	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
II_1									
II_2									
II_3	1.9~2.2	1.3~1.6							
II_4									
II_5	1.1~1.5	0.7~1.1							
III_1									
III_2	1.3~1.6	1.1~1.3	0.9~1.1	1.1~1.3	0.9~1.1	0.6~0.9	0.9~1.1	0.6~0.9	0.4~0.6
III_3	1.3~1.6	1.1~1.3	0.9~1.1	1.1~1.3	0.9~1.1	0.6~0.9	0.9~1.1	0.6~0.9	0.4~0.6
III_4									
III_{1a}									
III_{2a}	1.4~1.7	1.0~1.3							
IV_1、IV_{1a}									
IV_2									
IV_3									
IV_4	1.0~1.1	0.7~0.8							
IV_5									
IV_6	1.0~1.1	0.7~0.8							
IV_{6a}									
IV_7				0.9~1.0	0.7~0.8	0.6~0.7			

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

土组	土质砂								
路床表面至各水位临界高度(m) / 自然区划	地下水			地表长期积水			地表临时积水		
	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
V_1	1.3~1.6	1.1~1.3	0.9~1.1	1.1~1.3	0.9~1.1	0.6~0.9	0.9~1.1	0.6~0.9	0.4~0.6
V_2、V_{2a}（紫色土）									
V_3									
V_2、V_{2a}（黄壤土、现代冲积土）									
V_7、V_5、V_6									
VI	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(1.8)	(1.4)	(1.0)	0.7	0.3	
VI_{1a}	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(1.7)	(1.3)	(1.0)	(1.0)	(0.5)	
VI_2	1.4~1.7	1.1~1.4	0.9~1.1	1.1~1.4	0.9~1.1	0.6~0.9	0.9~1.1	0.76~0.9	0.4~0.6
VI_3	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(1.9)	(1.5)	(1.1)			
VI_4	(2.2)	(1.8)	(1.4)	(1.9)	(1.5)	(1.2)			
VI_{4a}	(1.9)	(1.5)	(1.1)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	0.8		
VI_{4b}	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(1.7)	(1.3)	(1.0)	(0.5)		
VII_1	(2.2)	(1.9)	(1.6)	(2.1)	(1.6)	(1.3)	(0.8)	(0.4)	
VII_2									
VII_3	1.5~1.8	1.2~1.5	0.9~1.2	1.2~1.5	0.9~1.2	0.6~0.9	0.9~1.2	0.7~0.9	0.4~0.6
VII_4	(2.1)	(1.6)	1.3	(1.8)	(1.4)	1.0	(0.9)		
VII_5	(3.0)	(2.4)	1.9	(2.4)	(2.0)	1.6	(1.5)	(1.1)	(0.5)
VII_{5a}									
土组	粘性土								
路床表面至各水位临界高度(m) / 自然区划	地下水			地表长期积水			地表临时积水		
	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
II_1	2.9	2.2							
II_2	2.7	2.0							
II_3	2.5	2.8							
II_4	2.4~2.6	1.9~2.1	1.2~1.4						
II_5	2.1~2.5	1.6~2.0							
III_1									
III_2	2.2~2.75	1.7~2.2	1.3~1.7	1.75~2.2	1.3~1.7	0.9.1.3	1.3~1.75	0.9~1.3	0.45~0.9

续上表

土组	粘性土								
路床表面至各水位临界高度(m) / 自然区划	地下水			地表长期积水			地表临时积水		
	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
III_3	2.12~2.5	1.6~2.1	1.2~1.6	1.6~2.1	1.2~1.6	0.9~1.2	1.2~1.6	0.9~1.2	0.55~0.9
III_4									
III_{1a}									
III_{2a}									
IV_1、IV_{1a_1}	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9						
IV_2	1.6~1.7	1.1~1.2	0.8~0.9						
IV_3	1.5~1.7	1.1~1.2	0.8~0.9	0.8~0.9	0.5~0.6	0.3~0.4			
IV_4	1.7~1.8	1.0~1.2	0.8~1.0						
IV_5	1.7~1.9	1.3~1.4	0.9~1.0	1.0~1.1	0.6~0.7	0.3~0.4			
IV_6	1.8~2.0	1.3~1.5	1.0~1.2	0.9~1.0	0.5~0.6	0.3~0.4			
IV_6	1.6~1.7	1.1~1.2	0.7~0.8						
IV_7	1.7~1.8	1.4~1.5	1.1~1.2	1.1~1.1	0.7~0.8	0.4~0.5			
V_1	2.0~2.4	1.6~2.0	1.2~1.6	1.6~2.0	1.2~1.6	0.8~1.2	1.2~1.6	0.8~1.2	0.45~0.8
V_2、V_{2a}（紫色土）	2.0~2.2	0.9~1.1	0.4~0.6						
V_3	1.7~1.9	0.8~1.0	0.4~0.6						
V_2、V_{2a}	1.7~1.9	0.7~0.9	0.3~0.5						
（黄壤土、现代冲积土）V_4, V_5, V_6	1.7~1.9	0.9~1.1	0.4~0.6						
VI_1	(2.3)	(1.9)	(1.6)	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(0.9)	0.5	
VI_{1a}	(2.2)	(1.9)	(1.4)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)	
VI_2	2.2~2.75	1.65~2.2	1.65~2.2	1.2~1.65	0.75~1.2	1.2~1.65	0.75~1.2	0.45~0.75	
VI_3	(2.4)	(2.0)	(1.6)	(2.1)	(1.7)	(1.4)	(0.8)	(0.6)	
VI_4	2.4	2.0	1.6	(2.2)	(1.7)	(1.3)	1.0	0.6	
VI_{4a}	(2.2)	(1.7)	(1.4)	(1.9)	(1.4)	(1.1)	0.7		
VI_{4b}	(2.3)	(1.8)	(1.4)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(0.8)		
VII_1	2.2	(1.9)	(1.5)	(2.1)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)	
VII_2	(2.3)	(1.9)	(1.6)	1.8	1.4	1.1	0.8	0.4	
VII_3	2.3~2.85	1.75~2.3	1.3~1.75	1.75~2.3	1.3~1.75	0.75~1.3	1.3~1.75	0.75~1.3	0.45~0.75
VII_4	(2.1)	(1.6)	(1.3)	(1.7)	(1.4)	(1.1)	(0.7)		
VII_5	(3.3)	(2.6)	(2.1)	(2.4)	(2.0)	(1.6)	(1.5)	(1.1)	(0.5)
VII_{5a}	(2.8)	2.4	1.9	2.5	2.0	1.6	(1.4)	(0.8)	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

土组	粉性土								
路床表面至各水位临界高度(m) / 自然区划	地下水			地表长期积水			地表临时积水		
	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
II_1	3.8	3.0	2.2						
II_2	3.4	2.6	1.9						
II_3	3.0	2.2	1.6						
II_4	2.6~2.8	2.1~2.3	1.4~1.6						
II_5	2.4~2.9	1.8~2.3							
III_1	2.4~3.0	1.7~2.4							
III_2	2.4~2.85	1.9~2.4	1.4~1.9	1.9~2.4	1.0~1.9	1.0~1.4	1.4~1.9	1.0~1.4	0.5~1.0
III_3	2.3~2.75	1.8~2.3	1.4~1.8	1.8~2.3	1.4~1.8	1.0~1.4	1.4~1.8	1.0~1.4	0.55~1.0
III_4	2.4~3.0	1.7~2.4							
III_{1a}	2.4~3.0	1.7~2.4							
III_{2a}	2.4~3.0	1.7~2.4							
IV_1、IV_{1a}	1.9~2.1	1.3~1.4	0.9~1.0						
IV_2	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9						
IV_3	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9	0.9~1.0	0.6~0.7	0.3~0.4			
IV_4									
IV_5	1.79~2.1	1.3~1.5	0.9~1.1						
IV_6	2.0~2.2	1.5~1.6	1.0~1.1						
IV_6	1.8~2.0	1.3~1.4	0.9~1.1						
IV_7									
IV_1	2.2~2.65	1.7~2.2	1.3~1.7	1.7~2.2	1.3~1.7	0.9~1.3	1.3~1.7	0.9~1.3	0.55~0.9
V_2、V_{2a}（紫色土）	2.3~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7						
V_3	1.9~2.1	1.3~1.5	0.5~0.7						
V_2，V_{2a}（黄壤土、现代冲积土）	2.3~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7						
V_4、V_5、V_{5a}	2.2~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7						
VI_1	(2.5)	(2.0)	(1.6)	(2.3)	(1.8)	(1.3)	(1.2)	0.7	0.4
VI_{1a}	(2.5)	(2.0)	(1.5)	(2.2)	(1.7)	(1.2)	0.6		
VI_2	2.3~2.15	1.85~2.3	1.4~1.85	1.85~2.3	1.4~1.85	0.9~1.4	1.4~1.85	0.9~1.4	0.5~0.9
VI_3	(2.6)	(2.1)	(1.6)	(2.4)	(1.8)	(1.4)	(1.3)	(0.7)	
VI_4	(2.6)	(2.2)	1.7	2.4	1.9	1.4	1.3	0.8	
VI_{4a}	(2.4)	(1.9)	1.4	2.1	1.6	1.1	1.0	0.5	
VI_{4b}	(2.5)	1.9	1.4	(2.2)	(1.7)	(1.2)	1.0	(0.5)	
VII_1	(2.5)	(2.0)	(1.5)	(2.4)	1.8	1.3	1.1	0.6	

续上表

土组	粉性土								
路床表面至各水位临界高度(m) / 自然区划	地下水			地表长期积水			地表临时积水		
	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
VII_2	(2.5)	(2.1)	(1.6)	(2.2)	(1.6)	(1.1)	0.9	0.4	
VII_3	2.4~3.1	2.0~2.4	1.6~2.0	(2.0~2.4)	(1.6~2.0)	(1.0~1.6)	(1.6~2.0)	1.0~1.6	0.55~1.0
VII_4	(2.3)	(1.8)	(1.3)	(2.1)	(1.6)	(1.1)			
VII_5	(3.8)	(2.2)	(1.6)	(2.9)	(2.2)	(1.5)		(1.3)	(0.5)
VII_{5a}	(2.9)	(2.5)	1.8	(2.7)	2.1	1.5	1.6	1.1	

注:①VI、VII区有横线者,表示实测资料较少;有括号者表示没有实测资料,根据规律推算的;

②缺少资料的二级区可参考相邻二级区数值。

第四节 土方路堑的开挖

路堑是由天然地层构成,在生成和演变的长期过程中,一般具有复杂的地质结构。处于地壳表层的路堑边坡,开挖后暴露于大气中,受到各种自然的和人为因素的影响,比路堤边坡更容易发生变形和破坏。路堑边坡的稳定与施工方法有着密切关系。如施工开挖边坡过陡,弃土堆距坡顶太近,施工中排水不良,支挡工程未能及时做好,就会引起边坡失稳,发生坍滑。

路堑开挖方式应根据深度和纵向长度以及地形、土质、土方调配情况和开挖机械设备等条件因素确定,以提高工作效率,加快施工进度。

一、土方路堑开挖的方法

1.横挖法

1)层横挖法

对路堑整个横断面的宽度和深度,从一端或两端逐渐向前开挖的方法称为横挖法。这种开挖方法适用于开挖深度小且适用于较短的路堑。如图2-5a)所示。

2)多层横挖法

如图2-5b)所示,路堑虽也较短,但深度较大时,可分成几个台阶进行开挖。但各层要有独立的出土道和临时排水设施。分层横挖法使得工作面纵向拉开,多层多向出土,可容纳较多的施工机械,若用挖掘机配合自卸汽车进行,台阶高度可采用3~4m。人力横挖法时,一般为1.5~2.0m。

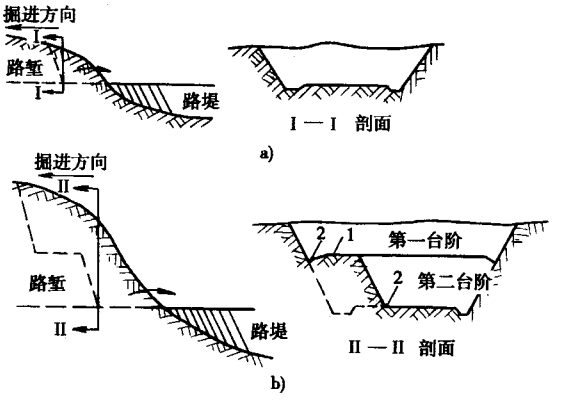


图2-5 横向全宽挖掘法

a)一层横向全宽挖掘法;b)多层横向全宽挖掘法

1-第一台阶运土道;2-临时排水沟

2.纵挖法

1)分层纵挖法

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

沿路堑全宽以深度不大的纵向分层挖掘前进的作业方式称为分层纵挖法，见图 2-6a)。本法适用于较长的路堑开挖。施工中，当路堑长度较短（＜100m），开挖深度不大于 3.0m，地面较陡时，宜采用推土机作业，其适当运距为 20～70m，最远不宜大于 100m。当地面横坡较平缓时，表面宜横向铲土，下层宜纵向推运。当路堑横向宽度轻大时，宜采用两台或多台推土机横向联合作业。当路堑前方为陡峻山坡时，宜采用斜铲推土。

2)通道纵挖法

沿路堑纵向挖掘一通道，然后将通道向两侧拓宽，如图 2-4b)所示。上层通道拓宽至路堑边坡后，再开挖下层通道，按此方向直至开挖到挖方路基顶面标高，称为通道纵挖法。这是一种快速施工的有效方法，通道可作为机械行驶，运输土方车辆的道路，便于挖掘和外运的流水作业。

3)分段纵挖法

沿路堑纵向选择一个或几个适宜处，将较薄一侧路堑横向挖穿，将路堑在纵方向上，按桩号分成两段或数段，各段再纵向开挖，称分段纵挖法，如图 2-6c)所示。本法适用于路堑较长，弃土运距过远的傍山路堑或一侧的堑壁不厚的路堑开挖。同时还应满足其中各段有经批准的弃土场，土方调配计划有多余的挖方废弃的条件。

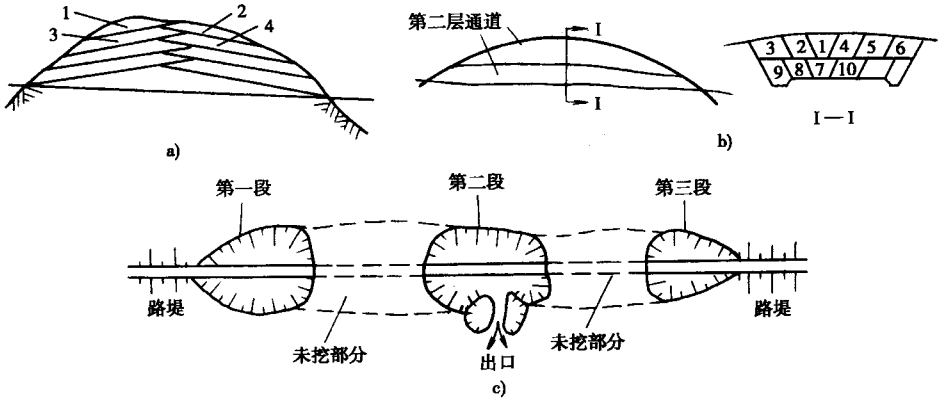


图 2-6　纵向挖掘法

a)分层纵挖法(图中数字为挖掘顺序)；b)通道纵挖法(图中数字为拓宽顺序)；c)分段纵挖法

3.混合式开挖法

即将横挖法与通道纵挖法混合使用，这种方法适用于路堑纵向长度和深度都很大时。先将路堑纵向挖通，然后沿横向坡面进行挖掘，以增加开挖坡面，如图 2-7 所示。每一个坡面应设一个机械施工班组进行作业。

二、土方机械作业

1.推土机作业

推土机作业由切土、运土、卸土、倒退(或折返)、回空等过程组成一个循环。影响作业效率的主要因素是切土和运土两个环节。其基本作业方式有以下几种。

1)下坡推土

利用下坡时推土机重力、加速切土，增加推土量。但坡度不宜超过 20%，否则回空时爬坡困难。

2)并列推土

两台或三台并列同速推土，可减少土的溜失。两铲刀间距一般约 15～20cm。

3)拉槽推土

连续多次在同一处推土，形成一条线槽，在槽内推运可以减少土的漏失。槽深一般不大于铲刀高度。

4)接力推土

在取土场较长而土质较硬时，可自近而远，分段将土推送成堆，然后再由远而近将各段土堆一次推送至卸土点。可以提高运土效率又可减少运土时间。

5)波浪式推土

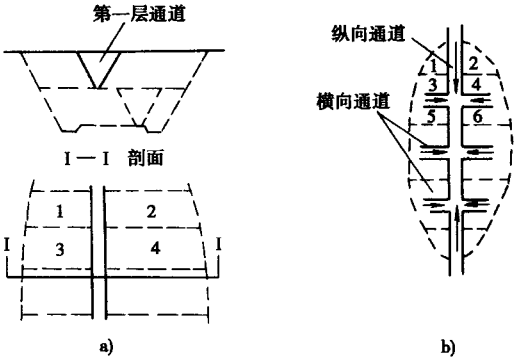


图 2-7 混合挖掘法

a)横断面和平面；b)平面纵横通道示意

注：箭头表示运土与排水方向，数字表示工作面号数。

开始切土时，应将铲刀最大可能地切入土中，当发动机稍有超负现象时，将铲刀缓缓提起，直到发动机恢复正常运转，再将铲刀降下切土。起刀时不应离开地面，这样多次起伏，直至铲刀前堆满土为止。

推土器进行傍山铲土和单侧弃土作业时，通常采用斜铲推土，铲刀的水平回转角一般可取 25°，将土一边切削，一边移至弃土一侧。当在坡度不大的斜坡上削土或挖沟时，采用侧铲作业，即铲刀在垂直平面内转动 9°左右。这种作业适宜于场地纵坡不大于 30°，横坡度不大于 25°的情况。

在地基松软时，可使用湿地推土机。

2.铲运机作业

1)铲土方法

铲运机能够独立完成土方的铲装、运输、铺填、整平和预压等作业，具有相当的机动灵活性。一般有以下几种铲土的方法。

(1)一般铲土

适用于较软的土，开始应使铲刀以最大深度切入土中(不大于 30cm)，随着行驶阻力的增加而逐渐减少切土深度直至铲斗装满为止。

(2)波浪式铲土

适用于较硬的土，开始铲土时，使铲刀以最大深度切入土中，随着拖拉机负荷逐渐增加，发动机转速降低，相应地减小切土深度，这样反复若干次，直至铲斗铲满为止。这样可充分利用发动机功率，改善装土条件，而提高效率。

(3)跨铲铲土

这种方法适用于较坚硬的土层，铲土时按图 2-8a)所示的程序来布置铲土道。先在取土场第一排(1、2、3 区)铲土道上取土，两相邻铲土道之间留出半个铲斗宽的土不铲。然后再在第二排(4、5 区)取土，其起点应在第一排铲土道的起点处向后移半个铲土道长度。第三、四排铲土道依次后移，使铲土道前、后、左、右重合起来。

如果取土场狭窄不能按上述施工程序布置时，可采用单排跨铲，如图 2-8b)所示，每条铲土道间留出 1.0～1.3m 的宽度，在铲除这些土埂时，可减少切土阻力。

(4)下坡铲土

铲土下坡角一般为 7～8°，最大不超过 15°。如在平地取土坑铲土，应先将一端铲低，然后

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

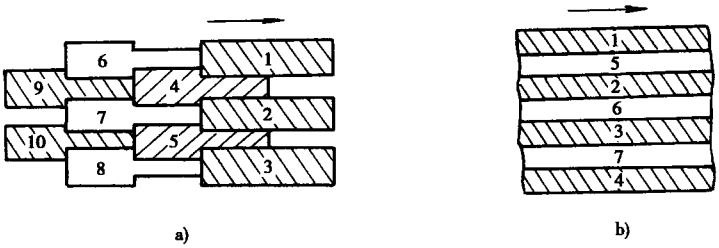


图 2-8　铲运机跨铲铲土

a)跨铲铲土;b)单排跨铲铲土

保持一定的坡度向后延伸铲土道,人为地创造下坡铲土的有利地形。一般下坡时铲运机应低速行驶,当进入坡道地段时应立即放下铲斗,以便利用铲斗与地面之间的阻力降低铲运机的行驶速度。当铲斗铲满,但后轮未进入缓坡地段前,不应提升铲斗和关闭斗门,以利用斗前土的阻力而起制动作用。

(5)顶推铲土

铲运机在坚硬的土、冻深在 20cm 以内的土、干砂中作业,由于拖拉机的附着力不足,牵引力不能充分发挥时,可用推土机在铲运机铲土过程中进行顶推助铲。这种办法须有一定的工程量和工作面,方可避免推土机窝工。一般要求取土场的宽度不小于 20m,长度不短于 80m。铲运机半周程运距不短于 250m。

2)运行线路

铲运机施工运行路线的选择,要综合考虑施工效率、地形条件、机械磨损等因素,在填筑路堤和开挖路堑工程中,常用的有椭圆形、"8"字形、"之"字形、穿梭形和螺旋形等。

(1)椭圆形运行路线

这种路线如图 2-9a)所示。它的最大优点是可在不同地形条件下布置灵活,顺逆运行方向可以随时改变,运行中干扰也少。缺点是重载上坡的转向角大,转弯半径较小。

(2)"8"字形运行路线

实际上是两个椭圆形的连接,如图 2-9b)所示。不同的是减少了两个 180°的急转弯。它在一次循环运行中,可以完成两次铲土和两次卸土。

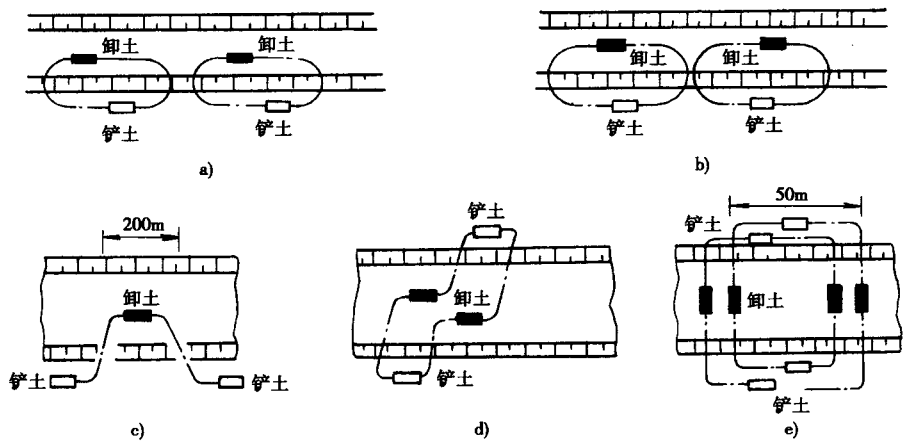


图 2-9　铲运机运行路线

a)椭圆形运行路线;b)"8"字形运行路线;c)"之"字形运行路线;d)穿梭形;e)螺旋形

(3)“之”字形运行路线

是若干“8”字形首尾相接的路线，如图 2-9c)所示。适用于较长的地段施工，并宜机群作业，各机列队间隔 20m，依次进行填挖到尽头。

(4)穿梭形与螺旋形运行路线

如图 2-9d)、e)所示。与上述几种相比，空载行驶距离短，在一个循环中可以两次铲卸土。缺点是对一侧取土坑有局限性，完成一个循环有四次转弯，增长了运行时间，拖拉机单侧磨损较重。

3.挖掘机作业

1)正铲挖掘机基本作业

(1)侧向开挖

运土车辆的运行路线位于挖掘机开挖路线的侧面，如图 2-10a)。它的特点是卸土时平均回转角小于 90°，车辆可直线进出，缩短了循环时间。

(2)正向开挖

装车时车辆停在挖掘机的后方，如图 2-10b)。其卸土转角大于 90°，增加循环时间，但开挖面较宽，车辆要调头和倒驶，只适宜于挖掘进口处。

2)反铲挖掘机的基本作业

(1)沟端开挖

从沟的一端开始，然后沿沟中线倒退开挖，如图 2-11a)。运输车辆停在沟侧，此时动臂只回转 40°～45°即可卸料。如挖掘沟渠较宽时，可分段进行，如图 2-11b)所示。当挖到尽头时，再调头开挖相邻的一段。

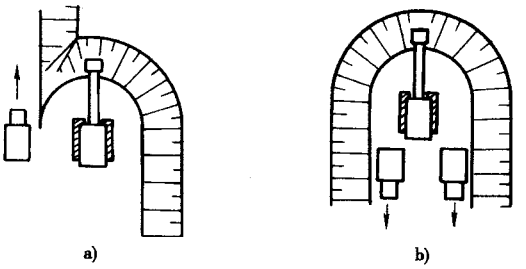


图 2-10　正铲挖掘机开挖

a)侧向；b)正向

(2)沟侧开挖

与前者不同的是车辆停在沟端，挖掘机在沟测，动臂回转小于 90°即可卸料，如图 2-11c)。效率较高，但挖掘机始终沿沟侧行驶，开挖边坡较陡。

3)拉铲挖掘机的基本作业

拉铲挖掘机的开挖方法与反铲挖掘机基本相同。只是挖掘的半径大，深度深。

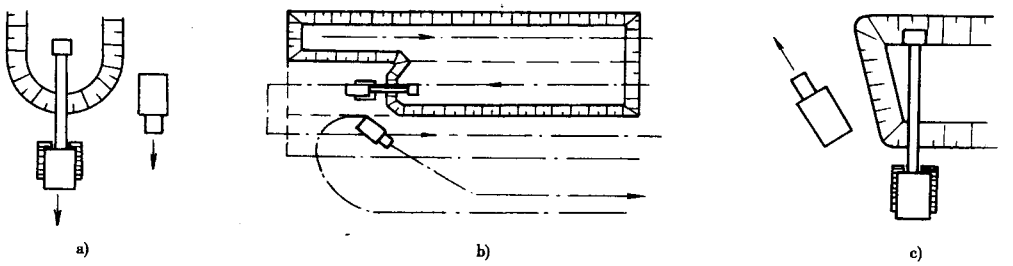


图 2-11　反铲挖掘机沟端开挖

a)、b)沟端开挖；c)沟侧开挖

4.装载机作业

装载机是一种工作效率较高的铲土运输机械，兼有推土机和挖掘机两者的工作能力，可以进行铲掘、推运、整平、装载和牵引等多种作业。其优点是适应性强，作业效率高，操纵简便，是一种发展较快的循环作业式机械。

5.平地机作业

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

平地机可运土、铲土、卸土同时进行连续作业的机械。主要装置是一把刮刀，可调整四种作业，即括刀平面回转、括刀左右端升降、刮刀左右引伸和刮刀机外倾斜，来完成刮刀刀角刮土侧移，刮刀刮土侧移和直移以及机身外刮土作业。

刮刀刀角刮土侧移，适用于开挖边沟。刮刀铲土侧移适用于侧向移土修筑路堤、平整场地、回填沟渠等作业。刮刀刮土直移适用于修筑不平的较小场地。在路基施工中可用于路拱的修整和材料的整平。机外刮土主要用于刷路堤、路堑边坡和开挖边沟等。

三、土方机械的类型、性能以及适用范围

1.推土机

1)分类

推土机按其行走方式、推土板安装方法、操作系统及发动机功率进行分类。

按行走装置形式分为履带式和轮胎式两类；按推土板安装方式分为固定式和回转式两种；按推土板的操纵方式分为机械式和液压式两种；按发动机功率分为小型(37kW以下)、中型(37～250kW)、大型(250kW以上)三种。履带推土机是使用最广泛的一种，它适宜于Ⅳ级以下土的推运。当推运Ⅳ级以上土或冻土时，应先进行松土。

2)国产推土机适用范围(见表2-8)

国产推土机适用范围 表2-8

型号		额定功率(kW)〈马力〉	结构重量(kg)	推土装置				松土器		经济运距(m)	接地比压(kPa)	最大牵引力(kN)
				推土板(长×宽)(mm)	安装方式	操纵方式	切土深度(mm)	型式	松土深度(mm)			
履带式推土机	移山—80	66.2〈90〉	14 886	3 100×1 100 3 720×1 040	固定式 回转式	机械式				50～100	63	99
	T1—80			3 030×1 100	固定式	机械式	180			50～100		
	T1—100(T3—100)	66.2〈90〉	13 430	3 030×1 100	回转式	机械式	180			50～100		90
	T2—100(DY2—100)	66.2〈90〉	16 000	3 800×860	回转式	液压式	650	4～5齿	550	50～100	68	90
	T2—120A	103.0〈140〉	16 880	3 910×1 000	回转式	液压式	300			50～100	63	117.6
	T2—120(上海—120)	88.3〈120〉	16 200	3 760×1000	回转式	液压式	300			50～100	65	118
	TY—180(T—180)	132.4〈180〉	21 750	4 200×1 100	回转式	液压式	530	3齿	620	50～100	81	187.4
	TY—240	176.5〈240〉	36 500	4 200×1 600	回转式	液压式	500			50～100		320
	TY—320(D155A)	235.4〈320〉	37 000	4 200×1 600	回转式	液压式	600	多齿	1 100	50～100	98	320 350

续上表

型号		额定功率(kW)〈马力〉	结构重量(kg)	推土装置				松土器		经济运距(m)	接地比压(kPa)	最大牵引力(kN)
				推土板(长×宽)(mm)	安装方式	操纵方式	切土深度(mm)	型式	松土深度(mm)			
湿地拖土机	TS—120	88.3〈120〉	16 900	4 000×960	回转式	液压式	400				28	112
轮胎推土机	TL—160	117.7〈160〉	12 800	3 190×998	回转式	液压式	400			50~80		85
水陆两用推土机		88.3〈120〉	14 000							作业水深3m	陆地20;水下15	

2.铲运机

1)分类

按铲斗容量分为小容量($3m^3$以下)、中等容量($4\sim10m^3$)、大容量$15\sim30m^3$和特大容量($30m^3$以上)四种;按卸土方法分为强制式、半强制式和自由式三种;按操纵系统形式分为钢索轮式和液压操纵式两种;按行走方式分拖式、半拖式和自行式三种。铲运机分类见表2-9。产品型号一般由类、组、型、代号与主参数两部分组成。

2)铲运机的适用范围和使用条件(如表2-10和表2-11)

铲运机产品分类(JB 1603—75) 表2-9

类	组	型	特性	代号	代号含义	主参数	
						名称	单位
铲土运输机械	铲运机C(铲)	履带式	—	C	履带机械铲运机	铲斗几何容量	m^3
			Y(液)	CY	履带液压铲运机		
		轮胎式L(轮)	—	CL	轮胎液压铲运机		
		拖式T(拖)	—	CT	机械拖式铲运机		
			Y(液)	CTY	液压拖式铲运机		

各种铲运机的适用范围表 表2-10

类别			堆装斗容量(m^3)		经济运距(m)		道路坡度(%)
			一般	最大	一般	最佳	
拖式铲运机			2.5~18	24	100~500	100~300	15~25
自行式铲运机	单发动机	一般铲装	10~30	50	200~2 000	200~1 500	5~8
		链板装载	10~30	35	200~1 000	200~600	5~8
	双发动机	一般铲装	10~30	50	200~2 000	200~1 500	10~15
		链板装载	10~16	34	200~1 000	200~600	10~15

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

几种国产铲运机的使用条件　　表 2-11

型号		斗容量（m^3）	牵引方式及动力（kW）〈马力〉	操纵方式	卸土方式	切土深度（mm）	卸土深度（mm）	适用运距（m）
拖式铲运机	CT6	6～8	履带拖拉机 58.8～73.6〈80～100〉	机械式	强制式	300	380	100～700
	CTY7	7～9	履带拖拉机 88.3〈120〉	液压式	强制式			100～700
	CTY9	9～12.5	履带拖拉机 132.4～161.8〈180～220〉	液压式	强制式	300	350	100～700
	CTY10	10～12	履带拖拉机 95.6～147.1〈130～200〉	液压式	强制式	300	300	100～700
自行式铲运机	CL7	7～9	单轴牵引车 132.4〈180〉	液压式	强制式	300	400	800～1 500

3.平地机

1)分类

平地机按铲刀长度或发动机功率等分轻、中、重型，见表 2-12。

平地机分类　　表 2-12

类型	铲刀长度(m)	发动机功率(kW)	质量(kg)	车轮数
轻型	≤3	44～66	5 000～9 000	四轮
中型	3～3.7	66～110	9 000～14 000	六轮
重型	3.7～4.2	110～220	14 000～19 000	六轮

2)国产平地产品分类、型号(见表 2-13)

国产平地机分类、型号标准　　表 2-13

类	型	特性	产品名称及代号	主要参数	
				名称	单位
铲土运输机械	平地机(P)	Y(液)	机械式平地机(P)	功率	PS(kW)
			液压式平地机(PY)		

3)使用范围

从路线两侧取土、填筑不高于 1.0m 的路堤，修整路堤横断面，旁刷边坡，开挖路槽和边沟，以及大面积平整等。

4.挖掘机与装载机

1)挖掘机

(1)分类

按行走方式分履带式、轮胎式、步履式和轨行式；按采用的动力不同分为内燃式和电动式。

国产单斗挖掘机型号标准见表 2-14。

国产单斗挖掘机型号标准 表 2-14

类	组	型	特性	代号	代号含义	主参数	
						名称	单位
挖掘机	标准斗容量W(挖)	履带式		W	机械单斗挖掘机	标准斗容量	$m^3 \times 100$
			D(电)	WD	电动单斗挖掘机	标准斗容量	$m^3 \times 100$
			Y(液)	WY	液压单斗挖掘机	标准斗容量	$m^3 \times 100$
			B(臂)	WB	长臂单斗挖掘机	标准斗容量	$m^3 \times 100$
			S(隧)	WS	隧洞单斗挖掘机	标准斗容量	$m^3 \times 100$
		轮胎式L(轮)		WL	轮胎式机械单斗挖掘机	标准斗容量	$m^3 \times 100$
			D(电)	WLD	轮胎工动单斗挖掘机		
			Y(液)	WLY	轮胎式液压单斗挖掘机		

(2)挖掘机的使用范围

特点是效率高、产量大,但机动性较差。遇到开挖量较大的路堑和填筑高路堤等大工程量时选用挖掘机配合运输车辆组组织施工是比较合理的。

为了使挖掘机发挥最大效能,在使用挖掘机时应考虑最小工程量和最低工作面的高度。在使用正铲挖掘机时,工作面的最小高度如表 2-15 所列。

正铲挖掘机工作面最小高度 表 2-15

工作面高度(m) / 斗容量(m^3) / 土级别	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0
I ~ II	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	—
III	—	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
IV	—	—	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5

使用正铲和拉铲挖掘机时最小工程量如表 2-16 所列。

正铲、拉铲挖掘机最小工程量表 表 2-16

铲斗容量(m^3)	正铲挖掘机		拉铲挖掘机	
	工程量(m^3)	土的级别	工程量(m^3)	土的级别
0.5	15 000	I ~ IV	10 000	I ~ II
0.75	20 000	I ~ IV	15 000	I ~ II
0.75	—	—	12 000	III
1.00	15 000	V ~ IV	15 000	I ~ II
1.00	25 000	I ~ IV	20 000	III
1.50	25 000	V ~ VI	20 000	I ~ II

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

如果工程量较小，但又必须使用挖掘机施工时，可选用斗容量较小、机动性强的轮胎式全液压挖掘机。

2)装载机

按动臂形式的不同可分为全回转式、半回转式和非回转式三种；按自身结构特点可分为刚性式、铰接式两种；按行走分为轮胎式与覆带式两种。其产品分类型号见表 2-17。

装载机产品分类(JB 1603—75) 表 2-17

类	组	型	特 性	代 号	代号含义	主参数	
						名 称	单位
铲土运输机械	装载机 Z(装)	履带式	—	Z	履带机械装载机	装载能力	kN
			Y(液)	ZY	履带机械装载机		
		轮胎式 L(轮)	—	ZL	轮胎液压铲运机		

注：例如，ZL50 表示轮胎式液压装载机，其额定载荷为 50kN。

四、挖方路基其他作业

1.路基地面排水措施

1)边沟

土质边沟的断面形式宜用梯形。当为机械化施工时也可用三角形，如宽度受到限制时，可用石砌矩形。石质路堑边沟可采用矩形，积雪、积砂路段宜用流线形。梯形内侧边坡为 1:1～1:1.5，外侧边坡与路堑边坡相同，有碎落台时，外侧与内侧一致。高速公路和一级公路的边沟断面应大一些，其深度和底宽可为 0.8～1.0m。

边沟沟底纵坡应与路线纵坡一致，如路基纵坡小于 0.2%时，可采用变化边沟深度调整；当路线纵坡大于 3%时，应考虑加固，以免发生冲刷。边沟长度一般不宜超过 300m，三角形边沟不宜超过 200m。

2)截水沟

设在路堑坡顶外或山坡路堤上方，用以拦截上方流来的地面水。截水沟底宽不小于 0.5m，深度按流量确定，但不小于 0.5m。土质的边坡一般为 1:1～1:5，底沟纵坡不小于0.5%，当底沟纵坡较大或有防渗要求时，应予加固。截水沟长度不宜超过 500m。当有弃土堆时，设在弃土堆之外，无弃土堆时，距堑顶边缘至少 5.0m(黄土地区至少 10.0m，并需加固防渗)。

3)排水沟

其作用是将边沟、截水沟、取土坑及路基附近的积水引入就近桥涵或沟谷中去，其断面和纵坡要求与截水沟基本相同。出入口应与所连接的排水沟平顺衔接，当出口部分为天然沟谷时，不要使水形成漫流。

4)跌水和急流槽

在纵坡陡峻地段的截水沟、排水沟，可用单级或多级跌水或急流槽连接。跌水和急流槽的断面一般采用矩形，用浆砌片石或混凝土修筑，进口部分始端和出口部分终端的裙墙应埋入冻结线以下。

急流槽的主体部分每隔 2～5m，设置一个防滑平台，嵌入地基内。急流槽纵坡不宜陡于 1:1.5。

2.路基地下排水设施

1)明沟和槽沟

明沟和槽沟都是用于兼排地面水和浅层地下水的设施,如图 2-12 所示。

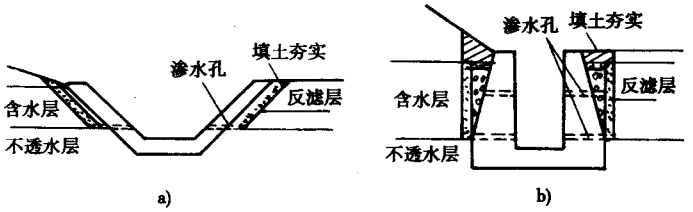


图 2-12 明沟和槽沟断面图
a)明沟;b)槽沟

当设置在路基旁侧时,宜顺路线方向布置;当设在山坡上的低洼地带或天然沟谷处时,宜顺山坡沟谷走向布置。沟底宜埋入不透水地层内,沟壁上最下一排渗水孔的底部高出沟底不小于 0.2m,并宜略高于沟中设计流量的水流表面。沟深可按上述条件决定。

明沟深度不宜超过 1.2m,再深时可改用槽沟,但也不宜超过 2.0m,如再深时,可改用渗沟。

2)渗沟

采用渗透方式将地下水汇集于沟内,并通过沟底通道将水排至指定地点,此种地下排水设备统称为渗沟。渗沟有三种结构形式,如图 2-13 所示。

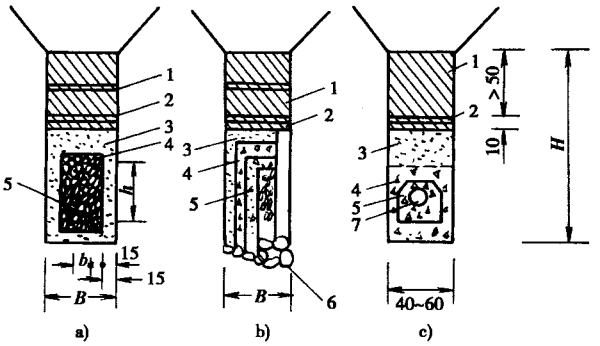


图 2-13 渗沟结构图式(单位:cm)
a)盲沟式;b)洞式;c)管式
1-粘土夯实;2-双层反铺草皮;3-粗砂;2-石屑;5-碎石;6-浆砌片石沟洞;7-预制混凝土管

当地下水流量较大,要求埋置更深,可在沟底设洞或管,前者称为洞式渗沟,后者称为管式渗沟。

渗沟的位置与作用视地下排水的需要而定,虽与简易盲沟相仿,但沟的尺寸更大,埋置更深。公路路基中,浅埋的渗沟约在 2~3m 以内,深埋时可达 6m 以上。

渗沟底部设洞或管。图 2-14 是洞式渗沟结构示意图。其洞宽 b 约 20cm,高约 20~30cm;盖板用条石或混凝土预制板,板长为 $2b$,板厚 $P \leqslant 15$cm,并预留渗水孔,以便渗入沟内的水汇积于洞内排出。洞身要求埋入不透水层内,如地基软弱还应铺设砂砾垫层。洞身埋在透水层中时,必要时在两侧和底部加设隔水层,以达排水目的。洞底作成不大于 0.5%的纵坡,使水通畅排出。

当排除地下水的流量更大或排水距离较长,可考虑采用管式渗沟。底部埋设的管道一般为陶土或混凝土预制管,管壁上半部留有渗水孔并交错排列,如图 2-15 所示。管的内径 D 一

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

般为 0.4～0.6m，管底设置基座。

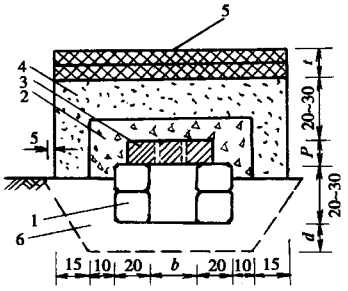


图 2-14　洞式渗沟结构示意图(单位：cm)
1-浆砌块石；2-碎砾石；3-盖板；4-砂；5-双层反铺草皮；6-基础

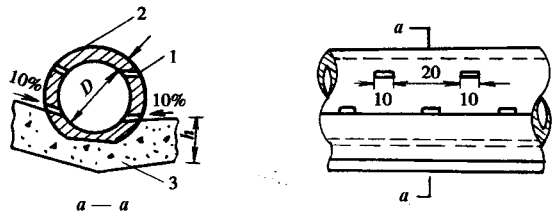


图 2-15　渗水管道结构示意图(单位：cm)
1-渗水孔；2-渗水管；3-基座

3)盲沟

又称暗沟，具有隐蔽工程的含义。从盲沟的构造特点而言，由于沟内分层填以大小不同粒径的颗料，利用渗水材料透水性将地下水汇集于沟内，并沿沟排至指定地点，在水力特性上属于紊流。

图 2-16 为一侧边沟下面所设的盲沟，用以拦截流向路基的层间水，防止路基边坡滑坍和毛细水上升危及路基的强度与稳定性。

图 2-17 为两侧边沟下均设盲沟，用以降低地下水，防止毛细水形成水分积聚而造成冻胀和翻浆或土质过湿而降低强度等。

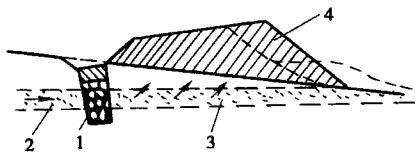


图 2-16　一侧边沟下所设的盲沟
1-盲沟；2-层间水；3-毛细水；4-可能滑坡线

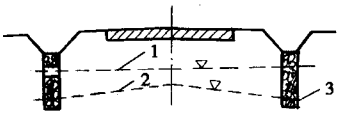


图 2-17　两侧边沟下设盲沟
1-原地下水位；2-降低后地下水位；3-盲沟

图 2-18 是设在路基挖方与填方交界处的横向盲沟，用以拦截和排除路堑下面层间水或小股泉水，保持路堤不受水害。

以上所述，盲沟沟槽内全部填满颗粒材料，可以称为简易盲沟。其构造较为简单，横断面成矩形，亦可做成梯形，底宽 b 与深度 h 大致为 1:3，深约 1.0～1.5m，底宽约 0.3～0.35m。盲沟的底部中间填以粒径较大(3～5cm)的碎石，缝隙较大，水可在缝隙中流动，粗粒碎石两侧和上部，按一定比例分层(层厚约 10cm)，填以较细粒径的粒料，逐层粒径比例大致按 5 倍递减。盲沟顶部和底面，一般设有厚 30cm 以上的不透水层或顶部设有双层反铺草皮。

4)渗井

当地下水存在多层含水层，其中影响路基的上部含水层较薄，排水量不大，且平式渗沟难以布置，可采用立式(竖向)排水而设置渗井。渗井穿过不透水层，将路基范围内的上层地下水，引入更深的含水层中去，以降低上层地下水位或全部予以排除。图 2-19 为圆形渗井的结构与布置示意。

圆柱形渗井直径一般为 1.0～1.5m，亦可是边长为 1.0～1.5m 的方形。井深视地层构造情况而定，井内由中心向四周按层次，分别填入由粗而细的砂石材料，粗料渗水，细料反滤。填充料要求筛分冲洗。施工时需用铁皮套筒分隔填入，不同层次的粒径材料，施工中要求层次分

明，不得粗细料混杂，以保证达到预期排水效果。

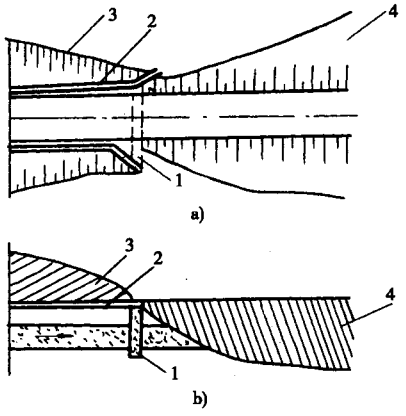


图 2-18　挖填交界处横向盲沟
a)平面；b)立面
1-盲沟；2-边沟；3-路堑；4-路堤

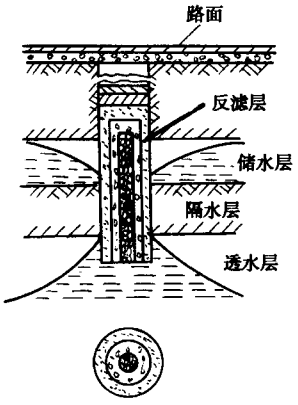


图 2-19　渗井结构与布置示意

3.土质及石质挖方边坡坡度

可参见表 2-18 和表 2-19 确定。

土质挖方边坡坡度　　表 2-18

密实程度	边坡高度（m）	
	<20	20～30
胶结	1:0.3～1:0.5	1:0.5～1:0.75
密实、中密	1:0.5～1:1.25	1:0.75～1:1.5
较松	1:1.0～1:1.5	1:1.5～1:1.75

注：①高速公路、一级公路挖方边坡应采用较缓的边坡坡度；

②边坡较矮或土质比较干燥密实的路段，可采用较陡的边坡坡度；边坡较高或土质比较潮湿的路段，宜采用较缓的边坡坡度；

③路基开挖后，密实程度很容易变松的砂类土、砾类土以及受水浸湿易于失稳的土，应采用较缓的边坡或设置必要的防护工程；

④当土方调配出现借方时，可适当放缓边坡；

⑤砂类土、细粒土的挖方边坡高度不宜超过 20m。

岩石挖方边坡坡度　　表 2-19

岩石种类	风化程度	边坡高度（m）	
		<20	20～30
各类岩浆岩、硬质灰岩、砾岩、砂岩、片麻岩、石英岩	微风化弱风化	1:0.1～1:0.3	1:0.2～1:0.5
	强风化全风化	1:0.5～1.0	1:0.5～1:1.25
各类页岩、泥岩、千枚岩、片岩等软质岩石	微风化弱风化	1:0.25～1:0.75	1:0.5～1:1.0
	强风化全风化	1:0.5～1:1.25	1:0.75～1:1.15

注：①高速公路、一级公路挖方边坡应采用较缓的边坡坡度；

②软质岩石边坡稳定并有防护时，可采用较陡边坡。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第五节　岩石爆破

山区公路路基石方工程量大，而且集中，据统计一般约占土石方总量的45%～75%左右。因此爆破是石方路基施工最有效的方法，亦可用于爆松冻土、淤泥、开采石料等等。在公路工程中采用综合爆破，不但对施工技术取得了重大革新，而且对公路选线、设计也提供了较大余地。

一、爆破器材

爆破器材分军用与民用两大类。民用爆破器材又称工业爆破器材包括炸药、雷管、导火线。

1.炸药

公路工程中最常用的是硝铵类炸药中2号岩石铵梯炸药，具有中等威力和一定的敏感性，在8号雷管的作用下可以充分起爆，是安全的炸药。但其受潮或结块后，爆破性能会降低，而生成的有毒气体明显增加。当湿度超过3%时，则可能会拒爆，大于0.5%时不得用于地下，大于1.5%时不得用于露天爆破。炸药分类见表2-20。

炸药分类表　　表2-20

类别名称	炸药名称和型号		说明
硝铵类炸药 主要成分：硝酸铵	铵梯炸药（以梯恩梯为敏感剂）	岩石铵梯炸药2号，3号，2号抗水，4号抗水	公路工程常用岩石2号，怕潮
		落天铵梯炸药1号，2号，3号，2号抗水	
		煤矿许可铵梯炸药2号，3号，2号抗水，3号抗水（安全炸药）	
	铵梯油炸药2号，2号抗水，3号抗水		
	铵松蜡炸药1号，2号		
	多孔粒状铵油炸药		
	铵油炸药1号，2号，3号		吸湿后结块不能久存，成本低
	乳化炸药	岩石乳化炸药	
		露天乳化炸药	
		煤矿许用乳化炸药	
石安类炸药	乳炸药		
硝化甘油类炸药	胶质硝化甘油炸药	1号普通，2号普通	爆炸威力大，危险性大
		1号难冻，2号难冻	适用于硬岩石或水下
芳香族硝基炸药	梯恩梯（或称之硝基甲苯）		是一种烈性炸药
	苦味酸（或称黄色炸药）		价格昂贵，爆炸后产生有毒气体
黑火药	爆破用黑火药		适用于开采石料

2.雷管

雷管是用来起爆炸药的，按点火方式分电雷管与火雷管。用导火索引爆的雷管叫火雷管，分6号、8号两种，除有沼气的地方和矿井中不用外，可用于一般爆破工程。使用中注意纸壳雷管的防潮。电雷管的构造与火雷管基本相同，只是增加了一个电气点火装置。根据雷管中主装药量不同分为6号和8号两种。图2-20为电雷管的分类。

延期电雷管与瞬发电雷管的不同点只是延期电雷管在电气点火装置与起爆炸药之间有一段缓燃导火索，根据导火索燃烧时间不同，延长起爆时间也不同，延长时间以s、ms计。

一个作业面需要同时起爆的，可用瞬发电雷管；需要不同时间爆炸时，制造临空面以扩大

爆破效果的，可用延期电雷管。

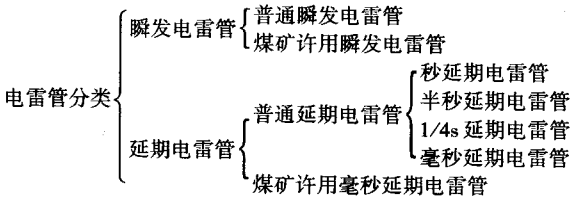


图 2-20　电雷管分类图

3.导火索和火花起爆

导火索以火点燃，用以引爆火雷管或黑火药包。按燃烧速度分为普通导火索和缓烧导火索，每米燃烧速度分别为 100～125s 与 180～215s。

火花起爆法是利用导火线燃烧引爆雷管，从而成为药包爆炸的一种起爆方法。

4.导爆索和起爆法

导爆索其索芯用高级烈性炸药制成，按其包缠结构分棉线导爆索和塑料导爆索。由于导爆索着火较困难，使用时，须在药室外的一段爆线上捆扎一个 8 号雷管来起爆，由于爆速快，每秒可达 6000 多 m，故适用于深孔、洞室爆破。

5.塑料导爆管非电起爆法

塑料导爆管由高压聚乙烯制成，内、外径分别为 1.4mm 和 3mm 的软管，内装混合炸药，药量为 14～16mg/m。国产塑料导爆管爆速为 1600～2500m/s，可用雷管、导爆索、火帽、引火头等产生冲击波的器材激发，通过塑料导爆管传递到雷管，使雷管激发而起爆。

起爆网络与药包的联结方式，有并联、串联、簇联和复式连结法等。由于该起爆法具有抗杂电、操作简便、使用安全、成本较低等特点，致使有逐渐替代导火索和导爆索起爆法的趋势。

二、选用各种爆破方法的基本原则

为充分发挥各种爆破方法的特点，利用微地形和地质的客观条件，在路基石方工程中采用综合爆破，选用各种爆破方法，组织炮群，有计划有步骤地拟定爆破开挖石方是十分重要的。为此，石方工程的施工方案，应按以下原则与步骤进行。

1.全面规划、重点设计

对拟爆破的路基工程，应根据石方集中的程度、微地形的变化、路基断面形状以及地质条件所能允许的爆破规模，结合各种爆破方法的特点，进行全面规划。确定哪些地段采用洞室炮、深孔炮，哪些地段采用小炮群以及各段的开挖顺序。然后对石方集中的点进行重点设计。

一般中心挖深大于 6.0m 时，可采用洞室炮；小于 6.0m 时采用小群炮。在实施中，可参考表 2-21 进行。

爆破方案选择表　　表 2-21

编号	起迄桩号	中心挖深（m）	爆破地段长度（m）	自然坡度（°）	断面石方量（m^3）	爆破类型	备注
1	K1+500～K1+600	3～5	100	30～45	3 000	小炮群	软石
2	K3+700～K3+900	6～9	200	50～70	7 000	抛坍爆破炮群	坚石
3	K4+100～K4+140	12	40	40	4 000	多面临空地形爆破	次坚石节理不发达

2.由路基面开挖，形成高阶梯

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

为了充分利用岩石的崩塌作用，开挖应从路基面开始，逐渐形成阶梯，为深孔炮、药壶炮或猫洞炮创造有利条件。

3.综合利用小炮群，分段分批爆破

一般有以下几种方法。

1)在半填半挖的斜坡地形，采用一字排炮，对自然坡度较缓的地形，应先用钢钎炮切脚，改造地形后，再采用一字排炮。

2)路线横切小山包时，采用钢钎炮三面切脚，改造地形后，再在中间用药壶爆破。

3)遇路基加宽，阶梯较高的地形，采用上下互相配合的小炮群，如图 2-21 所示。图 2-21 中符号意义见式 2-5～式 2-10。

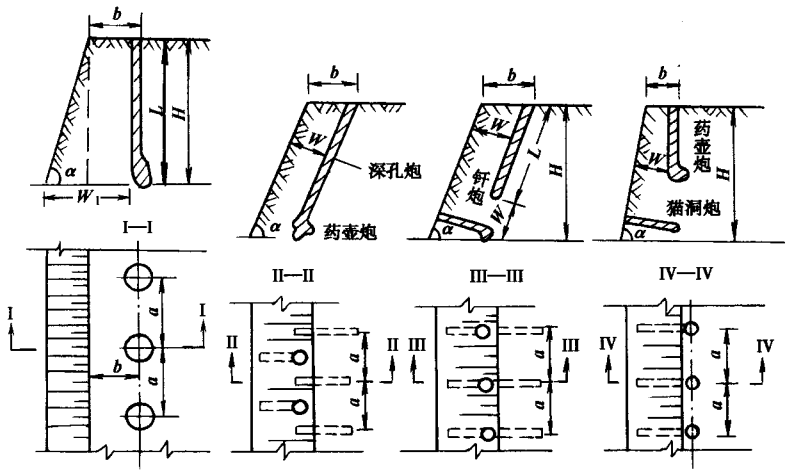


图 2-21　上下互相配合的小炮群

4)对拉沟路堑采用两头开挖时，可以用竖眼揭盖，平眼搜底的梅花炮，如图 2-22 所示。

5)机械化清方时，如遇坚石，可采用眼深 2.0m 以上的钢钎炮，组合成 30～40 个的多排多层炮群，或采用深孔炮。在坚硬岩石中，为使岩石破碎程度满足清方的要求，除调整炮群设计参数外，还可用微差爆破和间隔药包。遇有软石或节理发育的次坚石，可用松动爆破开挖。

6)根据不同的客观条件，采用不同的爆破方法，虽可减轻劳动强度和提高工效，但由于在实际施工中单位耗药量都比小炮定额高出几倍。因此，工程造价的降低并不显著。为降低造价，有条件时，可在综合爆破中采用铵油炸药。

目前特别严重的是导洞掘进和成孔清方等工序进度较慢，这种两头慢，中间快的不协调现象，只有采用机械化打眼和机械化或半机械化清方的方法才能改变。

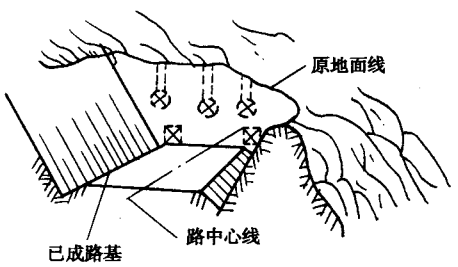


图 2-22　拉沟路堑使用的梅花形立眼和平眼的混合炮群

注：炮数可酌情增减

4.应注意的问题

1)石方开挖区，应注意施工排水，应在纵向和横向形成坡面开挖面，其纵坡应满足排水要求，以确保爆破石料不受积水的浸泡。应避免在两种岩石硬度相差甚大的交界面处设置炮孔药室，也要避开溶洞和大的裂缝。

2)非群炮的单炮和数炮施爆，炮孔宜选在抵抗线最小、临空面多，且与各临空面距离较平

均的位置。炮眼方向宜与临空面大致平行，一般按岩石外形、节理、裂隙等情况，分别选择正炮眼、斜炮眼、平炮眼等方位。

3)石方开挖应重视挖方边坡的稳定，一般宜选用中小炮爆破。对于风化严重，节理发育或岩层产状对边坡稳定不利的石方开挖，宜用小排炮、微差爆破。小型排炮药室距设计波线的水平距离，应不小于炮孔间距的1/2。

三、综合爆破方法

1.钢钎炮

钢钎炮通常是指孔径在25～75mm，孔深在5.0m以下，炮眼中炸药装成长条形，并用泥土堵塞的一种爆破方法。单独使用钢钎炮是不经济的，其原因一是孔浅，用药少，每次爆破方量不大，全靠工人清除，所以工效低；二是由于炮孔浅，爆炸气体很易冲出，变成不做功的声波，使个别飞石飞得很远，造成响声大，而炸下石方不多。因此在路基石方较集中的地段，应尽可能少用这种炮型。

钢钎炮一般是在地形艰险和爆破方量较小的地段使用。如开挖路基边沟、路堑边坡修整、开挖便道、二次破碎以及受周围环境限制的情况下使用，在综合爆破方法中，它是一种改造地形，为其他炮型服务的一种辅助炮型。

炮孔布置及技术参数如下所述。

1)炮眼深度

$$L = CH \tag{2-4}$$

式中：L——炮眼深度，m；

H——爆破岩石的厚度，阶梯高度，m；见图2-23；

C——系数，坚石取1.0～1.15，次坚石取0.85～0.95，软石取0.7～0.9。

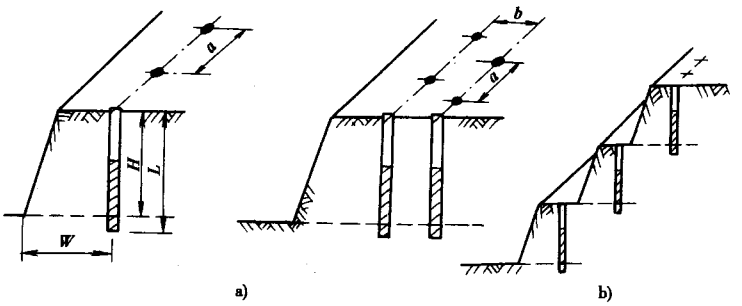


图2-23　台阶式和梯段式爆破
a)台阶式；b)梯段式

2)抵抗线长度

$$W = kd \tag{2-5}$$

式中：W——由炮眼到临空面的最小距离，m；

d——钻孔最大直径，m；

k——系数，一般取15～30，坚硬岩石用小值，中等硬岩用大值。

3)炮眼间距

同排炮眼间距，视岩面的类别、节理发育程度，参照下式计算：

$$a = RW \tag{2-6}$$

式中：a——炮眼间距，m；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

R——系数，采用火雷管起爆为 1.20～2.0，采用电雷管起爆为 0.8～2.3；

W——最小抵抗线，m。

4)装药量

炮眼的装药高度一般为炮孔深度的 1/3～1/2，特殊情况下，不得超过 2/3。对于松动爆破或减弱松动爆破，装药高度可降到炮孔深的 1/3～1/4。

2.葫芦炮(药壶炮)

葫芦炮是将炮眼底部扩大成葫芦形，便于将炸药基本集中于炮眼底部的扩大部分，以提高效果的一种炮型。其炮眼深度在 5.0～7.0m，适用于均匀致密的硬土、次坚石、坚石。药壶炮有省药、爆能利用高等优点。但操作较复杂，如图 2-24 所示。

1)葫芦炮的用药量

$$Q = KW^3 \tag{2-7}$$

式中：Q——炸药质量，kg；

K——单位岩石的硝铵炸药消耗量，kg/m^3；

W——最小抵抗线，m；一般为阶梯高度的 0.5～0.8 倍。

2)单排群炮炮眼间距

$$a = (0.8 \sim 1.0)W \tag{2-8}$$

式中：a——每排内炮眼间距，m；

W——相邻两炮间最小抵抗线的平均值，m。

3)多排群炮各排之间的药包距离

$$b = 1.5W \tag{2-9}$$

式中：b——各排之间的药包距离，m；

W——相邻药包间最小抵抗线的平均值，m。

4)当炮眼布置成三角形时，上下层药包间距

$$a = 2W_F \tag{2-10}$$

式中：W_F——下层最小抵抗线，m；

a——上下层药包间距，m。

3.猫洞炮(如图 2-25)

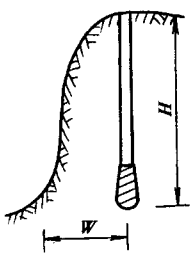


图 2-24　药壶炮

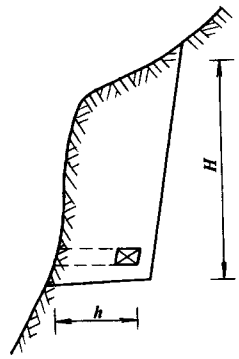


图 2-25　猫洞炮

H-阶梯高度；h-眼深

猫洞炮主要用于较坚硬的土壤松动或在坚石、次坚石爆破中配合钢钎炮、药壶炮爆破。这种方法是在岩土底部开凿一直径为 0.2～0.5m，深度在 0.5m 左右的洞穴，采用集中药包，直接

放在洞穴内，进行爆破。由于潜孔钻机的采用，掘孔已由原来用小炮扩孔挖掘，发展到直接采用钻机，使工效提高很多。

1)用药量计算

(1)当被炸松岩体能坍塌出路基时，用药量按下式计算。

$$Q = KW^3 f(a) d \tag{2-11}$$

式中：Q——用药量，kg；

W——最小抵抗线，m；

K——形成标准抛掷漏斗的单位用药量，kg；一般不宜用抛掷爆破，而是用松动或减弱松动爆破，用药量为抛掷爆破的 1/2～1/3；

$f(a)$——抛掷系数，$f(a) = 26/a$；

a——地面横坡度，°；

d——堵塞系数，可近似用 $d = 3/h$ 计算，其中 h 为眼深。

(2)当被炸松的岩体不能坍塌出路基时，用药量按下式计算。

$$Q = 0.35KW^3 d \tag{2-12}$$

式中符号意义同前。

2)炮孔间距

$$a = (1.0 \sim 1.3) W \tag{2-13}$$

式中：W——两相邻药包计算抵抗线的平均值，m；

1.0～1.3——系数，可根据岩石硬度，节理发育程度及地面坡度的大小而定，一般用 1.0～1.2；当地面坡度大于 70°时，可采用 1.2～1.3，但须注意，间距过大，会使爆破物块过大，增加二次爆破。

4.深孔松动爆破

其孔径在 75mm 以上，深度在 5.0m 以上，是机械化程度很高的一种作业方式。钻孔采用凿岩机或穿孔机，爆破方式多采用深孔多排微差爆破，每次爆破方量可达 1 万 m^3 以上。出渣方式多采用正铲或反铲挖掘机装车，翻斗自卸车外运，推土机配合清理道路和作业面，生产效率高，适合于深路堑施工。

进行深孔爆破，要先将地面修成台阶，称为梯段。梯段的倾角最好为 60～75°，高度在 5～15m 之间，炮孔直径为 80～300mm。在公路工程中，以用 100～150mm 为宜。布孔方式有垂直、倾斜、水平三种。

深孔松动爆破主要有以下几个参数。

1)抵抗线长度

$$W = HD\eta \frac{d}{150} \tag{2-14}$$

式中：H——阶梯高度，m；

D——硬度系数，0.46～0.56；

d——炮孔直径，mm；

η——高度影响系数，见表 2-22 所列。

高度影响系数 表 2-22

H(m)	10	12	15	17	20	22	25	27	30
η 值	1.0	0.85	0.74	0.67	0.60	0.56	0.52	0.47	0.42

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)炮眼深度

$$L = (1.0 \sim 1.15)H \tag{2-15}$$

式中：L——炮眼深度，m；

H——阶梯高度，m。

3)孔距

$$a = (0.7 \sim 1.4)W \tag{2-16}$$

式中：a——孔距，m；

W——抵抗线长度，m。

4)排距

方格布置炮孔 $b = a$；三角布置炮孔 $b = 0.87a$。

5)装药量

$$Q = 0.33KHW_a \tag{2-17}$$

式中：Q——装药量，kg；

K——单位耗药量，kg/m^3；K 值见表 2-23；

H——阶梯高度，m；

W_a——最小抵抗线长度，m。

除查表外，亦可根据岩石等级用下式计算各级岩石平均 K 值。

$$K = 0.1N + b \tag{2-18}$$

式中：N——岩石等级(16 级分级法)；

b——系数；当 $N \leqslant 7$ 时，$b = 0.7$；当 $N > 7$ 时，$b = 0.6$。

6)装药结构及充填方式

为防止炸药过分集中，均匀地破碎岩石，在施工中一般采用间隔装药方式，即分上下两层装药，两层药之间需充填，底层药量占单孔药量 70%，上层药量占 30%，并保证中间充填高度不小于孔径的 20 倍，充填物最好选择干砂或干燥土，捣实要均匀。

单位耗药量 K 值表 表 2-23

岩石名称	岩石等级 N	坚实系数 f	岩石密度 $\rho(kg/m^3)$	标准抛掷单位耗药量 $K(kg/m^3)$
砂	I	0.5～0.6	15 000	1.8～2.0
密实的或潮湿的砂	～	0.6～0.8	1 600＊	1.4～1.5
重亚粘土、砂质粘土	III	0.8～1.0	1 750、1 600(I)	1.2～1.35
坚实粘土	IV	1.0～1.5	2 000	1.2～1.5
黄土	IV～V	1.0～2.0	1 800、1 600(II)	1.1～1.5
白垩土	V	1.5～2.0	1 500、2 600(VI)	0.9～1.1
石膏(硬白膏)	V～VI	2.4～4.0	2 200、2 900(VIII)	1.2～1.5
蛋白石(硅藻土)	V～VI	2.0～4.0	2 200	1.2～1.5
泥灰岩	V～VI	2.0～4.0	1 900、2 300	1.2～1.5
裂纹喷出岩(凝灰岩)	VI	2.0～4.0	1 100	1.5～1.8
重质浮石	VI	2.0～4.0	1 100	1.5～1.8
贝壳(石灰岩)	VI～VII	4.0～6.0	1 200	1.8～2.1
钙质砾岩	VI～VII	4.0～6.0	2 200～2 800	1.35～1.65
砾石	VI～VII	4.0～6.0	2 500	1.35～1.65
粘土质砂岩	VI～VIII	6.0～8.0	2 200	1.35～1.65

续上表

岩石名称	岩石等级 N	坚实系数 f	岩石密度 ρ(kg/m³)	标准抛掷单位耗药量 K(kg/m³)
泥质页岩、石灰岩	Ⅵ~Ⅷ	6.0~8.0	2 300	1.35~1.65
泥灰岩	Ⅶ~Ⅷ	6.0~8.0	2 500	1.35~1.65
白云岩	Ⅷ~Ⅹ	8.0~12.0	2 700、2 900(Ⅺ)	1.5~1.95
石灰岩	Ⅷ~Ⅹ	8.0~12.10	2 700	1.5~1.95
镁质岩	Ⅷ~Ⅹ	8.0~12.0	3 000	1.5~1.95
钙质砂岩	Ⅷ~Ⅹ	8.0~12.0	2 600	1.5~1.95
石灰岩	Ⅷ~ⅩⅡ	8.0~16.0	2 900、3 100	1.5~2.4
砂岩	Ⅷ~ⅩⅡ	8.0~16.0	2 700	1.5~2.4
花岗岩	Ⅸ~ⅩⅡ	10.0~15.0	2 800、3 100、3 300	1.8~2.55
玄武岩	Ⅷ~ⅩⅥ	14.0~20.0	2 700、3 100、3 300	2.1~2.7
安山岩	Ⅷ~ⅩⅥ	14.0~20.0	2 700、3 100	2.1~2.7
石英岩	ⅩⅣ	18.0~20.0	2 800、3 300	1.8~2.1
斑岩	ⅩⅣ~ⅩⅤ	18.0~25.0	2 800、2 700、3 300	2.1~2.55

注:①“*”根据试验得出;

②( )括号内的罗马字母代表相应密度的岩石等级(按16级分级法)。

5.深孔多排微差爆破

微差爆破又称毫秒爆破,是将相邻药包或药包群以毫秒时间的间隔,按一定顺序起爆的一种方法,延期间隔时间由几毫秒到几十毫秒。由于前后相邻段药包爆炸时间间隔很短,致使各药包造成能量相互发生影响,而产生一系列良好的爆破效果。

图2-26所示为高边坡全路堑开挖施工的横断面,岩石等级为坚石、次坚石,采用多排微差爆破的施工方法。

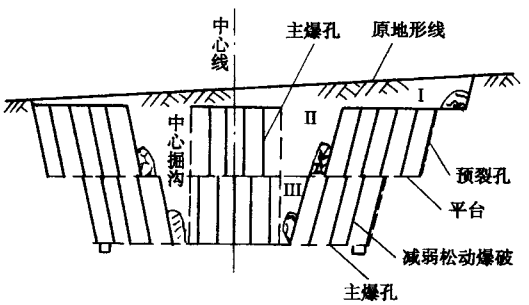


图2-26 高边坡全路堑开挖

注:Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ表示开挖顺序。

1)开挖方式

采用纵向台阶法,台阶的高度为6~9m,开挖顺序为先第Ⅰ梯段,依次为第Ⅱ、第Ⅲ梯段。图中台阶平台宽度由设计决定,炮孔布置方式为与边坡平行的倾斜孔。中心掘沟为两侧横向梯段创造了临空面,台阶的主体开挖采用深孔多排微差爆破。各台阶边坡一律采用深孔预裂爆破,预裂孔与主爆孔之间1~2排采用缓冲控制爆破,其目的是为了保护边坡外既有建筑物和设施。

2)开挖基本作业方法

(1)首先测量放出路堑中心线和开挖边桩线,然后将原地面用手风钻钻眼,浅孔爆破,推土机推出平台,平台宽度一般不小于6~8m。

(2)钻孔采用自行履带式潜孔凿岩机,深孔的位置预先按设计爆破参数计算。钻孔标出编号,由内向外顺序进行。使用潜孔钻机,便道宽度不得小于3m。即使用轻型设备,便道有效宽度也不得小于1.5m。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(3)装药前用测锤或长炮棍检查孔深和孔内是否堵塞。当发现问题经处理仍满足不了设计要求时,应根据实测孔深修改装药量。由于深孔爆破一次孔数较多,装药结构及引爆网络较为复杂,因此需加强工地指挥和组织检查工作。

(4)台阶爆破后,首先将堆积在坡面上的大块危石清理掉。然后再进行挖装作业,采用正铲挖掘机(斗容量在 1.5 ~ 2.0m³)装车。为给挖掘机创造工作条件,应用推土机辅助清理场地与道路。运输车辆为 15t 以上自卸车与挖掘机组成一个机械运输班组,形成流水作业。

3)深孔多排微差爆破

就是使前后排或相邻两孔的药包以毫秒的时间间隔(一般为 15 ~ 17ms)依次起爆,可以扩大自由面,有效利于应力波的叠加,增加岩块间的碰撞挤压作用,加强了岩石的破碎效果,降低多排孔一次爆破的堆积高度,有利于挖掘机作业。由于逐孔或逐排依次爆破,减少了岩石夹制力,可节省炸药 20%,并可增大孔距,提高每米钻孔的炸药用量。其炮孔排列和起爆顺序,与断面形状和岩性有关,如图 2-27 所示,图中数字为起爆顺序号。

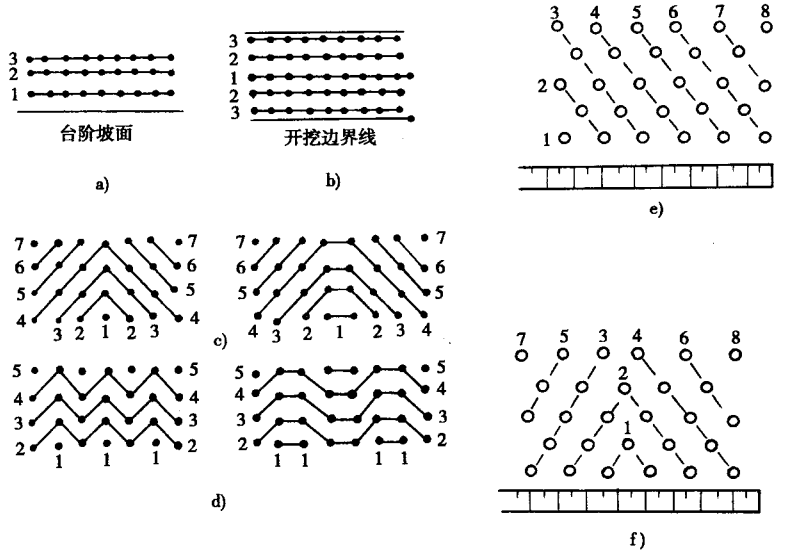


图 2-27 深孔微差爆破各种起爆网络

a)台阶坡面;b)直排中心掏槽起爆;c)V 形起爆网络;d)波形起爆网络;e)三角布孔式起爆;f)三角形孔楔形式起爆

6.光面爆破、减弱松动爆破、预裂爆破

光面爆破是指在开挖限界的周边,适当排列一定间距的炮孔,在有侧向临空面的情况下,用控制抵抗线、药量、装药结构和起爆程序等方法进行爆破,使之形成一个平整而不受明显破坏的边坡或爆破面。

1)光面爆破要点

(1)边孔直径 $d \geqslant 50\text{mm}$。

(2)边孔间距 a 应由工地试验决定,一般 $a = 16d$,曲线边孔应加密到 $a = 0.2\text{m}$,采取小孔径,可间隔 1 ~ 2 孔装药。

(3)边孔的最小抵抗线 W 一般采用 $1.3a$,但 W 值不超过 0.8m。

(4)装药量应比正常减少 1/3 ~ 1/2,采取间隔装药。

(5)应保持炮孔在同一平面内,光面爆破应在主爆之后起爆。

2)光面爆破施工方法

为保证光面爆破的良好效果,除了根据岩石特性和工程要求,正确使用光面爆破设计参数外,精确凿岩极为重要。

(1)要严格控制炮眼孔底偏差。边眼口开在设计轮廓线上,使眼底落在设计轮廓线外10~15cm处,爆后呈缓接的阶梯状,给下次凿岩提供足够的工作面。

(2)光面爆破孔之间要相互平行,孔底要落在同一平面上。

对于用光面爆破掘进隧道时,一般有两种方案。

(1)所谓一次掘进,是指全断面一次掘进,此时掏槽眼、辅助眼等参数按普通爆破来设计。周边眼则按光面爆破设计。可采用多段毫秒电雷管或非电爆系统顺序起爆,掏槽眼、辅助眼间起爆间隔时间应不小于25ms,邻近周边眼的一排炮孔的药量要比其他炮孔的药量少,以防止爆震裂隙的发展,见图2-28。

(2)预留光面层法。预留光面层法的特点是在爆破周边眼之前,可根据爆破超前导洞的情况进行参数调整或修正轮廓以达到光面爆破的效果。但采用预留光面层法,要分两次起爆,施工时间较长。

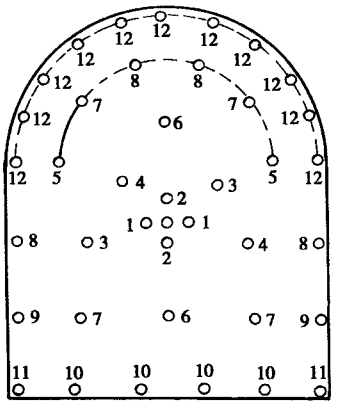


图2-28 隧道光面爆炮眼排列及起爆顺序

3)起爆间隔时间

光面爆破采用齐发起爆效果最好,间隔时间越短,壁面平整的效果越有保证。光面爆破与前排的爆破孔间隔时间,一般延后20~50ms。

4)光面爆破设计参数(参考表2-24~表2-26)

大孔径光面爆破参数 表2-24

炮孔直径 d(mm)	孔　距(mm)	最小抵抗线 W(m)	装药量(kg/m)
50	0.8	1.1	0.25
62	1.0	1.3	0.35
75	1.2	1.6	0.50
97	1.2	1.6	0.70
100	1.6	2.1	0.90
125	2.0	2.7	1.40
150	2.4	3.2	2.00
200	3.0	4.0	3.00

隧道光面爆破参数 表2-25

岩石类别	周边眼间距 a(cm)	周边眼抵抗线 W(cm)	相对距离 a/W	装药量(kg/m)
坚　石	55~65	60~80	0.8~1.0	0.30~0.35
次坚石	45~60	60~75	0.8~1.0	0.20~0.30
软　石	35~45	45~55	0.8~1.0	0.07~0.12

注:炮眼深度1.0~3.5m,炮眼直径40~50mm。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

隧道预留光面层光面爆破参数　　表 2-26

岩石类别	周边眼间距 a(cm)	周边眼抵抗线 W(cm)	相对距离 a/W	装药量(kg/m)
坚　石	60～70	70～80	0.7～1.0	0.2～0.3
次坚石	40～50	50～60	0.3～1.0	0.1～0.15
软　石	40～50	50～60	0.7～0.9	0.07～0.12

注:炮眼深度 1.0～3.5m,炮眼直径 40～50mm。

5)减弱松动爆破

也可称为缓冲控制爆破,适用在距开挖层靠近边坡的 1～2 排炮孔,它能进一步控制正面方向和减小振动波强度,用以保证边坡稳定及周边建筑物保持正常状态不受损伤。装药量比正常装药量要少,工地应根据不同情况通过试验决定。

6)预裂爆破

预裂爆破就是沿设计开挖的边坡线,在没有侧向临空面和最小抵抗线的情况下,按一定间距钻一排小孔距的平行炮孔。孔内装入少量炸药。在开挖区主爆破炮孔起爆前,这些边坡线上的炮孔首先同时起爆,爆破后沿孔轴方向从上到下形成具有一定宽度的贯穿裂缝,把开挖区与保留区的岩体分开。当开挖区爆破时,预裂缝起着保护边坡减少破坏的作用。

为获得较好的爆破效果,除选择合理的爆破参数、起爆顺序、布孔方式外,更应精确掌握施工方法、操作要点,要掌握孔深、方向和斜角度三大要素。一般孔底的钻孔偏差不大于 ±15cm。

7.大爆破

大爆破工程施工,是采用导洞和药室装药,用药量在 1 000kg 以上的爆破。公路石方开挖一般不宜采用,只有当路线穿过孤独山丘,开挖后边坡不高于 6.0m,且根据岩石产状和风化程度,确认开挖后边坡稳定,方可采用大爆破方案。但须做好技术设计,并有详细技术经济论证和边坡稳定性分析,爆破设计时,应充分考虑路基边坡必须在爆破岩层松动区外。

不宜进行大爆破的工程地质条件包括以下几种情况。

1)岩堆、滑坡体、坡积上部堆积的覆盖层较厚而倾向路基的不良地区。

2)断层破碎带、侵入体与围岩的接触带、节理破碎带以及具有引起塌方可能的地段。

3)当软弱面通过路基的后方或下方时,爆破不易形成的路基的地段。

4)层理面、错动面以及其他构造软弱面倾向路基,而其倾角大于临界倾角并小于 50°,层面又胶结不良的地段。

5)山脊较薄,山后有临空面,不逸出半径可使整个山头破坏,引起塌方的地段。

6)周围如有农田、果树、渠道、重要建筑物等,无法确保其安全时,也不宜采用大爆破。

第六节　现场爆破实例

一、药壶爆破法

1.工程概况

福泉高速公路A3标段共有约110万m^3土石方采用爆破开挖，其中80%的挖方作为路基填料。为获得较大的爆破方量与较佳的粉碎效果，结合当地的爆破器材和地形特点，我们选择了以水平药壶炮为主，垂直炮眼为辅的综合爆破方法，分层分段进行了开挖，如图2-29。

能否顺利制作药壶是实施药壶爆破的关键，也就是说本工程综合爆破的重点是药壶制作。

2.扩壶准备

1)药壶布设

本爆破的梯段高度一般为8～10m(与路堑边坡分层防护相应)，药壶布设在每爆破层的底部，呈水平排列，最低层爆破时药壶须比路槽顶面高约40cm，以免损伤路基基础。依据岩石坚固程度以及梯段高度，地层裂缝等不同情况，药壶间距为3.0～5.0m不等。同时药壶距边坡的距离不小于2.0m，最小抵抗线取$W=0.5\sim0.8$，$H=8\sim10$m。药壶深度值L约等于最小抵抗线，见图2-30。

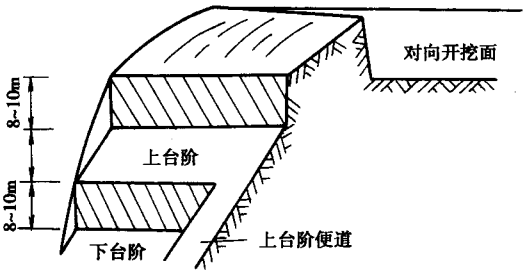


图2-29　分层梯段开挖图

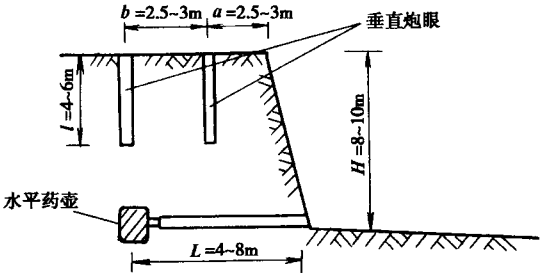


图2-30　药壶布设侧视图

药壶布设时还须注意以下几点。

(1)尽量避免炮眼穿过裂缝。当裂缝较大，炮眼钻进时很易卡钻、掉钻，特别是扩壶中，经多次松动，容易造成裂隙碎碴堵塞炮眼，影响清孔及继续扩壶。

(2)避免将药壶选在岩石裂隙处。若药壶选在裂隙处，将大大降低生成气体的做功效应，使爆能大量损耗在裂缝中，不但用药量大，而且药壶不能形成。

(3)如果将药壶选在薄、弱夹层处，与以上提到的一样，可能使药壶无法成型。即使侥幸成型后，也会因外紧内松，爆破时岩石沿夹层整体坍滑，达不到粉碎效果，所以只能以小炮多次解小扩孔。

2)辅助工具准备

扩壶是一项细致的工作，垂直药壶相比水平药壶有一些特有的事项，而以下三种辅助工具，是解决这些事项所不可缺少的。

(1)掏杆

用以掏净扩壶后残留在炮口附近的眼内碎碴。

取ϕ8mm钢筋长约2.0m，将其一端首部约3cm打扁后弯成直角即可(如图2-31)。

(2)药杆

通顺炮眼，便捷装药(尤其是装母筒)，探测壶内温度等。

选取笔直的柳竹3～8m长，在距竹节5～8cm处，锯除端部，在端部套上管径约3cm的金属自来水管，制作与柳竹端部首节相应长度的木塞(5～8cm)，而后将木塞填塞于竹杆首节空心内，务必做到金属套、木塞、竹杆牢固联接，然后制作10～15cm长的固定导针(两头尖)，将一端

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

扎入木塞，另一端露出 10cm 左右，如图 2-31b)所示。

固定导针制作方法，将 ϕ6mm 钢筋磨细后，形成两头尖，直接将两枚 4 寸的端头焊接而成，如图 2-31c)所示。

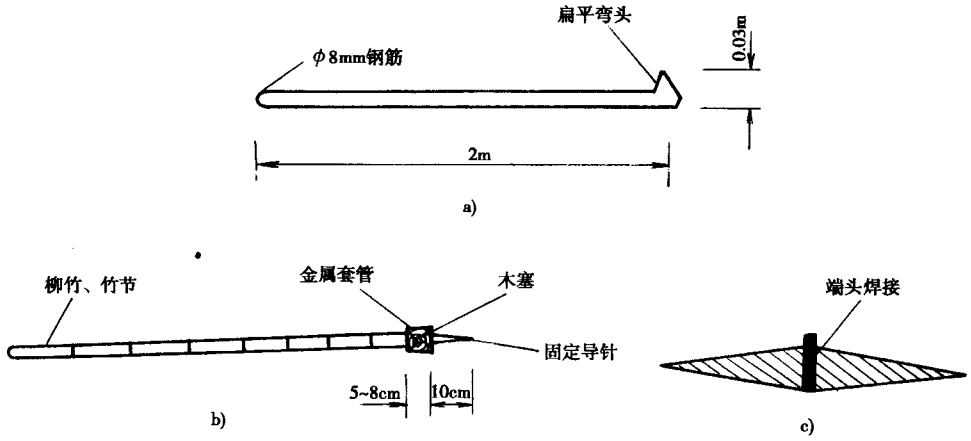


图 2-31　辅助工具

a)掏杆；b)药杆；c)固定导针

(3)钢钎

通顺炮眼，密装炸药，为药壶中部装填母筒造孔。可直接将废旧钻头套在钻杆上而成。

3.药壶的制作

扩壶时一定要遵循限量装药逐次扩壶的原则，不能求之心切，采取简单的一轰而就。对裂、缝较为发育的岩体更应注意轻慢扩壶，适可而止。而药量太小或扩壶程度不够，就发挥不了药壶的优势，反之，则将导致药壶坍破。因此，在施工中应注意以下几点。

1)装药量与母筒装填

(1)扩壶时装药量应逐次增加，一般装填药壶体的 2/3 至壶口即可，若岩体坚硬，不易扩壶，也可装药时用钢钎稍微捣密，加大装药密度，增强扩壶效果，如图 2-32a)。

(2)扩壶母筒装填。先用钢钎将已装好的炸药捅出孔洞，而后将钢钎在炮眼中来回抽送 1～2次，以确保炮眼畅通无阻。将已制作好的母筒，以药杆固定导针，令母筒一半长度进入眼口，准备点火。在确保无关人员撤至安全区后，即可用烟头引燃导火索。同时用药杆将母筒推送至药壶中部。而后抽出药杆迅速撤离至炮眼侧向 50m 外。

(3)起爆装药与母筒装填。由于本爆破的梯段坡度大于 75°，属松动爆破，其理论装药公式为：$Q = 33KW^3$（K 为松动单耗，单位：kg/m^3）。

也可按已扩药壶的大小，根据爆能得以最佳发挥时，相应装药密度（铵油炸药的最佳装药密度为 0.85～1.05g/m）确定装药量。

较为直观的装药方法为在装药过程中用钢钎捣实。岩体坚固或药壶较大时，更显需要。药壶装满后用钢钎在药堆中捅出孔洞至药壶中部，用药杆装入母筒，应注意保护好导爆管，防止折结、擦破，然后用药杆轻装压筒至壶口约 20cm 处，务求装药一次到位，防止因杆、药脱离而致药杆在炮眼里往返推送，擦破导爆管。为提高爆破成功率，可采用双母筒起爆法，如图 2-32b)。

2)扩壶次数

药壶应具有一定的尺寸，即药壶直径大于极限直径，而 2 号岩石铵梯的极限直径为 26cm，

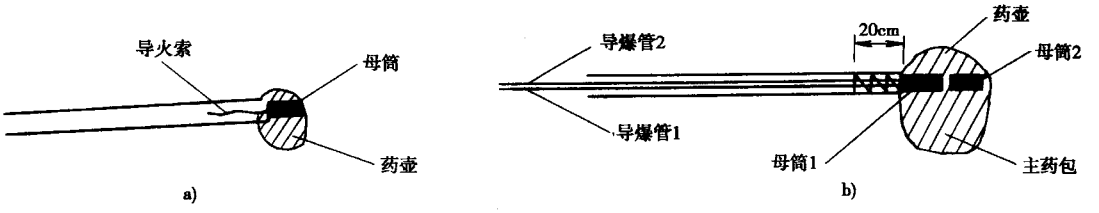


图 2-32　扩壶装药及双母筒起爆

a)扩壶装药图;b)双母筒起爆图

当药壶直径大于此值时,就能获得稳定的扩壶。由于受爆破类型、药壶布设、地形、地质等因素制约,扩壶次数并非越多越好。一般风化岩石为 3 ~ 4 次,中等坚固岩石为 4 ~ 6 次,坚固岩石为 6 ~ 9 次。

能否较为直观地判定何时停止扩壶呢? 在实践中可按以下规定进行。

(1)当扩壶至岩体有明显震动,表面裂隙张开较大时,则应注意适时停止。

(2)扩壶初会发出很大的"嘭"的强音,随着扩壶次数的增多,声音越变越小,同时也渐变成嶂声,这预示着可以停止扩壶了。

3)扩壶母筒制作要点

由于每个药壶都要经多次扩壶,为简便起见,扩壶时不通过导爆管传爆,而由连接母筒的导火线引爆火雷管直接起爆,(一个工作面各药室宜同时进行)但要确保爆破器材的技术质量。母筒制作要点如下。

(1)导火线避免速燃或缓燃而造成质量事故。其外观应为表面粗细和绕线均匀,无损伤、变形、发霉、油污和剪断处散头等现象。每捆导火线应取约 1.0m 长作试燃,燃速应为 100 ~ 125s/m,燃烧时应有断火、透火、外壳燃烧等现象。

(2)导火线应有足够长度(约 50cm),以确保爆破人员在点燃导火线后安全撤离。

(3)雷管孔口不能有杂物堵塞,导火线与雷管应可靠接触且不松动,如图 2-33a)。

(4)起爆母筒制作方法与扩壶母筒不同,如图 2-33b)。

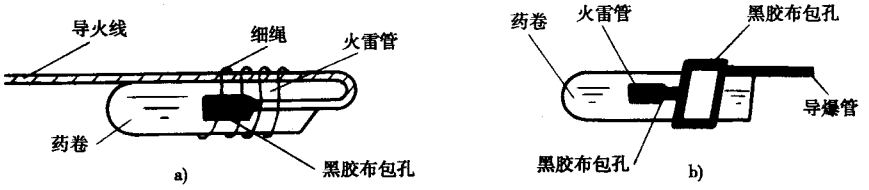


图 2-33　扩壶母筒与起爆母筒

a)护壶母筒图;b)起爆母筒

4.扩壶中常见事项处理

施工过程中常见的问题是炮眼堵塞与药壶过热。合理的解决方法,将起到事半功倍的效果。

1)炮眼堵塞

扩壶时炮眼会经常堵塞,正常的处理步骤是掏、洗、捅、钻、补。

(1)扩爆后先用掏杆掏净炮眼口附近的眼内残渣。

(2)用药杆在眼内来回抽送洗眼。

(3)若眼内有较大碎石或因眼壁周围裂隙塌塞,无法洗眼可改用钢钎加劲捅动。

(4)如还不成,则改用凿岩机再次钻进。此时,如果大碎石堵塞,可顺利通孔。若为眼壁裂

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

缝塌塞,需区别作如下处理:①塌塞碎石大时,用钻杆反复钻洗即可;②塌塞碎石小而多时,可进行补眼;用粉状炸药或粉状与乳化炸药 1:1 混合若干筒,装至堵塞处,而后用钢钎捣捅炸药成糊状,从而达到药浆护壁;也可改用黄粘土,采用同样方法进行泥浆护壁,见图 2-34。

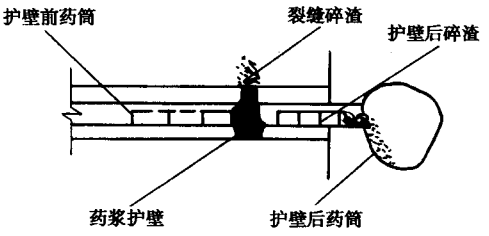


图 2-34 药浆护壁

2)药壶过热

一般扩壶 3 次以后,药壶温度升高,此时若直接装药,炸药很容易燃烧(铵梯的自燃温度为 85℃),须待降温 15min 以上方可继续装药扩壶。

检查药壶过热方法,是将药杆导针探至壶底 5min 后抽出,用手由药杆端部逐渐握滑至固定导针。若导针很烫以致无法紧握,说明药壶过热,应继续降温。如果水源方便,且散热时间太长,可用硬塑料管伸入壶内,稍微提高眼口端管口,往壶内灌水降温。

二、路堑施工中石方爆破

1.工程概况

1)潍莱高速公路处于平原微丘区,公路一局承建四合同段,其中 K52 + 560 ~ K52 + 920 共 360m 为石质路堑挖方段,平均挖深 4.0m 左右。下面,将爆破方法以及重要参数作一简要介绍。

2)针对挖方段平面较为平坦的特点,利用浅孔沟槽爆破方法沿路基中心线纵向爆破出沟槽,使两侧横向形成多个临空面。

3)利用临空面较多易于爆破的特点,在沟槽两侧增设排炮,采用浅孔梯形微差爆破,延伸两侧开挖面。对于土石混杂段,采取先用挖掘机,将土和小块碎石清理掉,然后用炮孔法处理独立大块石,将其解小。

2.炸药、起爆器材及起爆方法

1)本次爆破中,选用了 2 号岩层炸药(销铵炸药)。

2)起爆装置为电雷管。

3)起爆方法是在路中心两侧设排炮,并在每排之间设串联电路,靠电力引爆,点火器材选用蓄电池。

3.沟槽爆破设计与计算

1)根据设计先沿路中心线纵向爆出沟槽,如图 2-35 所示。

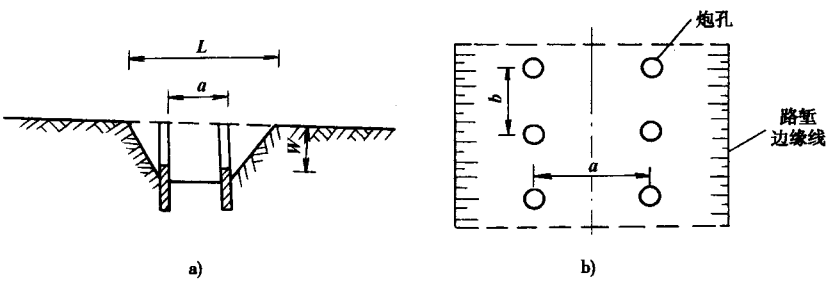


图 2-35 纵向沟槽示意图

a)横断图;b)平面图

L-沟槽顶部宽度;*a*-横排炮距;*b*-排间距

2)单孔装药量及爆破参数按下式确定:

$$Q = 0.65KW^3 \tag{2-19}$$

式中：W——最小抵抗线，本设计中为保证 $L=6$m，特令 $a=W$，W 取 2.0m；

K——单位耗药量，按花岗岩，中等坚硬石质考虑，取 0.8kg/m^3。

3)炮孔布置方式，如图 2-36 所示。

横排炮距为 2.0m，即 $a=W=2.0$m，纵向亦按 2.0m 考虑。炮孔孔径由钻孔机的钻头决定，当选用 R—30 手提式凿岩机时，$d=30$mm，孔深取 2.0m。

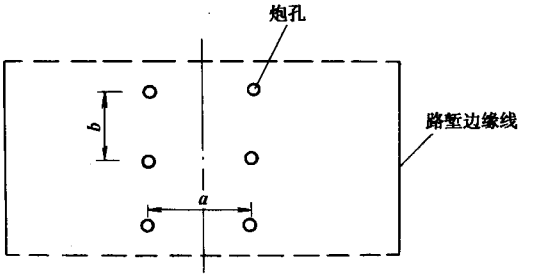


图 2-36　炮孔布置图

4.浅孔梯形微差爆破的确定及计算

1)在沟槽爆出后，由于形成多个临空面，有利于梯形爆破，增大了爆破威力。如图 2-37 所示，沿纵向设置排炮，靠微差方式引爆岩石，使岩石向中心抛掷，增强了安全性。

2)梯形爆破时，炮孔及药包布置见图 2-38。最小抵抗线 W 是第一排孔的装药中心至临空面最小距离。为防上冲天现象，本次设计中特别要求 W 小于梯形高度 H_t。

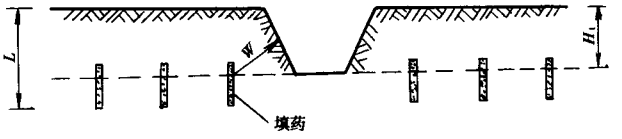


图 2-37　浅孔梯形爆破药包布置横断图

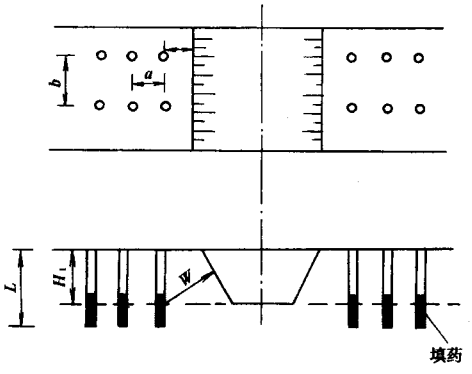


图 2-38　微差引爆方式

3)最小抵抗线 W 的确定。

按经验公式：$W=0.9H_t$，H_t 取 2.0m。

4)孔深确定。$L=1.00H_t$(按中等坚硬岩石考虑)。

5)炮孔孔径　$d=30$mm。

6)孔间距及排距确定。

(1)孔间距 $d=K_1W$(按经验取 $K_1=1.2$)。

(2)排间距 $b=K_2W$(按经验取 $K_2=1.0$)。

(3)单孔装药量按下式计算：

$$Q = eKW^3 \tag{2-20}$$

式中：Q——单孔装药量，kg；

K——松动爆破时单位岩石耗用量，kg/m^3；取 0.8kg/m^3；

e——炸药品种系数；用 2 号岩石炸药时，$e=1.00$；所以简化上式得：$Q=KW^3$；

W——最小抵抗线，m。

通过上述爆破思路及计算方法，在实际施工中，取得一定的成效，大量节省了人力，缩短了工期，但其中也有些方面控制不甚理想，如飞石控制、哑炮处理等，有待在以后的工程实践中不断完善。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

三、预裂爆破

预裂爆破(或光面爆破)在开挖区和保留区之间预先爆出一道裂缝,使主爆区爆破产生的应力波传到裂缝时,部分被反射掉,从而减少透射到保留区岩体应力波的强度,达到减震的目的。另一方面,主爆区伸向保留区的裂缝在预裂缝处被切断。因此,这是边坡爆破的最佳方案。

1.现场爆破应用情况

1)场区位置及地质概况

公路一局承建的来宜高速公路 K2 合同段,是北京—珠海高速公路湖南境内最南端的一段,工程起迄桩号 K300 + 270 ~ K309 + 792.46,全长 9.522km,开挖土石方总量 34 万 m^3。最大挖深 34.6m,主要以二叠系石灰岩为主,其次为白云质灰岩,颜色以白灰、灰色为主,隐晶质结构,层状构造为弱、微轻度风化,局部存在土夹石,且有少量破碎较严重。岩石其饱和单轴强度为 43 ~ 63MPa。

2)爆破设备和器材

采用瑞典阿特拉斯科普柯公司(Atlas.Copco)生产的 HC—742 型钻机,湖南南岭化工厂生产的 φ32mm,长 20cm,重 0.2kg 的乳化炸药,湖南向红机械厂生产的 MS1 ~ MS5 段塑料导爆管雷管,湖南器材厂生产的导爆索,军用 8 号电雷管,GBP412 型起爆器。

2.具体布置

1)炮孔布置

采用预裂孔、缓冲孔、主爆孔相结合的布孔方式。炮孔直径 d = 100mm,钻孔方向与设计边坡方向一致,与水平面夹角为 60°,孔深 10m。

在石灰岩地段,为了取得经验和参数,先后进行了 4 次预裂爆破试验。预裂孔的孔距分别为 0.6m、0.8m、1.0m、1.2m。

2)装药结构

根据对应的孔距不同,选择三种线装密度,进行了试验,其具体结果,可详见图 2-39 及表 2-27。

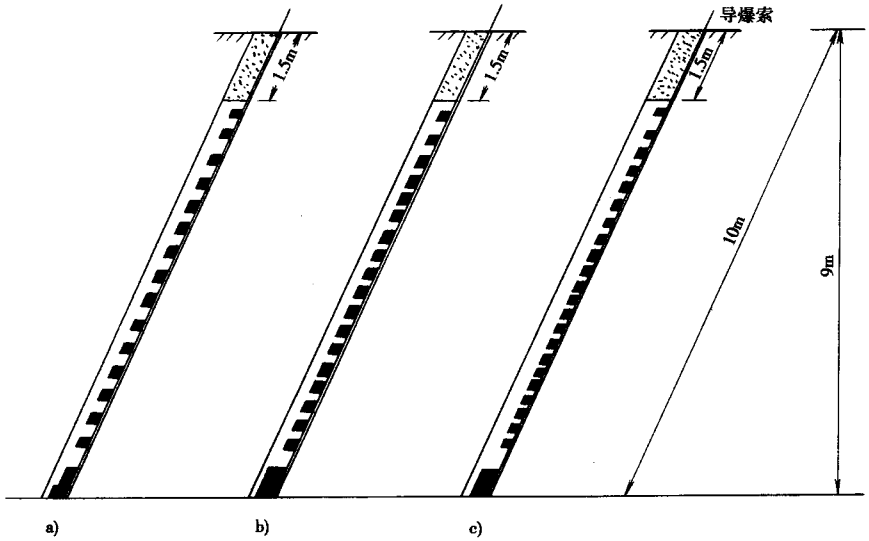


图 2-39 装药结构示意

a)$\Delta_{线}$ = 0.36kg/m;b)$\Delta_{线}$ = 0.46kg/m;c)$\Delta_{线}$ = 0.54kg/m

注:$\Delta_{线} = Q/L$(其中 Q 为单孔装药量,L 为炮孔总长)

预裂爆破试验及检测情况一览表　　表 2-27

项目 次序	孔距	装　药　结　构	爆破效果
1	0.6m	预裂孔装药结构见图 2-39a)。不装药部分长 1.5m,用砂子填充。采用 ϕ32mm 乳化炸药。单孔共用 18 卷 3.6kg,全孔线装药 0.36kg/m。其中上部 1m 0.2kg(1 卷),线装药密度 $\Delta_{线}$ = 0.2kg/m,将 1 卷 2 等分,间隔 0.5m。中部 2.6kg(13 卷)线装药密度 $\Delta_{线}$ = 0.4kg/m,每卷间距为 30cm,底部 1m 0.8kg(4 卷),线装药密度 $\Delta_{线}$ = 0.8kg/m,其中 3 卷为连续装药,另一卷加强到底部	孔与孔之间形成一条宽 1.5 cm 的裂缝
2	0.8m	预裂孔装药结构见图 2-39b)。不装药部分长 1.5m,用砂子填充。采用 ϕ32mm 乳化炸药。单孔共用 23 卷 4.6kg,全孔线装药密度 0.46kg/m。其中上部 1m 0.2kg(1 卷),线装药密度 0.2kg/m,将 1 卷 2 等分,间隔 0.5m。中部 3.2kg(16 卷),线装药密度0.49kg/m,每卷相隔 0.2m。底部 1ml.2kg(6 卷),线装药密度 1.2kg/m,分两层 3 卷连续装药,加强底部	孔与孔之间形成一条宽 1.3 cm 的裂缝
3	1.0m	预裂孔装药结构见图 2-39b)。不装药部分长 1.5m,用砂子填充。采用 ϕ32mm 乳化炸药,单孔共用 23 卷 4.6kg,全孔线装药密度 0.46kg/m。其中上部 1m 0.2kg(1 卷),线装药密度 0.2kg/m,将 1 卷 2 等分,间隔 0.5m。中部 3.2kg(16 卷),线装药密度 0.49kg/m,每卷相隔 0.2m。底部 1ml.2kg(6 卷),线装药密度 1.2kg/m,分两层 3 卷连续装药,加强底部	孔与孔之间形成一条宽1.0 cm的裂缝
4	1.2m	预裂孔装药结构见图 2-39c)。不装药部分长 1.5m,用砂子充填。采用 ϕ32mm 乳化炸药,单孔共用 27 卷 5.4kg,全孔线装药密度 0.54kg/m。其中上部 1m 0.2kg(1 卷),线装药密度 $\Delta_{线}$ = 0.2kg/m。将 1 卷 2 等分,间隔 0.5m。中部 4.0kg(20 卷)线装药密度 0.62kg/m,每卷相隔 0.2 ~ 0.3m。底部 1ml.2kg(6 卷),线装药密度 1.2kg/m,其中分 2 层 3 卷连续装药,以加强底部	裂缝不明显

3)试验结果

1、2、3 种试验效果都不错,达到了预期的目的。但考虑到第 1 种方法孔距较密,相应的要增加成本和影响进度,从经济角度考虑,施工时采用了第 2、3 种试验参数。

3.起爆网络及预裂爆破参数

1)起爆网络

起爆网络如图 2-40 所示,其主爆孔、辅助孔采用波浪式并簇联起爆网路。同排用导爆索串联,排间用 MS1、MS2、MS3、MS4、MS5 段导爆管微差起爆。

2)爆破效果

预裂爆破后,地表孔与孔之间形成一条宽 1.0 ~ 1.5m 的裂缝,且主体开挖后,坡面平整,超欠挖量 $\eta \leqslant 20$cm,残孔率 60%。但局部土夹石或岩体严重破碎地段,效果就不是太好。

预裂爆破虽施工要求较高,成本相应增加,但从改变爆破后坡面支离破碎的情况,减少超挖,限制坡面上裂缝的发展,减少甚至取消边坡的防护工程等方面来看,预裂爆破在施工过程中以及将来的社会效益和经济效益都是很高的。只要正确合理地选取爆破参数,精心组织施工,就能取得较好的效果。

3)预裂爆破参数

(1)钻孔机械和孔径:对钻孔机械要求能按一定的角度钻出倾斜孔,并保证孔径装药不偶合系数达 2 ~ 4。试验中采用 ϕ100mm 钻孔机械效果较好。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

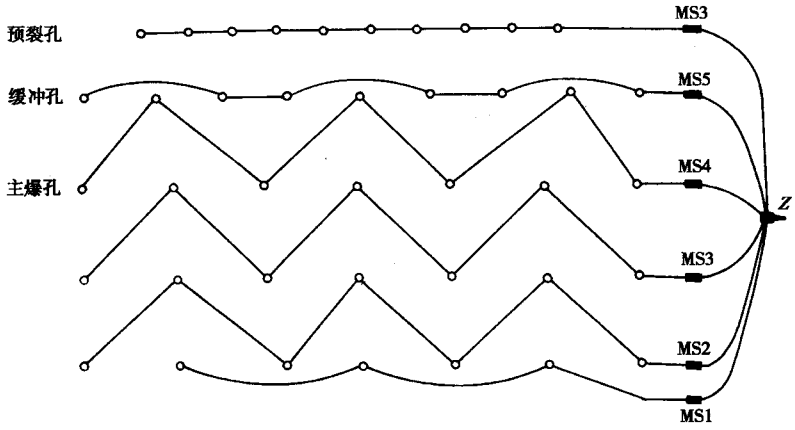


图 2-40　起爆网络

(2)药孔间距 a:取 0.8 ~ 1.0m。

(3)线装药密度 $\Delta_{线}$:直接影响爆破效果,线装药密度过大,孔壁破坏特别是孔口破坏严重;线装药密度过小,裂缝不能贯通,难以开挖,坡面不平整和欠挖,主爆孔后还会影响边坡面。通过试验认为在该石灰岩地段 $\Delta_{线}$ = 0.5kg/m 左右较为适宜。实际装药时,口部 1.5m 不装药,底部 1.0m 取设计线密度 2 倍在右,顶部 1.0m 取设计线装密度的 1/2 左右。

(4)起爆时间:采用串联导爆索网络,所有的预裂孔同时起爆,效果较好。

4.施工质量控制

1)准确确定边挖开挖线和深度,而后放线、定位、布孔,所有炮孔要在同一线上。

2)钻孔角度必须采取措施,使其与设计边坡在同一平面上。

3)药孔钻好后,逐孔量测孔深,根据孔深切取导爆索。导爆索长度要比孔深多1.0 ~ 1.5m。并作出标证,标出孔口不装药段及每个装药的位置,而后将炸药固定到相应部位。

4)竹片标证应靠近边坡一侧。不装药段可采用细砂填充。

图 2-41 所示为本标段 K305 + 211 ~ K305 + 400 的光面爆破边坡完整情况。

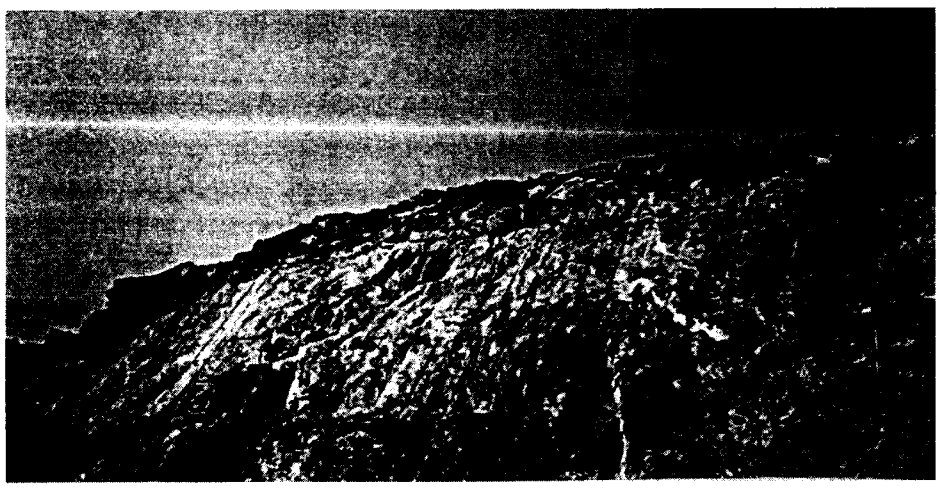


图 2-41　光面爆破边坡

四、双连体公路隧道施工实例

1.工程概况

1)隧道概况

隧道全长345.4m,其中明洞长40.9mm,暗洞长304.5m,洞门为削竹式。隧道两洞中线相距12.3m,单洞净宽10.25m,限界净高5m,拱顶净高7.08m,中隔墙厚度2.3m,单向纵坡1.7%,接线公路整体式路基宽24.5m。

隧道位于浙江宁海县境内的岔岫岭,为同三国道主干线宁波段岔岫岭连体隧道,穿越独立山岭,埋深3~58m,由公路一局承担施工,并于当年全部完成。

2)工程地质

隧道区所在地层为垩系下统馆组,为白垩世早期氧化还原环境下含重碳酸盐封闭型淡水盆地堆积产物。隧道II类围岩出现在两洞口地段,进、出口各25m;其余为III类围岩。

II类围岩以弱风化泥质粉砂岩,凝灰质砂岩为主,中厚层状,节理裂缝发育。III类围岩以微风化凝灰质粉砂岩,泥质粉砂岩为主,局部夹凝灰质角砾岩,中厚层状,岩体呈块、碎状。泥质砂岩 $R_a=8\sim12$MPa,凝灰质砂岩天然抗压强度为25~45MPa。

2.开挖方法的确定

1)由于连体隧道开挖断面大,岩层又较破碎,设计单位推荐"三导坑先墙后拱法"施工。但我们根据现场开挖的实际情况看,围岩密实,地下水较少,考虑到侧导坑施工中,场地狭小,不能用机械作业,进度较慢;另外洞身二次衬砌,不能整体施工,影响质量和美观,因此,提出了修改方案。

2)经甲方论证,同意采用"先中导开挖,衬砌中隔墙后,主洞"先拱后墙法"进行施工。在施工中按照先护后挖的原则,坚持了短进尺、弱爆破、及时支护的原则确保了工程质量、进度和施工的安全。

图2-42为连体隧道开挖顺序示意。

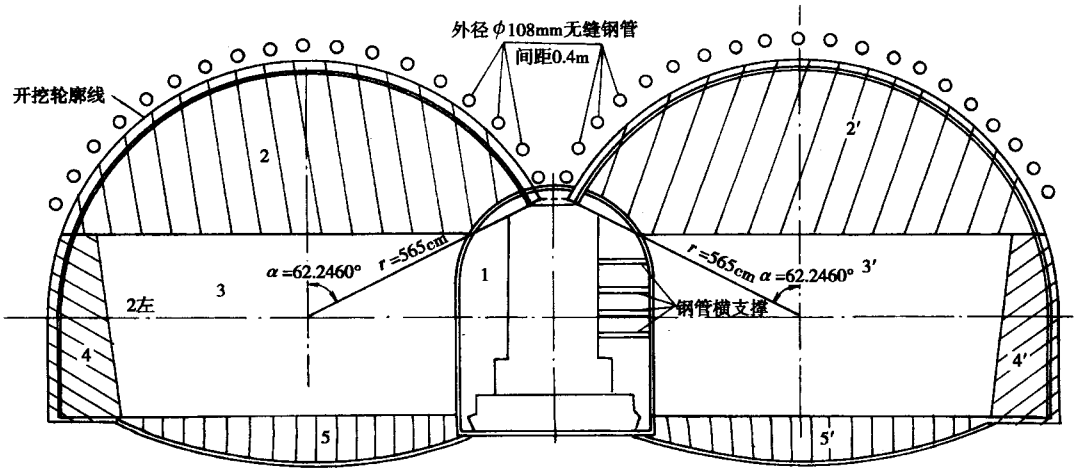


图2-42 连体隧道开挖顺序示意图

1-中导洞开挖;2(2')-上拱部开挖;3(3')-中槽开挖;4(4')-侧墙开挖;5(5')-仰拱开挖

3.隧道开挖

1)中导洞开挖

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

中导洞系整个隧道开挖的关键，既决定着洞身开挖方向，又是对洞身岩层情况的先行探察，为以后主洞开挖积累资料和摸索情况，为指导主洞施工，具有重要意义。

在明洞开挖出工作面后，进行准确的中线测量、标高定位后，即可开始中导洞的开挖。由于进洞段岩石破碎，进洞段较为困难，为防止大的坍塌，采用了短进尺，弱爆破，每次进尺控制在0.5～0.7m内，并用格栅拱架加强支护处理。

掘进25m后，到III类围岩区。采用全断面光面爆破一次成型，其宽度为5.0m，高度为6.5m，施工中采用TY—28型气腿式凿岩机打眼，掏槽眼深1.8m，周边和辅助眼深1.6m。严格控制中隔墙顶三角带的标高。如超挖太大，容易引起主洞拱部开挖时此处的塌方。欠挖太大，将会给中隔墙及墙顶防排水设施带来困难，造成二次爆破开挖等麻烦。中导洞爆破结束时，进行通风排烟后，排险清危，然后用自卸车配合装载机装运出渣。

2)主洞上拱部开挖

拱部开挖起拱线以上部分，以一次性光面爆破开挖成型，由于开挖断面较大，跨度大拱弦为12.08m。因此，在施工中必须遵循弱爆破、短进尺、多循环、强支护的原则。每次开挖进尺II类围岩不超过1.5m；III类围岩每次进尺不超过2.5m。开挖后及时进行排险清渣，然后搭建简易工作平台，进行初期支护，待强度达70%以上，进行右洞的开挖。

由于右洞岩层中存在着厚度不等的夹泥层，很易形成塌方、剥落，因此，控制进尺和超前支护是施工中的关键。各洞口进入暗挖段后，可以四个洞口同时作业。但注意放炮时间应错开，而且没有初期支护地段不能在其他洞口放炮时作业。

3)主洞中槽开挖

为了多开工作面，加快施工进度，下部开挖可以在上拱部开挖完成80m以上时，安排进行。下部开挖时，每次断面也不宜过大，不然装药过多，容易对上拱部和中隔墙造成损伤或影响上拱部的开挖。下部开挖放炮松动后可以采用大型挖掘机、自卸运输车出渣。

4)侧墙开挖

在侧墙开挖过程中，我们采用了马口跳槽法，根据岩层节理组合情况，一般控制进尺在2.0～3.0m。另注意不能使侧墙开挖工作缝与上拱开挖后初期支护的工作缝在同一断面上，应错开1/2距离。

侧墙开挖时，应严格控制炮眼深度、眼数和装药数量，个别地段应使用风镐逐层开挖，以免发生超挖，使上拱拱脚部悬空太大而下沉。

5)仰拱开挖

在中槽、侧墙开挖及初期支护完成后，应适时地进行仰拱的开挖。应严格控制其标高，对于侧墙跟部更应小心。开挖时，应留适当距离，然后用风镐松动，人工清理干净后，及时浇筑钢筋混凝土。

五、中深孔爆破在杭金衢高速公路中的应用

1.工程概况

杭金衢高速公路是国家干线公路网规划“五纵七横”中上海—昆明(瑞丽)高速公路的组成部分，是连接我国南方以上海为龙头西向大通道。本工程与沪杭高速公路相连接，贯穿浙江省内陆腹地连接杭州、金华及衢州，是浙江中西部地区的干线。杭金衢高速公路第八合同义乌段(K102+270～K124+594)是由路桥集团公路一局厦门工程处承建，路线所经地段均为中风化、弱风化凝灰岩，路基挖方共计265万m^3，填方251万m^3，路基的填料为爆破后的岩渣，施工技

术规范要求95区以下的岩渣填料粒径要小于20cm。在开工进场初对爆破的认识不足，只是单纯采用手持式凿岩机进行普通的排炮和扩壶爆破，但从施工中不能从根本上解决路基填筑粒径不得大于20cm的问题，而且还要经过人工二次破解，劳动强度大，且不能满足施工进度的需要。

为此，需要一种大体积爆破，且能有效地控制粒径大小的爆破方法来解决施工的质量和进度。经过多方查找，联系到嵊州有几台瑞典产的Atlas Copco Roc 742HC型的潜风钻机，此机为履带自行式，钻头直径为ϕ79mm，可对山体进行中深孔30m左右炮孔钻凿，然后装3号铵油炸药，采用多排非电微差雷管进行大体积爆破，先起爆的炮孔为后起爆的炮孔提供了自由面，先起爆的药包在岩土体内产生的应力波未消之前，后起爆的药包又在岩土体内产生新的应力波，两个应力波在岩土体内相互叠加产生碰撞和挤压，可有效地控制爆破后粒径的大小。

2.试验地点

本次施工试验选在K104+220挖方段山体，此段最大挖深22m，适合进行中深孔爆破，石质为中风化凝灰岩，节理发育不明显，基本没有节理面。

3.爆破材料

1)3号铵油炸药(浙江永进化工厂产)

常湿状态下呈颗粒状或粉状，主要成分是硝酸铵和柴油，硝酸铵是铵油炸药的氧化剂，柴油是还原剂，为了减少炸药保存时的结块，在加工时掺加适量的木粉。铵油炸药的主要优点是原材料来源广，生产工艺简便，成本低，运输、使用较安全，但爆轰感度较低，不能被雷管可靠地起爆，为此需要在雷管的末端采用，适合用于大孔径装药、大体积爆破中。

2)塑料导爆管(非电毫秒雷管)(浙江光华器材有限公司产)

导爆管是非电起爆系统中的主要传爆材料，是由瑞典在20世纪70年代初期首先创制的一种新型传爆器材。管材采用PE塑料，管内喷涂16mg/m左右的混合炸药。它使用方便、安全、不受杂散电流和静电的影响，消耗有色金属材料少。导爆管的分流和接长是通过集束式四通管来完成的。

导爆管的作用原理为在起爆元件作用下，使内壁粘附的高能混合炸药进行化学反应，并在管内传递低速冲击波，使混合炸药粉不间断地向前爆燃，其反应热支持前沿冲击波向前运动，达到稳定传爆，使其末端有足够的能量来引爆雷管。它具有以下特点：①抗火焰性；②抗冲击性；③抗水性好；④耐高低温性强；⑤传爆性能好；⑥运输方便。

3)RT防水乳化炸药(ϕ7.2cm)

乳化炸药是用有机燃料和硝酸盐制造出雷管敏感的炸药，它以硝酸铵、硝酸钠为氧化剂，柴油、石蜡为燃烧剂及脂肪族化合物为乳化剂而组成，它克服了硝铵类炸药不抗水的缺点。

4.爆破的机理

炸药在起爆器材下爆炸的过程称为起爆。炸药在起爆后，发生冲击波的破碎作用，对岩体进行压缩、粉碎，岩体受到应力波产生径向裂隙，然后在反射拉伸波作用下，产生气楔作用，使岩体裂隙进一步扩大，增强对岩体的破坏。

导爆管非电起爆网络的起爆，是靠装在导爆管末端的8号雷管来实现的，因此为实现微差爆破，采用非电延期雷管插入炮孔内作为起爆雷管，形成孔内微差爆破。

5.中深孔爆破施工工艺

本次爆破钻凿设备为瑞典产的Atlas Copco Roc 742HC型潜风钻，钻孔孔径为ϕ79mm，根据路堑成型后的高程测量，孔深从5~20m不等，对于一级边坡采用与边坡坡度同坡度的倾斜深

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

孔，中间采用垂直深孔。如图 2-43 所示。它具有机械化程度高，一次可完成较大规模的爆破量，爆破成本低，生产效率高，工作环境好等优点。

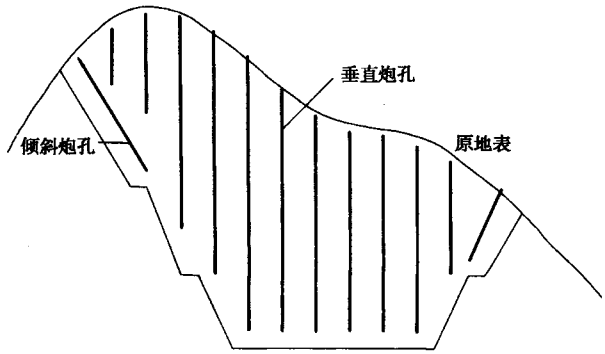


图 2-43　进行爆破山体的横断面图

1)场地布置

对 K104 + 220 山头进行高程测量工作，对于每个断面的开挖深度要做到心中有数，对台阶及边坡要进行特殊挖制的地段要用白灰线特别标出。对山头用挖掘机进行平整，以便于潜风机进行钻孔工作，场地平整好后，按照孔距为 350cm 进行布孔，钻孔按照梅花形布置。

2)钻孔

布孔完毕后，将潜风钻就位，进行钻孔工作。对于钻孔要进行编号并记录下钻进的深度，以便于检查，防止出现超深等原因而出现爆破超深，对于边坡需要倾斜钻孔的地方要特别注明，钻孔完毕后要注意防止外物落入孔内。钻孔时最后一排的排距要适当减少至 0.8 ~ 0.9 倍，为下一个爆区创造条件。炮孔布置如图 2-44 所示。

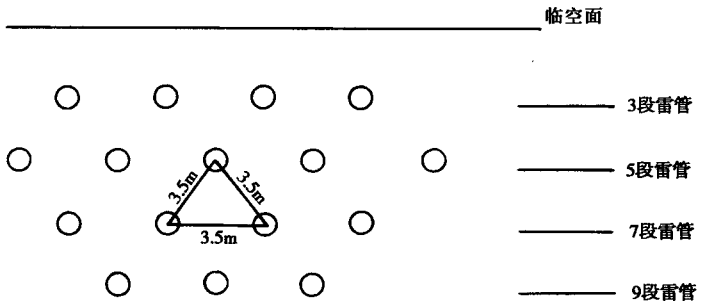


图 2-44　炮孔布置图

3)装药

钻孔完毕后，按照计算药量进行装药，因考虑到钻孔底部山体有孔隙水渗透，所以底部采用防水乳化炸药(ϕ7.2cm)进行装药。在深孔爆破中，由于孔深，底部阻力大，常采用炮孔超深来降低装药重心，以消除根底，但由于超深的作用使炸药过分集中于炮孔底部，爆破时不仅炮孔上部岩石易产生大块，而且易破坏底板。因此采用间隔装药来提高爆破质量，如图 2-45 所示。采用间隔装药，把炮孔中炸药分成几段，各段间采用空气或填充物相隔，使炸药均匀布置在炮孔内，从而改善炮孔中、上部岩石的破碎情况。采用间隔装药结构时，要注意各段炸药须用段发雷管来进行引爆。

用药量在中间部分为孔深的 70%，从第二排起，由于后排岩石处于挤压状态，岩石破碎质量恶化，因此后排孔应比光爆的前排孔增加 10% ~ 20% 的炸药量。

4)引爆线路布置

因为3号铵油炸药不能被雷管有效地引爆，所以在导爆管末端的雷管上专门装一节普通炸药或MRB岩石型防水乳化炸药，用以引爆3号铵油炸药，然后在雷管和引爆炸药之上再装一部分铵油炸药。导爆管之间的连接采用四通管来实现，同排炮孔之间导爆管的连接采用同段串联，不同排之间采用分段并联，如图2-46所示。

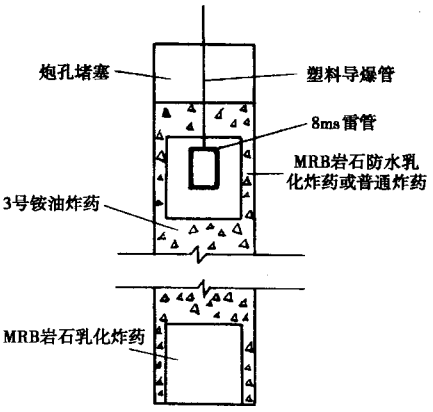


图2-45 炮孔装药示意图

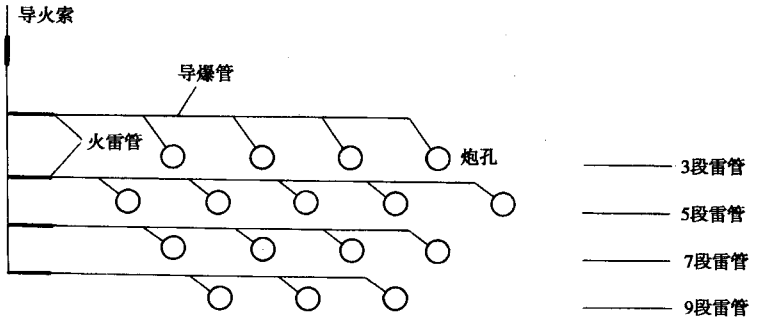


图2-46 爆破网络布置图

5)炮孔的填塞

炮孔装药完毕后，要对炮孔孔口进行填塞，这对爆破质量和安全有很大的影响，堵塞过短或不严密，易造成岩块飞散，产生冲天炮和出现根底；填塞过长，又易在孔口部分形成大块，所以一般取深孔填塞长度为3m左右。

6)爆破

等铵油炸药、段发雷管安装及炮孔填塞完毕后，进行检查，待安全无误后，进行引爆，采用此种方式进行爆破的飞石距离远比普通浅孔爆破的飞石距离小，只有30m左右。

7)施工工艺流程(如图2-47所示)

6.安全事宜

对于铵油炸药，导爆管及乳化炸药的运输和保管严格按照公安部门颁发的条文执行，不得有任何差错，加强对爆破人员的教育，严禁违章作业。

7.总结

待此次爆破试验完毕后，我们对爆破后的山体进行开挖，通过开挖后验证颗粒粒径的大小，顶层的3~4m左右的山体因为炮孔堵塞没有装铵油炸药，所以大颗粒的粒径较多，以下的颗粒粒径基本达到爆破前所预期的效果，颗粒的粒径基本小于20cm，满足施工的需要，只有小部分需要再次进行人工解小。

通过此次实验可以总结出中深孔爆破具有以下特点：

1)一次爆破的方量大，减少了爆破次数，满足了进度的需要；

2)采用非电微差起爆系统，起爆准确、可靠，避免了拒爆，爆破时产生的冲击波危害相应减少；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

3)从根本上解决了爆破后的大块率的问题,改善了作业条件,减轻了工人的劳动强度;

4)虽然采用中深孔爆破产生的费用相对比普通爆破的费用高一些,但在根本上解决了进度与质量之间的矛盾,保证了工程进度和质量。

所以此项工艺在本段高速公路具有推广的意义,适合用于大体积石方爆破开挖工程。

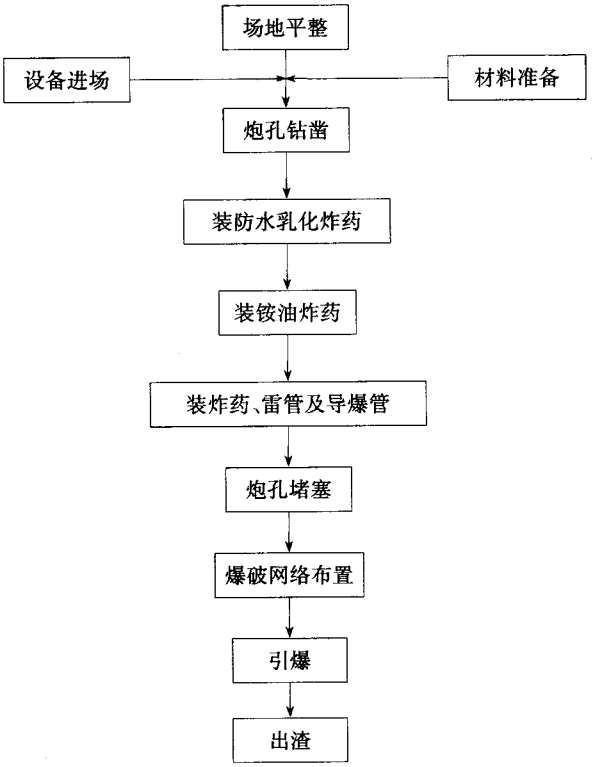


图 2-47　爆破施工工艺流程

第三章　特殊地区的路基施工

第一节　黄土地区路基施工

一、工程概况

渭(南)—潼(关)高速公路是国道310线在陕西境内的一段,全长78.52km,分为五个合同段。公路一局承担了第二合同段施工。路基宽度设计为26.0m,填方边坡为1:1.5,挖方段边坡为1:0.25。边坡设计用植被防护。

填料设计采用路线邻近的黄土及局部地段用河滩砂砾料填筑。线路位于秦岭北麓山前区与渭河、黄河冲积平原区的过渡带上。地势南高北低,沿线土质均为黄土,下伏漂卵石层及砂层,局部地区地下水位较高。

从1997年以来,公路一局先后在山西原太路、陕西渭潼路、铜黄路等施工实践中,对黄土地区路基施工有了初步的认识和体会。

二、黄土的工程特性

1.黄土的结构特征

1)黄土的结构

黄土的颗粒组成以粉粒(0.005～0.05mm)为主,可达50%以上,其中粗粉粒(0.01～0.05mm)含量又大于细粉粒(0.005～0.01mm)含量。因此,黄土的结构是以粗粉粒为主体骨架的结构。较大的砂粒"浮"在结构体中,细粉粒、粘粒和腐殖质胶体则附在砂粒及粗粉粒的表面与易溶盐及沉积在该处的碳酸钙、硫酸钙一起形成了胶结性的联结。有了这种胶结性联结后,黄土结构也就稳固了。

从我们施工的渭潼高速公路二合同段的几处黄土取土场的颗粒分析试验看(如表3-1),其颗粒组成主要以0.005～0.074mm为主,一般都占总量的70%～90%。因此,试验结果表明,黄土的颗粒级配属均匀级配,同颗粒成分含量较多,粘粒含量小。单从这个方面来说,黄土是比较难以压实的。

渭潼高速公路几处黄土取土场颗粒分析　　表3-1

粒径(mm) / 含量(%) / 桩号	>0.5	0.25～0.5	0.074～0.25	0.005～0.074	<0.005
K84+485	2.5	1.5	3.5	68	24.5
K88+500			1	76	23
K87+400	2	1	2	74.5	20.5
K86+400	2.5	1	3.5	70	23

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)黄土的多孔性

黄土结构中的孔隙可分为以下三类。

(1)大孔隙,基本上肉眼可见,为直径约 0.5 ~ 1.5mm 的孔道。

(2)细孔隙,是架空结构中大颗粒的粒间孔隙。肉眼看不见,双目放大镜下可观察到。

(3)毛细孔隙,由大颗粒与附在其表面上的小颗粒所形成的粒间孔隙,肉眼更看不见。

这三种孔隙形成了黄土的高孔隙度,故又称黄土为大孔土。遇水易冲蚀、崩解、湿陷。

黄土的孔隙率变化在 35% ~ 60%之间,有沿深度逐渐减少的趋势。在地理分布上则有着自东向西、自南向北孔隙率增大的规律。黄土中的孔隙呈垂直或倾斜的管状,以垂直为主、上下贯通。其内壁附有白色的碳酸钙薄膜,碳酸钙的胶结对黄土起着加固的作用。

3)黄土的节理

黄土节理以垂直节理为主。一般在干燥而固结的黄土层中比较发育,土层上部比下部发达。有时在黄土中发现有斜节理,这大都是由新构造运动所造成的。

2.黄土的水理特性

1)渗水性

由于黄土具有大孔隙及垂直节理等特殊构造,故其垂直方向的透水性较水平方向为大。黄土经压实后大孔隙构造被破坏,其透水性也大大降低。此外,粘粒的含量也会影响黄土的渗透性。

2)收缩和膨胀

黄土遇水膨胀,干燥后又收缩。经多次反复后,容易形成裂缝及剥落。由于土的自重作用使粉粒在垂直方向的粒间距离变小,所以具有天然湿度的黄土在干燥后,水平方向的收缩量比垂直方向的收缩大,一般约大 50% ~ 100%。

3)崩解性

各类黄土的崩解性相差甚大。新黄土浸入水中后,很快就全部崩解。老黄土则要经过一段时间才全部崩解,红色黄土基本不崩解。

3.黄土的物理力学特性

1)黄土的抗剪强度

原状黄土的各向异性。由于垂直节理及大孔的存在,原状黄土的强度随方向而异,黄土水平方向的强度一般较大,45°方向居中,垂直方向强度最小。但冲积洪积黄土则因存在有水平层理的关系,则以水平方向强度为最低,垂直方向强度最大,45°方向仍居中。

2)黄土的湿陷性

黄土可分为两类。一类为湿陷性黄土,另一类为非湿陷性黄土。黄土的湿陷性,可按下述方法鉴别。

将土样用普通固结仪加压至 200kPa,变形稳定后,浸水测定相对湿陷系数 δ_s。

$$\delta_s = (h_z - h_{z'})/h_z \tag{3-1}$$

式中:δ_s——相对湿陷系数;

h_z——试样在 200kPa 压力下变形稳定后高度;cm;

$h_{z'}$——上述加压稳定后的土样,在浸水作用下变形稳定后的高度,cm。

当 $\delta_s \geqslant 0.02$ 时,黄土被认为是具有湿陷性的。

渭潼路二标段沿线取土场深度在 0 ~ 10m 范围之内,通过试验,湿陷系数在 0 ~ 0.002 之内,超过 10.0m 深度后,个别土层湿陷系数大于 0.02。由于填料取土均在 10m 以内,所以路基

填料均属非湿陷性黄土。

3)黄土的液塑限

从黄土的液塑限试验结果看,黄土是一种比较特殊的粘性土或粉性土。渭潼高速公路二合同沿线取土场的试验结果表明(如表3-2所示),其液限大多小于28,个别的略大于28,主要集中于A线以上、B线以左的低液限区,塑性指数一般都小于12,大部分在10以下,最低的在7左右。黄土可命名为粉质中低液限粘土或低液限粉土,所以黄土较难压实。

黄土的液塑限试验结果表 表3-2

取土场桩号	液限(%)	塑限(%)	塑性指数
K84+458	26.2	18	8.2
K88+500	27.7	18.8	8.9
K86+400	28.3	18	10.3
K83+300	30.8	19.6	11.2
K91+300	27.4	17.4	10
K88+620	30.4	16.5	13.9
K78+400	21.4	16	5.4
K86+300	21.6	16	5.6
K121+600	28.5	21.4	7.1
K129+400	28.6	20.9	7.7
K133+330	27.2	18.9	8.3

4)黄土的击实特性

从黄土的重型击实成果来看(如图3-1),其最大干密度一般在1.85~1.98g/cm^{3}之间,最佳含水量11.5%~13.8%。最大干密度越小,曲线越平缓,这主要是黄土的孔隙发达所致。随着含水量的增加,大量的水分首先填满孔隙,然后润滑表面。因此孔隙越发达,曲线越平缓。

但从曲线的峰值附近看,曲线半径越来越小,这就反映了黄土在达到高标准压实要求时,对含水量的敏感性,也就是说,高等级公路使用黄土填筑路堤时施工含水量的控制范围很小,这就给黄土压实工作带来了一定的难度。

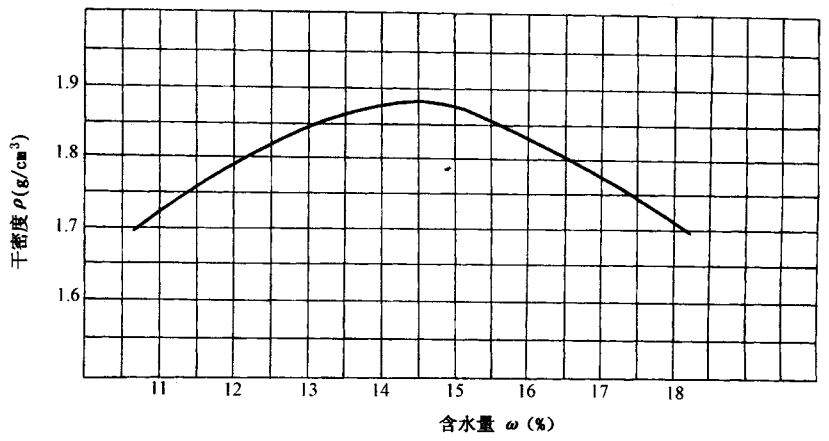


图3-1 取土场黄土击实曲线

5)有机质含量

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

清理地表后，从取土场取土试验来看，有机质含量均满足规范要求。

三、试验段施工

为进一步了解黄土的工程特性，得到施工有关质量控制参数，我们在施工前进行了试验段施工，其结果如下。

1.宽填尺寸

从离填土边缘 50cm 处的压实度检测结果看，其压实度与中间的结果基本一致，而小于 50cm 的范围内，压实度明显降低。所以，宽填尺寸以 50cm 控制，方能保证路肩处的压实度。

2.松铺厚度

在其他因素相同的条件下，松铺厚度在 35cm 以内时，压实度可达到 90%压实度要求。而在 93%～95%范围内，松铺厚度一定不能超过 30cm，否则，压实度不能达标。

3.压实机具选择

从黄土的颗粒分析结果看，颗粒的级配差。从黄土地区的自然因素分析，干旱少雨，土的含水量很难保证，而高速公路路基的压实标准很高，因此对压实机具的要求也高。从试验段的结果来看，只有重型压实机械才能满足压实度质量要求，而轻型压路机很难做到，即使增加压实遍数，或减小松铺厚度，也不能达到压实度要求。其中重型凸轮压路机（俗称羊角碾）的压实效果最佳，这种机械碾压时，凸块处压强很大，土体很快被压实，使得压实效果显著。

四、黄土路基施工特点

黄土路基施工与其他类型路基一样，在施工工艺上没有太大的区别，但也有其自身的一些特点，具体表现在以下几个方面。

1.松铺厚度的控制

根据试验段成果，黄土路基施工松铺厚度应为：当压实度要求 90%时，应不大于 35cm；当压实度要求 93%～95%时，应不大于 30cm。松铺厚度可用车数控制，也可在土摊铺完成后，挖探检测，如松铺厚度控制不好，将严重影响压实效果，浪费碾压台班。

2.含水量的施工控制

黄土压实时对含水量很敏感，特别是在 93、95 区施工时，表现更为明显。施工时要密切关注含水量，最好在碾压开始前测定，也可在取土场测定，应随时注意含水量的损失。如果含水量不足，必须补水量，最好在傍晚洒水，第二天再补压。这样，洒在土层表面的水经长时间渗透，使土体各部分含水量很均匀，才能达到补水的目的；否则，表层含水量过大，碾压后出现薄层“弹簧”，压实度仍然不能达标。1997 年陕西长时间天气干旱，碾压时含水量不足，补水基本上采用这种方法。如使取土场含水量在控制含水量范围内，可在晚上气温低时上土，早晨或凌晨摊铺碾压，在太阳出来气温升高前成型。这样一方面可加快工程进度，二来也能保证碾压时土的含水量，保证压实度满足要求。

黄土碾压时含水量的控制范围，一直是我们在施工中探索的一个问题。根据施工实践，土的含水量在最佳含水量 3%上下范围时，压实度均可达到 95 区压实度要求，不过含水量小于最佳含水量时，压实功明显增加，当含水量大于最佳含水量时，压实相对更容易些。这主要因为：①含水量大于最佳含水量时，施工中水分损失后，其压实时的含水量更接近最佳含水量；②水分较多时，土颗粒表面的水膜可起一定程度的“润滑”作用，土颗粒在外力作用下，更容易移动，使土颗粒挤压得更密实些。不过，象其他土质一样，含水量达到一定程度时，黄土压实时同

样会出现“弹簧”,最好不超过最佳含水量的3%。

3.压实机具及工艺

在施工过程中,压实机械主要以CA25D光轮自行式压路机配合YZT16(K)拖式凸轮振动压路机组合作业,平地机摊铺整平。在平地机整平检测厚度后,CA25D压路机先静压一遍,再由YZT16(K)振动碾压5~6遍(93~95区),平地机再次整平,再由CA25D光轮振动碾压2遍。为保证路肩压实度,边缘处多碾压1遍,最后静压一遍。90区碾压时,YZT16(K)一般只碾压三遍。

YZT16(K)拖式凸轮振动压路机是西安铁二十局施工机械厂研制生产的压实机械,它集中了振动压路机与羊角碾的优点,在黄土路基的压实作业中,适用性强,压实质量好。其主要技术参数如下:

全机自重	16 000kg
激振力	343kN
总压实力	500kN
振动频率	24~29Hz
振幅	1.5mm
静线压力	78.4kN/m
动线压力	250kN/m
激振动力	73.5kN
牵引动力	766.2kN
工作牵引速度	2~4km/h

五、施工质量控制

1.土质的适用性

黄土的土质是影响黄土压实困难的根本原因。从筛分试验看,同粒径颗粒含量高,粘粒含量小,级配不好,只有土粒表面的水膜厚度合适,即含水量达到最佳含水量时,才能获得满意的压实度。从液塑限试验结果分析,塑性指数偏低,粘结力不足较难形成稳定的压实体。渭潼路5合同段黄土为低液限粉性土,土的天然含水量与最佳含水量相差较大,而补水又无适用的水源,压实的路基施工扰动后破坏了压实的土体,再次检测后压实度不足,很难展开大面积碾压作业,最后确定为非适用材料,改为砂砾填筑路堤。2合同段黄土土质为中低液限粘土,土的天然含水量接近最佳含水量,路基施工未因为土质影响质量。所以在黄土地区进行路基填筑前,一定要对土质进行认真分析,如果为塑性指数很小的粉性土,需要考虑它的可用性。象其他地区一样,渭潼路的黄土未作土质的CBR试验,从现行规范来看,只要求作CBR试验,但无标准,无法从CBR指标判定土质是否为路基填筑适用材料。在此方面应该进一步认真研究。

2.路基的旱雨季施工

黄土的压实对土的含水量很敏感,所以在干旱少雨的黄土地区填筑路基时,含水量较难控制。但每年的8、9月份,黄土地区却常常有短时间的大到暴雨,黄土的含水量又常常很高,造成无法大面积展开施工。如1997年陕西大旱,渭潼路工地施工时就常常因为土的含水量偏低,影响施工进度。1992年西宝路路基施工时,天气干旱,土的含水量偏低,影响了压实质量。而1998年4月至9月,阴雨连绵,土的含水量过大,因此路基无法展开大面积施工。在1997年的施工中,我们采用了土场闷料,现场补水,改变上土时间等办法施工。1998年雨水过多时,

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

雨后降低土的含水量比较难，成型路基如有积水，未晒干时就上土，就容易形成“弹簧”。为防止出现这种情况，在路基施工时，一定要做出路拱来，同时保证平整度，使排水通畅不积水，这样可大大缩短雨后的停工时间。如果出现局部“弹簧”，采用换填砂砾或用生石灰粉掺和后碾压处理。

另外，黄土易受水冲蚀，为防止下雨时路拱汇集的水集中流出路基面，路肩处一定要碾压平整，否则，水流冲沟需要用灰土人工分层夯实补填。

3.黄土路基的设计

1)坡面防护

黄土遇水易被冲蚀，含水量小时则易风蚀，对坡面的稳定造成不利影响。为防止此种情况的发生，路基边坡最好采用植被防护，而路堑边坡也需设计防护。陕西渭潼路原设计路堑只设挡墙，后总监办下文要求全部设置护面墙。三铜一级路因路堑无防护，雨季造成滑坍，中断交通。

2)排水设计

陕西大部分土质为黄土，由于黄土遇水易被冲蚀，所以黄土路基的排水设计和路面排水要考虑到黄土的这一特点。目前陕西的大部分高等级公路路面排水设计为散排。在多雨的年份，发现这种设计不合理。渭潼路排水也属这一类型，不过有关专家已认识到这一问题，拟改变为集中排水，设挡水石、集水槽、急流槽等。

3)路堤高度

高等级公路路堤的设计高度一般都比较大。但黄土路基需考虑到这种设计的弊端，路堤高度大，工程量势必加大，这对施工条件、自然条件差的黄土路基质量是个隐患。路堤高度低，工程小，易于精工细作，则能保证质量。渭潼路二合同段就将 1.4km 的路基进行了降低路堤高度的变更设计。5 合同段也因土质不良，很难展开大面积施工，不得不变更设计，将路堤高度降到 1～2m。

4)砂砾垫层

渭潼路路基比较成功的设计是砂砾垫层的设置，此设计对黄土路基的好处表现在两个方面：①黄土具有湿陷性，砂砾垫层可隔断地下水对路基的侵蚀；②可处理地下水位较高的软土地基，增强路基底面的承载力。从有这种设计地段的路基稳定性来看，效果是较好的。而没有铺设砂砾垫层的地段，在多雨季节中，稳定性就比较差，如 K82 + 680 处，因南侧水浸入路基下，边坡附近就出现纵向裂缝。

第二节　膨胀土路堤施工

一、概　述

膨胀土是指土的粘土矿物成分中富含亲水性粘土矿物，具有吸水显著膨胀软化、失水急剧收缩以及往复湿胀干缩特性的高塑性粘土。在公路、铁路、水利和工业与民用建筑中，膨胀土的危害是十分严重的。许多由膨胀土修筑的路基在交工运营之后，普遍发生路基下沉、翻浆、边坡沉坍、滑坡等病害。最近几年修造的高等级公路也受到了膨胀土的严重危害，出现了油面开裂、松散脱落、路基翻浆等质量问题。

(一)膨胀土的判别

膨胀土的液限 $w_L \geqslant 50\%$（76g 锥确定为 40%），自由膨胀率 $F_s \geqslant 40\%$，胀缩总率 $> 0.7\%$。

1）可根据表 3-3 判定膨胀土的等级。

膨胀土工程地质分类 表 3-3

分类型	野外地质特征	主要粘土矿物成分	>0.002mm 粘粒含量（%）	自由膨胀率（%）	胀缩总率（%）
强膨胀土	灰白色、灰绿色，粘土细腻，滑感特强，网状裂隙极发育，有蜡面，易风化呈细粒状、鳞片状	蒙脱石 伊利石	>50	>90	>4
中等膨胀土	以棕、红、灰色为主，粘土中含少量粉砂，滑感较强，裂隙较发育，易风化呈碎粒状，含钙质结核	蒙脱石 伊利石	35～50	65～90	2～4
弱膨胀土	黄褐色为主，粘土中含较多粉砂，有滑感，裂隙发育，易风化呈碎粒状，含较多钙质或铁锰结核	蒙脱石 伊利石 高岭石	<35	40～65	0.7～2.0

注：胀缩总率为土在 50kPa 压力下的膨胀率与收缩率之和。

2）胀缩总率 e_{p3} 按下式计算：

$$e_{p3} = e_{p50} + C_{s1}(w - w_m) \tag{3-2}$$

式中：e_{p3}——胀缩总率，%；

w_m——地基土在收缩过程中可能产生的含水量下限值，%；

w——土的天然含水量，%；

C_{s1}——收缩系数，通过收缩试验确定；

e_{p50}——50kPa 压力下的膨胀率，%。

如式中 e_{p50} 为负值时，按负值考虑；如 $w - w_m$ 大于 8%，按 8%考虑；小于零时，按零考虑。

3）地表下 1～3m 深度内含水量下限值 w_m，可按下列二种情况分别确定。

（1）当地基土的收缩变形主要受大气降雨和蒸发影响时，w_m 可按下式计算：

$$w_m = Kw_p \tag{3-3}$$

式中：w_m——同上式；

K——工作条件系数，可按表 3-4 选用；

w_p——土的塑限含水量，%。

工作条件系数 K 表 3-4

干燥度 K_c	深度（m）	K 值	
		地形坡度 >8°	地形坡度 ≤8°
亚干旱区	1～2	0.70	0.77
	2～3	0.76	0.85
亚湿润区	1	0.78	0.86
湿润区	1～3	0.85	0.91

注：干燥度 $K_c = \frac{\text{全年蒸发量}}{\text{全年降雨量}}$。

计算蒸发量及降雨量时，均取 10 年平均值。$K_c < 1.00$ 时，为湿润区；$K_c = 1.00 \sim 1.49$ 时，为亚湿润区；$K_c = 1.50 \sim 3.49$ 时，为亚干旱区；$K_c > 3.50$ 时，为干旱区。

（2）当常年地下水位比较稳定且位于地表下 3m 以内时，w_m 可取土的天然含水量值。

（二）膨胀土的主要特性

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)土的粘土矿物成分中富含有亲水性矿物成分,如蒙脱石、伊利石等。

2)有较强的胀缩性。

3)有多裂隙性结构。

4)有显著的强度衰减性。

5)多含有钙质或铁锰质结核。

6)一般呈棕、红、黄、褐及灰白等色。

7)自然坡度平缓,无直立陡坡。

8)对公路路基及工程建筑有较强的潜在破坏作用。

(三)膨胀土的分布

膨胀土的分布多具有区域性工程地质特征,多数属浅、坡积型。我国已有二十多个省市发现了膨胀土,比较典型的分布区有四川成都平原、云南蒙白—大屯盆地、广西南宁盆地、陕西安康盆地、河南和湖北的南阳—襄樊盆地、安徽的淮南盆地及淮河岗地等地区。

随着公路建设的高速发展,我国加大了对膨胀土的科学研究力度。安徽、广西、江苏、四川等地都取得了许多成功的治理经验。通过膨胀土公路路基稳定性研究的论证,采取挖孔桩加固、稳定膨胀土填土边坡,以及考虑土体膨胀压力的挡土墙设计等处理方法。四川成渝路西段膨胀土路基施工中按压实度要求选用土质,当压实度大于90%时,不用中等膨胀土,对粘土路基顶面80cm全部回填非膨胀土;对路堤两侧全部采用浆砌片石封闭;采取加深边沟,增设盲沟、渗水沟等方法,都为膨胀土路基施工提供了宝贵的经验。

二、膨胀土施工的措施和要求

1.路基断面

断面形式要求能适应膨胀土的土体稳定特性,有利排水同时减小表水对坡面的冲蚀,有利于土基防水保湿,减少水分的迁移变化,达到防水保湿目的,尽可能减少或消除湿胀干缩效应和强度衰减。具体可采取如下措施。

1)采用不透水路面面层以防止表水下渗后软化土基。高等级公路宜采用厚层石灰土底基层。

2)路基横坡应较一般土质路基尽可能大一些,以利排水。

3)路肩应较一般土质路肩适当加宽。路肩全宽用与路面基层相同的结构层铺砌,同时需铺设较薄的不透水面层或做防渗处理。

4)边沟需适当加宽并尽可能采用深边沟排水,沟底应设在土基顶面以下至少20~30cm。

5)路侧一般不宜种树。特别不应种生长快、吸水和蒸腾量大的树种。若要种树,一般应远离路基5.0m以外。

2.路基高度

路堑开挖导致原有稳定平衡丧失,边坡很易出现变形破坏。路基愈高,边坡愈长,土体临空面愈大,病害相应加剧。此外由于膨胀土的超固结性,即使经过粉碎碾压施工,但土的微结构和土质特性仍然存在,一部分经粉碎压实后的土体,由于粘土颗粒的重新定向等原因,不仅膨胀潜势没有减小,相反比原状土更大。

膨胀土填筑后,受大气风化和湿胀干缩效应影响,土块崩解,在自重与行车荷载作用下产生压缩下沉。填土路堤越高,后期沉降量愈大,而且很易形成下沉外挤。基于以上原因,路基高度应做如下考虑。

1)路基挖、填高度不宜过大,一般宜选择浅路堑、低路堤。其高度最好不大于3.0m。

2)超过3.0m的填土路堤,应考虑沉降稳定问题。

3)高度大于6.0m的路堤则需考虑预留沉降和路基面的加宽,路堑应考虑台阶式断面和坡脚的稳定问题。

3.路基边坡

膨胀土因富含亲水性粘土矿物成分,对环境因素特别敏感。自然斜坡比较平缓,没有直立陡坎。因此,膨胀土的人工边坡较之一般土坡要缓,为增强稳定性,可考虑以下措施。

1)路基边坡坡度可按普通粘土边坡放缓1~2级。具体规定可参照路基设计规范执行。

2)特殊路基或高边坡,应根据土工试验资料进行稳定性验算后确定。

3)路基边坡坡面应进行防护,具体措施可视土质性质及路基高度,选择草皮、骨架护坡、片石护坡等。

4.路基排水

排水系统完善程度对路基稳定具有特殊重要意义。如能较好的保持膨胀土中水分稳定,采取防水保湿措施,则可以防止或减轻膨胀上湿胀干缩效应的有害影响。采取如下几种措施,可加强路基的防、排水功能。

1)设有完善的排水措施,并形成排水网系,使地表水及地下水能畅通排泄,防止水浸入路基造成土体软化。

2)路堑堑顶应设截水沟,防止水流冲蚀坡面与渗入坡体。截水沟一般应在堑缘10~15m以外,沟底纵坡宜以岗脊为顶点向两侧排水。

3)边沟应较一般土质路基的边沟适当加宽加深。路堑边沟外侧须设一定宽度的平台,以保护坡脚免受浸湿,同时防止坡面剥落物堆积堵塞边沟。

4)台阶式高边坡,应在每一级平台内侧设截水沟,以截排上部坡面水,同时也为了保护坡脚。平台内侧截水沟与坡脚之间宜设一定宽度的平台,以利边坡稳定。

5)所有地面排水沟特别是路基范围内或近路基水沟,均应铺砌加固,以防渗漏和冲刷。

5.路基压实

1)高速公路、一级公路路堤原地面处理可按下列规定办理。

(1)填高不足1.0m的路堤,必须挖去地表30~60cm的膨胀土,换填非膨胀土,并按规定压实度压实。一般填高路堤换填深度控制在1.2m左右。

(2)地表为潮湿土时,必须挖去湿软土层换填碎、砾石土、砂砾或挖方坚硬岩石碎渣,或将土翻开、掺石灰稳定,按要求压实。一般换土深度可控制在1.2m左右。

(3)膨胀土地区的路堑,高速公路、一级公路的路床应超挖30~50cm,并立即用粒料或非膨胀土分层回填或用改性土回填压实。

2)压实特性。

(1)原有结构被破坏,使压实土的膨胀潜力反而较原状土更大。

(2)膨胀土的膨胀量和膨胀率都受土的密实度和初始含水量控制。对同一类土而言,若填土的密实度越大,初始含水量愈低,则土的膨胀量和膨胀力愈大,反之,其膨胀量和膨胀力愈小。

(3)膨胀土的天然含水量比较高。填筑时欲将土的含水量降到重型击实标准的最佳含水量相当困难,尤其在南方多雨湿润地区晾晒更不容易,费工费时,影响施工进度。

(4)填土即使按重型击实标准压实到规范规定的密实度,由于施工期间或通车以后的环境变化,膨胀土仍有可能吸水膨胀而使密实度降低,且压实度愈高吸水膨胀变形愈大。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(5)膨胀土因原始结构强度高,粉碎困难,填土的块度大小不一,难于控制,致使压实后的后期沉降量较大,坡度越大,沉降量越大。

6.路堑边坡

为确保路堑边坡的稳定性,在膨胀土施工中,选择合适的施工方法非常重要。为此,应充分了解施工过程中膨胀土的以下重要工程地质特性的变化规律。

1)路堑开挖,即产生卸载膨胀。

2)边坡土体暴露于大气之中,产生脱水风化干缩。

3)遇水膨胀软化。

正确的施工方法和程序,必须注意以下要点:①膨胀土施工应遵循先排水、后主体、快速开挖、及时支挡的原则;②路堑开挖应自上而下,分层逐级开挖;③应尽量做到在旱季施工,集中力量一气呵成;④支挡建筑物施工,须从两端开始,采用跳槽开挖基坑,边挖边砌基础的连续作业。

鉴于膨胀土的以上工程特性,应选择膨胀潜势较弱的土,经人工粉碎并控制到要求的填土级配,按规范要求的标准进行压实,严格控制其含水量和密实度。路基建成后,在自然环境条件和路基路面系统影响下,经过防水保湿和自然平衡,土的含水量将逐渐稳定在某一平衡含水量范围内。经过压实和沉降稳定后,土体就不致发生较大的变形。

在实际施工中,除强膨胀土不宜使用外,对中等和弱膨胀土必须采取相应的处理措施。主要办法是在膨胀土中加入稳定剂(石灰)进行改性处理和冲稀材料(砾石、粉煤灰)从而达到减弱亲水性,增加自身稳定性的目的。

三、工程实例

(一)宁连一级公路膨胀土路基施工

1.掺灰处理

江苏宁连一级公路部分路基采用膨胀土填筑,分别采用不同剂量的石灰和天然路基土做试验对比(按重型击实标准)的详细数值见表3-5。

宁连一级公路膨胀土力学性能指标 表3-5

土性描述	状态	液限 ω_L (%)	塑限 ω_p (%)	塑性指数 I_p	自由膨胀率 F_s (%)	膨胀力 (kPa)	50kPa下膨胀率 (%)	胀缩系数	胀缩总率 (%)	无侧限抗压强度(kPa)	压实度
灰色粘土	原状土	55.0	31.0	24.0	82	22	-0.7	0.428	5.3		
	掺灰0%					587	11.8	0.47	11.8	崩体	
	掺灰4%	52.0	31.0	21.0		284	-0.3		-0.3	572	95%
	掺灰6%	52.0	35.0	17.0		33	-0.4	-0.27	0.4	893	95%
	掺灰8%						-0.2	0.29	-0.2	660	95%
灰黄色粘土	原状土	53.5	22.8	30.7	70	40	-1.2	0.22	3.63		

土性描述	状态	液限 ω_L（%）	塑限 ω_p（%）	塑性指数 I_p	自由膨胀率 F_s（%）	膨胀力（kPa）	50kPa下膨胀率（%）	胀缩系数	胀缩总率（%）	无侧限抗压强度(kPa)	压实度
灰黄色粘土	掺灰0%					276	5.5	0.28	6.2	崩体	95%
	掺灰4%	54.4	23.4	31.0		247	1.9	0.24	2.2	崩体	95%
	掺灰6%	49.8	24.5	25.3		81	-0.2	0.12	0.14	1 358	95%
	掺灰8%	47.1	25.6	21.5		37	-0.3	0.06	-0.25	1 191	95%

从上表试验结果可以看出以下几点。

1)击实膨胀土比原状地基的膨胀土，胀缩总率要大2～3倍，膨胀率要大7～8倍，甚至数十倍。其膨胀性要大大增加。

2)掺加石灰后击实的膨胀土，比不掺石灰击实的膨胀土，其膨胀总率和膨胀力将大幅度下降，特别是在最佳石灰量6%或8%时，其膨胀率接近零，膨胀力也下降到接近天然稳定状态时的指标。

3)饱和无侧限抗压强度在最佳石灰剂量时，一般都能大于0.8MPa，满足路用要求。由于膨胀土的物质成分不同，不同地区、不同土质，最佳石灰掺量也会有差异，关键是要通过施工现场的采样试验，求得最佳掺灰量。掺灰以生石灰粉效果较好，如用其他石灰，则应进行等效换算，其剂量要提高1%～2%。

2.加强土的粉碎和拌和的均匀性

自取土坑挖出的土块，一般粒径都较大，大的可到5～10cm以上，经风吹日晒形成外硬内塑的状态。施工时必须将其击碎，粒径要求在5cm以下。通常在土块外表的含水量略大于最佳含水量时旋耕、粉碎效果较好。同时要求石灰与土拌和均匀。为避免出现素土夹层和大块集中区，碾压厚度按要求控制，旋耕深度在25cm以内。

3.加强压实

选用重型压路机、振动压路机或35～50t的轮胎压路机。行驶速度不宜超过4km/h，碾压时以纵向进退式进行，横向接头振动压路机要重叠0.4～0.5m，对三轮压路机一般重叠后轮的1/2，前后两相邻区段要纵向重叠1～2m。在路堤与路堑分界地段，更应碾压密实。路堤边缘两侧应各加宽30～50cm。

由于雨水的浸入，路基可能会出现表面隆起、膨胀。因此，雨后应及时复压。

4.其他措施

路堤填筑要连续施工。完工后，路堤两侧边坡的防护封闭工程必须及时做好，以完善路基的防水、保湿、防风化工作。

有条件的地方对路基顶面80cm范围内，应选用非膨胀土填筑。

(二)沂淮高速公路GA标弱膨胀土路基填筑

1.工程概况

沂淮高速公路GA标段，位于江苏省宿迁市沭阳县境内，全长26.8km，通过平原农田区，均为填方路堤，土源距路堤两侧300m左右。沿线共设有取土坑45个，挖土深度3.0m。平均填

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

土高度4.1m,共填土320余万m^3。当地气候潮湿多雨,一般在地表以下1.0m左右就有地下水。45个取土坑均属弱膨胀土,设计要求必须掺用石灰后,才能作为路基填料。

2.膨胀土的特征和试验结果

1)沿线取土坑填料以高液限粘土为主。间隔砂礓石,液限在50%~70%之间,塑限在30%左右,塑指20以上。粘性大,挖出的土大部为较大泥块,施工时粉碎难度很大。

2)高液限粘土自由膨胀率一般为40%~60%,计算胀缩总率均小于0.7%,属弱膨胀性。

3)高液限粘土(素土)击实试验的最佳含水量一般为11%~14%,最大干密度为1.819~1.973g/cm^3。按掺石灰2%、4%、6%、8%、10%的不同剂量,最佳含水量为11.5%~18%。最大干密度为1.65~1.80g/cm^3。其规律是随着石灰剂量的增加,最大干密度降低,最佳含水量增加,塑性指数明显降低,逐渐砂化。

4)按照设计要求90、93区掺灰6%;95区掺灰7%。通过45个取土坑取土试验结果表明,提出的掺量是恰当的。

3.开工初期情况

1)用干土法掺入相当于生石灰剂量的消解石灰,分别按上述剂量制作多组试件,以重型击实法做标准击实试验。同时用EDTA二钠滴定法测定不同掺量。不同龄期石灰土的灰剂量,绘成石灰衰减曲线。

2)路基90区的施工,初期还较顺利。因处于旱季,雨水少,上土快,工程进度和质量也较理想,一般取土坑的土掺灰后一周,就能上路碾压成型。但从1999年3月份,进入93区后,发现采用原击实标准,压实度和含灰量很难达到要求。

3)我们结合施工实际和试验等具体情况,进行了分析,并提出了以下的改进意见。

(1)因气候、季节变化,砂化土不能及时上路,二次掺灰后因雨水影响等,不能及时碾压成型,造成砂化土砂化时间过长,膨胀土砂化严重,干密度降低,而达不到压实度标准。经过结合施工程序进行的击实试验,发现干密度比开工前的数值普遍低0.05~0.08g/cm^3。

(2)认为开工前,按土工试验规程所作的标准击实试验与实际不相适应,其掺灰膨胀土的击实标准不能反映掺灰膨胀土的施工实际情况。

4)我们将以上意见及时向省市高指和监理组作了报告。他们通过调查和抽样试验,市高指很快下发了关于对膨胀土路段按照掺灰砂化工作顺序进行标准击实的通知。其内容包括以下几点。

(1)由于膨胀土是高含水量的粘性土,要求击实试验采用湿土法。

(2)试验程序为:①在取土坑取土按灰剂量(5%、6%、7%)的50%掺加生石灰,闷料砂化3d;②闷料3d后再按灰剂量的50%掺加消解石灰,制作压实试件,存放于同等条件土中养生;③三组试件分别为7d、14d、28d的击实标准值;④根据以上试验结果,绘制砂化后最大干密度变化曲线,同时进行灰剂量衰减试验和塑性指数测定、绘制灰剂量衰减曲线,以供参照。

根据以上要求,对45个取土坑重新进行击实试验,结果最大干密度全部下降0.06g/cm^3左右,一般在1.62~1.73g/cm^3之间,塑性指数降到20以下,一般为15~20。从而保证了工程进度和工程质量。

4.路基施工

1)材料

(1)取土坑中膨胀土粘性大,呈团块状。需用粉碎机械,经反复多次翻拌,达到无大于5cm的土块为止。

(2)III级以上生石灰,消解后有效钙镁含量不小于55%,并通过1cm的筛孔。尽量缩短石灰的存放时间,妥善覆盖保管,消解时间一般控制在7d,以免有效成分衰减损失过大。

2)掺灰拌和

(1)掺灰。采用二次掺灰法,第一次在取土坑旁掺入3%灰量。控制方法是在单位面积上以所铺生石灰厚度与取土深度的比例控制石灰量。挖土机挖土时,将土和石灰同时挖起堆积在取土坑边,当堆积到一定长度和高度时,再用挖土机翻拌均匀,进行闷料砂化2~3d,即可上路。

第二次掺灰量为相当于3%生石灰的消解石灰,在路基上进行。方法是将路基上的砂化土用推土机粗平,旋耕犁翻拌、粉碎、平地机细平,松土厚度20~25cm,压路机静压一遍,使表面粗平后,按松铺厚度计算每平方米第二次掺灰的用量,并用白石灰在路基上打成方格,按计算的方格数卸灰,人工均匀撒布。

(2)拌和。用农用犁翻一遍后,用6~8台旋耕犁排队进行翻拌粉碎2~3遍。再用农用犁深翻到底一遍,再以旋耕犁粉碎2~3遍,最后用宝马路拌机拌1~2遍,一般即可达到含灰均匀,无素土夹层,无大于5cm土块的要求。

3)碾压成型

(1)拌和均匀的灰土静压一遍后,用平地机细平,作出路拱、纵横坡,达到表面平整,无坑凹现象。

(2)控制碾压时的含水量不得低于最佳含水量,一般以大于1~2个百分点较为合适;含灰量要达到标准要求,低于标准的为不合格,要及时掺灰重拌。

(3)碾压。用振动压路机慢速振压2~3遍,用三轮压路机从两边向中间重叠半轮碾压2~3遍,达到纵横坡度要求,表面平整光洁、无松动和坑洼等现象。两侧路肩应多压2~3遍。

(4)自检。碾压完成后,应及时自检压实度和含灰量,并作好记录,报监理抽检签认。自检频率为2个断面/100m,按车道数每个断面4个点。

4)质量控制与检测

(1)松铺厚度宜薄不宜厚,一般松厚20~25cm,压实厚15~20cm。采用薄层碾压能够提高报检合格率,不返工、进度快,是一项灰土路基施工的成功经验。检查方法是每100m查两个断面,每个断面开挖4个点。以不超过指标的5%为符合要求。先自检,后报监理抽检。

(2)铺灰前工作面平整度,以目测为主,无坑洼,便于二次均匀布灰。

(3)捡出大于5cm的土块。路拌深度由现场开挖观察,灰土直到前一施工层顶面为准,无未经拌和的素土夹层为符合要求。

(4)以灌砂法检测压实度。自检合格后,报监理复验。自检频率100%,路基每100m测两个断面8个点;监理抽检率15%,市中心试验室抽检率5%(江苏省标准)。开工初期用环刀法,后发现此法用于膨胀土缺乏代表性。由于路拌石灰沿深度含水率是有差距的,表层小,深层大;此外加灰后土块粒径虽不大于5cm,但膨胀土中含有不同大小的砂礓石,大的虽已排选出去,但仍有小块存在,以上情况对于直径6.18cm的环刀是不适用的。因此,很快就改用灌砂法检测。

(5)按设计规定膨胀土掺灰路基规定采用压实度和含灰量双控制。因此必须同时检测含灰量,采用EDTA二钠滴定法测定。

第三节　滑坡地段路基施工

一、滑坡形态

发育完整的滑坡,一般都有下列要素,如图3-2所示。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1.滑坡体

沿滑动面向下滑动的土体或岩体称滑坡体。

2.滑动面

滑坡体所沿着滑动的面称滑动面。多数滑面由粘性土和软岩夹层所构成。滑面光滑,有滑动擦痕。

3.滑坡周界

滑坡体与周围稳定斜坡在平面上的分界线称滑坡周界。滑坡周界圈出了滑坡范围。

4.滑坡壁

滑坡滑动后,在滑坡体后部山坡未动部分沿滑坡周界所形成的陡壁,称滑坡壁。

5.滑坡台阶

有些滑坡,由于各段土体运动速度的差异,在滑坡体上形成阶梯状的错台,称为滑坡台阶。台阶前缘的陡壁,称滑坡台坎。

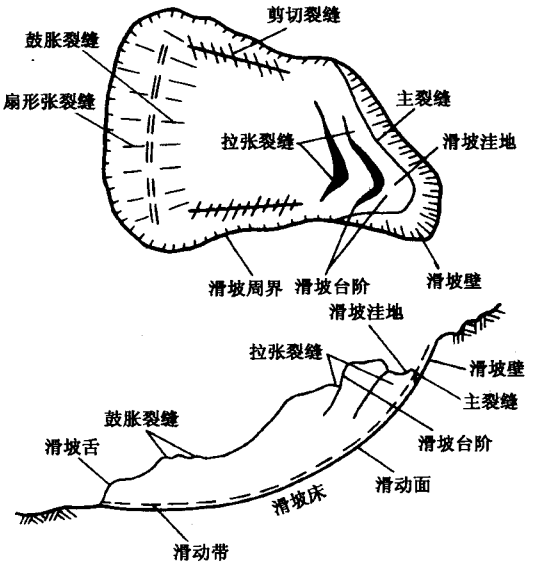


图 3-2 滑坡要素分布示意图

6.滑坡舌

在滑体的前部,形如舌状伸出的部分称为滑坡舌,简称滑舌。

7.滑坡洼池

滑坡体滑动时,滑体与滑壁之间拉开成沟槽,相邻土楔形成反坡地形,这种四周高,中间低的封闭洼地,称为滑坡洼地。

8.滑坡裂缝

按受力状态,滑坡裂缝可分四类。

1)拉张裂缝

分布在滑体上部,与滑壁方向大致吻合,多呈弧形,因滑坡体向下滑动的拉力而产生。与滑坡壁或滑动周界重合的最外面的一条,称为主裂缝。

2)剪切裂缝

分布在滑坡体中部的两侧,在滑坡体下滑时,滑体与滑床在分界处形成剪力区,区内形成的裂缝,即为剪切裂缝。在此两侧,常伴生有羽毛状的裂缝。

3)鼓胀裂缝

分布在滑坡体的下部。如滑坡上部较下部滑动得快,或滑体受阻,则会隆起,并产生张开裂缝,裂缝方向与滑动方向相垂直。

4)扇形张裂缝

分布在滑坡体的中下部。当滑坡体向下滑动时,滑体的前部向两侧扩散,形成张开裂缝,裂缝方向在滑坡体中部与滑动方向平行,在滑坡的舌部呈放射状。

二、滑坡分类

为便于对滑坡进行调查与防治,将滑坡作如下分类,见表 3-6。

三、容易发生滑坡的地带特征

1.地貌

滑坡分类表　　表 3-6

编　号	分类依据	滑坡类型	简　要　说　明
1	按滑坡体的物质组成分类	堆积层滑坡	包括坡积、洪积、重力堆积体中或沿基岩顶面滑动的各种滑坡。这些滑坡往往是由于地下水的作用引起的
		残积层滑坡	主要指发生在厚层风化壳中的滑坡。由于强烈的化学风化作用，坚硬基岩已风化成土和碎石。滑坡多沿软弱的风化带滑动
		黄土滑坡	新、老黄土中发生的滑坡，多沿新、老黄土接触面滑动，滑坡的产生常和黄土对水的不稳定性有关
		粒性土滑坡	均质和非均质粘性土中产生的滑坡。多因网状裂隙破坏了土的结构，水沿裂隙下渗，使土的强度降低，而产生滑坡
		岩石滑坡	第四纪以前的各种岩石中发生的滑坡以泥岩、泥质页岩、片岩等软岩中的滑坡为多
2	按滑坡体的厚度分类	表层滑坡	地表以下 1m 以内的表层滑动
		浅层滑坡	地表以下 1m 至数米厚的薄层滑动
		中层滑坡	数米至十余米厚层滑动
		深层滑坡	20m 以上的深层滑动，规模巨大
3	按滑动面的位置与岩层间的关系分类	均匀滑坡	同类土中的滑坡
		顺层滑坡	顺岩层软弱层面和各种地质构造面向下滑动的滑坡，滑面是早已存在的，不易改变
		切层滑坡	节理裂隙发达的或存在有软弱面的岩层，滑动面与岩层层面相垂直的滑坡
4	按滑坡各部分滑动的先后顺序分类	牵引式滑坡	滑体下部先变形滑动，而使上部失去支撑，相继滑下
		推动式滑坡	上部先变形滑动，下部受挤压而向下滑动

1)山坡或河谷谷坡上的圈椅地貌是比较容易发生滑坡的地方。圈椅地貌是指背后靠山，左右两侧为两条山梁，中间围出一块缓坡地，外形像圈椅状的一种地貌。其中的缓坡地多由坡积物组成，也是地表水和地下水汇积之处。

2)在较陡的大段河谷谷坡中间，夹一段台地状的缓坡地，有时坡面被冲沟切割成鸡爪形山梁。这种缓坡或山梁往往容易发生滑坡。

3)平整的平坡面，没有地下水出露，一般是比较稳定的。坡面杂乱无规则的山坡，就可能是不够稳定的山坡，山坡上有“醉林”、“马刀树”出现，则是已经发生过滑动的山坡。

4)在沿河圆顺的凹岸中，突然有一小部分向河床凸出地段并有大块爪石堆积。这种现象就有可能是由滑坡舌部的残留物形成，如图 3-3。

5)双沟同源地形，如沟谷不深，沟间距离约数十米至数百米，沟源相连呈钳形，沟间山坡多呈上、下陡而中部缓的鼻形斜坡地形，也容易发生滑坡。这种地形往往是由于山坡曾经发生过

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

位移，水流沿周围侵蚀发育的结果，是古滑坡错落残留的痕迹，如图 3-4。

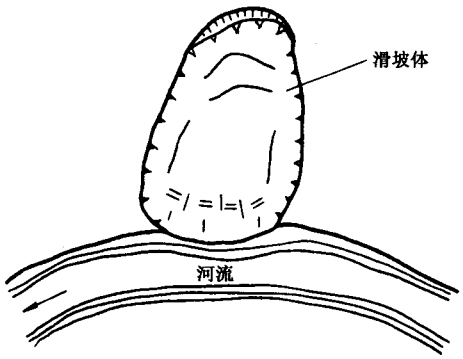


图 3-3　河岸反突出河中

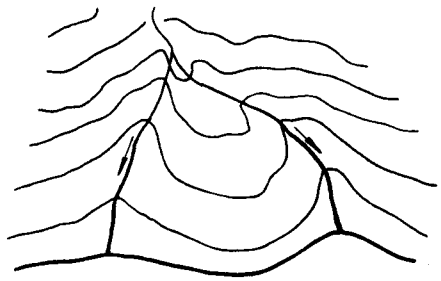


图 3-4　双沟同源地形

2.岩层

页岩、泥岩、泥灰岩、千枚岩、滑石片岩、云母片岩以及其他容易风化、遇水软化的岩石及粘性土、黄土及各种成因的堆积层，都比较容易发生滑坡。

3.构造

断层面、节理面、褶曲两翼的斜面、不整合面以及倾角较陡，倾向山外走向与路线交角小于45°的基岩层面，都容易构成滑坡的滑动面。

4.水

地表水不易排除，甚至形成积水；斜坡水文地质不良，地下水发育；在缓坡后缘、前缘、坡脚或坡面等地形突然变化处有泉水或湿地分布；河水掏蚀、冲刷坡脚；灌溉水或其他水渗漏等都会促成滑坡的发生。

四、滑坡整治工程实例

（一）工程概况

耒宜高速公路 K2 合同段是京珠高速公路的一部分，是国家重点工程之一。在桩号 K300 + 480 ~ K300 + 740 左侧边坡出现滑坡现象。其中 K300 + 480 ~ K300 + 640 左侧山沟里，在我部进场施工时就发现该山沟里地表塌陷明显，有土体滑动的痕迹，存在土层开裂等现象，初步断定为山体滑移。经询问，当地村民称该山体滑移发生于 1997 年 5 月份。经现场仔细考察该滑坡体面积有 13 114m^2，滑坡体面积中心距路基中线约 90m，滑坡体上裂缝分布广泛，缝宽约为 10 ~ 30cm，滑坡体周边裂缝处垂直滑移约 150 ~ 200cm。滑坡体低谷中有丰富的地下水，当地群众在此围池浇菜和用塑料管越路引水，雨季时地表汇水量较大。该滑坡体虽然位山沟里，且山沟出口较窄，但滑坡体发展趋势明显，对路基可能够成威胁。1999 年 4 月 9 日至 1999 年 4 月 11 日大雨过后，我部发现 K300 + 680 ~ K300 + 740 段（与老滑坡体同属一座山）已开挖的路堑左侧山体出现严重塌方，形成整体滑坡，滑坡体上裂缝分布广泛，塌方横向长度约 50m，垂直沉降1.0 ~ 2.0m，水平位移 1.0 ~ 2.0m，塌方面积约 3 500m^2。4 月 16 日至 4 月 18 日又一次大雨过后，4 月 19 日到此处察看，发现该塌方沉降又有进一步扩展，横向与纵向位移有明显的发展，且长度也有明显的增加，并向北延伸，可能会与老滑坡体 K300 + 480 ~ K300 + 640 连成一个整体，情况比较严重。因雨季已经来临，塌方将会进一步发展，有可能对该滑坡体下方的居民造成威胁。

（二）临时防治措施

滑坡体发生后，为了防止滑坡体进一步扩展，避免给山坡下村民造成生命和财产的损失，对现场进行考察和对滑坡成因进行仔细分析后，采取了以下临时应急防治措施。

1.在滑坡体的坡顶点和坡脚设立观测点，每天上、下午各进行一次水准测量和水平位移观测。以使随着掌握滑坡体的动向，并派人每天 24h 值班，值班人员配置警报器和喊话机，以便在出现紧急情况时能及时通告和疏散山坡下的村民。

2.对滑坡体的裂缝采取开挖重新回填夯实处理，以减少雨水渗入滑坡体。

3.滑坡体范围以外挖好截水沟并用砂浆抹面，以保证山坡上来水不浸入滑坡体范围。

4.对滑坡体内的土方进行卸载，减轻滑坡体本身的重量，以减少滑坡体的下滑力。具体卸载方案如下。

1)卸载边坡方案。考虑到该滑坡体土质较松散，原设计边坡为 1∶1.25 不能满足卸载要求，将卸载范围内坡比改为 1∶1.5。

2)卸载起始高程。考虑到边坡与原设计路基接顺，初步确定从最上一级台阶以上土方进行卸载，该台阶宽度增加到 4m 左右，台阶以下路基暂不开挖，以保持下层土体稳定，以待最终边坡变更设计。

3)卸载范围。为了保证卸载后滑坡体主体(K300 + 680 ~ K300 + 740)临时稳定，卸载范围向北延长 60m，向南延长 60m，即卸载范围从桩号 K300 + 620 至桩号 K300 + 800 为止。K300 + 620 路基断面、K300 + 820 路基断面按原设计施工。

4)初步确定并计算卸载方量为 34 494m^3。

5)卸载时注意事项：①因无详细的地质资料，滑坡体及周围土、石情况均不清楚，卸载时一定及时掌握土质变化情况，如有异常及时向有关部门反映，考虑变更施工方案；②开挖时避免形成陡坡，并随时采用塑料布进行覆盖，以防止雨水浸蚀，避免形成新的滑坡体诱因；③在卸载过程中必须随时观测滑坡体的水平位移和垂直位移，随时掌握滑坡体的动向；④卸载时必须从上向下进行卸载，并随时注意边坡稳定情况。

(三)滑坡成因分析

导致 K300 + 680 ~ K300 + 740 边坡滑坡因素主要有两个方面：其一是该边坡存在孔隙度较大、强度较低的残坡积高塑性黄褐色粘土地层，饱和度高达 105.02%，含水量较高，介于塑限与液限之间，抗剪强度较低，加上大气降水入渗残坡积土，从而进一步降低其抗剪强度并增加重量，这是形成滑坡的内在因素；其二则是路基边坡开挖过程中，正值雨季来临，雨水沿残坡积土层中的卸荷裂隙渗入，从而使土体产生倾斜破坏，截水沟以下第一台阶以上部分边坡上堆积许多已开挖的松散土体，为该滑坡体提供了下滑力，加上截水沟开挖后未及时进行铺砌，反而为雨水渗入提供了条件，促使更多的降水渗入，对边坡稳定十分不利，同时边坡以下的土方开挖，扰动了土体的应力平衡，破坏原土体的稳定(边坡失稳)性，加之雨水渗入使土质进一步软化，降低粘土层抗剪能力，减少抗滑面的粘结力和摩阻力，因而使该土体沿着软弱的结构面产生滑动。

K300 + 480 ~ K300 + 640 不稳定岩土体从 1997 年 5 月开始出现地表塌陷、土体滑移、土层开裂现象。分析该不稳定岩土体形成的原因主要是由于该区域特定的地形地貌、地层岩性、地质构造和活跃的地下水活动等共同作用的结果。首先由于断层 F1 下盘往西错动，使下伏灰岩一直到达断层 F3 下盘，而 F3 上盘、F1 下盘以西下伏基岩都为页岩夹板岩，页岩夹板岩为隔水层，其透水性较差，灰岩为透水性良好的含水层。每当下雨，由于渗入到页岩夹板岩地层中的水十分有限，导致该处残积土层中的含水量极高，有的地方常年有泉水出露或常年潮湿，同时

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

导致灰岩中地下水活动十分活跃，使得该处灰岩中岩溶较其他地段更为发育；另外由于地下水的潜蚀作用，使得上覆土层更加疏松、孔隙度更大、抗剪强度更低。当岩溶不断发展至地表而引起塌陷，这些塌陷使得其周围土体具有了向其位移的临空面，引起低强度的岩土体向沟谷滑动。滑体的西南部主要为强风化页岩夹板岩地层中的切断破坏，滑体的东南部主要为灰岩之上的残坡积粘土层内的滑动，它在自然条件下就已处于不稳定状态，向沟中滑移较为明显，这部分已逐渐形成一个统一的滑动面，后来的人工路堑边坡的开挖加剧了该部分滑坡体的滑移。滑动方向也由原来的滑向洼地（约 NE45°）变为目前的滑向路基方向（NE80.5°）。这部分滑坡体对路堑边坡及路基直接构成威胁。

介于两个滑坡体之间的 K300 + 640 ~ K300 + 680 路段以及 K300 + 740 ~ K300 + 850 路段的路堑边坡地质结构与 K300 + 680 ~ K300 + 740 路段基本相似，都是上覆残坡积粘土层、下伏灰岩。虽然目前暂未出现边坡失稳现象，但若照目前的状况继续下去而不采取任何治理措施，则极可能出现类似 K300 + 680 ~ K300 + 740 滑坡的现象，因而也应及时进行加固处理。

（四）滑坡治理方案

K300 + 480 ~ K300 + 740 路段的滑坡，影响范围大，涉及面广。经有关单位多次研究确定，针对该段范围内各段滑坡产生原因以及各种整治措施的使用条件，对该滑坡体分别采用抗滑桩、地表截水、设置挡土墙的综合治理方案。其中 K300 + 680 ~ K300 + 740 段滑坡体经勘察确认滑坡体内有两条圆弧滑动面（如图 3-5），采用 2.0m × 3.0m 矩形钢筋混凝土抗滑桩的治理方案。抗滑桩分为两排布设（如图 3-6），上排抗滑桩共 27 根（从桩号 K300 + 590 ~ K300 + 775），距

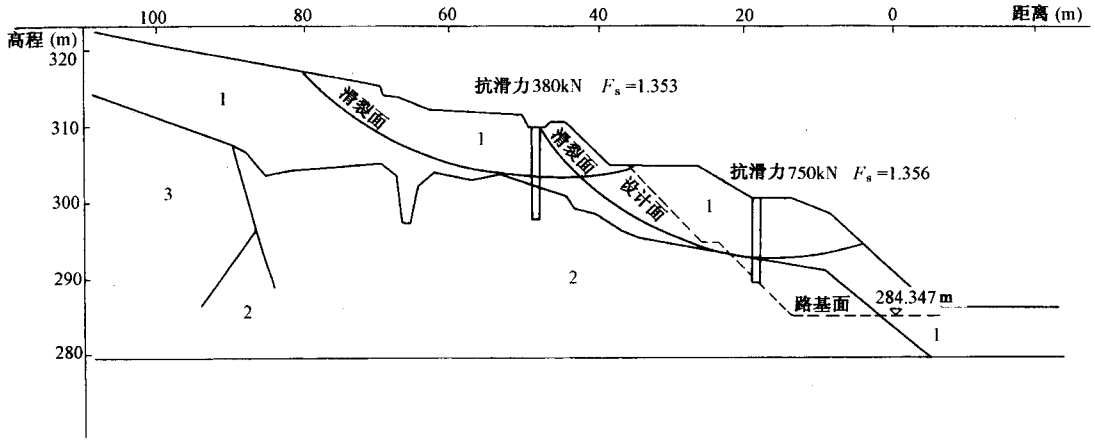


图 3-5　K300 + 680 ~ K300 + 740 段圆弧滑动面
1-残坡积重粘土；2-灰岩；3-弱风化板岩夹页岩

路基中心线 53m。每根桩的中心间距为 7m，抗滑桩嵌岩深度为桩长的 1/4 ~ 1/3；下排抗滑桩共 44 根（从桩号 K300 + 580 ~ K300 + 850），距路基中心线平均为 29m，每根桩的中心间距为 6m，抗滑桩嵌岩深度为桩长的 1/4 ~ 1/3。K300 + 480 ~ K300 + 580 段滑坡主要成因是受地表水的影响，且位于山沟里，因而主要采用地表截排水系统以阻止更多的地表水渗入该不稳定岩土体内，同时对地表裂缝进行封填。具体布置为：首先沿山沟底设一条纵向排水沟，向上延至不稳定土体边界以外 10m，依山沟而建，向下与 K300 + 580 的涵洞相衔接；其次在主排水沟与截水沟之间依地表形状沿低洼处设置三条排水沟，对滑坡体中泉水出露点和潮湿地带设置排水沟，将水引至主排水沟（如图 3-6）；在 K300 + 480 ~ K300 + 640 滑坡靠近路基的沟里设置挡土墙（墙顶宽 1.0m，墙底宽 2.0m，高度 4.0m，长度 20.0m，墙外缘直立，墙内缘倾斜），并在挡土墙内

1. 排水沟参数见下表：

编号	1	2	3	4	5	6	7	8
长度(m)	500.0	70.0	50.0	60.0	34.0	60.0	60.0	160.0
梯形沟尺寸(cm)	50×50	50×50	50×50	50×50	50×50	50×50	50×50	80×80

2. 排水沟的排水纵坡约为1:4.7。

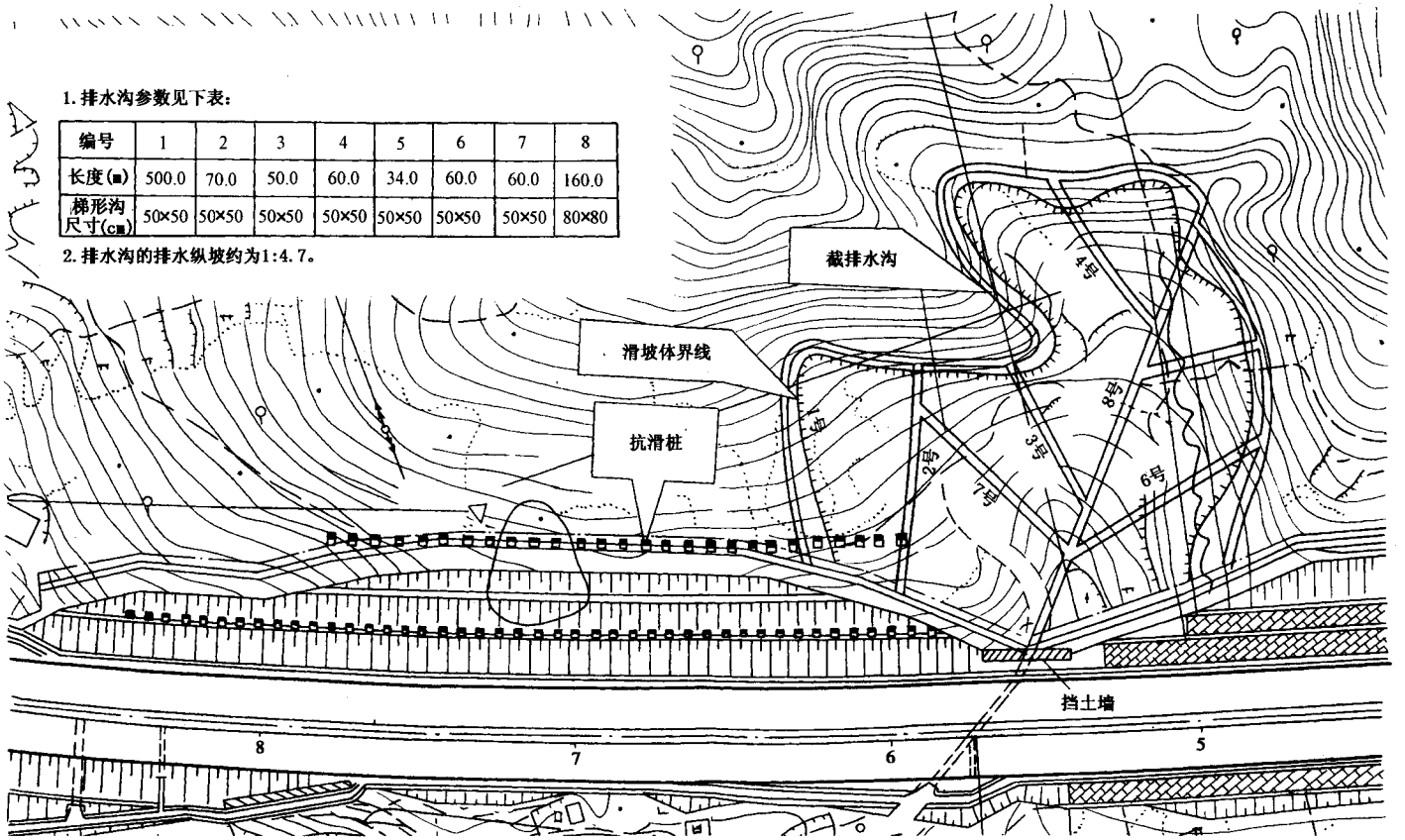


图 3-6　抗滑桩布设图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

填充土方至一定高度(约3.0m),对该不稳定土体的东南部的滑坡体坡脚产生压重。这样可以减小坡高,提高剪出口,降低下滑力;对K300+580~K300+850段路堑边坡坡面采用浆砌护面墙防护。

(五)浅谈滑坡体稳定性计算原理和治理方案的设计原理

1.滑坡体稳定性计算(极限平衡法)

1)稳定性计算方法

极限平衡按总应力法,稳定系数由下式计算:

$$F_s = \frac{\sum N \cdot \tan\varphi + CL}{\sum T} \tag{3-4}$$

式中:F_s——稳定系数;

N——分条块重量垂直于潜在滑动面的分量,kN/m;

φ——边坡物质的内摩擦角,°;

C——边坡物质粘聚力,kPa;

L——潜在滑弧长度,m;

T——分条块重量平行于潜在滑面的分量,kN/m。

对假定的圆弧滑裂面使用毕肖普法和瑞典法;对假定的任意状滑裂面使用摩根斯顿—泼赖斯法。

2)边坡岩土体物理力学参数

根据有关单位勘探试验结果,经反分析论证,滑动剖面的各类岩土力学参数计算采用值如表3-7。

滑动剖面的各类岩土力学参数 表3-7

类　别	容　重 (kN/m³)	饱水容重 (kN/m³)	C值 (kPa)	φ角 (°)
K300+680~K300+740残坡积重粘土	19.2	19.6	7.56	7
K300+550~K300+600残坡积重粘土	19.2	19.6	17.9	10
灰岩	26.8	26.9	200.0	30
弱风化页岩夹板岩	20.0	20.0	41.70	20
强风化页岩夹板岩	20.4	20.4	10.00	6

3)搜索最弱滑裂面

(1)K300+680~K300+740段,按自然边坡分二级滑坡搜索,最弱滑坡裂面(圆弧形)的稳定性系数分别为0.735和0.869。

(2)K300+480~K300+650段,分二级滑坡和一个连通滑坡搜坡,最后确定一个最弱的连通的任意状滑裂面,其稳定系数为0.951。

4)抗滑桩和加固后稳定系数校验

设置抗滑桩后,上述最弱滑动面的稳定系数验证如表3-8。

最弱滑动面的稳定系数验证 表3-8

滑　动　面	加固前稳定系数	加固后稳定系数	抗滑力(kN)
K300+680~K300+740一级滑动面	0.735	1.356	750(下排桩)

续上表

滑　动　面	加固前稳定系数	加固后稳定系数	抗滑力(kN)
K300 + 680 ~ K300 + 740 二级滑动面	0.869	1.353	380(上排桩)
K300 + 480 ~ K300 + 650 任意状滑动面	0.915	1.310	720

2.整治方案的设计原理

1)抗滑桩设计

由于滑坡体有相当规模且下滑力较大,而抗滑力相对较弱,必须采取强有力的支撑措施。经比较后选用在滑坡体上设置两排钢筋混凝土抗滑桩。

抗滑桩内力计算可简化为一根端部固定的悬臂梁,其滑面以上部分桩身内力可由静力平衡原理直接算出,而滑面以下部分桩身内力可由弹性地基梁的有关原理和公式计算。抗滑桩的配筋按受弯构件进行配筋计算,抗剪进行校核。

2)挡土墙设计

在 K300 + 550 ~ K300 + 570 段采用填土高度 3.0m 以作反压来增加对滑坡体的止滑作用。为稳定该填土,设置一道重力式挡土墙,可根据库伦土压力理论确定挡土墙截面,可计算出作用在挡土墙上的主动及被动土压力。然后对一定断面形状的挡土墙进行抗倾覆、抗滑动、墙体受力、基底偏心距及基底土强度校核。

3)地表截排水系统设计

由于滑坡主要发生在残坡积粘土和强风化页岩夹板岩地层中,滑动地层中的地下水主要以孔隙水的形式存在;滑动主要发生在雨季,大量大气降水入渗滑动地层中,使其含水量增加,抗剪强度降低,导致滑坡不断发展。因此排水主要以截排地表水为主,在地表一定位置设置截排水沟系统以便把山上流下来的地表水和大气降水绝大部分通过截排水系统流走,尽可能减少渗入不稳定土体的水量。

4)浆砌片石护面墙设计

浆砌片石护面墙主要用于防止坡面岩土体遭雨水冲刷、坍塌及风化。

(六)滑坡治理不足之处和建议

在 K300 + 680 ~ K300 + 740 段上排抗滑桩施工接近尾声之际,上排抗滑桩上部的边坡仍存在小部分坍方现象。因而建议在上排桩上设置一道钢筋混凝土挡土板,并设置截水沟,以抵抗抗滑桩上部的小坍方。

第四节　崩塌和岩堆地区路基施工

在山区比较陡峻的山坡上,巨大岩体或土体在自重作用下,脱离母岩,突然而猛烈的由高处崩落下来,这种现象称为崩塌。由于岩体风化,破碎比较严重,山坡上经常发生小块岩石的坠落,这种现象称为碎落。经常发生崩塌的山坡坡脚,由于崩落物的不断堆积,就会形成岩堆。岩堆常沿山坡或河谷谷坡,呈条带状分布,连续长度可达数公里,甚至数十公里。

一、崩塌地区路基施工

1.形成条件及因素

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)地形条件。当斜坡度在 55 ~ 75°之间,或者存在凹坎、悬石,则容易形成崩塌。坡度缓于45°的斜坡一般难以形成崩塌。

2)地层岩性。节理发达的块状或层状岩石或抗风化能力差的软质岩层及其夹层,尤其是厚层硬岩覆盖在软弱岩层之上的陡壁最易发生崩塌。

3)地质构造。当各种构造面,如岩层层面、断层面、错动面、节理面有裂隙或软弱夹层倾向临空面且倾角较大时,往往会构成崩塌的依附面。

4)降水。如暴雨频发、雨水下渗或冲刷严重,降低了岩石裂隙间的粘聚力和摩擦力,增加了岩体的重量,更加促使崩塌的产生。

5)气候。昼夜温差大,冻融作用及干湿变化大,促使岩层风化剥落。

6)人为因素。如开挖不当、爆破、采料、砍伐等等。

这些内外因素共同作用就容易形成崩塌,但以地质、地形为主要因素。公路工程中路堑边坡的开挖往往成为一种诱发因素。

2.防治措施

1)对于挖方边坡及原自然坡面,岩石裂缝较多,岩石比较破碎或由于雨水浸蚀或因冰冻作用引起岩石剥落、破碎的小型落石地段,施工时可采用喷射水泥砂浆稳定,厚度一般为 5 ~ 10cm,气候比较恶劣或寒冷地区厚度应为 10cm 以上。对于长而高或较陡的边坡,可以嵌入直径 2 ~ 6mm、间距 100 ~ 200mm 的铁丝网,用18 ~ 22mm 锚杆钢筋固定在边坡上,每平方米内固定 1 ~ 2 处,然后再喷射 1:3 的水泥砂浆,如图 3-7 所示。此外也可用浆砌片石护面,片石厚度应在 30cm 以上,并注意根据具体情况设置泄水孔,直径应大于 6cm,一般每平方米设置一处。

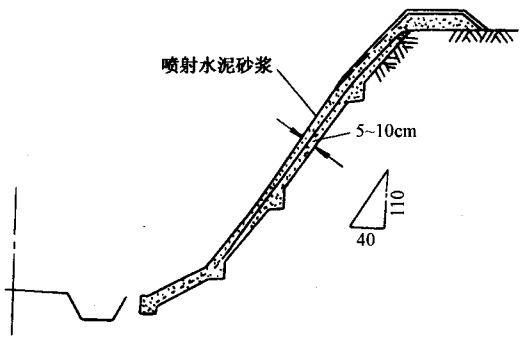


图 3-7 喷射水泥砂浆护面

嵌补和护面的目的都是为了防止基岩继续风化。本办法适用于基岩裂隙小,无大崩塌之处,如图 3-8、图 3-9 所示。

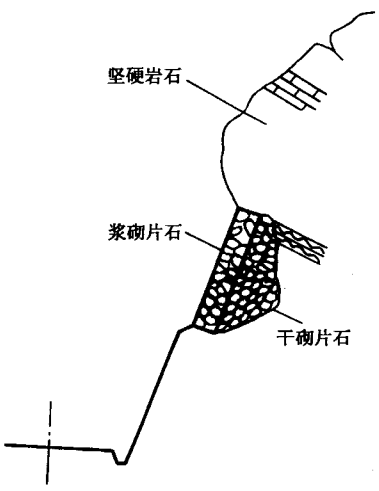


图 3-8 嵌补

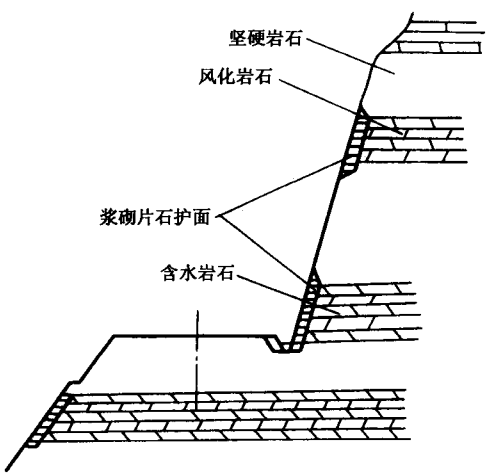


图 3-9 护面加固

2)路线遇到中型崩塌地段,一般应尽量避绕。在确实无法避绕时,可采用明洞(以路堑通

过时)、棚洞(以半路堑通过时)或悬臂式棚洞(以半填半挖路基通过时)等遮挡建筑物,如图3-10、图3-11所示。

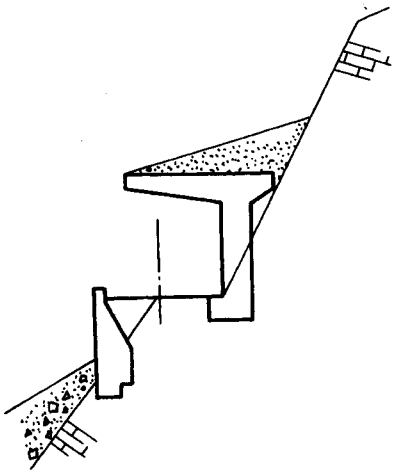


图3-10　半填半挖路基的悬臂式棚洞

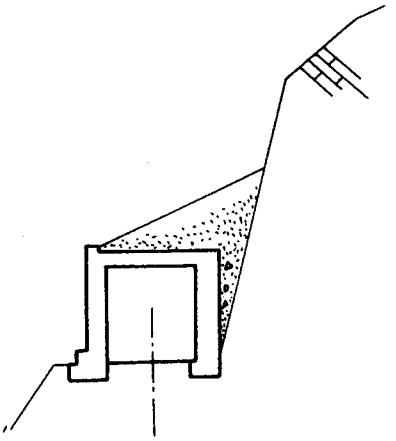


图3-11　半路堑的棚洞

3)在小型崩塌、碎落地段,应尽量采取全部清除的办法。如基岩破坏严重,崩塌、落石的物质来源丰富,则宜采用如图3-12、图3-13所示的落石平台、落石槽、拦石堤、拦石墙等拦截构造物。

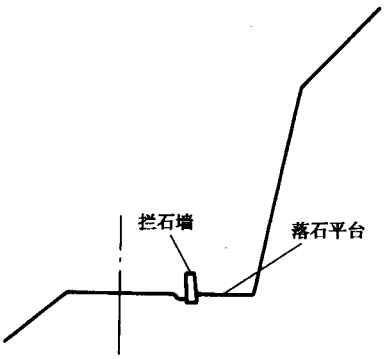


图3-12　落石平台与拦石墙

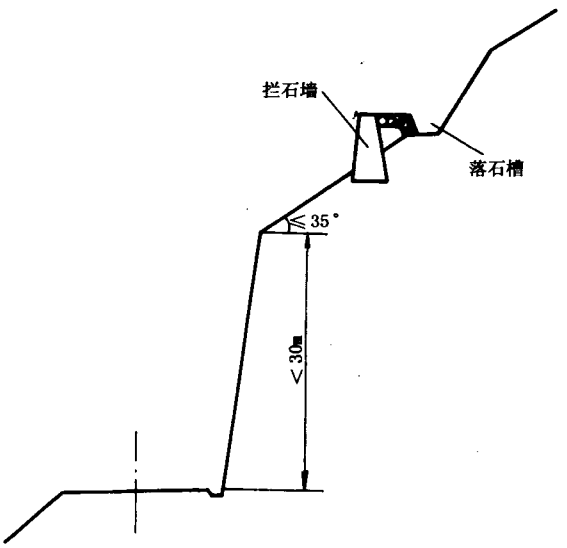


图3-13　落石槽与拦石墙

4)当有很大的危石附着于边坡时,为了使它与边坡紧密相连,可用边坡锚固法。这种锚固采用预应力锚索和锚栓。用预应力锚索锚固时,先用钻孔机钻至基岩以下一定的深度,然后插入预应力锚索,在锚固段长度内灌入高标号水泥砂浆,注意锚固段内不能有油污、泥土。达到设计强度后,张拉至要求吨位,然后进行自由段压浆,锚具进行封锚防护。图3-14为预应力锚索的构造。此种方法适用于风化层很厚,防护面积较大的坡面上。锚索的间距和长度由设计确定。但锚固段应置于强度较大的岩石层中。

锚栓也可锚固边坡上的浮石、弧石,它是将浮石和基岩同时穿孔,然后插入紧固螺栓,末端

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

打进楔子，固定于基岩中，同时在孔内灌入膨胀水泥砂浆，最后在地面用螺母紧固。

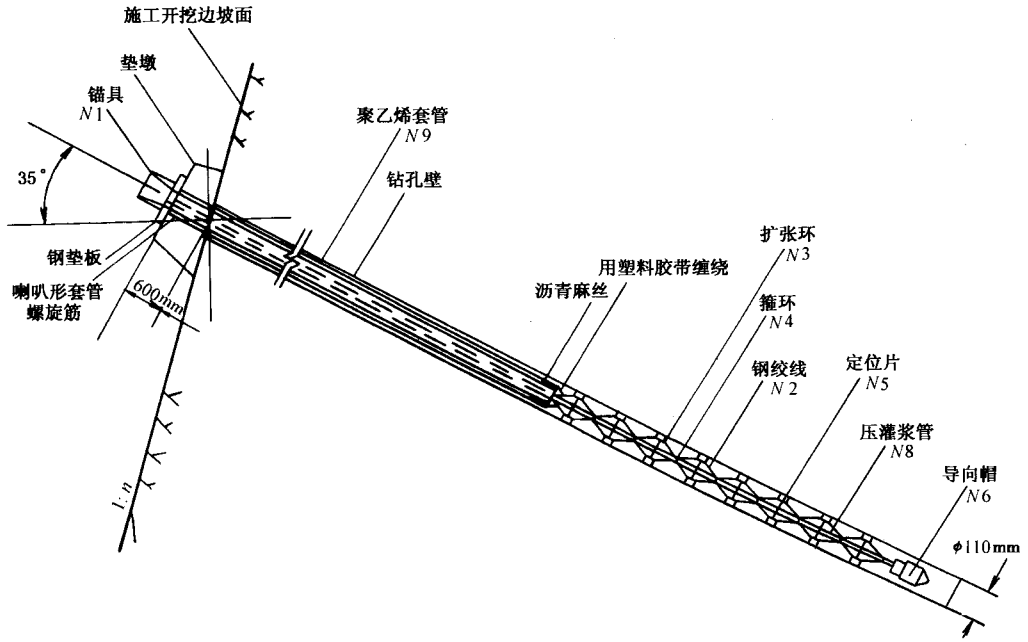


图 3-14　预应力锚索构造

5)由于存在较弱结构面，而易引起崩塌的高边坡，可根据情况采用支挡墙或支护墙等措施，以支撑边坡，并防止软弱结构面的引开和扩大。

6)在松散堆积物的山坡上开挖路堑时，应适当放缓边坡或采用分级的边坡。

二、岩堆地区路基施工

经常发生崩塌的山坡坡脚，由于崩落物的不断堆积，就会形成岩堆。其形态、特性如下所述。

(一)岩堆形态

1)平面形态如图 3-15 所示。

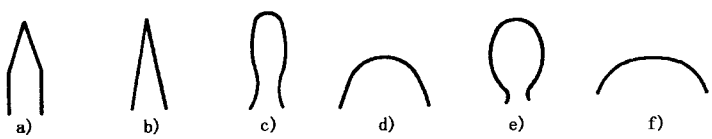


图 3-15　岩堆平面形态

a)楔形的堆积；b)三角形的堆积；c)舌形堆积；d)圆形堆积；e)梨形堆积；f)梯形堆积或岩堆裙

2)纵断面形态，呈各种形状的三角形。由岩堆基底、傍依区和岩堆组成，如图 3-16。岩堆面的倾角，约等于组成岩堆的碎屑物质的安息角。

3)横断面形态，按堆积范围和岩堆基底斜坡形状的不同，一般分为五种，如图 3-17 所示。

(二)岩堆的工程地质特性

1)岩堆大都为近代堆积。其表面坡度多接近于其组成物质在比较干燥状态下的天然安息角。岩堆的安息角与其组成物质的岩性、岩块大小有关，一般约为 25°～45°，见表 3-9。

2)岩堆内部常有向外倾斜的层理,倾角与其天然安息角近似,在震动或荷载作用下,容易发生表层或层间的滑动变形。

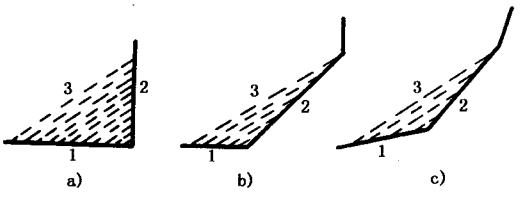


图 3-16 岩堆纵断面形态

1-岩堆基底;2-傍依区;3-岩堆表面

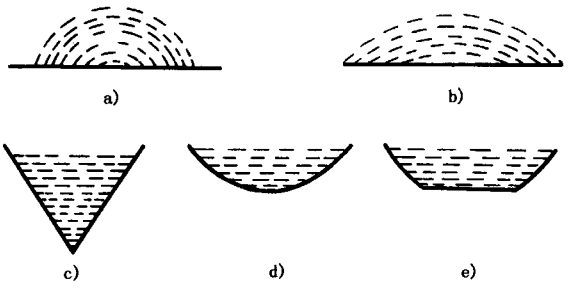


图 3-17 岩堆横断面形态

3)岩堆一般比较松散,空隙大,只有经过长期风化剥落和地面水的渗入,才能进一些细颗粒填充在空隙内,其组成结构是不均匀的。有的岩堆上部比较密实,而下部仍然是松散的,或有松散夹层,有的仅有一部分比较密实,故在荷载作用下容易产生不均匀沉陷。

各种岩石组成的岩堆安息角参考表 表 3-9

编　　号	岩石组成	岩堆安息角(°)
1	花　岗　岩	37
2	石灰质砂岩	34 ~ 35
3	密实灰岩	32 ~ 36.5
4	片　麻　岩	34
5	云母片岩	30

4)岩堆的基底和傍依区,一般是全部或大部分座落在基岩斜坡上。由于地面水的下渗或基岩中裂隙水的活动,浸湿了接触面,降低了接触面上的摩阻力,使处于接近极限平衡状态的岩堆在一定的外力作用下,就可能沿基底和傍依区的接触面发生滑移。

(三)岩堆的形成条件

1.地形和地貌

高山断崖及峡谷陡壁是形成岩堆的有利地貌条件。在风化剥蚀作用强烈的地区,一些比较陡的山坡或河谷谷坡下部也易形成岩堆。

2.地层岩性

由完整的花岗岩、石英岩、石英砂岩、石灰岩等坚硬致密、抗风化能力强的岩层组成的山坡,形成的岩堆较少。由泥质页岩、千枚岩、各种板岩、片岩等软弱风化的岩层,以及破碎的花岗岩、石灰岩等所组成的山坡和坡脚常有岩堆。

由软硬岩互层组成的峡谷,在陡坡坡脚,岩堆特别发育,往往成群出现。

3.地质构造

1)断层或褶皱轴部,因岩层遭受强烈破坏,裂隙均较发达,岩堆分布一般比较广泛。河谷斜坡沿断裂带发育时,谷坡岩体因断裂错动而强烈破坏,崩塌和碎落物质来源丰富,多形成大

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

的岩堆，如图 3-18。

河谷沿背斜轴部发育时，因谷坡岩层破碎，张力节理裂隙发达，两岸多有大型岩堆形成，如图 3-19 所示。

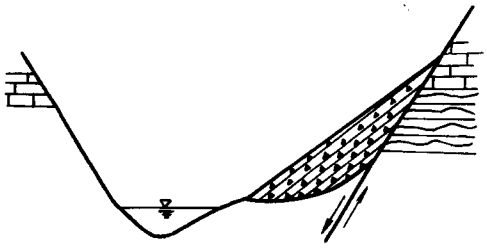


图 3-18　断裂带河谷的岩堆

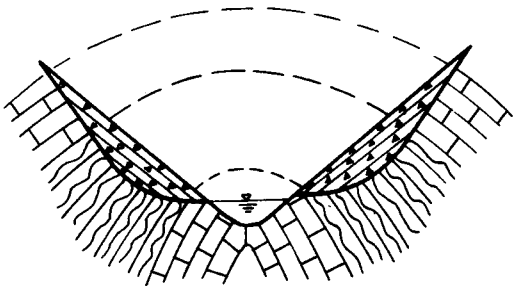


图 3-19　背斜河谷的岩堆

河谷沿向斜轴部发育时，岩堆形成往往受岩层产状控制，当轴部开阔，岩层倾角平缓且小于谷坡倾角时，易形成岩堆，反之岩堆就不发育。

2)河谷沿单斜岩层走向发育时，岩层倾向与谷坡倾向一致的一岸，岩堆不发育。反之，岩层倾向与谷坡倾向相反的一岸，容易形成岩堆，如图 3-20。

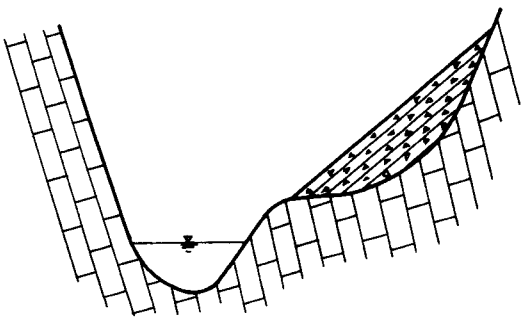


图 3-20　单斜河谷的岩堆

(四)岩堆的分类

根据岩堆物质供给的方式及发展阶段的不同，可将岩堆按表 3-10 进行分类。

(五)岩堆地区路基施工措施

1.路堤位置

1)如图 3-21 所示。在岩堆体上部修筑路堤是不利于稳定的，在岩体下部或坡脚处修筑路堤，是较稳定的。

岩堆分类表　　表 3-10

分类的依据	划分的类型	简要说明
按岩堆物质供给的方式划分	崩塌型岩堆	岩堆物质主要来源于崩塌，岩块粗大，一次大崩塌形成的岩堆无斜层理，稳定性较好，多次崩塌形成的岩堆有斜层理，稳定性较差
	落石型岩堆	岩堆物质主要来源于落石，岩块较大，渗透性好，无斜层理，稳定性好
	碎落型岩堆	岩堆物质主要来源于碎落，岩块较小，掺杂较多的岩屑，岩堆斜层理明显，稳定性较差
	混合型岩堆	岩堆物质由崩塌、落石、碎落、坡面泥流等方式混合供给，其特点介于上述三者之间

续上表

分类的依据	划分的类型	简 要 说 明
按发展阶段划分	正在发展的岩堆	山坡基岩裸露，坡面参差不齐，有新崩塌痕迹，常有落石和碎落。岩堆坡面为直线型，坡角近于其安息角。坡面无草木生长或仅有稀少的杂草，堆积的石块大部分颜色新鲜，有的石块停积在坡面上，个别石块滚至坡脚以外。岩堆表层松软
	趋于稳定的岩堆	岩堆上方的基岩大部分已稳定，具有平顺的轮廓，仅有个别的落石和碎落。坡面大部分已生长杂草或灌木，岩堆的石块大部分颜色暗淡，仅个别地点有颜色新鲜的石块零散分布。石块停积在草木之间，愈往外愈稀疏。岩堆上部坡度渐陡，堆体向上延伸，坡面线趋向凹形，岩堆内部结构密实或中等密实，但表层还是松散的。由于草木生长已不致散落，岩堆坡面上部的坡度常稍陡于其天然安息角
	稳定的岩堆	岩堆上方的基岩已稳定，坡度平缓，不稳定的岩块已完全剥落。岩堆坡面呈凹形，已长满草木，无颜色新鲜的石块，岩堆体胶结密实，有些地方因表层失去植被覆盖而有水流冲刷的痕迹

2)基底处理。岩堆表层一般比较松散，应清除表层的松散堆积物并挖成台阶。

3)陡倾斜岩堆面上的路堤，为防止路堤沿基底或岩堆接触面滑动，在岩堆不厚的情况下，可采用嵌入基岩的挡土墙，如图 3-22。如岩堆范围不大，厚度小，也可采取全部清除岩堆的办法。在基岩面上挖台阶，填筑路堤。

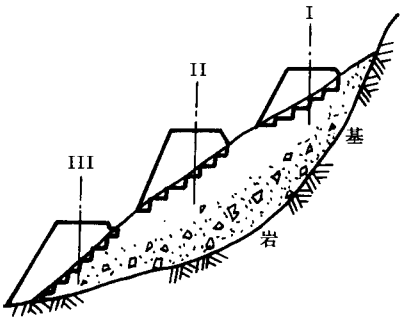


图 3-21 岩堆上路堤的稳定性
I-不稳定；II-较稳定；III-稳定

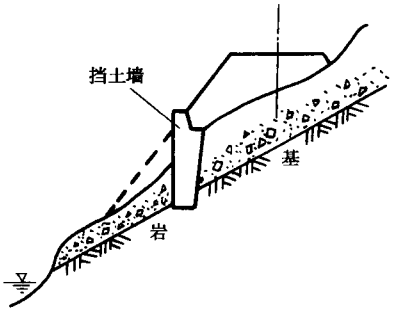


图 3-22 嵌入基岩的挡土墙

2.路堑

1)路堑位置

图 3-23 中的断面 III 不利于岩堆的稳定，岩堆上方剩余的土体很容易向下坍塌。断面 I 是比较合适的，断面 II 次之。

2)路堑边坡

一般宜采用与岩堆天然安息角相应的边坡坡度，可参见表 3-11。但对已稳定的岩堆，则可根据其胶结和密实程度采用较陡的边坡坡度。对边坡中出现的松散夹层，应进行石砌防护。当边坡高度超过 20m 时，宜采用阶梯形边坡。

岩堆路堑边坡坡度参考表 表 3-11

岩 堆 情 况	条 件 说 明	边 坡 坡 度
不含杂质的碎石	山区的堆积层	1:1～1:1.25
不含杂质的碎石	平坦地区、已密实	1:0.75～1:1
碎石被小颗粒包围，碎石间互不接触	小颗粒是无粘结力的砂	1:1.5

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

岩堆情况	条件说明	边坡坡度
碎石被小颗粒包围,碎石间互不接触	小颗粒是粘性土	1:1.75~1:2.0
碎石相互间尚能接触,中夹粘性土	碎石有棱角	1:1.25
碎石相互间尚能接触,中夹粘性土	碎石失去棱角,较圆滑	1:1.5
一般堆积层		≥1:1.5

路堑边坡施工时,应注意开挖后剩余土体的稳定性。如图 3-24,边坡中的 II、III 位置均不适宜,因剩余土体容易沿基岩面由边坡底部产生剪切滑动,所以应将边坡放缓或将剩余土体全部清除,以防后患。

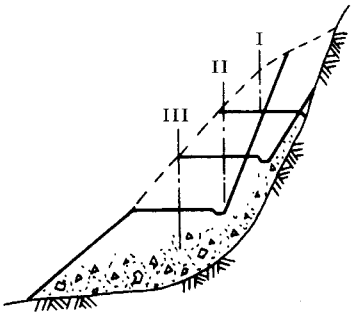


图 3-23 岩堆上路堑的稳定性
I-稳定;II-较稳定;III-不稳定

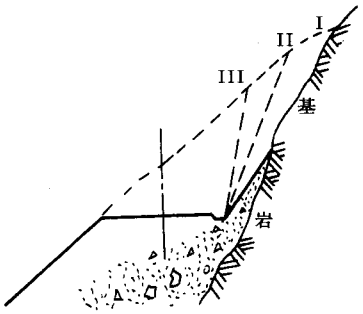


图 3-24 岩堆上路堑边坡的稳定性
I-稳定;II、III-不稳定

3)切穿岩堆的路堑

若岩堆厚度较薄,挖方边坡切穿岩堆体,破坏了岩堆的平衡时,为防止岩堆沿接触面滑动,可于上侧修筑挡土墙,见图 3-25。

3.挡土墙

岩堆地区,采用挡土墙稳定路基较为普遍,按基础条件的不同,可概括为两种情况。

1)基础修建在基岩上的挡土墙。

当岩堆比较薄时,挡土墙的基础可修建在基岩上。以上所列的图 3-22 和图 3-25 的挡土墙,即属此种。

2)基础修建在岩堆堆积层内的挡土墙。

当岩堆堆积层较厚时,挡土墙基础可修建在岩堆堆积层内,但须注意以下几点。

(1)挡土墙基础的稳定性。当岩堆堆积层的承载力不够时,需设扩大基础。多洞的基底,需要采取填实、灌浆等措施。

(2)挡土墙与岩堆的整体稳定性。当岩堆坡度较陡时,如在岩堆中上部采用高填土路堤与高挡土墙,(如图 3-26),由于额外增加很大荷重,而易引起岩堆整体滑动或沿基底下的粘性土夹层产生滑动;如采用低填浅挖,半填半挖路基与低挡土墙(如图 3-27),由于增加的荷重与岩堆自重相比较少,不会影响岩堆的平衡条件;如在岩堆底部修建挡土墙(如图 3-28),由于底部岩堆的坡度较平缓,堆积多为大块石,稳定性好。

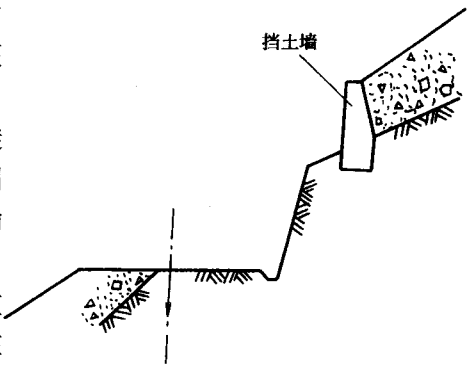


图 3-25 切穿岩堆的路堑

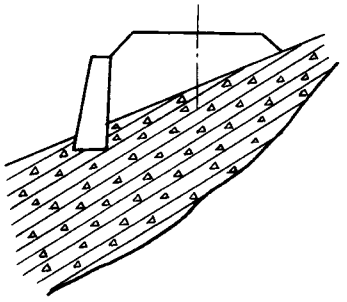


图 3-26　高挡土墙的路基

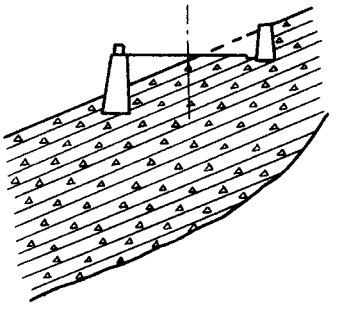


图 3-27　带有低矮挡土墙的半填半挖路基

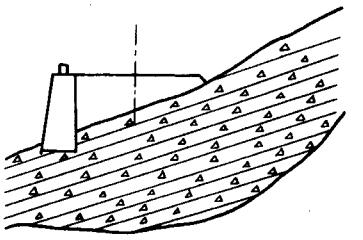


图 3-28　在岩堆下部修筑挡土墙的路基

(3)当岩堆坡度平稳时,则不论挡土墙的位置与高度如何,一般均较稳定,如图 3-29。但如挡土墙位于岩堆上部,墙身又较高,且沿基底下有粘性土夹层时,产生滑动仍是可能的。

4.防止岩堆变形

当岩堆具有倾斜较陡的基底接触面、层理面或软弱夹层时,在修筑路基后,可能沿上述软弱面发生滑移,因此,在设计中应验算岩堆的稳定性,并采取相应的稳定措施,以保证路基的稳定。除修建支挡建筑物外,还可因地制宜,采取下列措施。

1)做好排水设施

截排地面水和地下水是行之有效的辅助措施。无论是路堤或路堑,从上方山坡上流向岩堆的地面水均宜截排至岩堆范围以外。对有害的地下水,则可根据具体情况,采取截排地下水或其他稳定措施。

2)坡面阶梯化

在岩堆坡面上设置多道干砌石墙、板栅(如图 3-30)或铁丝网等阻挡碎落物运动。使坡面阶梯化,是稳定坡面的有效措施。

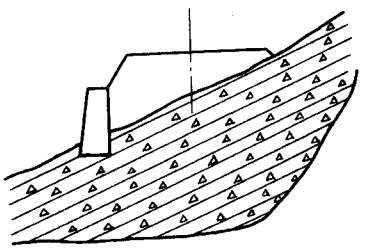


图 3-29　在坡度平缓的岩堆上修筑挡土墙的路基

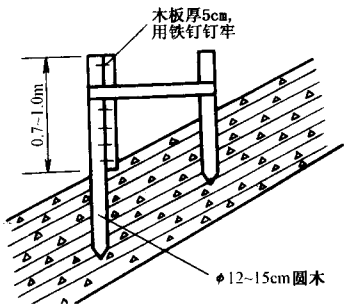


图 3-30　板栅

3)种植草木

若岩堆夹有较多的土质,可种植杂草或灌木以稳定坡面,对不易生长草木的岩堆,可在坡面上撒铺种植土以充填孔隙再行种植。

4)防止坡脚冲刷

对于临河岩堆,当坡脚受冲刷时,应对坡脚做好防护。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第五节　沙漠地区路基施工

我国西北部地区雨量稀少，属半干燥或干燥状态的大陆性气候，地表往往生成风积沙堆、沙垄及沙丘等风沙堆积地貌。

沙漠地区气候均较干燥，雨量稀少，风沙大，地表植被稀疏、低矮。

沙漠地区路基边坡或路肩容易被风蚀而遭破坏，或整个路基被积沙掩埋等，因此沙漠地区的路基施工，应注意调查附近积沙情况，沙源及当地主导风的变化，以便结合当地筑路材料情况，提出合理的沙害防除措施。

一、沙漠地区概述

1.沙漠的分布范围

我国沙漠分布在青海、新疆、甘肃、宁夏、陕西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江等九个省区。沙漠总面积约为70余万 km^2。主要沙漠有：塔克拉玛干沙漠、吉尔班通古特沙漠、乌兰布和沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、柴达木盆地沙漠、库布齐沙漠、毛乌素沙漠、小腾格里沙地、科尔沁沙地及河西走廊沙地。

2.沙漠的分类及特征

1)从工程角度分类

有严重沙害地区、一般沙害地区及轻微沙害地区。

2)按形态分类

有分布在平坦开阔地带的裸露的沙地、分布于流沙前缘地带的状似新月的新月形沙区、新月形沙丘链(横向沙垄)、格状沙丘、纵向新月形沙丘(纵向沙垄)、复合型丘、金字塔沙丘等。

3)按形态与风的关系分类

有以单向风向作用为主的横向沙丘、纵向沙丘及多风向作用下的沙丘。

4)按植被覆盖度分类

有覆盖面积在50%以上的固定沙丘、覆盖度在15%～50%之间的半固定的沙丘、覆盖度15%以下的流动沙丘。

3.风沙流的运动规律

1)风沙流与起风沙

沙粒开始起动的风速称为起沙风或起动临界风速。起沙风与沙粒粒径、地表性质等多种因素有关，见表3-12。起沙风将松散沙粒扬起，形成运动的气流，即为风沙流。

起风临界风速　　表3-12

沙粒径(mm)	粒径起动临界风速(离地面2m高处)(m/s)			沙粒径(mm)	粒径起动临界风速(离地面2m高处)(m/s)		
	光板地表	细沙地表	粗沙地表		光板地表	细沙地表	粗沙地表
0.15	5.2	5.4	5.8	0.85	9.9	11.5	13.6
0.25	6.8	7.0	7.5	1.00	11.7	14.3	15.4
0.40	7.3	7.9	9.3	1.50	12.4	15.5	16.6
0.50	8.1	8.8	10.8	2.00	15.3	19.0	20.5
0.70	8.9	10.1	12.6	2.50	16.5	—	22.4

2)沙粒运动形式

风力的强弱、沙的粒径及质量，决定风沙流中沙粒的运动形式，有蠕移、跃移、悬移三种。跃移平均占输沙量的78%左右，蠕移占20%左右，悬移最少。跃移和蠕移主要是在离地面10cm高度内活动。

3)风沙流结构

风沙流中的沙粒在不同高度的分布情况称为沙结构。它随风速、地表性质和进入气流中的沙粒数量而异。

风沙流中含沙量的垂直分布，随高度而迅速递减。沙粒主要集中在贴近地面的气流层内，见表3-13。

风速9.8m/s时不同高度气流层内搬运的沙量 表3-13

高度(cm)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60
沙量(%)	19.33	12.30	4.79	1.50	0.95	0.40

4)吹蚀与堆积

吹蚀与堆积与沙源、障碍物、下垫面等因素有关。当风速增大或沙源减少时，风沙流下层含沙量处于不饱和状态，就易产生吹蚀或搬运。风速减弱或遇有障碍物，又会使沙粒沉落而堆积起来。如果进入气流的沙量和从气流中沉落的沙量大致相当，则出现不吹蚀也不堆积。

我国各地沙漠移动方向因所处理位置不同而异。除塔里木盆地伽师强孜至民丰沙吾札克一线以东的塔克拉玛干沙漠东、北及中部的沙丘，是从东北向西南移动外，其他沙漠的沙丘都是从西北向东南移动的。

5)移动方式

沙丘移动的方式主要取决于风向及其变化规律，有三种基本形式。

(1)前进式：在单一的风向作用下，沙丘的移动顺主风向作定向的前进式移动，速度快。此时建筑物若在背风一侧，沙害将很快危及。

(2)往复前进式：在两组风向相对、动力风速大小不等的风向作用下，沙丘随风向往返移动，无定向或移动很慢，建筑物宜设在迎风坡一侧。

(3)往复式：当风力大小相等方向相反所产生的形式。在我国这种情况较少见。

6)移动速度

沙丘移动的速度与当地的风向及其变化率、风速、沙丘形态高度、沙丘排列密度、沙粒粒径、沙粒密度、植被、水文条件以及所处地形等多种因素有关。

沙丘移动的速度与风速的三次方成正比，与沙丘高度成反比，与沙丘间距成正比。风向单一或地形平坦地区的沙丘移动较快。沙粒粒径小或含水少的裸露的沙丘移动较快。

在无障碍物影响的平坦地区，沙丘移动速度与输沙量、沙容重、沙丘高度有关。

$$v = \frac{Q}{PH} \tag{3-5}$$

式中：v——沙丘移动速度，m/s；

Q——单位时间内通过单位宽度的沙量 t/(m·s)；

P——沙的密度，t/m；

H——沙丘的高度，m。

按沙丘的平均移动速度，可将沙丘的移动情况分为三种类型：当 $v < 5$m 时为慢速；当 v 为5~10m时为中速，当 $v > 10$m 时为快速。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

二、风沙对公路的危害

1.沙埋

公路沙埋产生原因主要有两种，一种是由于风沙流通过路基受阻挡时，风速减弱，导致沙粒下落堆积于公路，掩埋路基；另一种是沙丘移动上路而掩埋路基。

沙埋按其形状大致分为如下三种。

1)片状沙埋：掩埋的面积较大，形成也较迅速，主要发生在风沙流活动的地区。初期积沙较薄时，通过养护尚能通车，如沙源丰富，积沙日益增厚，则会阻断交通。

2)舌状沙埋：当路线横切流动沙丘时，或在风沙流活动地区，当路基上风侧有障碍物时，均易形成舌状沙埋。这种沙害积沙较厚，而且迅速。一场大风即可使交通中断。

3)堆状沙埋：主要发生在流动、半流动沙丘地区，沙丘前沿上路，造成大量的沙子堆积而形成，这种病害的发展需要一定的时间，能够预测和预防。但一经形成，危害严重，处理困难。

2.风蚀

在风沙的撞击下，路基上的沙粒或土颗粒被风吹走，出现路基削低、掏空和坍塌等现象，引起路基宽度和高度的减小。风蚀的程度与风力、风向、路基形式、埋料组成及防护措施等有关。

1)路堤风蚀：主导风向与路基处于正交时，迎风侧路肩及边坡上部风蚀较严重，背风侧较轻；主导风向平行于路肩时，两侧路肩及边坡上部均受风蚀。

2)路堑风蚀：路边坡的风蚀一般均较严重，其严重程度随路线与主导风向的交角有所不同。当风向与路线平行时，坡面风蚀成条沟状；当风向与路线正交时迎风坡面的局部地方则易被掏孔呈犬牙状。

三、沙漠地区路基施工

1.施工前的调查及准备

1)气象资料调查

通过对气温、降水、蒸发、湿度、风的状况等内容的调查，了解沙源、地貌、成因、沙丘移动规律，以便针对气候条件，合理的组织和安排施工。

应注意的是，气象台提供的风速资料，一般是在 8 ~ 12m 风标高度上测定的。而对公路防护有直接影响的是 2m 高度以内的起沙风。因此，在应用时将气象台资料，进行换算调整。

$$v_2 = 0.75 v_8 \tag{3-6}$$

式中：v_2——2m 风标高度的风速，m/s；

v_8——8m 以上风标高度的风速，m/s。

2)工程地质调查

查明风沙地区的分布范围和风沙地貌的形成条件，以便选择适宜的防沙设施。

调查沙丘移动特征和移动方向、方式和速度。可采用访问当地居民、等高线重复测量法、横断面测量法、航测照片对比等方法。对收集到的风向、风速资料进行分析，绘制动力风向图及起沙风矢量图，判定沙丘移动的方向和方式。以便施工作业中采取相应的预防措施，保证施工的顺利进行。

同时还应对沙的物理化学性质，植物覆盖度，当地沙生植物种类及其生态特征，下伏地层和地下水埋藏深度情况进行调查。这对固沙造林具有特别重要的意义。

3)筑路材料调查

沙漠地区公路建设需要大量的防护材料，尤其路基防护多采用当地材料以减少投资。因此，要充分注意对路基防护材料的调查。

通过沙漠的地貌和指示性植物可寻找砾石、卵石、碎石、粘性土等材料的产地，确定材料的储量和运距。一般而言，粘性土多分布在河床附近及丘陵或盆地的低洼处，砾石、卵石多分布在河曲的凸岸及沙流的交会处。在生长霸柴、珍珠草、红沙草、白刺的地方多有粘性土分布，而生长猫头刺、麻黄、梭梭的地方则多有砂、砾材料分布。此外，还应调查麦草、稻草、芦苇、沙蒿、芨芨草等来源、储量和运输条件，以备路基防护时使用。

4)水源调查

沙漠地区的工程用水和生活用水一般都比较缺乏，往往需要寻找地下水作为水源。寻找方法除可采用调查访问外，还要注意利用地貌、第四纪地质与植物学的方法来进行调查。一般在丘间低地、湿地以及古河床、干谷等处均可能有地下水，当流沙下伏地层为古河床冲积层和湖泊沉积层时，则可能在较浅处出现地下水，且多为淡水。在被流沙埋没的古代耕作区，地下水位一般都比较浅。

指示性植物、植物群落分布与地下水的关系，见表 3-14。

指示性植物、植物群落分布与地下水位的关系 表 3-14

地下水位(m) / 地区	<1	1~3	3~5	5~8	>8
西北和内蒙古沙漠地区	芦苇、蒺、水葱、海韭菜、小王孙、金针(黄花菜)、狼尾草、乌柳、马兰花等	芨芨草		柽柳、铃铛刺等灌木	胡杨、骆驼刺、蒿、沙蓬等
新疆托克逊地区	獐茅、甘草	骆驼刺、胖姑娘、獐茅			
青海准噶尔木沙区			麻黄		
甘肃民勤、沙井子沙区		盐爪爪、琵琶柴、柽柳、胖姑娘	白刺、沙蒿、麻黄、沙拐枣		
甘肃民勤、金塔沙区	海蓬子	盐爪爪、分枝芽、胖姑娘			
陕西榆林沙区	沙草、碱草		油蒿	沙蒿、沙竹、油蒿、拧条	拧条、羽茅
内蒙磴口沙区	拂子草	白刺、马蔺、梭梭	白刺、沙竹、芦苇		梭梭、白刺
宁夏头道湖沙区	白刺、碱蓬、盐爪爪、芦苇、沙草、金载载	芨芨草、盐爪爪		猫头刺、羽茅	
宁夏中卫沙区	盐吸、三棱草、金载载、海逢子、铺芳、海韭菜	芨芨草、草、海蓬子、盐爪爪、盐吸	猪毛菜	羽茅	

5)调查当地的治沙经验

我国沙区人民在与风沙危害的长期斗争中积累了丰富的经验，应通过调查虚心学习借鉴

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

当地人民的经验。并认真总结,结合公路防沙的特点加以运用。

2.路堤施工

1)路堤沙害分析

路堤与风向正交时,较高的路堤一般不致于遭受沙埋危害。当路堤与风向平行时,由于路堤具有一定的高度和光滑的表面,路基顶面风速较两侧沙地表面风速大,所以一般不会积沙。但须注意随着路堤高度的增大,风蚀程度也会增加。零填挖或近似零填挖的路基,不论路基与风向关系如何,均易于积沙。

2)路堤高度

路堤高度以 1.0m 左右为宜,应不低于 0.3 ~ 0.5m。在沙丘起伏地区,路堤高度要求比路基两侧 50m 范围内的沙丘高 0.3 ~ 0.5m。路堤地区如有风吹雪,还应满足风吹雪对路基高度的要求。

3)路堤边坡

路堤边坡应根据填料性质、防护材料及铺砌方法而定,一般采用1:1.5 ~ 1:2.0,低于 1.0m 的路堤边坡可采用缓坡式或流线形的路基断面。路侧可不做或少做防护工程,高路堤可采用一般边坡,如表 3-15 所示。坡面尚需设置一定的防护,以防风蚀。

路基断面形式 表 3-15

断面形式	路堤		路堑	
路基高度或深度(m)	≤1.0	>1.0	≤1.0	>1.0
边坡推荐值	缓坡式 1:3 ~ 1:10	一般式 1:1.5 ~ 1:1.20	敞开式 1:5 ~ 1:10	一般式 1:1.5 ~ 1:2.0
预留积沙宽度(m)	—	—	—	2 ~ 4
适用条件	适用于平坦或平缓起伏的流动沙地,路线与主导风相交角为 45 ~ 90°的路段且路侧无防护设施或只有少量防护设施的情况	起伏较大的流动沙地,路侧设有相应的防护设施或固定沙地,路线与主导风向平行的流沙路段	适用于流沙地区,路线与主导风向交角为 45 ~ 90°的路段,且路侧无防护设施或只有少量防护设施的情况	路侧设有相应防护设施的流沙路段,固定沙地地区,路线与主导风向平行的流沙路段

3.路堑施工

1)路堑沙害分析

(1)风力与积沙。当路堑与风向正交时,由于风吹到路堑时断面积加大,风速减小,风力减弱,而背风侧减弱程度则更大。堑内积沙首先从背风侧开始,呈舌状向整个路基宽度延伸。当路堑与风向平行时,一般堑内无积沙,只在进出口处形成漏斗形状的片状积沙,对路基危害不大。当路堑与风向斜交时,其沙害程度介于上述两者之间。

(2)路堑深度。深路堑的积沙比浅路堑积沙少,且延伸慢,可通过养护及时清除,以保证交通不致阻断。而浅路堑的背风侧多有舌状沙堆,向路基宽度漫延,浅路堑迎风坡对风沙流的阻挡,使积沙形成甚为迅速。

(3)路堑顶宽与深度。路堑边坡越缓,堑内积沙越少。当路堑顶宽与深度之比界于 20 ~ 30 时,已具有缓坡式路堤的优点。

2)路堑断面形式

根据边坡坡度,路堑断面形式可分为一般式和敞开式两种。

(1)一般式路堑适用于深路堑。但坡顶边坡转点处，应注意采用流线形，并考虑预留路基积沙缓冲带，以便于养护时清除积沙。

(2)敞开式路堑适用于浅路堑。深路堑采用敞开式断面，应作经济比较。确定边坡坡度时，应验算路堑顶宽与路堑深的比值，使其尽可能在 20～30 之间。

四、路基沙害防治措施

1.路基沙害防护类型

为防止沙质路基风蚀，一般用柴草、土石、沥青(其中柴草仅用于辅道、岔道等低等级公路)等材料进行防护，以保证路基的稳固和安全，详见图 3-31 和表 3-16 所示。

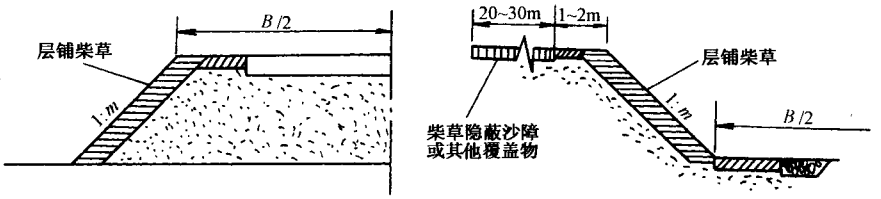


图 3-31　层铺柴草防护路基横断面图

a)路堤；b)路堑；B-路基宽

路基防护类型　　表 3-16

序号	防护类型		材料种类	防护规格及方法	适用条件性能
	分类	形式			
1	柴草类防护	层铺防护	麦草、稻草、芦苇、沙蒿、野麻及其他草类等	将植物的茎杆砍成 30～50cm 的短节，从坡脚开始向上每层按 5～10cm 厚度层铺、灌沙、捣实。如采用沙蒿等带有根系的野生植物时，可将根茎劈开，并使根系向外，按上述方法进行层铺	适用于有柴草来源的沙漠路基边坡防护。 除沙蒿层铺使用年限在 10 年以上外，一般多为 3～5。如防护地区自然条件较好，边坡有植物生长后便可取而代之，起到长久稳固边坡的作用。 缺点是材料用量大
		平铺植物束成笆块	各种枝条、芦苇、芨芨草等	将材料扎成直径 5～10cm 的束把，或将其编织成笆块，沿路基坡脚向上平铺，以桩钉固定	适用于有该种材料产地的路基边坡的防护，使用年限 5～10年。缺点是材料用量较大
		平铺或叠铺草皮	草皮	草皮规格：长×宽＝40cm×40cm，挖取厚度一般可达到 10～15cm。 铺砌方法：将面向上，沿路基坡脚向上错缝平铺或叠铺	适用于低湿地的路基边坡或低级路的全面防护，还可用作便道的简易路面。 使用年限一般为 3～5 年，如能成活，可起长久稳固边坡的作用。 缺点是易于干缩，需加强养护

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

序号	防护类型		材料种类	防护规格及方法	适用条件性能
	分类	形式			
2	土类防护	粘土防护	粘性土(塑性指数>7)	防护厚度:边坡5~10cm,路肩:10~15cm;作为低级路的路面时,路基中心厚度为20~30cm。 粘土塑性指数小于10时,或路线通过牧区可适当增加防护厚度。 如增加粘土抗冲蚀强度和避免干裂,应掺配10%~15%的沙或20%~30%的砾石(体积配比)	适用于路基全面防护,效果好,是沙漠地区路基常用的一种防护类型。还可以做低级路的路面和便道的路面。 缺点是抗冲蚀性能差,需掺配一定比例的骨料
		盐盖防护	盐盖,直接暴露在大气中的盐盖较为坚硬,埋藏在潮湿盐渍土地区的较为松软	防护厚度,边坡:5~10cm,路肩10~15cm,作为中低级路的路面时,路基中心厚度为20~30cm。 将盐盖打碎为5cm的碎块,予以平铺。松软的盐盖可直接平铺,形成硬壳	适用于该种材料产地的沙漠路基的全面防护,还可做为中、低级路和便道的路面,效果较好。夏秋两季平整、稳定,冬春两季易于松胀
3	砾卵石防护	平铺砾、卵石防护	砾卵石	防护厚度:边坡5~10cm,路肩:10~15cm。 铺砌方法:平铺、整平、夯实(或拍实)。路肩部分平铺砾卵石可适当掺配些粘土,以增加其稳定性	适用于产有该种材料地区之路基全面防护。 此种铺砌方法适用于路基高度(或路堑深度)小于2m的路基防护,效果较好
		格状砾、卵石防护	砾卵石	防护厚度:边坡5~7cm,路肩10~15cm。 铺砌方法:先用10cm以上的卵石在边坡上做成1m×1m或2m×2m,并和路肩边缘成45°的方格,格内平铺粒径较小的砾卵石;路肩平铺砾卵石;应经平整、夯实(或拍实)	适用于路基高度大于2m的路基全面防护。效果好,但较费工
4	沥青防护	平铺沥青沙	沥青、风积沙	防护厚度:5cm左右。 方法:用80%~90%的风积沙,混合10%~20%的热沥青,直接在边坡上平铺、拍实	适用于边坡防护,效果较好,但施工较复杂,造价高,易遭破坏
		直接喷洒沥青或渣油	低标号沥青渣油	熬热后直接喷洒在边坡上,然后撒一薄层风积沙	适用于边坡防护,效果较好,但施工较复杂,造价高,易遭破坏

2.路侧沙害防治措施

路侧沙害防治措施可以归纳为固、阻、输、导等四种类型。一般有以下几种处理断面,如图3-32~图3-35所示。

固沙措施的作用,在于稳定沙地表面,抑制流沙活动。常用的固沙措施主要是设置沙障,最根本的措施则是植物固沙。后者虽然比任何工程防护措施更为优越、有效,但受到一定的条

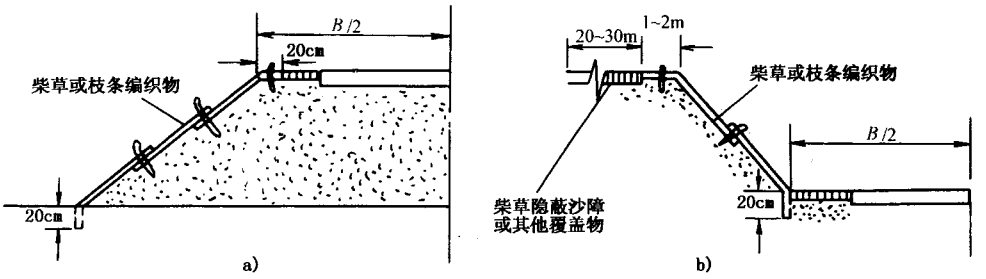


图 3-32　平铺编织物防护路基横断面图

a)路堤;b)路堑

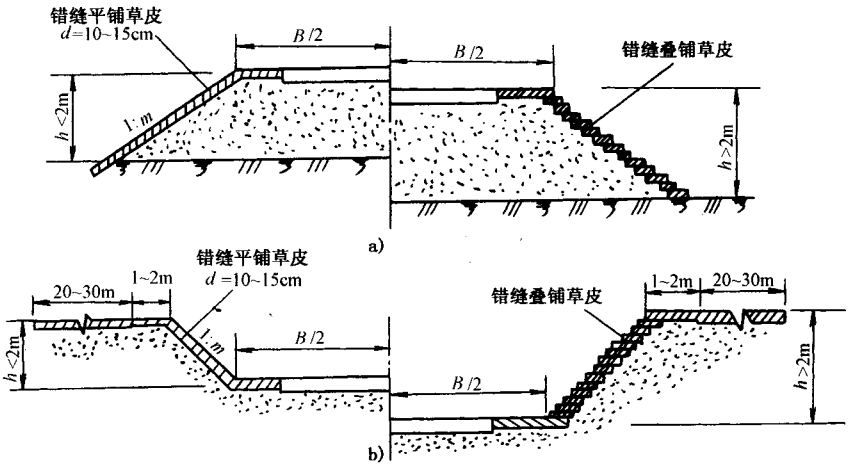


图 3-33　草皮防护路基横断面图

a)路堤;b)路堑

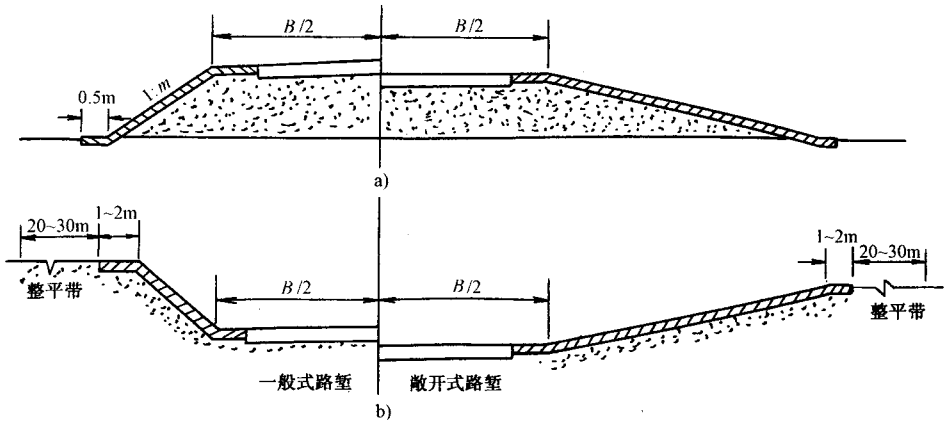


图 3-34　粘土防护路基断面图

a)路堤;b)路堑;*B*-路基宽

件限制,如能提供植物生长水分,采用植物固沙是最为满意的。

1)沙障

(1)沙障可分为平铺式和立铺式两类。立铺式沙障又分为低立和高立两种。

平铺式沙障。利用砾石、粘性土或其他材料,平铺于沙面上,多用于对路基两侧沙面的防护,可使沙面免遭风蚀。

立铺式沙障。利用柴草等材料竖直设置,以降低近地表的风速,抑制就地起沙,并拦阻一

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

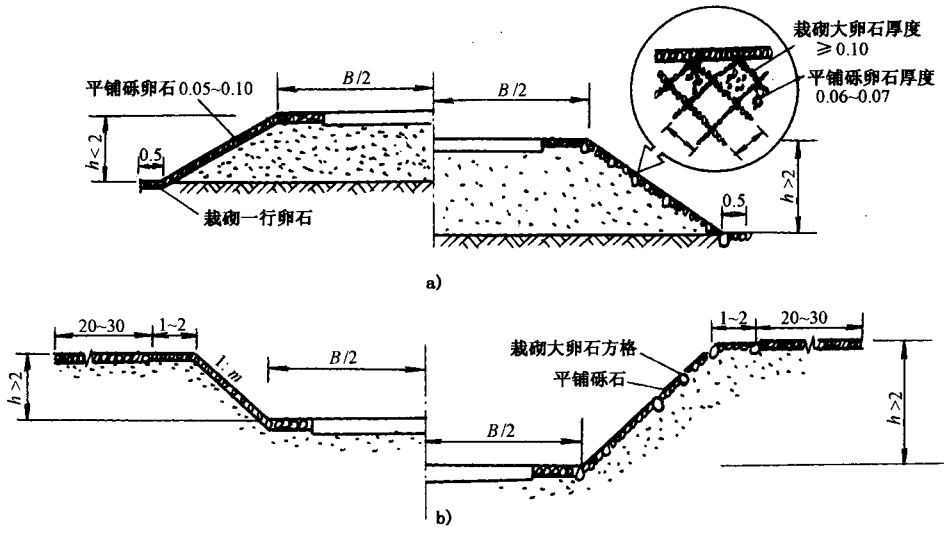


图 3-35　砾卵石防护路基横断面图(单位:m)

a)路堤;b)路堑;B-路基宽;h-路基高(深)

部分外来沙,起到固沙和阻沙作用。低立式沙障须距离路基 20m 以外。高立式沙障则应距路基 50m 以外,不宜太靠近路基。

(2)平铺式和立铺式沙障如结合应用(把平铺式沙障用于靠近路基地带,把立铺式沙障设在平铺沙障的外侧)效果较好,其设置方法及适用条件,参见表 3-17 及图 3-36 ~ 图3-42所示。

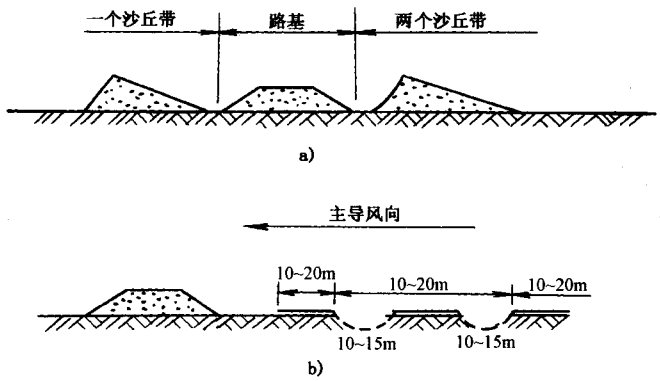


图 3-36　土石压沙防护

a)全面铺压;b)带状铺压

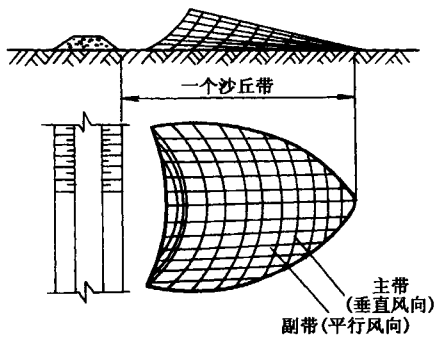


图 3-37　草席或芭块覆盖流动沙丘

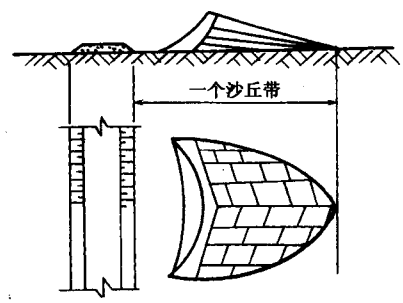


图 3-38　低立式柴草隐蔽沙障

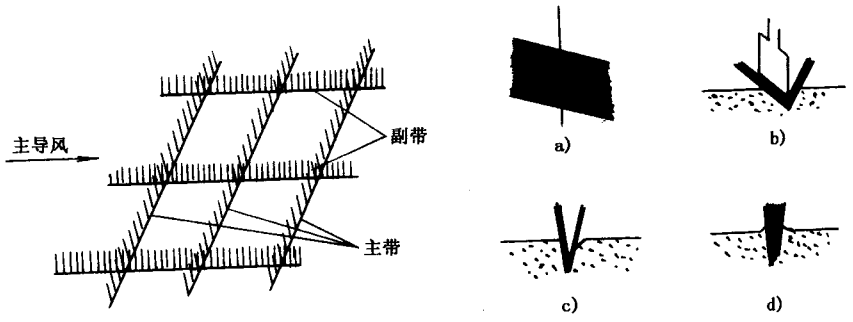


图 3-39　半隐蔽式柴草沙障

a)铺放柴草;b)用平板锹压草;c)压草(入草深度不宜小于 10cm);d)拥沙扶植

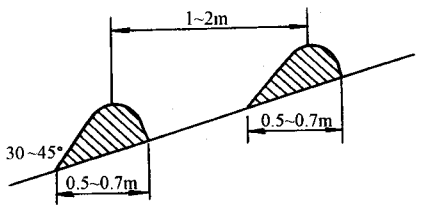


图 3-40　粘土沙障断面图

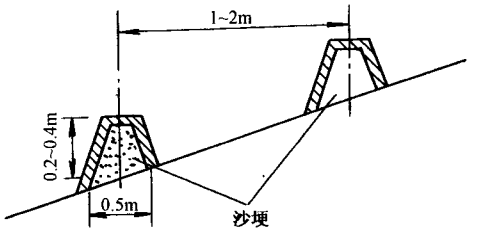


图 3-41　草皮沙障断面图

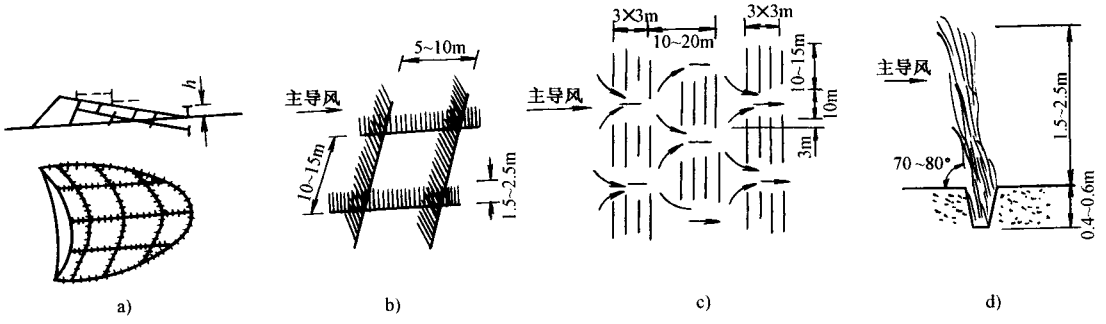


图 3-42　高立式枝柴沙障及其设置示意图

a)设置沙障后的沙丘平面及剖面;b)格状立式高条柳枝沙障;c)带状交错布置的高条柳枝分流沙障;d)高条柳枝栽植要求

砂障固沙措施　　表 3-17

类型	沙障种类	设置形式、方法、规格、要求	适用条件和性能
平铺式沙障	土类压沙	利用粘性土全面铺压或带状铺压固沙,铺压厚度为 5cm 左右。带状铺压应与主导风向垂直,带宽一般为 10~20m,带与带间隔 10~15m	适用于产有粘性土地带的流沙防护。多用于路旁流沙的防护。 全面铺压粘性土,雨水难以渗入沙层内,影响沙丘水分,不利于植物固沙。因此配合植物固沙时,需改为带状或格状铺压为宜,维持年限较长
	砂石类压沙	利用粗砂、砾卵石全面铺压或带状铺压固沙,铺沙厚度以不超过其最大粒径为度,对于强风地区不宜用粗沙覆盖。带状铺压要求同上	适用于产有沙石地段的流沙防护。 砾卵石具有凝结水的作用,有利于植物生长。维持年限长。但较费工,尤其在流动沙丘地带,由于运输较困难,所以,多用于平坦流动沙地和靠近路旁的流动沙地

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

类型	沙障种类	设置形式、方法、规格、要求	适用条件和性能
平铺式沙障	席或笆块压沙	用草类和枝条编织成席或笆块，全面铺压固沙，搭接处需用小桩固定	适用于路侧局部沙丘的处理。因其编织较费工，且材料用量大，大面积采用较困难。 维持年限约3～5年
	喷洒盐碱水	在我国沙漠地区分布着许多盐湖、碱湖，利用天然盐、碱溶液喷洒沙面，形成坚实的板结层或硬壳，借以达到固沙目的	具有较强的抗风能力，简单易行，效果好，是一种就地取材，因地制宜的有效措施
高立式沙障	高立式 枝柴沙障	材料以灌木枝柴为主，如沙柳高度在1.0m以上，根据当地的状况，分为条状、带状、格状三种规格形式，均为透风结构。单一风向地区系用条、带状形式；在风向多变地区采用格状。条间距离5～10m，并与主风向垂直。带间距离10～20m，每带3～5行构成。行间距离为2～3m，并与主风向垂直。 格状为5m×5m和5m×10m	适用于产有枝柴地区的流沙防治。 该种沙障由于系透风结构，因此具有将整体气流分为若干小气流，化强为弱，从而抑制流沙活动的性能，并能较均匀地散布外来沙，有一定阻沙作用，有利于植物固沙。如在适宜季节（春、秋）用新砍伐沙柳栽植沙障，掌握好埋植深度，尚能成活，效果较好
低立式沙障	隐蔽式 柴草沙障	设置方法：先在沙地上挖15～20cm深的沟，然后将柴草竖直放入沟中（如柴草过长，可横向摆好，然后用锹竖直切入），踏实两边的沙（或在沟中填沙，踏实） 要求障顶与沙表面平或不超过5cm。根据风的状况可为条状或格状，格状规格1.0m×1.0m或1.0m×2.0m；条状规格，条距为1.0m或1.5m，并与主风向垂直	适用于路旁流沙的防护，具有固定就地沙，使外来沙顺畅通过、施工简单易行等优点。 使用年限较同类材料的外露沙障为长
	半隐蔽式 柴草沙障	设置方法：对于流动沙丘，在迎风坡先设主带，即与主风向相垂直的沙障，后设副带，即与次要风向垂直的沙障（指格状沙障而言），主带从迎风坡下部开始向上进行，在背风坡，宜先设副带，再自上而下设置主带。 沙障的埋入深度，应根据沙丘不同部位的风蚀程度而定，一般情况下，埋入深度与外露部分的比例为1:2。 沙障规格，主要根据当地风的状况和沙面起伏程度而定，在单一风向作用下（包括反向），可设置成条状，并与主风向垂直，间距以1～2m为宜；除主风向外，还有其他风向作用时，可设置为格状。方格越小固沙能力越强，一般以1m×1m及1m×2m两种规格为好（与主风向垂直方向的距离为1m与次要风向垂直方向的距离为1m或2m）。 草类过长者，可适当放大规格尺寸。 当沙面坡度大时，规格尺寸则应小些，反之应适当放大些	适用于产有草类的路侧大面积流沙的防治。 该种沙障既能有效地降低沙表风速，削弱风蚀作用，稳定大面积流沙，又能阻挡部分外来沙，并使外来沙较均匀地分布在整个沙障内，具有固、阻双重作用。工程造价较低。 既可作为植物固沙的较理想辅助措施，又可作为进行植物固沙困难地段的一种永久性的防护措施（但需经常维护）。该种沙障，是目前我国公路、铁路防沙常用的一种固沙措施。草类沙障维持年限约2～3年。沙蒿、柳枝沙障维持年限约3～5年

续上表

类型	沙障种类	设置形式、方法、规格、要求	适用条件和性能
低立式沙障	半稳蔽式粘土沙障	粘土沙障是用粘性土碎块堆成的小土埂，高为20～30cm，底宽50～70cm。在风向单一的地区为条状，土埂与主风向垂直；在风向多变的地区，则设成格状，土埂间距为1～2cm。 为减少粘性土用量，可利用就地沙堆成沙埂，然后封闭5～10cm厚的粘性土，予以拍实，起相同效果	适用于产有粘性土地区的流沙防治。该种沙障简单易行，省工，具有固沙保水作用，有利于植物生长。单一粘土沙障，用土量大，维持年限长
	半隐蔽式草皮沙障	草皮规格：长×宽=40cm×20cm，铺设有三种形式：①错缝层铺，高度30～40cm；②错缝斜立铺设（先用就地沙堆成沙埂，然后斜立铺设），横断面为梯形，高度：30～40cm，底宽：50cm；上述两种，根据当地风的状况，可为格状或条状，间距1～2m；③平铺	适用于产草皮地区的流沙防治。 施工简单，省工，具有固沙保水作用，有利于植物生长。平铺式多用于路旁的流沙防护。缺点是易于干缩。维持年限约3～5年

(3)我国境内的沙漠分布较广，自然条件不尽相同，沙生植物种类较多，我国内陆沙漠地主要固沙植物，见表3-18。

主要固沙植物　　表3-18

序号	植物名称	分布地区	生物学特征
1	沙蒿（菊科）	主要分布于陕北、内蒙古、宁夏和甘肃的流沙地区	半灌木，有深生的主根及长而平展的侧根，是很好的固沙植物。在流动沙地上可用人工或飞机播种
2	花棒（豆科）	分布于内蒙古腾格里沙漠及甘肃河西走廊一带的流动沙地上	灌木，枝条生长快，不怕沙埋，根干粗大耐风蚀，是固沙的优良植物
3	拧条又名：锦鸡儿（豆科）	陕北榆林和内蒙古西部的固定沙地上均有分布	灌木，枝叶茂密，根系粗壮，耐干旱，具有生长不定根和萌生能力，为很好的固沙植物
4	沙拐枣（藜科）	在内蒙古、新疆的沙丘边缘均有分布	灌木，叶退化，具有水平及垂直根系，能适应流沙地区，但枝条稀疏细软，固沙作用较差
5	梭梭（藜科）	内蒙古西部沙漠、新疆准噶尔盆地和塔里木盆地均有分布	灌木或半乔木，分枝多，叶退化，耐干旱，不怕沙压，为良好的固沙植物
6	沙竹（禾本科）	分布于内蒙古的伊盟和巴盟的流动沙地上	多年生草本，有发达的地下茎，能耐干旱，繁殖及生长快，是优良的固沙植物
7	白刺（蒺藜科）	分布于甘肃河西走廊、新疆、内蒙古等省区的沙地上	灌木，分枝密集，能阻止并聚积流沙及枯枝落叶而形成小丘，适应生长在盐渍化沙地上
8	骆驼刺（豆科）	分布于甘肃疏勒河流域及新疆等地区	多年生草本植物，根系深，耐盐碱，喜生长于半固定沙地
9	胡杨（杨柳科）	在内蒙古、新疆均有分布，但以新疆塔里木河流域分布最广	乔木，根系分蘖能力强，耐盐，不怕沙埋，是优良的固沙树种

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

序号	植物名称	分布地区	生物学特征
10	沙枣	我国沙区均有分布，内蒙古额济纳旗木林河、纳林河两岸有大面积天然林	小乔木，耐盐、耐干旱，枝叶繁茂，根系发达具有根瘤，萌生力强，宜于营造防护林
11	沙米(藜科)	内蒙古伊盟及巴盟、甘肃河西走廊、新疆等地均有分布	一年生草本植物，分枝多，生长在流动及半固定沙丘上，流沙地区很适于生长
12	红柳	内蒙古西部、甘肃河西走廊、新疆等地均有分布	抗风、抗旱、耐盐能力强，又具有不定根和萌生侧枝等特性，不怕沙压，是良好的固沙植物
13	红沙	分布在内蒙古阿拉善旗及甘肃河西走廊等地	小灌木、根系深，枝条被埋后若水分条件好，仍可生长不定根
14	冬青(豆科)	分布在内蒙古西部及宁夏一带的沙地上	常绿灌木，在冬季仍有防风固沙能力，可在流动沙丘的边缘直播造林
15	苦豆子(豆科)	分布在内蒙古、陕西、甘肃等处的固定沙丘地区	草本植物，繁殖能力强，不怕沙压，在水分条件好的流动和半固定沙丘上可直播
16	三芒草 (禾本科)	分布在内蒙古巴盟、伊盟及新疆等地	一年生草本植物，基叶自基部扩张，在湿润的年份生长良好

2)路侧植物固沙

植物固沙在于减低风速、削弱和抑制风沙流的活动，通过植物发达的根系固结其周围的沙粒。植物固沙包括种草、栽种灌木、乔木。能达到最好效果的植物固沙，也是草、灌木和乔木相结合的办法。

影响植物固沙的因素很多。其中，风沙流运动和水分供给两者更为重要，前者可用工程防护措施来解决，而当沙层为含水量不小于2%的常年稳定湿沙层时，耐旱的草、灌木等便能成活生长。此外沙层中的有机质及盐分含量、湿度及通风条件等均能影响植物的成活生长。因此，只有通过对风沙地带各种条件和影响因素进行全面的分析研究，才能判断植物固沙的适宜条件。

植物固沙应先确定立地条件、树种选择、林带规划和采用方法，以便获得把握性较好的方案及预期效果。立地条件是植物生长和发育的一切环境条件的总和，不同的立地条件影响着植物的生长发育。不同的植物，对于不同的立地条件又有其各自的适应性，环境改变了，植物生长也随之发生变化。影响立地条件的环境因素，可归纳为以下几个方面：

(1)沙丘类型、起伏程度及其移动特征、沙地地下地层特征(地层结构及地下条件等)；

(2)沙的机械组成(包括颗粒大小、各种成分含量等)；

(3)沙层内的含水量及干沙层厚度；

(4)当地降水量及地表径流情况；

(5)地下水位及沙地盐渍化程度；

(6)沙地植物的分布、生长情况及其演变规律等。

通过对以上各环境因素的分析，划分出沙地中适宜固沙造林的地段和部位，选择适宜的植物品种和相应的栽培技术措施。

根据风沙活动的强度和沙丘移动特征，决定公路两侧防沙林带的宽度。一般情况下，固沙林带在路基迎风一侧的宽度为 200～300m，背风侧的宽度为 100～150m，在单一风向作用的地区，背风侧的林带可不设，在两侧固沙带之外，划出封沙育林带。

公路防沙的林带结构布置，最好在靠近路基两侧设置紧密林带。迎风侧一般采用 100m，背风侧为 50m，其外缘则布置稀疏林带，使风沙流中的沙粒较均匀地分布在整个林带内。

3)阻沙措施

阻沙措施的作用在于拦截风沙和限制积沙移动。阻沙设施一般可分为墙式、堤式、栅式、带式等四类，主要适用于沙源极为丰富的流沙地区。

采用阻沙措施时，须布置在距离路基 200m 以外的上风侧。建筑物愈高、间距愈大，并与主导风向正交时，阻沙效果愈好。

设置阻沙设施时，应尽量选择有利地形(如沙丘脊线等)并与主导风向正交。阻沙设施的数量和布置的方法应根据设计要求确定。

常采用设置一道或多道阻沙墙，减缓沙丘移动速度。当设置多道阻沙墙，间距小于或等于 25 倍墙高，可起到限制墙体附近沙丘移动的效果；当设置间距为高度的 40～50 倍的两道平行墙时，在阻沙设施附近可形成积沙带，在墙体间形成一个以吹蚀为主的区域，可使通过阻沙设施后风沙流的含量不至达到超荷状态而迅速沉积。

各类阻沙措施的布置如图 3-43 所示。

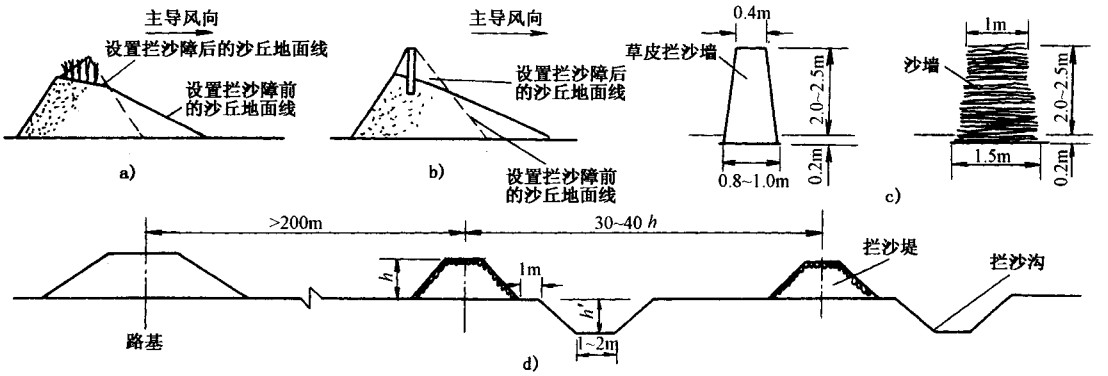


图 3-43　各类阻沙墙(带)及其布置示意图

a)带式阻沙障；b)栅式阻沙障；c)墙式阻沙障；d)拦沙沟、堤

4)输沙设施

通过增强风力或改变下垫面性质，使流沙直接吹过路基而不产生堆积，起这种作用的设施叫输沙设施。公路路基输沙有如下几种方法。

(1)浅槽及风力堤输沙

当路基与主导风向交角为 45～90°，且为流动沙丘地段时，可用浅槽和风力堤与路基平顺衔接输沙，如图 3-44 所示。

浅槽的作用在于产生足够的气流上升力，使贴近地表层或可能沉落的沙粒，借助气流升力重新纳入运动的气流中，并随之搬运过路基。浅槽一般按 l/h 为 10～25 的关系式来确定，l 为浅槽的顶宽，h 为浅槽的最大深度(1～2.5m 左右)。

风力堤的作用在于增强风力，使堤前沙丘的运动改变为风沙流运动。风力堤顶要比邻近沙丘高出 0.3～0.5m；风力堤的迎风坡一般以 1:4 为宜。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

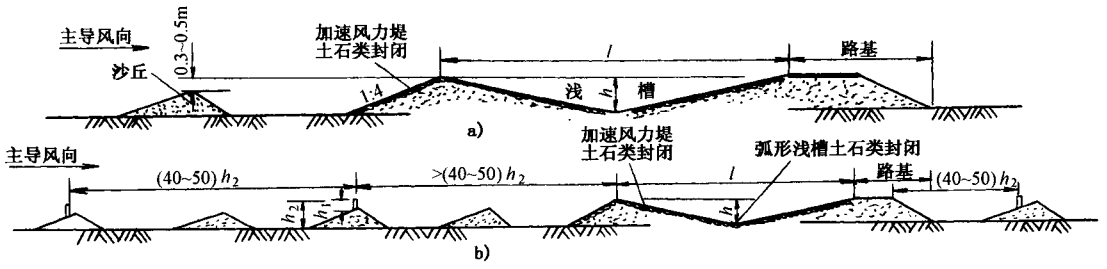


图 3-44　设有浅槽和风力堤的路基输沙横断面

a)设有浅槽和风力堤的路基;b)设有辅助性设施的路基

浅槽和风力堤表面均应加以封闭,迎风面封闭厚度为 5 ~ 10cm,背风部位为 3 ~ 5cm。

(2)浅槽输沙

在平坦的流动沙地和风沙地区,可用浅槽防治风沙流对路基的危害。浅槽输沙由浅槽和路基相互平顺衔接而成(如图 3-45)。其原理是借助浅槽的气流上升力和路基表面风速的加强达到路基输沙的目的。

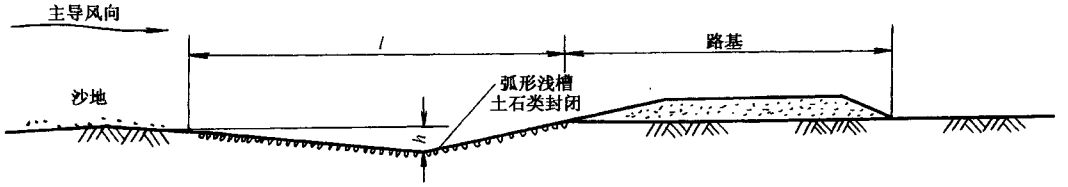


图 3-45　设有浅槽的路基输沙断面示意图

(3)聚风板输沙

聚风板可使下导风口的风速加快,从而将沙从路基上吹走。主要用于防止路基的局部沙害。其构造如图 3-46 所示。板面高度一般在 3m 左右,开口高度一般为 1.5 ~ 2.0m。板面多用木板或玻璃钢等复合塑料板。板面需固定在木桩、钢筋混凝土桩或合金材料桩上。低等级的辅道、岔道还可用柴草或枝条编织的笆块作板面。

聚风板一般设置在迎风侧的路肩上,且应向上迎风方向倾斜,以增强聚风效果,倾斜角以 70 ~ 80°为宜。

当主风向与路成 30 ~ 90°的交角时,设置聚风板的效果均较好。

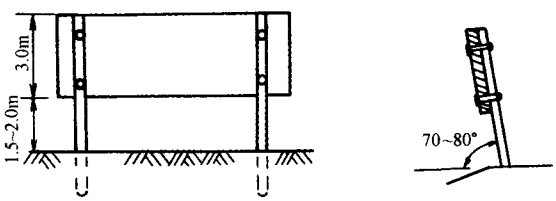


图 3-46　聚风板构造示意图

5)导沙措施

导沙措施是采用导流的方法借助风的动力作用,改变风沙流或沙丘运动的方向,使沙堆积在对路基无危害的地方。主要适用于主风向与路线成 25 ~ 30°斜交情况下的流沙防护。

导沙设施主要有导沙墙(土墙、石墙等)和导沙板(木板、塑料板等)两种类型。宜设置在路基的上风侧,距离路基应不小于 50 ~ 100m。

3.施工注意事项

1)沙漠地区公路,最适宜的施工季节是夏、秋两季,要尽量避免在多风季节进行施工。

2)施工时要注意保护路侧原有植被,不得随意破坏。当必须破坏时,要及时加以防护,以免沙害蔓延。

3)施工前应准备充分的防护材料。要采用边施工、边防护,分段施工、一次做成的办法。在有风及干燥季节,对填筑路堤,当日不能完工的地段,坡面及坡肩应加以覆盖;对路堑开挖,应从一开始就随挖随用平铺式栅栏或草席、芦苇等将坡肩护好,周围用小木桩固定或用大石块(混凝土预制块)压住,以免风蚀和沙埋。

4)沙漠地区路基施工,应根据设计,结合当地施工经验,做到输导、固沙、阻沙相结合;人工、机械治理与植物治理相结合;临时防治与长远规划相结合。

5)沙漠地区,应尽量利用挖方弃土填筑路堤,如需挖取土坑时,取土坑应设在下风一侧距路堤坡脚外至少5m;当必须两侧取土时,上风一侧的取土坑应予封闭或摊平。路堑挖方地段,弃土堆应设置在下风一侧,距路堑坡顶不得小于10m,并应摊平,不得随意堆放。

6)沙漠地区用细沙或粉沙填筑路堤时,仍应分层压实,宜适当洒水压实。压实效果以振动压路机和履带式拖拉机较好。

此外,在沙漠地区筑路时,路线主要控制桩及护桩、水准基点桩、路基边桩等均应设有明显的较高的标志,并妥善保护,以防被沙掩埋。

第六节　盐渍土地区路基施工

盐渍土是一种含盐量较高的盐碱土,当地表以下1m范围内含有容易溶解的盐类超过0.5%时即属盐渍土。土中最常遇到的易溶盐类有:氯化钠、氯化镁、氯化钙、硫化钠、硫酸镁、碳酸钠、碳酸氢钠,有时也含有不易溶解的硫酸钙、碳酸钙等。由于土中含有易溶盐,土的物理、力学性质和筑路性质发生变化,引起许多路基病害。所以,盐渍土地区路基与一般地区路基的设计、施工有很大差别。

一、盐渍土分类

1.盐渍土按含盐性质分类(见表3-19)

2.盐渍土按盐渍化程度分类(见表3-20)

盐渍土按含盐性质分类　　表3-19

盐渍土名称	碳酸根离子与碳酸氢根离子含量之和 同氯离子与硫酸根离子含量之和之比	氯离子同硫酸根离子含量之比
氯盐渍土	—	>2
亚氯盐渍土	—	1~2
亚硫酸盐渍土	—	0.3~1
硫酸盐渍土	—	<0.3
碳酸盐渍土	>0.3	—

注:离子的含量以100g土内的毫克当量计。

盐渍土按盐渍化程度分类　　表3-20

盐渍土名称	土层的平均含盐量(以质量百分比计)	
	氯盐渍土及亚氯盐渍土	硫酸盐渍土及亚硫酸盐渍土
弱盐渍土	0.3~1	0.3~0.5
中盐渍土	1~5	0.5~2
强盐渍土	5~8	2~5
过盐渍土	>8	>5

3.盐渍土按形成条件分类

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)盐土

以含有氯盐及硫酸盐为主的盐渍土称为盐土。盐土通常是在矿化了的地下水水位很高的低地内形成的,盐分由于毛细管作用,经过蒸发而聚积在土的表层。在海滨由于海水浸渍也可形成盐土。在草原和荒漠中的洼地内,由于带有盐分的地表水流入,经过蒸发,也可形成盐土,干旱季节时,盐土表面常有盐霜或盐壳出现。

2)碱土

其特点是在表土层中含有少量的碳酸钠和碳酸氢钠。通常具有明显的层次,表层为层状结构的淋溶层,下层为柱状结构的沉积层。在深度 40 ~ 60cm 的土层内含易溶盐最多,同时也聚积有碳酸钙和石膏。碱土可由盐土因地下水位降低而形成,或由地表水的渗入多于土中水的蒸发时形成。

3)胶碱土(龟裂粘土)

生成于荒漠或半荒漠地形低洼处,大部分是粘性土或粉性土,表面平坦,不长植物,干燥时非常坚硬,干裂成多角形,潮湿时立即膨胀,裂缝挤紧,成为不透水层,非常泥泞。胶碱土中易溶盐的含量较少,且被淋溶在至 0.5m 以下的地层内。

二、盐渍土的工程性质及路基的主要病害

由于易溶盐的存在和盐分的含量能改变土的性质,因此,盐渍土的工程性质随易溶盐的种类和含盐量的大小而变化。盐分对土的作用,既有有利的方面,也有不利的方面。在干旱和过干旱地区,氯化物盐类的胶结作用和吸湿、保湿作用常常有利于路基的稳定。路基在潮湿状态下,由于易溶盐的存在及其状态的转变,能使路基土的密度减小,并较快地丧失稳定性,造成道路泥泞,甚至塌陷、溶陷,也能使翻浆更严重。当含有硫酸盐类时,对路基可产生有害的松胀作用。盐渍土的碱化作用,可使土的膨胀性增加。盐渍土的基本工程性质与各类盐渍土路基的主要病害见表 3-21。

盐渍土工程性质与路基主要病害 表 3-21

盐渍土种类	工程性质				路基主要病害现象			
	密度	液限与塑限	强度与水稳性	盐胀与膨胀	泥泞	翻浆与冻胀	盐胀引起的病害	盐溶引起的病害
氯盐渍土	盐类晶体填充在土的孔隙中,能使土的密度“增加”,但这种“增加”是不稳定的,土湿化后,盐类被溶解,土的密度降低,当含盐量超过 5% ~ 8% 时,密度下降显著	液、塑限随含盐量的增大而减小,最佳含水量亦随含盐量的增加而降低,故可在较低的含水量情况下,有效地进行土的压实	①在潮湿状况下,强度随含盐的增加而降低,可在较小的含水量时,达到液性和塑性状态,湿化作用相同时,比非盐渍土能更快和更大地丧失其稳定性; ②干燥状态时,有粘固性,盐渍土的强度高于非盐渍土	盐分结晶时,体积不变化,不产生盐胀作用	容易引起泥泞	能加重翻浆与冻胀	无	受冻时,易溶解,含盐量多时,可产生湿陷、塌陷等病害

续上表

盐渍土种类	工程性质				路基主要病害现象			
	密度	液限与塑限	强度与水稳性	盐胀与膨胀	泥泞	翻浆与冻胀	盐胀引起的病害	盐溶引起的病害
硫酸盐渍土	密度随含盐量的增加而降低，当其含盐量接近2%时，密度就显著下降	随含盐量的增加而增大	①潮湿状况下，强度随含盐量的增加而降低； ②干燥时，盐分对土的粘固性作用很小	①体积随温度显著变化，盐胀作用严重，造成土体表层结构破坏和疏松； ②盐胀作用所涉及的深度，随温度的不同而有所差异，可达1~2m	容易引起泥泞	能加重翻浆和冻胀	①病害最严重，在路面底层附近有过量硫酸盐时，会造成路面鼓包、破裂； ②盐分体积变化，能使路基表层疏松，边坡呈蜂窝状； ③边坡及路肩疏松，盐土粉末容易被风吹蚀	无
碳酸盐渍土	密度随含盐量的增加而降低，当其含盐量超过5%时，路基密度便显著降低	随含盐量的增加而增大	①潮湿情况下，薄膜水和钠离子所引起的交换作用最强，强度下降最显著； ②在干燥状态时，粘固性大	浸水后，膨胀作用最严重，能增加粘土的塑性和粘附性，渗透系数变小	塑性和粘附性很大，遇水后泥泞不堪	透水性差，翻浆与冻胀现象较轻	无	无

三、盐渍土地区路基施工

1.施工季节的选择及施工程序安排

1)施工季节的选择

在盐渍土地区筑路，应尽可能地考虑当地盐渍土的水盐状态特点，力求在土的含水量接近于最佳含水量的时期不发生冻结，也不在积水季节进行施工。根据这一原则，一般认为：当地下水位高，对粘性土的盐土地区，以夏季施工为宜；对砂性土的盐土地区，以春季和夏初施工为宜；强盐渍土地区，应在表层含盐量降低的春季施工为宜；对于不冻结的土，可以考虑冬季施工。

2)路基施工程序的安排

盐渍土路基要分段一次做完。自基底清除过盐土开始，要连续施工，一次做到路堤的设计标高，不可间断。在设置隔离层的地段，至少也要一次做到隔离层的顶部，以避免路基的再盐渍化和形成新的盐壳。

2.基底处理

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

盐渍土路基基底的处理应视含盐量、含水量及地下水位而定。

1)从含盐量方面看

由于一般盐渍土地区土的含盐量往往表层最大,故当路堤底部表层盐渍土含有过量盐分(含盐量大于8%)或表土松软有盐壳时,应在填筑前,将路堤基底与取土坑范围内的表层过盐渍土铲除,铲除深度应根据土的试验资料决定,一般为0.1~0.3m。如路堤高度小于1.0m时,除将基底含盐量较重的表土挖除外,应换填渗水性土,其厚度对高速公路、一级公路不应小于1.0m,其他公路不应小于0.8m。

2)从含水量及地下水位方面看

当含水量超过液限的土层在1.0m以内时,必须全部换填渗水性土;如含水量界于液限和塑限之间时,应铺0.1~0.3m的渗水性土后,再填粘性土;如含水量在塑限以下时,可直接填筑粘性土。当清除软弱土体达到地下水位以下时,则应铺填渗水性土,并应高出地下水位0.3m以上,再填粘性土。在修建高级路面或次高级路面的地段,除路床填料符合规定要求外,还应在路堤下部设置封闭性隔水层(材料如沥青砂、防渗薄膜、聚丙烯薄膜编织布等)以隔断地下水的上升。

3)基底的换填作业的要求

清(铲)除表层后,地表应做成由路基中心向两侧约2%的横坡,整平压实,沿横坡均匀铺平,以利排水;铲除的表层过盐渍土应堆置在较远处,最好堆置在低处,以免水流浸渍后,又流回路基范围的。铲除后的回填应按规定采用可用的盐渍土。

3.填料要求

由于盐渍土含盐量决定了土的物理、力学性质,所以含盐量的大小便成了填料选择的主要依据。用作路堤填料的盐渍土,其容许含盐量必须符合表3-22的要求。

盐渍土地区路基填料容许含盐量 表3-22

路面等级	填料容许含盐量(以质量百分比计)(%)		
	氯盐渍土及亚氯盐渍土	硫酸盐渍土及亚硫酸盐渍土	碳酸盐渍土
次高级路面	≤8	≤2	≤0.5
高级路面	≤5	≤1	≤0.5

盐渍土地区选择路堤填料时,还应注意如下几点。

1)盐渍土的含盐程度在容许范围时可用作路堤填料,但施工时必须注意含盐量的均匀性。对填料的含盐量及其均匀性应加强施工控制检测,路床以下每1 000m^3填料、路床部分每500m^3填料至少应测试一组,每组取3个土样,取土不足上列数量时,亦应作一组试件。在施工时,如将上下两层盐土打碎拌和,而含盐量不超过规定时,则表土不必铲除废弃。

2)在闭塞的积水洼地或常年潮湿的盐渍土地段填筑路堤时,应外运渗水土填筑。并考虑路堤沉陷问题。

3)内陆盆地干旱地区,如当地无其他适宜的填料,需用易溶盐含量特大的土、含盐砂砾、盐岩等作填料时,应根据当地气候、水文地质情况,通过试验决定。

4)用石膏土作填料时,石膏含量一般不予限制,但应严格控制填筑密实度。路堤基底如为松散的石膏土时,应先予夯实。

4.路基压实及含水量控制

1)为了防止盐分的转移和保证路基的稳定,盐渍土路基的压实应尽可能地提高一些,要求达到重型击实标准。

2)路基应分层压实,每层填土厚度,对粘性土不得大于20cm,对砂性土不得大于30cm。

3)碾压时应严格控制含水量,不应大于最佳含水量1个百分点。在干旱缺水地区,对路基填土可采用加大压实功能的办法进行压实,并应设法洒水,使路基表层20cm厚的土层在碾压时为最佳含水量,至少应达到最佳含水量的60%~70%以上。

4)当填土含水量过大时,施工中除按设计挖好该地区排水沟外,可在取土坑附近挖临时排水沟,以截断地表水和降低地下水位。此外也可延长施工段落,在取土坑内分层挖土,分段填土暴晒,分段夯压。

5.路基排水

盐渍土地区路基排水是一项关键性的工作。如排水不畅,势必会因积水使土质发生不利的变化,造成路基病害。因此,在施工中应及时合理地布置好地表排水系统,防止路基及其附近积水。

当路基一侧或两侧有取土坑时,可利用取土坑进行横向与纵向排水。取土坑的坑底离最高地下水位不应小于0.15~0.20m。底部应向路堤外有2%~3%的排水横坡和不小于0.2%的纵坡。在排水困难地段或取土坑有被水淹没可能时,应在路基一侧或两侧取土坑外设置高0.4~0.5m、顶宽1m的纵向护堤。

当路基两侧无取土坑时,应设置纵向排水沟,并根据当地的地形、地势设置必要的横向排水沟,两排水沟的间距不宜大于300~500m,长度不超过2km。

当地下水位高时,除挡导表面水外,应加深两侧边沟或排水沟,以降低路基下的地下水位。

盐渍土地区的地下排水管与地面排水沟渠必须采取防渗措施。盐渍土地区一般不宜设置盲沟、渗沟排除地下水,因为盐分的沉淀易使盲沟失效。且地面排水系统不宜与地下排水系统合并设置,以免造成地下水位的升高,影响路基稳定。

6.路基毛细水隔断层的设置

路基修筑在强盐渍化细颗粒粘土(粘性土、粉性土)地区,路基边缘至地下水位高度又不可能达到设计规定,而采用提高路堤或降低地下水位的措施又不经济或不可能时,可在路基边缘以下0.4~0.6m处(或路基底部)的整个路基宽度上设置毛细隔断层。隔断层的材料可以用卵石、碎石或其他粒径约5~50mm的砂砾,厚度采用0.15~0.3m,并在上、下面各铺设一层5~10cm厚粗砂或石屑作为反滤层,以防止隔断层失效。隔断层也可用沥青、石灰或石灰沥青等不透水材料修筑,但成本较高,施工不太方便,故在目前较少采用。

7.路基高度

1)路基边缘高出地面的最小高度

在过干旱与干旱、半干旱地区,排除地面水困难的情况下,强盐渍土与过盐渍土的路基边缘高出地面的最小高度可参考表3-23。

盐渍土路基边缘高出地面最小高度 表3-23

路基土名称	路基边缘高出地面最小高度(m)	
	强盐渍土	过盐渍土
砂、含细粒土砂	0.3~0.4	0.5~0.7
细粒土质砂	0.4~0.5	0.7~0.8
粘质土	0.5~0.7	0.8~0.9
粉质土	0.7~1.0	0.9~1.3

2)路基边缘高出地下水位的最小高度

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

在干旱与半干旱地区，盐渍土路基高出地下水位的最小高度可参考表 3-24。

盐渍土路基边缘高出长期地下水位的最小高度 表 3-24

路基土名称	路基边缘高出长期地下水位的最小高度(m)	
	弱、中盐渍土	强盐渍土
砂、含细粒土砂	1.0～1.2	1.1～1.3
细粒土质砂	1.3～1.7	1.4～1.8
粘质土	1.8～2.3	2.0～2.5
粉质土	2.1～2.6	2.3～2.8

根据有关地区的经验，碱土地段路基填土高度可比非盐渍土地段适当降低；在过干地区浓度饱和的地下盐水地段，路基填土高度可比低矿化度或淡水的地下水地段适当降低。

8.路基边坡与路肩的处理

1)边坡坡度

盐渍土路堤的边坡值，没有水浸时，可按表 3-25 采用；有水浸时可按表 3-26 采用。

没有水浸时的边坡值 表 3-25

路堤填土高度(m)	边坡值
小于 1.5	1:1.5
大于 1.5	1:2.0

有水浸时的边坡值 表 3-26

浸水程度	填细粒土	填粗粒土	备注
短期浸水	1:2～1:3	1:1.75～1:1.2	当流水速度引起冲刷时，边坡应加防护
长期浸水	不可用	1:2～1:3	

2)边坡及路肩加固

对于强盐渍土，无论其路基结构如何，边坡及路肩都必须进行加固。为保证路基有效宽度，当路基容易遭受雨水冲刷、淋溶和松胀时，对强盐渍土及过盐渍土的路基宽度，应较标准路基宽度增加 0.5～1.0m。

对硫酸盐渍土路基的边坡，根据需要与可能，宜采用卵石、砾石、粘土或盐壳平铺在路堤边坡上，用以防止边坡疏松、风蚀等破坏。对长期浸水地段，还需在高水位以上 0.5m 处做护坡道，并予以防护。

在过盐渍土地区，对路肩的加固，可用粗粒浸水材料掺在当地土内封闭路肩表层，也可用沥青材料封闭路肩或用 15cm 厚的盐壳加固。

9.盐湖地区路基施工

1)盐湖的形成及其特征

在我国内陆过干旱地区，有一些封闭盆地中的湖泊，由于蒸发量远大于降水量，气候特别干燥，使湖泊水面逐渐变小，水深变浅，大量盐类聚积沉积，形成盐湖，有的干涸后形成岩盐和盐盖。盐湖一般无水，地形平坦，数公里至数十公里内，高差有时仅有数十厘米。盐湖内无植物生长。盐湖表面的盐盖，因受气温剧烈变化和强烈风蚀作用，多形成波浪起伏的鳞片锯齿状。

在盐湖周围地带常有季节性的小股地表径流。在盐湖地表下的不同深度处，一般都有饱和的晶间卤水和地下水，地下水位四季变化不明显，且饱和盐水冬季不冻结。

当有低矿化度的承压水和潜水向上溢出与渗透时，盐盖、岩盐会因长期溶蚀形成溶洞、溶

沟和溶塘等。溶洞有外露的明溶洞和表面封闭的暗溶洞，对路基都会产生影响。

2)盐湖地区岩盐的基本性质

岩盐的含盐量一般在20%～95%之间。其性质取决于生成条件、含盐种类、含盐量、土的颗粒成分和结构密度等。岩盐一般孔隙率小、密度大，平均密度约为$(1.4\sim1.7)\times10^3kg/m^3$，抗压强度一般为7～20MPa，其中最低者约为4～5MPa，最高者可达50～70MPa。岩盐的抗磨性能较差。

按其特征可分为盐壳、盐盖、石盐三类。盐壳一般含砂或土较多，胶结良好的盐壳状似砂岩；盐盖一般含土和硫酸盐较少，以含氯盐最多；盐湖底层有结晶石盐，以氯化物盐类为主，尘土和砂粒的含量极微，密度在$(2.1\sim2.2)\times10^3kg/m^3$之间。

3)盐湖路基施工中的注意事项

由于盐湖中地下水一般为饱和卤水，对岩盐不再发生溶解作用，加之盐湖表面多具有坚硬的盐盖，因此，在干涸的盐湖表面可以直接修筑公路。岩盐也可用作路基填料。在盐湖上修筑路基应注意以下几点。

(1)盐湖周边有潜水易于发生变化和受地面水补给的过盐渍土地段，应按过盐渍土地区的筑路方法进行。

(2)对不再发展的溶洞、溶塘，如为外露者，可用岩盐或卵石、砂砾材料填补夯实；如系暗洞，洞顶距盐盖地表厚度达0.3～0.5m以上，且范围不大时，辅道等低级路可不进行处理，在上面直接行车；若厚度小于0.3m，或修建高等级公路，则需将洞挖开，进行填补；若溶洞、溶沟、溶塘尚在发展，范围又较大，则应考虑绕避或采用其他措施；当用砂石材料填筑时，还应设置反渗层。

(3)填料如为岩盐，应将岩盐打碎成大小不同的碎块，分层填筑，并洒卤水压实到规定密实度。

(4)常用路基横断面图式有两种，如图3-47所示。当有地下卤水时，建议采用设有取土坑及护坡道的路基横断面。

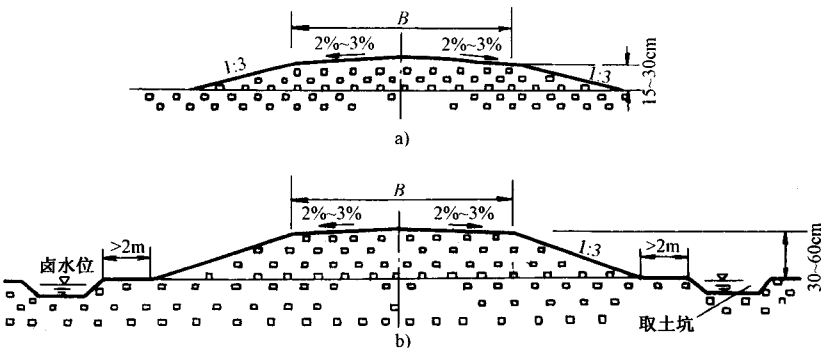


图3-47　盐湖地区岩盐路基断面图

a)无边沟取土坑的路基断面；b)设有取土坑及护坡道的路基断面；*B*-路基宽

第七节　沼泽土地区路基施工

一、工程概况

扎伊尔奥瓦公路全线长37km，石方总量为36 000m^3，仅占全线挖方总量124万m^3的

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2.9%。土方地段基本上为不适于修筑路基的不良土质，按美国 AASTO 土质分类法，大部为 A4、A5 或 A6 类土，抽样试验结果表明，前者占 35%，后者占 43%。而地基土几乎都处于饱和状态，天然含水量通常在 30%以上，有时达 50%，一般均接近软塑状态。

由于路基绝大部分通过低洼积水地带，除接近奥索卡利的 6km 路基以外，全线约有 28km 路段均为沼泽土或准沼泽土，其中沼泽土共有 19 处，挖方总量约为 7 万余 m^3。

二、工 程 特 点

奥瓦公路全线穿行于原始森林之间，受热带雨林气候的直接影响，使林间地表长年不见阳光。极度阴凉潮湿的环境，恶劣自然因素的长期作用，使已经严重风化变质的岩层形成为不良土质，尤其是低洼地带长年积水，形成了沼泽地带。由于路线走向较低，公路穿过的沼泽地带，地势往往比周围还低，挖排水很难或者不可能。全线沼泽土按其厚度基本上可分为三种类型：

1)厚度小于 0.8m 的表层沼泽土；

2)厚度为 0.8～2.0m 的沼泽土；

3)厚度为 4～5.0m 的沼泽土。

各类型的共同特点是，下卧硬层一般为风化页岩或砂性土层，与沼泽土层有明显的分界面。

三、沼泽土地区路基施工

1.施工条件

鉴于特定条件的限制，对各类型的沼泽土采取了相应的处理和施工。现场的条件是：

1)沿线几乎没有良好的路基填筑材料；

2)全年无旱季，几乎天天有雨，且雨量较大；

3)沼泽地段较周围地势低，无法排水，地面径流聚集源源不断；

4)可用于沼泽土施工的主要土方机械，仅有两台小型轮胎式挖掘机(容量 0.6m^3 及0.4m^3)和 1 台功率小于 69kW 的湿地推土机。

2.方法

1)对于小于 0.8m 厚的沼泽土，一般采取挤淤的方法处理。如路线两侧地势较低，直接以填料推挤沼泽土；如两侧地势较高，先以填料同沼泽土混合，以提高原地基土的承载力，使湿地推土机能进入作业，然后将混有填料的沼泽土推挤出路基范围以外，并及时填筑良好的填料。

对于路基较矮，两侧地势又较高的地段，沼泽土换填后，在原地面标高附近铺设一层无纺布，然后在无纺布上填筑路基。这样可以形成整体，适当提高一些地基承载力，使较重的推土机能配合作业。

2)对于厚度为 0.8～2.0m 的沼泽土，一般采取全部换填处理，此时，先用湿地推土机推除表层沼泽土，再用挖掘机开挖到底，并及时回填良好填料。

3)对于厚度为 4～5m 的沼泽土采取部分换填，超填预压的方法处理。先换填1.5～2.0m 的沼泽土，然后在原地面附近铺设无纺布，再在无纺布上设置 0.5m 厚的砂垫层后，填筑路基。填筑高度超过路基设计高 2.0m，预压 6 个月，待沉降接近消失，最后挖除超填部分，置于路基两侧作为反压护道。

3.施工原则

以上几种处理方法，都采取如下施工原则。

1)边挖边填,随挖随填,根据开挖能力与运输条件确定挖填作业循环周期。

2)所谓良好的填料,实际上是塑性指数在10以内的严重风化砂岩,通过挖、装、运、填,压,通常块状成分已经很少,大部已呈松散状。

3)一般在水中填筑,应待填出水面,再用推土机适当辗压,可不控制压实标准。当填到路基顶以下0.8~1.0m范围内,开始用压路机辗压,不震动,压实标准以85%控制。

4)沼泽地段的涵洞,对于前两种方法,同样涵基全部以风化砂岩等良好的填料换填;对于第三种方法,改用柔性涵管(金属波纹管)代替,并设置预留拱度。

四、质量评价

1.处理效果

1)路基填筑后,初期一般都不稳定,有明显的翻浆、弹簧等现象。重车行驶车辙深度有时可达0.2~0.3m,承载板试验结果弹性模量 E 值只能达到20MPa左右。路基压实度为85%左右。但填筑后两个月路基逐渐趋于稳定,翻浆、弹簧现象也随之消失。经过反复整修,车辙消失。承载板试验的 E 值可达到100MPa以上。压实度也达95%以上。

2)在稳定后的路基上铺筑底基层,经过1~2年的行车及雨水的反复作用,未见异常,没有沉陷或变形。

2.分析·

由于受国外试验条件限制,不能对获得上述效果的依据作更深入的分析,只能作初步定性的分析。

1)由于路基填筑高度一般都在2.0m以下,因此,即使对于没有全部换填的沼泽土地基,也不会发生滑动破坏的稳定性问题。

2)由于沼泽土层厚不大,因此,不存在因长期固结而发生的剩余沉降量过大的问题。

3)由于路基的施工改善了自然环境,使路线附近地基能经常受到阳光的照射,地面的天然含水量显著降低。

4)由于涵洞、边沟、盲沟等路基排水系统的设置,及时排除了地面径流,疏干了地下渗流,从而改善了沼泽土地段的水文状况。

5)由于换填良好的填料,改善了土质,提高了地基的强度。

6)由于长期行车辗压作用,提高了地基与路基的稳定性。

第八节 多年冻土地区路基施工

多年冻土地区路基施工前应该详细调查沿线冻土分布、类型、冻土上下限、冰层上限、地面水、地下水及有无其他热融(湖)塘、冰丘、冰椎等不良地质情况。由于各永冻区的自然条件和土壤冻结条件差别显著,所以很难有统一的路基施工方案。施工方法应依据对土基冻融状态的设计要求而选定。

一、在保证地基土壤处于冻结状态下的路基施工

在道路施工过程中,使土基保持冻结状态,即永冻土的上限不下降,创造土基夏季不融化条件。其施工期宜选在冬季,因此冬季必须完成大量土方工程。如在融期施工,则应采取快速分修的施工方法,以免冻层暴露太久,冻土上限下降,引起沉隐破坏。施工中应注意,此种状态

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

下施工，必须在路基底面上和整个公路用地范围内从路基中心算起的两侧各 50～100m 范围内保持青苔植被不被破坏；其作用是隔热及保护冻土和减弱地表水的下渗。同时排水系统与路基坡脚应保持足够距离。《公路路基施工技术规范》(JTJ 033—95)要求，高含水量冻土集中路段，严禁坡脚滞水、路侧积水，饱和冰冻土及含土冰层地段，应避免修建排水沟和截水沟，宜修挡水埝，距坡脚不小于 6m；若修排水沟，则距离应不小于 10m。

路基填方作业时，应采用端部卸土的方法填筑。汽车、拖拉机等带轮子的设备，在前面尚未铺设足够的填料以支持它以前，严禁在坡道上进出。一般应掌握：①土基冻结深度大于 30cm 后开始取土；②路堤下部各层高为 0.5m 时，按逐步向前法填土，以后的各层按纵向法施工。

净砂和砂砾石最宜于作路堤填料，因为这种填料具有非冻结性，排水性能好，在冻结季节便于开挖和运输。当路堤高度较小时(应大于保护多年冻土上限不下降的最小填土高度)，可在路堤下部先填一部分细颗粒土，厚度一般不小于 1.0m，如图 3-48 所示。

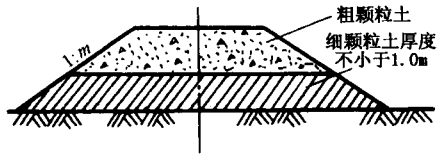


图 3-48　细颗粒土填筑路堤

保证足够厚度的路堤是为了有效地对冻土隔热，国外经验有采用苯乙烯泡沫隔热层、卵石隔热层等做法，以维持地下土壤处于冰冻状态。

二、限制土基融化深度的路基施工

在限制土基融化深度的路段，路基应当采用当地的粘质土和无粘性的碎屑土修筑，高速公路和一级公路宜设置集中取土场；富冰冻土、饱冰冻土以及含土冰层路段确需就近解决部分土源时，必须在路基坡脚 10m 以外取土；斜坡地表路堤取土坑应设在上坡一侧，取土坑深度均不得超过当年多年冻土上限以上土壤厚度的 80%，坑底应有坡度，积水应有出口。取土完成后，应立即将取土坑挖出的草皮填入坑中紧靠路堤的一侧，铺成斜坡。

使用粘质土时，施工工艺按土壤含水量来确定。春季，在解冻天气到来之前，须将取土坑上的积雪和青苔植被清除(堆放在一起)，以加快土壤的融化，土料应选用保温隔水性能均好的细颗粒土。采用粘性土或透水性不良土壤填筑路堤时，要控制土的湿度，碾压时含水量不超过最佳含水量 ±2%，不得用冻土块或草皮层及沼泽地含草根的湿土填筑。通过热融湖(塘)的路堤，水下部分必须用渗水良好的土壤填筑，并应高出最高水位 0.5m。靠近基底部位有饱冰层且有可能融化时，可设保温护道和护脚，保温材料就地取材。用草皮时，草根向上一层一层叠铺，最外一层要带泥，以便拍实形成保护层。沿线两侧 20m 范围内植被和原生地貌要严加保护，位于河滩台地、斜坡、分水岭上的山区路段，土壤为碎石或砾石时，采用一般方法取土筑堤。但是，考虑到冻土和湿土在挖掘上的难度，春季应预先清除青苔植被，使融水沿沟流向低处，把土壤中的水排干。

三、挖方路基施工

地下水发育路段，路基边沟应有防渗措施，路堑顶宜设挡水埝，与坡顶距离不小于 6m；若必须修排水沟或截水沟时，在挡水埝 4m 以外设置。路堑边坡应边挖边修坡，冬季开挖作业边坡容易鼓肚，若不及时抢修容易冻结。边坡加固铺砌厚度均应满足保温要求，如用草皮铺砌应水平叠砌，错缝嵌紧，缝隙用粘土或草皮填塞严密，以形成整体。

饱冰冻土和含土冰层地段路堑，为防止开挖后基底冻胀翻浆，可根据需要换填足够厚度的渗水性土。

四、冬季施工排水

冬季施工排水，是在天寒地冻的特殊条件下采取的特殊排水方法。

1.冻土墙截水

适用于大面积的沼泽区。积水深度大于80cm，施工排水量大，气温在－10℃以下，水下淤泥厚不超过50cm，沼泽地表层冰结厚度超过30cm，机车可以通行作业的条件下采用。

1)作业方法

在工段周围，采用冻土锯或冻土犁破冻开挖一条环形闭合沟，然后用推土机推运大小不等的冻土块填入沟内，边填边用木棍捣实，将冻土块挤入稀泥，直达硬化层，照此方法在水下填筑成一道密实的冻土墙，墙顶面与冰层顶面水平，如图3-49所示。由于冻土块的温度很低，冻土浸水后，土水进行热交换，冻土骤然吸热，致使冻块表层水很快冻结，产生新的粘聚力，将相互接近的冻土块凝结成一整体。这种冻结一般在短时间内不容易融化，因此，冻土墙可以较快地结成一道不透水的隔墙，能够堵截外水浸入。

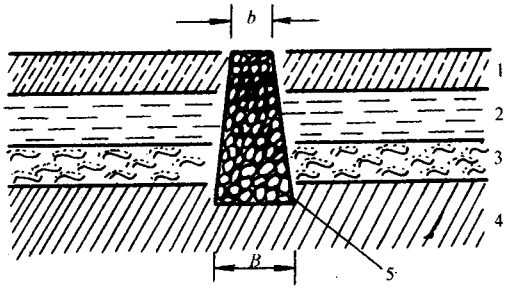


图3-49　冻土墙

1-冰层；2-水层；3-淤泥；4-硬粘土；5-冻土截水墙

冻土墙断面尺寸 b、B 及高度可按一般挡土墙设计。

2)施工时注意事项

(1)最好采用负温大的冻土块筑墙，因为冻土块相对密度较大，比冰块、草筏筑墙质量好，冻土温度愈低，冻块在水中凝结愈快，愈稳定，截水效果愈好。

(2)水下冻土墙仅是一种临时性的截水工程，不宜持久，最好是分段作业，随填筑随使用，抢在截水效果最好的期间完成段内土方开挖。

2.排炮封水

适宜于积水深度小于80cm，并有外水出入的地区。施工段水下稀泥层厚度超过50cm，底部为硬粘土，表层冻结厚度超过20cm，能支承施工人员作业的条件下采用。

1)作业方法

在工段周围，破冰打炮眼，用直径为20cm左右的长木杆，通过淤泥打入硬粘土层内1m左右，拔出木杆，随即塞入用塑料布包好的炸药包，回填粘土，捣实，照此方法布置一列排炮，如图3-50所示。

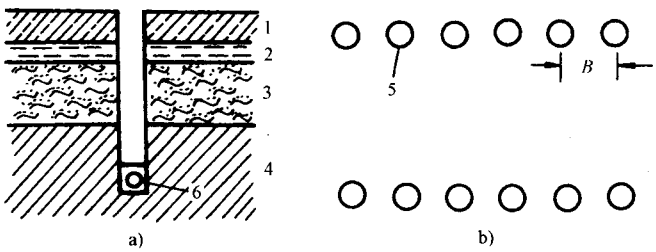


图3-50　排炮封水布置

a)剖面；b)平面

1-冰层；2-水层；3-淤泥；4-硬粘土；5-炮眼；6-炸药包；B-炮眼间距

排炮施工完毕以后，采取电爆同时起爆，利用爆破力将底层粘土压向爆破坑四壁，可使坑

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

壁不透水，一连串的爆破坑壁即可形成一道隔水墙。

2)爆破计算

(1)炮眼间距 B

$$B \leqslant W \tag{3-7}$$

式中：W——最小抵抗线，m。

(2)单炮炸药量 Q

$$Q = eK_0W^3 \tag{3-8}$$

式中：e——炸药品种换算系数；

K_0——单位耗药量，kg；一般 $K_0 = 1$；

W——最小抵抗线，m。

3)注意事项

(1)炸药包必须埋在粘土层内。

(2)炸药包必须密封防水，可用塑料布包扎。炮眼回填密实，但不能损坏药包及导火索，要注意雷管安全，包装前要进行严格检查。

(3)每个药包内最少用两个雷管。

3.机械排水

在用冻土墙截水或排炮封水处理之后，采用水泵排除施工区段内部的积水。水泵可选用离心式水泵，其排水流量的计算公式为：

$$Q = \frac{aV}{t} \tag{3-9}$$

式中：Q——排水流量，m^3/s；

V——施工段内积水总量，m^3；

t——排水时间，d；根据施工要求而定，一般 $t = 1 \sim 2d$，若积水段太长可酌情分段排水；

a——水量补给系数，一般为 4 ~ 10。

水泵站设在施工段的冰面上，水泵抽水，可排放到工段旁边沼泽地的水面上，边排放边冻结，水结成冰，排水出路问题亦随之解决。应当指出的是，多年冻土地区冬季施工排水的方法很多，除此之外还有促冻结冰、层层扒冻冰层等方法，具体选用时，要因地制宜。

第九节　岩溶地区路基施工

一、概　述

石灰岩等可溶性岩层，在流水的长期溶解和剥蚀作用下，产生特殊的地貌形态和水文地质现象，统称为岩溶。

我国西南地区岩溶现象分布比较普遍，在桂、黔、滇及川东、鄂西、湘西、粤北一带连成一片，面积达 56 万 km^2。

在岩溶地区修建公路，路基工程主要存在的问题有：

1)由于地下岩溶水的活动或因地面水的消水洞穴阻塞，导致路基基底冒水、水淹路基、水冲路基等病害；

2)由于地下洞穴顶板的坍塌或因溶洞内充填物被地下水的运动所带走,引起位于其上的路基及附属建筑物发生塌陷、下沉或开裂。

因此,在岩溶地区修建公路,应全面了解路线通过地带岩溶分布情况及其发育的程度,以便采取相应的防治措施,确保路基的稳定。

二、一般原则

1)对影响路基稳定的溶洞,不论采用何种方法处理,在施工中均不应堵塞溶洞水的出路。

2)对路基基底的岩溶泉或冒水洞,不论采用什么方法排出,均应保证路基最小填土高度内的土石方不受浸润,当为高级路面时,应保证不受温差作用而使水汽上升,聚集在路面基层下。

3)对路基上方岩溶泉或冒水洞,可采用排水沟将水引离路基。对路基基底的岩溶泉或冒水洞,宜设涵洞(管)将水排除,对流量较大的暗洞及淌水洞可用桥涵跨过。

4)对路堑边坡上危及路基稳定的干溶洞,可用干砌片石或浆砌片石堵塞;对于路基基底或挡土墙基底的干溶洞,当洞口不大、深度较浅时,可采用回填夯实;对于洞口较大、深度较深的溶洞,应采用绕避或用桥涵跨越;当干溶洞顶板太薄或顶板较碎时,可采用加固或将顶板炸除以桥涵跨越;当溶洞位于边沟附近而且较深时,可采用钢筋混凝土板封闭,并应防止边沟水渗到溶洞内。

三、具体施工措施

1.疏导

对岩溶水宜以疏导为主,采取因地制宜、因势利导的方法予以疏导。一般做法是与地下水道相联系的漏斗、消水洞处一律修建涵洞,因为这样的漏斗和消水洞内无充填物,它们往往随季节变化而出现间歇性或周期性的泄水与涌水,修建涵洞也有利于保证当地农田灌溉用水。涵洞与漏斗和消水洞之间根据具体地形可用钢筋混凝土明沟或蓄水池相连。

2.跨越

路线跨过溶洞或是岩溶水时,如具备跨越条件,应首选跨越形式。桥跨适用于流量较大的暗河、冒水洞或消水洞等,涵跨适用于一般岩溶泉。应注意到雨季暗河与地表水的汇流量大时,桥涵过水孔径应满足排水要求;在跨越经常性积水而水又比较浅的溶蚀洼地时,可采用片石透水河堤。

3.对可见溶洞的处理

对有填充物的溶洞,可采用以下加固处理的方法:对洞径小而浅的,清除洞内的充填物后,先用大块石堵塞洞口,再用片石混凝土填平;对洞径小而深的,采用钢筋混凝土板把洞封闭;对洞径大而浅的,全部清除洞内充填物后换填片石混凝土;对洞径又大又深的,洞内填充物多而不易清除,采取清除部分充填物并整平后,先填大块石,再填片石,然后夯填粘土做成土片拱,最后用浆砌片石拱跨封闭。

4.对路基范围内的地表塌隐(土洞)的处理

首先应查明塌隐的原因,以便采取相应的措施。如岩基未出露者,可采用粘土回填夯实;如岩基出露并见空洞洞口时,可采用大块石堵塞洞口,再用粘土回填土洞。

5.对于隐伏岩溶裂隙的处理

广西南宁公路总段的经验是,根据物探报告提供的隐伏岩溶分布位置、埋深及裂隙方向,选择出一批表土层薄、裂隙较为发育的岩溶进行重点开挖验证。根据物探推断的桩号位置,推

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

断裂隙方向用人工开挖至基岩，追索清理至公路路基两边，当这一批验证的岩溶裂隙的深度和大小为已知时，将对其他推断裂隙有指导意义，重点开挖揭露的处所占总数的 1/6 ~ 1/5。揭露后的基岩如破碎有裂隙，应将裂隙中的污泥碎石块清除，用片石混凝土填平裂隙。如揭露后的基岩虽有裂隙但岩层完整，可不进行处理。如基岩未见裂隙可打眼放炮至岩石内 1m 深，如仍不见裂隙即可终止。重点开挖揭露的目的，就是为了验证物探报告的准确性，确保路基的稳定，如物探报告不准应责其返工重新勘探。

6.洞穴顶板安全深度问题

在加固溶洞时，经常遇到有关溶洞顶板的安全厚度问题，一般可参照以下列情况进行处理。

1)当溶洞或暗河的顶板厚度大于 10m，其下洞道的直径小于 5m 时，在顶板岩层完整的情况下，可以不进行处理；如顶板岩层破碎并有塌坠现象则应考虑加固。

2)当顶板厚度大于 10m，而洞道直径小于 2m 时，即使顶板岩层有塌坠现象，如为坚硬岩层，也可不做处理。

四、高速公路下伏采空区的整治

高速公路通过矿井采空区的特殊地质构造，在施工处理上有许多与岩溶地区相似之处。新疆乌奎高速路对采空区采用的是注浆治理方案，其具体施工步骤是：根据勘探资料设计布孔，经地质钻机钻孔，通过压浆设备将搅拌好的注浆固结材料充填到采空区内。其注浆材料要求为：黄土：水泥：氯化钙 = 78:20:2，用于注浆孔(初凝时间为 30h)；黄土：水泥：水玻璃 = 78:20:2，用于帷幕墙、帷幕孔(初凝时间为 10 ~ 15h)；坍落度控制在 18 ~ 23 之间。

注浆孔是把浆注入到一定深度的采空区的专门孔道；帷幕孔是为了减少和阻止注入浆液的流失和浪费而设置的。注孔顺序是先帷幕孔，然后注浆孔；多排注浆时先边排后中排，先深孔后浅孔。终止注浆条件为孔压达到 1MPa 及泵灰量小于 70L/min，同时稳定 15min 即可停止注浆。经测，试件强度 28d 无侧限抗压强度不小于 300kPa。施工方案及填充材料的选择，应根据当地具体情况，通过经济、技术方案比较来确定。处理路基下洞穴还可采用灌砂注浆法(水泥、粉煤灰浆液)施工，为了防止凝固后体积收缩，在砂中拌和适量的白灰，起吸水和膨胀作用。

第四章　路基防护与加固

路基防护与加固设施主要有边坡坡面防护、沿河路堤防护、路基的支挡工程等等。

第一节　坡面防护

坡面防护主要是保护路基边坡表面，免受雨水冲刷，减缓温差及湿度变化的影响。防止和延缓软弱岩土表面的风化、碎裂、剥蚀演变进程，从而保护路基边坡的整体稳定性。坡面防护可分为植物防护和工程防护。

一、植物防护

植物防护可美化路容，协调环境，调节边坡土的湿度和温度，起到固结和稳定边坡的作用。对于坡高不大，边坡比较平缓的土质坡面，植物防护是一种简易有效的防护设施，其方法有种草、铺草皮和植树。

1.种草

适用于边坡坡度不陡于1:1，适宜种草的土质，不浸水或短期浸水，地面径流速度不超过0.6m/s的边坡。草的品种应适应当地自然条件，最好是根系发达，叶茎低矮，多年生长，几种草籽混种。不宜种草的坡面，可铺5～10cm厚的种植土层，土层与原坡面结合稳固。

2.铺草皮

当坡面冲刷比较严重，边坡较陡，径流速度大于0.6m/s，容许最大速度为1.8m/s时，应根据具体条件分别采用平铺、水平叠置、垂直坡面或与坡面成一半坡角的倾斜叠置草皮，还可采用片石铺砌成方格或拱式边框，再铺草皮，如图4-1所示，图中 a、h 为草皮尺寸。

铺草皮需预先备料。草皮可就近培育，切成整齐块状，然后移铺在坡面上。铺时应自下而上，并用竹木小桩将草皮钉在坡面上，使之稳固。草皮根部土应随草切割，坡面要预先整平。必要时还应加铺种植土，草皮应随挖随铺，注意相互贴紧。

3.植树

主要用在堤岸边的可滩上，用来降

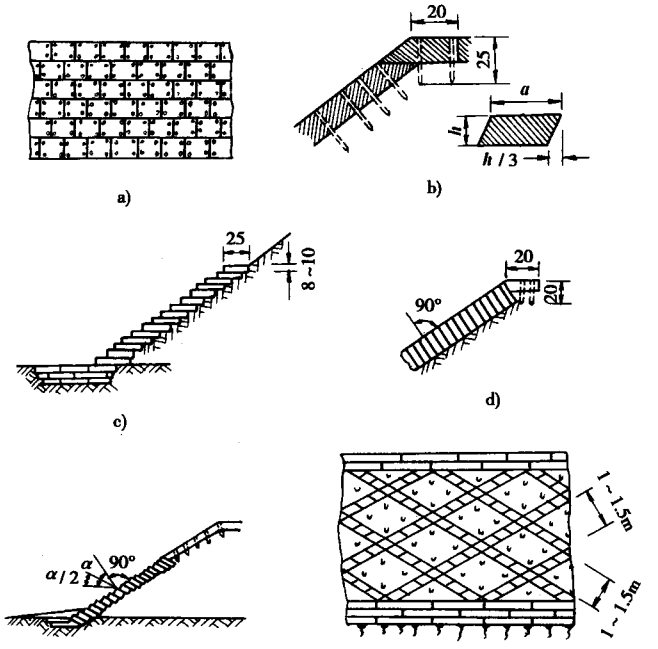


图4-1　草皮防护示意图(单位:cm)

a)平铺平面;b)平铺剖面;c)水平叠铺;d)垂直叠铺;e)斜交叠铺;f)网格式

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

低流速，促使泥沙淤积。防止水流直接冲刷路堤。多排林带若与水流方向斜交，还可起排水改变水流方向的作用。沙漠与雪害地区，护林带还起阻沙防雪作用。树木的品种与种植位置及宽度，应根据防护要求，流水速度等因素，参见有关资料并结合当地经验而定。

二、工程防护

采用砂石、水泥、石灰等矿质材料进行护面的是在不宜使用植物防护或可就地取材时，常用的防护形式。它主要有砂浆抹面、勾缝或喷涂以及石砌护坡或护面墙等，这些形式各自适合于一定条件。

1.抹面防护

适用于石质挖方坡面，岩石表面易风化，但还比较完整，尚无剥落。如页岩、泥砂岩、千枚岩等，对此应及时予以封面，以防风化成害。常用的材料有水泥、石灰炉渣混合浆、三合土或四合土等。抹面厚度视材料与坡面状况而定，一般 2 ~ 10cm。操作前，应清理坡面风化层、浮土与松动碎块，填坑补洞，洒水润湿。抹面后应拍紧抹平和养生。

2.喷浆

喷浆施工简便，效果较好。适用于易风化而坡面不平整的岩石挖方边坡，厚度一般为2cm。喷浆的水泥用量较大，重点工程可选用；比较经济的可用混合砂浆，如水泥、石灰、砂、水，按质量比 1:1:6:3 配合。喷浆前后的处治与抹面相同。

3.灌浆

比较坚硬的岩石坡面，为防水渗入缝隙成害，可视缝隙深浅与大小，分别予以灌浆、勾缝或嵌铺等。

4.石砌护坡

路基坡面为防止地面水流或河水冲刷，可使用干砌或浆砌片石护坡，图 4-2 为路堤护坡示意图。主要路段或暴雨集中地区的土质高边坡和桥涵附近坡面与岸坡、地面排水沟渠等，亦可

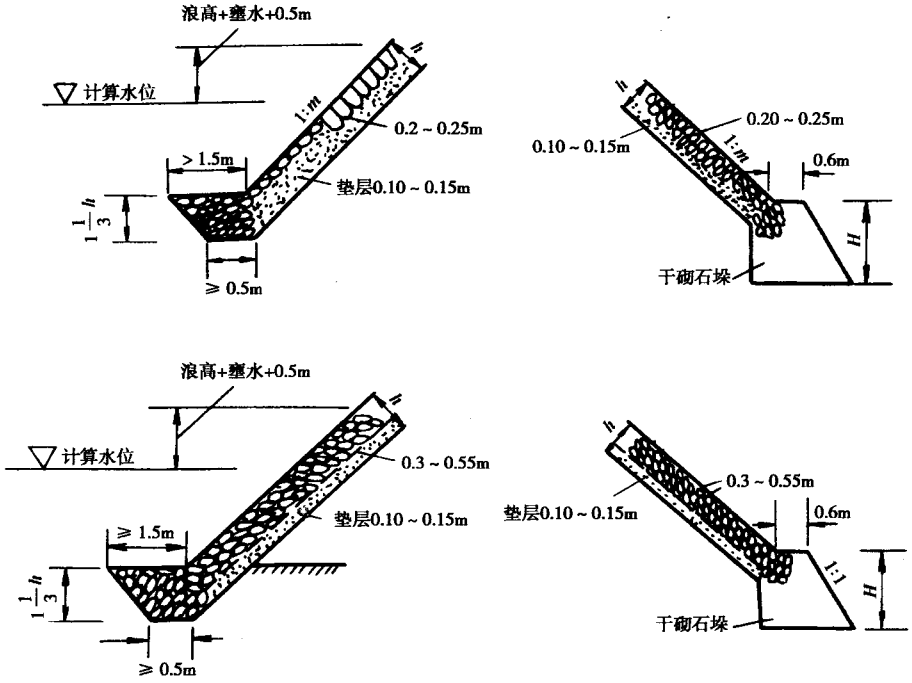


图 4-2　石砌护坡示意图

干砌或浆砌片石加固。

片石护坡，要求坡面稳固，先垫以砂垫层，然后自下而上平整地铺砌片石。片石应逐块嵌紧并错缝，厚度一般不小于 20cm。干砌要勾缝，必要时改用浆砌，护坡顶面封面，以防渗水。

5.护面墙

护面墙是浆砌片块石的坡面覆盖层，用于封闭各种软质岩层和较破碎的挖方边坡。要求墙面紧贴坡面，表面砌平，厚度可不同，石料应符合要求。护面墙除自重外，不承受其他荷重，亦不承受墙背土压力。其构造与布置如图 4-3 所示。墙高与厚度及路堑边坡的关系，可参见表 4-1。

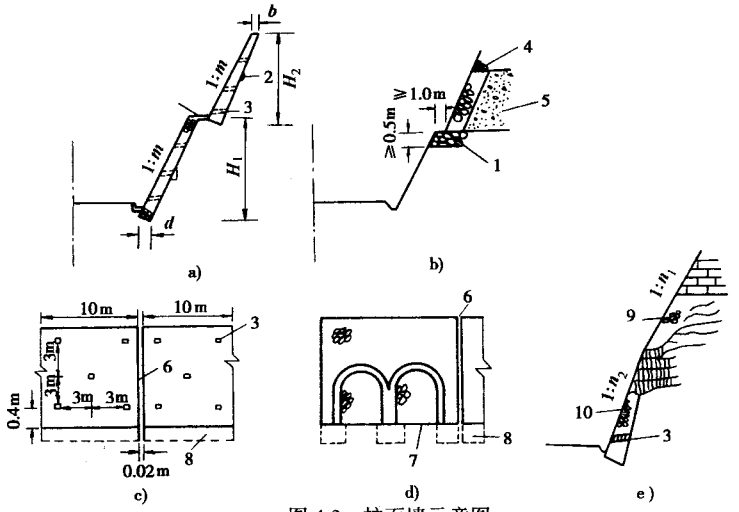


图 4-3　护面墙示意图

a)双层式；b)单层式；c)墙面；d)拱式；e)混合式

1-平台；2-耳墙；3-泄水孔；4-封顶；5-松散夹层；6-伸缩缝；7-软地基；8-基础；9 支补墙；10-护面墙

护面墙的厚度　　表 4-1

护面墙高度 H(m)	路堑边坡	护面墙厚度(m)	
		顶宽 b	底宽 d
≤2	1:0.5	0.40	0.40
≤6	陡于 1:0.5	0.40	$0.40+0.10H$
$6<H\leqslant10$	1:0.5～1:0.75	0.40	$0.40+0.05H$
$10<H<15$	1:0.75～1:1	0.60	$0.60+0.05H$

护面墙高度一般不超过 10m，可以分级，中间设平台。墙背可设耳墙。纵向每 10m 设一条伸缩缝，墙身预留泄水孔。基础要求稳固，顶部应封闭。当墙基软硬不匀，可设拱跨过。坡面常有各种不同地质现象，开挖后形成凹陷，应以石砌圬工填塞平整，称为支补墙。

第二节　沿河路堤防护

一、直接措施

沿河及滨海路堤防护的直接措施，包括植物防护、石砌防护或抛石与石笼防护，以及必要时设置的支挡(驳岸等)。其中植物防护与石砌防护，同坡面防护所述基本一致。

1)路堤冲刷主要是洪水急流，水位变迁不定，水流速度较大，当水流速度达到3.0m/s或更

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

高时，植树与石砌防护失效，如在盛产石料地区，可采用抛石防护。当水流速度达到或超过5.0m/s时。则改用石笼防护。

2)抛石防护类似在坡脚处设置护脚亦称抛石垛，如图4-4所示。抛石垛的边坡坡度，不应陡于抛石浸水后的休止角。边坡率 m_1 一般为1.5～2.0，m_2 为1.25～3.0。石料粒径视水深与流速而定，一般为15～50cm。

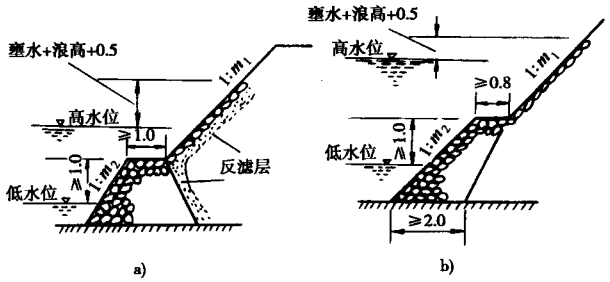


图4-4 抛石防护示意图(单位:m)
a)新堤石垛;b)旧堤石垛

3)石笼是用铁丝编织成框架，内填石料设在坡脚处，以防急流和大风浪破坏路堤，也可用来加固河床，防止淘刷。铁丝框架可以为箱形或圆柱形，如图4-5a)和b)。笼内填石的粒径最

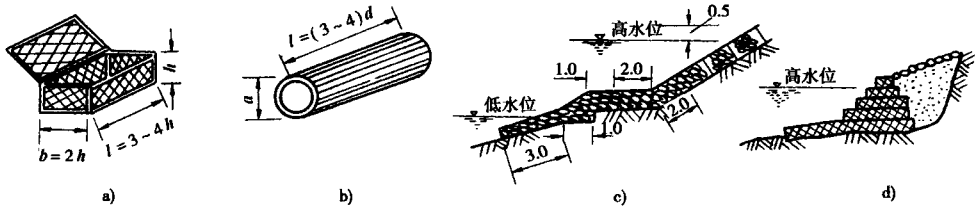


图4-5 石笼防护示示意图(单位:m)
a)箱形笼;b)圆柱形笼;c)防止淘底;d)防护岸坡

小不小于4cm，一般为5～20cm，外层用大且棱角突出石料，内层可用较小石块填充。石笼在坡脚处排列。用于防止冲刷淘底时，应平铺并与坡脚线垂直，与堤岸一端固定，淘刷后可以向下沉落贴于底面；用于防止堤岸边坡冲刷时，则垒码平铺成梯形，如图4-5c)和d)。单个石笼的大小，以不被相应速度的水流冲动为宜。铺设时须用碎(砾)石垫层铺平，底层各角可用铁棒固定于基底。

二、间接措施

改变水流方向，可以消除和减缓水流对堤岸直接破坏。因此可设置导治结构物，这是桥涵和路基的重要附属工程。

1)导治结构物主要是设坝，按其与河道的相对位置，一般可分为丁坝、顺坝或格坝。图4-6是桥梁附近设置导治结构物的总体图示例。

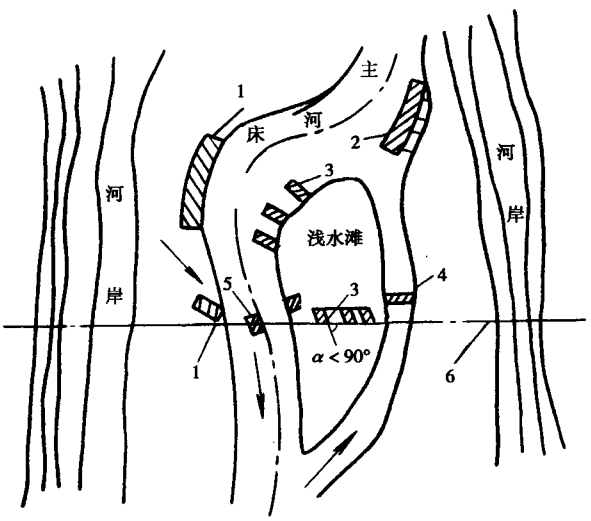


图4-6 导治结构物综合布置
1-顺坝;2-格坝;3-丁坝;4-拦水坝;5-桥墩;6-公路中心线

2)顺坝亦称导流坝，大致与堤岸平行，

主要作用为导流、束水、调整流水曲度、改善流态。格坝在平面上成网格状，设于顺坝与堤岸之间，防止高水位时水流溢入冲刷坝内岸坡和坡脚，并促进格间的淤积。丁坝亦可称排水坝，大致与堤岸垂直或斜交，将水流排离堤岸，束河归槽，改善流态。

3）顺坝与丁坝均用石块修建成梯形横断面。坝体分为坝头、坝身和坝根三个组成部分。横断面尺寸依据构造要求，施工条件和使用要求而定，并应进行稳定性计算。

4）公路工程中的改河工程，主要目的是将直接冲刷路基的水流引向旁处。路基占用河槽后，需要拓宽河道，挖滩改河，清除孤石，改移河道，以保护路基，裁弯取直，有利布置路线或桥涵。这些措施，如经论证可行，确有必要且效益高时，方可通过设计计算，最后实施。具体方法，可参阅路基设计手册等文献资料。

5）路基支挡物有简易和永久之分。除护面墙外，石砌护肩、护坡、护墙与护脚等，因其可使坡面坡度改陡，在一定范围内亦起支挡作用，可视为简易支挡措施。路基支挡的永久建筑物，主要指挡土墙。

第三节　边坡防护加固实例

一、边坡注浆加固

京沪高速公路沧县段，由于地下水位下降，天然地基承载力偏低，部分高填土路段满足不了填土荷载的变形要求，尤其是桥头路段填土时间集中，距路面施工时间很短，对原地面以下土体没有充分的时间给予预压，产生沉降的因素很多。

因此，甲方要求对桥头填土高度大于 8.0m，距铺路面时间不大于 30d 的路段，除进行路基注浆外，还在边坡坡脚两侧按 45°角，对原地面土体进行注浆。我们在 ZK40 + 990 跨线桥桥头两端的路基进行了注浆施工。

1.施工工艺

1）孔位测量放样

按照设计要求，进行注浆孔定位。在原地面上，从桥台一侧开始每米设一个孔，孔位误差不大于 ± 15cm。并尽可能紧靠桥台基础，以防路基在此形成薄弱面。注浆孔是在已填好的路基两侧坡角按 30°的角度向路基侧面打孔。因此，在注浆孔后侧 5.0m 左右处，应搭设临时支架，以便于操作。

2）锚杆机成孔

锚杆机准确定位，利用孔后的支承架，调整成设计角度，采用冲击回转的方法成孔，孔径 110 ~ 180mm。主要采用洛阳铲成孔。洛阳铲实际上是将钢管两头焊接螺丝扣，同时在钢管的一端，加工并焊接一个直径 18cm、长 30cm 的 3/4 圆。利用 3/4 圆铲，用人工在指定位置冲击 7 次左右，拔出来把圆铲内的土取出，继续重复冲击，一直冲到要求的深度为止。

注浆孔水平方向孔距允许误差不大于 50mm，垂直方向孔距允许误差不大于 100mm，孔深允许误差为 ± 50mm，倾角允许误差为 ± 5%。

3）配制注浆浆液

注浆材料采用强度等级 42.5 的普通硅酸盐水泥，水为饮用水，水灰比 1:1（质量比）。在桥台后第一排孔注浆时，浆液中加入 0.05% 的三乙醇胺，以加快凝结。注浆浆液应充分搅拌均匀，搅拌时间不少于 3min，随搅拌随使用，一次拌和的水泥浆应在初凝前用完。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

4)注浆作业

接通注浆管路,把配制好的水泥浆液,用注浆泵泵入孔内,注浆压力控制在0.5~1.5MPa,浆液流量控制在50L/min,每延米注入水泥浆0.5m^3。注浆开始或中途停止超过30min以及感觉浆液注入不顺畅时,应用水或稀水泥浆润滑注浆泵及其通道。当发现有堵塞现象时,应拆卸管道进行清洗。注浆结束后,可进行闭浆封孔。

5)对原地面以下的土层采用压浆

压浆采用压浆泵和搅拌机。在打好的孔内插上一根硬塑管,硬塑管隔15cm交叉打一小孔。管内压浆后,浆液即从此小孔射出。一般砂土、粘砂土可加固直径为1.5m,粘性土可加固成劈裂形状。压浆泵的压力一般控制在2.5~4.0MPa,加固后的效果比较理想,经多次观测没有下沉的迹象。

2.施工程序

边坡注浆加固施工程序如图4-7所示。

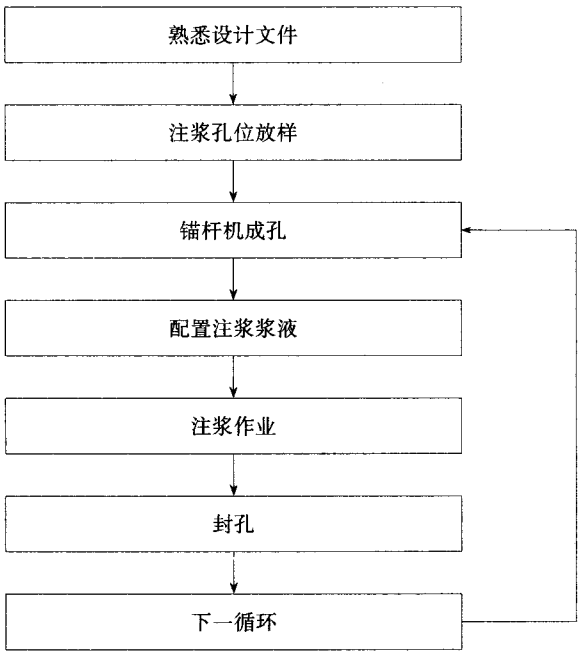


图4-7 边坡注浆加固施工程序

3.人员组织和机械设备

1)人员组织

由于工期要求很紧,于是组成50余人的施工队伍,进行三班倒轮流值班作业。从11月2日开始,于11月19日全部顺利完成。

2)机械设备

根据我们的任务量,设备配置如下。

(1)锚杆机 MGZ—50　　1台

(2)注浆机 BW—250　　2台

　　注浆机 BW—120　　1台

(3)发电机 60W　　1台

发电机 9kW　　2 台
(4)洛阳铲　　10 台
(5)搅拌机 300L　　2 台
搅拌机 150L　　1 台
(6)注浆配件　　3 套

二、楚大高速公路深路堑边坡防护

楚大高速公路五合同段从 K230 + 550 ~ K255 + 800,全长 19.2km。其中 K240 + 416 ~ K246 + 300 段,长 5.88km,位于滇西山岭重丘区中,地质复杂,纵向起伏很大,因此,深挖路堑不可避免。其边坡防护是施工过程中遇到的主要难题。

边坡的高度一般都在 20m 以上,有的路堑甚至高达 60 余 m,而土层性质较差,严重影响了施工进度。下面就几处边坡处置的方案,作扼要的叙述。

1.膨胀土边坡处理

K239 + 380 ~ K239 + 460 为膨胀土地段,膨胀土一直分布到路基顶面以下 9.0m,此处路堑深达 25.0m 以上,如图 4-8 所示。

所谓膨胀土,即指土的粘土矿物成分中含有亲水性粘土矿物,如蒙脱石、伊利石等,具有吸水后显著膨胀软化,失水后急剧收缩硬裂以及往复湿胀干缩特性的高液限粘土。本段膨胀土均为黄色,属碳酸盐岩残积形成。

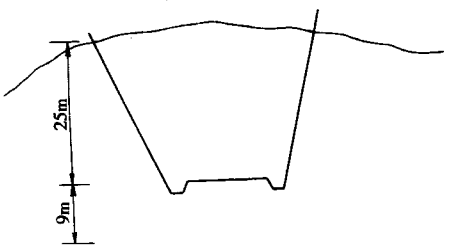


图 4-8　膨胀土分布示意

1)当我们对路堑开挖基本成形后,发现路堑边坡产生了下列几个问题。

(1)边坡土的液限大于 50%,个别的甚至高达 100%,这与开工前试验的结果,基本相似。

(2)下雨后边坡沿路线方向开裂,边坡碎落、滑塌时有发生。

(3)下雨后部分地段路堑隆起,形成坑洼不平,经实测最高隆起达 50cm 之多。

(4)晴天失水后变得坚硬,不易碾碎,随着时间的延长,裂缝逐渐由细变粗。基本上由陡倾角的垂直裂缝、缓倾角的水平裂缝及斜交裂缝三种裂缝组成,将土体分割成一定几何状态的块体。

(5)已建好的上挡土墙发生移动,为整体内移,有垂直于路线方向的裂缝数条。经观察,裂缝宽度有发展的趋势。

2)针对以上情况,有关专家、甲方及监理进行了现场考察,经多方调查研究,决定采取以下方法,对膨胀土的病害进行处理。

(1)按规定要求,边坡顶部做好截水沟,以拦截上方流来的地面水,并距路堑顶边缘不小于 10.0m,使上方的水不致渗入边坡内。

(2)放缓边坡,增加土层自身的稳定性,达到减载的目的。因此,在清除塌方、碎落及边坡修整的过程中,我们将边坡放缓到 1:3。

(3)在边坡土中掺入生石灰,进行改性砂化,以提高土层的强度,然后在边坡上覆盖一层土工布封闭,减少了自然气候等的影响。再在土工布上面铺土植草,从而避免了受水浸入渗透的危害。

(4)上边坡下部修建浆砌片石重力式挡土墙,墙背部分填筑 1.0m 厚的砂砾层。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(5)对于路基部分的处理,可见图 4-9。在距路面顶 1.8m 处,设置了纵、横向的碎石盲沟,并在横向碎石盲沟上面浇筑了 C20 混凝土地梁。地梁处将膨胀土清理挖除,换填山坡土并夯实,然后再在地梁上面回填一层好土,紧接着铺筑结构层。地梁间距为 5.0m,横断面为 80cm × 80cm。

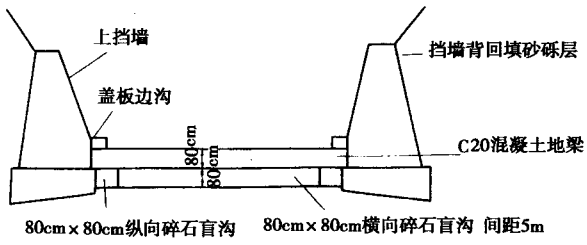


图 4-9 路基部分处理

通过上述方法的处理,其边坡和路基逐渐趋于稳定,并未发现有不良病害的痕迹。这就表明,我们的处理方案是成功的。其中最关键的是排水问题,即使有水渗入,也要能及时排出,使之不与土发生作用,这样就能保证土体的稳定。

2.路基滑坡

K250 + 000 ~ K250 + 140 段,全长 140m,路基全部处于半填半挖地段,由于山坡较陡,外侧边缘部分填高 2 ~ 3m,而内侧挖方后,边坡高度达 30 余 m。

通过仔细观察,我们发现整个边坡体较为松散,属河谷淤积形成的堆积物。土质组成杂乱无章,变化无序,虽以细质土为主,但其中夹有砾卵石及碎屑等物质或砂质透镜体,本身就不稳定。当边坡在下部开挖时,上部边坡失稳,而产生滑动。

整个滑动面在路基下 4.0m 深处,内侧边坡宽度为 50m,高度为 30m。边坡以扇形状开裂,最大裂缝宽 50cm,深达 7.0m,属滑动面整体滑移并伴有局部坍落的现象,如图 4-10 所示。

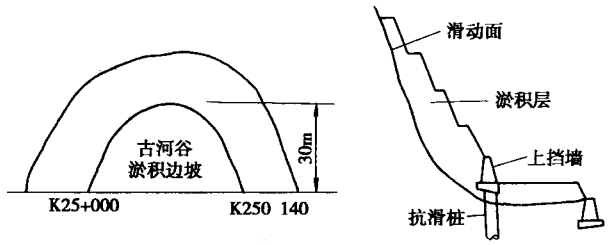


图 4-10 滑坡段处理

对于这种高大的滑动边坡,我们在处置前,先让边坡暴露一定时间后,充分观察其滑动范围和滑动面的深度,然后通过地质勘探收集的资料,决定处理方案。

具体处理方法包括如下几个方面。

1)减载。这种较大的不稳定边坡必须进行减载,以减少自身重量,有利于坡脚的稳定,而且土方坍塌也需进行土方外运和清理,可在减载工序中一次完成。而使下一步对边坡的处理,比较容易进行。

2)在边坡的外侧设置半环形截水沟,使水不再流向边坡;在边坡内侧设置纵、横向排水沟,使水能够及时排出,以免浸泡后疏松。

3)边坡形式采用平台台阶式,边坡坡度 1:2 ~ 1:3。其优点主要是把高边坡降低为矮边

坡,不仅减轻了高边坡土体对坡脚的压力,而且减弱了表水对坡面的冲蚀与对坡脚的浸湿,同时平台对坡脚有一定支撑,对边坡变形有一定减缓作用,对稳定边坡有利。

4)由于滑坡面已深入路基以下,因此,在坡脚处设置了抗滑桩(挖孔桩)。抗滑桩的埋置深度与所受外力如:滑坡推力、受荷段地层抗力、摩阻力、桩底应力等因素有关。经业主、设计单位、监理和施工单位验算,并通过协商后,决定将抗滑桩设于上边坡坡脚处,直径 1.0m,中心间距 4.0m,埋置深度 8.0m,并在抗滑桩上设置系梁,作为上挡墙的基础。

3.锚固防护

K250 + 560 ~ K250 + 860 段,由于地形的限制,此处与广大铁路、楚大公路相距很近,又是同时进行施工,水平距离仅为 50.0m,而落差达 45.0m。

针对以上两路相距近、落差大的施工特点,且边岩层又较破碎,如剥落、冲蚀、泥流、溜坍、碎落等病害常有发生等情况,我们采用了下列的边坡处理方案,如图 4-11。

1)施工过程中严格控制放炮数量,对于大、中炮一律禁止,以免附近边坡受震而破坏。

2)铁路路基以下设置深 20.0m、直径 1.0m 的抗滑桩。

3)公路路基上边坡逐台修整,两台间距不超过 8.0m。

4)边坡防护以锚索、锚杆、锚桩等三种形式,以梅花形布置,形成菱形网格进行防护。锚索桩由 4 根预应力钢绞线及其附属配件组成。其断面形式如图 4-12 所示。

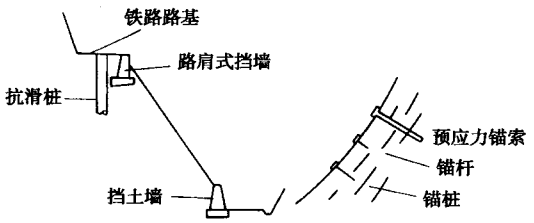


图 4-11 锚固防护处理

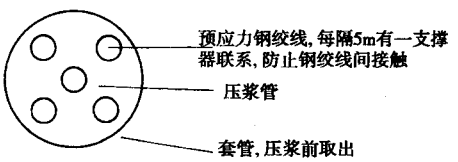


图 4-12 锚索桩示意

其施工方法为钻孔后清理孔壁、孔底,放入组装好的锚索桩材料,张拉钢绞线,通过压浆管压浆,最后封锚。锚杆和锚桩都是由直径 30mm 的 II 级钢筋制成,锚长为 3 ~ 4m,锚桩长为 10.0m,施工方法与上述基本相似,都是先成孔后放入钢筋,压浆后封锚。压浆时,应有一定的压力,使浆液饱满,以便渗入细小的裂缝中去。

锚索、锚杆、锚桩都是利用自身,并通过浆液的粘结将软弱、破碎的岩层与稳定岩层组成一个稳定的结合体,以保证边坡的稳定。

4.施工体会

针对膨胀土的工程特性,结合路堑边坡稳定的必要条件,提出以下关于防护施工的要点。

1)为保持边坡土体天然含水状态的相对稳定,应防止地面水与地下水渗入路堑边坡,同时防止土中水分被蒸发,防止土体产生湿胀干缩变形。

2)为保持边坡土体结构的相对完整性,应防止土体的风化作用,尽可能减小降雨、蒸发和蒸腾、日照、地温与气温等对土体的影响。

3)为保持边坡土体足够的抗剪强度,应防止土体强度的衰减。

4)边坡土体若分布有强膨胀土夹层,或遇土层中风化界面清晰完整时,常在界面或层面处产生边坡滑动,对此应适当加固,以防滑动产生。

5)防护工程应能适应边坡膨胀土体可能产生的胀缩变形与膨胀力,因此,以柔性结构为

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

宜，切不可盲目采用刚性结构。

三、三维植被网边坡防护

（一）概述

近年来交通建设达到了史无前例的高峰，因此，如何对公路进行有效的边坡防护显得尤为重要。

以往的公路边坡防护方法虽多种多样，如有单一植被、平面网植被、抹面、喷浆、石砌护面以及采用混凝土、沥青、抛石等，但都具有致命的弊病。单一植被及平面网植被，在草的生长早期草籽及幼苗极易被雨水冲刷掉，草长成后抗冲刷能力也十分薄弱；而采用抹面、喷浆、石砌护面造价极高，且雨水易于渗入防护层下面并形成水流，防护层被架空，导致防护措施失效。

采用三维植被网进行边坡防护，既克服了植草在生长早期易被水冲刷掉的缺陷，又能保证在植草长成以后，其发达的根系与三维网及边坡土层形成一个牢固的复合整体，大大减缓了水流流速，同时避免地表直接受雨水冲刷，可有效地防止边坡被雨水冲毁。

商开高速公路13标段所经路段土质多为粉砂性土，养分少、粘性差。土方工程在雨季到来之前虽能施工完毕，但路面结构层要在雨季期间或雨季之后才能施工。在雨季期间路基边坡极易遭受水流冲刷，引起浅层滑动和冲刷沟，从而导致边坡失稳，路基受到破坏。为了解决这个问题，我们根据三维植被的作用机理和功能，决定采用此种方法进行边坡加固防护，这种方法工程造价低廉，既能防护边坡，又能美化周围环境。

（二）三维植被网的作用机理

三维植被网是由多层塑料凸凹网和高强度平网复合而成的立体网结构。面层外观凸凹不平，材质疏松柔韧，留有90%以上的空间可填充土壤及草籽，将草籽及表层土壤牢牢固定在立体网中间。同时，由于网垫表面凸凹不平，可使风及水流在网垫表层产生无数小涡流，起到缓冲消能作用，并促使其携带物沉积在网垫中，这样就有效避免了草籽及幼苗被雨水冲走流失，大大提高了植草覆盖率。

当植草生长茂盛后，植物根系可从网垫中舒适均衡地穿过，深入地下，与网垫、泥土形成了一个牢固复合整体。植被根系可增加土壤的透水性能，一旦遇有雨水可迅速渗透。植被的覆盖可使地表土壤免受雨水的直接冲刷，并缓冲雨水流速，阻止水流的形成，即使形成水流也几乎是清澈而不含任何泥土的。同时三维网垫及植物根系还可起到浅层加筋的作用。因此，这种复合体系有极强的抗冲刷能力，能达到有效防护边坡的目的。三维植被网防护的复合体如图4-13所示。

（三）三维植被网的功能

1.由于网包的作用，能降低雨滴的冲击能量，并通过凸出的网包阻挡坡面雨水的流速，从而有效地抵御雨水的冲刷。

2.在边坡表层土中起着加筋加固的作用，从而有效地防止了表面土层的滑移。

3.在边坡防护中使用三维植被网能有效地保护坡面不受风、雨、洪水的侵蚀。三维植被网的初始功能是帮助植被生长，随着植被的形成，它的功能是帮助草根系统增强其抵抗自然水土流失能力。

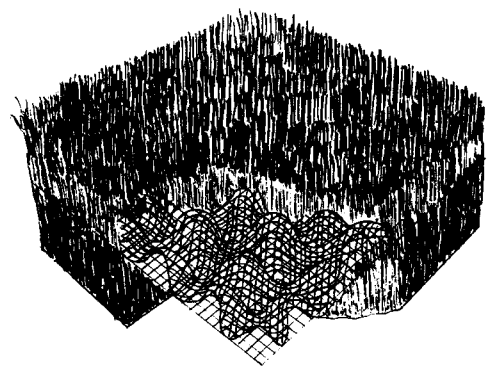


图4-13　三维植被网复合体示意

4.三维植被网能做成草毯进行异地移植,能解决快速植被防护工程的要求。

(四)工艺流程和施工方法

1.工艺流程

边坡整理成型→细平整→挂网→固定→覆土→播种→再覆土→覆盖纤维布或稻草、秸秆→浇水养护→后期管理。

2.施工方法

1)边坡整理成型和细平整

(1)在路基土方已经完工并经监理验收后,由测量人员首先放出路基边桩,即边坡坡脚桩。直线段路基坡脚桩间距不超过20m,进入曲线段可加密到5.0~10.0m,以保证路基边坡线平滑圆顺。

(2)定出坡脚桩后,用白灰定出控制线,然后开始刷坡,刷坡时可以用人工配合挖掘机按1:1.5的坡度进行。挖掘机刷坡时,要预留20cm宽,由人工清除干净以保证路基边坡的密实度。人工刷坡时要挂线操作,并不时用坡度尺检验坡度,以保路基边坡的外观线型。之后将边坡上的土块粉碎,仔细平整,并施入底肥。经监理验收合格后方可进行下一道工序。

2)开挖沟槽

在坡顶及坡脚处,按照施工图纸设计尺寸,人工开挖预埋植被网的沟槽并平整。注意开槽和刷坡一次不要过长,以防止雨水、气温、风沙等作用破坏路基与边坡坡面。

3)覆网

边坡整理完工并经监理验收后,必须及时进行人工铺设EM3型三维植被网。覆网时,先将网置于坡顶沟槽内,然后从坡顶到坡脚依次进行。网尽量与坡面贴附紧实,防止悬空,使网保持平整,不产生褶皱。网块之间要重叠搭接10cm左右。

4)固定三维植被网

覆网后按照一定的密度和方式,采用25cm长竹钉或25cm长钢筋打入边坡内进行固定。然后再将植被网预埋于沟槽中,再回填土夯实。

5)覆土

在三维植被网固定完以后,在网上覆一层薄土,使土一定要进入网包,可以用木条刮入,土壤要求细碎、肥沃、pH值适中。

6)撒播草籽

(1)根据当地气候、土质、含水量等因素,选择易于成活、蔓面大、根系发达、茎低、多年生、便于养护和经济的草籽种类。本标段采用高羊茅与狗牙根两种草混合播种,其用量高羊茅为8g/m^2,狗牙根为12g/m^2。

(2)撒播草籽应在无风天气,气温宜在15℃以上进行,避免在干燥的风季和暴雨季节播种。为使草籽均匀分布,草籽应掺加细砂或细土粒搅拌均匀后撒播。

7)再覆土

撒播草籽后,网上面再均匀覆盖一薄层土壤,并适当拍实,使边坡表面平整,并保证土盖住草籽。网上覆土总厚度约为2cm左右。

8)覆盖纤维布或稻草、秸秆

为了让草籽尽快发芽,边坡上面要考虑采用纤维布、稻草、秸秆等覆盖,使土壤保持湿润和适宜草籽生长的温度。

9)浇水养护

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

种植草籽后应适时进行撒水施肥，清除杂草等养护管理，直到草籽成活并覆盖地面。浇水时最好采用雾状喷施，防止形成径流，造成草籽分布不均匀影响覆盖率和美观。

10)养护期的管理

应有效地养护所有种植面的植物和种植面，预防人为破坏直到养护期终止。

三维植被网如图 4-14 所示。

(五)应用效果

商开高速公路经过 2000 年 7、8 月雨季(其中有四次暴雨和一次特大暴雨)的冲刷后，从现场发现，施工中采用三维植被网的路段没有冲刷痕迹，而未进行三维植被网防护的路段却出现多处较大的冲沟。冲沟深达 2.0m以上。

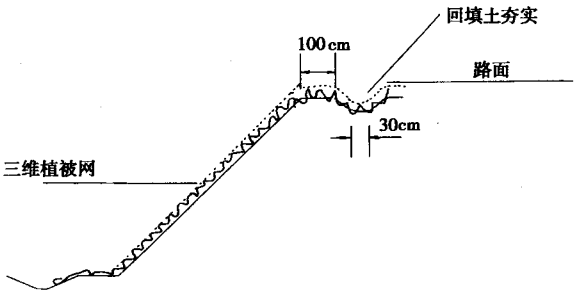


图 4-14　三维植被网

我们分析认为，采用三维植被网施工的路段获得了较高的植被覆盖率，阻止了水流的形成，避免了坡面直接受雨水冲刷，且植草、网垫与土壤三者形成稳定的复合整体，提高了耐冲刷能力。而未进行三维植被网防护的路段，却因坡面直接受雨水冲刷而破坏严重。

实践证明，采用三维植被网进行公路边坡防护，施工简便、劳动强度小、效率高，大大降低了工程造价，同时又美化了公路沿线的环境，具有非常广阔的应用前景。

四、锚杆喷射混凝土支护在公路边坡防护中的应用

(一)概述

锚杆喷射混凝土支护在 20 世纪 60 年代开始出现，已有近 40 年的施工历史。

原来的锚喷支护技术主要应用于矿山井巷、交通隧道、水工隧洞和各类洞室等地下工程。近年来，随着我国高速公路的发展，锚喷支护技术也在公路路堑石质边坡防护中得到广泛应用。如京沈、京福高速公路及正在施工的铜黄一级公路，都采用了该技术来处理路堑石质边坡。通过实践证明，该项技术先进、经济合理、安全适用、能够确保施工质量。

(二)锚喷支护技术在铜黄一级公路中的应用

1.地质情况

铜黄公路位于陕北黄土高原南部边缘地带，属于山岭重丘区。该地区出露的地层主要为三叠纪上部的砂岩和泥质页岩互层。层面倾角一般在 10 ~ 15°，近似为水平岩层，岩体软硬不均。砂岩多为厚层或巨厚层，细粒结构，钙质胶结，石质致密坚硬，强度高，耐风化。泥质页岩多为薄层或极薄层，含有紫红色直径 1 ~ 3cm 的泥质，钙质结构，局部夹 5 ~ 10cm 厚的黑色灰质页岩，颗粒成分以粘土为主，半固结状态，遇水泥化、崩解，在天然状态下易风化剥落，强度低，尤其是抗剪强度低。

岩体软硬不均，除层间弱面外，其间主要发育两组基本正交的陡倾裂隙。受层面及两组陡倾裂隙切割，岩体多呈层状碎裂结构，边坡稳定性较差。但边坡的稳定主要受层间及陡倾结构面所控制，不存在较深层的滑移破坏问题，其破坏形式主要为层部的膨胀、脱落及浅层的倾倒性坍塌。地质剖面如图 4-15 所示。

因此，边坡的防护设计，根据边坡的不同岩质结构类型，视边坡高度和坡度，分别采用素混凝土喷护或局部布设系统锚杆辅以挂网喷护混凝土等浅表层防护处理措施，而且可根据边坡

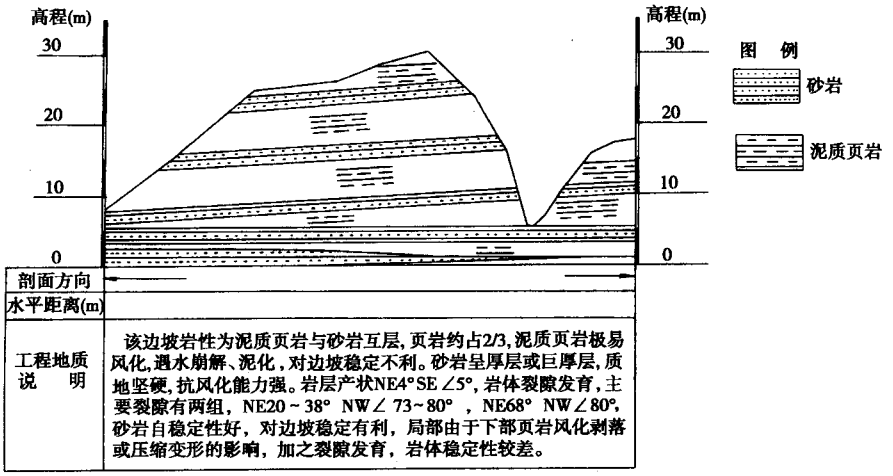


图 4-15　第 11 标段 K137 + 160 ~ K137 + 350 工程地质剖面图

注：图中高程以现公路开挖路面标高为零标高。

破坏程度选择不同长度的锚杆，同时加强边坡排水。

2.铜黄公路 K137 + 160 ~ K137 + 350 边坡防护设计

此段边坡防护原设计为浆砌防护。采用了喷锚支护技术后仍保留了第一级(10 m)边坡的浆砌防护，而对于第二、第三、第四级边坡则视其高度和坡度采用挂网喷射混凝土或喷射素混凝土防护措施。喷护原则：高差大于 8 m 的边坡采用挂网喷护；高差小于 8 m 的边坡采用喷射素混凝土防护，如图 4-16 ~ 图 4-18。

1)锚杆：选用全粘结系统锚杆，ϕ25mm 螺纹钢筋，锚杆单根长 310cm，其中入岩 300cm，外露 10cm，用于绑扎钢筋网，锚杆间排距为 300cm × 300cm。

2)钢筋网：选用 ϕ6mm 网格筋，网格间距 20cm × 20cm，钢筋网必须与锚杆绑扎连接。

3)混凝土：选用 C20 号混凝土，配合比为 1∶1.98∶2.28，水灰比为 0.44。

4)水泥砂浆：水泥∶砂为 1∶1，水灰比为 0.4。

5)排水孔：布设排水孔的目的是为了能够有效地排除混凝土喷护层内侧积水而不致影响已喷混凝土的永久稳定性。排水孔孔径为 60mm，单孔深 200cm，间距为 300 cm，排距为 500 cm，梅花形布置。其最底层排水孔距其下方平台约 1.2m，便于施工即可。造孔方位是水平位置上仰 10°。

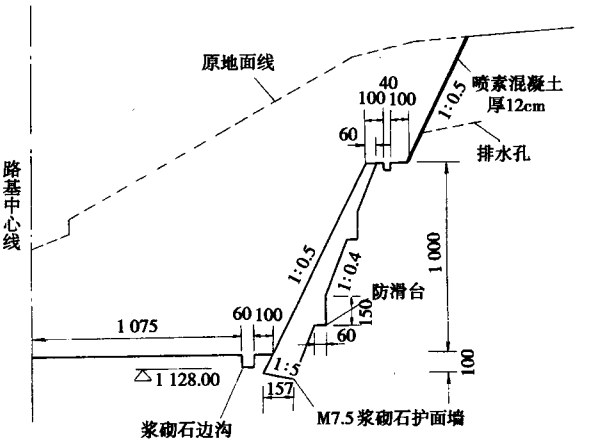


图 4-16　K137 + 210 防护图(单位：cm)

(三)边坡锚杆喷射混凝土施工技术要求

1.对原材料及混合料的要求

1)水泥强度等级不低于 42.5，其性能指标应符合现行的水泥标准，对每批水泥，应做检验。

2)砂石料最大粒径为 15mm，级配应满足表 4-2 的要求。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

喷射混凝土骨料级配表　　表 4-2

序　号	通过各种筛孔的累计质量百分数(%)					
	0.6mm	1.2mm	2.5mm	5mm	10mm	15mm
1	17 ~ 22	23 ~ 31	35 ~ 43	50 ~ 60	73 ~ 82	100
2	13 ~ 31	18 ~ 41	26 ~ 54	40 ~ 70	60 ~ 90	100

3)可以使用速凝、早强、减水等外加剂。但喷射混凝土的各项性能指标不得低于设计要求。在使用速凝剂时,水泥初凝时间不得大于 5min,终凝时间不得大于 10min,室内还应进行速凝剂与水泥、水、石、砂的相溶性实验。符合规定或无不相溶反应时,方能配制使用。

4)水要使用澄清水,水质应满足混凝土拌制用水要求。

5)C20 混凝土抗拉强度为 1.5MPa,混凝土与岩石粘结强度 0.5 ~ 1.0MPa。抗渗强度不应低于 0.8MPa,密度不应低于 $2.20 \times 10^3 kg/m^3$,弹性模量为 $2.1 \times 10^4 MPa$。

6)各种原材料按质量计量,允许差值规定,水泥和外加剂为 2%,砂、石为 +5%。

7)配合比应符合下列规定:

(1)水泥:砂石 = 1:4 ~ 1:4.5;

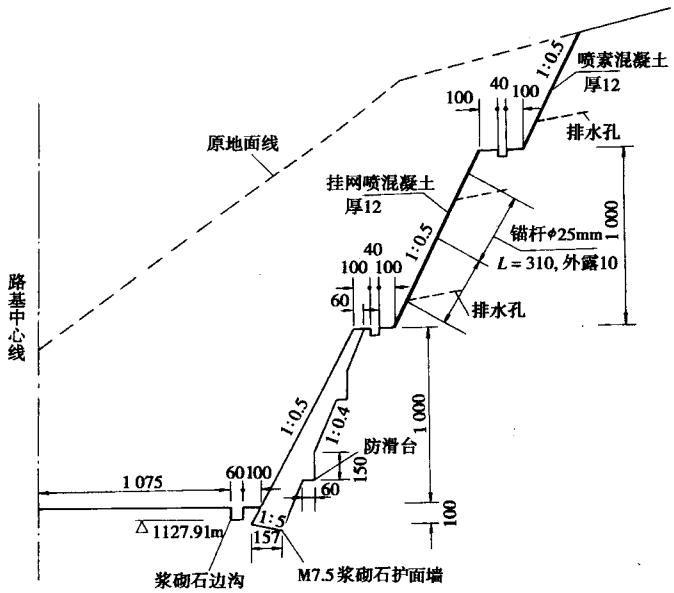


图 4-17　K134 + 240 防护图(单位:cm)

(2)砂率 = 45% ~ 55%;

(3)$\frac{w}{c}$ = 0.4 ~ 0.45;

(4)速凝剂掺加量占水泥的 3% ~ 5%。

8)喷射有干喷法和湿喷法两种,此段施工使用的是干喷法施工,其混合料的拌制和使用符合下列规定:

(1)采用含水量小于 4%的干砂拌料时,速凝剂可在拌料时掺入,拌好的混合料应在 20min 内使用完;

(2)采用含水量为 4% ~ 10%的混砂拌和时,在速凝剂放入后,必须立即进行喷射;

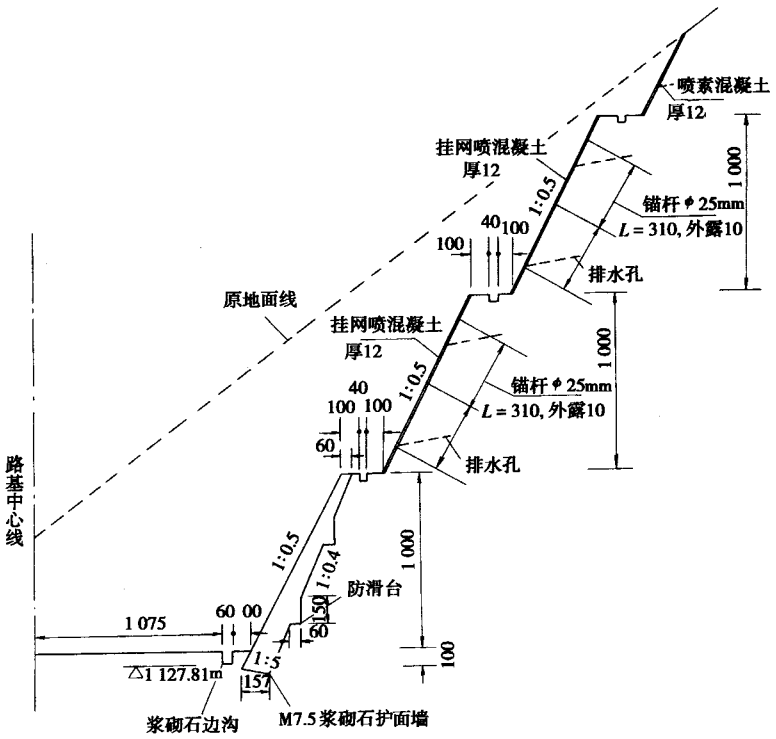


图 4-18　K137 + 212 防护图(单位:cm)

(3)不掺速凝剂的混合料,停放时间不宜超过 2h;

(4)骨料的含水量应进行抽测,并作详细记录,扣除骨料含水量的全部用水量可以从喷头或输料管中的适当位置加入。

2.对施工机具及喷射前准备工作的要求

1)优先选用强制式搅拌机,通风条件良好的露天场地可采用自落式搅拌机。

2)喷射机密封性能良好,输料连续均匀,产生能力为 3 ~ 5m^3/h。

3)输料管应能承受 0.8MPa 以上的内压力,并具有良好的耐磨性能。

4)水泵、水箱或其他供水系统,应具有 0.2MPa 以上的承压能力。

5)选用的空压机应满足喷射机工作风压和耗风量的要求,压风进入喷射机前,必须进行油水分离。

3.对喷射混凝土施工的要求

1)在受喷区分片分段,自下而上,先凹后凸进行作业,且不得漏喷。

2)喷射混凝土平均厚度不得小于设计厚度,最薄处不得小于设计厚度的 75%。

3)昼夜平均气温低于 5℃时,露天喷射作业一律停止。

4)喷层终凝后 2h 开始喷水养生,在 14d 天之内应使喷层表面经常处于湿润状态。

5)下雨天,不宜进行喷护施工。

6)边坡上大光面喷射混凝土,先用水泥砂浆喷 2cm 左右,间隔 24h 后,再转入正常混合料喷射至设计厚度。

7)喷射混凝土后 2h 内,在其 30m 范围内不应进行爆破。

4.对加挂钢筋网喷射混凝土的施工要求

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)挂网所用钢筋的规格、质量、网格尺寸,必须满足设计要求。

2)钢筋网与岩石距离为3~5cm,钢筋网接头搭接长度大于20cm。

3)钢筋网应绑扎牢固,要求与所布置锚杆焊接或绑扎为一体。

4)喷射混凝土必须填满钢筋与岩面之间的空隙,不能有"架空"现象,以保证钢筋与壁面之间的密实性,并要求与钢筋粘结良好。

5)喷射中如有脱落的混凝土被钢筋网架住,应及时清除。

6)喷射完成后,钢筋网外的喷层厚度应满足保护层厚度不小于3cm。

5.全长粘结性锚杆施工要求

1)按照设计要求的间排距布置锚杆孔位。

2)锚杆孔径大于45mm,孔深应大于设计深度20cm。

3)锚杆体使用前进行调直、除锈、除油处理。

4)锚杆孔内灌注材料为水泥砂浆,其配合比为:水泥:砂=1:1~1:2,水灰比宜为0.38~0.45。

5)注浆时,注浆管应插至距孔底5~10cm,随砂浆的注入缓慢匀速拔出,杆体插入后,若孔口无砂浆溢出,应及时补注。

6)杆体插入孔内长度不应小于设计长度的95%,锚杆安装后,不得随意敲击,3d内不得悬挂重物。

(四)锚喷支护的具体施工及注意问题

1.施工工艺流程

清理坡面→搭架→描杆孔及排水孔成孔→下锚杆→绑扎钢筋网→喷射混凝土→养生→拆排架。

1)清理坡面:将坡面上的危石、杂草、树木、松土、浮渣等清理干净。

2)搭架:喷射混凝土是高空作业,所以要求排架必须牢固稳定,必要时要备安全绳及安全防护网。

3)锚杆孔及排水孔成孔:除满足设计要求外,还要注意成孔角度,锚杆孔尽量垂直于自然坡面,利于挂网;排水孔要水平位置上仰10°,以保证排水通畅。

4)下锚杆:成孔后先进行注浆,注浆时若孔口无砂浆溢出应及时补浆,之后插入锚杆,注意锚杆稳定后,不要随意敲击,不准悬挂重物。

5)绑扎钢筋网:铺设钢筋网时要随坡面起伏而变化,搭接要牢固,并注意与锚杆连接牢固,最好采用焊接。

6)喷射混凝土:喷混凝土前还要做好排水孔保护,以保证喷混凝土后排水畅通。喷前受喷面要设立控制喷射厚度的标志,喷射混凝土每次喷射厚度为5~7cm,喷射距离80~100cm。喷射时按直径为20~25cm的圆圈轨迹运行,一圈压一圈,应尽量避免回弹,不流不淌。

7)养生:喷射混凝土终凝后2h即可开始养生,养生期得小于14d,以防止开裂,并提高强度及表面光洁度。

2.锚喷支护施工时注意事项

1)要注意锚杆孔及排水孔成孔角度;锚杆孔要垂直坡面,排水孔要上仰。

2)注浆要注满,下锚杆要牢固。

3)钢筋网布设要均匀,防止混凝土不均匀收缩。

4)排水孔要通畅,防止岩体内水排不出产生膨胀,破坏混凝土。

5)混凝土喷射厚度要满足设计要求。

(五)喷射支护的优点

1.技术先进、成本低

与浆砌防护相比更加先进,而且比浆砌防护成本降低20%。

2.施工速度快

施工简便,不受部位和方向的限制,不象浆砌防护那样受影响条件较多,加快了施工进度。

3.质量有保证

喷射混凝土具有较好的力学性能和整体性,可在坡面形成封闭的具有较高强度的混凝土保护壳,防止雨水对坡面的冲刷破坏。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第五章　软土地基处理

第一节　概　　述

在我国滨海平原、内陆湖塘盆地、江河湖海沿岸和山间洼地，均分布有近代沉积的软土。主要是以厚层、松软的淤泥沉积物为主，有时也夹有少量的腐泥或泥炭层。软土主要由水流缓慢淤积而成，形成年代一般比较久远，沉积厚度一般较深。在漫长的沉积过程中，由于植物的腐烂，在软土中有时夹有少量的腐泥或泥炭层。软土地表有时有一层数米厚的密实土层硬壳，而其下为流动性淤泥。

一、软土的成因

我国软土按其成因可分为四类，按其沉积环境不同可分为九类，如表 5-1。

软土类型及特征　　表 5-1

类　型		厚度(m)	特　征	分布概况
滨海沉积	滨海相	60～200	面积广、厚度大，常夹有砂层，极疏松，透水性较强，易于压缩固结	沿海地区
	三角洲相	5～60	分选性差，结构不稳定，粉砂薄层多，有交错层理、不规则尖灭层及透镜体	
	泻湖相	2～60	颗粒极细，孔隙比大，强度低，常夹有薄层泥炭	
	溺谷相		颗粒极细，孔隙比大，结构疏松，含水量高，分布范围较窄	
湖泊沉积	湖　相	5～25	粉土颗粒占主要成分，层理均匀清晰，泥炭层多是透镜体状，但分布不多，表层多有小于 5m 的硬壳	洞庭湖、太湖、鄱阳湖、洪泽湖周边，古云梦泽边缘地带
河滩沉积	河床相、河漫滩相、牛轭湖相	<20	成层情况不均匀，以淤泥及软粘土为主，含砂与泥炭夹层	长江中下游、珠江下游及河口、淮河平原、松辽平原
谷地沉积	谷地相	<10	呈片状、带状分布，靠山浅，谷中心深，谷底有较大的横向坡，颗粒由山前到谷中心逐渐变细	西南、南方山区或丘陵区

二、软土的主要物理特征

天然含水量大，压缩模量小，承载能力低，并在荷载作用下易于产生滑动或固结沉降变形的地基，称为软弱地基。

虽在国外及国内各行业对软土的定义和特征指标不尽相同，但从广义上说，软土是指强度低、压缩性高的软弱土层，以天然含水量、天然孔隙比为主要特征并结合其他指标进行分类，其主要物理力学特征见表 5-2。

软土的主要物理力学特征 表 5-2

类　型	天然密度 ρ (kg/m³)	含水量 w (%)	孔隙比 e	有机质含量 (%)	压缩系数 $a_{0.1\sim0.3}$ (MPa)	渗透系数 K (cm/s)	快剪强度		标准贯入值 $N_{63.5}$
							C_u (kPa)	ϕ_u (°)	
软粘土	1600～1900	$w > w_L < 100$ 且 < 100	> 1.0	< 3	> 0.3	$< 1\times10^{-6}$	< 20	< 10	< 2
淤泥质土			1.0～1.5	3～10					
淤泥			> 1.5						
泥浆质土	1000～1600	100～300	> 3	10～50	> 2.0	$< 1\times10^{-3}$ $< 1\times10^{-2}$	< 10	< 20	
泥炭	1000	> 300	> 10	> 50					

我国各地不同成因的软土都具有相同的特性，主要表现在：

1)天然含水量高，在 34%～72%之间，孔隙过大，一般在 1.0～1.9 之间，饱和度一般大于 95%，液限为 35%～60%，塑性指数 13～20，天然密度为 1 500～1 900kg/m³；

2)透水性差，大部分软土的渗透系数为 $1\times10^{-3}\sim1\times10^{-7}$cm/s；

3)压缩性高，压缩系数 $a_{0.1\sim0.3}$为 0.5～2.0kPa^{-1}，属高压缩性土；

4)抗剪强度低，其快剪粘聚力 C 在 10kPa 左右，快剪内摩擦角在 10～15°之间；

5)流变性显著，其长期抗剪强度只有一般抗剪强度的 40%～80%。

三、软土路堤的极限高度

在天然软土地基上，基底不作特殊加固处理而用快速施工方法修筑路堤的填筑最大高度称为极限高度。当路堤高度超过此限时，路堤或地基必须采取加固或处理措施。

极限高度的大小，取决于地基的特性(软土性质和成层情况，有无硬壳及厚度)及填料的性质等，可按稳定性分折结果而定，在施工条件允许时，也可在工地进行填筑试验确定。

一般软土地区路堤高度超过 2.5～3.0m 即产生沉降，因此，定 2.5～3.0m 为临界高度。当超过此值时，可称为高路堤。

高路堤的最大特点就是产生较大的沉降，并且需要较长时间，一般 3～5 年才能趋于稳定，成为高速公路建设最难处理的技术问题之一。这一特点主要取决于高路堤荷载与地基土强度的相对稳定，路堤荷载的影响程度取决于路堤高度和路堤分布的范围两方面。

就高速公路而言，路基宽度一般大于 26m，纵坡小于 2%，因此高路堤的纵横向分布面积较大，必然导致路堤产生较大的沉降。对于层状分布的软土地基，各层土的刚度大小以及它们的分布位置，都会对地基变形量和变形的过程产生影响。如淤泥质土分布在浅层，就会引起地基较大的沉降，甚至破坏；如淤泥质土分布较深，地基就不会有太大沉降。因为高路堤荷载的传

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

播应力是随深度递减的，如图 5-1 所示。

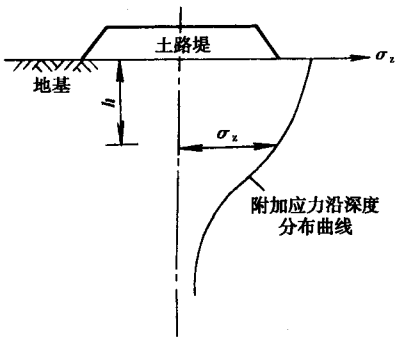


图 5-1　附加应力沿深度的分布曲线

由于极限高度仅为设计施工时的参考数据，通常都近似地假设内摩擦角 $\varphi=0$，并按下列公式进行估算。

1)均质薄层软土地基的路堤极限高度。软土层较薄时，滑动圆弧与软土层底面相切，如图 5-2。并以下式估算：

$$H_c = N_s \frac{C_k}{\gamma} \tag{5-1}$$

式中：H_c——极限高度，m；

C_k——软土的快剪粘聚力，kN/m^2；

γ——填土的容重，$10^3kN/m^3$；

N_s——稳定因数，与边坡角 β 和深度因数 n_d（$n_d=\frac{H+d}{H}$，其中 H 为填土高度，d 为软土厚度）有关，可由图 5-2 查得。

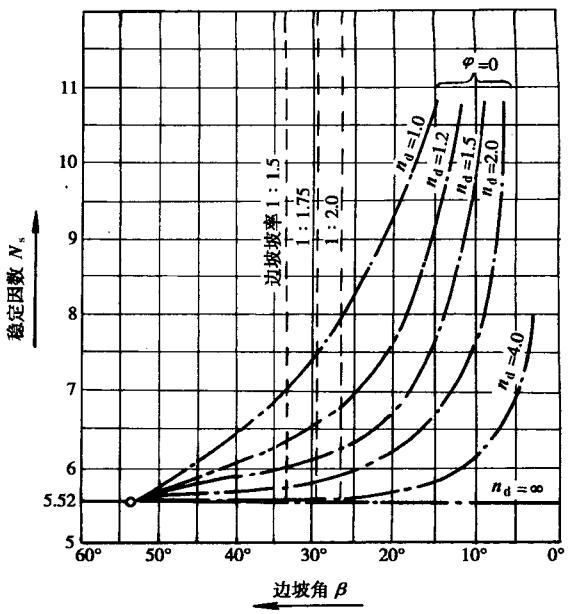


图 5-2　边坡角 β 与稳定因数 N_s 的关系

由于 n_d 与 H 有关，所以需要用试算法。计算时先要假设 H 值，计算 n_d 值，由此查图得 N_s，再按上式算出 H_c。若算得的 H_c 与假定的 H 相符即可，否则需重新设 H 值，再行计算。

2)均质厚层软土地基的路堤极限高度。软土层很厚（n_d 很大）时，滑动面不通过基底，则按下式估算极限高度：

$$H_c = 5.52 \frac{C_k}{\gamma} \tag{5-2}$$

式中符号同前。

3)非均质软土地基的极限高度。非均质软土地基，土层比较复杂，各层的性质不同，需要用圆弧法计算确定。地基强度指标采用快剪法测定，在施工条件允许时，也可根据工地筑堤试验确定。

第二节　处治方法及选用原则

一、处治方法

根据工程需要和地基本身的特点，软土地基处理的理论和手段也在不断发展。具体方法不下几十种，有时所选择的处理方法往往是多种方法的综合应用。

按其加固性质，各种方法简述如下。

1)表层处理法。其中包括表层排水、砂垫层、铺垫、稳定剂处理以及反压护道法和土工聚合物处治加固。

2)换填法。可分开挖换填和强制换填以及抛石挤淤法等。

3)重压法。有路堤荷载重压和真空压实法以及降低地下水位法。

4)竖向排水固结法。应由排水系统和加压系统两部分组合而成,具体见图 5-3。

5)深层水泥浆搅拌桩和高压喷射注浆施工法。

6)射水振冲碎石桩和干振碎石桩。

7)粉喷桩。

8)强夯加固法。

9)石灰桩加固法。

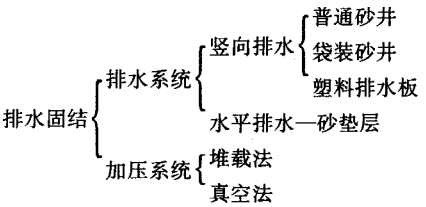


图 5-3 排水固结法组成

二、选用原则

软土地基处治的方法很多,各种方法都有它的适用范围。由于具体工程的地质条件千变万化,对地基处理的要求不尽一致,施工部门采用的机具、当地的材料都会不同。因此,必须进行具体分析,从地基条件、处理要求、处理范围、工程进度、材料机具等方面进行综合考虑,以确定合适的处治方案。

在综合考虑时,应尽力选择经济的施工方法,以避免浪费。在深厚软土地基,沉降量大的地方可筑临时性路面,待残余沉降达到一定量时再建正式路面。

在开发、引用新的地基处理方法或对不同处理方法作比较时,宜在大规模施工以前进行小型现场试验来检验其可行性。并获得必要的施工控制指标和施工经济指标。

第三节 表层处理

一、砂垫层

在软土层顶面铺设一层砂垫层,主要起浅层水平排水作用,在路基荷载下将软基中的固结水通过砂层排入路基边沟。砂层对于基底应力的分布和沉降量的大小虽无显著影响,但可加速沉降发展,缩短固结过程。

1.砂垫层施工前准备

将原地面上的腐殖土清除干净后,将基底做成设计要求的横向路拱。选择适宜的料源,以中粗砂为宜,严格控制含泥量,小于 0.075mm 的细粒含量不超过 3%。

2.适用范围

1)路堤高度小于两倍极限高度,软土表面无透水性低的硬壳。

2)软土层不很厚,或虽稍厚,但具有双面排水条件。

3)当地有砂可取,运距不远,施工期限又不紧迫。砂垫层施工简单,不需特殊机具设备,占地较少。

3.施工要点

1)砂垫层施工关键应将砂加密到要求的密实度,加密的方法常用的有振动法(包括平振、插振、夯实)、水撼法和碾压法等。并应逐层铺砂,逐层振密或压实,分层的厚度视振动力大小而定,一般为 15~20cm。碾压法施工时,最佳含水量一般控制在 8%~12%。

2)路堤填筑的速度应合理安排,使加荷的速率与地基承载力增加的速率相适应,以确保地基在路堤填筑过程中不发生破坏。通常可利用埋设在路堤中线的地面沉降板和布置在路堤坡

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

脚外的位移边桩进行施工观测，借以判断地基是否稳定，控制填土速度。根据经验，一般情况下水平位移量控制在每天不超过 1.0cm，垂直位移量每天不超过 1.5cm 时，地基便可保持稳定。

3)砂垫层宽度应宽出路基 0.5～1.0m，以免路基施工后，因沉降使固结水无法排出而失去作用。砂垫层厚度一般为 0.6～1.0m，应视路堤高度，软土层厚度及压缩情况而定。

4)在软基上铺设砂垫层，由于地基承载力很低，应根据实情分别采用机械分堆摊铺法，即先堆成若干砂堆，然后用一般机械摊平或采用人工或轻便机械顺序推进铺设，即用人力手推车运砂铺设和小翻斗车铺垫。以免原地基留下车辙，两边隆起土埂，形成隔水层，失去透水性能。

5)砂垫层的断面见图 5-4。

二、反压护道

在路堤两侧填筑一定宽度和高度的护道，是以改善路堤荷载方式来增加抗滑力的方法，使路堤下的软土向两侧隆起的趋势得到平衡，从而保证路堤的稳定性。

1.适用范围

1)采用反压护道加固地基，不需特殊的机具设备和材料，施工简易方便，但占地多，土用量大，后期沉降大，以后的养护工作量也大。

2)路堤高度不大于 1.5～2 倍的极限高度。

3)非耕作区和取土不太困难的地区。

4)主要适用于处理软土，对泥沼地段，有时也可采用。

2.设计及施工要点

1)反压护道一般采用单级形式，因为多级式护道增加稳定力矩较小，所起作用不大。

2)反压护道高度，一般为路堤高度的 1/2～1/3。为保证护道本身的稳定，其高度不得超过天然地基所容许的极限高度。

3)反压护道在有废方利用和有占地条件时比较适用。并合理的选择宽度，一般采用圆弧稳定分析法通过稳定性验算决定。在验算中，软土或泥沼地基强度指标可采用快剪法测定，或用无侧限抗压强度的一半或用十字板现场剪力试验所测得的强度。

4)反压护道的施工应与路堤本身同时填筑，如分开填筑时，必须在路堤达到临界高度前筑好。它的施工工艺要求与路堤填筑要求基本相同。

5)反压护道典型断面如图 5-5。

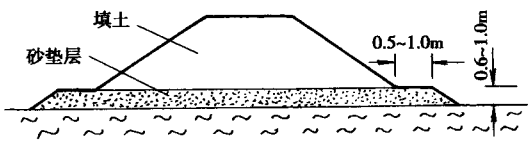


图 5-4　砂垫层断面图

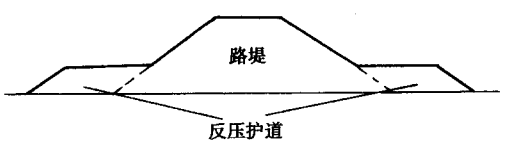


图 5-5　反压护道典型断面图

三、土工聚合物处治

土工布作为一种补强材料用于加固地基已在我国广泛推广使用。软基处理时一般土工布是铺设在路堤底部，在路基自重压力作用下，土工布受拉，并产生抗滑力矩，从而提高了路基的稳定性。

(一)土工布在软土地基加固中的作用

1)排水。形成一个水平向的排水面,起到排水通道作用。

2)隔离。利用土工织物直接铺在软土面上,能起到隔离作用。

3)应力分散。利用土工织物的强度、韧性,从而能与地基组合形成一个整体,限制了地基的侧向变形,分散了荷载。这个整体也可以产生一种板体效应,减少了不均匀沉降。

4)加筋补强。与土体组成复合地基,增强了地基的抗剪力。近年新发展应用的土工格栅能更好地与土相结合,补强加筋更为显著,并可作加筋挡土墙拉筋之用。

(二)土工布铺设

土工布一般分一层或多层铺设。当铺设两层以上时,层与层之间要夹 10~20cm 的砂或砂砾垫层,以提高基底透水性。由于工土布在受拉状态时才产生抗滑力矩,因此土工布的铺设除锚固搭接长度需满足要求外,施工时还应注意保持土工布的平整和张拉程度,使其不致松弛。因此土工布施工,应尽量在场地平整又无路拱的地基上铺设。在有路拱的地基上施工,无论土工布铺设时张拉多紧,当路基产生盆形沉降时,土工布就会松弛,只有沉降达到一定数值时,土工布才会起作用。施工中具体注意事项有如下内容。

1)铺设土工聚合物时,应注意均匀平整。在斜坡上施工时,应保持一定松紧度(可用 U 形钉控制)以避免石块使其变形超出聚合物的弹性极限。

2)铺设时,要确保其连续性,不得出现扭曲、折皱、重叠,特别要控制过量拉伸,以避免超过其强度和变形的极限产生破坏或撕裂、局部顶破。

3)应注意端头的位置和锚固,以保证土工聚合物的整体性,其连接常用的有对面搭接法与折叠缝接法两种,施工现场中当发现有破损时,必须立即修补好。

4)土工布的存放以及铺设过程中,应尽量避免长时间曝晒。存放过程中避免与污物接触,以防土工布被污染而失去透水性。

(三)质量标准及允许偏差

1.基本要求

1)土工合成材料应符合设计要求,外观无破损,无老化,无污染现象。

2)在平整的下承层上按设计要求铺设、固定,并应按设计要求张拉,紧贴下承层,锚固端应符合设计要求。

3)接缝搭接粘结强度应符合要求。上下层土工合成材料搭接缝应交替错开。

2.实测项目

其允许偏差应符合表 5-3 的要求。

实 测 项 目　　表 5-3

项 次	检 查 项 目	规定值或允许偏差	检查方法及频率	规定分
1	下承层平整度、拱度	符合设计施工要求	每 200m 检查 4 处	20
2	搭接宽度(mm)	+5.0,-0	抽查 2%	40
3	搭接缝错开距离(mm)	符合设计施工要求	抽查 2%	40

注:本表摘自《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—98)。

(四)有纺土工布施工实例

1.工程概况

唐津高速公路河北段三合同段全长 5.8km,均属软土地段,一般地下水位 1.5~2.0m,个别

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

地段为0.6～1.20m。根据设计文件，本路段的软基处理方法，除桥头和桥头通道两端采用塑料排水板加土工布和粉喷桩加土工布处理外，其他路堤均采用砂垫层加土工布的处理方法。下面就土工布在软土地基处理中的施工工艺作一简要介绍。

2.道路建设中土工布的选择

用作隔离层的土工布，必须满足两方面的要求：一方面它能阻止较细的颗粒侵入较粗的粒状材料中去，并保持一定的渗透性；另一方面它必须具备足够的强度，以承担由于荷重产生各种应力或应变，亦即织物在任何情况下不得产生破裂现象。选用时必须对材料的孔隙率、透水性、顶破及刺破强度、抗拉强度及其延伸率等进行核实，以选择适宜的材料。

本工程要求土工布的单位面积质量不小于400g/m^2，抗拉强度要求为49kN/m。

3.土工布施工工艺

1)测量放样。先用木桩标出土工布位置，再用白灰线将木桩连接起来，以保证土工布铺设位置的准确。

2)土工布的展铺。土工布铺设在路基表面，必须先清除路基表面上有可能损坏织物的凸出物等，然后将土工布展开铺平，尽可能无折皱的布设在路基上，并四周用砂将土工布压住。

3)土工布连接一般采用两种方法：一是搭接法，二是缝接法。搭接法是将一片土工布的末端自由地压在另一片的始端上，地基越松软，搭接宽度越大以防止地基变形时，土工布拉移使搭接宽度减少。一般对平坦地面搭接长度不少于30cm，对不平坦或极软的路基搭接长度不小于50cm。缝接法是用手提缝纫机将两土工布缝起来，其搭接量一般小于5cm，缝接的强度主要由缝纫机线、缝口间距等因素而定。目前缝接方法有一般缝法、丁缝法、蝶形法三种。以握持抗拉强度来比较缝接的强度，差别较大，一般缝法只能达原材的30%，丁缝法和蝶形法，能达到原材料的80%～90%。

4)土工布作为隔离层，承受的荷载并不太大。但是在施工过程中，土工布却要承受各种临时性荷载，如重型机械和运料汽车等的作用，可能引起损坏。因此要针对路基状态，路堤填料或施工机械提出具体的要求，以确保土工布的完整性。

(五)土工格栅

1.土工格栅适用范围

1)加固路堤边坡。一般高路堤填筑往往需超垫，因路基边缘不易压实，而导致后期边坡雨水侵袭、坍塌失稳时有发生。而用放缓边坡办法，则占地面积很大。如采用土工格栅对路堤边缘进行加固，就能收到较好的效果。其构造如图5-6所示。

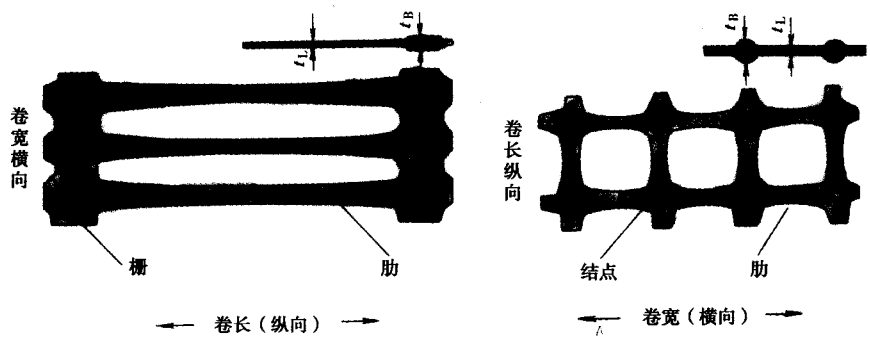


图5-6 土工格栅构造

t_B-结点厚；t_L-肋厚

2)土工格栅加筋土。席垫式形状与土体充分接触产生最大的加筋效应。较土工带更容易铺装,施工速度快。采用土工格栅修筑加筋土墙面的侧面变形小,使整个加筋土墙更加稳定。

3)软基处理不仅限于泥沼及软土地基,凡地基承载力低、沉降不能满足构筑物要求的杂填土软弱地基均可采用土工格栅加固,其优点是:

(1)可迅速提高地基承载力,加快施工进度;

(2)控制软基地段沉降量发展,缩短工期,使公路及早投入使用。

2.土工格栅加固土的机理及其作用

土工格栅加固土的机理存在于格栅与土的相互作用之中。一般可归纳为三种情况,见图 5-7。图中 a)为格栅表面与土的摩擦作用;b)为格栅孔眼对土的锁定作用;c)为格栅肋的被动抗阻作用。

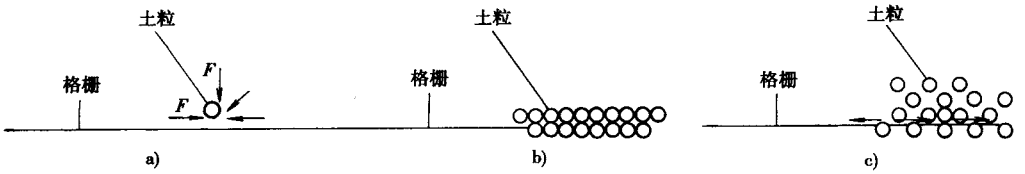


图 5-7 土工格栅与土的相互作用

a)摩擦作用;b)嵌锁作用;c)被动阻抗作用

上述三种作用均能充分约束土的颗粒侧向位移,从而大大地增加了土体的自身稳定性。至于这三种作用在土体中各自发挥作用的程度,由格栅的种类、开孔大小以及土颗粒级配等因素决定。据实验资料表明,土工格栅抗拉强度已接近于软钢,再加上孔眼对土的锁定作用,土工格栅表面与土的摩擦作用,格栅肋的被动抗阻作用,使得土工格栅在土中的抗拔能力或格栅对土的加固效果,已明显高于其他土工织物。

3.应用实例

淮江高速公路 J-3-4 标采用粉喷桩施工,因地质较差,部分桩位出现空洞现象。经钻芯和静载试验表明桩的质量较差,不能满足高速公路规范要求。为保证路基稳定和减少工后沉降采用了土工格栅处理。

粉喷桩施工地段,当填土高度大于 3.0m,在路基底面 40cm 处加设一层土工格栅;填土高度小于 3.0m,铺设两层土工格栅,隔 20cm 铺设一层。铺设方法是土工格栅肋呈横向排列;双层时,则下层肋呈横向,上层肋呈纵向,并搭接两肋,用 ϕ0.9mm 的铁丝捆扎牢固。

由于土工格栅属人工平铺,不需特别机械设备,只需弯曲机加工足够数量的 U 形钢筋卡备用,将原材料堆放到指定地点即可施工。

1)人员组合

铺设土工格栅人员可作如下安排:两人搬放,平铺土工格栅,并着手搭接,用 4~5 人绑扎铁丝,铁丝切成 15~20cm 长。测量人员放出有足够长的路段,可供绑扎之用。

2)施工步骤

(1)场地平整:对准备铺设地段的路基进行整平,有局部不平或松散路段,要经处理达到要求,并将大土块颗粒去除,以保持路基整洁。

(2)测量放样:按设计桩号和宽度放出大样,并用白灰线划出界线。

(3)平铺土工格栅:按撒好的灰线,开始铺设,并铺出灰线以外 10cm。然后用 ϕ6mm 钢筋加工成的 U 形卡,将两边固定,铺到路基对面,宽度按边线铺好,每隔 5.0m 用 U 形卡固定,顺序铺土工格栅,搭接两个栅肋约 6cm,并每隔 3~4 个格栅纵肋用铁丝绑扎。应用双层铁丝绑

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

扎牢固;然后准备上土。

3)土工格栅技术要求

(1)原地面整平,确保土工格栅形成整体性,保证抗拉强度能最大限度的发挥,平整度应控制在 ± 100mm 以内。

(2)搭接宽度不少于 6cm。

4)注意事项

(1)上土时,应顺着格栅的方向,顺序而上,不得在路基范围内随意乱上。

(2)U 形卡要嵌入土内至少 4cm,以保证格栅稳固。

(3)因格栅形成整体后,发挥作用很大,为防地基不均匀沉降,搭接时要注意搭接宽度和铁丝绑扎的牢固性。

经过以上处理的地段,完工已近一年,据最近观测,路基土方沉降仅为 5cm,而在同等条件下未使用土工格栅的路基沉降已达 15cm 左右。可见土工格栅铺筑的路基提高了路基的稳定性,降低了沉降量,效果是显著的。

此外,从造价方面比较,采用砂垫层和一般土工布复合处理需 44.5 元/m^2,而土工格栅仅为 16.5 元/m^2。

第四节 换 填 法

换填法一般适用于地表下 0.50 ~ 3.0m 之间的软土处治,其方法有开挖换填法、抛石挤淤法、爆破排淤法等。

一、开挖换填法

开挖换填法即将软弱地基层全部挖除或部分挖除,用透水性较好的材料,如砂砾、碎石、钢渣等材料进行回填。此种方法简单易行,也便于掌握。如 1995 年我们在天津港保税区西一西二路,东一东二路,将原路基开挖 1.2m 左右,回填钢渣,在钢渣上面做结构层。此种方法对于软基较浅(1 ~ 2m 深)的泥沼地特别有效。但对于深层软基处理,要求沉降控制较平的路基、桥涵构造物、引道等,应考虑采用其他方法。

二、抛石挤淤法

在路基底部抛投一定数量片石,将淤泥挤出基底范围,以提高地基的强度。这种方法施工简单、迅速、方便。

1.适用范围

1)适用常年积水的洼地,排水困难,泥炭呈流动状态,厚度较薄,表层无硬壳,片石能沉达底部的泥沼或厚度为 3 ~ 4m 的软土。

2)在特别软弱的地面上施工,由于机械无法进入,或是表面存在大量积水无法排除时,常用抛石挤淤法。

3)适用于石料丰富、运距较短的情况。

2.施工要点

抛投片石的大小,随泥炭或软土的稠度而定,对于容易流动的泥炭或淤泥,片石可稍小些,一般不宜小于 30cm。抛投顺序,应先从路堤中部开始,中部向前突进后再渐次向两侧扩展,以

使淤泥向两旁挤出。当软土或泥沼底面有较大的横坡时，抛石应从高的一侧向低的一侧扩展，并在低的一侧多抛填一些。

片石露出水面后，宜用重型压路机反复碾压，以便压实紧密，然后在其上面铺设反滤层，再行填土。抛石挤淤的典型断面见图 5-8。

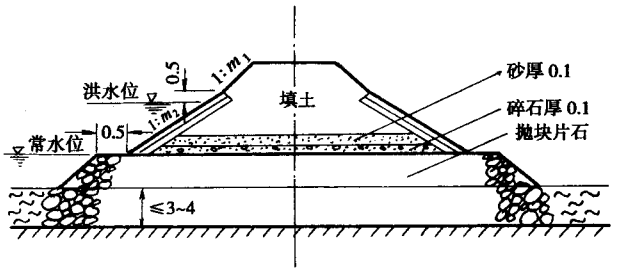


图 5-8　抛石挤淤典型断面图(单位:m)

三、爆破排淤法

爆破排淤就是将炸药放在软土或泥沼中爆炸，利用爆炸时的张力作用，把淤泥或泥扬弃，然后回填强度较高的渗水性土壤，如砂砾，碎石等。

爆破排淤是换土的一种施工方法，较一般方法换填深度大、工效较高，软土、泥沼均可采用。

1.适用范围

1)当淤泥(泥炭)层较厚，稠度大，路堤较高和施工期紧迫时，可采用爆破排淤法换土。

2)如路段内没有桥涵等构造物，路基承载力均衡一致，因整体沉降对道路不会产生破坏，也可考虑换填。但对桥涵构造物及两侧引道等，应考虑采用其他方法。

2.施工要点

爆破排淤法可根据爆破与填土的相对关系，分为两种。

一种方法是先在原地面上填筑低于极限高度的路堤，再在基底下爆破。这种方法适用于稠度较大的软土或泥沼，先填的路堤随爆随沉、避免了回淤。但先填后爆要严格控制炸药，使之既能炸开淤泥或软土，又不致扬弃已填的路堤，要做好这一点是较为困难的。根据经验，炮位间距可取最小抵抗线的 1.2 倍，炮孔宜为 45°，这样所获效果较好。

另一种方法是先爆后填，适用于稠度较小，回淤较慢的软土。采用这种方法时，应事先准备好充足的回填材料，于爆破后立即回填，做到随爆随填，填薄再爆，爆后即填，以免回淤。

四、施工实例

柳州—南宁高速公路宾阳至南宁第二段第十合同段起讫桩号 K51 + 480 ~ K56 + 300，全长 4.82km，属山岭重丘区，地形复杂，起伏较大。

山区沟壑的形成多经历千百年的冲刷和淤积，使部分积水区形成软弱地基。这种软基路段的特点是虽较短，但连续不断，淤积又厚，处理起来也不轻松。我们在施工中主要采用清淤换填和抛石挤淤换填两种方法。对于高填路基下的软基，采取了彻底清淤，换填 50cm 厚片石，并用开山坚石填筑至设计路基底标高，再分层填筑路堤。此法保证了高路堤的稳定性，而未发生路基沉降的问题。

对于路经稻田的浅型软基，除了根据设计施工外，对部分不能避免路基内流水的地段，采取增设盲沟排水方法进行处理。但盲沟在设置过程中应做好盲沟出水口与线外排水系统的顺接，以确保路基内不积水。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第五节　重　压　法

一、堆载预压法

堆载预压是指在软土地基上施加一定的静载，使地基得以加固，从而提高其承载力的一种路基施工方法。目前应用十分广泛，如沪宁、京津塘、唐津等高速公路，都用该法对地基进行加固。下面就谈谈我们在温州市龙湾互通立交中的软土路基施工中的几点体会和注意事项。

(一)原理

在施加荷载时，由软土中的土颗粒骨架和孔隙水应力共同承担来自上部所附加的由静载产生的垂直应力。随着应力的增加孔隙水沿着三个方向移动，一个是沿着垂直向上排水通道(塑料排水板或砂井)排出，另两个方向是排向加载区的两侧。孔隙水应力随着时间的推移逐渐减少，而土颗粒骨架承担的应力越来越大，随着应力增大，土颗粒间隙被压紧，间隙缩小即产生沉降，直至间隙完全消失，土粒完全密实，软基得到了加固，承载能力也就大幅度提高。

从堆载预压加固原理来看，孔隙水能否从软基中顺利排出，是关系到加固速度快慢和加固质量的关键。

(二)填前路拱修整

软土地基填前应先修出一定的路拱，因软土路基堆载预压加固的过程就是排水固结的过程，软基中的孔隙水通过竖向排水通道排到原地表清理后的底层上，然后通过其上横向排水系统(50cm 砂砾垫层或土工布)排向两侧边沟。修筑路拱后，不仅有利于排水，且防止了随着路基填高的增加，其底部出现窝水现象而影响路基质量。

(三)排水系统

1.排水沟(边沟)

地下水或雨水进入边沟后，应顺利地排入河流中或其他排水道内，不能积聚于其中，否则可能会使边沟内的水与软基内的地下水形成对流，不利于地下水的排出。因此清表以后，应顺次放出中桩，边桩，然后在边桩外挖出边沟，并控制好沟底标高，使其畅通，不要有局部积水。

2.竖向排水系统控制

竖向排水采用塑料排水板，它是通过滤膜的渗水和塑板凹槽在路基的自重或荷载(超载)作用下，挤压基底土层，排水板便直接排出地下土层自由水，增加排水通道，缩短距离，加快地基土排水固结，从而提高承载力。塑料排水板的质量要求以及试验结果见表 5-4。

塑料排水板的质量要求和试验结果表　　表 5-4

项　目	单　位	质量要求	试验结果	测试 C_v	备　注
复合体纵向抗拉	kN/10cm	>0.025	2.72/2.25	2.37%	
纵向通水量	cm^3/s	>46	61.3/84.3		
滤膜等级孔径	mm	0.025	<0.0685		防止泥料进入
渗透系数	cm/s	$>1.5\times10^{-3}$	6.46×10^{-3}		

软基处理深度大于等于 15m 时，截面积选用 150mm × 6.0mm；软基处理深度小于 15m 时，

截面积选用 150mm×4.5mm。

从表 5-4 试验结果可以看出，塑板质量符合设计要求。此外，塑板插打要竖直、无扭曲、无污染、无破损等现象发生。打入深度不小于设计值。施工时应注意以下几点：①钢靴加工安装时，应注意与大管粘牢，防止泥土进入产生塑板回带；②上拔套管带出淤泥时，要及时清理，防止堵塞横向排水通道；③为保证排水板的排水性能，塑板不允许搭接；④塑料板在操作、装运、保管存放时，注意不要破坏外包的滤膜，避免污染，以免影响排水效果。

3.横向排水系统施工

采用了砂砾垫层，主要利用其水稳定性和颗粒之间存在孔隙的特性作为排水通道，把塑料排水板提起的水排出路基外，因而要求砂砾材料含泥量不能超标，颗粒级配符合规范要求。

砂砾垫层碾压不宜振动，否则颗粒之间排列紧密，孔隙率减小，排水通道缩少，影响排水效果。

此外，建议在砂砾垫层上填筑一层隔水性较好的粘性土，这样在沉降后期通过砂砾的毛细现象排水，如图 5-9。如果填筑水稳性好、材料强度较好的岩渣，可能会形成盆底积水现象，自由水排不出路基外，造成路基病害。

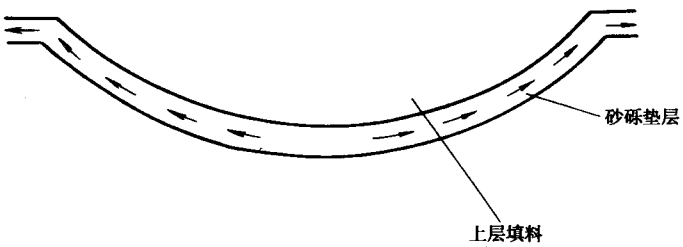


图 5-9　砂砾垫层排水途径图

(四)填筑路堤的几点体会

1.路基宽度控制

由于路基在堆载静压下，排水固结后，有沉降发生，且数值不小。因此，路基的填筑宽度不能再为设计宽度加上 50cm，而应根据其沉降值(估算)来确定填筑宽度。若沉降值为 50cm，其填筑宽度 B 应为：

$$B = x + 0.5a + 0.5 \tag{5-3}$$

式中：x——设计宽度，m；

B——填筑宽度，m；

a——边坡坡率。

这样可保证在路基沉降后断面尺寸达到设计要求。图 5-10 为某标高下计算的路基宽度和实际施工后的情况。在沉降后，要使 $x'' \geqslant x$。

2.堆载预压

做完纵横向排水系统后，埋设好各种沉降、侧向位移观测标志，然后分布上载。

上载时应掌握分步进行的原则，不能盲目地进行，否则可能导致破坏。在 1994 年佛开路某标段，由于上载过快，导致路段整体滑动。一般设计文件对加载速率都有具体规定，每天加载压实厚度不超过 30cm，路堤沉降不大于 10mm，侧向位移不大于 6mm。如果沉降或位移有一项超出上述数值，即应停止加载，待路基稳定后才能继续施工。

但在施工时我们观测到，由于天然地基存在一定的天然承载力，在荷载不超过某一临界荷

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

载(指沉降率突然开始增大)时上载可以快些，不会导致软基侧向移动。但当到临界荷载时，应加倍小心，密切注视沉降量和测向位移的变化值。

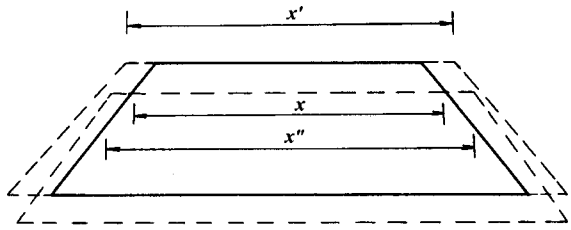


图 5-10　路基预压宽度示意

x-某标高下路基计算断面宽度；x'-施工宽度；x''-沉降后某标高下的路基宽度

填料的粒径应严格控制在 20cm 以内，每层松铺厚度在 30～40cm，填料含水量应不超过最佳含水量的 2%。摊开平整每层填料，采用压路机先静压两遍，然后振动碾压，先两侧后中间，控制碾压行车速率。依据实验，对于含水量较大土质，提高其碾压遍数来提高压实度往往是徒劳的；而含水量相对较小一些时，提高压实遍数往往是比较经济的。

3.沉降观测点的布设

根据软基处理段的长度及地质情况，布设一定数量的沉降观测点。并能代表一段路基整个地质及沉降情况，地质情况变化地段要加设观测点。

1)以下以某工程主线 K8＋573.00～K9＋182.00 区段为例，在 609m 软基区段内共布设 18 个观测点。

(1)K8＋573.00～K8＋713.50 塑料板平均深 14m，属路基荷载，布观测点 6 个。

(2)K8＋713.50～K9＋000.0 无软基处理，属超载，布设观测 2 个。

(3)K9＋000.00～K9＋040.00 塑板深度 8.0m，属路基荷载，布设观测点 1 个。

(4)K9＋040.00～K9＋182.00 塑板深度 17.0m，属路基荷载，布设观测点 9 个。

2)为保证沉降观测的精度，要求采用三等水准测量方法观测并做到如下几点。

(1)严格保护好沉降杆，防止撞坏及其他干扰。

(2)观测由专人负责，水准闭合环线或支水准线，其允许闭合差为 12mm 或 4mm。

(3)观测时视距不等差应小于 3.0m，前后视距累计差小于 6.0m。

(4)外业手薄长期保存，并认真记录，如实反映，最后汇总，为分析总结之用。

4.施工过程中观测结果

变形速率控制均以连续两天的水平和垂直平均位移作为判断值。严格控制施工过程中地基变形速率，是保证施工期路堤稳定的关键；而路基加荷速率则取决于地基变形的控制标准。当地基条件基本相似，处理方式又相同时，填筑速率越大，则沉降速率越大，也越危险。最大沉降速率发生在路基填筑后期。

我们在施工期间掌握路基填筑的变形速率在 10～20mm/d 之间，按此标准控制，未发生过地基滑移破坏等事故。由于路基填筑施工不可能天天进行，而是时断时续地作业，所以变形速率是依据总沉降量计算而得。

就目前施工结束的主线路基分析如下。

1)排水条件的好坏，对加快固结速率是十分明显的。如在夹砂砾横向排水垫层的地段，在路基填筑过程中，沉降速率都很高。基本是路基填筑完成后，沉降已趋于稳定。说明砂砾层对早期沉降起很大作用。

2)在路堤填筑过程中，W－S－T 过程曲线有两种不同的规律。在软土较厚段，如 K9＋062.73 和 K9＋100.00，曲线有一个或多个转点；在软土较薄的路段(K9＋030.00)，曲线呈单一走向。前者很明显存在一个临界填土高度问题，即路基填土高度较低时，沉降速率低，当超过

某一临界高度时，沉降速率就增大。

3)砂砾垫层上覆盖土工格栅对路基的均匀沉降效果较好。

4)为确保路基的良好排水效果，应疏通好路基两边的排水沟，以前在路基上开挖的明沟，必须用砂砾垫层回填形成透水性盲沟。

二、真空预压软基加固法

真空预压法是利用大气压强 0.098MPa 等效堆载预压法对软弱地基进行加固的一套方法，即依靠真空抽气设备，使密封的软弱地基产生真空负压力，使得土颗粒间的自由水、空气沿着纵向排水通道，上升到软基上部砂垫层内，由砂垫层内过滤管再排到软基密封膜以外，从而使土体固结。

(一)工艺原理

根据太沙基有效应力原理：

$$P = \overline{P} + u \tag{5-4}$$

式中：P——总压力；

$\overline{P}$——有效应力，$P = \gamma H$，γ 为土的容重，H 为土深；

u——孔隙水压力，$u = \gamma_w H$，其中 γ_w 为水的容重。

对上式微分得：

$$\mathrm{d}P = \overline{\mathrm{d}P} + \mathrm{d}u \tag{5-5}$$

当总压力 P 为常量时：

$$\overline{\mathrm{d}P} = -\mathrm{d}u \tag{5-6}$$

从上式可以看出，孔隙压力的降低值就是有效应力的增加值。有效应力分布见图 5-11。

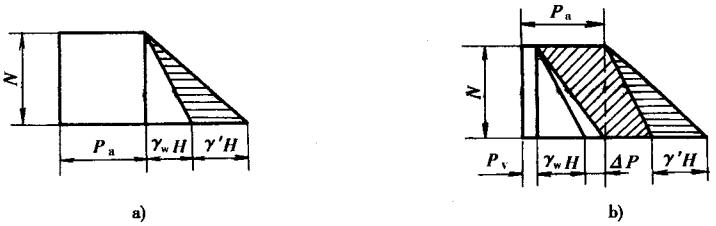


图 5-11　有效应力分布图

a)抽真空前有效应力分布图，P 为大气压力，$u = \gamma_w H$ 为孔隙水压力，$\overline{P} = \gamma H$ 为有效应力；b)抽真空后有效应力分布图，ΔP 为真空度在土体中的损耗值，P_v 为抽气后膜下空气压力

对密封膜下的软土地基进行连续抽真空，造成膜内外的压力差 P_u(即真空度 $P_u = P_a - P_v$)，促使土中的孔隙水产生渗流，因而孔隙水的压力 u 不断降低，而有效压力 $\overline{P}$ 则不断增加，P_u 不断减小；当 P_v 趋向于零，$u = P_v$ 时，渗流停止，固结完成。

从上述原理看，真空预压法适用于含水量高、孔隙比大、强度低、渗透系数和固结系数均较小的粘性土的加固。由于此法要使用薄膜，就铺设薄膜而言，以在 10℃以上的气温施工为好。就预压效果而言，以 10℃左右为最佳。如果采取防寒防冻措施，则在 0～15℃的气温下此法仍可应用。

如果设计要求的地基承载力较高，也可将真空预压、堆载预压和碎石桩联合使用。

(二)工艺流程及工艺要求

1.工艺流程(见图 5-12，其纵横向排水系统不受此限)。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

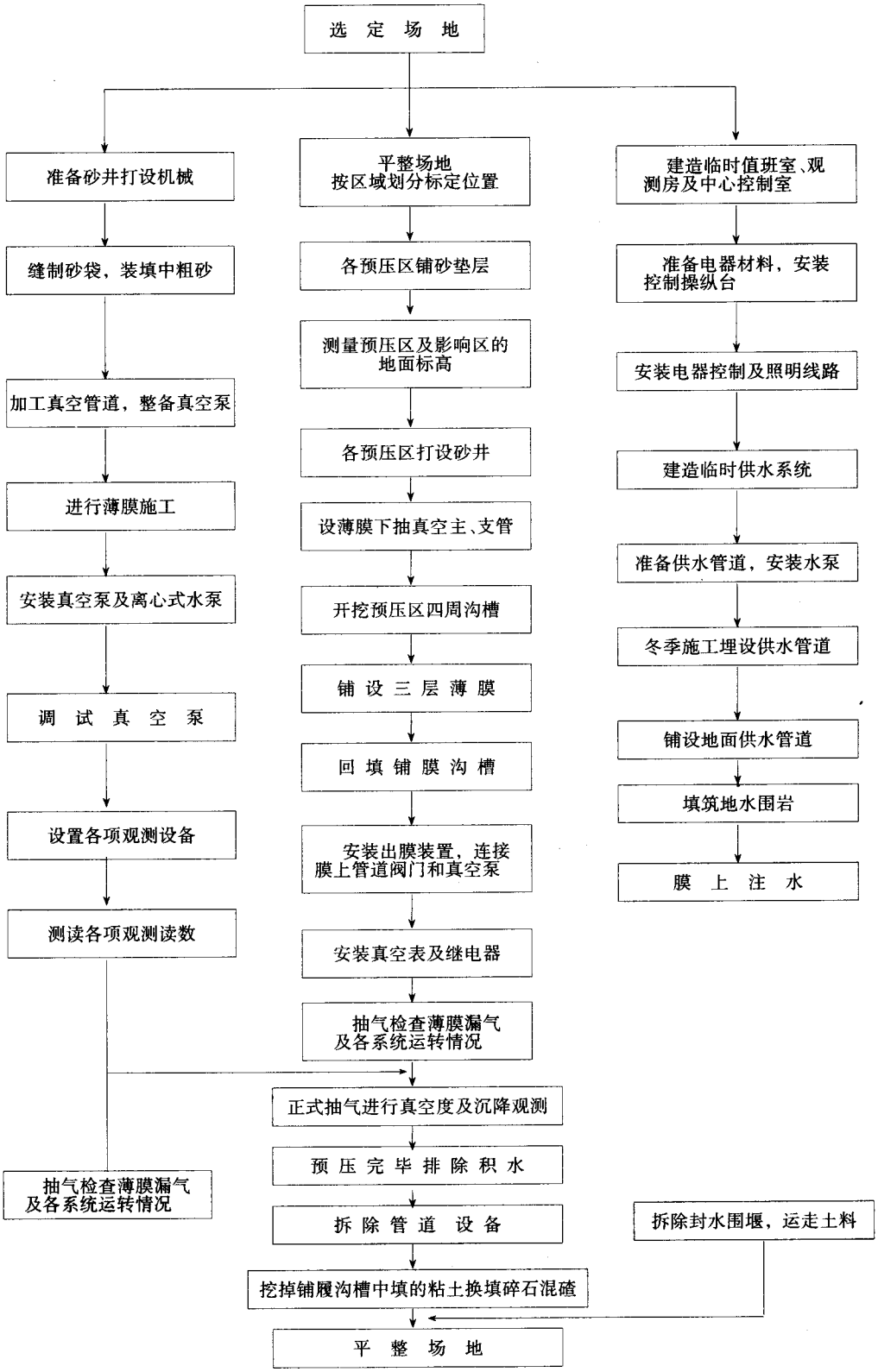


图 5-12　真空预压软基加固法工艺流程图

2.真空预压法的施工要求

1)真空抽气设备装置

抽真空装置是真空预压加固软土地基的关键设备,一般在工厂内加工好后直接运往工地。前些年真空射流箱往往布设在膜上或四周的围堰上,高出原地面 1m 多,近几年改为布设在围堰外侧的土坑内,射流泵高度与膜下滤管平齐,降低了射流高度,从而提高了真空度。

1992 年以前每 2 000m^2 配一套抽气设备,一般膜下真空度为 0.08 ~ 0.085MPa。1993 年以后,膜下真空度为 0.09 ~ 0.095MPa,接近一个大气压,且每 2 500m^2 左右才配制一台,可见将射流箱埋进土坑内的工艺改进,效果十分显著。抽真空装置见图 5-13。

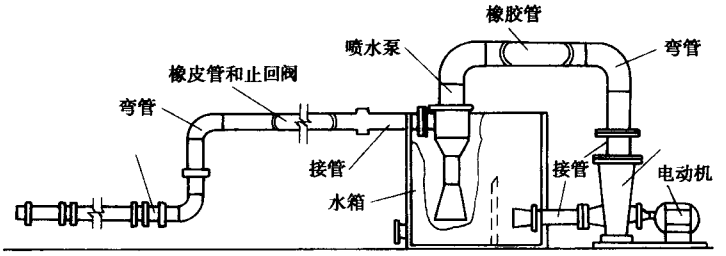


图 5-13 抽真空装置示意图

2)排水系统

一般可分纵向和横向排水两个部分。

(1)纵向排水系统

纵向系统基本包括塑料排水板、袋装砂井等,排水板应选用渗透系数大、抗拉、抗顶破强度高、耐久性和耐蚀性能好的材料。打设时塑料板不能扭曲、断桩、漏打及短打。对于采用砂井或袋装砂井的,要对砂料、袋料质量、布置形式、井距、数量直径、灌砂率等进行全面检查,并做好隐蔽工程记录。

对 3% ~ 5%的袋装砂井进行拉拔试验,以检查有无假接和缩颈现象。一般在饱和软土地层中,从砂井内均可见到地下水,效果好者还会溢出地表。

(2)横向排水系统

包括砂垫层、土工织物以及滤水管和吸收管等,见图 5-14。

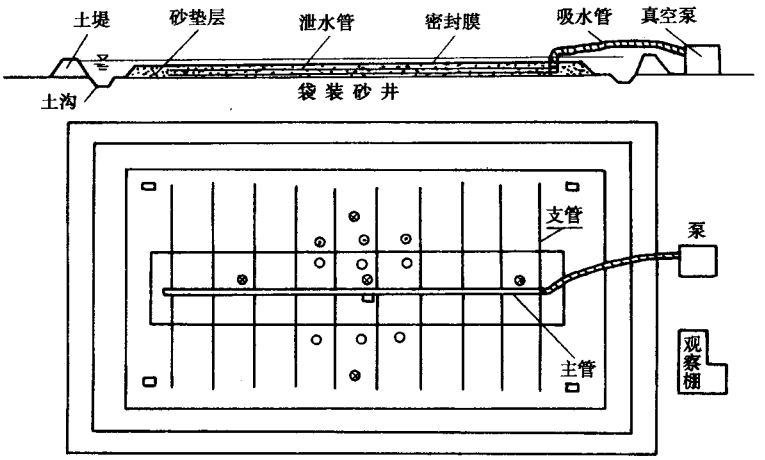


图 5-14 横向排水系统示意图

图中符号表示量测内容,⊙表示土中真空度,□表示膜下真空度,⊗表示膜上沉降,○表示空隙水压力。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

砂垫层用中、粗砂，无草根杂物，含泥量小于5%，分两次铺设。第一层铺好后，安水管，装好后再铺第二层砂，铺设厚度按设计要求，层面要平整。安装滤水管的排列方式，分为鱼骨状和环状。前者有主管（ϕ89mm）和支管（ϕ50mm），支管间距为4～5m，管上按30～40mm的间距钻滤水孔（ϕ8mm），管外用滤水布和棕皮包好扎牢。后者是取消主管，所用滤水管均按支管的规格和处理方法，间距为3～4m。各连接件的二通、三通、四通接头连接件均应严密，以防泥砂进入。为增加其透水性，也可以用塑料板在砂垫层内水平方向上纵横布置并与滤管连接，从而起到改善横向排水的作用。

3）密封系统

（1）密封系统由编织布、塑料薄膜、土沟和土堤组成，如图5-14所示。

（2）铺膜前将砂垫层顶面整平，并清出一些带棱角的坚硬物，如尖石、瓦砾等，然后铺设编织布一层，塑料薄膜两层，并要宽出砂垫层1.5～2.0m。编织布用针缝接，塑料薄膜用热粘接，连接必须牢固。上下层膜之间的纵横搭接缝要尽量错开。

（3）铺膜时选择无风或小风天气进行，并顺风向铺设。薄膜四周铺到土沟内，回填粘土压实，将膜压住。土沟外侧筑一土堤，堤顶高出膜面0.2m。

（4）试抽气时，膜上不覆水，如果膜下真空度始终上不去，说明有漏气的地方，漏气之处往往会发出吱吱的声音。发现后应立即修补，等设备运转正常，膜上、膜下真空度表读数均上升后，即可在膜上覆水。覆水的目的在于压住薄膜，防止被风刮起撕破，此外也加大了对软基的荷载压力。

4）量测系统

量测系统由真空表、孔隙压力器、沉降板和观测房等组成。其布设过程分以下三步。

（1）建造临时值班室、观测房及中心控制室，准备好所用的电器材料。

（2）在铺设砂垫层前，要埋设真空表测头、孔隙水压力器测头和沉降板，并分布于加固软土地基的不同部位（按设计要求办理），在砂垫层铺设过程中，还要按设计要求在垫层中埋设上述量测仪表，见图5-14。

（3）安装控制操纵台、电器控制和照明线路以及测试管线，测读各项观测读数，并应详细记录，为今后分析之用。

（三）机械和材料

真空预压加固软土地基所需的机械见表5-5，所需材料和性能见表5-6。

真空预压加固软土地基所需机械　　表5-5

名　称	单　位	数　量	说　明
抽真空装置	套	1～2	由电动机、单极单吸离心泵、清水高压射流泵、真空发生器、蓄水箱等组成，现已有生产
真空表	套	4～8	
孔隙水压力器	套	4～8	有钢弦式和双管式两种
沉降板	套	4～8	
水平仪	台	1	
静力触探仪	台	1	
十字板剪力仪	台	1	
发电机	台	1	

真空预压加固软土地基所用材料　　表 5-6

材料名称	规格及性能要求
滤水管	
主管	ϕ89mm 镀锌钢管
支管	ϕ50mm 镀锌钢管，上钻 ϕ8mm 滤水孔，孔间距 $S=30\sim40$mm
滤水布	塑料编织布
棕皮	清洁干燥
塑料绳	
密封膜	
编织布	丙纶、涤纶、维纶等合成制造的编织布
薄膜	聚氯乙烯制，其抗拉强度、耐酸碱、耐腐蚀、耐老化、水稳性均需要符合设计的要求
吸水管	橡胶软管，其耐腐蚀、耐老化性能均需符合设计要求

（四）工程实例

1）以天津新港为例，真空预压作业时间为 90～120d，软基深度为 17～21m，沉降量一般在 110～140cm（包括施工沉降），含水量比加固前减少 17%～20%，孔隙比缩小 18%～22%，容重增加 5%以上，抗剪强度一般提高 80%左右，十字板强度提高了 65%～100%。对软基深层固结起到了加速作用，减少了工后沉降，效果十分显著。

2）某高速公路应用真空预压法对 1—1.0m 钢筋混凝土箱涵的软土地基进行加固，空载真空度大于 99.3kPa。预压持续 70d，地面沉降 35.5cm，地基承载力由 60kPa 提高到 124.6kPa，满足了工程要求。

3）天津新港港区有 48 万 m^2 的新吹填土超软地基需要加固，该地基是在自重下还未完全固结的欠压压密土，地面以下 20m 范围内的土层为淤泥、淤泥质粘土或淤泥质亚粘土，属于高压缩土，采用真空预压加固地基，打设排水板 20m。加固后土体固结度、强度、残余沉降量均满足了设计要求。

4）在天津港南疆进港公路三期软基加固工程中，膜下真空度保持在 85kPa 以上，抽真空有效时间 150d，地面平均沉降 1.1m，地基承载力达到了设计要求的 80kPa，满足了工程要求。

（五）关于几个问题的认识

1.关于地基回弹问题

为了缩短施工周期，往往要进行超载预压。当超载预压部分卸载时，有时会有回弹现象。天津新港真空预压卸载回弹了 3～4cm，据介绍沪宁路卸载后回弹了 6～8cm。既然有回弹现象，那么会不会工后不再产生沉降呢？

从土力学角度来分析，在有水存在的土质中，在外力作用下，发生三种变形、即弹性变形、塑性变形、蠕变。前一种是可恢复的，后两种是不可恢复的。路基卸载后发生回弹就是因为弹性变形而引起的。因为在堆载预压期间，一部分孔隙水应力消失了，而另一部分空隙水应力，由于预压时间短，仍然存在。当卸载时，垂直应力对地基的法向应力减弱，这一部分没有消散

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

的孔隙水应力失去平衡，重新占据土颗粒空间，使土颗粒骨架扩张，从而形成路基回弹。

由于土体固结是一个十分缓慢的过程，有的土质需十几年以上才能彻底固结，地基不再产生沉降。而我们的施工周期不可能这么久，因此，在处理过的软基上，会产生工后沉降。

回弹现象是一个不容忽视的问题，特别是高速公路，桥涵构造物很多，如果处理不好，在竣工初期就可能导致路基与桥头错台，造成跳车，影响行车安全。

2.堆载预压两侧隆起现象

对于透水性较差的软弱地基，在堆载预压的法向应力作用下，土颗粒中的孔隙水应力加大，为了保持应力平衡，一部分自由水排出地基，另外的自由水则流向加固区的两侧，由于这些多余的水分子渗到土颗粒间，使土颗粒发生体积膨胀，从而引起地基隆起，直接构成对加固区域的威胁。为解决这一问题，往往在加固区两侧增设一定高度的反压护道或在堆载下面增设塑料板桩或砂井，便于土颗粒间的大部分自由水和空气沿着纵向排水通道排出地基，从而达到消除地基隆起现象。

3.中间与边缘沉降的差别

真空预压软基加固完成卸载后，被加固的软基中间沉降量大于四周，总沉降量中间与边缘相差 30～40cm。出现这种情况是由于加固区四周与外界土接触，当真空抽气时，临界土颗粒间的自由水会源源不断输送进去，这样，就会形成了被加固的四周软基内土颗粒间的自由水相对更多于中间部分土颗粒间的自由水，因此，四周的固结就没有中间的快。同时与之相应的软基加固后相邻地基也会受到影响，地基向加固区侧移，形成开裂，真空预压可以影响到边界外 8.0m 的范围，有时造成加固区周围房屋开裂，影响其他构造物的安全。

三、真空预压加堆载预压法

真空预压加堆载预压法是两种软基加固方法的有机结合。它的设计原理基本与真空预压法相同，所不同之处是真空预压加固后，最多使软基达到 0.09MPa 的承载力，而当构造物所需的荷载大于 0.095MPa 时，则由堆载预压来补充，从而使地基满足设计的要求。它比单一的堆载预压节省大量地材，缩短了一半以上的预压时间，而且避免了因单一堆载预压荷载过大、时间过长而可能出现的软基失稳现象。

在施工中应注意的是，应待真空抽气稳定后，才能进行堆载。在膜上 0～80cm 厚度内，应用粘性土和砂性土配合人工和小推车进行回填，特别是接触第一层堆料中，不允许混杂带有棱角的坚硬物，必要时可挑捡出去，以免将膜刺破。

当回填到 80cm 以上时，可用汽车直接送料，从而加快工程进度。

第六节　垂直排水法

砂井、袋装砂井、塑料排水板等，均属竖向排水的方法。天然地基的固结排水过程在路堤中间是竖向的。根据固结理论，软粘土固结所需的时间和排水距离的平方成正比，为了加速地基的固结，最有效的方法就是增加土层的排水途径，缩短排水的距离。

砂井、塑料排水板等竖向排水体，就是为此目的而设置的。土层中的孔隙水主要是从水平方向通过砂井排出，部分从竖向排出，从而大大缩短了排水距离，在短时间内可以达到较高的固结度，如图 5-15。

按照使用目的，排水固结法可以解决以下两个问题。

1)沉降问题。使地基的沉降在加载预压期间大部分完成或基本完成,使建筑物在使用期间不致产生不利的沉降和沉降差。

2)稳定问题。加速地基土抗剪强度的增长,从而提高地基的承载力和稳定性。排水固结法由排水系统和加压系统两部分组合而成。

一、砂　井

砂井施工工艺恰当与否,直接影响砂井的排水效果。因此工艺的选择主要考虑三个问题:

1)保证砂井连续、密实、并不出现缩颈现象;

2)施工时尽量减少对周围土的扰动;

3)施工后砂井的长度、直径和间距应满足设计要求。

对于砂井施工通常采用以下几种方法。

1.套管法

是将带有活瓣管尖或套有混凝土端靴的套管沉到预定深度,然后在管内灌砂后,拔出套管,形成砂井。

根据沉管工艺的不同,又分为静压沉管法、锤击沉管法、锤击静压联合沉管法、振动沉管法等。

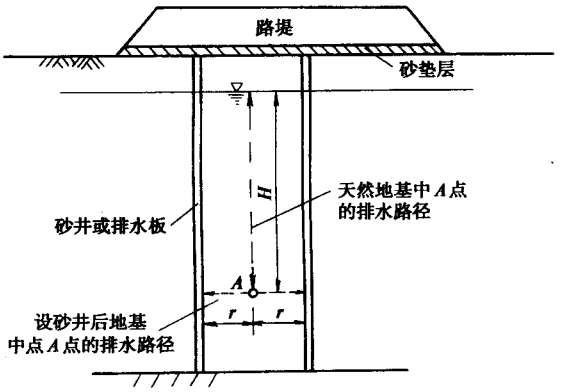


图 5-15　地基 A 点排水路径比较

1)静压、锤击联合沉管法。用此法施工往往在提管时,由于砂的拱作用力及与管壁的摩阻力,易将管内砂柱带上来,使砂井断开或缩颈,影响砂井排水效果。

2)振动沉管法。用振动打桩机将设计直径的套管沉入到预定的深度,在提管的过程中填砂形成砂桩,砂桩要想密实,必须慢速振动提管,同时要灌水,使管内水饱和,管在振动下沉过程中,土体受震动而液化,同时受到侧向挤压,使得土体结构重新分布,达到提高密实度减少孔隙的目的。

采用该法施工不仅避免了管内砂随管带上,保证砂井的连续,同时砂受到振密,砂井质量较好。

应用振动沉桩工艺时,激振力与套管的直径及长度的关系可参照表 5-7 选用。

激振力参考表　　表 5-7

套管直径 (cm)	长　度 (m)	参考激振力 (kN)
20	4 ~ 10	20 ~ 120
30	5 ~ 15	100 ~ 250
40	10 ~ 25	200 ~ 400

2.水冲成孔法

此法是通过专用喷头,在水压力作用下冲孔,成孔后经清孔,再向孔内灌砂形成。采用此法施工时,有两个环节需特别注意。

1)控制好冲孔时水压力大小和冲水时间,这实际和土层性质有关,当分层土的性质不同,而用相同水压时,会出现成孔直径不同的现象。

2)如孔内泥浆未清洗干净,砂中含泥量增加,会使砂井渗透系数降低,这对土层的排水固结是不利的,如泥浆排放疏导不好,也会对水平排水层带来不利的影响。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

水冲成孔工艺，对土质较好且均匀的粘性土是较适用的，但对土质较软的淤泥，由于成孔和灌砂过程中容易缩孔，很难保证砂井的直径和连续性。对于夹有粉砂，薄层的软土地基，若压力控制不严，水冲成孔时易出现串孔，对地基扰动比较大。

水冲成孔法设备比较简单，对土的扰动较小，但在泥浆排放、塌孔、缩颈、串孔、灌砂等方面，还存在一定的问题，有待解决。

3.螺旋钻成孔工艺

以动力螺旋钻钻孔，提钻后向孔内灌砂而成砂柱。此法适用于陆上工程，砂井长度在10.0m以内，且土质较好，不会出现缩颈、塌孔现象的软弱地基。此法所用设备简单而机动，成孔比较规则，但灌砂质量较难掌握，对很软弱的地基也不太适用。

二、袋装砂井

1.概述

袋装砂井加固软土地基的基本原理是根据巴伦固结理论，即粘性土固结所需时间与排水距离的平方成正比，与土的渗透系数成反比。砂井是人为地形成排水通道，缩短排水距离，同时使垂直排水固结变成水平排水固结，加快排水速度，加快软土固结，提高抗剪强度目的。

由于普通砂井在施工过程中，容易产生缩颈，砂不易密实，以及砂井在施工挤压及承载工作阶段地基的变形，可能使砂井切断。且用砂量大，材料及施工费用较高，故近年来袋装砂井及塑料排水板，逐步在国内外得到广泛的发展应用。

2.设计原则

袋装砂井的直径、间距和长度，应根据工程地质条件、荷载的大小、工期、对固结度的要求、允许的剩余沉降值等，通过固结理论计算来确定。

1)直径和间距

根据固结理论，缩小砂井间距比增大砂井直径能使加固效果更显著，设计时采用“细而密”的方案比“粗而疏”的方案效果好。一般袋装砂井直径选用7cm，井距一般为1.0～2.0m，相当井径比15～30。当砂井长度大于20m时，宜采用直径10cm的砂袋。

2)砂井深度

砂井深度是软土层排水固结效果的决定因素之一，而排水固结效果与固结压力的大小成正比。当地基深处的附加应力很小时，砂井的作用就很小了，故砂井有一个最佳有效长度。对于以地基的稳定性为控制的工程，如路堤等，以滑弧稳定分析来确定砂井深度，砂井深度以超过最危险滑弧深度为好。

3)砂井平面布置及砂垫层

砂井平面布置一般采用等边三角形和正方形两种形式。三角形布置比正方形排列紧凑，采用较多。砂井的布置范围一般比路堤范围宽一些，这是因为路堤以外一定范围内地基仍然产生由于路堤荷载作用而引起的压应力和剪应力，路堤以外的地基土如能加速固结对提高地基的稳定性和减小侧向变形以及由此引起的沉降是有好处的。

为了保证袋装砂井内渗出来的水能顺利排出，在砂井顶部一般铺设30～60cm厚的砂垫层，袋装砂井应伸入砂垫层内20cm。砂要求用中粗砂，含泥量小于3%。

当加固面积较大时，需设置纵横盲沟，在纵横盲沟交叉处设排水井，用水泵排出。砂垫层的边部用干砌片石，以利排水和防止砂垫层砂的流失。加固区应设排水沟，以构成较完整的排水系统，这是软基处理的关键。袋装砂井布置见图5-16。

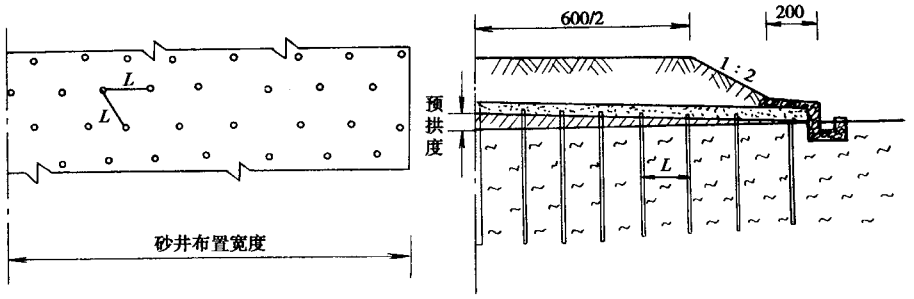


图 5-16　砂井布置示意(单位:cm)

3.袋装砂井施工

1)施工前的准备工作

(1)审查和熟悉图纸、设计文件和施工技术规范,并进行技术交底。根据设计宽度、桩距、深度绘制袋装砂井平面布置。

(2)测量放样,恢复定线,直线部分 10m 设一中桩,曲线部分 5m 设一中桩,并同时放出边桩,井孔定位放样,应经复核无误。

(3)根据设计要求,选择合适的塑料袋及粗、中砂进场,并应通过质量检测。

(4)按照工地土质情况,选择打设机具型号,振动锤型号,并运至施工现场,检查保养。

2)操作步骤(图 5-17)

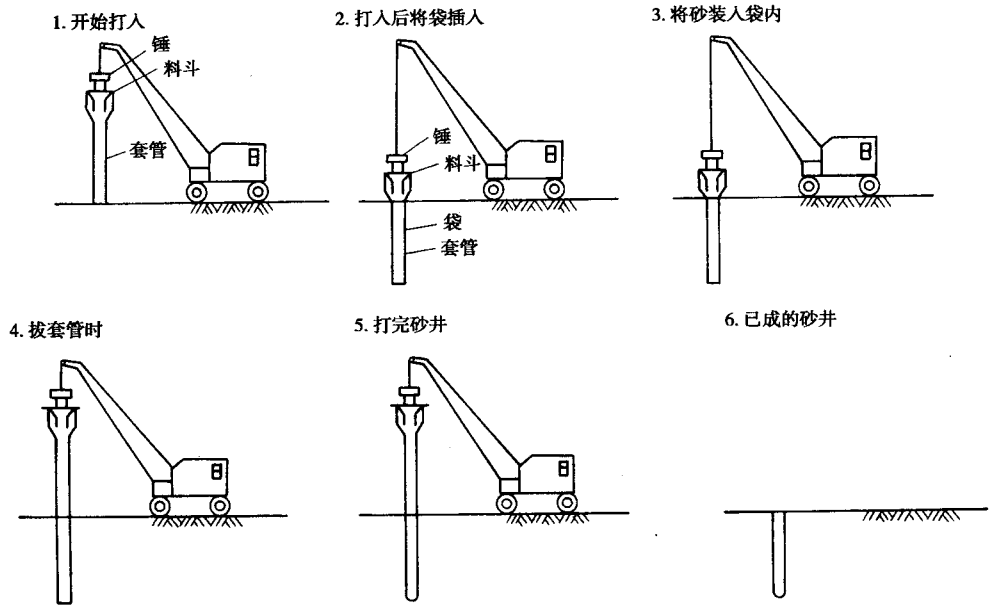


图 5-17　袋装砂井施工步骤

(1)机械就位。打设机械沿路线方向自外向内施打,机械就位后,套管应对准桩位,缓慢放下。套管底端应有可开闭底盖或有预制桩尖。

(2)施打或沉入套管。井孔定位后,沉入或施打到土基内,直至设计深度。施打时,开动振动锤后应缓慢进行,并随时检查套管的垂直度。

(3)穿入砂袋。扎好砂袋下口后(袋长比井深约长 1.0m),在其下端放入 20cm 左右的砂,作为压重,将袋子放入套管中沉入到要求的深度。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(4)就地灌砂。将袋口固定在装砂用的漏斗上,灌入砂。灌砂时应边落砂边向砂袋内注水,并振动以利灌砂顺畅密实,直至砂溢出砂袋。

(5)检查砂袋中砂的饱满程度,当发现不足时,应继续二次灌砂,直至砂满为止。然后一边把压缩空气送进套管,一边缓慢提升套管,直至拔出。

(6)用铁锹将露出的砂袋桩头埋入砂垫层中。

(7)也可用预制砂袋沉放,先在袋内装满砂料,扎好上口,成为预制砂袋,运往现场,弯成圆形,成圈堆放,成孔后将砂袋立即放入孔内。

3)施工中注意事项

(1)施工前要进行试打,取得实际数据。施工中特别要注意打设深度及减少回带现象。

(2)减小成孔直径,可以减少对孔壁的挤压,从而减少涂抹效应的影响。在施工中一般限制成孔外径在107mm以内。

(3)定位要准确,砂井垂直度要好,以确保实际排水距离与理论计算一致。

(4)确定袋装砂井施工长度时,应考虑袋内砂体积减小、孔内的弯曲、超深等因素,以免砂袋全部深入孔内,造成与砂垫层不连接。

(5)砂料含泥量要小,这对于小断面的砂井尤为重要,因为直径小,长细比大的砂井,其井阻效应较为显著,一般含泥量要求小于3%。

(6)砂袋入口处的套管口应装设滑轮,避免砂袋刮破而漏砂。聚丙烯编织袋在施工中,应避免太阳长时间直射。

(7)施工中要经常检查桩尖与套管口的密封情况,以免套管内进泥太多,影响质量。

4.机械及成孔设备

成孔方法,可根据机械设备条件进行比较选择。目前所采用的有如下五种施工方法:锤击沉入法、射水法、压入法、钻孔法以及振动贯入法等。且均有专用的施工设备,一般为套管式的振动打设机械,只是在进行方式上有所差异。各种成孔方法所选用的机械及工效,见表5-8。

成孔方法及主要机械工效参考 表5-8

成孔方法	机具总质量(t)	主要机械设备	平均成孔时间	工效	
				平均	最高
锤击沉入法	1.0	1t绞车(卷扬机)1台,55kW电机1台,0.6t锤1个	12min 43s	22min 50s	18min 37s
射水法	0.5	0.5t绞车1台、75TSW—7水泵1台	100min	115min 32s	12min
压入法	4.0	1t绞车2台、3t绞车2台	15min	30min	
钻孔法	1.0	100型钻机1台	60min	75min	
振动贯入法		kM_2—12000A型振动打桩机1套	30s	8min	6min

5.质量要求

1)原材料控制

(1)砂应采用渗透系数大于 1.0×10^{-5}m/s,小于0.08mm的颗粒含量小于5%,有机质含量小于1%,不均匀系数大于5.0%和细度模数必须大于2.4的中粗砂。

(2)砂袋的隔土性应小于0.08mm。

(3)抗拉强度和延伸率应符合设计要求。

(4)袋装砂井的孔径一般为7~12mm。其孔距、孔深及平面排列形式,均要符合设计规定。一般以细、长、密的效果较好。

2)效果检测

加固区的地基,应在加固前后钻取土样,对土的物理力学性能作出比较,并进行现场十字板剪切试验,以检验加固后的效果。

3)袋装砂井实测项目,(见表5-9)

袋装砂井实测项目 表5-9

项 次	检 查 项 目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	井间距(mm)	±150	抽查2%
2	井长度	不小于设计	查施工记录
3	竖直度	1.5%	查施工记录
4	砂井直径(mm)	+10,-0	挖验2%
5	灌砂量	5%	查施工记录

注:此表摘自《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—98)。

三、塑料排水板

塑料排水板作为垂直排水通道,可代替常用的砂井排水法。其滤水性好,能确保排水效果,并且有一定的强度和延伸率,具备适应地基变形的能力,板截面尺寸不大,插放时地基扰动小,施工方便。

1.塑料排水板的性能及规格

1)塑料排水板由芯板和滤膜组成。芯板是由聚丙烯和聚乙烯塑料加工而成,且两面均有间隔沟槽的板体。土层中固结渗流水通过滤膜渗入到沟槽内,并通过沟槽从横向排水垫层中排出。由于塑料排水板所用材料不同,其结构也各有不同,见图5-18。

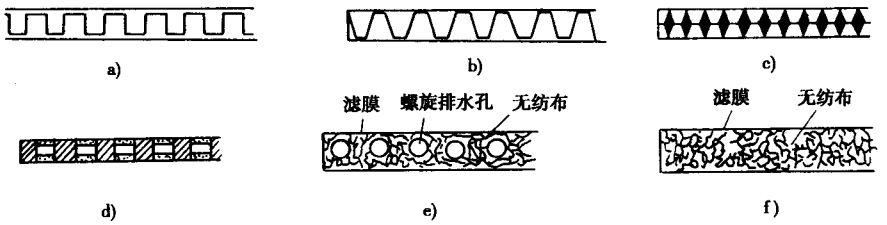


图5-18 塑料排水板的结构

a)Ⅱ槽型塑料板;b)梯形槽塑料板;c)Δ槽塑料板;d)硬透水膜塑料板;e)无纺布螺旋孔排水板;f)无纺布柔性排水板

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)各种类型塑料排水板要求的性能,见表 5-10,以便选用时参考。

塑料排水板性能 表 5-10

项目 \ 指标 \ 类型			TJ—1	SPB—1B	SVD2	日本
断面结构						
外形尺寸(mm)			100×4	100×4	100×7	100×1.6
材料	板芯		聚乙烯、聚丙烯	聚氯乙烯	聚乙烯	聚乙烯
	滤膜		纯涤纶	涤纶无纺布		
纵向沟槽数			38	38		10
沟槽面积(mm^2)			152	152		112
板芯	抗拉强度(Pa)		210	170	150	170
	180°弯曲		不脆不断	不脆不断	不脆不断	
	扁平压缩变形					
滤膜	滤膜单位重力(N/m^2)		0.65(含胶 40%)	0.50		
	抗拉强度(Pa)		30	44.3	107	
	耐破度(N/cm)		71.7	51.0		
	撕裂度(N)	干		1.34		
		饱和				
	顶破强度(N)		103			
	渗透系数(cm/s)		1×10^{-2}	4.2×10^{-4}		12×10^{-2}

我国目前生产的塑料排水板,有南京生产的聚氯乙烯梯形槽塑料板及天津塘沽塑料制品厂生产的聚丙烯、聚乙烯梯形槽塑料板等等。

2.塑料排水板施工

1)施工工艺及机械

(1)施工机械基本可与袋装砂井打设机械共用,只是将圆形套管改为矩形套管。对于目前我国应用的两用打设机械,其振动打设工艺、锤击振力大小,可根据每次打设根数、套管断面大小、入土长度及地基均匀程度具体决定。一般对均匀软粘土地基,振动锤击振力可参照表 5-11 选用。

振动锤击振力参考值 表 5-11

长度(m)	导管直径(cm)	振动锤击振力(kN)	
		单管	双管
>10	130~146	40	80
10~20	130~146	80	120~160
>20		120	160~220

(2)插板机多为振动打入式,其中包括导架、驱动套管下沉的振动锤、绞车以及安放排水板的卷筒和防风装置等等。配备数量,可根据工程量大小、工期要求自行决定。插板机如图 5-19 所示。

(3)安装套管靴、桩尖和塑料板连接。

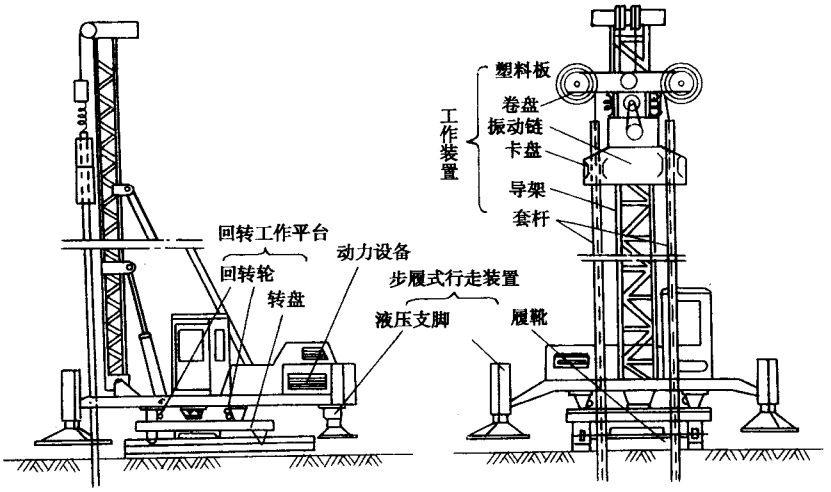


图 5-19　LJB—6 型步履式插板机

套管不仅应有足够的强度和刚度，同时还应有较小的截面，以减少对周围土体的扰动。

塑料排水板通过套管，从套管穿出并与桩尖相连，套管连同塑料排水板顶住桩尖，压入土中。塑料排水板与桩尖连接的方式一般有三种，如图 5-20 所示。

(4)开机插板。插板机就位后，通过振动锤驱动套管对准孔位下沉，排水板从套管内穿过，与端头管靴相连并顶住排水板插到设计深度。

但在插板机提升过程中，普遍存在不同程度的回带，如果回带过长，则会影响加固效果。因此施工规范规定，不得超过 50cm，且回带的根数不宜超过设计总根数的 5%。在打设过程中，应保证垂直度符合要求，以满足加固地基在深度方向上的均匀性。

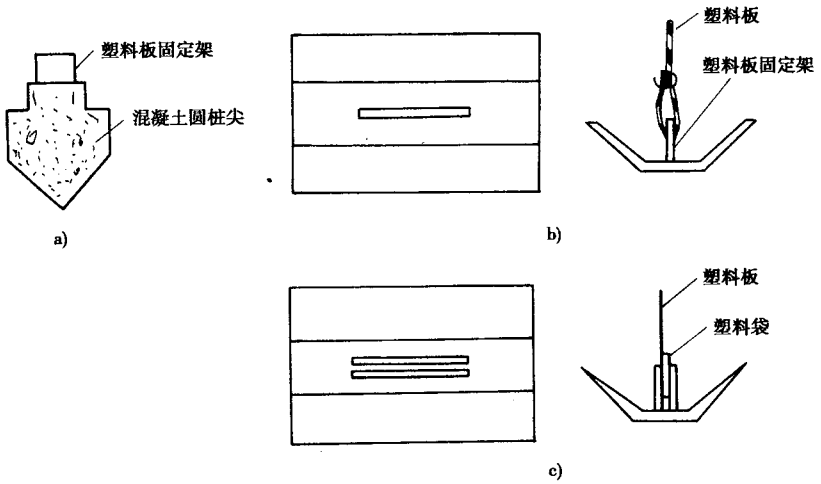


图 5-20　桩尖连接方式

a)混凝土圆桩尖；b)倒梯形桩尖；c)楔形固定桩尖

(5)剪断排水板。排水板外露长度不小于 25cm，并埋入砂垫层中并做出标记，以防止塑料板随地基沉降而降至砂垫层以下，形成排水系统的脱节，同时也便于检查打设的数量和间距。

2)施工中的注意事项

(1)塑料排水板插入过程中防止淤泥进入板芯，堵塞输水通道而影响排水效果。

(2)塑料板与桩尖连接一定要牢固，避免提管时脱落，将塑料板带出。凡带出 2.0m 以上

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

的，均应作废补打。

(3)严格控制间距与深度，桩尖与套管配合要适当，避免错缝，以防淤泥进入，增大塑料板与套管壁的摩擦力，易使塑料板带出。

(4)塑料板必需接长时，应采用滤水膜内平搭接的连接方法，以保证输水畅通并具有足够的搭接强度，搭接长度不小于20cm，连接方法如图5-21所示。

3.质量标准

1)基本要求

塑料排水板质量和板底标高必须符合设计要求，排水板下沉时不得出现扭结、断裂等现象，其顶端必须按规范要求伸入砂垫层。

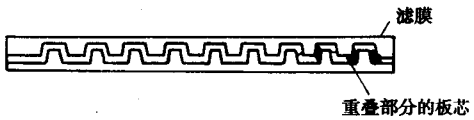


图5-21 塑料板接头断面示意图

2)实测项目(见表5-12)

塑料排水板实测项目 表5-12

项 次	检 查 项 目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	板间距(mm)	±150	抽查2%
2	板长度(m)	不小于设计	查施工记录
3	竖直度	1.5%	查施工记录

注：①本表摘自《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—98)；

②塑料排水板间距要求均匀。

四、施工实例

(一)砂井

1.工程概况

宁连一级公路连云港段全长52.0km，路基宽24.5m，双向四车道，除桥头引道外，平均填土高度为2.5～3.0m。

本工程分三个施工段落，即南城至宋跳段，长11.7km，南城至马圩段长38.58km和新沂河大桥段长2.93km。软土段集中在前两段，其中又以南宋段的地基最差，采用挤密砂桩、砂垫层和填土预压的综合方法。

本路段位于江苏北部黄海之滨的海积、冲积平原地区。路线所通过的软基地段，地下水位高，软土层分布长，厚度大，物理力学指标差。软土天然含水量高，为43.2%～74.5%；天然孔隙比较大，为1.03～2.1；压缩性大，其压缩系数一般均大于0.5kPa^{-1}，最大的为2.61kPa^{-1}；渗透性差，承载力极低等。

2.南宋段砂桩施工工艺

1)平整清理场地，绘制好桩位平面图按顺序编号。

2)填筑三角垫层，用全站仪按大地坐标实地放样，用木桩或竹签定出每根砂桩的具体位置。

3)埋设沉降标。

4)南宋段砂桩直径为0.42m，长度控制为打设进入淤泥层并穿透，放在强度较高的持力层上(约11m左右)，以确保砂桩的施工质量，提高承载力。

5)采用振动沉管打桩机和其他辅助设备，振动沉拔桩锤功率为42kW以上。桩管直径上

部为37.7cm,下部(1~2m范围)为41.0cm,进料口根据桩长可增设一个。如8.0m砂桩在4.0m处增设一个,桩尖采用活动四瓣式。砂采用中、粗砂,标准应满足设计要求。

6)主要工艺及注意事项

(1)用振动沉拔锤将桩管打至处理地基的设计深度,并进入持力层50cm为止。进入持力层的标志,以在振动锤激振力作用下,桩管下沉速度小于20cm/min,或电流表值是否超过55A为准。

(2)向桩管内投砂时,应边投边灌水,使其达到饱和状态。

(3)提升管前留振1min后,边开振动锤边均匀缓慢提升桩管,提升速度控制在1.0m/min,且每升1.0m,留振0.5min,等拔管到一半左右,再边振动边继续投砂灌水,直至将桩管提升到孔口。

(4)考虑到淤泥受到已施工群桩侧向挤压作用,使得相邻未施工地基产生应力集中,破坏原地基应力动态平衡,造成一段时间的塑变过程。为避免因移位,而造成的塌孔、缩颈现象,桩位施工顺序应按隔行隔列跳着施工。

(5)灌砂量是砂桩施工主要控制指标,可通过试桩和试验综合分析考虑,本工程松散系数为1.28~1.30,据此计算出每米投料量及设计桩长总投料量。

(6)拔出桩管后提带的淤泥应及时清理以免影响排水效果。

(7)人工干砌护脚,开挖临时排水沟,回填50cm砂垫层。

3.砂桩质量检测

1)密实度检测

密实度检测可在成桩后一个月进行,采用标准贯入试验的方法进行。

标贯试验检测仪器由适当的钻机和标贯器组成,其中锤重63.5kg,自由落距76cm,探杆ϕ42mm。检测按贯入度30cm的锤击数为准。

检测依据国标《岩土工程勘察规范》(GB 50021—94)及《建筑地基处理技术规范》(JGJ 179—91)。其标准为:

0~3.0m每贯入30cm的$N_{63.5}$锤击数不小于7;

3.0~7.5m每贯入30cm的$N_{63.5}$锤击数不小于15;

7.5m以下每贯入30cm的$N_{63.5}$锤击数不小于18。

2)载荷试验

载荷试验分别进行单桩承载力和复合地基承载力试验,并均按设计要求进行。

(二)塑料排水板

1.工程概况

沪杭高速公路第六合同段所经区域为杭嘉湖平原,地质情况比较复杂。本地区50m以浅地层自上更新纪以来,经受3次海浸并相应沉积了三层海相软土层,表面为冲积—海积亚粘土层。第一软土层埋藏浅,厚度在1~8m;第二软土层为巨厚层,厚度在10~20m之间,属淤质软土。根据设计文件,本工程需打设塑料排水板79 333根,总计长达902 436.1m,其间距和打设深度,由钻探地质资料而定。间距有1.5m和2m两种。呈梅花形布置,深度由8.0~20.0m不等。

为保证按时完成任务,共投入六台机组进行施工。第六合同段长19.905km,其中7.1km需打设塑料排水板。从1995年8月开始,至1996年1月完成。

2.材料技术指标

我们在塑料排水板进入施工现场后,都要取样并委托浙江水电科研所作试验检测,各项指标均应符合表5-13的要求,否则一律清退出场,从而保证了处理软基的效果。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

塑料排水板技术指标　　表 5-13

项目			单位	设计板深		备注
				< 15m	> 15m	
材料	芯板			高压聚乙烯	高压聚乙烯	
	滤膜			涤纶无纺土工布	涤纶无纺土工布	
复合体	厚度		mm	4.5 ± 0.2	6.0 ± 0.2	
	宽度		mm	100 ± 2	100 ± 2	
	每延米质量		g	105 ~ 115	120 ~ 130	
	抗拉强度		kN/10cm	> 1.3	> 1.5	
	伸长率		%	< 10	< 10	
	纵向通水量		cm^3	> 30	> 40	侧向力为 350kPa
滤膜	单位面积质量		g/m^2	> 90	> 90	
	抗拉强度	干态	N/c	> 20	> 20	延伸率 10%
		湿态	N/c	> 15	> 15	延伸率 15%
	渗透系数		cm/s	5×10^{-4}	5×10^{-4}	
	有效孔径		μm	< 75	< 75	O_{98}

3.排水板施工技术要求及技术措施

通过本工程的施工实践,我们总结和制定了以下几项具体的技术要求和技术措施,较大幅度地提高了塑料排水板的打设施工质量。

1)在打设的施工机具上刻有明显的进尺标志,以控制塑板的打设深度,并经监理现场检测认可。

2)塑板外套滤膜应保证完整无损,进入现场前由专人负责检查,发现滤膜有破损处,应采用相应的措施,进行弥补。

3)打设前应先了解地下有无障碍物,如电缆等,然后平整场地,按设计要求铺设一定厚度的砂砾垫层。

4)工艺流程见图 5-22。

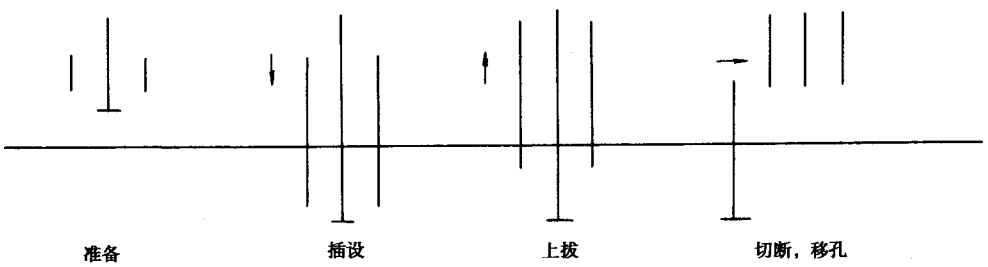


图 5-22　工艺流程

5)打设过程中,当塑板所定的进尺长度不够时,不允许使用搭接法延续长度,以保证塑料排水板打设后的排水性能。

6)施工前测量并绘制点位图确定塑板的打设位置,并留有明显的标记。打设机上设置人工操作控制的机械平衡装置,保证打设机械的平衡度和垂直度。

7)打设后外露出施工面 30cm 的塑板不能切断,将其埋在砂垫层中。打设施工完成后,应尽快进入下道移孔工序,不宜过多地延长时间。

4.施工中注意事项

施工中主要应从三个方面控制,分别是打设深度、间距以及竖直度。

1)打设深度要受地质环境、插板机型、套管及锚靴形状等多种因素影响。当套管回拔时,是在被拔升一段距离后才吃带,这就是通常所说的"回带",那么这一回带值到底有多少呢?所以塑排施工前,都要试打几根,根据回带长度,决定套管打设深度。

但有些地段,地质复杂,也很难用打设深度来控制,尤其是淤泥质软土地段。施工中尽管采用这样或那样办法,但仍难免回带的发生,因此一般要求回带长度不大于 50cm,当大于此值时,要采用在该塑板周围梅花状补打的方法补救。

2)因砂砾垫层在施工中有一定的拱度要求,这样插板机在垫层上很难保持平衡,如直接打设塑板,不仅容易造成塑板扭曲,也不易满足垂直度要求。所以打设前要调正插板机保持平衡。

3)塑板打设前要根据图纸,并经详细复核,放出每一根桩的位置,确保间距正确,尤其是边角部位,以免漏打。

4)套管上拔时带出的泥土,一般都围堵在砂砾垫层与排水板上端周围,这圈泥土将减少排水板与垫层的联系。如带到孔口的为淤泥或淤泥质土,还有可能阻断塑板与垫层的联系,这种情况称之为"死井"。

为防止"死井"的发生,一定要清除干净塑板与垫层接壤处的泥土,然后用与垫层同样砂料补填,使其排水畅通,塑板发挥正常排水作用。

5.关于搭接延续问题

当排水板所定尺寸长度不够时,不允许使用搭接延续。我们提出不允许搭接的理由是,塑料板由芯板和外套滤膜组成芯板的两面有数个 2.5mm × 1.6mm 的排水槽,不管以任何一种方式搭接延续,芯板的排水沟槽都不能很好地贯通,而影响到排水性能。

通过现场施工实践,我们对芯板搭接延续过的塑板进行细致观察,发现排水量甚少,而且与搭接的深浅位置有很大关系。为防止出现搭接和塑板的浪费,应根据不同的区域和加工深度,先计算出每根排水板打设深度,再确定每盘塑板打设根数及总长度,提供给厂家每盘长度按此值生产产品。

每根塑板的长度是根据打设深度、露出地面长度、蛇形弯曲和板靴挂入量来计算确定。因此我们在施工中使用以下公式来计算确定每一根塑料排水板的长度。该公式为:

$$S = S_d + S_y + S_s + S_b \tag{5-7}$$

式中:S——每根排水板的长度,m;

S_d——打设深度,m;

S_y——预留出地面长度,m;取 0.2 ~ 0.3m;

S_s——蛇形弯曲量,m;

S_b——板靴挂入量,m;取 0.3m。

上式中蛇形弯曲量应根据不同的地质条件及打设深度经现场试验检测后确定。施工中,测得的实际数据经汇总分析,蛇形弯曲量 $S_s = 0.011S_d$。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

对于塑料排水板延续问题，尚需进一步研究探讨，因为有的单位持有不同看法。蛇形弯曲量的确定，在工程中虽有一定的实用价值，但对于每一工程、每一地质条件都须进行试验检测，增加了一定的工作量。因此，这项工作应进一步广泛展开，以积累数据，建立经验公式和经验系数，以提高施工效率和工作质量。

第七节　粉　喷　桩

一、粉喷桩固结原理

粉喷桩是以石灰或水泥等粉体作为固化材料，通过专用的粉体搅拌机械，用压缩空气将粉体喷到软弱地层中，凭借钻头叶片，在原位进行强制搅拌，形成土和掺合料的混合物。通过水泥的水解水化作用，使其产生一系列的物理—化学反应，从而产生一种特殊的、具有较高强度、较好变形特性和水稳定性的混合柱状加固体，它对提高软土地基承载能力、减少地基的沉降量有明显效果。

水泥加固体的强度，取决于被加固土的性质，如含水量、有机质含量、烧失量等，以及水泥品种、标号、掺入量和外加剂。其强度随着水泥掺入量的增加而增大，强度标准值，宜取试块28d龄期的无侧限抗压强度为准。

二、粉喷桩设计

主要是计算出加固后的复合地基承载力，原则上是天然软土地基承载力不能满足设计时均可利用搅拌桩进行加固处理。尤其是100kPa以下的低承载力软土地基，加固后复合地基承载力可达240kPa以上。

复合地基承载力标准值可按下式计算：

$$f_{SPY} = nm'f's_k + (1 - m')f's_k \tag{5-8}$$

式中：f_{SPY}——复合地基承载力标准值；

n——深层水泥桩与桩基上的应力分担比，根据实测取值范围3～5；

m'——深层水泥桩膨胀后的面积置换率，$m' = (0.5 \sim 1.8)f'$；

s_k——原状土承载力标准值。

对于一般路基，经计算，如工后沉降量大于45cm，则宜采用粉喷桩处理软基。桩基桥台位置经计算工后沉降量大于30cm，则应对其台前及台后的地基用粉喷桩处理。

粉喷桩的桩径一般为50cm，设计的桩长宜穿透软土层并达到持力层内50cm。桩距与土的性质有关，一般间距为1.2～1.5m，桩位在平面上呈梅花形或矩形分布。

粉喷桩加固料宜采用强度等级为42.5的普通硅酸盐水泥，水泥用量可根据土的天然含水量不同而变化，参考值见表5-14。

水泥用量参考表　　表5-14

天然含水量(%)	≤50	50～70	>70
水泥用量 (kg/m^3)	50	55	60～65

三、粉喷桩的适用范围及特点

1.适用范围

本法适用于淤泥质土、粘性土、粉土、杂填土且天然含水量大于30%的软弱地基的加固。

研究表明对含有多水高岭石、蒙脱石等松土矿物的软土，效果较好，对含有氯化物和水铝石等粘土矿物、有机质含量高、pH 值低的粘土加固效果稍差。

在高路堤桥头接线处或深度在 10.0m 以内的处理效果更为明显。

2.特点

粉喷桩加固软土地基与其他软基处治方法相比，具有以下特点。

1)该法在软基中采用钻头搅拌钻孔成桩，对地基及周围建筑物扰动很小。

2)以粉体作为固结料，不需向地基注入附加水分可以充分地吸取地下水，加固后的地基柱体承载力与相类似的高压喷射注浆法相比要高，其固结效果更好。

3)该法加固水泥土桩与周围土体形成复合地基，不需预压即可获得较高的复合地基承载力及复合变形模量，加固体的压缩量仅为 0.6%左右。下卧层沉降量一般情况也能减少地基沉降总量的 1/3～2/3。

4)施工作业简便，机械及配套设备易于解决，且低压操作、安全可靠、无污染、无振动、无噪声。

5)根据不同土质条件及设计要求，分别选择加固材料种类，如水泥、石灰粉、钢渣粉等。以较小的投入即可达到理想的加固效果，成本低、效益高。

四、粉喷桩施工

1.施工工艺流程

粉喷桩施工工艺流程如图 5-23 所示。

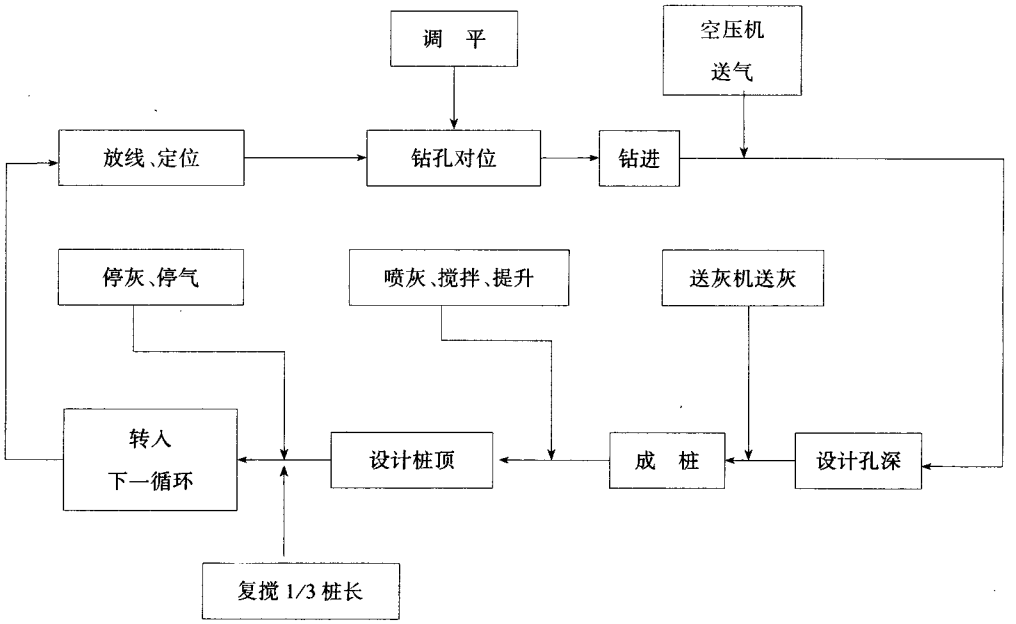


图 5-23　施工工艺流程

2.常用施工工艺参数

粉喷桩常用施工工艺参数见表 5-15。

3.施工机械

1)钻机

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

钻机是粉喷桩施工的主要成桩机械。它必须满足以下条件：①动力大、扭矩大，适合大直径钻头成桩，钻头直径一般为50cm；②具有正向转进、反转提升的功能；③提升力大，并能实现匀速提升。

粉喷桩常用施工工艺参数 表5-15

序　号	参　数　名　称	单　位	参　数　值	备　　注
1	搅拌转速 n	m/min	27～80	
2	原位土搅拌次数 t	次	$t \geqslant 25$	
3	提升速度 v	m/min	0.5～1.7	$v \leqslant HZn/t$
4	喷　粉　量 q	kg/min	q	$q = \pi D^2 \rho_d \alpha_w v/4$
5	空气压力	MPa	0.25～0.8	
6	钻进速度 v_p	m/min	0.5～0.8	

注：ρ_d——土的干密度，kg/m³；D——粉喷桩直径，m；Z——钻头叶片总数；H——叶片垂直投影高度；α_w——固化剂掺入比。

过去一般使用的钻机有上海探矿机械厂和铁四设计院联合研制的GPP—5型Ⅰ、Ⅱ两种，加固深度分别为12.5m和18.0m。随着不断地改进，粉喷桩专用机械日趋成熟，发展成为现在的PH—5A、PH—5B、PH—5S、PH—5D等多种型号的粉喷桩机。

2)喷粉机

喷粉机是定时设置发送粉体材料的设备，它是粉喷搅拌法加固软土地基施工机械中的关键设备。粉体发送机的工作原理，可见图5-24。

由空气压缩机送来的压缩空气，通过节流阀调节风量的大小，进入“气水分离器”，使压缩空气中的气水分离。然后“干风”到达粉体发送器喉管，与“转鼓”定量输出的粉体材料混合，成为气粉混合体，进入钻机的“旋转龙头”，通过空心钻杆喷入地下。

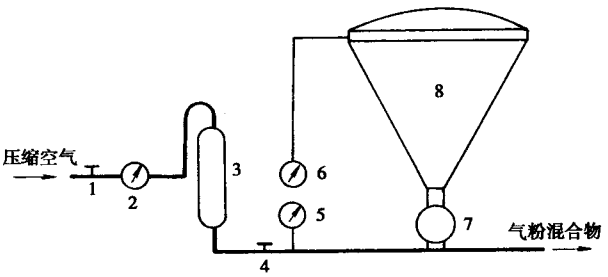


图5-24　粉体发送机的工作原理
1-节流阀；2-流量计；3-气水分离器；4-安全阀；5-管道压力表；6-灰罐压力表；7-发送器转鼓；8-灰罐

粉体的定量输出，由控制转鼓的转速来实现。施工前须按照加固工程的地质条件，通过室内试验，找出最佳粉体掺入量。根据施工时钻机的提升速度、钻机转速、搅拌钻头的类型，选用合理的粉体发送量。

3)空气压缩机

粉体喷出，是以空气压缩机作为风源。空压机的选型，主要以加固工程地质条件和加固深度为依据。

粉体喷射搅拌法是以机械强制搅拌，气粉混合体只需克服喷灰口处土及地下水的阻力而喷入土中。旋喷法则是依靠高压脉冲泵所喷射的高压水来破坏土层。因此，粉喷桩所用压力不需要很高，空压机的风量也不宜太大。

4)搅拌钻头

粉体喷射搅拌法凭借搅拌钻头叶片的搅拌作用使灰粉与软土混合。因此钻头的形状直接

影响灰土搅拌效果。钻头的形式，应保证在反向旋转提升时，对柱中土体有压实作用，而不是使灰、土向地面翻升，而降低柱体质量。

5)计量装置

该装置用于监测粉喷桩施工中粉体输入量的连续性及均匀性的装置，及时掌握钻机在粉喷过程中，喷入软土层的水泥数量，它能逐段逐层分析粉体的输入量。通过安装在粉体发送机上调孔装置，使输入量能满足设计要求，并能自动记录及打印。

4.施工操作

1)工艺性试桩

开工前应先进行工艺性试验，其目的在于提供满足设计要求喷粉量的各种操作参数。如管道压力、灰罐压力、钻机提升速度、喷粉机转速等。并验证加固料的搅拌均匀程度及成桩质量，了解下钻及提升的阻力情况，并采用相应的措施，确保成桩质量。一般工艺性试验的桩数，每个场地不少于3～5根。

2)就位

钻机井架上必须设置标准而又显著的深度标志尺。钻机就位时必须调平，用水平尺来测定粉喷机械的水平，用经伟仪测定钻机井架垂直以确保成桩的垂直度，如图5-25①。

3)开钻

钻机就位后，开始送气，钻进。严禁没有粉体计量装置的粉喷机投入使用，钻进时的钻孔深度一般由钻机上的深度计来控制。送气的目的可使钻进顺利、负载扭矩小和防止钻头喷口堵塞。随着钻进，加固的土体在原位受到搅动，如图5-25②。

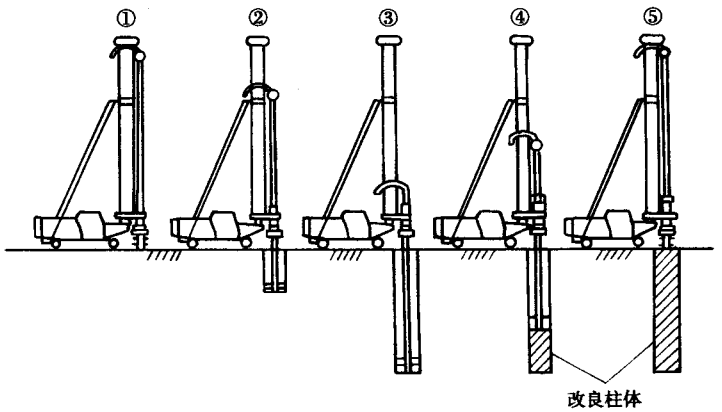


图5-25　粉体喷射搅拌法施工顺序

4)喷粉

当钻至设计深度时，即可停钻，如图5-25③。继而就可提升钻杆同时喷粉。加固料从料罐到送灰口有一定的时间延迟，严禁在没有喷粉情况下进行钻机提升作业。针对时间上的间隔，在开始提升时可适当地在此停留2～3s，随后便可提升喷粉，如图5-25④。

在提升时要严格注意灰罐的压力。在地面以下3.0m的喷粉压力应控制在0.25～0.3MPa，并应注意喷粉计量器的数字是否有规律的变动，如发现管道不畅通，同时灰罐压力在增大，就说明钻头的送灰孔已经堵塞，必须进行现场处理。送灰时的粉体不能有间隔，也不能时多时少、时有时无，以保证充分拌和和混合料的均匀性。

5)提升结束

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

当钻头提升到距离地表 30～50cm 时，发送器即可停止向孔内喷粉，成柱结束，如图 5-25⑤。

6)复拌

此时可停止粉喷，复拌深度不应小于设计桩长的 1/3，且不小于 5.0m，目的在于确保粉喷桩粉体的均匀性和强度稳定性。

5.现场质量控制

1)粉喷桩施工的检测

(1)施工中检测，主要是检查桩位、桩长、喷灰量、复搅长度以及是否进入硬土层等。对每批进场水泥，应作抽检，并不得有受潮结块或其他杂物。

(2)对成桩的检测一般在成桩 28d 后，在桩体上部开挖截取三段(0.7m、1.0m、1.5m)进行桩身无侧限抗压强度试验及检查桩径。检查频率为 1%～2%。在桩中心可用钻机采取岩芯，检查桩身的连续性和桩长。对每个场地可进行 2～3 处原位静载荷试验，检查复合地基的承载力。并作好施工原始记录，如表 5-16。

粉喷桩施工原始记录表

施工单位　　桩号　　日期　　表 5-16

单桩编号									
1	喷粉深度(m)								
2	灰面标高(m)								
3	灰罐压力(kPa)								
4	管道压力(kPa)								
5	钻进速度(m/min)								
6	提升速度(m/min)								
7	搅拌速度(m/min)								
8	气体流量(L/min)								
9	重复挖拌桩长(m)								
10	粉体加入量(kg)								
11	粉体总量(kg)								
12	粉体喷入量(kg)								
13	每延米粉体用量(kg)								
14									
备注		监理意见							

主管　　复核　　记录

2)基本要求

水泥强度等级应符合设计要求，根据成桩试验确定的技术参数进行施工。严格控制喷粉时间、停粉时间和水泥喷入量，发现喷粉量不足时，应整桩复打，喷粉中断时，复打重叠孔段，应大于 1.0m。

3)实测项目

粉喷桩施工允许偏差，应符合表5-17的要求。

粉喷桩实测项目 表5-17

项次	项目	单位	允许偏差	检查方法和频率
1	桩距	mm	±100	抽查2%
2	桩径	mm	不小于设计	抽查2%
3	桩长	mm	不小于设计	查施工记录
4	竖直度	%	1.5	查施工记录
5	单桩喷粉量		符合设计	查施工记录
6	强度	kPa	不小于设计	抽查5%

注：本表摘自《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—98)。

五、施工实例

(一)施工实例简介

1)1991年曾于天津塘沽新港吹填软土区，采用粉喷桩加固31万m^2。桩长5m，累计深度30 070延米。

2)1992年沪宁高速公路A标段(上海安亭至苏州唯亭)，桥头连线及路基软土段，采用粉喷桩加固处理，共累计深度95 833延米。

桥头连接线部分的粉喷桩，实施长度L的选定，主要以满足桥头路基工后沉降量和粉喷桩长度进行决定。当桥梁为斜交时，增设三角加固区。

(二)淮江高速公路J-3-4标段粉喷桩施工实例

1.工程概况

淮江高速公路J-3-4标段，由公路局五公司扬州项目经理部施工，该标段位于江苏宝应县境内，属里下河古泻湖蝶状淤积平原区。地势低洼，地面基准高程一般为2.0m，略有起伏，呈北高南低之势，地下水位一般在地面以下0.4~1.5m。

设计粉喷桩地段为K57+200~K60+450段。该段内地表土层为灰黄色粘性土，软塑—可塑，高压缩性，厚度为0.6~2.9m(I层)。在此层以下，普遍分布着灰色淤泥，流塑状态，高压缩性土层，厚度达5.6~7.9m(II层)，容许承载力为40~50kPa。该层是用粉体喷射法加固的重点，以下即为性能较好的灰色或灰黄色粘土，亚粘土层，呈硬塑—可塑状态，为良好的下卧土层。

根据设计要求，该段采用粉体喷射搅拌桩进行软基处理，用于粉喷桩的水泥为干粉，水泥喷入量50kg/m，桩身标准强度大于2.0MPa，根据不同的土层采用不同桩距和桩长(设计上桩长以打穿淤泥层进入硬土层50cm为原则)，桩距一般为1.0~1.5m。为确保粉喷桩施工安全及施工质量，当钻头提升至地面高程下50cm时，应停止粉喷，而只搅拌；同时应采取复拌措施，第二次搅拌时不喷粉，复拌深度为桩长的1/3并不小于5m，复搅下钻、提钻速度同第一次。粉喷桩桩顶50cm，采用水泥回填。

2.施工工艺及控制过程

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)一般工艺流程如图 5-26。

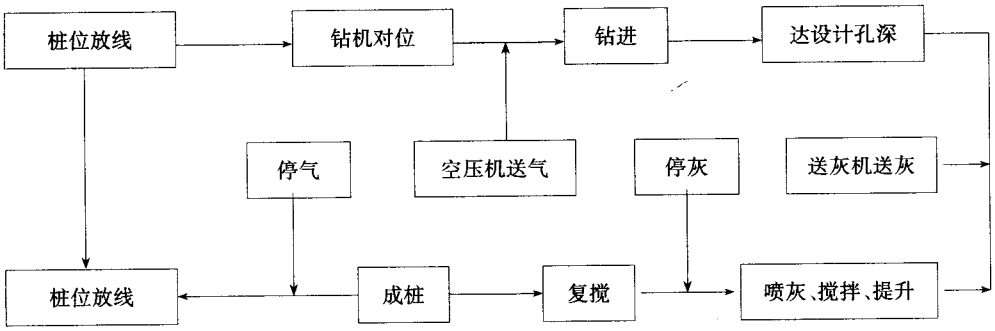


图 5-26　工艺流程

2)施工中采用的工艺参数有:①钻进速度:$v = 0.5 \sim 0.8$m/min;②提升速度:$v_p = 0.5 \sim 0.8$m/min;③搅拌速度:$R = 30 \sim 50$r/min;④钻体流量:$Q = 20$L/sec;⑤空气压力:$P = 0.2 \sim 0.4$MPa。

3)喷灰量的控制

在粉喷桩施工过程中,喷灰量的控制难度最大。因该标段大部分粉喷桩为业主指定分包,到场施工单位的粉喷桩机仅部分有水泥计量秤。在施工过程中,对有电子秤的钻机实行数字仪表监控,对没有电子秤的钻机,经省、市高指同意,采用以桩组为单位进行加灰量控制。考虑到每袋水泥量不足,根据现场抽检,取其平均值每袋水泥按 48kg 控制。如设计桩长 6m,按 6 根一组控制减去桩头 20cm 预留灰量,一次应往灰罐中加 30 袋水泥(1 440kg)。加水泥前请自检人员和监理一同认可,5 根桩施工完毕后再打开灰罐请自检人员和监理检查是否喷完,如喷完则认为这 5 根桩喷灰是符合设计要求,记录上按平均值记录,如发现有剩余,且剩余量大于总灰量的 1%,则认为此组 5 根不合格,重新在 5 根桩旁边重新施打。

3.桩头"空洞"现象发生经过

1997 年 11 月 14 日起在部分地段施工中多次出现粉喷桩桩头"空洞"现象,其中主线 K58 + 046 ~ K58 + 175、K58 + 410 ~ K59 + 000、CK0 + 276 ~ CK0 + 377 及 EK0 + 593 ~ EK0 + 602 路基东半部分尤为严重。后经与驻地监理工程师商量进行桩加长尝试,并改进钻头进行施工,部分桩头不再出现"空洞",但仍有部分地段出现"空洞"现象。该情况上报省市高指后,省、市高指和设计院多次就此事召开专题会议,并在现场进行了三级旁站试桩,在试桩过程中仍有部分桩出现"空洞"现象。与此同时设计院对出现"空洞"桩体及原状土进行取样分析,并于 12 月初召开了专家评审会,会上对产生"空洞"现象的原因进行了分析,并提出了解决措施。

4.原因分析

从地质勘测资料来看,出现桩头"空洞"现象的地段为全标段地质条件最差的地区,其软土呈淤泥状态,天然含水量 53.7% ~ 81.7%,天然孔隙比 $e_0 = 1.016 \sim 2.233$,液限 47.0% ~ 72.8%,塑限 24.0% ~ 31.5%,塑性指数 22.9 ~ 41.3,液性指数 1.0 ~ 2.51,为很高压缩性土,固结系数 $0.3 \sim 0.74 \times 10^{-3}$cm^2/s,抗剪强度 $C = 6.1 \sim 8.0$kPa,$\varphi = 1.50 \sim 12.5°$,承载力为 40 ~ 60kPa。据河海大学土料土工试验成果表明,J-3-4 标段大部分地段为弱膨胀土。现将出现"空洞"的原因分析如下。

1)设计原因

(1)由于本地区地表为硬土层,淤泥层分布在下层,其天然含水量一般在 50% ~ 80%之间,局部大于 80%,孔隙比在 1.0 ~ 2.3 之间,淤泥结构形式为蜂窝状或棉絮状,疏松多孔,在钻

头进行钻进并搅拌时淤泥发生骤变，承载力急剧下降，使上部水泥和淤泥混合物下沉形成桩头“空洞”。

(2)设计过程中在进行地质勘探时距离过远，在实际施工过程中发现部分地层起伏较大，而设计桩长是按沿路线中心勘测地质资料所确定的，因此部分地方设计桩长过短，不能穿透淤泥层，造成悬浮淤泥和水泥混合物下沉。

(3)设计喷粉时管道压力为 0.25 ~ 0.4MPa，由于淤泥阻力及极限承载力很小，孔隙比较大，因此在提升喷灰至桩上部时，将水泥及桩身淤泥压入桩周围土体空隙中，造成桩体上部空洞。这一点可以从变更设计后已施工部分地段按15.8%置换率均匀补桩时钻进困难来证明。

2)施工工艺原因

(1)由于粉喷桩机本身的局限，水泥在管道内有一段行程时间前后台仅能通过人工控制，难以使水泥在提升钻头的同时到达桩底，当钻至设计深度后提升钻头并同时喷灰时，水泥未能到达桩底，因此桩底有一段无灰。

(2)螺旋钻头在钻进时，将孔内上部土体带出孔外，造成桩体土量锐减。

3)设计方面其他不足之处

(1)根据铁道部《粉体喷射搅拌法加固软弱土层技术规范》(TB 10113—96)规定含水量大于 60%的软土层不适宜用粉喷法进行地基加固，且 pH 值大于 4 或膨胀土地基亦不宜用喷水泥法进行加固，而应用喷生石灰粉进行加固。

(2)部分地段设计桩距过大，桩体对土的置换率过小，不能形成复合地基，其抗剪强度和工后沉降不符合上部土体受力及规范要求。

5.处理措施

针对以上原因分析，设计院于 1997 年 12 月 12 日下达了“淮江线 J-3-4 标粉喷桩问题的有关意见”一文，文中对置换率、桩长、桩距、喷灰量进行了变更设计，同时对施工工艺提出了更高的要求，其处理措施如下。

1)“空洞”处理

对已发生的“空洞”采用 8%石灰在桩顶上回填夯实，并重新在“空洞”孔侧补桩。对以后再发生的“空洞”，应即用素土回填，重新下钻喷粉进行接桩处理，重叠长度不小于 1.0m，直到成桩为止。

2)变更设计。

(1)增大置换率。已施工完成的正常桩，由于桩距调整，需要进行补桩的，应在所完成范围内按置换率 15.8%均匀补桩。未施工的段落范围内，设计桩距大于 1.2m 的，均调整为 1.2m。

(2)桩长调整。桩长必须以打穿软土层进入硬层 0.5m 为准，现场采用双控：一是根据设计院增补静力触探(每隔 20m 一个断面，每个断面 3 个点)显示深度控制；二是以钻机电流明显增大为进入硬土层的标志，施工和监理单位均应增加上述记录。

(3)加桩。原设计处理宽度的基础上每侧各增加 2 排(原桩外，桩长、桩距与所在段落相同)以加固路基边坡，使之稳定。

(4)水泥用量调整。K57 + 200 ~ K58 + 036 段，粉喷桩采用 55kg/m，K58 + 036 ~ K59 + 212 及宝应互通所有匝道粉喷桩均采用 60kg/m，其他段落仍采用 50kg/m。

3)施工方法调整

(1)钻进顺序以环形施工为准，即先钻外围 2 ~ 3 桩，形成闭合圈后，再施打圈内桩。

(2)钻头改为叶片式钻头。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(3)喷粉机必须具有水泥喷入量的计量装置(流量计或电子秤)。

4)施工工艺和参数调整

(1)钻进速度≤1.0m/min,管道压力控制在0.1~0.2MPa之间,以不堵塞钻头喷粉口为原则。

(2)提升喷粉速度小于0.8m/min,管道长度一般不大于60m,摆放平顺。超过60m的应采取保证喷灰量的措施,但最大长度不得大于80m,在提升前应提前喷粉(提前喷粉时间由各机组试喷确定)。

(3)所有粉喷桩均进行全程复搅,以保证水泥和土搅拌均匀,复搅提钻时,提升速度小于1.0m/min。

6.处理效果

从粉喷桩施工情况来看,变更设计后较少出现桩头下沉现象,唯已施工完毕部分地段按15.8%置换率均匀补桩钻进异常困难,有的因之扭断钻杆,打坏钻机变速箱。从此点也可说明有部分水泥已喷入桩周的土体内,使之形成板块。因此,后来有关单位,同意取消此项加桩施工。

施工完成后,经有关部门对该标段粉喷桩施工质量按规范要求进行了检验,结果表明,抽检的2‰桩体无侧限抗压强度均符合设计要求。从目前路基沉降很少情况来看,变更设计后的处理效果还是不错的。

(三)深层搅拌桩

1)深层搅拌桩是软土地基处理的一种方法,现已在许多高速公路和房建的软土地基处理上得到了广泛运用。其原理虽与粉喷桩相同,都是通过水泥与土体发生一系列物理、化学反应而形成的具有一定强度和足够水稳定性的水泥柱,来达到加固地基的目的。但在施工工艺上有所不同。

深层搅拌桩以水泥浆作为加固料,比粉喷桩承载力要高,喷浆较粉喷桩喷灰要均匀,施工监控比较方便,其固结效果更好。

2)如南疆非泊位立交桥桥头引道软基处理,加固区搅拌桩采用桩长10m,桩径50cm。顺接刚性路面的沉降与变形部分,路基加宽1.5m。采用桩长5.0m,桩径不变,桩距1.5m,水泥用量为53kg/m,并掺入拌水石膏,掺量为水泥用量的2%,其28d无侧限抗压强度和复合地基承载力,均大于真空预压及堆载预压。

深层搅拌桩施工完后100d左右,沉降量基本稳定,而真空预压需要140d,堆载预压需要6~12个月。通过现场应用,实测了STB型深层搅拌机的施工效率,每台班可加固40~50延米,进度较快,并基本消除桥头跳车和错台现象。据统计,包括材料费、机械费、人工费等等,制作每延米搅拌桩约需80元。

3)1998年在津滨高速公路八合同段通道的软土地基中,均采用深层搅拌桩,经质量检测,都符合设计要求,见表5-18。

复合地基承载力试验表 表5-18

试验点编号	桩号	桩长(m)	龄期(d)	复合地基承载力基本值 f_0	对应沉降(mm)	备 注
1	393	12	>28	70kN(单桩)	8	
2	418	12	>28	116kPa	9	桩头破坏
3	331	12	>28	115kPa	9	

第八节　强夯、挤密碎石桩对液化地基的处理

一、概　述

连徐高速公路是国家重点工程，是连云港至霍尔果斯欧亚大陆桥的东桥头堡。该路西段(徐州段)跨越黄淮冲积平原东南部，路线有近一半处于液化土不良地质地段。由公路局承接的标段为该路段的试验段。通过试验段施工中的反复试验，为液化地基处理提供了成功的经验。本文将从液化土的形成条件、工程特性和处理措施等几个方面，简要介绍该路段液化地基处理施工的情况。

二、液化土形成的原因

1.土的液化机理

松散的砂土和粉土，在地下水的作用下达到饱和状态。如果在这种情况下土体受到震动，土就会有变得更紧密的趋势，这种趋于紧密的作用，使孔隙水压力骤然上升，而在这短暂的震动过程中，骤然上升的孔隙水压力来不及消散，这就使原来由土颗粒间接触点传递的压力(有效压力)减小，当有效压力完全消失时，土层会完全丧失抗剪强度和承载能力，变成像液体一样，这就是土的液化现象。

由此可见，发生液化现象，多是松散的砂土和粉土，而且要受到震动和水的作用。

2.液化条件

1)地质条件

黄淮冲积平原是由历史上黄河泛滥泥沙沉积而成。从2000多年前的周定王五年(公元前602年)黄河第一次大改道南徙，到入宋以后，黄河多次泛滥成灾。而后，1077年的澶州曹村大决口和1855年的兰考城北黄河大决口，使徐州平地积沙8～10m，这几层土都处于松散状态，标准贯入度 N 值只有3～5击/0.3m，形成了沿线液化土层的基本条件。

2)地下水的作用

砂土和粉土只有在饱和状态下，才会发生液化，而松散的砂土和粉土，在地下水位以下时才能达到饱和状态。因此，地下水的作用和地下水位的高低是影响液化的重要条件。

在7度地震区域，地下水位高于6.0m，地震时就易发生液化。而徐州地区地下水丰富，地下水埋深只有0.5～1.5m，这就具备了液化形成的必不可少的条件。

3)外力的作用

饱和的砂土和粉土在外力如地震作用下，抗剪强度很快丧失。砂土的抗剪强度 τ 可用下式表示：

$$\tau = (\sigma - u)\tan\varphi \tag{5-9}$$

式中：σ——剪切面上外力作用下的法向应力；

u——剪切面上孔隙水压力；

φ——土的内摩擦角。

地震时，土体受到强烈的震动，孔隙水压力 u 急剧增高，当 u 与总法向应力 σ 相等时土体抗剪强度 $\tau = 0$，此时，地基失去承载力。

地震烈度愈高的地区，地面震动愈强烈，土层就愈容易液化。一般在6度以下的地区，液

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

化现象很少发生，但7度以上的地区，当地面加速度超过0.13g时才发生液化。当地面加速度为0.16g时，液化就相当普遍了。

连徐路西段7度地震设防区域，具备了地基液化的外在条件。

3.地基液化的影响因素及液化的判别

地基土体液化在具备上述基本条件的情况下，还与地质年代、土颗粒粒径、土的密实度等因素有关。土是否会液化，还需要根据多项指标来综合分析判断。当符合某种条件时，可不考虑液化影响。

1)地质年代

年代久远的沉积土，经过长时间的固结作用和地震的影响，土的密实程度增大，从而形成胶结紧密的结构。地质年代愈久，土层的固结度、密实度和结构性也就愈好，液化的可能性就越小。调查表明，地质年代在第四纪晚更新世(Q3)以前的饱和土不会发生液化。也就是说，该路段只有在Q4地质年代的土层，才具有可液化性。

2)土颗粒粒径和粘粒含量

土颗粒愈细愈容易液化，当土的平均粒径在0.1mm时，抗液化能力最差。土层中粘粒(粒径小于0.005mm颗粒)增加，土的粘聚力增大，抵抗液化的能力增强。当粘粒含量超过10%时，7度地震不会引起土体液化。

土的粘性可用塑料指数 I_P 来定量分析，当土的塑指 $I_P \leqslant 10$ 时，土体可液化性大。该路段表层30~50cm以下至8~10m间的土层，塑指 I_P 一般在9.5~10之间，从而证明其具有可液化性。

3)上覆层厚度与土层的埋深

有资料表明，土质的液化深度，很少有超过15.0m的，更多的是小于10m。上覆层土层具有抑制液化土层的喷砂冒水作用，在7度地震区域，当覆盖层厚度超过7.0m时，可不考虑液化。

连徐路西段上覆土层厚度只有0.5~1.0m，上覆土层对液化翻浆的抑制作用很小。

4)土的密实度

有关资料分析表明，相对密度小于50%的砂土，地震时普遍发生液化，而相对密度大于70%的土层，不大可能发生液化。

液化的进一步判别，可采用标准贯入试验进行，详细情况在本文“效果检验”中介绍。

4.液化土的工程特性

1)液化等级的划分

液化指数综合反映各种因素的影响和液化的危害程度，液化指数按下式确定：

$$I = \sum_{i=1}^{n}\left(I - \frac{N_i}{N_{cYi}}\right) d_i W_i \tag{5-10}$$

式中：I——液化指数；

n——15.0m范围内饱和土层中标准贯入点总数；

N_i、N_{cYi}——分别为 i 点标贯锤击数实测值和临界值；

d_i——i 点所代表土层厚度；

W_i——i 土层考虑单位土层厚度的层位影响权函值，m；$W_i = 15 - D_{si}$，D_{si}为该层土中点的深度，$D_{si} \geqslant 5.0$m。

当 $0 \leqslant I \leqslant 5$ 时，为轻微液化；当 $5 \leqslant I \leqslant 15$ 时，为中等液化；当 $I > 15$m时，为严重液化。

2)液化土的分布

本路段可液化土在全线呈间断分布。液化土层以 Q_{411}及软塑亚砂土及粉细沙、$I_P \leqslant 10$ 的亚粘土为主。液化厚度在 1.5～8.0m 之间,埋深 0～8.0m,以严重液化为多。

3)液化土的直观特性

可液化土都具有较好的保水性能,含水量接近 50%时,泌水也非常缓慢。刚挖出来的土,外表看起来没多少水分,但轻轻的拍一拍,土的表面就会上来水分,土体就会颤悠。在地基处理过程中,机械震动引起液化之后,表面的硬土层就像是漂在水面一样,踩上去跳动,可以引起几米以内的漂动。液化土和表面的硬土层就如鸡蛋的蛋清和蛋壳,表层一旦破坏,翻砂冒浆随即发生,下面的液化土,就像蛋清一样往外冒,图 5-27 为液化地段表层破坏后翻砂冒浆的场景。

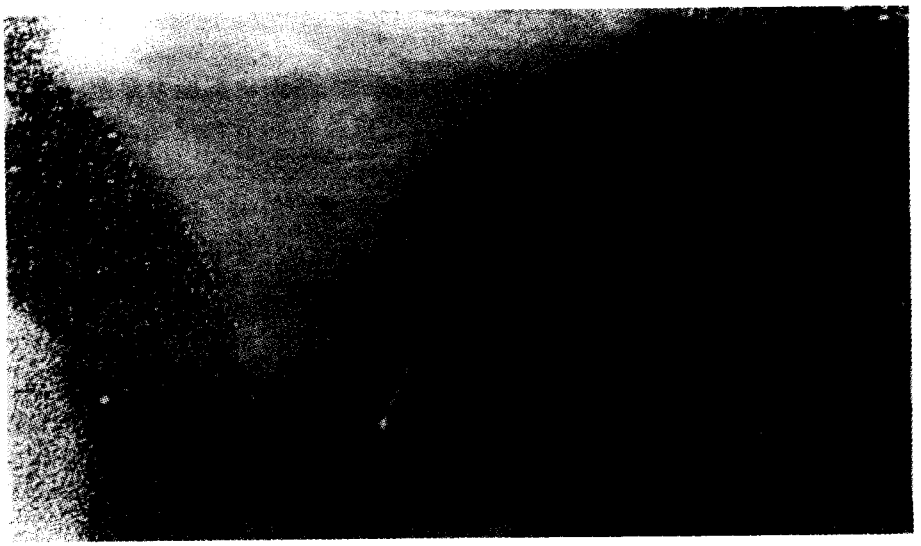


图 5-27　液化

三、液化地基处理措施

液化地基处理的基本原则,就是提高土层密实度和改善排除孔隙水的条件,增大其透水性。考虑到高速公路与工民建相比有涉及范围大、发生震害产生的损失小和修复相对容易等特点,从经济上考虑,连徐路砂土液化路段不做全部处理,经过试验段确定了如下处理方案。

对中等以上的液化地基,大型桥梁采用碎石桩加固;对严重的液化地基,构造物基础原则上以碎石桩处理,若处理段与强夯处理相连时,采用强夯全幅处理;对于高路堤,强夯至坡脚外 3.0m;路堤中心两侧各 10.0m 范围内不进行主夯和副夯,只进行满夯;对于存在软弱薄层的中等以上可液化段,进行全幅处理。

实际发生震害时,两侧坡脚往往容易发生喷砂冒水,而导致路基边坡以外地基和路堤共同沉陷和滑移破坏,所以坡脚至边沟外缘部分需全部进行加固。对于一般路基,根据液化产生的规律,中心线两侧各 10m 范围内不做处理。

1.强夯处理

1)强夯的作用机理

强夯法是通过重锤自由落下,在极短时间内对土体施加一个巨大的冲击能量,这种冲击能,又转化成各种波型(包括压缩波、剪切波和瑞利波),使土体强制压缩、振密、排水固结和预压变形,从而使土颗粒趋于更加稳固的状态,以达到地基加固目的。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)强夯参数的确定

不同的土质其加固效果各异，对砂性土、粉土和其他塑性指数 $I_P \geqslant 10$ 的土，采用强夯效果明显。本路段主夯与副夯采用 1 500kN·m、2 000kN·m、3 000kN·m 三种夯击能。满夯采用700kN·m、800kN·m、1 000kN·m 三种夯击能。

强夯参数，应选有代表性路段，由试夯进行确定。

例如 E7 标段，分别采用不同夯击能和夯点布置，通过试夯分析和检测效果发现了问题，及时调整了参数。原设计强夯参数与试夯调整后的强夯参数对比，见表 5-19。

强夯参数调整表 表 5-19

项目名称	试夯前	试夯后	备注
垫层厚度(m)	0.5	1.0	
加固深度(m)	16.1 8.10 11.0	10 9.4 7.1	
最佳夯击能(kN·m)	5 000 3 000 4 000	3 000 1 500	
每点击数(次)	5	3	
夯点间距(m)	5.5	5	
夯击遍数	3	3	
间歇时间(d)	根据试夯决定	3	
垫层材料	砂砾	碎石	
夯点布置	四个主夯点中间加一副夯点	四个主夯点中间加一副夯点	

3)强夯施工

(1)强夯机械的选用

本路段强夯主要有两种类型的机械，见图 5-28。

一种是起重能力 50t 的覆带吊，另配 18～20t 的铸铁夯锤。另一种是 20～25t 起重能力的吊机配 16～20t 的夯锤，这种夯机吊臂顶上须配辅助门架。因此，每个夯点须移动一次吊机，而且移动速度慢，效率较低。相比较使用大吨位吊，移动方便，每移一次机可打 3～4 个夯点，效率要比带龙门架的夯机高出近一倍。

(2)夯点布置和夯击遍数

夯点采用正方形布置见图 5-29。主、副夯 1 500kN·m、2 000kN·m、3 000kN·m 三种夯击能对应的间距分别为 4.0m、4.5m、5.0m。满夯时夯点搭接 1/4 径，夯击遍数为 3 遍。第一遍为主夯，间隔 72h，待孔隙水压力消失后进行副夯，然后间隔约 72h 后进行第三遍夯击，即满夯。施工中根据土质情况，间隔时间有所变化。

(3)垫层设置

连徐地区表面固结较好的土层只有 0.5m 左右，原设计没有设置垫层，机械震动很容易引起表面破坏和地基液化冒浆，承载力下降，机械下陷行进困难，同时夯坑过深起锤困难。根据试验段总结的经验，设计又增加了强夯碎石垫层。

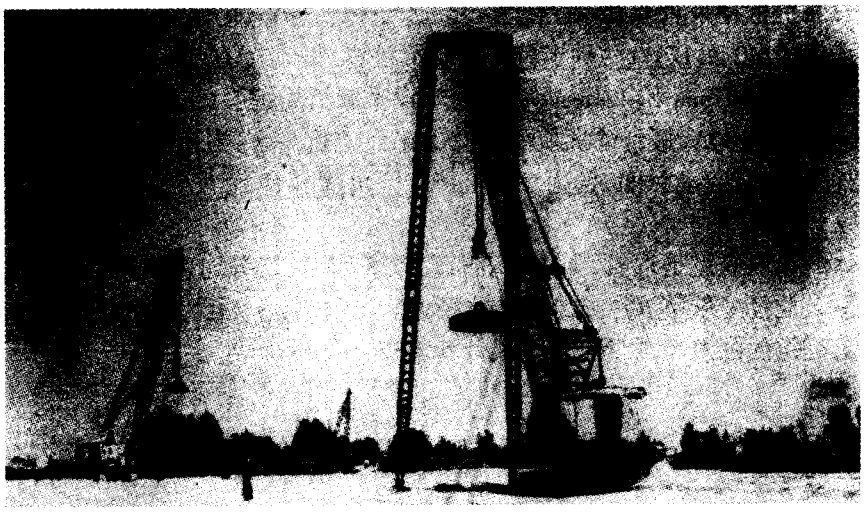


图 5-28　强夯施工

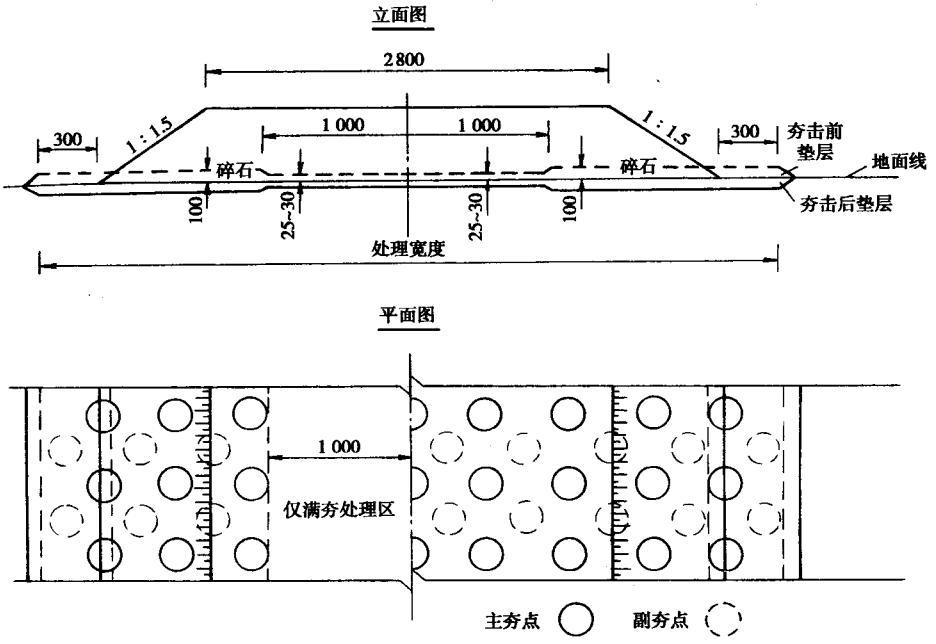


图 5-29　夯点布置图(单位:cm)

垫层的作用主要是:支承强夯机械的行走;形成应力扩散层,利于夯击能的传播,利于表层水的排除;加大夯坑底与地下水之间的距离,避免夯坑翻浆。实践证明,垫层的作用是很明显的。

垫层在主、副夯地段厚度为 1.0m,满夯时为 25 ~ 30cm。

2.挤密碎石桩处理

1)挤密碎石桩的原理

挤密碎石桩是依靠振冲器的强力振动,使液化土颗粒重新排列,振动密实,另一方面依靠振冲器的水平振动力,在加碎石填料的情况下,通过碎石使土层挤压密实。碎石桩与桩间土体形成复合桩从而提高地基承载力。碎石桩也提供了竖向排水通道,利于土层的排水固结。

2)施工机具

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

本路段碎石桩桩径采用0.5m,桩长7~10m。呈梅花形布置,间距为1.3~1.4m。

施工中采用DZ40和DZ60两种走管式振动沉桩机,振动锤有35t和45t两种,激振力不小于28t。桩管内径有377mm和426mm两种,管端设平底活瓣桩头,桩管设二次投料口。

桩机起动电流达80A,每台桩机须配备120kW发电机一台,当使用一台160kW发电机带2台桩机时,要注意错开起动时间,否则发电机将会因负荷过大,而发生故障。

3)填料

制作桩体的填料宜就地取材,如碎石、卵石、砂砾、矿渣等等均可使用,但不宜采用风化石块。填料的最大粒径一般不大于5.0cm。粒径太大不仅容易卡孔,而且能使振冲器外壳强烈磨损。整个工程需要的总填料量可由下式计算求得:

$$V = \mu N V_P l \tag{5-11}$$

式中:l——桩长;

N——桩数;

V_P——每米桩体所需的填料量;

μ——富余系数,一般取$\mu = 1.1 \sim 1.2$。

4)工艺要点

碎石桩施工分三次投料,从第一投料口、第二投料口和孔口分别投料,投料总量严格按设计控制。第一次投料量,当桩管为377mm时为50%,426mm时为64%,反插振动3~4次;待碎石全部投入后,开启第二投料口投料至灌满桩管反插2~3次(深度不超过1/2桩长)至料全部投出;然后进行孔口补料,反插3~4次,至设计用料全部投出为止。

5)施工工效

据现场统计,一般情况下,一台桩机完成一根桩约20~25min,一个台班每台桩机正常情况下能完成20~30根桩。

四、处理效果

徐连路液化地基处理效果检验采用标准贯入法(SPT)和瑞利波(SASW)法两种检测方法。

1.标准贯入法

标准贯入法试验(SPT)是用质量为63.5kg的穿心锤,以76cm落距,将一定规格尺寸的标准贯入器打入土中15cm,再打30cm。后30cm的锤击数即为标准贯入的指标N。

笔者认为液化地基加固效果具体体现在密实度提高的程度上,但在实际检验时,由于取样的时候,会造成土体扰动,所以准确测定现场土体加固后的密实度是非常困难的。实践中,我们可以依据土体标贯值N与密实度D_r之间的相互关系,通过测定的标贯值来观察加固情况。N与D_r的相互关系参见美国Gibbs和Holtz于1957年根据室内试验资料提供的关系曲线,见图5-30。

另外,我们也可以通过界定液化标贯值,来评价加固效果是否达到防止地基液化的要求,从表5-20中可知,7度地震标贯限值$N=8$。这也是连徐路标准贯入检验的要求值。

标准贯入锤击数限值(击/30cm)　表5-20

近远震	烈　度		
	7	8	9
近　震	6	10	16
远　震	8	12	—

连徐路设计要求$N_{63.5} \geqslant 8$击,检查频率为3点/5 000m^{2}且不能少于3点。

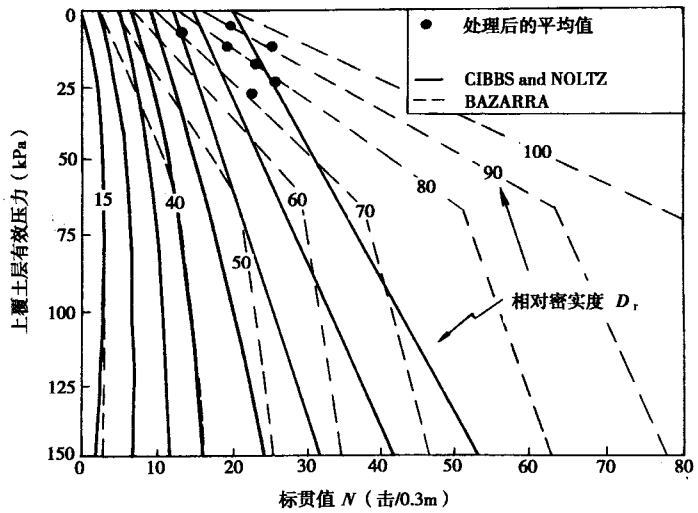


图 5-30　标贯值 N 与密实度 D_r 的关系曲线

2.瑞利波法(SASW)

瑞利波法是通过锤击作为振动源,然后在距锤击处一定距离内设置检波器,记录所在位置的波形,再通过频谱分析和滤波技术等分离出不同波长的振动到所在位置的时间差,求得不同波长的瑞利波波速。而不同波长的瑞利波波速反映不同深度范围内的土层性质,由此可推出不同深度土层的瑞利波波速和剪切波波速。

连徐路采用 ES—R_{25}工程地震仪,图 5-31 为振动源和滤波器布置图。

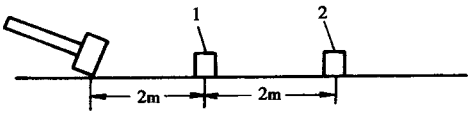


图 5-31　滤波器布置图

根据国家地震局工程力学所推荐的标准,土层 $v_s \geqslant v_{cri}$为不液化,$v_s \leqslant v_{cri}$时为液化。

其中:

$$v_{cri} = K_v\left\{1 + 0.125\left[d_s - \frac{1}{\sqrt[4]{d_s}} - 0.05(d_w - 2)\right]\sqrt{3/P_c}\right\}^{1/5} \tag{5-12}$$

式中:K_v——系数,7 度地震区为 145,8 度地震区为 160,9 度地震区为 175;

d_s——测点深度;

d_w——地下水深度;

P_c——砂土粘料含量。

经过计算,连徐路设计要求 v_{cvi}为 200m/s,要求 $v_s \geqslant 200$m/s,其中检查频率为 1 点/40m。测点在中心线两侧 15m 处交叉布置。

连徐路液化地基处理前标贯值 N 只有 2~5 击,处理后的地基 N 值普遍高于质量标准要求。说明液化地基采用强夯和碎石桩处理是经济可行的。表 5-21 为 K225 + 180 ~ K225 + 395 强夯段,东南大学用 SASW 法(瑞利波法)测设的结果。该段平均加固深度为 7.08m,平均剪切波速均大于 200m/s,达到了设计要求。通过施工,我们的体会是强夯法与碎石桩相比较,更为经济,而且施工速度快,加固效果优于碎石桩。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

K225 + 180 ~ K225 + 395 强夯段瑞利波法检验结果 表 5-21

波速 v_S (m/s) \ 深度 (m) / 点号	0 ~ 1	1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 4	4 ~ 5	5 ~ 6	6 ~ 7	7 ~ 8	平均剪切波速 (m/s)	强夯影响深度
e5001	327.9	211.5	196.7	232	0	242.2	0	0	242	7.2
e5002	312.4	277.9	250.4	331.2	273.4	293.1	306.6	475.3	375	7.3
e5003	330.8	270.4	290.1	249.4	218.5	218	302.3	0	268	7.6
e5004	289.7	236.7	259.7	212.8	228.8	227	226.4	234	239	6.8
e5005	301.4	325.5	248.4	293.4	246.3	259.2	288.8	208	271	6.9
e5006	390.2	242.6	260.4	232.8	256.9	282	359.5	388.4	301	6.4
e5007	353.8	418.8	242.5	216	330.8	243.7	248.2	260.9	288	7.0
e5008	371.9	326.6	295	265.8	364.1	249.2	0	0	312	7.1
e5009	322.6	256.6	252.1	212.5	322.6	0	264.5	288.2	273	6.8
e5010	389	212.8	200.4	251.9	378.9	420.3	375.1	245.5	308	7.2
e5011	323.2	312.7	268.1	252	248.2	270.7	209.7	359.9	280	7.5
e5012	0	376.9	285.1	276.9	238.3	233.8	196.1	256.3	265	7.3
e5013	367.9	230.4	263.1	220.8	257.1	256.1	292.2	0	269	7.3
e5014	0	344	152.5	201.4	198.5	222.1	242.1	314.5	239	7.4
e5015	279.4	260.1	202.3	268.1	228.4	280.7	177.7	294	248	7.4
e5016	293.8	263	180.7	243	192.8	250.5	357.1	349.2	265	7.2
e5017	523	265.9	178.8	327.5	242	212	281.5	251.6	259	6.4
e5018	364.7	315	246.6	196.2	226	213.9	205.9	358.2	265	6.8
e5019	317.9	335.4	204	290.7	262.6	259.6	0	361.4	289	7.3
e5020	0	351	220	341.8	318.3	247	404.9	0	276	6.9
e5021	303	449.2	202.7	256	190.6	204.5	361.4	513.5	309	7.0
e5022	0	318.8	344	310.7	230.8	364.4	306.1	329.1	219	7.2
e5023	381.2	264.6	223	235.4	282.2	189.6	332.1	507.2	275	7.4
e5024	0	372.3	259.2	228.6	288.4	489.1	484.7	534.8	305	6.8
e5025	250	368.5	199.9	209.4	207.4	211.6	347.4	397.8	273	6.9
e5026	232	286.5	275.3	249.4	202.6	0	323	0	261	
e5027	0	259.3	218	191.3	221.6	202.9	308.1	286.1	240	7.1
e5028	243	290.1	255.4	219.7	257.9	248.2	213.5	449.3	271	7.3

第六章　路面基层、底基层施工

第一节　基层、底基层概述

一、基层、底基层的分类及特点

1.分类

基层、底基层可分为无机结合料稳定类和粒料稳定类。无机结合料稳定类又称为半刚性型或整体型，主要有水泥稳定类、石灰稳定类和综合稳定类。粒料稳定类主要有嵌锁型和级配型。

2.特点

半刚性型或整体型结构的特点是：整体性好、承载力大、刚度大、水稳性好，而且还是一种因地制宜的较为经济的结构，国内外都广泛运用于基层、底基层的结构中。

粒料类就其强度形成原理而言，以碎石颗粒间的嵌锁和摩擦阻力作用为主，以颗粒间粘结力为次要。这类结构的强度主要取决于碎石的强度、形状、尺寸的均匀性、表面粗糙度和施工压实度。它的主要代表结构有泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石等。而级配型的强度和稳定性取决于内摩阻力和粘结力的大小。它的强度大小和稳定性好坏，与集料类型、集料颗粒大小、级配、混合料中0.5mm以下细料的含量、塑指和压实度有关。这类结构也得到广泛运用。

二、工程资料

公路一局近年修建高等级公路较多，分布在全国多个省市，修建里程达数千公里。我们所统计掌握的部分路面结构类型见表6-1。

公路一局修建的部分高等级公路路面结构类型　　表6-1

地区	公路名称	面层类型厚度(cm)	基层类型厚度(cm)	底基层类型厚度(cm)
北京	京津塘高速公路	4LH-20I + 6LH-30I + 12LS-30	20水泥稳定级配碎石	30二灰土
	京石高速公路	3.5LH-20I + 4.5LH-30I + 7LS-30	20二灰稳定砂砾	20石灰砂砾
	北京机场路	—	18水泥稳定砂砾	—
	京开高速公路	4AK-16A + 5AC25-I + 8AC30-I	40二灰稳定砂砾	30石灰土
河北	京深高速石安段	4SAC16 + 5AC25-II + 6AC25-II	20二灰碎石	19～39石灰土
	唐津高速二、三合同	4AC16 + 5AC20-II + 6AC25-II	20～30水泥稳定碎石	25～36石灰土
	307衡水段一级路	4AC16-I + 6AC25-I	20水泥稳定碎石	30石灰土
	唐港路面工程A合同	5AC25-I + 6AC30-II	18水泥稳定碎石	30水泥稳定土

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

地区	公路名称	面层类型厚度(cm)	基层类型厚度(cm)	底基层类型厚度(cm)
河北	保定—天津高速路面三合同	4AC16-I + 5AC25-I 4SMA-16 + 6AC30-I	18 水泥稳定碎石	20 石灰土
	承秦线双牛段一合同	4AC16-I + 5AC25-I	18 水泥稳定碎石	20 水泥稳定砂砾
	石黄高速 F 合同	4SAC16-I + 5AC20-I + 6SAC25	20 ~ 36 水泥稳定碎石	18 二灰土 34 水泥石灰土粉煤灰土
天津	疏港公路改建	3AC16-I + 5AC20-II + 6AC25-II	20 水泥稳定碎石	15 二灰土 + 15 石灰土
	津滨快速路八合同	6AC20-I + 6AC25-I	20 水泥稳定碎石	15 二灰土 + 15 石灰土
山东	济青高速五合同	4LH20-I + 6LH30-I + 7LS-30	15 ~ 46 二灰稳定砂砾	15 ~ 33 石灰土
	泰化高速公路六合同	24C30 水泥混凝土路面	20 水泥稳定砂掺碎石	20 水泥稳定砂
	维莱高速四合同	5AC-16 + 4AC16-I + 5AC25-II	20 水泥稳定碎石	30 水泥稳定土
	烟台疏港公路 A 合同	4AK16-A + 5AC20-I + 6AC25-I	36 二灰碎石	18 石灰土
河南	310 国道开洛段	5AC16 + 25 水泥混凝土路面	15 水泥稳定碎石	15 二灰土
	107 国道新郑段	24 水泥混凝土路面	150 水泥石灰土	15 石灰土
	洛阳—三门峡高速	4AC-20 + 5AC-20 + 7AC-25	36 水泥稳定碎石	18 水泥粉煤灰土
	郑洛高速公路	4AC30I-I + 5AC25-I + 6AC40-I	15 二灰稳定碎石	40 石灰土
	许昌—漯河高速公路	4AC16-I + 6AC25-I + 6AC30-I	20 水泥稳定碎石	40 石灰土
	漯—驻高速	4AC16-I + 5AC25-I + 7AC30-I	38 水泥稳定碎石	20 水泥石灰土
	漯—周高速	4AK16-A + 5AC25-I + 6AC30-I	20 水泥稳定碎石	30 二灰土
	商—开高速	25C30 水泥混凝土路面	15 ~ 20 水泥稳定碎石	15 ~ 33 水泥石灰土
	商—开高速	—	18 水泥稳定碎石	30 水泥石灰土
山西	太旧高速公路	4AC16-I + 5AC25-II + 6AC25-II	20 水泥稳定碎石	20 灰土 + 26 二灰砂砾
	武宿立交枢纽工程	—	20 水泥稳定碎石	26 二灰砂砾
江苏	沪宁高速 A 标	4SAC16 + 6AC25-I + 6AC25-II	20 水泥稳定碎石	20 二灰土 + 18 二灰土
	连云港新墟一级路	水泥混凝土或沥青混凝土	28 ~ 32 二灰碎石	15 泥灰结碎石
	宁连一级南城宋跳段	4AC16-I + 5AC25-I + 5AC25-II	20 ~ 30 二灰碎石	20 二灰土
	扬州—淮口高速公路	4.5AK16C(改) + 5AC25-I + 7AC25-I	37 二灰碎石	30 二灰土
	连徐公路	4AK16-C + 5AC25-I + 7AC25-I	36 二灰碎石	20 二灰土
	沂淮高速 GA 合同	4.75AK16-C + 5AC25-I + 7AC25-I	34 二灰碎石	20 二灰土
广东	佛开高速公路	24 水泥混凝土路面	20(6%)水泥稳定石屑	18(4%)水泥稳定石屑
广西	柳南高速	24 水泥混凝土路面	18 ~ 20 二灰碎石	18 ~ 20 级配碎石
	领北路	—	—	16 ~ 18 二灰碎石
湖南	湘耒高速	26 水泥混凝土路面	7(6%)水泥稳定砂砾	15(4%)水泥稳定砂砾
	湘耒高速联络线	25 水泥混凝土路面	20(6%)水泥稳定砂砾	—
	耒宜高速	4AK13 + 6AC20R + 8AC25R + 1 沥青封层	40(6%)水泥稳定碎石	20(5%)水泥稳定碎石

续上表

地区	公路名称	面层类型厚度(cm)	基层类型厚度(cm)	底基层类型厚度(cm)
福建	福泉高速一期	4AK16-I + 5AC20-I + 6AC25II	30~33(5%)水泥稳定碎石	36(3%)水泥稳定碎石
	福泉高速二期	4AK16-I + 5AC20-I + 6AC25II	—	—
安徽	合安高速		36 水泥稳定碎石	20 石灰土
湖北	京珠高速湖北段	25C30 水泥混凝土路面	20 水泥稳定碎石	32 水泥石灰土
内蒙	呼包高速公路	4AC20 + 5AC20 + 6AC25	15 水泥粉煤灰土	30 石灰土
陕西	渭南—潼关高速路	4AC16-I + 5AC25-I + 5AC25-II	22 二灰碎石	24~26 二灰土(二灰碎石)
	铜黄一级路	4AC16-I + 4AC20-I + 5AC25-I	30 水泥稳定碎砾石	21 水泥稳定砂砾
海南	海榆东线	24 水泥混凝土路面	15(5%)水泥稳定碎石	16 级配碎石
辽宁	沈山高速公路	4AC-13B + 5AC25-I + 7AC30-I	20 水泥稳定砂砾掺碎石	18 水泥稳定砂砾
浙江	海宁南北大道	4 中粒式 + 6 粗粒式	35 水泥稳定碎石	15 水泥稳定碎石

从表中可看出高等级公路的基层使用最多的是水泥稳定碎石、水泥稳定砂砾,其次是二灰碎石、二灰砂砾,其他还有水泥稳定砂掺碎石、水泥稳定砂砾掺碎石,个别也有粉煤灰土加水泥。底基层以石灰土为最多,其次还有水泥稳定土、水泥石灰稳定土、水泥石灰粉煤灰稳定土等。

第二节　半刚性基层、底基层对材料的要求

道路建筑材料绝大部分都应就地取材,只要能保证设计的要求,在满足规范规定的前提下,就应坚持因地制宜、就地取材的原则。在万不得已的情况下才远运外地材料,通过对当地材料的认真选择,精心进行配合比组成设计,使道路建筑混合料符合设计规定的技术要求,使所修建的路面在技术上可靠,在经济上合理,这就是选材的标准和宗旨。

一、土

土分为细粒土、中粒土和粗粒土。中、粗粒土相对于细粒土而言,通称为粗粒土。

1.细粒土

凡是能被经济粉碎的土,都可以用作水泥稳定土和石灰稳定土。

1)水泥稳定土

细粒土用于水泥稳定土时,其塑性指数宜小于 10,用于石灰、水泥综合稳定土时,塑性指数宜在 15 以上。

2)石灰稳定土

石灰稳定土要求采用粘土,塑性指数为 15~20。

细粒土,无论是用于水泥稳定土、石灰稳定土或综合稳定土,都必须满足粉碎后土块的最大尺寸不大于 15mm。有的地区没有合适的细粒土,塑性指数偏大或偏小,对于这类土而言,并非绝对不能用于稳定土,只是在施工时需要采取适当的处理措施。

3)石灰工业废渣稳定土

石灰工业废渣稳定土对土的要求是:土块粉碎后粒径不大于 15mm;土的塑性指数宜为 12~20;宜采用粘土或亚粘土;土的有机质含量应小于 10%。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2.粗粒土

该类土能用于水泥稳定土、石灰稳定土和石灰工业废渣稳定土。

1)水泥稳定粗粒土

(1)二级公路和二级以下公路的水泥稳定底基层中,单个颗粒的最大粒径不应超过53mm(方孔筛,下同),其土颗粒组成应在表6-2范围内,而土的均匀系数应大于5。

用作底基层时水泥稳定土的颗粒组成范围 表6-2

筛孔尺寸(mm)	53	4.75	0.6	0.075	0.002
通过质量百分率(%)	100	50~100	17~100	0~50	0~30

二级公路和二级以下公路基层中,单个颗粒的最大粒径不应超过37.5mm,其土颗粒组成应在表6-3范围内,集料中不宜含有塑性指数的土。

用作基层时水泥稳定土的颗粒组成范围 表6-3

筛孔尺寸(mm)	通过质量百分比(%)	筛孔尺寸(mm)	通过质量百分比(%)
37.5	90~100	2.36	20~70
26.5	66~100	1.18	14~57
19	54~100	0.6	8~47
9.5	39~100	0.075	0~30
4.75	28~84		

(2)高速公路、一级公路的水泥稳定底基层中,单个颗粒的最大粒径不应超过37.5mm,其土的颗粒范围组成应在表6-4范围内,土的均匀系数应大于5。如土中小于0.6mm的颗粒含量在30%以下,塑指可稍大。实际施工中,宜选用均匀系数大于10,塑指小于12的土。

水泥稳定中、粗粒土作高速公路、一级公路基层时,单个颗粒的最大粒径不应超过31.5mm,其土颗粒组成应在表6-4所列的2号级配范围内。

水泥稳定土的颗粒组成范围 表6-4

通过质量百分率(%) 项目 \ 编号		1	2	3
筛孔尺寸(mm)	37.5	100	100	
	31.5		90~100	100
	26.5			90~100
	19		67~90	72~89
	9.5		45~68	47~67
	4.75	50~100	29~50	29~49
	2.36		18~38	17~35
	0.6	17~100	8~22	2~22
	0.075	0~30	0~7(0~5)	0~7(0~5)
液限(%)				<28
塑性指数				<9

注:2、3号级配中,当集料中0.5mm以下细粒土有塑性指数时,小于0.075mm的颗粒含量不应超过5%;细粒土无塑性指数时,小于0.075mm的颗粒含量不应超过7%。

(3)土中有机质含量不超过2%,超过2%的应先用石灰进行处理后才能用于水泥稳定。

(4)水泥稳定土中的碎石或砾石的压碎值要求:

基层：

高速公路、一级公路　　不大于30%

二级和二级以下公路　　不大于35%

底基层：

高速公路、一级公路　　不大于30%

二级和二级以下公路　　不大于40%

(5)硫酸盐含量超过0.25%的土不能使用。

2)石灰稳定中、粗粒土

(1)石灰稳定中、粗粒土用作高速公路和一级公路的底基层时，颗粒的最大直径不应超过37.5mm，用作其他公路的底基层时，颗粒的最大粒径不超过53mm。

(2)石灰稳定土用作基层时，最大粒径不超过37.5mm。

(3)级配碎石、未筛分碎石、砂砾、碎石土、砂砾土、煤矸石和各种粒料状矿渣等均可用作石灰稳定土，但是稳定土中碎石、砂砾和其他粒状材料含量应在80%以上，并且有良好级配。

(4)石灰稳定土中碎石、砾石的压碎值应符合下列要求：

基层：

二级公路　　不大于30%

二级以下公路　　不大于35%

底基层：

高速公路和一级公路　　不大于35%

二级和二级以下公路　　不大于40%

(5)硫酸盐含量超过0.8%的土和有机质含量超过10%的土不能用作石灰稳定土。

3)二灰稳定中、粗粒土

(1)二灰稳定的中、粗粒土，土中不宜含有塑性指数的土。

(2)对于二级和二级以下的公路用二灰稳定土作结构层时，应符合下列要求：

①作底基层时，颗粒的最大粒径不应超过53.0mm；

②作基层时，颗粒的最大粒径不应超过37.5mm，土中碎石、砾石或其他粒状材料质量宜占80%以上，并符合表6-5或表6-6的级配范围要求。

二灰级配砂砾中集料的颗粒组成范围　　表6-5

编号 / 通过质量百分率(%) / 筛孔尺寸(mm)	1	2
37.5	100	
31.5	85~100	100
19.0	65~85	85~100
9.50	50~70	55~75
4.75	35~55	39~59
2.36	25~45	27~47
1.18	17~35	17~35
0.60	10~27	10~25
0.075	0~15	0~10

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

二灰级配碎石中集料的颗粒组成范围　　表 6-6

编号 / 通过质量百分率(%) / 筛孔尺寸(mm)	1	2
37.5	100	
31.5	90 ~ 100	100
19.0	72 ~ 90	81 ~ 98
9.50	48 ~ 68	52 ~ 70
4.75	30 ~ 50	30 ~ 50
2.36	18 ~ 38	18 ~ 38
1.18	10 ~ 27	10 ~ 27
0.60	6 ~ 20	6 ~ 20
0.075	0 ~ 7	0 ~ 7

(3)用于高速公路、一级公路的二灰稳定土中的土应符合下列要求：

①二灰土作底基层时，土中碎石、砾石颗粒的最大粒径不应超过 37.5mm；

②二灰稳定土作基层时，二灰的质量占 15%，最多不超过 20%；石料的最大粒径不应超过 31.5mm，其颗粒组成应符合表 6-5 或表 6-6 中 2 号级配的范围，粒径小于 0.075mm 的颗粒含量接近 0。

③土中碎石、砾石的压碎值符合下列要求：

基层：

高速公路、一级公路　　不大于 30%

二级和二级以下公路　　不大于 35%

底基层：

高速公路、一级公路　　不大于 30%

二级和二级以下公路　　不大于 40%

二、无机结合料

1.石灰

石灰的质量应符合规范 JTJ 034—2000 的规定，表 6-7 为石灰的技术指标要求。

生石灰必须经过充分消解，一般每吨生石灰约用 600 ~ 800kg 左右的水才能消解好，消解后的消石灰应保持 35%左右的含水量为宜；用水量偏大，石灰变成灰膏；水分过小，生石灰不能充分消解，还会互相污染环境。最好在开工前 5 ~ 7d 将生石灰消解完，已消解的生石灰应尽快使用完，否则将采取封存措施保管。有条件的最好是使用生石灰粉。

石灰的技术指标　　表 6-7

类别 / 指标 / 项目	钙质生石灰			镁质生石灰			钙质消石灰			镁质消石灰		
	等级											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
有效钙加氧化镁含量(%)	≥85	≥80	≥70	≥80	≥75	≥65	≥65	≥60	≥55	≥60	≥55	≥50
未消化残渣含量(5mm 圆孔筛的筛余)(%)	≤7	≤11	≤17	≤10	≤14	≤20						
含水量(%)							≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4

续上表

项目	指标	类别	钙质生石灰			镁质生石灰			钙质消石灰			镁质消石灰		
			等级											
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
细度	0.71mm方孔筛的筛余(%)								0	≤1	≤1	0	≤1	≤1
	0.125mm方孔筛的累计筛余(%)								≤13	≤20	—	≤13	≤20	—
钙镁石灰的分类界限，氧化镁含量(%)			≤5			>5			≤4			>4		

注：硅、铝、镁氧化物含量之和大于5%的生石灰，有效钙加氧化镁含量指标，I等≥75%，II等≥70%，III等≥60%；未消化残渣含量指标与镁质生石灰指标相同。

2.水泥

稳定土使用的水泥有普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥，实际使用时，宜选用强度较低的强度等级为32.5的水泥。水泥的初凝时间应稍长一些，终凝时间不小于6h。快硬水泥、早强水泥及受潮变质水泥不应使用。

3.粉煤灰

粉煤灰的矿相主要是硅铝玻璃体，一般含量大于70%，另外还有少量石英、莫来石等结晶矿物和未烧尽的碳粒。硅铝玻璃体是粉煤灰中具有活性的主要成分。粉煤灰有硅铝型低钙灰和高钙灰之分，其颗粒粒径在0.001～2mm范围内变化，大部分在0.01～0.1mm之间，比表面积一般在2 000～35 000cm^2/g之间，烧失量一般小于10%，有的在20%以上。粉煤灰与石灰合用，在石灰的激发作用下会发生缓慢的水硬化作用。在施工使用时，应关注粉煤灰的硅铝玻璃体含量，烧失量不应超过20%，比表面积宜大于2 500cm^2/g。

4.钢渣、铁渣、高炉重矿渣

以上这些渣是呈碱性的含活性物0.29%～11%。从有关资料看，它主要由氧化硅、氧化铝、氧化铁、氧化钙、氧化镁等组成，见表6-8。

渣类粗粒料的各种化学成分含量 表6-8

种类	SiO_2(%)	Al_2O_3(%)	CaO(%)	MgO(%)	Fe_2O_3(%)	FeO(%)	MnO(%)
钢渣	10～30	2～10	25～60	2～15	1～7	5～30	1～7
铁渣	25～40	5～20	30～60	0.5～4	0～2	–	0～5
高炉重矿渣	35～40	9～13	35～42	8～13	0.3～0.7	–	0.3～0.7

经过陈化或崩解达到稳定的高炉、平炉转矿渣，是一种路用的好材料，它的水泥稳定性好，强度高，能缓慢板结。这些渣类粒料的粉化率陈化后都小于路用指标5%，其压碎值比较小。其主要物理性质见表6-9。

渣类粗粒料一般物理性质 表6-9

种类	规格(mm)	干密度($10^3kg/m^3$)	视相对密度	相对密度	持水量(%)	空隙率(%)
钢铁渣	50	1.50～1.60			约2	49～46
	25～75	1.70～1.80	2.70～3.20	3.3～3.5	约2	42～39
	<5	1.45～1.65			7	51～47
高炉重矿渣	<50	1.10～1.30	2.30～2.40		2～4	52～44

这种材料在石灰的激发下具有较高的后期强度。在施工使用时，只要控制好粉化率指标使其自身稳定，其压碎值符合相应等级公路的要求即可。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

5.水

凡人、畜饮用水匀可使用。

第三节　半刚性基层、底基层的组成设计

一、组成设计的目的和原则

通过材料组成设计，使所设计的混合料，在强度上必须满足设计要求，保证实际使用的材料符合规定的技术要求，使修筑的路面在技术上是可靠的，在经济是是合理的。所谓组成设计指的是：根据对某种材料规定的技术要求，去选择适合的原材料；或者是对某种原材料用不同规格的材料进行掺配；确定结合料的种类、数量或混合料的最佳含水量等。

组成设计的原则是：①在保证质量的前提下，因地制宜，就地取材，结合工地实际进行合理组合，只在万不得已时才远运材料；②对材料的剂量，应通过试验优化，求得最合理的用量；③对集料要求应有尽可能好的级配，能做到集料数量满足只靠拢而不坚密，其间隙由结合料填充，形成各自发挥特点的稳定结构。

二、组成设计方法

半刚性基层、底基层混合料组成设计的重要内容包括：根据表 6-10 或合同条款要求的强度标准，结合当地材料通过试验选取最适宜于稳定的材料，确定必须的或最佳的结合料剂量，确定材料的配合比、最大干密度和最佳含水量，对某些材料如需要改善混合料的性质时，还包括确定掺加料的比例。

无机结合料稳定各类土的强度标准　　表 6-10

分类 \ 强度标准(MPa) \ 公路等级		高速公路、一级公路	二级及二级以下公路	备　注
水泥稳定类土	基层	3.0～5.0	2.5～3.0	
	底基层	1.5～2.5	1.5～2.0	
石灰稳定类土	基层	–	≥0.8	低塑性土(I_p≤7)强度 R≥0.5MPa
	底基层	≥0.8	>0.5～0.7	I<7 粘土 R 取 0.5 I>7 粘土 R 取 0.7
二灰稳定类土	基层	≥0.8	0.6～0.8	
	底基层	≥0.5	≥0.6	

三、组成设计步骤

1.对可提供选用的土类和原材料进行试验

无论是水泥稳定类土、石灰稳定类土、水泥石灰综合稳定类土、石灰粉煤灰稳定类土都应对沿线可能提供选择材料场的材料或计划远运的材料，取有代性的样品进行试验。

1)对土类的试验项目

(1)细粒土、中粒土、粗粒土或工业废渣的颗粒分析；

(2)液限和塑性指数；

(3)相对密度；

(4)重型击实试验；

(5)碎石、砾石、钢碴的压碎值试验；

(6)有机质含量(必要时)；

(7)硫酸盐含量(必要时)。

以上试验可根据工地具体要求情况进行取舍。

2)水泥试验

水泥的各项技术指标中对稳定土较重要的指标必须做试验检测。试验项目包括：

(1)安定性试验；

(2)细度试验、稠度试验；

(3)初凝、终凝时间。

3)石灰试验

石灰的试验，主要应对石灰进行钙镁含量的检测试验，确定石灰属于钙质石灰还是镁质石灰，确定它的等级。

试验项目主要包括：

(1)钙镁含量试验；

(2)含水量试验。

4)粉煤灰试验项目

(1)化学成分试验；

(2)细度试验；

(3)烧失量试验；

(4)含水量试验。

5)钢渣、铁渣试验项目

(1)化学成分试验；

(2)压碎值试验。

2.混合料的制备

制备同一种试样、不同结合料剂量的混合料。水泥稳定、石灰稳定剂量参考表6-11。

水泥、石灰剂量参考表 表6-11

土类	层位	水泥剂量(%)					石灰剂量(%)				
中粒、粗粒土	基层	3	4	5	6	7					
	底基层	3	4	5	6	7					
砾石、碎石土	基层						3	4	5	6	7
钢渣、铁渣	基层										
塑指小于12的土	基层	5	7	8	9	11	10	12	13	14	16
	底基层	4	5	6	7	9	8	10	11	12	14
塑指大于12的土	基层						5	7	9	11	13
	底基层						5	7	8	9	11
其他	基层	8	10	12	14	16					
	底基层	6	8	9	10	12					

如果是采用综合稳定土设计混合料组成时，水泥用量占结合料总量的30%以上时，按水泥稳定土进行组成设计，反之应按石灰稳定土设计。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

二灰稳定类土可根据具体情况分别对待，对钙镁含量较低的硅铝类粉煤灰，作二灰稳定土基层、底基层时，石灰与粉煤灰的比可以是1:2～1:9。如果采用的是高钙粉煤灰，其石灰用量可更少。采用石灰粉煤灰稳定土作基层、底基层时，石灰与粉煤灰的比例常为1:2～1:4，但采用粉土时以1:2为宜。石灰粉煤灰与细粒土的比例可以是3:7～9:1。采用石灰粉煤灰集料做基层时，石灰与粉煤灰的比例常用1:2～1:4，石灰粉煤灰与级配集料(中、粗粒土)的比应为2:8～1:7。

3.确定各种混合料的最佳含水量和最大干密度

至少做三组不同结合料剂量的混合料的击实试验，即最小剂量、中间剂量和最大剂量。其他剂量的混合料的最佳含水量，最大干密度，用内插法求取。

4.试件制备

按最佳含水量和现场规定的压实度计算干密度制备试件。进行强度试验时，作平行试验的试件数量应满足表6-12的要求。

最少试验数量 表6-12

稳定土类型	试件尺寸(mm)	下列偏差系数时试验数量		
		<10%	<15%	<20%
细粒土	ϕ50×50	6		
中粒土	ϕ100×100	6		
粗粒土	ϕ150×150		9	13

如果试验偏差系数大于表中规定的值，则应重做试验，并找出原因，加以解决；如不能降低偏差系数，则应增加试验数量。

5.试件养生

试件在规定的温度下，保湿养生6d，浸水1d，然后进行无侧限抗压强度试验。养生温度，冰冻地区为20℃±2℃，非冰冻地区为25℃±2℃。

6.强度评定

根据表6-10的强度标准，选定合适的结合料剂量。此剂量试件的室内试验结果的抗压强度平均值$\overline{R}$，应符合下面关系式的要求。

$$\overline{R} \geqslant R_d/(1 - Z_\alpha C_v) \tag{6-1}$$

式中：R_d——设计抗压强度，MPa；

C_v——试验结果的偏差系数(小数计)；

Z_α——标准正态分布表中随保证率(或置信度α)而变的系数，高等级公路上应取保证率95%，此时$Z_\alpha = 1.645$；其他等级的公路应取保证率90%，此时$Z_\alpha = 1.282$。

考虑室内与现场条件的差别，工地实际使用的结合料控制剂量应比室内试验确定的剂量多，厂拌应增加0.5%，路拌应增加1%。

四、组成设计实例

以洛阳—三门峡高速公路底基层组成设计为例。该路段的路面底基层设计为水泥粉煤灰稳定细粒土。

1.设计依据

1)洛三线施工指2[2000]128号文件，《关于下发洛三路面设计变更图表的通知》。

2)《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034—93)。

3)《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057—94)。

4)《洛三线合同要求,施工规范》第 700 章。

5)交通部发布的其他有关技术规范和规程。

2.原材料试验检测

1)水泥

根据施工特点,为保证施工作业有足够的操作时间,选择水泥时,选用了初凝、终凝时间较长的香山牌强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥,检测结果见表 6-13。

水泥主要指标测试结果 表 6-13

项　目	3d 抗折	3d 抗压	安定性(煮沸法)	初凝	终凝	细度	标准稠度
香山牌 p.o. 425 水泥	4.73Ma	26.1MPa	合格	4h35min	6h55min	6.6	26.4

注:批号为 5113。

2)粉煤灰

选用洛阳发电厂的产品,粉煤灰烧失量 5.95%,SiO_2、Al_2O_3 和 Fe_2O_3 总含量大于 70%,比表面积大于 2 500cm^2/g。

3)土

土的各项指标测试结果见表 6-14。

土的指标测试结果 表 6-14

项　目	级　配(%)			性指数 I_P	SO_4^{2-}(%)	有机质含量(%)
	>0.074mm	0.002~0.074mm	<0.00mm			
底沟土场	2	81	17	9.1	0.070	0.425

4)水

水为饮用水。

3.组成设计

采用水泥粉煤灰稳定土作底基层,设计要求 7d 无侧限抗压强度不小于 2.0MPa。

1)拟定采用的水泥、粉煤灰、土的比例组成(见表 6-15)

配比组成及击实结果 表 6-15

编号	水泥(%)	粉煤灰(%)	土(%)	最佳含水量(%)	最大干密度(g/cm^3)
1	4	10	86	12.5	1.88
2	6	10	84	12.7	1.87
3	7	10	83	12.7	1.88
4	8	10	82	12.9	1.86
5	10	10	80	12.8	1.88

注:还应固定水泥和土的用量作配比优选,这里省略。

2)用重型击实试验法确定混合料的最佳含水量和最大干密度的结果(见表 6-15)

3)无侧限抗压强度试验

依据标准击实试验得到的各水泥剂量配合比最大干密度及最佳含水量,按工地预定达到

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

的压实度分别计算不同水泥剂量的试件应有的干密度，按计算得到的干密度和标准击实确定的最佳含水量制备试件进行无侧限抗压强度试验（在水泥加入混合料后 1h 内制件完成），试验结果见表 6-16。

强度试验结果 表 6-16

编号	水泥剂量(%)	强度平均值 R(MPa)	标准差 S	偏差系数 C_v(%)	95%保证率的强度值(MPa)	说明
1	4	1.683	0.082	4.9	1.548	4:10:86
2	6	2.083	0.104	5.0	1.912	6:10:84
3	7	2.406	0.138	5.8	2.173	7:10:83
4	8	2.992	0.279	9.3	2.533	8:10:82
5	10	3.341	0.139	4.2	3.112	10:10:80

通过对无侧限抗压强度统计的分析，可知 7%、8%、10%水泥剂量组成配合比，95%保证率无侧限抗压强度能满足要求。7%水泥剂量的配合比的无侧限抗压强度刚刚满足要求，10%水泥剂量的配合比的无侧限抗压强度偏高，故从经济适用原则考虑，应优先用 8%水泥剂量的配合比作为使用配合比。

4）采用 8%水泥剂量配合比进行延时对干密度及无侧限抗压强度影响的试验

从混合料拌和开始，每间隔 1h，制作混合料强度和标准击实一次，制作过程中应保证混合料含水量不变。试验结果见图 6-1。

5）水泥剂量标定

为了便于施工中对水泥掺加剂量的检查控制应按（JTJ 057—94）EDTA 法进行标定，确定水泥剂量与 EDTA 溶液耗用量的关系，见表 6-17 和图 6-2。

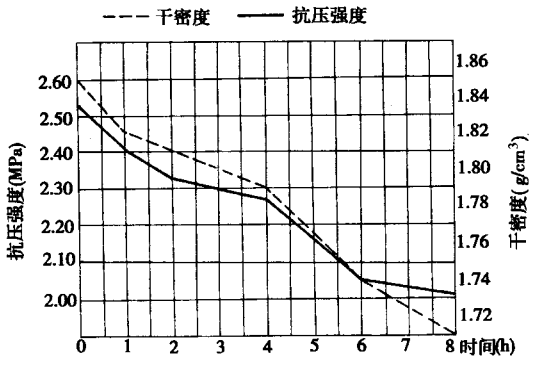


图 6-1 延时对干密度及无侧限抗压强度影响的试验结果

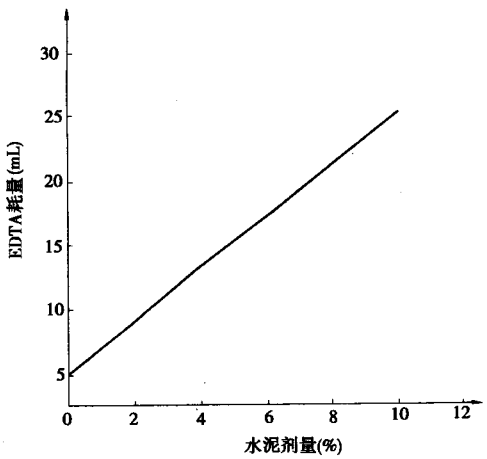


图 6-2 水泥剂量与 EDTA 溶液耗用量的关系图

水泥剂量与 EDTA 溶液耗用量的关系　　表 6-17

水泥剂量(%)	0	2	4	6	8	10	12
EDTA 1 次	3.0	7.3	13.1	17.3	20.9	25.0	27.7
耗量(mg) 2 次	3.2	7.5	13.1	17.1	20.9	25.0	27.5
平均	3.1	7.4	13.1	17.2	20.9	25.0	27.6

6)水泥粉煤灰稳定土配合比设计结果

水泥:粉煤灰:土 = 8:10:82;最大干密度 1.86g/cm^3;最佳含水量 12.9%;无侧限抗压强度 2.533MPa。

第四节　半刚性基层、底基层施工质量控制

半刚性路面结构层因具有很多优点而被广泛采用。它的整体性好、强度高、刚度大、水稳定性强的特点只有在保证施工质量的前提下才能体现出来。施工质量的好坏关键在于施工过程中对一些关健工序、工艺的严格控制。下面,就公路一局在施工中积累的经验教训谈谈施工质量的控制。

一、石灰稳定土

石灰稳定土多用于高等级公路的底基层或一般公路的基层。在施工中,常出现一些开裂、起皮、松散、夹层、灰条、弹簧等通病,其对使用质量有不良影响,所以在施工中应严加控制避免发生。石灰稳定土施工过程中主要应控制以下几个重点环节。

1.石灰的消解

石灰应选用标准规定的 III 级以上的生石灰和消石灰。石灰在消解时应注意四点:第一,消解时用水量为石灰重量的 60% ~ 80%,要充分消解,以不能过湿成团为度,消解后要保持一定湿度,以不飞扬为度;第二,生石灰中有过火生石灰或欠火生石灰,过火生石灰消解很慢,在石灰土已硬化后,过火的石灰颗粒才能渐逐消解,体积膨胀会引起灰土隆起开裂;为消除这一为危害,一定要提前 7d 消解;欠火生石灰不能全部消解,在石灰使用前一定要过 1cm 的筛把未消解的筛除;第三,如果是镁石灰,不易消解,一定要延长消解时间,加水速度应缓慢,陆续加入,以润湿为主,一定不可用水浸泡,消解时宜提前 10d;第四,如使用磨细生石灰粉,使用时不用消解,但拌入土中后,需闷 3 ~ 4h 等生石灰粉消解时水化热得到释放后进行碾压成型,才能取得最佳效果。

2.土的选择

石灰稳定各种类型的土,在技术方面和经济方面都是合理的。石灰稳定细粒土宜选择塑指在 12 ~ 15 的土;如果是稳定砂砾土,则砂砾土中应有约 15%为粘性土。对于不含粘性土的碎石、矿渣等也宜用石灰土稳定。对于塑指高的土或塑指过低的土都宜采用综合稳定土或二灰稳定土。所以在进行配合比组成设计时,一定要根据工程的实际情况对土进行试验并选择,才会达到经济合理的目的。

3.石灰的品质和剂量对强度的影响

规范规定用于高速公路的石灰等级要达 III 级以上。这里应明确指出,石灰存放会使钙镁含量随着时间的延长降低,在使用时一定要测定钙镁含量是否达到配合比设计时要求的钙镁含量,以确定稳定土施工时,是否增加剂量。从京津塘和济青高速公路的试验结果来看,不同

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

的土质和不同的石灰剂量，对强度有不同的影响，见表 6-18。

稳定土强度对照表　　表 6-18

强度(MPa) \ 灰剂量(%) / 工程名称及土质	8	10	12	14	16	注
京津塘高速 $I_P=14.5$	0.92	0.97	1.04	1.15	1.19	选定 12%
济青高速 $I_P=9$	0.77	0.82	0.87	0.87	0.92	选定 12%

京津塘高速公路用土塑指为 14.5，济青公路用土塑指为 9，两种土的各种灰剂量的 7d 无侧限抗压强度就有明显差距。对同一种土而言，随灰剂量的增加强度不断提高，但灰剂量达到某一数值时，强度增加就不明显了。同时也说明塑指高的土，在同样的剂量的情况下，灰土的强度也就越高。所以，一定要通试验来确定灰剂量并选择土质。

4.石灰土拌和要均匀

石灰土无论是路拌或厂拌，都得把土块破碎到规定的粒径范围，只有充分得到破碎的土才能拌和均匀。尤其是对一些塑性指数高的粘土，一般含水量都较大，不易破碎，难以达到要求的粒径范围。我们常采用先加入 4% ~ 6% 的石灰进行拌和闷料使之“砂化”，2 ~ 3d 后摊开加入剩余的石灰，进行第二次拌和同才碾压成型。通过两次加灰拌和就可以使土的破碎容易满足要求，拌和均匀，含水量也能得到调整和控制。拌和中如果没有控制好，出现素土夹层，哪怕是只有几毫米的素土层，它也将影响灰土的整体性，特别是在受到水的浸泡作用时，会软化下沉导致路面破坏，造成质量事故。

5.石灰土的开裂与龟裂防治

用塑指高的土做灰土最容易干裂。这种土的水敏性强，往往含水量高，用它做灰土时，如果含水量超过最佳含水量，成型的路段开裂现象就会增加。高塑指的土在施工中难于破碎，大土块掺杂在灰土中成型后会出现泥饼，而这些泥饼的含水量较高，水分蒸发就容易形成龟裂。另外，灰土无覆盖或覆盖较薄，经过冬季也会引起开裂。如果这些开裂不控制，路面的使用寿命就会受到影响。所以在施工中应加以防治，其主要措施有：

1)选择塑指较低的土；

2)一定要使用高塑性土时，采用两次掺灰法进行施工使土通过“砂化”得到充分破碎；

3)严格控制含水量，一定要在最佳含水量以下，在接近最佳含水量时压实成型；

4)加强前期的养护，别让灰土失水过快，可能的情况下尽早进行上层覆盖施工。

6.石灰土坑洼、起皮、弹簧的防冶

坑洼、起皮、弹簧是常见的灰土通病，引起的原因是：①灰土标高控制不严，有缺料薄层找补现象，尤其是 5cm 以下的灰土贴补；②压路机碾压次数过多，时间过长，灰土上下层含水量(即干湿)程度不同，剪切破坏形成两层皮；③表面过湿，碾压过早造成粘轮，将灰土表层带起；④灰土中夹有土块、石块，平地机刮平时带成沟槽；⑤灰土的弹簧是由于含水量控制不严而造成的，含水量过大造成湿弹，过小造成干弹。

针对上述原因，在施工中应采取以下措施进行防治。

1)灰土粗平时，标高控制应高于设计 5 ~ 10mm，尽可能的不用带料找平，必须要找平时，应将需找平的局部翻松，达到上下松铺系数均匀一致，精平时以刮料削平为好。

2)灰土使用的石灰一定要过 1cm 筛，筛除未能消解的石灰块。人工配合机械作业时将石块、土块捡除。

3)灰土最后一次拌和前,试验人员及检测人员及时检测含水量,根据施工季节、施工气温及气象情况控制好含水量,在春夏季由于风大,气温高,含水量一般控制在高出最佳含水量1~3个百分点,在雨季控制在最佳含水上下1个百分点,碾压时含水量一定要控制在适合值范围内。

4)碾压应按试验规定的机械组合压实程序和遍数进行,不能少压,也不要过压。

7.压实度、强度控制

石灰土的压实度、强度是决定石灰土质量好坏的两个重要指标,控制好这两个指标,就抓着了石灰土质量的关键。

1)石灰土的压实度取决于压实机具、压实工艺及灰土混合料的均匀性。要控制好压实度应注意以下几点:

(1)同一种土不同层次或不同土场的土,其土质差别随时变化,而土的最大干密度也随着变化。因此,在同一施工段落最好选择同一种土质,否则将导致局部地段很容易达到压实度,而有的却很难。遇到这种情况时,如果排除了含水量方面的因素,石灰剂量和压实工艺都正常,那么,其原因就是土质发生了变化,标准干密度随着变化。如果标准干密度不能代表该路段的土质真实干密度,测出的压实度是不会合格的。应对原土样重新取样做标准击实试验,采用新的有代表性的标准干密度来重新作判断。

(2)石灰剂量的变化对压实度也有较大影响。试验得知,灰剂量每增加1%,干密度可能降低0.5%~1%,如果施工布灰出现随意性,将导致压实度出问题。因此,控制布灰均匀性,拌和均匀性非常重要。另外,还应注意的是,消解的石灰放久了,钙镁含量损失了,往往是增加石灰剂量来补充已损失的钙镁含量,这时必须按实际取样重新做标准击实试验用于检测压实度。

(3)一定要控制好碾压时的含水量,怎样控制前面已提到,这里不再赘述。

(4)碾压设备一定要配套,控制好压实工艺。在有关章节已有说明,这里从略。

2)石灰土强度控制应注意以下几点。

(1)选择合格的、尽可能好的土,塑指在12~18之间较为理想。如果塑指较低或较高时,施工都比较困难,在施工中要作一些特殊处理。

(2)选择符合质量要求的石灰,并充分消解过筛,其钙镁含量应达到III级以上。

(3)施工中把好拌和均匀关,控制好碾压含水量和碾压程序与工艺,保证压实度达到要求。压实度越高,强度才能越高。据试验资料表明:压实度提高2%,强度平均提高14%左右。所以施工保证有良好的拌和设备及性能良好又配套的压实机具有着重要的意义。

(4)石灰土强度的增长与施工环境温度、湿度有关,尽可能安排在4~10月施工,尽量避免低温不利季节施工。石灰土是气硬性材料,养生能暴露在外,但保湿养生不能少于7d这一点是非常重要的。

二、石灰粉煤灰稳定土

石灰、粉煤灰有着良好的使用性能,同时成本低。使用石灰、粉煤灰混合料做路面结构层,施工工艺简单,不需要严格控制从加水拌和到完成压实成型的时间,完全可以利用传统施工设备,进行拌和、摊铺,压实成型到需要的厚度与密度,一旦碾压结束后,就不必担心雨水浸湿,可以较早的在上面通行施工车辆。为了保证石灰粉煤灰稳定土的施工质量,在施工中应注重以下控制措施。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1.材料质量控制

二灰稳定土的质量取决于石灰、粉煤灰粒料或土的性质。因此在选材时一定要把好材料关。

1)石灰应符合 III 级以上要求,使用前应经过充分消解,过 1cm 的筛。

2)粉煤灰的各项技术指标应符合《公路路面基层施工技术规范》的要求。在有条件的情况下选用含 CaO 高、比表面大的粉煤灰,保证结构层强度。

3)石灰粉煤灰稳定土的工程质量很大程度上取决于被稳定的材料,石灰、粉煤灰适宜于稳定碎石、砾石、矿渣及各种粒状废渣等集料,也能用于稳定粉土,但不适宜于用来稳定高粘性的细粒土。同时,注意控制和调整集料的级配也是非常重要的。

2.配合比设计

设计配合比时必须考虑混合料具有适合的强度与耐久性,收缩性要小,抗冲刷的能力要强,便于摊铺和压实及工程成本低。由于材质的不同,采用的配合比也就不同。二灰土混合料的性质主要取决于石灰、粉煤灰和小于 4.75mm 的颗粒,这部分基体材料的质量。在混合料中,必须有足够的基体材料,才能保证结构层有足够的强度和耐久性。通常采用的比例是石灰:粉煤灰为1:3~1:4,多用为 1:3。二灰碎石或二灰砾石中二灰与集料的比为 2:8 或者更小一些。这种混合料中,集料应具有良好的级配,二灰在混合料中既起填充集料间孔隙的作用,还应起将个别大料、小料粘结成整体的作用。另一种混合料为二灰和集料各占一半的悬浮式结构,粒料的规格可随意,但这种混合料结构的收缩较前种结构大,同时也易产生冲刷唧浆现象。在施工中对已确定的配合比还应作适当的调整,以补偿施工中的变异性。根据我们的经验,应将石灰粉煤灰的用量提高 2%~3%,石灰含量增加 0.5%。

3.施工控制

1)拌和

无论是路拌或厂拌都应充分的使全部材料拌和均匀,才能达到最大的稳定效果。

2)密度

一定配合比的混合料,如果压实不到要求的密度,会影响强度和耐久性的,在施工中一定配备足够的压实设备保证压到规定密度。压实时,必须严格控制混合料含水量,避免含水量过大出现"弹簧"反之表面松散。

3)养生

压实成型后,应及时的养生,二灰土的养生不怕湿,不怕水浸。因为石灰粉煤灰要进行火山灰反应需要水,如没有水,让它暴露在空气中逐渐变干,是会影响强度的。另外,养生的时间越长,强度越高,养生的温度越高,强度增长越快。快速测定强度就是通过提高温度条件实现的。

三、水泥稳定土

水泥可以稳定任何一种土,把它加入塑性土中,能大大降低土的塑指,随着龄期的增长,塑指就逐渐减小。它具有增加土的强度和稳定性两大优点而得到广泛应用。

水泥稳定土的强度是最重要的指标,因它受多种因素的影响,在施工中要严格控制这些影响因素,确保工程质量。

1.选择符合要求的土

水泥稳定土作基层对集料的粒径要求为:最大颗粒尺寸不超过 37.5mm(高等级公路不超过 31.5mm)并符合规范规定的级配范围。作高等级道路基层时,应尽可能采用不含塑性细料

的级配料，限制0.075mm颗粒含量有塑性时不超过5%，无塑性时不超7%。由于施工中颗粒越粗，在拌和、运输、摊铺或整平过程中就越容易产生离析，不易整平。所以在实际施工中，应尽可能的减少最大粒径，使用均匀系数大于10的粒料。我们的试验和有关资料证明：重视土的颗粒组成，把级配调整到最佳，可以用小的水泥剂量而获得高的强度，且收缩裂缝会大大减少，适当的加入或限量的使用0.075mm的无塑性粉料对提高稳定土强度大有用处。粘性土粉碎越细对水泥稳定土的强度和耐久性就越有利。使用粘性土，一定要粉碎到符合要求为止。

2.选择符合施工要求的水泥

水泥稳定土通常使用硅酸盐水泥。由于施工从拌和到压实成型，通常需2～3h，所以一般应选择初凝大于3h，终凝大于5h的水泥。从拌和到压实成型，时间越长，水泥稳定土的干密度、抗压强度就越小。快硬水泥、早强水泥绝对不能使用。

3.水泥剂量

在通常的水泥剂量范围时，水泥稳定土的抗压强度随水泥剂量的增加而增加。但在进行配合比设计时，应在满足强度要求的条件下尽量少用水泥，为了减少开裂，水泥剂量不应超过6%；为了使拌和均匀，保证水泥稳定土的质量，水泥剂量不宜少于4%。因此应将水泥剂量控制在4%～6%之间，如果使用6%剂量仍满足不了强度要求，应从土的级配上加以调整。

4.含水量控制

水泥稳定土混合料需要有足够的水，以满足水泥水化的需要和压实的需要。如果混合料中含水量小了，水泥水化时与土争水，如果是粘性土，与水的亲和力大，水泥就可能不会完全水化而降低强度。通常在适合压实的含水量情况下压实，养生过程中保证不损失水分，水泥也同样可水化。如压实时水分少，养生又得不到保证，则稳定土的强度是会受到很大影响的。因此，在施工中对水泥稳定中粒土和粗粒土，碾压时混合料含水量应高出最佳含水量0.5%～1.0%，对于稳定细粒粘性土时，碾压时应比最佳含水量大1%～2%，这样即可满足水泥水化需要，也可弥补碾压过程中水分的损失。

5.拌和均匀的控制

水泥必须均匀的分布在土中，才能充分发挥水泥的作用，否则将出现水泥多的地方出现裂缝，水泥少的地方强度不够。无论是路拌还是厂拌，都必须使拌和料均匀。厂拌法是比较均匀的，路拌法怎样才能保证匀均性将在实例中介绍，这里就不多叙述。

6.严格控制从加水拌和到成型的时间

水泥遇水就要水化，因此水泥稳定土混合料一旦加水拌和，应尽快碾压成型。将厂拌料运输到现场摊铺及压实成型，均不能拖延时间，如果拖延时间，水泥就会产生部分硬化作用。碾压时，就会破坏已经形成的硬结，就要花费额外的压实功能，从而影响水泥稳定土的压实度，使稳定土的强度下降。在施工中一定配足机械设备，合理的组织施工把成型时间控制在2～3h以内。

7.控制交通、重视养生

对已完成的路面结构层，应及时养生，使水泥在养生的情况下得到充分水化。同时养生使结构处于潮湿状态，可以减少稳定土收缩裂缝。在养生期不开放交通，只准许洒水车控速通行洒水。

四、水泥粉煤灰稳定细粒土

粉煤灰稳定细粒土或石灰粉煤灰稳定细粒土，其早期强度都低，为使早期强度得到提高，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

就在这两种稳定土中加入一定剂量的水泥成为水泥粉煤灰稳定细粒土或水泥石灰粉煤灰稳定细粒土。由于水泥和粉煤灰等材料的大量加入,使土的塑指下降很多,给施工质量控制增加了不少的困难。尤其是在一些地区,土的塑指本来就不高,其他的代替材料又没有,只能采用这种结构层才经济合理,又要保证质量,只有在施工上严加控制才能达到设计要求。

这种结构类型的稳定土除了同于水泥稳定土施工质量的控制方法外,还应特别在以下六方面加以重视。

1.要特别重视下层的质量,保证下层是完全合格的。

2.要杜绝平整过程(路拌法)中出现"薄层贴补"现象。

3.压实应选用合适的压路机型,合理组合并保证数量充足,压实应遵守先轻后重,先慢后快,先低后高,不能过压的原则。

4.严格控制含水量。经试验证明:考虑水分蒸发和水泥水化等因素,一般在拌和时混合料含水量控制在高于最佳含水量3%~4%,碾平时,含水量比最佳含水多1%~2%,在平整和压实过程中适量洒水给终保持表面湿润。

5.选择塑指合适的土,使土破碎到规定的粒径要求,最好是将拌和料的塑指控制在10以上为好。

6.认真组织、合理安排施工,尽量把延迟时间缩短。

总之,所有半刚性路面结构层施工质量的控制都要根据使用的具体材料的特点及规范的具体要求,而采用不同的方法。它的主要控制点各异,施工方法,操作工艺基本相同,只要找到其各自的主要特点加以行之有效的控制,半刚性路面结构层的施工质量是容易做好的。

第五节　石灰土路拌法施工

石灰土是用石灰稳定细粒土而得到的混合物,是在土中掺加一定比例的消石灰或生石灰粉,通过加水拌和、平整、辗压成型、养生等工序后,使之成为一种具有一定抗压、抗折等性能的半刚性结构,常用作高等级路面的底基层或低等级路面的基层。

石灰稳定粗粒土、中粒土时,视稳定土的种类可分为石灰稳定砂砾土、石灰稳定碎石土和石灰稳定钢渣土。

一、施工工艺流程

石灰土路拌法施工工艺流程见图6-3。

二、施工的一般要求

石灰土较适合在春末和夏季组织施工,气温应在5℃以上,并在第一次重冰冻到来之前一个月到一个半月完成。在施工时应遵循以下规定。

1)细粒土宜尽可能的粉碎,土块最大粒径不应大于15mm。

2)配料必须准确,拌和应均匀。

3)严格控制厚度、标高和横坡。

4)应使混合料处于或稍大于最佳含水量时碾压至规定的压实度。

5)在冰冻地区的潮湿路段以及其他地区的过温路段不宜作灰土,当只能采用灰土时,应采用适当措施,防止水分浸入石灰土层并避免雨淋石灰。

6)土宜采用塑指为 12～20 的粘土。塑指偏大的粘土应加强粉碎,宜采用二次加灰的方法施工,第一次加部分石灰拌和后,闷放 1～2d,再加余下石灰进行第二次拌和。塑指小于 10 的亚砂土、细砂土、粉土,用石灰量大,难成型,在施工时对压实机具的选择、压实工艺的控制、混合料含水量的控制都与常规施工不同,只要把握了其中的规律也能保证工程质量。另外,在有条件的情况下,可以增加部分粘土或采用水泥石灰综合稳定方法施工,虽在成本上偏高一些,但只有这样才能保证工程质量。

7)一级公路、高速公路宜采用磨细袋装生石灰粉来做石灰稳定土。

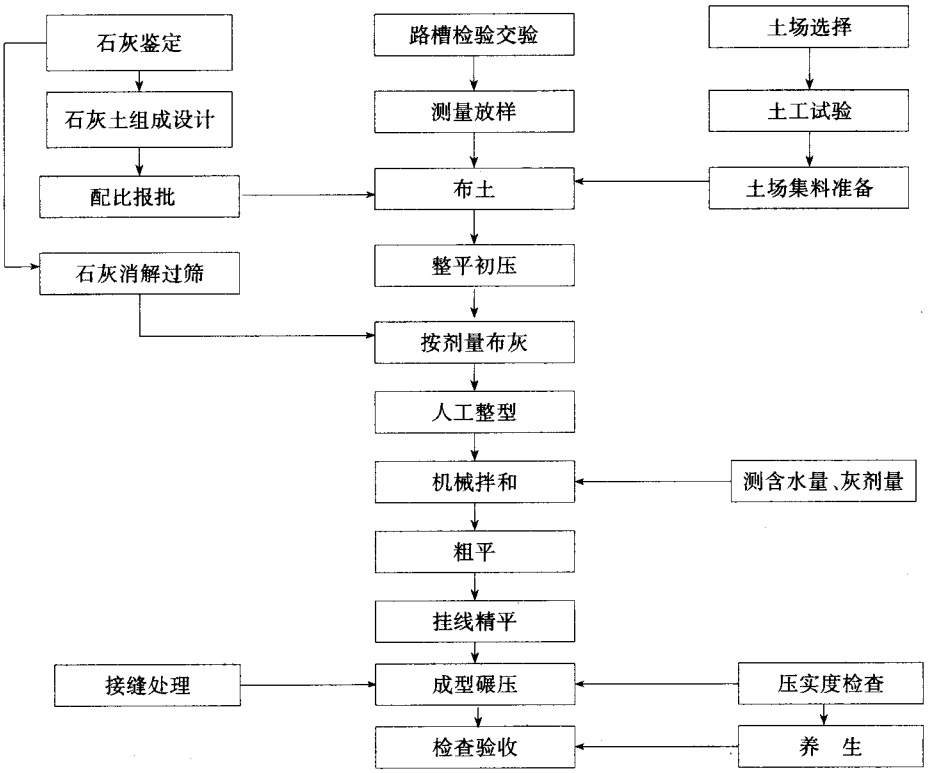


图 6-3　施工工艺流程图

三、石灰土的路拌法施工

1.准备工作

1)下承层准备。石灰土的下承层多为路基顶面层,要求表面平整、坚实,标高、路拱、压实度、弯沉值指标符合规范要求,否则应处理至符合要求,并在上土前将表面洒水润湿。

2)施工放样。在路基上恢复中桩,每 20m 设一桩,并在边线外 0.3～0.5m 处设指示桩,进行水准测量,在两侧指示桩上用红油漆标示石灰土边缘的设计高程。

3)根据现场可选择的经济合格的材料进行配合比组成设计,优选最佳配合比报批。

4)材料准备。根据配合比组成设计确定的土场,作好取土的准备,将合格石灰进场并在使用前不少于 7d 进行消解,必要时过 1cm 筛。

5)人员与机械配备准备。

(1)人员组织。技术员 1 人,工长 1 人,测量员 3 人,试验员 2 人,电工(视现场情况而定)1 人,机械工 8 人。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(2)机械配备。灰土拌和机1台,平地机1台,推土机1台,洒水车1台,压路机(振动)2台,压路机(三轮)1台,压路机(轮胎式)1台;上土、上灰的机具根据每日工程量和运距确定。

2.布土

1)按批准的配合比中土的用量布土。每延米用土数量用车数控制,车数的计算见下式。

$$n = bh\rho S(1 + w)/G \tag{6-2}$$

式中:b——灰土摊铺宽度,cm;

n——每延米需要的车数;

h——灰土摊铺厚度,m;

ρ——灰土混合料最大干密度,$10^3 kg/m^3$;

S——混合料中土的百分含量,%;

G——每车湿土的标准质量,$10^3 kg$;

w——土的含水量,%。

按每车土摊铺的面积作为一个方格,在路上划定方格网,将每车土卸在已划定的网格中。然后用推土机摊土,初平并排压,使厚度基本一致。

2)洒水预湿。

当已摊铺好的土其含水量小于最佳含水量时,应根据每立方米土中的含水量进行计算,用洒水车控制喷洒量一次补足到最佳含水量。并视具体情况高出1~2个百分点,细粒土宜闷一夜;中粗粒土视细土含量多少可缩短闷料时间。

当土的含水量较大时,应摊开翻拌晾晒当含水量合适后,再整平使厚度达到要求。

3.布灰

1)用机动车布灰。先在灰土作业层面的路中央划撒一条灰线,根据每延米使用的石灰剂量,将消解合格的石灰运至作业面沿灰线码出一梯形灰带,每延米梯形石灰带的量,就是该延米路的石灰用量,待检验合格后,用人工扣反锹逐次排列均匀布撒在相应段落上。

2)手推车运布时,以一车石灰为单位计算摊铺面积,并按此面积大小划定网格,人工均匀布撒石灰。

3)袋装灰宜以50kg或100kg为单位按比例计算摊铺面积,划网格人工均匀布撒。

4.拌和

1)稳定土拌和机拌和。

一般采用稳定土拌和机拌和为好,拌和遍数在两遍以上。使用稳定土拌和机拌和时,第一遍不宜翻拌到底,应留2~3cm,以防止石灰下沉集中在底部翻拌不上来,形成灰夹层;第二遍翻拌时,一定要翻拌到底,并对下层略有破坏,宜1cm左右。这样既能消除夹层素土,又能使上下两层结合更好。翻拌过程中,应跟人随拌和机随时检查翻拌深度是否满足要求。翻拌两遍后,应检查含灰量,如果含灰量满足要求,混合料色泽均匀一致,没有灰条、灰团和花面,没有粗细颗粒"窝或带"就算拌和合格,否则应以旋耕犁或铧犁配合作业,或者补灰,或者补水后再用拌和机翻拌至满足要求为止。

2)在没有专用灰土拌和机时,或者在一些低等级道路工程中,也可以用农用旋耕机与多铧犁或平地机配合拌和。先用旋耕机拌和,但一定不要拌到底,旋耕机拌完一遍后,用铧犁或平地机将底部素土翻起,再用旋耕机拌和两遍,铧犁或平地机再将底部翻起。使用铧犁或平地机时,应随时检查深度,一定要使稳定土层全部翻透,不能留有"素土"夹层,但也不能过深,过多破坏下承层。最后再用旋耕机翻拌至均匀。这种方法也能保证灰土的拌和质量。

3)铧犁或平地机配合缺口圆盘耙拌和也可以满足路拌灰土的质量要求。其方法是先用铧犁或平地机在前面翻拌,圆盘耙跟在后面拌和。但也不要在开始拌和的前两遍拌到底,防止石灰沉到底部,后几遍应翻拌到底,随时检查控制翻拌深度,使稳定土层全翻透拌均,符合规定要求。

4)在没有上述机械的低等级公路施工时,也可以采用推土机拌和。这种拌和方法经实践证明,其拌和质量也不错。其方法是:将每延米所需的土按剂量在作业面中央沿路码成一梯形状,石灰也按每延米剂量均匀的撒布在梯形条状的土上;拌和时采用两台推土机与路中线成30°左右的交角,一台由路左向右推,另一台由路右向左推,交替由路的一端向另一端推拌;推拌时,一定要推到底,推到路边 2.5 ~ 3m 左右停下,倒回再重复作业至另一端结束算一遍(见图 6-4);这就把中央的一条混合料分成两条堆在路的两边;第二遍是把路右边的混合料再向左边推拌,把左的混合料向右边推拌(图 6-5);第三遍将混合料向全路边拌边摊。根据已有的经验,经过三遍就可以把混合料拌均匀。

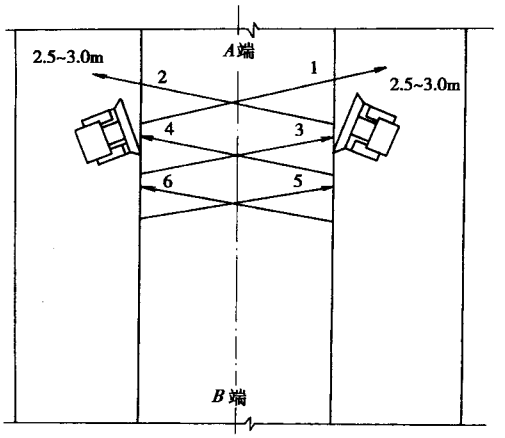


图 6-4 第一遍拌和示意

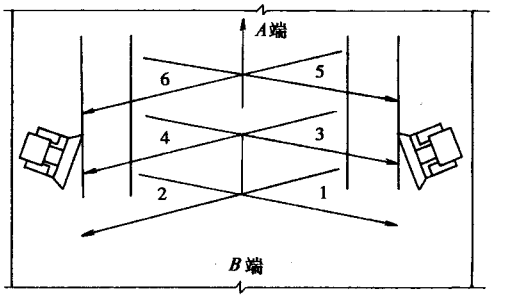


图 6-5 第二遍拌和示意

混合料在拌和的过程中,试验人员应跟班检查含水量和灰剂量,测量人员要检查拌和深度,使混合料均匀一致,含水量应大于最佳含水量 1% ~ 2%,灰剂量应符合设计要求,然后就可以进行整型了。

5.整平

利用边桩上预先标出的控制标高,人工拉线控制灰土面的松铺标高,指导平地机作业。在直线上平地机由两侧向中心刮平,在曲线上由内侧向外侧刮平,需反复刮 1 ~ 2 遍。用履带推土机排压一遍,以暴露潜在的不平,再用平地机如前述那样平整,直到合格为止。每次整平在桩位处都在标高和横坡控制下进行,特别注意接头处的平整,必须使接缝顺适平整。对局部低洼处应将表面 5 ~ 8cm 耙松用新的混合料找补平整。

6.碾压

整型后,经检查标高、横坡、平整度、含水量、含灰量均符合要求后,即可进行碾压。以我们的经验,采用振动压路机和三轮压路机联合作业较好。其压实工艺如下:先用振动压路机不开振排压一遍,然后用振动压路机振压 2 ~ 3 遍,接下来用 12 ~ 15t 三轮压路机静压 1 ~ 2 遍,达到表面无轮迹,无软弹后及时按频率检测压实度达到要求时停压;否则继续压实至达到规定为止。碾压时,直线段由两侧路肩向中心碾压,平曲线由内侧向外侧路肩进行碾压;振动压路机重叠 1/3 轮宽,三轮压路机后轮重叠 1/2 轮宽;静压速度 1.7km/h,振动压路机振压速度 2.0 ~

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2.5km/h。

压实过程中，如发现弹簧、松散、起皮等现象，应及时翻开处理。在两个工作段接头处采用对接形式，前一段拌和后留下 5～8m 不进行碾压，后一段施工时将前一段留下未压部分进行再拌和、整平，与新铺段同时进行压实。严禁压路机等机械在已完成或正在碾压的灰土路段上调头或急刹车，以保证稳定土表面不受破坏。

7.养生

石灰土碾压完成后第二天或第三天开始养生，一般使用洒水车洒水养生，使灰土表面保湿养生 7d。养生期内勿使灰土过湿，更不能忽干忽湿。一定要控制好交通，除水车外应封闭交通。如灰土的压实度、平整度等指标合格后，上层结构能马上施工时，可不进行养生。但是，必须保证灰土有合格的强度，在进行上层作业时要采取措施保证不破坏灰土表面。

四、施工中注意事项

根据我们的施工经验，灰土施工中应注意以下事项，否则将会给灰土质量造成影响。

1)土为塑指较大的粘性土时，拌和中土块不易打碎，过筛也不可能。但还必须使用时，应将石灰剂量分两次添加。第一次备土时在土场，将 4%～5%石灰掺入，闷放 2～3d 使其含水量和塑指降低，通过土场的翻倒、装运、现场、布土、推平、翻拌，土块就易碎了。第二次在将剩余的石灰加入，经翻拌使土块破碎至满足规范要求。这种土解决了打碎的问题后，有时还会存在开裂、龟裂现象。这主要是由于碾压时含水量高，在养生时，洒水跟不上。因此这种灰土要加强养护，最好是覆盖养生，或者是在未开裂时就做好上层结构。

2)消石灰随着消解存放时间的延长，其有效钙镁含量随之降低。施工时，往往又不可能及时将已消解的消石灰用完，因此使用时所含钙镁的有效成分下降，如果还按设计配合比的剂量掺入，灰土的强度将受到影响。为保证强度必须多掺灰才能使灰土中的钙镁含量满足要求。但是，这时的灰土标准容重也要根据新的掺量重新确定，否则，灰土的压实度就不能满足要求。

3)弹簧现象也时有发生，这主要是由于压实时含水量大，或者是含水量过小引起的。一旦发现就应挖开处理，或是晾晒，或是换料，或加水拌和。控制好压实时的含水量就能避免出现弹簧。

4)应避免薄层贴补、起皮和夹层的发生。在灰土拌和厚度控制不好时，特别整平工艺不当时，易造成在光面上贴补薄层，这就造成两层结合不好，从而发生起皮脱层破坏。因此，整平时的排压是必须的，但不能压成光面，对一些局部低洼的光面，一定要耙松后补料。对一些低塑性的粉土灰土，如含水量偏小，压实功能超过土的抗剪力时，表面易起皮开裂。对于这类土，应将含水量提高到比最佳水量高 3～4 个百分点。在压实工艺上一般是先静压(排压不错轮)，后强振压二遍，根据表面情况适度洒水湿润后再轻压二遍即可，决不可过压。夹层是绝对不允许存在的，哪怕只有薄薄的几毫米，对路面的影响也是非常严重的。由于夹层见水就软化，使路面强度下降，引发路面破坏，所以拌和时一定要消灭夹层。如果是两层以上的灰土，第二层灰土也是路拌法，层间容易出现夹层。因此，拌和深度一定深入下层 1cm 左右，在上第二层灰土之前，应处理表面浮土，并洒水湿润，以解决夹层问题。另外也可以在拌和第二层灰土时，在灰土铺筑的起点预留 5～10m 不上料，然后在拌和铺筑段上，把拌和均匀的灰土混合料依次向前清底倒运至铺筑位置，然后按要求控制标高、横坡，用平地机整平，每 10～20m 一个断面拉线用 5 点法控制高程与横坡，这也是消除夹层的好方法。

5)桥头、涵背铺筑灰土时，由于机械无法操作，应留下 5～10m 不上土，将已拌好的混合料

倒运至此，按要求摊铺。压实时，先沿桥(涵)向碾压，后顺路向碾压，压路机压不到的地方，应用电夯夯压至规定要求。

五、石灰土基层、底基层测试项目与标准

石灰土的实测项目见表 6-19。

石灰土实测项目　　表 6-19

项次	检测项目		规定值或允许值偏差				检测方法和频率
			基层		底基层		
			高速公路、一级公路	其他公路	高速公路、一级公路	其他公路	
1	压实度(%)	代表值		95	95	93	按 JTJ 071 附录 B 检查 每 200m 每车道 2 处
		极值		91	91	89	
2	平整度(mm)			12	12	15	3m 直尺： 每 200m 测 2 处 × 10 尺
3	纵断高程(mm)			+5，-15	+5，-15	+5，-20	水准仪： 每 200m 测 4 点
4	宽度(mm)		不小于设计	不小于设计	不小于设计	不小于设计	尺量：每 200m 测 4 处
5	厚度(mm)	代表值		-10	-10	-12	按 JTJ 071 附录 H 检查每 200m 车道 1 点
		极值		-20	-25	-30	
6	横坡(%)			±0.5	±0.3	±0.5	水准仪：每 200m 测 4 个断面
7	强度(MPa)			0.8	0.8	0.5 0.7	塑指 < 12 塑指 > 12

第六节　二灰土施工

一、二灰土的特性

二灰土是用石灰、粉煤灰和土三种无机材料，按一定比例，通过专用机具，加水、拌和均匀、再摊铺碾压成型的一种路面结构层。它的具体名称视所用土的不同而定，二灰与砂砾称二灰砂砾土，二灰与碎石称二灰碎石土，二灰与细粒土称二灰土，二灰与工业废渣称二灰渣。由于二灰土具有以下优点而广为采用。

1)二灰土具有较高的强度，它虽然早期强度偏低，但后期强度比较高，如在夏季一个月就能达到 1.7～2.0MPa，二个月能达到 3MPa，以后还会慢慢增长。

2)二灰土成型后经过一段时间的养护，强度逐渐增高，最后形成一个板体，有较好扩散应力的作用。

3)二灰土在形成过程中，内部进行物理化学反应，形成致密整体，具有良好的水稳定性和抗冻性。

4)二灰土具有废物利用，有利环保的优点。特别在粉煤灰废料多的地区，如果当地土的塑

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

指过小或过大，光靠石灰稳定达不到要求的强度，或是难以压实成型，这时最适宜采用二灰稳定土。1998 年公路一局在衡水 106 线施工时，当地土的塑指在 10 以下，采用二灰土 7d 强度为 0.6MPa 以上，30d 就达到 1.7MPa。在天津疏港路施工时，当地土的塑指在 23 以上，靠石灰稳定难于拌和均匀，总是存在不少大于 5cm 的土团。通过采用二灰来稳定情况就变了，先采用粉煤灰与土预拌后闷放一段时间后，再与石灰拌和，大颗粒的土团就易破碎了，使拌和料均匀，压实成型难度减小了而强度特别高。

二、二灰土的施工方法

二灰土施工最突出的特点是容易施工，不需要严格控制从加水拌和到完成压实的时间。另外可使用传统的施工设备施工，二灰土施工可根据工程情况，可以用路拌设备进行路拌法施工；也可以采用厂拌法拌和，摊铺机摊铺施工；或者是厂拌法拌和，平地机摊铺施工。

《公路路面基层施工技术规范》规定，高速公路和一级公路底基层的下层采用二灰土施工时，可用路拌专用设备进行路拌法施工，其他各层均应采用厂拌法拌和，摊铺机施工；二级以下公路可以采用人工沿路拌和法施工。

三、二灰土施工质量控制重点

二灰土施工质量控制是保证工程质量的关健，只有科学组织施工，按操作要求施工才能做出高质量的二灰土结构来。否则，就会出现弹簧、起皮、开裂等常见通病。因此在施工中要进行如下几方面的重点质量控制。

1.原材料控制

严格控制原材料的质量，不使用不合要求的材料。在选材上应作质量经济比较，在满足质量要求的前提下，力求经济。

从二灰土的材料组成上看，土在二灰土中所占的比例最大，它是起骨架作用的。有关试验资料表明，在同样组成比例的二灰土中，由于土的塑性指数的变化，特别是塑指在 10～20 之间变化，其二灰土的强度的变化尤为明显。塑指高的土，强度亦高，但是土的塑指越高，越难粉碎，不易施工，塑指在 20 以上的土更是难于施工。所以，有条件的话，尽量挑选塑指在 13～18 之间的土较为理想，不但好施工，而且各项技术指标易达到设计要求。在实际施工中，应结合当地土质情况，多做试验，多比较，同时考虑工程成本进行优选。

粉煤灰由于产地的不同，其材性差别较大。由于它在二灰土中在石灰的激发下，有慢性固结作用，使后期强度有较多的增长。因此，应选用较细的，比表面积大的，烧失量小的粉煤灰。比如我们在包头—东胜公路工程中，包头电厂的粉煤灰运到工地的价格比达旗电厂粉煤灰运到工地的价格低，从成本观点看，应使用包头的粉煤灰。但是，通过试配试验的比较，使用达旗电厂的粉煤灰的二灰砂砾土 7d 无侧限抗压强度可以达到 4MPa 以上，且保证率相当高。使用包头电厂的粉煤灰做二灰砂砾土 7d 无侧限抗压强度达不到要求，要达到预期的强度还要掺加水泥，不但增加施工的难度，还把成本也提高了。结果还是选用达旗电厂价格高的的粉煤灰。

石灰只要能满足 III 级以上即可。

2.配比设计控制

认真进行二灰土的组成设计，施工中严格控制混合料的组成比例。一个好的组成设计不仅仅能满足设计和规范要求的各项技术指标，同时，还应是一个经济合理的配合比组成设计，这对施工企业的工程质量保证与成本降低都有着极为重要的意义。

应采用正交试验的方法进行配比设计。通过在106线的试验可看出，石灰用量从8%增至14%，其强度不断增加，尤其是早期非常明显，但大于14%以后，其强度增加并不明显。而粉煤灰用量从15%增至45%，其强度也不断增加，特别是后期强度（一两个月内）比较明显。超过45%以后强度为负增长。粉煤灰含量到45%是极限，粉煤灰用量越大，由于它是灰质，其施工难度就越大。设计二灰土混合料遵循的原则是经济合理，早期强度高，便于施工。

一个好的组成设计只是完成设计还不行，应在施工中不折不扣的加以实现，使拌和出来的混合料能把各种材料的组成误差控制在规定的范围内。这同样是一项关健工作，施工中应特别重视。

3.施工工艺流程控制

1)拌和

当配合比组成设计确定后，首要控制的过程就是拌和料拌和的控制，拌和料均匀一致是保证二灰土质量的前堤，无论采用路拌或是厂拌，这都是必须严格控制的过程。

就路拌而言，应注意以下几个方面：①要根据施工配套设备能力由试验确定各种材料松铺系数；②布土、布灰（石灰、粉煤灰）要均匀，厚薄一致，特别是粉煤灰石灰应码成标准断面、控制好剂量，人工均匀撒布，并严格监控；③拌和前要先洒水，拌和一遍后抽样测含水量，视情况进行第二次洒水，一般含水量控制应高于最佳含水量2～3个百分点，然后拌至均匀；④如果是拌第二层时，应控制层间是否产生夹层，一定要深入下层0.5～1.0cm。

厂拌时，应调试好各种材料剂量。但厂拌时，对土的破碎，土的含水量应严加控制，对石灰、粉煤灰的含水量也应控制，不能因过干造成飞扬污染环境，过湿成团不利拌和均匀。

2)摊铺

二灰土路拌法施工：当二灰土拌和均匀后，立即用平地机进行整型平整，平整过程中应避免薄层贴补，尽可能的采用刮削平整，用拉线法控制标高及横坡。

厂拌法摊铺机摊铺施工：采用摊铺机走钢丝控制标高、横坡；如采用平地机摊铺施工时，宜采用推土机分料初平，并排压进行初平整型，然后用平地机精平，控制方法同路拌施工。

3)压实

整平符合要求后，立即压实成型。碾压应遵循先静力稳压、后振压、再静压的原则压至规定的压实度。

4)养生

养生过程对二灰土的强度增长、防止早期开裂、板体的形成都有重要的影响，但往往易被忽视。所以，应做好保湿养生工作。

四、二灰土施工实例

（一）路拌法施工实例

1.天津疏港公路工程概况

天津疏港公路是从天津塘沽新港至天津市的一级疏港公路。1982年5月下达施工任务，准备开工，实际上1984才基本具备施工条件，后期施工仅为17个月。该工程1985年9月28日竣工，交工使用后获交通部“优质工程”奖。

疏港公路全长18.372km，为一级公路。军粮城至胡家园段路基全宽36m，上下行快车道各为8m，上下行慢车道各为6m，中央分隔带2m，快车道内设港湾式公共汽车停靠站，如图6-6所示。

图6-7所示为胡家园至河北路口段的路基断面图。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

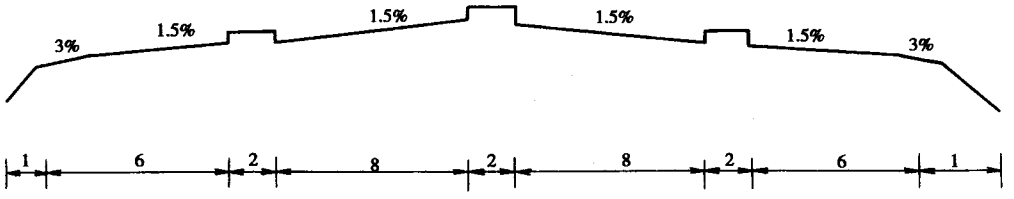


图 6-6　疏港公路军粮城至胡家园段断面图(单位:m)

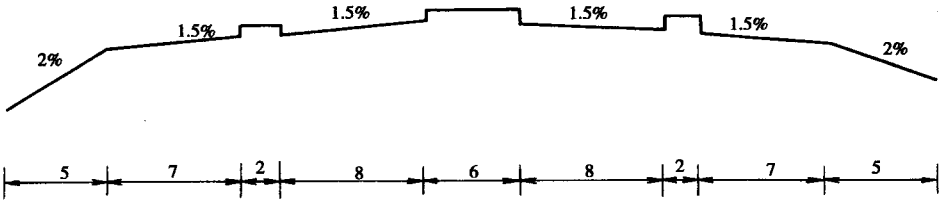


图 6-7　疏港公路胡家园至河北路口段断面图(单位:m)

路基全段处于渤海岸软土地带,故需进行软基处理。

路面结构:快车道是 2cm 细粒式沥青混凝土 + 5cm 粗粒式沥青混凝土 + 6cm 沥青碎石 + 15cm二灰渣(石灰、粉煤灰和钢渣) + 15cm 二灰土;慢车道是 3cm 细粒式沥青混凝土 + 30cm 二灰土(石灰、粉煤灰和土)。军粮城至胡家园段为维持现行通车要求,北侧慢车道结构为:2cm 细粒式沥青混凝土 + 3.5cm 中粒式沥青混凝土 + 15cm 二灰渣 + 30cm 二灰土。

主要工程数量:

土方及挖淤填渣:1 053.377m^3

灰土及加固土:175 585m^3

二灰土:582 313m^2

二灰渣:423.50m^2

沥青碎石:302 256m^2

粗粒式沥青混凝土:302 256m^2

中粒式沥青混凝土:88 451m^2

细粒式沥青混凝土:573 846m^2

2.加固路基路拌石灰土的施工

1)备料

土:选用塑指 12 ~ 17 的土,易破碎均匀,便于成型,土团最大粒径不宜超过 50mm。

石灰:对石灰质量要求须符合 GB 1954 中要求的三级灰标准,见表 6-20。

石灰的技术指标　　表 6-20

指标 / 类别 / 项目	钙质生石灰			镁质生石灰			钙质消石灰			镁质消石灰		
	等级											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
有效钙加氧化镁含量(%)	≥85	≥80	≥70	≥80	≥75	≥65	≥65	≥60	≥55	≥60	≥55	≥50
未消化残渣含量(15mm 圆孔筛的筛余,%)	≤7	≤11	≤17	≤10	≤14	≤20						
含水量(%)							≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4

续上表

指标 \ 类别 / 项目		钙质生石灰			镁质生石灰			钙质消石灰			镁质消石灰		
		等级											
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
细度	0.71mm方孔筛筛余(%)							0	≤1	≤1	0	≤1	≤1
	0.125mm方孔筛的累计筛余(%)							≤13	≤20	-	≤13	≤20	-
钙镁石灰分类界限,氧化镁含量(%)		≤5	≤5	≤5	>5	>5	>5	≤4	≤4	≤4	>4	>4	>4

对于生石灰,应在使用前3~5d消解完毕,每吨灰的消解需水量一般为600~800kg,石灰消解要透要均匀,既成粉未又不飞扬。场外堆放的生石灰通常采用水管插入,注水消解,必要时过1cm的筛。

2)下承层准备

在下承层验收合格的基础上进行测量放样,用经纬仪定出中桩,直线上每10~15m,曲线上5~10m一个桩,并较灰土层宽度每边宽0.3~0.5m打出边桩,用水平仪测出标高,用红漆在边桩上作出松铺厚度及压实后的标高标志。

3)配合比设计

将选用合格的土和石灰作配合比设计,以优选出满足灰土强度的最佳配合比,确定混合料的最大干密度和最佳含水量。

4)机械路拌施工

(1)施工参数的确定

根据施工规定和工地的情况,按使用配合比计算出灰与土的施工参数,每层灰土压实厚度不宜大于20cm。按下列公式计算:

$$h_1(h_2) = \frac{\rho_0 \dfrac{P_1(P_2)}{P_1 + P_2} h_0}{\rho_1(\rho_2)} \tag{6-3}$$

式中:$h_1(h_2)$——土(消石灰)的松铺厚度,cm;

ρ_0——石灰土的最大干密度,$10^3 kg/m^3$;

h_0——石灰土的压实厚度,cm;

$P_1(P_2)$——土与消石灰的质量比($P_1 = 100\%$);

$\rho_1(\rho_2)$——土(消石灰)的天然松方干密度,$10^3 kg/m^3$;

$$\rho_1(\rho_2) = \frac{\text{土(消石灰)的松方密度}}{1 + \omega_1(\omega_2)} \tag{6-4}$$

式中:$\omega_1(\omega_2)$——土(消石灰)的含水量,%。

如疏港公路K9+000~K11+000路基石灰土基层施工数据计算如下(因各段的土、灰有所差异,因而各段的计算数据有所不同)。

已知:$\rho_0 = 1.642 \times 10^3 kg/m^3$;$h_0 = 15 \sim 20cm$;$P_2 = 8\%$;$\rho_1 = 1.29 \times 10^3 kg/m^3$;$\rho_2 = 0.5 \times 10^3 kg/m^3$

则:

$$h_1 = \frac{1.642 \times \dfrac{100}{100 + 8} h_0}{1.29} = 1.18 h_0$$

$$h_2 = \frac{1.642 \times \dfrac{8}{100 + 8} h_0}{0.5} = 0.24 h_0$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

根据快车道施工宽度 8.6m，慢车道施工宽度 6.6m，计算出每延米路基上灰土实际用量（灰土层施工宽度较设计每边加宽了 0.3m）。不同压实厚度土和消石灰的施工参数见表 6-21。

不同压实厚度土和消石灰的施工参数 表 6-21

参数 / 类型 / 厚度 h_0(cm)	土			消石灰		
	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)
15	17.7	15.2 1.17	1.96 1.51	3.6	0.31 0.24	0.15 0.12
16	18.9	1.62 1.25	2.09 1.61	3.8	0.33 0.25	0.16 0.13
17	20.0	1.72 1.32	2.22 1.76	4.1	0.35 0.27	0.17 0.14
18	21.2	1.82 1.40	2.35 1.81	4.3	0.37 0.28	0.18 0.14
19	22.4	1.93 1.48	2.44 1.91	4.6	0.39 0.30	0.20 0.15
20	23.6	2.03 1.56	2.62 2.01	4.8	0.41 0.32	0.21 0.16

注：①斜线上方为快车道每延米土、灰用量；下方为慢车道每延米土、灰用量；

②计算时，本应以材料干密度计，而后根据实际含水量再换算；但经测定从同一地方进土与灰，除特殊情况外，一般含水量偏差不大，且在施工时在接近最佳含水量时施工，因而直接采用湿密度计算。

(2)上料摊铺

根据已有的计算参数，按现场合理布置，将所用的土换算为车数，在将要施工的地方按规定位置堆放，再用推土机摊平，并满足要求的松铺厚度或者是每延米的用土数量。布好土后，再用同样的方法运送摊铺消石灰。当使用袋装生石灰时，也可用人工按划定网格范围均匀布放。对未消解的生石灰块或土中的石块应有专人清捡，使土和灰一定均匀布放。

(3)拌和

①灰土拌和机拌和（公路一局进口了两台 BOMAG 公司的稳定土拌和机，加上两台国产机），根据施工分层厚度的要求，将拌和机先调整好拌和深度，由两侧向路中心推进拌和，每次拌和应有重叠，不得漏拌。拌和时先干拌一遍，这一遍不能拌到底，应留 3～4cm，再湿拌一至二遍，要拌到底并多拌 1cm 深，使全部拌均匀、翻透。拌和过程中及时检测含水量，根据土性和天气情况，酌情控制混合料含水量一般应高出最佳含水量 1%～3%，具体高多少，应根据施工气温情况灵活掌握。在拌和机调头处应及时整平翻松拌和，应随时检查拌和深度及含灰量，发现问题及时调整处理。

②利用专门石灰土拌和机的同时，也应充分利用好其他常用机械。如用拖拉机牵引的四铧犁和圆盘耙，一般先干拌 2～3 遍，使灰土初步混合均匀，然后参照最佳含水量，视混合料干湿情况估计拌和碾压前的蒸发酌情加水，湿拌 5～6 遍，拌至均匀为止。要防止夹层与漏拌。

(4)整型

拌和完成后，用平地机整型，用拉线检查控制标高、横坡。初步整型后，用履带拖拉机排压 1～2 遍后，再用平地机整型直至符合标高、横坡的要求。注意不能光面薄层贴补。

(5)碾压

整型结束后，检测含水量满足压实要求时，可以进行碾压。用 12t 三轮压路机碾压，应从低侧开始。首压重轮应压一半路肩，重轮每次重叠 1/2 轮，逐次压向高的一侧压，重轮压完全

宽为一遍。压至3遍以上无轮迹便可，检测压实度满足要求后即可进行下一道工序。

(6)养生

完成碾压的石灰土应保持湿度、温度，必须洒水保湿养生7d。

(7)质量控制

①对下承层的验收检查一定要严格认真，如有不合格之处，一定处理合格后才能放样。竣工后也应进行检测，合乎要求方可交付一下工序。

②对原材料严格把关，特别是石灰质量。因为不合格的或等级差的石灰，使用时会增加用量使成本增加，同时还很难保证灰土质量。对堆放时间长的消石灰，使用前一定要检查钙镁含量。对配比和最大干密度、最佳含水量都应重新试验确定。

③施工中，严格按配比掌握掺灰剂量，拌完后一定要用EDTA滴定法抽样检查，发现问题及时调整。

④压实度是石灰土施工质量的主要控制指标，碾压完成后应及时按规定频率检测，发现压实度不够时，及时补压至满足要求。

⑤无侧限抗压强度应满足要求，这只限于路基补强加固，路基无强度要求。但是在路槽完工后全线应进行弯沉测定。

⑥路槽验收标准及实测数据统计见表6-22、表6-23。

路槽验收标准 表6-22

序号	项目	质量标准及允许误差	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	压实度	≥95%	1 000m²	3	环刀法
2	平整度	20mm	20m	1	3m直尺
3	厚度	±10%	100m	1	挖坑
4	宽度	±50mm	40m	1	直尺
5	纵向标高	±20mm	20m	1	水平仪
6	断面高程	±20mm	9~15m	5	水平仪
7	外观鉴定	平整宽实无软弹			
8	弯沉测定	春融期 $E_0=240kg/cm^2$	每车道		弯沉仪

工序完工检验统计表 表6-23

项目	标准	实测数 η	平均数 $\bar{X}$	一次合格率	标准差	离差系数
弯沉	300	1046	451.73		8.1	0.197
	270	475	284.2		54.51	0.192
压实度	≥95%	1502	97.52	97.96	1.04	0.011

3.路面基层、底基层路拌二灰土施工

天津疏港公路的底基层为两层15cm二灰土，基层为15cm的二灰渣。

利用工业废渣粉煤灰作道路基层、底基层，在我国早有先例，特别在南方地区较为普遍。但在北方地区采用它作为高等级公路基层的还为数不多，特别是大面积铺筑可借鉴的经验不多。因此我们在初期施工中只能自己摸索，吃了一些苦头，在工序的控制上，有时因为放松一个环节而失之全部，很有感触。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

二灰土(渣)都含有石灰、粉煤灰,二灰渣中还会有钢渣,而石灰、粉煤灰、钢渣都含有活性物质,能缓慢板结,尤其是粉煤灰和钢渣在和石灰混合后,在石灰的激发下发生缓慢水化作用,具有较好的后期强度。这类混合料属于松散材料或松散的粒状材料,成型养生后,由于硅酸盐胶结材料的粘结力形成板结的整体,具有一定的抗弯拉强度。由于强度增长缓慢,一般在28~90d,才能基本达到设计强度,在低温时就更慢。统计数据见表6-24。

强度随龄期的增长 表6-24

龄期(d)	7	14	28	90	1年
强度(MPa)	0.48~0.53	0.7~0.8	1.0	1.4~2.0	5.6~6.0

二灰土(渣)早期强度低,后期强度高,水稳性和抗冻性好,且收缩裂缝也比石灰土少,初期即使有较小裂缝还可以愈合。因此,针对这些特点,施工时配合比设计要优化,施工时严格准确配料,拌和充分、均匀,碾压密实,养生及时、得当等就成为质量控制关键。

依据工地原材料的实际情况,经大量试验设计了多种配合比,经优化后确定了二灰土的配合比(粉煤灰:石灰:土=35:12:53)和二灰渣的配合比(粉煤灰:石灰:钢渣=45:10:45)。

由于我们首次大面积路拌铺筑该种路面结构层。施工初期觉得质量难以保证,特别是在压实度和无侧限抗压强度等指标上。如早期施工中某段完工后一次性检测结果,二灰土、二灰渣的压实度合格率分别为63.6%和62.2%;强度合格率分别为50%和71%。在施工中也发现过混合料质量不均匀等现象,压实度达不到要求,补压后又起皮,起波浪,导致100m路段推掉重做。基于这种情况我们积极组织有关人员,查找资料,对比工地实际情况,分析原因,提出改进措施,开展QC小组质量攻关活动,QC小组制作了因果分析图,如图6-8。

根据分析的主次原因分别制订了切实可行的对策并付诸实施,经过几轮PDCA循环,使施工质量较以前有较大的提高,而且施工水平也保持在一定的水准上,波动性较小。在施工中我们摸索了一些经验,下面是针对二灰土(渣)的质量要求制订的施工工序及相应的保证措施。

1)原材料要求

(1)土:选用塑指10~20的土,易于粉碎均匀,便于碾压成型,铺筑效果较好。硫酸盐含量超过0.8%或腐渣质量超过10%的土不用。土中大于2.0~2.5cm以上的土块含量不得超过5%。就地的土不能利用时,要就近寻找合适的土场集中采集,运至开工地段成梯台型堆放。

(2)粉煤灰主要化学成分SiO_2、Al_2O_3,总量应大于70%,70℃烧失量应小于10%。粉煤灰测定结果见表6-25。

粉煤粉化学成分表 表6-25

种类	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	烧失量
粉煤灰	45%~60%	26%~38%	2%~6%	1%~2%	2%~10%	8%~9%

使用时应清除杂物,保持30%的含水量;不宜集中堆放,应沿线布放。

(3)石灰:要求石灰的质量不低于Ⅲ级灰标准,有时略有降低时,可用增大混合料中的含灰量来弥补。施工中用过消石灰、袋装粉碎生石灰。袋装灰要制订使用计划,安排每天或两天的进场数量,做到现到现用,均匀布放,才能保证质量。但开袋、布灰劳动强度大,成本高。消石灰的使用,是将块状生石灰集中消解,使用时把好三关:第一,选好几个合适的贮灰场(考虑分部均匀、平坦而排水畅通,具备消解的用水,运输进出方便,污染危害小等);第二,依次进场消解;第三,必要时过10mm筛,未消解的含量应小于20%,消解工作应在使用前一周完成,不能边消解边用,使用时应保持湿度,含水量20%~35%。由于各种原因堆放已久的消石灰,一定要重新检测钙镁含量,并重新设计配合比。

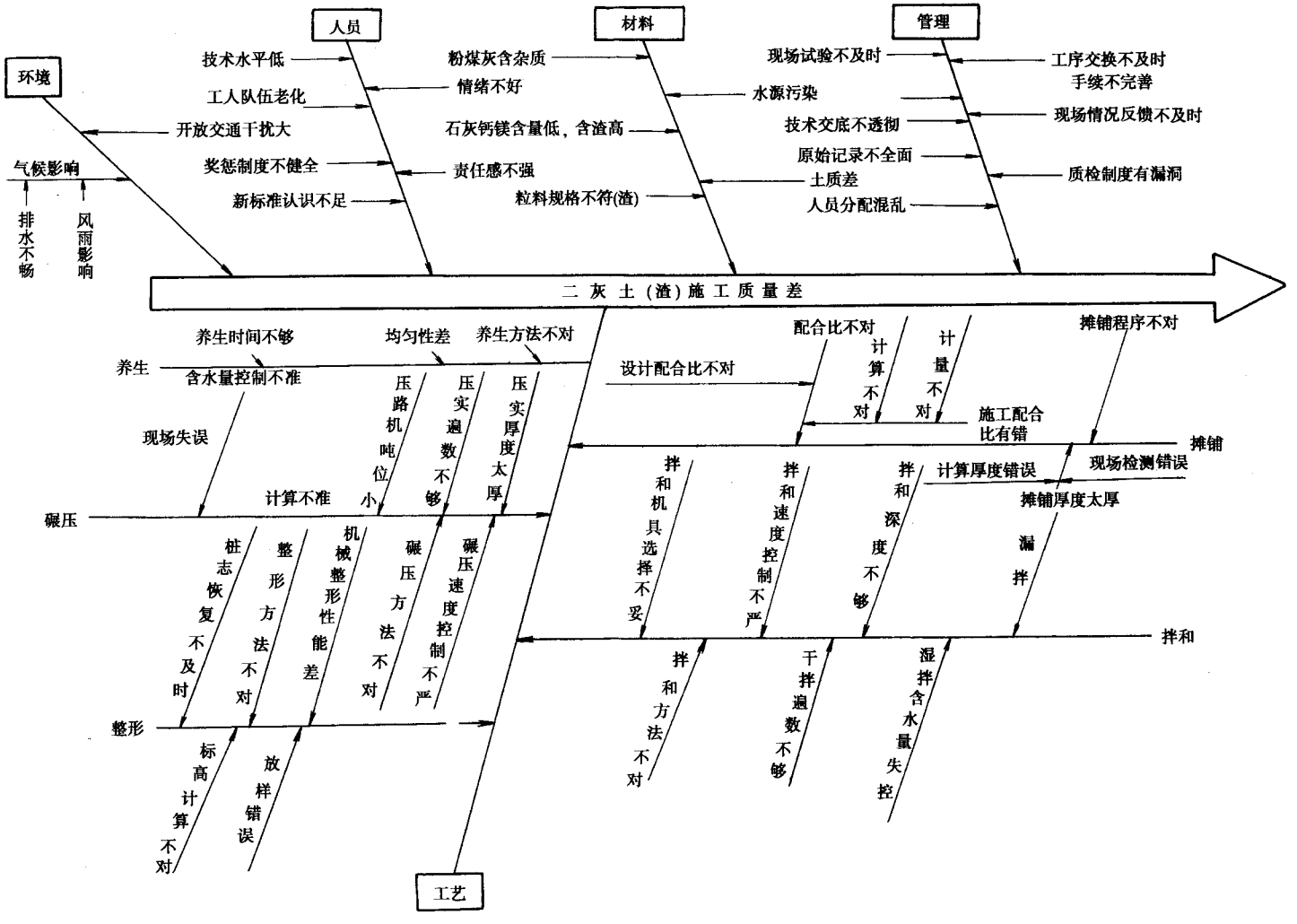


图 6-8　因果分析图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(4)钢渣:本工程使用的是经加工过的首钢重矿渣及部分电厂废渣,检验结果见表 6-26。

钢渣化验结果表 表 6-26

项目	SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	S	松密度($10^3kg/m^3$)	磨耗率
钢渣	20%~40%	36%~42%	9%~13%	9%~15%	1%~2%	1%~2%	1.28	25%~30%

从试验结果看,钢渣具有活性性能,能起到稳定加固作用,施工中要求矿渣最大粒径不大于 4cm,杂物、大块应剔除。

(5)水:自来水或无污染露天水源及地下水。

2)原材料试验

根据试验室试验结果来指导施工。试验结果见表 6-27。

试 验 结 果 表 表 6-27

项 目	湿密度($10^3kg/m^3$)	干松密度($10^3kg/m^3$)	含水量(%)	最大干密度($10^3kg/m^3$)	最大含水量(%)
粉煤灰	0.66~0.75	0.47~0.54	38~50		
消石灰	0.52~0.56	0.56~0.52	5~10		
生石灰	0.97~1.05	0.85~0.95	16~20		
钢渣	1.26~1.45	1.20~1.28	2~5		
土	1.20~1.40	1.00~1.20	15~25		
二灰土				1.35~1.559	19~27
二灰渣				1.326~1.473	17.5~23.5

该路使用的石灰、钢渣是厂家外运,供料变化不大;而土、粉煤灰是集中场外运送,一般情况下也变化不大。K9+000~K11+000 段利用层铺法计算配料参数,计算公式如下:

$$H = \frac{\rho_0 Ph(1+w)}{\rho} \tag{6-5}$$

式中:H——某种材料的虚铺厚度,cm;

ρ_0——混合料的最大干密度,kg/m^3;

h——混合料结构层的压实厚度,cm;

P——某种材料与混合料的质量百分比,%;

w——某种材料含水量,%;

ρ——某种材料湿松密度,kg/m^3。

该工程所用原材料的试验数据如下:粉煤灰湿松密度 $666kg/m^3$,含水量 40%;石灰松密度 $525kg/m^3$,含水量 10%;土松密度 1 290kg/m^3,含水量 20%;钢渣松密度 1 339kg/m^3,含水量 5%;二灰土中,粉煤灰:石灰:土=35:12:53;二灰土的最大干密度 1 463kg/m^3,最佳含水量 22.5%;二灰钢渣中,粉煤灰:石灰:钢渣=45:10:45;二灰钢渣干密度 1 460kg/m^3,最佳含水量 17.5%。

为了施工使用方便，根据不同的混合料压实厚度，按不同的施工宽度，计算出有关参数列于表6-28、表6-29，供施工时查用。

二灰土配料参数参考表 表6-28

项目 / 参数 / 厚度(cm)	粉煤灰			石灰			土		
	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)
10	10.78	0.93 / 0.71	0.62 / 0.47	3.51	0.30 / 0.23	0.16 / 0.12	7.21	0.62 / 0.48	0.80 / 0.62
11	11.86	1.02 / 0.78	0.68 / 0.52	3.68	0.33 / 0.25	0.17 / 0.13	7.93	0.86 / 0.52	0.88 / 0.67
12	12.94	1.11 / 0.85	0.74 / 0.56	4.12	0.36 / 0.28	0.19 / 0.15	8.66	0.74 / 0.57	0.95 / 0.74
13	14.01	1.20 / 0.92	0.80 / 0.61	4.56	0.39 / 0.30	0.20 / 0.10	9.36	0.81 / 0.62	1.04 / 0.80
14	15.00	1.30 / 1.00	0.86 / 0.66	4.95	0.42 / 0.32	0.22 / 0.17	10.10	0.87 / 0.67	1.12 / 0.86
15	16.17	1.39 / 1.07	0.92 / 0.71	5.27	0.45 / 0.35	0.24 / 0.8	10.82	0.93 / 0.71	1.20 / 0.92
16	17.26	1.43 / 1.14	0.98 / 0.76	5.62	0.48 / 0.37	0.26 / 0.19	11.54	0.99 / 0.76	1.28 / 0.98
17	18.33	1.58 / 1.21	1.05 / 0.80	5.97	0.51 / 0.39	0.27 / 0.20	12.36	1.05 / 0.81	1.35 / 1.04
18	19.40	1.67 / 1.28	1.11 / 0.85	6.32	0.54 / 0.42	0.28 / 0.22	12.98	1.12 / 0.86	1.14 / 1.11
19	20.48	1.76 / 1.35	1.17 / 0.90	6.67	0.57 / 0.44	0.30 / 0.23	13.70	1.18 / 0.90	1.52 / 1.16
20	21.56	1.85 / 1.42	1.23 / 0.94	7.02	0.60 / 0.46	0.32 / 0.24	14.42	1.24 / 0.95	1.60 / 1.22

注：表中斜线上方为单向快车道，施工宽度为8.6米；斜线下方为单向慢车道，施工宽度为6.6米；压实系数为2.15。

二灰渣配料参数参考表 表6-29

项目 / 参数 / 厚度(cm)	粉煤灰			消石灰			钢渣		
	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)
10	13.83	1.19 / 0.91	0.79 / 0.60	3.06	0.26 / 0.20	0.14 / 0.10	5.15	0.44 / 0.34	0.59 / 0.46
11	15.21	1.31 / 1.00	0.87 / 0.66	3.36	0.29 / 0.22	0.15 / 0.12	5.67	0.49 / 0.37	0.66 / 0.50
12	16.66	1.43 / 1.10	0.95 / 0.73	3.67	0.32 / 0.24	0.17 / 0.13	6.18	0.53 / 0.41	0.71 / 0.55
13	17.98	1.55 / 1.19	1.03 / 0.79	3.98	0.4 / 0.26	0.18 / 0.14	6.70	0.98 / 0.44	0.78 / 0.59
14	19.36	1.66 / 1.28	1.10 / 0.85	4.28	0.37 / 0.28	0.19 / 0.15	7.21	0.62 / 0.48	0.83 / 0.64
15	20.74	1.78 / 1.37	1.18 / 0.91	4.59	0.39 / 0.30	0.20 / 0.16	7.73	0.66 / 0.51	0.88 / 0.68
16	22.13	1.90 / 1.46	1.26 / 0.97	4.89	0.42 / 0.32	0.22 / 0.17	8.24	0.71 / 0.54	0.95 / 0.72

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

项目 / 参数 / 厚度(cm)	粉煤灰			消石灰			钢渣		
	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)	松铺厚(cm)	用量(m^3/m)	用量(t/m)
17	23.51	2.02 1.55	1.34 1.03	5.20	0.45 0.34	0.24 0.18	8.76	0.75 0.58	1.00 0.78
18	24.90	2.14 1.64	1.42 1.09	5.51	0.47 0.36	0.25 0.19	9.27	0.80 0.61	1.07 0.82
19	26.28	2.26 1.73	1.50 1.15	5.81	0.50 0.38	0.26 0.20	9.79	0.84 0.65	1.12 0.87
20	27.66	2.38 1.82	1.58 1.21	6.12	0.53 0.40	0.28 0.21	10.3	0.88 0.68	1.18 0.91

注:斜线上方为单向快车道,施工宽度为8.6米;下方为单向慢车道施工宽度为6.6m;压实系数2.2。

3)施工步骤

(1)准备下承层

验收下承层时,在各项技术指标检查合格的情况下,依据内业资料进行放样测量。疏港公路的横断面是以中央分隔带为最高点,快车道为单向坡,在测量放样上主要是控制好车道两侧边桩。在设计宽度外0.3~0.5m设置边桩,桩距10~20m,弯道10~15m,直线段15~20m。用水平仪测出标高,在边桩上标出虚厚标志。

(2)上料摊铺

上料时指派专人在现场指挥,根据现场使用车型,参照计算配料表,按进料顺序并考虑均匀布置的原则,分别指挥车辆分块卸料,并及时的用平地机或推土机摊平,不足部分补齐,多的推走。二灰土上料顺序为土、粉煤灰、消石灰;二灰渣的上料顺序为粉煤灰、消石灰、钢渣。

(3)拌和

路拌法的拌和是在三层料都摊铺好后进行。工地上使用的是两种机械,一种是稳定土拌和机;另一种是拖拉机带铧犁加缺口圆盘耙。拌和原则是先干拌,后湿拌。二灰渣最好是先将细料干拌一遍。使用拌和机拌和时,是先干拌1~2遍,后湿拌2~3遍;使用拖拉机时,是先干拌2~3遍,后湿拌5~6遍,湿拌时要看混合料实际含水量多少考虑风干、蒸发等因素,在控制最佳含水量的前提下酌情加水,为碾压提供合适的含水量。拌和时应注意杜绝夹层及接头处漏拌,对接头处要重新翻拌,必要时辅以人工处理。

(4)整型

拌和结束后应及时整型,整型施工按三步进行。第一,初平时应及时恢复丢失的施工标高控制标志,用平地机大致整平后,利用履带拖拉机或推土机排压1~2遍;第二,复平时按机械试铺的压实系数,利用边桩标定的控制标高拉线检查控制横坡、标高,应从高处刮向低处,避免薄层贴补;第三,终平时按压实系数考虑压路机的碾压,再拉线检查控制最后一次整平,在平整过程中,平地机通过每个断面时,都按照事先拉线来调整刀片的高低,以保证要求的平整度和路面横坡。

(5)碾压

终平结束后,抽检该层的终平标高是否符合要求。同时,混合料含水量符合当时施工最佳含水量时,及时进行碾压。碾压分三步进行:第一,初压,选用轻型压路机(8~10t)或轮胎压路机进行稳压,慢速碾压1~2遍;第二,复压,用重型路机(12~15t)碾压,以1~2档的速度压2~3遍;第三,终压用重型压路机快压一遍,必要时,用轮胎压路机压一遍。其碾压原则是由低

向高，从路肩的一半开始，压实过程中两轮压路机重叠 1/3 轮宽，三轮压路机重叠 1/2 轮宽，最后压至表面无明显轮迹，经检查达到规定压实度。在压实过程中发现低洼处，或厚度不足处时，禁止薄层贴补，须翻拌重来。

(6)养生

二灰土(渣)强度形成的快慢，很大程度上取决于结构层的湿度与养护温度。因此在路面底基层、基层成型后，应及时封闭交通，避免车辆行驶破坏表层或造成结构内伤。用洒水车洒水保持湿度养生 7d。在雨季施工时，要注意防雨排水，防止水泡软化，降低强度。

(7)质量保证

①把好原材料质量关，对原材料进场前必须通过严格检查，进场时随时抽查，有疑问时立即检查，鉴定其质量是否可用后决定取舍。总之，不合格的材料不准进场使用。

②把好混合料质量关。路面基层、底基层的配料准确与否，拌和均匀如何将对其最终质量产生极大影响，因此，施工前应充分考虑各种影响因素。施工时，对配料进行准确计算，现场配料专人控制把关，针对混合料的拌和质量，除了要求技术人员经常检查外，还设置工地流动试验组，及时检查，为现场调整提供数字依据。

③把好压实竣工高程关。因为全部是机械化施工，由于机械的行走碾压，压实系数很小。在混合料含水量接近最佳含水量时进行碾压，严格按压实三步进行，高程控制主要在整型阶段。从初平起就不能马虎，碾压前的检查尤为重要，因为一经碾压，如要返工就非常困难。尤其是二灰渣基层施工，表面施工后，应重新进行一次竣工高程测量，做好记录，为以后油面施工提供数据。

④基层、底基层的压实度是作为质量控制的主要指标。而试件的无侧限抗压强度，表面弯沉测定，都是在事后进行的，对施工不能起到指导作用，只能说明该结构层的最终强度情况。保证这两个指标满足要求的前提是，各道工序严格把关，严格执行操作规程。否则，将造成返工。

⑤验收标准及部分实测数据统计，见表 6-30、表 6-31。

二灰土(渣)实测项目 表 6-30

序 号	项 目	允 许 误 差	检 查 方 法
1	厚度	±10%	每 200m 刨开检查，在左、中、右三处
2	宽度	>设计宽度	每 20m 尺量一处
3	横坡度	±0.5%	每 100m 检查 2 个断面
4	纵断高程	±20mm	每 20m 用水准仪测一处
5	平整度	15mm	每 100m 用 3m 直尺量 5 处
6	压实度	96% 97%	环刀法每 1 000m² 测 2～3 处 灌砂法每 1 000m² 测 2～3 处
7	试件强度 R_{28}	1～2MPa 2MPa	每一施工段取样一袋

注：斜线上为二灰土，下为二灰渣。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

实测数据统计　　表 6-31

种　类	项　目	检　查　数	一次合格率	平均值	标准差	离差系数
二灰土	压实度	2037	92.18%	98.75%	1.69	0.017
	强度	411	95.08%	1.96MPa	3.31	0.169
二灰渣	压实度	636	94.10%	99.44%	2.03	0.020
	强度	101	96.10%	2.8MPa	4.27	0.150

(二)厂拌法施工实例

二灰土的厂拌法施工与路拌法施工的不同之处,就是厂拌法施工的混合料拌和是将石灰(或水泥)、粉煤灰和土集中在一个中心场地采用机械进行集中拌和,然后再将拌和好的混合料运到铺筑路段进行摊铺碾压。

1.二灰土混合料的拌和

1)二灰土的拌和必须满足以下条件:

(1)土块、粉煤灰块要粉碎,土块粒径要小于 15mm;

(2)配料一定要准确,配料的偏差不能超过规范要求;

(3)混合料含水量要大于最佳含水量,具体大多少根据当时施工气温等因素决定,必须满足碾压时含水量接近最佳;

(4)拌和的混合料要均匀。

2)二灰土拌和的生产流程,见图 6-9。

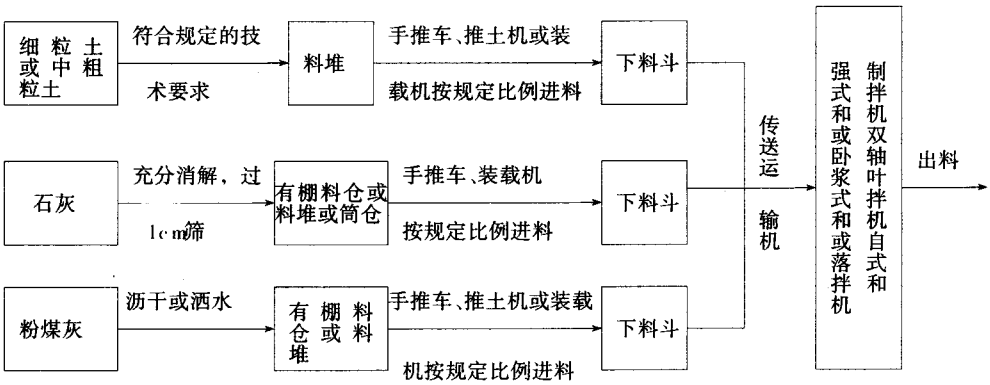


图 6-9　二灰土拌和生产流程图

3)二灰土拌和常用的机械

(1)自落式二灰土拌和机。公路一局在京津塘高速公路进行二灰土施工时,使用的拌和机是自己制造的自落式拌和机。当时国内的连续式或间隔式拌和机很少,使用自落式较多。图 6-10 所示自落式拌和机就是在京津塘高速公路北京段使用的拌和机,使用效果不错。

(2)稳定土电脑拌和站。随着稳定土施工的需要,国内也大量生产连续式或间隔式自动配料拌和的机械。在济青公路、沪宁公路的稳定土施工中都采用了自动配料的拌和机。图 6-11 所示就是公路一局北京路桥机械厂生产的 WDDB—300 全自动配料稳定土拌和机,每小时可生产 300t 混合料。

4)二灰土厂拌的配合比调试

二灰土的配合比设计优选确定后,应根据混合料中各种材料的比例,把稳定土拌和机上料

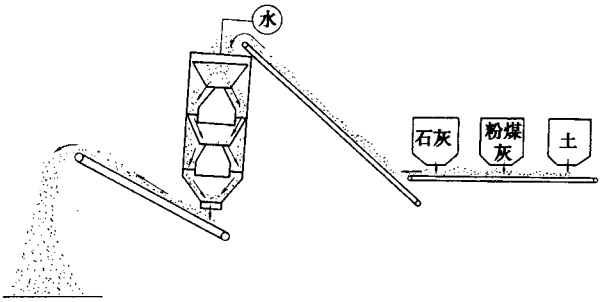


图 6-10　自制自落式厂拌稳定土拌和机示意图

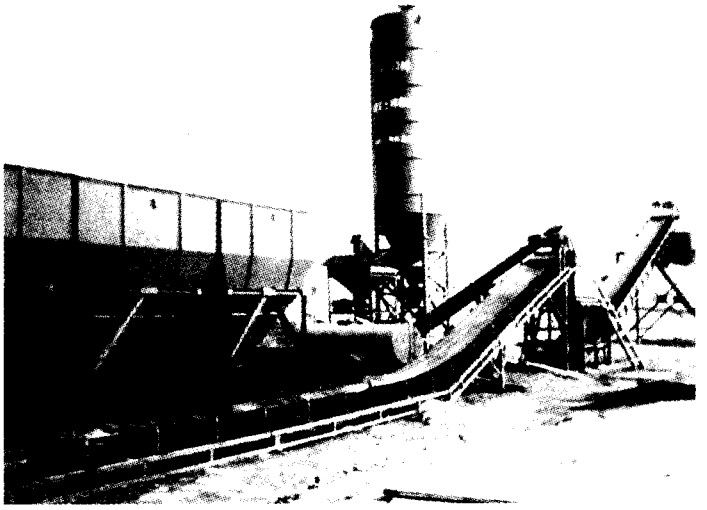


图 6-11　自动配料稳定土拌和机

斗出口斗门开启一定大小，传动皮带设定好传运速度，使在同一时间输出的每种材料刚好等于配合比要求数量或者是数量偏差在规定的误差范围内。另外，每次开盘拌和时，还应测定石灰、粉煤灰和土的含水量，以便调整拌和时的加水量，使拌和时混合料的含水量正好满足要求。

5)拌和料的拌和与检测

一切准备就续后就可以拌和了，对已拌和好的混合料应按规定进行检测，并随机抽样制作强度试件。主要应做以下检测试验：

(1)测含水量是否满设计要求；

(2)测石灰含量是否在要求范围内；

(3)测粉煤灰含量是否在要求范围内；

(4)粗粒土应进行筛分，判定集料级配是否符合要求；

(5)随机取样制作无侧限抗压强度试件，以检测 7d 无侧限抗压强度是否达到规定要求。

2.二灰土混合料的运输

混合料拌和合格后，使用自卸汽车运输，送至摊铺现场。运送时宜在运送车上加盖，防止水分的散发与集料撒落污染环境。

3.二灰土混合料的摊铺

厂拌二灰土混合料的摊铺可以用摊铺机摊铺，也可以用平地机摊铺。

1)摊铺机摊铺

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1)下层准备同路拌法施。

(2)测量放样与路拌法稍有不同,就是在边桩旁打插牢固的 ϕ14 ~ ϕ16mm 钢筋棍,长 40 ~ 50cm,并在其上设置一个能活动的固线装置,以便架设摊铺行走的高程控制基准线(钢丝)。并将钢丝拉紧调设在要求的高度上。

(3)在摊铺的边缘培作路肩。

(4)在摊铺起点就位摊铺机,并将熨平板调整到确定的松铺高度。

(5)自卸车调头后退卸料摊铺。

2)平地机摊铺

采用平地机摊铺厂拌混合料,与路拌法施工也大致相同。只是运到现场的料已经是拌和好的混合料,不需要在现场分层上料摊铺、洒水拌和了。上料时按要求的混合料摊厚布料,平地机平整控制同路拌法施工。厂拌混合料的压实、养生完全与路拌法施工一样。

公路一局在京津塘高速公路的二灰土施工中,以上两种摊铺法都使用了,在济青公路施工时主要是使用的平地机摊铺,施工的效果都能满足业主的,规定要求。问题是,平地机施工时,重点是必须控制好集料在平整时的离析、平整度,禁止薄层贴补找平。

五、二灰土采用低塑性土的施工实例

《公路路面基层施工技术规范》规定,塑指在 15 ~ 20 的粘土适宜作稳定土;而在一些由河流冲积形成的地层中,土多为粉性土、粉砂土,其塑性指数小,不宜作石灰稳定土。而这些地区恰恰缺少天然砂砾和碎石材料,如果外运材料,往往会使造价大大提高。因此,就不得不使用石灰来稳定低塑性土。低塑性的土,虽然不是较好的石灰稳定材料,但通过精心施工,完全可以达到设计要求。

低塑性土的二灰土施工与其他的二灰土施工并没有什么两样。只是在施工中对压实工艺和压实的含水量控制有所不同。如果在这些方面处理不当,在压实过程中会起皮,表面松散不光,出现弹簧,压实度达不到规定的要求等问题。造成起皮的原因是:第一,薄层贴补造成滑动面;第二,混合料含水量低且不均匀、在加上布料不均、拌和不匀引起的孔隙比增大,无法达到规定的压实度从而降低了二灰土的极限承载力,造成整体剪切破坏。

106 线衡水段的施工实践表明,只要采用措施得当,低塑性土的二灰土施工难题是有办法解决的。

1.工程概况

106 线衡水段路面工程 A 标,桩号为 K293 + 834 ~ K308 + 000(其中有 K293 + 834 ~ K304 + 356 约 10.5km 东半幅为改建项目),其沿线附近土质都属于低塑性土。本工程土场有 7 个,塑性指数分别为 8.3、9.3、10.5、10.3、12.3 和 13.8。路面的结构层为二灰找平层,两层 15cm 二灰土,一层 15cm 水泥稳定碎石,两层沥青面层。改建路面的断面如图 6-12 所示。

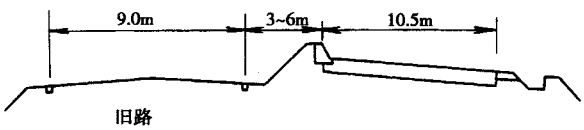


图 6-12 改建路面断面图

该工程进行配合比组成设计时,考虑二灰土是用作高等级公路的底基层,所以要保证混合料具有足够的强度,另外还要易于摊铺和压实,同时还应达到成本低的目标。经过多种比例的

试配试验，为使二灰土有较高的后期强度，选用了石灰：粉煤灰：土 = 10:35:55。这个配合比在试验室做出的效果较好，但在试验路施工时，压实成型较困难，表面松散起皮，压实度不能满足设计要求。经过再次试配调整，最后选用了石灰：粉煤灰：土 = 10:26:64。这个配合比较适应当地土质特性，7d 强度满足设计要求，而且施工成型困难的问题得到了较成功的解决。

2.低塑性土的二灰土施工

该路的 30cm 厚二灰土底基层分两层施工，每层 15cm 厚，都是采用路拌法施工。拌和机为国产灰土拌和机，由于土的塑性低，一般拌和两遍就比较均匀。其主要施工程序如下：

1)在验收合格并放好样的路基上按规定剂量布土摊平，并轻压一遍；

2)在已摊平合格的土上按规定剂量布粉煤灰；

3)在均匀布撒粉煤灰后，用灰土拌和机拌和一遍，这一遍可不拌到底，留下 2～3cm，拌后轻压一遍；

4)在轻压后按规定剂量布撒石灰；

5)石灰布撒均匀以后视含水量情况，调节控制水量进行洒水拌和，这次拌和一定要拌入下层 0.5～1.0cm，紧跟着推土机进行排压；

6)用拉线法控制标高，平地机精平；

7)压实成型；

8)养生 7d 后，再进行上层施工。

3.施工中存在问题及处理措施

1)存在问题

低塑性土的二灰土，在压实时，起皮现象较普遍，表面松散不光，或者是产生弹簧，压实度不易达到设计要求。造成上述问题的原因是：第一，刮平时，薄层贴补，人为造成滑动面；第二，含水量不足，或是含水量不均匀，或是混合料布料不均匀，引起一些地方孔隙比增大，无法达到最佳压实度，从而降低了二灰土的极限承载力，造成整体剪切破坏。

2)处理措施

(1)薄层贴补的处理

在计算用料时比实际用料应多一些，尽量减少平地机刮料找补现象，布土必须用平地机精平到比设计高程高 0.5～1.0cm 的标高线上，布撒粉煤灰和石灰时都要考虑到高出的 0.5～1.0cm土的因素。

由于粉煤灰吸水快，所以最后一遍拌和时含水量应控制在比最佳含水量高 2～3 个百分点，灰土拌和机拌和最后一遍时用东方红 75 型履带推土机进行排压，严禁光面压路机碾压，以避免出现薄层贴补。

平地机刮平时，禁止人为造成刮补，测量人员紧跟平地机后拉线检查标高，反复削刮，直至达到要求的标高位置。

(2)防止剪加破坏

当二灰土的压实度到达 95%以上时，压路机压实所引起的压应力接近二灰土的极限承载力。所以，如果含水量控制不均，就会造成无法压到设计压实度，使二灰土在未达到规定压实度时，表面就连续剪切破坏。因此，一定要控制好含水量，特别是表面的含水量。同时也应控制好压实遍数，千万不能过压。

①用科学的洒水拌和方法。

二灰土施工的最佳月份一般为 4～11 月，而 5～9 月衡水地区风力较大。中午气温高的时

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

候，传统的施工方法是布完石灰后，就洒水，应注意不能多洒，否则拌和机工作时打滑，无法拌和。拌完一遍后晚上洒水闷料，第二天早上再拌和一遍，马上排压，然后再对表面进行洒水保湿，错开中午高温，到下午 3 点以后才整平，当天晚上必须压实成型。这种方法的缺点是：第一，二灰土施工周期长（一般 300m 路段，两天才能成型）；第二，石灰剂量和钙镁含量都容易损失，失去了成型效果最好的时间；第三，含水量很难控制，常常造成返工，洒水重新拌和现象；第四，含水不均，多水地方易出现弹簧，少水的地方易发生剪切破坏，表面松散，起皮不光；第五，所需水车多，施工中 50% 的水量蒸发浪费了；第六，洒水过程中水车碾压造成光面，形成薄层贴补；第七，二灰土上下含水量不均，表面过湿，碾压时粘轮，将二灰土表皮带起。在施工中，如图 6-13 的加水拌和方法从根本上解决了含水量不均匀的问题，其具体作法是：在灰土拌和机上安装一条喷水管，该管与水车软管相连接，喷水管两头设置阀门开关用来调节喷水量。采用这个装置就能克服上述 7 个缺点，二灰土施工周期缩短一半，当天就能压实成型，含水量很容易调节控制。由于加水拌和，二灰土的上下层含水量都非常均匀，节约水车台数 50% 以上，节约用水量 5% 以上，消除了洒水过程中造成二灰土光滑面，使二灰土合格率达到 100%，杜绝了返工，提高了压路机的功效。

②严格控制含水量。

二灰土最后一次拌和时，试验人员应及时检测含水量，并根据施工季节决定加水拌和的喷水量。在春夏季施工时，由于有风以及气温高，二灰土最后一次拌和的含水量一般控制在比最佳含水量高 2% ~ 4%；在雨季施工时，一般控制在比最佳含水量高 1% ~ 2%。

③合理安排压实程序。

混合料孔隙比大时，粘结力小，内摩擦角小，这时二灰土的承载力低，第一遍稳压要使用 CA30 不开振动的静压。当压实度接近最佳密实度时压缩变形对二灰土表面压力的缓减作用减弱了，用三轮压路机静压一遍后立即检测压实度，严禁超压而造成剪切破坏。在施工中，先用 CA30 静压一遍，接着用低振幅弱振两遍，12 ~ 15t 三轮压一遍，胶轮再压一遍就可满要求。尽量避开高温时间碾压成型，成型时间在 6:00 ~ 10:00 和 14:00 ~ 20:00 之间为宜。

4.施工中注意事项

1）加水拌和必须从横坡高处向低处方向拌和，如果反方向拌和就会造成喷洒的水流入已拌和的非常疏松的二灰土混合料中，使含水量增加过大，压实时造成弹簧。正确的拌和方向见图 6-14。

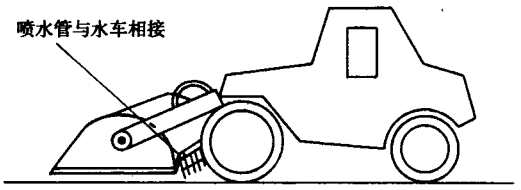


图 6-13　加水拌和机

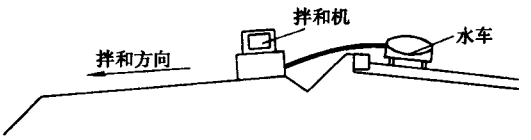


图 6-14　加水拌和

2）在拌和前应把开始拌和第一刀的范围先洒一遍水，特别是边缘处要多洒一些水。因为在拌和过程中喷洒多余水量会自动流向拌和方向，只有这样才能保证二灰土整体含水量一致。

3）在最后一次拌和之前，一定要用平地机平整一遍再拌和，拌和过程中紧跟东方红 75 型履带推土机排压。

4）由于二灰土成型含水量比最佳含水量高 2% ~ 4%，如果养生跟不上，二灰土表面干燥后，会发生裂缝，这一点一定要引起足够重视。该工程第二层二灰土也是采用路拌，采用上层二灰土的覆盖养生，而顶层二灰土用塑料薄膜覆盖保湿养生，取得了很好的效果。

5)顶层二灰土施工与下层二灰土一样，只是控制拌和深度时，一定要深入到下层二灰土0.5～1.0cm，应设专人严格地进行高频率的检查控制，不能在层间留下夹层。

六、二灰土采用弱膨胀土的施工实例

1.工程概况

沂淮高速公路GA标全长26.83km，挖方313.4万m^3，填方32万m^3，特大桥2 116m/1座，互通立交2座，大中桥10座，软地基处理750m。路面结构层由20cm二灰底基层、34cm的二灰碎石基层和15cm三层沥青混凝土路面组成。该工程于1998年10月1日开工，2000年11月完工，11月14日验收，12月15日通车，工程质量优良。

沂淮高速公路GA标位于江苏省宿迁市沭阳县境内，道路通过平坦的农田区，路堤高4m左右。当地气候潮湿多雨，地下水位高，地表下1m左右就能见地下水。沿线土质大多为高液限粘土，间夹砂礓石，液限在30%～70%之间，塑性大，取出的土大部分为大泥块，难于破碎。这种土质的自由膨胀率一般在40%～65%之间，属于弱膨胀土。弱膨胀土用于填筑路基都需要采取一定的处理措施，方能满足要求；用作二灰土底基层时，就有着不同的试验方法和施工方法。

2.土场的选择

GA标沿线26.83km范围内，K27+380～K44+360段土质为膨胀土，土中含有不同程度的砂礓石，塑性指数一般都在20以上；K44+310～K52+057的土质其塑指小于20，含砂礓石少。从全线45个土场中挑选了塑性指数小的，运距适中的土场供做二灰土使用，其试验结果汇总见表6-32和表6-33。

二灰土配合比试验汇总表 表6-32

土场编号	混合料配合比 石灰:粉煤灰:土	无侧限抗压强度代表值	说明
G_1	12:28:60	1.0、0.8、0.7、0.78、0.86、0.80 $R_{c0.95}=0.66$ $\overline{R}_c=0.82$	素土:液限 塑限 塑指 46% 25.2% 20.8 4%石灰砂化:液限 塑限 塑指 37.2% 22.7% 15.0 采用配合比：10:30:60
	12:38:50	0.72、0.80、0.62、0.76、0.80、0.72 $R_{c0.95}=0.63$ $\overline{R}_c=0.74$	
	14:36:50	0.68、0.72、0.80、0.90、0.86、0.74 $R_{c0.95}=0.64$ $\overline{R}_c=0.783$	
	10:30:60	0.68、0.72、0.80、0.90、0.86、0.71 $R_{c0.95}=0.64$ $\overline{R}_c=0.783$	
	10:20:70	0.74、0.94、0.72、0.88、0.72、0.92 $R_{c0.95}=0.69$ $\overline{R}_c=0.85$	
G_2	9:27:64	0.76、0.84、0.78、0.78、0.92、0.84、0.86 0.89、0.92 $R_{c0.95}=0.72$ $\overline{R}_c=0.85$	素土:液限 塑限 塑指 31.3% 20.8% 10.5 不用掺石灰砂化 采用配合比:9:27:64 10:30:60
	12:38:50	0.88、1.0、0.92、0.90、0.88、0.86、0.90 0.84、0.94 $R_{c0.95}=0.82$ $\overline{R}_c=0.90$	
	10:30:60	1.0、0.88、0.92、1.0、1.0、0.82、0.96 0.98、1.0 $R_{c0.95}=0.84$ $\overline{R}_c=0.95$	
	14:36:50	1.04、1.52、1.12、1.20、1.10、1.08、1.22 1.18、0.98 $R_{c0.95}=0.99$ $\overline{R}_c=1.12$	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

土场编号	混合料配合比 石灰:粉煤灰:土	无侧限抗压强度代表值	说　　明
G_{23}	10:20:70	0.96、0.72、0.92、1.00、0.94、0.84 $R_{c0.95}=0.73$ $\overline{R}_c=0.90$	素土：　液限　塑限　塑指 46.6%　25.4%　21.2 掺4%石灰砂化：液限　塑限　塑指 43.8%　28%　15.8% 采用配合比:10:30:60
	10:28:60	0.90、0.76、0.80、0.88、0.74、0.96 $R_{c0.95}=0.70$ $\overline{R}_c=0.84$	
	10:30:60	0.98、1.12、1.00、1.00、0.94、1.20 $R_{c0.95}=0.80$ $\overline{R}_c=1.00$	
	14:36:50	1.00、0.80、0.88、1.00、0.90、1.00 $R_{c0.95}=0.79$ $\overline{R}_c=0.93$	
	12:38:50	0.86、1.00、1.20、0.96、0.89、0.70 $R_{c0.95}=0.72$ $\overline{R}_c=0.96$	
G_{33}	10:20:70	0.70、0.92、0.76、0.88、0.98、0.72 $R_{c0.95}=0.63$ $\overline{R}_c=0.82$	素土：　液限　塑限　塑指 47%　25.3%　21.7 掺4%石灰砂化：液限　塑限　塑指 43%　26.8%　16.2 采用配合比:10:30:60
	12:28:60	0.70、0.76、0.88、0.94、0.92、0.74 $R_{c0.95}=0.65$ $\overline{R}_c=0.82$	
	10:30:60	0.88、0.80、1.00、0.92、1.00、0.86 $R_{c0.95}=0.76$ $\overline{R}_c=0.90$	
	14:36:50	0.80、0.76、0.86、0.84、0.96、0.88 $R_{c0.95}=0.74$ $\overline{R}_c=0.85$	
	12:38:50	0.62、0.60、0.66、0.76、0.68、0.76 $R_{c0.95}=0.58\overline{R}_c=0.68$	
G_{34}	10:20:70	0.67、0.98、0.80、0.86、0.84、0.99、0.92、0.88、0.90　$R_{c0.95}=0.77$ $\overline{R}_c=0.88$	素土：　液限　塑限　塑指 46.7%　24.7%　22 掺4%石灰砂化：液限　塑限　塑指 42.0%　24.8%　17.2 采用配合比:10:30:60
	10:30:60	0.90、0.78、0.90、1.00、0.96、0.80、0.86、0.92、0.82　$R_{c0.95}=0.76$ $\overline{R}_c=0.88$	
	14:36:50	0.88、1.00、0.94、0.82、0.94、0.86、0.84、0.96、0.88　$R_{c0.95}=0.80$ $\overline{R}_c=0.90$	
	12:28:60	0.80、0.96、0.92、0.78、0.86、0.90、0.84 0.94、0.78 $R_{c0.95}=0.74$ $\overline{R}_c=0.84$	
	12:38:50	0.78、0.88、0.76、0.94、0.82、0.92、0.84、0.90、0.86　$R_{c0.95}=0.76$ $\overline{R}_c=0.86$	
G_{26}	10:20:60	1.64、1.60、1.60、1.67、167、1.68 $R_{c0.95}=1.59$ $\overline{R}_c=1.64$	素土：　液限　塑限　塑指 48%　25%　23 掺4%石灰砂化：液限　塑限　塑指 46.2%　31%　15.2
	12:36:52	1.41、1.29、1.30、1.58、1.54、1.45 $R_{c0.95}=1.24$ $\overline{R}_c=1.42$	
G_{35}	9:27:64	0.80、0.76、0.70、0.74、0.66 $R_{c0.95}=0.70$ $\overline{R}_c=0.74$	素土：　液限　塑限　塑指 39.0%　21.5%　17.5 不用掺灰砂化 采用配合比:10:30:60
	10:30:60	0.84、0.92、0.90、0.88、0.88、0.88 $R_{c0.95}=0.84\overline{R}_c=0.88$	
	10:33:57	0.80、0.82、0.80、0.86、0.80、0.76 $R_{c0.95}=0.76\overline{R}_c=0.80$	
	12:33:55	0.72、0.78、0.78、0.74、0.76、0.74 $R_{c0.95}=0.72\overline{R}_c=0.76$	

续上表

土场编号	混合料配合比 石灰:粉煤灰:土	无侧限抗压强度代表值	说　　明
G_{36}	9:27:64	0.70、0.62、0.70、0.62、0.66 $R_{c0.95}=0.62\ \overline{R}_c=0.66$	素土：　液限　塑限　塑指 39.0%　25%　14 不用掺灰砂化 采用配合比:10:30:60
	10:30:60	0.88、0.90、0.86、0.80、0.82、0.84 $R_{c0.95}=0.80\ \overline{R}_c=0.84$	
	10:33:57	0.76、0.76、0.78、0.72、0.70、0.68 $R_{c0.95}=0.70\ \overline{R}_c=0.74$	
	12:33:55	0.60、0.68、0.60、0.60、0.74、0.70 $R_{c0.95}=0.62\ \overline{R}_c=0.66$	
G_{41}	9:27:64	0.97、0.99、0.95、0.83、1.07、1.04、0.84、0.86 $R_{c0.95}=0.81\ \overline{R}_c=0.94$	素土：　液限　塑限　塑指 33%　17%　16 不用掺石灰砂化 采用配合比:10:30:60
	10:30:60	1.01、1.07、1.11、1.06、0.99、1.06、1.04、0.97、1.14 $R_{c0.95}=0.96\ \overline{R}_c=1.05$	
	10:35:55	0.9、0.9、0.82、0.92、1.02、0.91、1.08、0.88、1.08 $R_{c0.95}=0.80\ \overline{R}_c=0.95$	
	11:33:56	0.84、0.69、0.79、0.87、0.82、0.86、0.82、0.81、0.70 $R_{c0.95}=0.69\ \overline{R}_c=0.80$	
	12:36:52	0.82、0.83、0.88、0.81、0.88、0.81、0.84、0.79、0.76 $R_{c0.95}=0.76\ \overline{R}_c=0.82$	

二灰土混合料标准击实和抗压强度试验结果汇总表　　表 6-33

取土场编号	计划使用桩号	二灰土配合比 石灰:粉煤灰:土	最大干密度 (g/cm^3)	最佳含水量 (%)	7d 无侧限抗压强度(MPa)	备注
G_2	K27 + 380 ~ K32 + 910	9:27:64 10:30:60	1.549 1.478	18.2 20.9	0.72 0.83	
G_{23}	K35 + 315 ~ K38 + 400	9:29:62 10:30:60	1.464 1.512	21.7 22.5	0.74 0.77	
G_{26}	K38 + 380 ~ K40 + 000	9:29:62 10:30:60	1.448 1.425	24.0 23.5	0.95 1.59	
G_{33}	K40 + 000 ~ K44 + 310	9:29:62 10:30:60	1.442 1.431	22.4 23.0	0.99 0.96	
G_{35}	K44 + 310 ~ K45 + 770	10:30:60	1.528	2.16	0.88	
G_{36}	K45 + 770 ~ K46 + 951	10:30:60	1.540	20.2	0.84	
G_{41}	K48 + 649 ~ K52 + 057	10:30:60	1.570	20.5	0.79	

3.试验步骤

1)石灰、粉煤灰的常规试验

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

选择可供使用的石灰、粉煤灰备用。

2)土的试验

(1)素土的天然含水量、膨胀量、干密度、塑指试验。

根据膨胀量的大小,确定掺加石灰的剂量,对膨胀土事先进行砂化处理,一般塑指大于20的素土掺4%石灰砂化,塑指小于20的素土掺2%~3%的石灰砂化,砂化3d,最多不超过6d。只要将原土的塑指降到17左右时,就可以将砂化好的土按常规的土做配合比设计。

(2)砂化土的膨胀量、干密度和不同天数的塑指试验。掺石灰后的土,要进行膨胀量测定,其膨胀量应符合要求或者不膨胀。土砂化后随着时间延长其塑指、干密度都要随着下降。因此要做出使用同一石灰剂量砂化土的不同时间的塑指、干密度并绘制相关的衰减曲线图,见图6-15和图6-16。

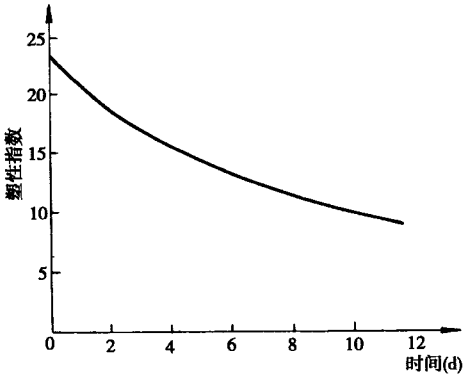


图6-15 掺3%石灰砂化后土的塑指衰减

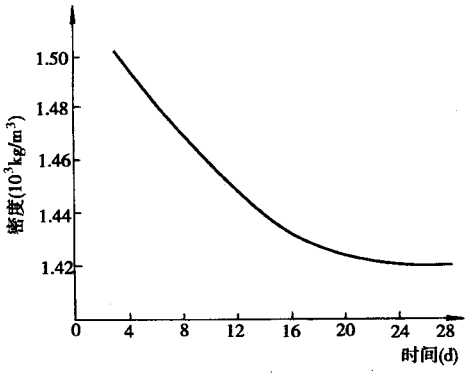


图6-16 掺3%石灰砂化后土工的干密度衰减曲线

(3)不同灰剂量的标准击实,灰剂量的滴定曲线,见图6-17和表6-34。

G_{41}号取土场标准滴定曲线表 表6-34

石灰剂量(%)	6	8	9	10	11	12	14	备注
EDTA消耗(mL)	26.2	36.8	41.2	46.5	48.6	52.4	56.5	最佳含水量20.6%

(4)求得同一配合比、不同时间的最大干密度和最佳含水量。

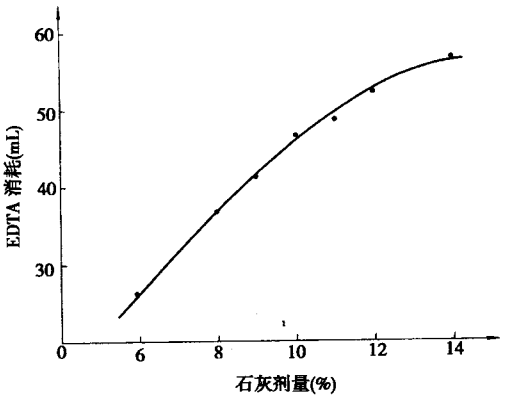


图6-17 G_{41}取土场标准滴定曲线

4.施工过程

1)施工准备

(1)应准备Ⅲ级以上的钙质和镁质石灰,本工程用镁质石灰更好。在使用前7d对石灰进行充分消解,并过1cm的筛(含水量控制在过筛不起灰为准)后封存覆盖备用。同时还应准备一定量的生石灰粉用以调节混合料含水量。

(2)使用的是连运港海州电厂的粉煤灰,各项指标均符合规范要求,但应控制好含水量的稳定性。使用彩条布将其覆盖,有利于二灰混合料的含水量调控。

(3)最好使用塑指在15~17之间的土,但这里是弱膨胀土,必须经过掺3%~4%石灰砂化处理方能使用。二灰土用土要根据原土的性质确定掺石灰剂量进行砂化,砂化的目的是降低

土的塑指，便于破碎。因为土的含水量大于25%，同时地下水位又比较高，所以备土沥水就特别重要，堆放沥水的土一定要用彩条布覆盖，过湿的土不允许上路。

(4)路槽准备。在通过工序检验合格的路基上进行测量放样，培筑路肩并每10m设一个泄水槽，路肩培筑高度应高出5cm，以便与二灰土同时碾压。

(5)机械设备准备。为保证二灰土施工顺利进行，应配备以下机械：

平地机	1台
压路机	C25、C30各1台
	18~21t三轮3台
	胶轮1台
路拌机	2台
铧　犁	1台
水　车	1台
旋耕机	2~3台
推土机	2台
挖掘机	1台
自卸车	8~10台
装载机	1台
筛　子	10~20个

2)施工程序

(1)根据二灰土的压实厚20cm，计算土的虚铺厚度(其计算方法见疏港公路实例)。把土运到路基上，用推土机推开，平地机初平，并测量厚度使其达到计算土厚加1~2cm。然后，用压路机轻压一遍。

(2)根据土的塑指高低确定按3%还是4%的石灰剂量掺灰砂化。在布土整平初压后的作业面上打方格网按剂量均匀布灰。用铧犁翻拌一遍，旋耕机旋耕3~5遍，振动压路机轻振一遍，封顶闷料砂化；第二天用灰土拌和机打两遍，振动压路机轻压一遍；第三天路拌机打两遍，压路机轻压一遍，路拌机再打两遍，压路机轻压一遍。经过了这四遍拌和打碎，土颗粒还可能较大，一般这样重复拌和打碎与轻压有8遍，就可以使砂化土的颗粒通过1.5cm筛孔数量大于93%，根据现场情况确定翻拌打碎遍数。只要土的颗粒大小满足规范要求，二灰土的用土就完成砂化过程，可进行下道工序的施工作业。

(3)在砂化合格的作业段上初压整平，调整纵横坡使之满足要求。接着打网格按照配合比计算石灰、粉煤灰的厚度，先均匀的摊铺石灰，然后再均匀摊铺粉煤灰。在摊铺石灰、粉煤之前应现场实测石灰、粉煤灰和土的含水量，计算二灰土混合料的含水量，使计算值高出二灰土混合料最佳含水量4%~5%左右。如果含水量高出太多，则应在粉煤灰或石灰中进行调整，必要时用生石灰粉调整。

(4)先用旋耕机把石灰和粉煤灰拌和一遍，然后再用稳定土拌和机拌和二遍或者三遍，拌和深度直到二灰土底层，设专人跟机随时检查拌和深度，配合机手调整拌和深度，防止出现素土夹层并略破坏下承层0.5~1.0cm，也应防止拌和过深，改变二灰土配合比准确性和增大压实厚度而影响压实效果，造成强度降低。

混合料拌和均匀的标志是色泽一致，无土条、灰条、灰团、花面，含水量也合适均匀。

拌和完成后，马上滴定检测灰剂量，检测含水量，当含水量大于最佳含水量1%~2%，取

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

样做 7d 无侧限抗压强度试验并进下道工序。

(5)整型找平。先用振动压路轻压(不开振)1～2 遍,以暴露潜在的不平,再用平地机配合人工进行刮削整型。

路拌底基层施工,标高、横坡的控制是个重点,也是一个难点。因此,在放样时就采取加密控制桩,按整桩号 10m 一个桩,并把二灰土结构层边桩放出来,要求边桩顶至少比设计底基层标高高出 25～30cm,比二灰土底基层每边宽出 30～50cm。在边桩上分别把底基层的松铺高加 20cm 的标高标出,作为该断面在平地机刮平时拉线法控制横坡、标高的标记。使用这种拉线法 5 点控制标高横坡,能准确快速的给平地机司机提供醒目的标记,能起到事半功倍的作用。整型找平合格后即可进碾压成型工序。

(6)碾压成型在整型合格后,先用 25t 或 30t 振动压路机弱振一遍,再强振一遍,再精平一次,随后强振 6～7 遍,三轮压路机压 4～5 遍,最后用胶轮压路机光面碾压一遍。

(7)碾压完成后,应及时进行洒水养生,封闭交通覆盖彩条布养生 7d,养生期间始终使二灰土保持潮湿,不让烈日曝晒,防止风吹。

(8)施工接缝处理。在正常情况下,两条工作缝的搭接,一般采用对接形式。前一天拌和整型后,留下 5～8m 不压实,第二天施工时一起拌和整型与碾压,并及时铲除接缝处多余料。如果前一施工段施工与后一施工段的间隔时间在 24h 以上,应将先施工好的接头切成垂直断面;凿除料应铲除,不得重复使用;待新料拌和合格后用人工摊铺接头段,等施工段全部整型合格后,同时参与碾压;在碾压过程中注意不要破坏先铺段并注意清除多余料。

5.注意事项

1)使用高液限粘土,特别是当此种土还具有 40%～65%的膨胀性,并且塑指较高,最可行的办法是掺加一定剂量的石灰,将其砂化,使土的膨胀量受到控制,塑指降到 17～18。一般砂化时间以 3d 为宜,使塑指降到 17～18。如果能破碎到规定要求,此时施工的二灰土强度较高。若砂化时间过长,土的塑指降的很低,成为砂性土,不但二灰土强度不高,而且碾压成型困难,甚至需要增加一定剂量的水泥才能满足强度要求。因些砂化时间应根据砂化后塑指和破碎难易程度确定。

2)配合比设计是根据砂化 3d 后的土实测指标进行的。由于砂化土的塑指、密度都随砂化的时间不同而变化,所以,配合比设计是砂化 3d 后进行的,施工也应尽量在砂化 3d 后就进行施工,并及时完成压实成型。否则因砂化时间的不同,土的塑指和密度下降很多,而变成了砂性土。如果还用原设计的配合比施工,强度、压实度肯定都达不到设计要求,此时就得按砂性土重新做配合比设计并施工了。

3)控制好配比。组成材料的改变使配合比改变,进而造成设计的各种理论参数的改变,施工质量就无法控制。粉煤灰含量增大,混合料变轻,最大干密度降低,若用设计最大干密度来控制压实度,压实度就达不到要求。石灰含量减少,二灰土就无法达到设计要求的强度,因此,一定要把各种材料的剂量搞准确,同时也要拌和均匀,两者缺一不可。

4)加强压实,严格控制压实工艺。二灰土的强度随压实度的提高而增长,试验证明一般压实度每增减 1 个百分点,二灰土强度就增减 5～8 个百分点。要使二灰土强度达到规定的强度要求,一定要及时碾压,拌和后 24h 内必须压实成型。

5)杜绝和避免薄层贴补,在上料时考虑将二灰土略高出理论值 1～2cm,由平地机刮削向前推移,若个别断面偏低需要加料找补时,整平后要用旋耕机打一遍再压实。

6)在雨季施工时,应备准足够的彩条布覆盖避免雨淋影响施工,看起来会增加投入,实际

上很有利于施工，是减少返工浪费的最好办法。

7)重视养生是保证二灰土强度增长的必要条件，防止曝晒开裂。

第七节　水泥稳定土施工

水泥能稳定各类土，并具有较多的优点而被广泛采用在道路和机场工程中。本节只着重介绍水泥稳定土作道路的基层、底基层的施工方法。关于材料的要求，配合比的设计与优选见前面有关论述。

水泥稳定碎石、砂砾石土作高等级道路的基层、底基层较为普遍。其施工技术水平的高低直接影响路面的使用质量。在近十多年的施工中，由于不断总结改进和完善施工技术，公路一局水泥稳定土施工质量达到同行业先进水平，已形成较为成熟的施工方法。

一、路　拌　法

一般水泥稳定级配碎石(砂砾石)作底基层时采用路拌法施工，其具体施工方法如下。

1.下承层准备及测量放样

1)在已做好的路基上进行全面检查验收，主要应进行标高、宽度、平整度、横坡度、压实度和弯沉值检查，检测值如不满足要求应处理至合格。另外还必须用 12～15t 三轮压路机或等效的碾压机械进行 3～4 遍碾压检查，看是否有弹簧现象，有无起皮、松散情况，如有应处理至合格。当检查完全符合要求后，方能进行下道工序。

2)测量放样及下层清扫洒水润湿。

(1)在验收合格后，施工摊铺前，首先恢复中桩。一般每 200～300m 用全站仪放出一个控制点，后用经纬仪每 10m 设一加密点。根据中桩及摊铺宽度每边加 30～50cm 定出边桩指示桩。

(2)每 200～300m 增设一临时水准点，把设计标高在指示桩上标出来作为施工控制标准。

(3)施工放样后就可清扫下承层，并在上料前洒水润湿使下承层潮湿而无积水。

2.集料准备

1)在配合比设计前，就应事先在沿线所有料场选取技术经济都比较合理的料场，并取有代表性的土样进行原材试验及水泥混合料的物理、力学和配合比试验。根据试验结果，选定材料，优选施工设计配合比，其具体方法见本章第三节。

2)集料预湿视集料含水量情况，如果集料含水量小于最佳含水量，宜在料场先补水预湿。这样能使集料中含水量均匀(特别是细粒土)，可节省撒布水泥后加工操作时间，可以使砂砾类土在与水泥的拌和中粘结紧密，不致落入底部。补水预湿也可在集料初平轻压后进行。不论什么时候补水预湿，都应比混合料最佳含水量低 2%～3%。

3.集料运输

将采集合格的集料，用自卸翻斗车按每车摊铺的面积卸至准备好的铺筑段指定位置。

4.平整轻压

将按量运送至路基上的集料，使用推土机推开，平地机整平，采用每个断面的边桩指示桩上已标明的高程，控制平地机整平。当平整度符合要求后使用光轮压路机轻压 1～2 遍，使表面平整光滑并有一定的密实度。

5.摊铺水泥

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

根据配合比设计的水泥用量，计算每袋(50kg/袋)或者是两袋水泥应撒铺的面积，用白灰线划格网，并在格网内将一袋或两袋水泥人工均匀撒布。如有撒布车，可使用散装水泥(撒布车效率高，撒布均匀性比人工撒布强)，但撒布机压实的部分应该立即耙松。

6.拌和

当水泥撒布完成后，立即使用稳定土拌和机开始拌和。在进行头一、二遍拌和时，不能洒水，当水泥全部拌入土中后，应根据测定的混合料含水量进行定量补水拌和，补水量应使混料的含水量略高于最佳含水量1%～2%。洒水时的洒水距离应长些，洒水汽车起洒处、调头处都应超过施工作业起终点2m以上。拌和应与补水紧密配合防止水分流失，拌和深度一般应达下层0.5～1.0m，应设专人跟机检查、监督、控制。拌和深度过深，影响混合料含水泥剂量，会降低强度；过浅会出现素土夹层，对路面质量危害极大。拌和应以补水量充足，混合料均匀，色泽一致，没灰条、灰团和花面，没粗细粒料"窝"作为判定合格的标准。

7.整平

当混合料拌和均匀后，应立即使用平地机整平。直线上平地机由两侧向中心平刮，曲线上由内侧向外侧平刮。平地机刮平过程中紧跟轮胎压路机进行碾压，以暴露潜在的不平，以提高平地机在拉线控制标高、横坡精平时的准确性。在精平时，严禁薄层贴补，一般宜以刮削为好。

8.碾压成型

当精平符合要求后，应立即进行碾压成型工序。压实机械组合宜以25t或30t振动压路机与YC—16轮胎压路机或者是三轮压路机配合碾压。

1)先用振动压路机不开振稳压一遍，再先轻振后重振碾压至要求压实度，一般为4～6遍，最后用轮胎压路机或三轮压路机碾压2～3遍，用来光面和消除轮迹。压实时各部分碾压的次数应相同，并使路的两侧多压2～3遍。接头处应将压路机的后轮超过接缝位置。

2)碾压时，由路面低的一侧向高的一侧碾压。开始碾压时，边部留下30cm左右不压，待内侧已压实一遍后，再将其压实，以免边部混合料向外推移。

3)稳压时压路机的主动轮应在前方，作到慢起动，空档停车，起动后起振，停车前停振，严禁急转弯和急刹车。

4)为保证每个压实段的接头平整度，稳压时，通常采用以下方法。

(1)纵向静压时，压成锯齿形状(最小错开1m)不能在同一断面上压齐。在下一个压实段静压前，静压压路机应在静压的锯齿接头处，错成斜向45°角压平锯齿型后，再按前述静压方法进行下个段落稳压，如图6-18所示。

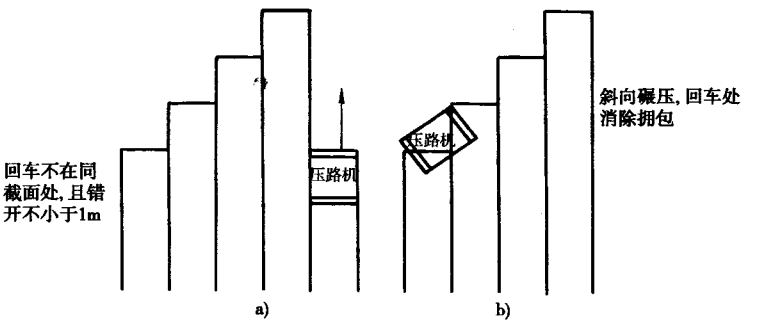


图6-18　碾压方法示意图(一)

(2)如稳压将其压实终止面设在一个断面上成一直线时，复压结束后，应人工把不平的拥

包整平至符合要求，再用压路机横压赶光成活，这样做效果不错但比较费工，如图 6-19 所示。

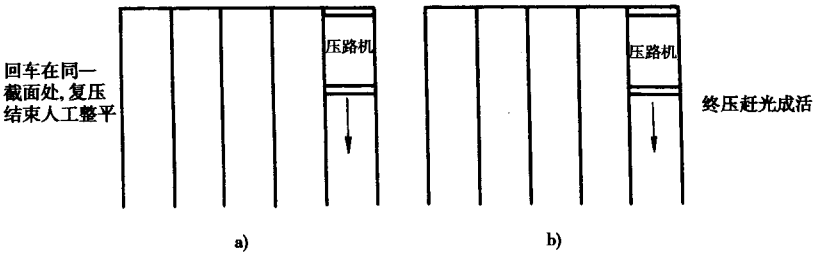


图 6-19　碾压方法示意图(二)

5)稳压后紧接复压，使用振动压路机振压，纵向压实振轮应重叠 1/2 ~ 1/3，压完全宽为一遍，压到规定遍数后，紧接光面碾压成型。

6)水泥稳定土从加水拌和到压实成型应控制在试验确定的延迟时间内完成。压路机的行走速度要求：稳压阶段 1.5km/h，压实阶段 2km/h，光面压实阶段 2.5km/h 左右。

7)压实完成后立即进行压实度检查，如达不到要求应马上补压，直至达到要求为止。

8)平整度控制。压实完成时用 3m 直尺检查平整度，发现不符合要求的地方应及时处理。

9.接头与调头处处理

1)同日两次施工工作段的接头处，应搭接处理，第一段拌和后，留下 5 ~ 8m 不进行碾压。第二段施工时，前一段留下的未碾压部分，要再加水泥重新拌和，并与第二段一起碾压。

2)每天最后一个施工缝和调头处的处理。

(1)在已完成的水泥稳定土层末端用直尺检查平整度，在压实度和平整度都符合要求的部分与不符合要求部分的分界处拉线垂直于中线，并沿该线垂直切至底面，如图 6-20 所示。

(2)用与结构层等厚等宽的方木，放在切除后断面处并紧靠做好的水泥稳定土层，以便保护该层不被破坏。

(3)为保护已做好的水泥稳定土层，在其表面覆盖 10cm 厚的的土或砂等物，长度满足机械调头要求为宜。

(4)经过上述处理后，就可上料进行正常施工作业。

(5)当拌和、平整完成达到要求后，将方木取出，并用拌和好的混合料回填方木处；按要求的松铺厚度进行填筑整形，一般应比已铺筑层高 5cm 左右，待压实后刮除。

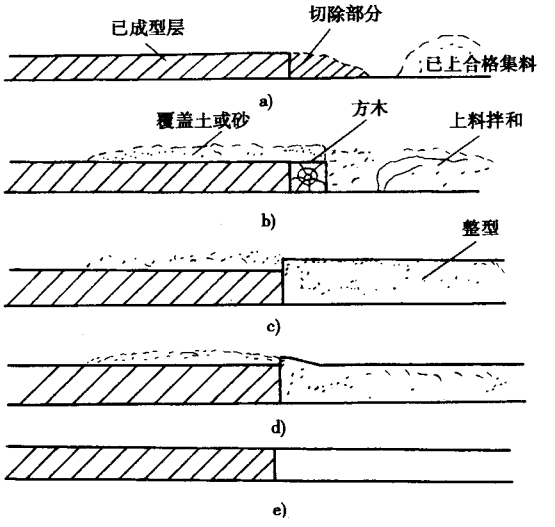


图 6-20　接头与调头处的处理

a)将已完成的不符合要求的部分切除；b)清除切除料，用与结构层等厚等宽的方木紧靠结构层，并在方木和已完成段上覆盖土或砂等物；c)进行下个施工段的正常作业；d)压实成型；e)清除覆盖物，刮除接头处高出的部分

10.养生

水泥稳定土经压实成型后，必须养生 7d，应使表面潮湿，防止水分蒸发，保证水泥充分硬化。保水养生的方法很多，不管采用哪种方法，一定要在保养 7d 中使水泥土处于潮湿状态。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

二、厂　拌　法

水泥稳定土厂拌法施工应用最普遍，一般情况底基层的第二层及基层都是采用厂拌法施工。

1.厂拌法的拌和工艺流程(见图 6-21)

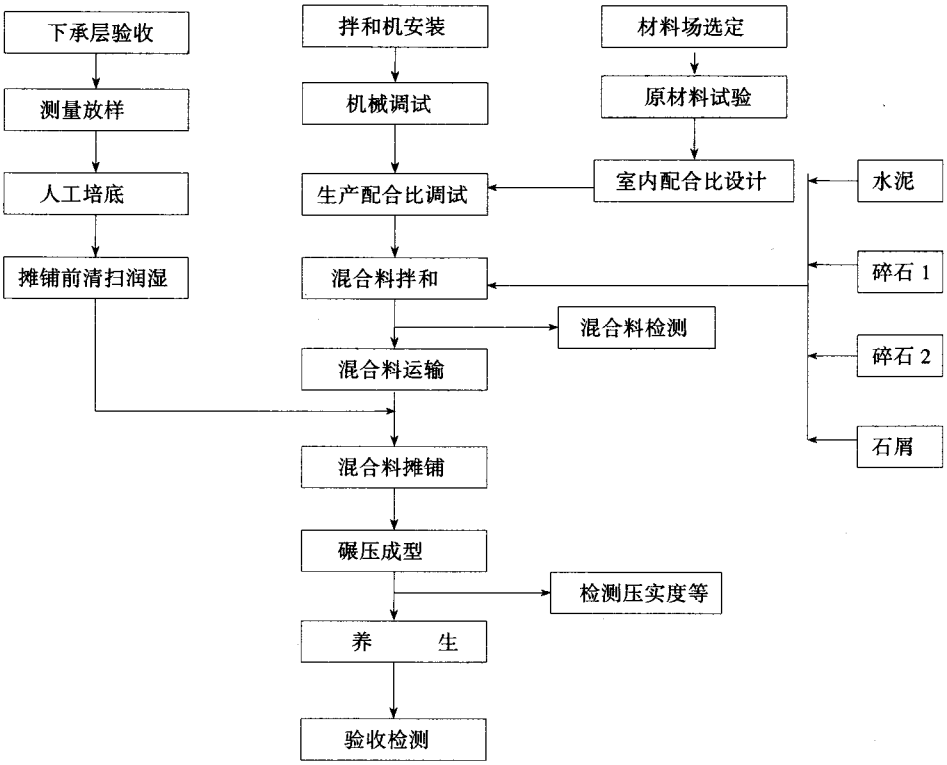


图 6-21　厂拌法的工艺流程

2.混合料配合比设计

1)配合比室内设计见本章第三节有关内容。

2)施工配合比调试与二灰土厂拌法调试相同。

3.下承层准备及测量放样

1)下承层的验收检查同本节路拌法施工。

2)测量放样及下承层清扫、洒水润湿。

(1)恢复中桩，设两侧指示边桩，水准测量与路拌法施工同。

(2)在铺筑段两侧培作土模路肩，土模宽度比设计宽度宽 10～20cm，土模高度与水稳层松铺同高，土模必须拉线垂直切除，其密实度在 80%左右，培设路肩后应在每隔一定距离(5～10m)交错留泄水沟或做盲沟。

(3)设置钢丝基准线。

①选用 ϕ2～ϕ3mm 的钢丝作为基准线。

②每段基准线长度 300m 左右为宜(曲线上不超过 100m 为宜)，在钢丝两端必须用紧线器同时张拉，张力 1kN 以上，以钢丝不产生挠度为准。

③固定钢丝基准线的钢钎采用刚度大的 ϕ16～ϕ18mm 光圆钢筋加工，并配固定架，固定架采用丝扣以便拆卸和调整标高，钢钎间距一般采用 5～10m(直线上 10m、曲线上 5m)。钢钎就

设在距铺设宽度外 30～40cm 处。两侧均设钢丝基准线，其标高控制误差为 -2～+5mm 间。钢钎应支设牢固，在整个作业时间内设专人看管，严禁碰撞，发现问题，及时纠正。

4.混合料的拌和

1)准备工作

(1)拌和场应设置在空旷、排水良好、运输方便、位置适中的地方。并综合考虑生产能力和供应情况。

(2)各种集料分仓储存，防止混料、污染、受水浸害。

(3)拌和设备应选用性能好的，拌和质量高的配有电子计量装置的。拌和站必须满足现场摊铺设备的要求。

(4)施工拌和前应安装调试好拌和机，使配料计量满足施工配合比的误差要求。

2)拌和质量控制

(1)拌和前检测集料含水量，并作为拌和用水量的调整依据。

(2)混合料拌和前检查各种材料的运送线路，开启拌和机，按照规定的上料比例上料。

(3)考虑施工的离散性，拌和时水泥用量应比试验室所确定的水泥剂量提高 0.5%。

(4)混合料含水量对其成型质量影响较大，在拌和中应严加控制。在炎热的夏季施工，应考虑拌和、运输、摊铺过程的水分散失，应适当加大含水量。其增加量应由拌和出料时的含水量和碾压时的含水量进行测试比较，蒸发损失多少，就补充多少。根据我们的施工经验：在夏季 9 点前和下午 5 点后，补水量应比最佳含水量大 1%～1.5%；在 9 点至 17 点之间，应增加补水1.2%～2.5%。在雨季施工期间，由于集料含水量增大，拌和时应实测集料含水量，调整拌和用水量。

(5)每天开始拌和前几盘料应抽样做筛分试验，如有问题应及时调整。全天拌和料应按摊铺规定的频率进行抽样试验，检测各项技术指标，使之达到规定要求。

(6)拌和时，应严防水泥下料口堵塞不流动或者流量不足，造成缺少水泥现象，应勤检查，观看拌和料是否均匀、色泽一致，否则应废弃。

(7)拌和机尤其是国产拌和机上料斗的斗与斗间距太近，上料时易串料，这种现象应严格加以杜绝，否则造成配比不准，影响混合料质量。

5.混合料运输

1)运输混合料宜采用大吨位的自卸翻斗车，其运输车的数量应根据运距长短、道路状况、摊铺能力等因素综合确定，以满足摊铺要求为准。一般以在摊铺现场有 1～2 辆车等待摊铺为宜。

2)对运料车，每天都要认真检查，排除故障，并准备好覆盖苫布，以便需要时进行覆盖。

3)装料时，车要有规律的移动，使拌料在装车时不致产生离析。

4)发料时应认真填写发料单，记录车号、出料时间、吨位等，运至摊铺现场，应由收料人核对查收，并注明摊铺时间，以备检查剔除超出延时时间的混合料误铺影响工程质量。

5)自卸汽车将混合料倒车进行摊铺喂料时应听从现场人员指挥，严禁撞击摊铺机。

6.混合料摊铺

1)摊铺机选择及调整

(1)优先考虑全幅摊铺机，性能良好的摊铺机，没有全幅摊铺机也可采用两台摊铺机梯进摊铺。

(2)根据摊铺速度、厚度和宽度等因素调整好摊铺机夯锤频率，保证碾压前摊铺的混合料

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

有足够的密实度。

(3)把螺旋送料器调整到最佳状态,使螺旋送料中混合料的高度将螺旋送料器直径的2/3埋没,以避免离析和大料沉底的现象发生。一般情况螺旋器轮边距底面为15~17cm。

2)松铺系数的确定与调整

使用不同的摊铺机,不同的混合料,及不同的夯重振动频率就会产生不同的松铺系数,一般常用的ABG佛格勒摊铺机,其松铺系数在1.15~1.35之间,施工时使用的松铺系数应在铺筑试验路时实测计算确定。在摊铺前,应按松铺系数调整好摊铺机。

3)混合料摊铺

(1)一台摊铺机摊铺

为避免水泥稳定土中间产生纵向接缝时采用一台摊铺机摊铺。

①拌和好的混合料运至现场,等到存有一定车数应立即按松铺厚度均匀摊铺。在开始摊铺前应检查两侧分料器接头处(约50~60cm)有无离析的料,并清除处理。在摊铺时应清除送料器送料时离析的大石子,在摊铺后如发现离析,应人工处理,注意检查含水量大小是否合适,及时反馈拌和站适当调整。

②开始摊铺时,当铺到10m左右时,应检测摊铺面标高、横坡、厚度,如不符合设计时,应适当调整,使之满足要求后,再进行摊铺。正常施工时,应每10m做一次松铺厚度检查并记录,每50m检测一次横坡。如发现铺面上有杂物、大块石料应清除并补填合格料。

③摊铺时应保持匀速摊铺,根据拌和能力确定摊铺速度,一般规定在1.0~3.0m/mim。设专人指挥喂料车卸料以保证不撞击摊铺机。摊铺机的夯锤或夯板的振动频率应均匀一致,一旦确定不得随意改动。夯锤尽可能的大,以保证摊铺密度,以传感器在钢丝上不产生较明显的振动为宜。为保证平整度,当摊铺机正常行走后,摊铺机传感器应自动控制标高,尽量减少人工手动操作和调整摊铺机熨平板仰角。

④摊铺过程中因故中断2h或每天的工作结束时,必须设置横缝,摊铺机应驶离混合料末端一定距离。

(2)两台摊铺机摊铺

当没有可摊全幅的摊机时,或者为减小边部离析现象,就采用两台摊铺机摊铺。

①两台摊铺机宜为同种型号的摊铺机,前后相距8~10m,同时向前摊铺。

②前一台摊铺机使用一侧钢丝基准线控制标高,并用摊铺机横坡仪控制横坡。第二台摊铺机以一侧的钢丝基准线控制标高,另一侧走滑靴控制横坡,滑靴放在第一台摊铺机摊铺好未碾压的混合料上,摊铺宽度应与先摊铺层搭接5cm左右,以保证两次摊铺接缝处的紧密。

③其他操作程序与一台摊铺机摊铺相同。

7.横缝施工

1)人工把末端混合料弄整齐,紧靠混合料放置方木,方木应与混合料压实厚度同高,与宽度等宽。

2)方木的另一侧设支撑,保证在碾压时不移动变形。

3)混合料碾压密实。

4)用3m直尺检测平整度,不合格处应处理至合格。同时检测压实度,如不合格继续碾压至合格。

5)在重新摊铺混合料时,应先清扫下承层。

6)摊铺机返回已压实好的末端,就位设好松铺厚度重新开始摊铺混合料。

7)两层结构的横缝应避免设在同一断面上。

8.纵缝施工

一般在不可避免的情况下必须设置纵缝时,施工时应按下述方式施工。

1)摊铺前一幅时,在靠后一幅的一侧用方木或钢模板做支撑,使前幅施工成型后纵缝顺直,断面与下层垂直。其支撑高度与结构层厚度相同,并且支撑牢固稳定不变形。

2)当养生结束,施工后一幅时,拆除支撑,清扫并洒水润湿后铺筑。

9.混合料的碾压施工

1)压实机具组合,压实顺序,压实工艺与路拌法施工相同。

2)结构层的成型应尽快完成,必须在延时试验确定的时间内完成。

10.养生

同路拌法施工。

11.施工机具的配备及劳动力组合

1)拌和站设备

ZL45 装载机 5 台,120kW 发电机 2 台,自卸汽车 40 台,WDB—300 拌和机 2 台,T140 推土机 1 台。

2)摊铺压实设备。

(1)摊铺设备及机具

ABG423 摊铺机一台,4t 洒水车 3 辆,小推车 2 辆,三轮车 2 辆,ϕ3mm 钢丝绳 2km,钢丝支架 300 个。

(2)压实机械

德州产压路机(50t)一台,德州产压路机(YZC－14)2 台,12t 三轮压路机一台。

3)劳动力组合

(1)后台拌和人员配合

工长 1 人,技术负责人 1 人,拌和机 20 人/2 台,维修工 3 人,试验负责人 1 人,运输 60 人。

(2)前台施工人员配备

现场负责 1 人,试验员 2 人,摊铺压实 8 人,测量放样 8 人,清扫 6 人,整平检查 8 人。

12.质量标准

1)以施工图和招标技术条款的质量要求为控制依据。

2)以部颁《公路工程质量检测评定标准》进行质量检测评定。

第八节　石灰、水泥综合稳定土施工

细粒土的塑性指数在 15～20 之间时,容易粉碎和拌和,便于碾压成型,施工效果较好。当细粒土的塑性指数小于 12 时,这种土是不适宜用石灰来稳定的,而适合水泥稳定。细粒土的塑性指数在 15 以上时,更适合用石灰水泥进行综合稳定。因此,在设计采用石灰水泥综合稳定土结构时,在施工中应尽量选择符合这个条件的土为宜。

公路一局近年来铺筑过不少石灰水泥综合稳定土。下面,以近期竣工交验的漯河—驻马店高速公路的石灰水泥综合稳定土施工为例,介绍综合稳定土施工技术。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

一、工程概况

河南省漯河—驻马店高速公路六合同全长 6.85km。该路的路面结构为：4cmAC16-I + 5cmAC25-I + 7cmAC30-I + 38cm 水泥稳定碎石 + 20cm 石灰水泥稳定土。

工程于 1998 年 11 月开工，2000 年 11 月竣工交付使用。

二、石灰水泥综合稳定土施工

1.施工准备

1)材料选择与检测

(1)石灰

经过调查选定使用驻马店地区秀山石灰厂生产的石灰。经试验检测：一队石灰场的钙镁含量平均为 61.15%，二队石灰场的钙镁含量为 60.5%，均为 II 级生石灰，满足规范要求。

生石灰在使用前 7d 进行充分消解，过 1cm 筛。消解后的含水量控制在 35%左右，以不飞扬为准。

(2)水泥

选用的驻马店地区秀山水泥厂生产的强度等级为 32.5 的普硅水泥。

经检测：水泥 28d 胶砂强度抗折平均 6.63MPa，抗压 45.0MPa；细度 0.08mm，筛余为 3.7%。标准稠度 30.5%；初凝 4h45min，终凝 6h25min；安稳性合格。水泥各项指标满足要求。

(3)土

经试验确定了两个土场：K62 + 160 西土场和 K66 + 100 东土场。

试验测结果如下。

①K62 + 160 西土场

液限 $w_L = 37.4\%$，塑限 $w_L = 21.0\%$，塑性指数 $I_P = 16.4$。为低液限粘土。

②K66 + 100 东土场

液限 $w_L = 39.4\%$，塑限 $w_P = 22.4\%$，塑性指数 $I_P = 17.0$。为低液限粘土。

以上两土场的土都适合作石灰水泥综合稳定土。

(4)水

使用饮用水。

2)混合料的配合比设计

配合比设计方法前面实例已讲过，综合稳定土的设计方法与其他稳定土设计方法相同。该工程优选使用的配合比为石灰：水泥：土 = 3：8：100。K62 + 160 西土场的最大干密度为 1.77g/cm^3，最佳含水量 15.7%，强度代表值 $R = 0.86$MPa；K66 + 100 东土场的最大干密度为 1.77g/cm^2，最佳含水量 15.5%，强度代表值 $R = 0.88$MPa。

此设计配合比可用于施工。

3)施工机械准备

该工程 20cm 的石灰水泥综合稳定土底基层是直接在新完工的路基上作路拌法施工。所需机械如下：稳定土路拌机(WBA23)2 台，平地机 PY180、PY160 各 1 台，洒水车(10t 黄河牌)1 台，振动压路机 2 台，三轮压路机(18 ~ 21t)2 台，推土机 1 台。

满足上料的自卸汽车和装载机随施工进度而增减。以上机械应保持良好使用状态。

4)下承层准备

石灰水泥综合稳定土施工的下承层检查验收、测量放样等准备工作与水泥稳定土路拌法施工相同。

2.石灰水泥综合稳定土施工

1)厂拌法施工

漯驻高速公路采用在土场先将石灰与土进行厂拌,将拌好的灰土运到现场,摊铺整平后,再进行水泥撒布、拌和、整型、压实、养生。

(1)工艺流程(见图 6-22)

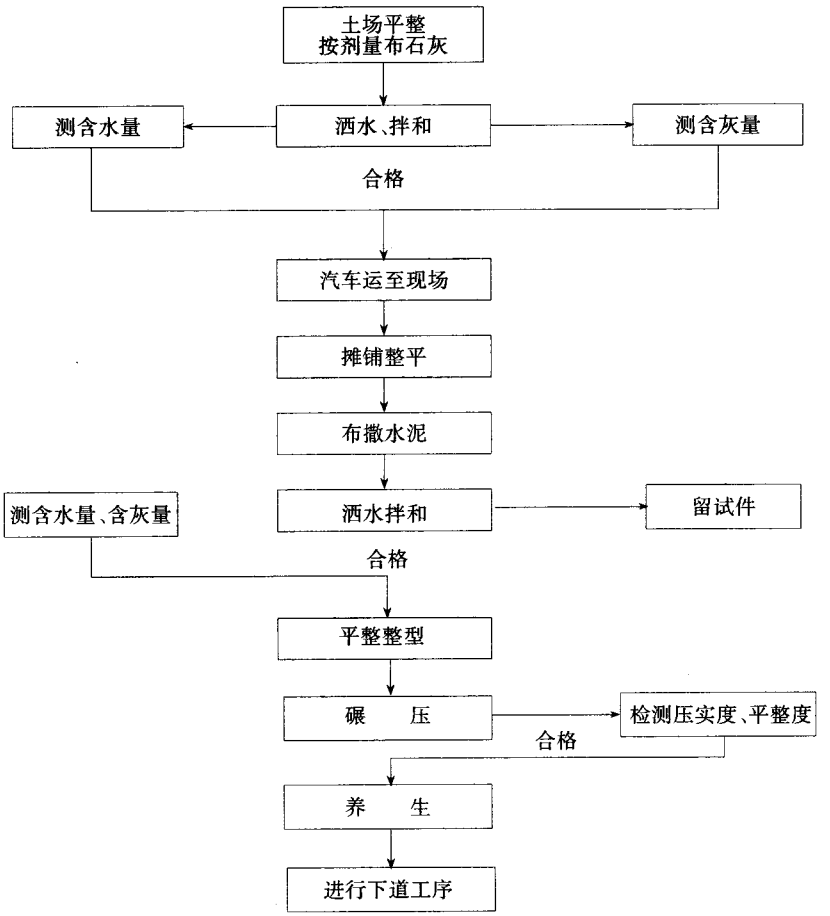


图 6-22　厂拌法工艺流程图

(2)土场石灰土拌和

①在选定的土场使用推土机清除表面不能使用的土和杂物,并将表面整平。

②测土的天然含水量,如果满足 18% ~ 24% 的含水量就可布石灰,否则应翻晒或补洒水使之满足要求。

③计算石灰撒布量。

a.消解的石灰用自卸翻斗车运输,过 1cm 筛后的消石灰含水量平均为 30.6%。使用 ZC50 装载机装车每次三斗,保持每车装的质量一致。经称量数车,平均每车质量(湿)7.3t,测干质量 $G=5.12$t。

b.布灰前土的干密度实测值 $p=1.57$g/cm^3。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

c.拟定拌和深度 $h=0.2$m。

d.根据配合比设计,石灰土中外掺石灰量为8%,外掺比例 $d=8/108$。

e.则每车灰摊铺面积按下式计算。

$$S=\frac{G}{hpd}=0.2\times\frac{5.12}{1.57\times 8/108}=220\text{m}^2 \tag{6-6}$$

④根据每车灰撒布面积,在已平整好石灰土上划格,然后上灰和布灰,使用平地机摊灰,人工配合,保证布灰厚度均匀无素土外露为止。

⑤拌和

a.先使用铧犁翻拌两遍,翻拌深度小于拌和深度。以避免石灰落到底部,不能拌和均匀。

b.铧犁翻拌完成后,使用稳定土拌和机拌和2~3遍。拌和时,从边到中的拌和,应重叠50cm,以保证拌和均匀,拌和过程中设专人随机紧跟检查拌和深度,出现误差及时调整。当拌至色泽一致,没有灰条、灰团和花面,土块颗粒小于15cm时,检查含水量、含灰量,符合要求为止。拌和中含水量、含灰量检测结果见表6-35。

c.采用推土机将拌和好的混合料堆集起来,注意不要将未拌的土掺入灰土混合料中。

拌和中检测结果表 表6-35

取样编号	1	2	3	4	5	6	7	平均值
含灰量(%)	7.5	7.4	8.2	8.1	8.3	7.9	7.5	7.9
含水量(%)	18.6	17.9	19.4	19.2	18.5	18.7	18.9	18.7

(3)石灰土的运输与摊铺

①在验收、放样、洒水润湿等准备工作完成的路基上摊铺混合料。按虚铺厚度 $h=21$cm计算每车灰土混合料摊铺面积,目的是便于平整,避免平整时薄层贴补。

②石灰土的最大干密度 $p=1.76\text{g/cm}^3$,每车石灰土平均质量为11.72t,干质量 $G=11.72\text{t}\times(1-0.187)=9.53\text{t}$。

③每车石灰土摊铺的面积为:

$$S=\frac{G}{hp}=\frac{9.53}{0.21\times 1.76}=25.78\text{m}^2 \tag{6-7}$$

④该路设计底基层宽为30.16m,为便于施工,采用半幅施工(半幅为15.08m),在先施工的半幅路基上划网格上石灰土。

⑤使用推土机初摊,平地机拉线控制标高、横坡进行精平。石灰土在运输、摊铺、平整过程中水分会蒸发损失,加入水泥后含水量还会降低,因此在精平前测含水量,确定应补洒水量,一般应使精平结束后石灰土的含水量控制在20%~22%为宜。

(4)按规定剂量布撒水泥

①一袋水泥摊铺面积 S 按下式计算。

$$S=\frac{G}{hpd} \tag{6-8}$$

式中:G——一袋水泥质量,kg;取50kg;

p——石灰水泥稳定土的最大干密度,50kg/cm^3;取1.77g/cm^3;

d——石灰水泥稳定土中水泥外掺剂量,%;外掺量为3%;

h——石灰水泥稳定土压实厚度，cm；实取 21cm。

$$S = \frac{0.05}{0.21 \times 1.77 \times 3/111} = 4.98\text{m}^2$$

②根据上式计算的每袋水泥摊铺面积，在平整合格的石灰土上划格，人工撒布水泥，要求布撒均匀无花面。

(5)拌和整平

①当水泥撒布均匀后，应立即使用拌和机进行拌和，要严格控制拌和深度，跟人进行检查，发现问题及时调整，一般拌和一遍即可，如果拌和不均匀，增加一遍。

②拌和均匀后，立即使用胶轮压路机稳压，平地机精平。拌和、稳压、精平可交叉作业，尽量缩短成型时间。一般应控制在 1h 内完成。

③平地机精平时，采用拉线埋砖头方法控制标高、横坡。埋砖头在稳压后进行，此时压实度达 80%以上，经实测计算 20cm 的结构层厚，松铺厚度为 24cm。砖头顶面标高与规定松铺厚度标高平齐，平地机平整时，刮削到砖头表面为准。平地机刮削方法：直线由两侧向中间刮平，曲线由内侧向外侧进行，禁止薄层贴补；如有坑洼时应先耙松再补填刮平。

(6)碾压成型

①碾压前应先检测混合料含水量，其含水量宜比最佳含水量大 2% ~ 3%。K60 + 350 ~ K60 + 460 段的混合料含水量检测情况见表 6-36。

现场混合料含水量检测结果表 表 6-36

位　置	K60 + 350	+ 370	+ 400	+ 420	+ 440	+ 460
含水量(%)	17.8	18.5	18.7	19.1	17.9	18.2

含水量检测满足压实要求后，可立即进行压实成型。

②压实原则：先稳压、后振压、再静压，直线段由边向中间，曲线由内侧向外侧进行碾压。

③先用振动压路机不起振稳压一遍，然后振动压路机起振错半轮碾压 4 遍后，试验员检测压实度，如不足，立即补压至达到要求为止。

④压实度满足要求后，再用三轮静压 1 ~ 2 遍消除轮迹，达到表面平整光洁。碾压时，注意慢起动，慢制动，防止出现拥包、起皮。稳压、振压与静压可以交替进行，达到缩短时间的目的。

(7)接头处理

每天施工完毕后，应在稳定土成型完好的末端，拉线取直并垂直切除。第二天施工布料后，拌和机在接缝处横向拌和两遍，然后再纵向拌和，人工配合将接头处拌均整平，压实成型后用平地机刮除整平，使接头保持平整、平滑。

(8)养生及封闭交通

石灰水泥综合稳定土的养生不可缺少，碾压完成后及时洒水养生，应使结构表面潮湿，养生应不少于 7d，并断绝交通。

2)路拌法施工

综合稳定土的路拌法施工与厂样法施工相比，只是灰土的拌和方式有所不同，除此之外的工序、工艺完全相同。

三、质量控制与检测

1.质量控制

综合稳定土施工应加强以下几方面的控制，才能有效的保证石灰水泥综合稳定土的质量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)施工作业段的长度应根据机械配置数量和作业效率确定。因为石灰水泥综合稳定土从加入水泥拌和、整平到碾压成型,干密度随成型时间的延长而下降,要保证压实度在95%以上,也就是使干密度达到要求值,必须在规定时间内完成上述工序。从试验结果看出,该工程从掺拌水泥4h后,干密度损失较快。所以为达到规定密度,必须在4h以内完成压实成型。根据项目的人员和机械配备,漯驻高速路六合同段以150m为一个施工段较为合理。

2)为保证设计强度,石灰、水泥的掺配剂量要足,并且还应拌和均匀。施工时应对灰剂量加强检查控制。

3)严格控制含水量。因为施工程序多,每个工序过程,都有含水量的损失,而含水量的损失又与施工气温,施工风力等因素有关,因此控制好石灰土整型、布撒水泥前的含水量极为重要。石灰土的含水量在加入水泥拌和后还要减少,拌和过程要蒸发损失,整平过程要损失,还应使整平碾压前的混合料含水量高于最佳含水2%~3%,否则会出现表面干燥松散。如果含水量过大,则表面轮迹明显,并容易开裂。本项目的石灰土含水量控制在20%~22%是合适的。

4)重视养生工作,保证在养生期内表面始终潮湿,这对防止裂缝和强度增长有好处。

2.质量检测

1)外观检查

(1)检查表面有无松散、起皮、开裂、弹簧现象。

(2)接缝是否平整,边线是否整齐、稳定。

2)实测项目

(1)压实度检查,代表值不小于95%。

(2)平整度应控制在12mm内。

(3)纵断高程允许偏差为+5mm、-15mm。

(4)宽度不小于设计。

(5)厚度允许偏差为-10mm。

(6)横坡度:控制在±0.3%内。

(7)抗压强度代表值大于0.8MPa。

第七章　路面施工

第一节　透层、粘层、封层施工

一、透层施工

为了使沥青面层与基层牢固结合，一般在做沥青面层前都应在半刚性基层、碎(砾)石基层上洒喷透层油进行透层施工。

1.透层油的技术要求

1)乳化石油沥青

使用路用乳化石油沥青作透层油应符合 JTJ 032—94 附录 C 表 C.3 即表 7-1 的技术要求。

道路用乳化石油沥青技术要求　　表 7-1

项目 \ 种类			PC-1 PA-1	PC-2 PA-2	PC-3 PA-3	BC-1 BA-1	BC-2 BA-2	BC-3 BA-3
筛上剩余量		不大于 (%)	0.3					
电　荷			阳离子带正电(+)、阴离子带负电(-)					
破乳速度试验			快裂	慢裂	快裂	中或慢裂		慢裂
粘度	沥青标准粘度计 $C_{25,3}$	(s)	12～45	8～20		12～100		40～100
	恩格拉度 E_{25}		3～15	1～6		3～40		15～40
蒸发残留物含量		不小于 (%)	60	50		55		60
蒸发残留物性质	针入度(100g,25℃,5s)	(0.1mm)	80～200	80～300	60～160	60～200	60～300	80～200
	残留延度比(25℃)	不小于 (%)	80					
	溶解度(三氯乙烯)	不小于 (%)	97.5					
贮存稳定性	5d	不大于 (%)	5					
	1d	不大于 (%)	1					
与矿料的粘附性，裹覆面积		不小于	2/3					
粗粒式集料拌和试验			—			均匀		—
细粒式集料拌和试验			—					均匀

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

项目 \ 种类	PC-1 PA-1	PC-2 PA-2	PC-3 PA-3	BC-1 BA-1	BC-2 BA-2	BC-3 BA-3
水泥拌和试验，1.18mm筛上剩余量　不大于（%）	—				5	
低温贮存稳定度（-5℃）	无粗颗粒或结块					
用途	表面处治及贯入式洒布用	透层油用	粘层油用	拌制粗粒式沥青混合料	拌制中粒式及细粒式沥青混合料	拌制砂粒式沥青混合料及稀浆封层

注：①乳液粘度可选沥青标准粘度计或恩格拉粘度计的一种测定，$C_{25,3}$表示测试温度25℃、粘度计孔径3mm，E_{25}表示在25℃时测定；

②贮存稳定性一般用5d的，如时间紧迫也可用1d的稳定性；

③PC、PA、BC、BA分别表示洒布型阳离子、洒布型阴离子、拌合型阳离子、拌合型阴离子乳化沥青；

④用于稀浆封层的阴离子乳化沥青BA-3型的蒸发残留物含量可放宽至55%。

2）液体石油沥青

透层如使用液体石油沥青喷洒，应符合JTJ 032—94附录C表C.4即表7-2的技术要求。

道路用液体石油沥青技术要求　　表7-2

试验项目		快凝		中凝						慢凝					
		AL(R)-1	AL(R)-2	AL(M)-1	AL(M)-2	AL(M)-3	AL(M)-4	AL(M)-5	AL(M)-6	AL(S)-1	AL(S)-2	AL(S)-3	AL(S)-4	AL(S)-5	AL(S)-6
粘度（s）	$C_{25,5}$	<20		<20						<20					
	$C_{60,5}$		5~15	5~15	16~25	26~40	41~100	101~200		5~15	16~25	26~40	41~100	101~200	
蒸馏体积（%）	225℃前	>20	>15	<10	<7	<3	<2	0	0						
	315℃前	>35	>30	<35	<25	<17	<14	<8	<5	<40	<35	<25	<20	<15	<5
	360℃前	>45	>35	<50	<35	<30	<25	<20	<15						
蒸馏后残留物	针入度（25℃，100g，5s）（0.1mm）	60~200	60~200	100~300	100~300	100~300	100~300	100~300	100~300						
	延度（25℃）5cm/min（cm）	>60	>60	>60	>60	>60	>60	>60	>60						
	浮漂度（50℃）（s）									<20	>20	>30	>40	>45	>50
闪点（TOC法）（℃）		>30	>30	>65	>65	>65	>65	>65	>65	>70	>70	>100	>100	>120	>120
含水量　不大于（%）		0.2		0.2						2.0					

注：粘度使用道路沥青粘度计测定，C脚标第1个数字代表温度（℃），第2个数字代表孔径（mm）。

3)煤沥青

透层如使用煤沥青喷洒，应符合 JTJ 032—94 附录 C 表 C.5 即表 7-3 的技术要求。

道路用煤沥青技术要求 表 7-3

试验项目			T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9
粘度(s)	$C_{30,5}$		5～25	26～70							
	$C_{30,10}$			5～20	21～50	51～120	121～200				
	$C_{60,10}$							10～75	76～200		
	$C_{60,10}$									35～65	
蒸馏试验馏出量(%)	170℃前	不大于	3	3	3	2	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0
	270℃前	不大于	20	20	20	15	15	15	10	10	10
	300℃前	不大于	15～35	15～35	30	30	25	25	20	20	15
300℃蒸馏残渣软化点(环球法)		(℃)	30～45	30～45	35～65	35～65	35～65	35～65	40～70	40～70	40～70
水分		不大于 (%)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
甲苯不溶物		不大于 (%)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
含萘量		不大于 (%)	5	5	5	4	4	3.5	3	2	2
焦油酸含量		不大于 (%)	4	4	3	3	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5

注：粘度使用道路沥青粘度计测定，C 脚标第 1 个数字代表温度(℃)，第 2 个数字代表孔径(mm)。

2.透层油施工一般要求

1)凡是用水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定土或粒料的半刚性基层、级配砂砾、级配碎石基层都应喷洒透层油。

2)透层油沥青的稠度宜通过试验确定，对于表面致密的半刚性基层宜采用渗透性好的稀透层沥青；对级配砂砾、级配碎石等粒料基层宜采用软稠的透层沥青。

3)透层油沥青宜采用慢裂的洒布型乳化石油沥青，或者是中、慢裂液体石油沥青或煤沥青。

4)使用乳化石油沥青时，用于制作乳化沥青的沥青标号应根据基层种类、当地气候等条件确定。

5)透层沥青的品种和用量应根据基层的种类通过试验确定，并符合 JTJ 032—94 附录 D 表 D.9 即表 7-4 的技术要求。

沥青路面透层及粘层材料的规格与用量 表 7-4

用途		乳化沥青		液体石油沥青		煤沥青	
		规格	用量 (L/m^2)	规格	用量 (L/m^2)	规格	用量 (L/m^2)
透层	粒料基层	PC-2 PA-2	1.1～1.6	AL(M)-1 或 2 AL(S)-1 或 2	0.9～1.2	T-1 T-2	1.0～1.3
	半刚性基层	PC-2 PA-2	0.7～1.1	AL(M)-1 或 2 AL(S)-1 或 2	0.6～1.0	T-1 T-2	0.7～1.0
粘层	沥青层	PC-3 PA-3	0.3～0.6	AL(R)-1 或 2 AL(M)-1 或 2	0.3～0.5	T-3、T-4 T-5	0.3～0.6
	水泥混凝土	PC-3 PA-3	0.3～0.5	AL(R)-1 或 2 AL(M)-1 或 2	0.2～0.4	T-3、T-4 T-5	0.3～0.5

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

3.透层油施工准备

1)洒布机械准备

高速公路、一级公路应使用汽车洒布机洒布;二级以下的公路可以使用人工沥青洒布机洒布。因此,根据道路情况应准备性能良好的汽车洒布机或人工洒布机。并在使用前检查保养、调试安装喷油嘴、进行喷油量试喷检查。使机械处于完好的待用状态。

2)喷油用油准备

(1)选择合适沥青品种、对沥青进行乳化生产,使其符合使用技术要求备用。

(2)或是购买合格的成品乳化沥青储存备用。

3)基层准备

(1)验收基层合格后,放出喷洒边缘线。

(2)如果基层已完工较长时间,表面过分干燥时应对基层进行清扫,在基层表面洒少量的水润湿,等表面稍干后喷洒透层油。

(3)紧接基层施工后喷洒透层油施工,只需基层满足验收条件,并表面稍干后,即可喷洒透层油。

(4)对路缘石及人工结构物作适当保护,以防污染。

(5)起点处铺盖 1~2m 油毛毡,以保证喷洒的整齐均匀,不致重叠多洒沥青。终点准备接油槽,待喷洒结束时,接喷管道的油,不致污染基层。

4.透层油喷洒施工

1)根据透层油喷洒量、喷洒宽度,安装好喷油管,调试喷油嘴高度、喷油斜度并检查油泵系统、管道系统是否正常无故障。

2)检查油车沥青罐油表是否准确,行车排挡、行车速度、油泵排挡、沥青节门等是否调整正确,确保喷洒量均匀准确。

3)一切都检查无误后进行洒布施工。

(1)洒油汽车从洒油起点处启动加速到喷洒油速度后,匀速沿导向标指引方向前进。

(2)当洒油车喷油管进入洒油起点油毛毡覆盖区时,打开喷油开关节门进行喷洒。

(3)当油喷洒结束,鸣笛,开关手关闭节门,油车稍前行停下。事先等候的工人用油槽把喷管中还在细流的油接着,避免污染基层。

(4)核对喷洒耗量与喷洒面积是否吻合,并卸下喷油管进行清洗备用。

(5)一车油为一个洒油施工段,下一车开始喷洒时,将上次施工起点油毛毡移至终点覆盖上已洒的部分作新洒喷起点。以后工序按前述步骤进行。

(6)洒过透层油后,严禁车辆通行。

5.施工注意事项

1)透层油洒布后应不致流淌,应渗入基层一定深度,不得在表面形成油膜。

2)如遇大风或将下雨时,不能喷洒透层油。

3)气温低于 10℃时不宜喷洒透层油。

4)应按设计喷油量一次均匀洒布,当有漏洒时,应人工补洒。

5)喷洒透层油后一定要严格禁止人和车辆通行。

6)在摊铺沥青前,应将局部尚有多余的未渗入基层的沥青清除。

7)透层油布洒后应待充分渗透,一般不少于 24h 后才能摊铺上层,但也不能在透层油喷洒后很久不做上层施工,应尽早施工。

8)对无机结合料稳定的半刚性基层喷洒透层油后,如果不能及时铺筑面层时,并还需开放交通,应铺撒适量的石屑或粗砂,此时宜将透层油增加10%的用量。用6~8t钢筒式压路机稳压一遍,并控制车速。在摊铺上层时发现局部沥青剥落,应修补,还需清扫浮动石屑或砂。

二、粘层施工

粘层的作用就是使上下层沥青结构层或沥青结构层与结构物完全粘结成一个整体。层间使用粘层沥青后,确实能使层间结合牢固。而在施工中常常会因沥青结构层下层未被污染,而连续摊铺上层,省去粘层施工。这种作法是极错误的,它将使沥青结构层间的结合力大大减小,不能很好的发挥整体作用。由于喷洒粘层油后,能形成一层薄膜,还能起到防水作用。

1.粘层沥青的技术要求

粘层沥青材料目前一般多采用乳化沥青。使用乳化沥青时,宜使用快裂型的乳化沥青,也可以使用快、中凝液体石油沥青或煤沥青。粘层油的规格、质量应符合表7-1、表7-2和表7-3的要求。

粘层沥青的种类、标号宜与面层所用沥青相同,但需经乳化或稀释。

2.粘层沥青的用量、品种选择

路面的基层结构不一样,使用粘层沥青的品种就不一样。如级配碎石基层的渗透性好,可采用慢裂乳化沥青,而半刚性基层使用慢裂石油沥青洒布后会严重流淌,应使用快裂型沥青。

乳化沥青分为阳离子乳化沥青和阴离子乳化沥青。阳离子乳化沥青的沥青微粒带正电荷,阴离子乳化沥青微粒带负电荷。当阳离子乳化沥青与骨料表面接触时,由于所带电荷不同,产生异性相吸,两者在有水膜的情况下能使沥青微粒裹覆在骨料表面,仍能很好吸附结合。因而在阴湿、低温情况下(5℃以上)仍可以施工。但阴离子乳化沥青正好相反,它与潮湿骨料表面都带负电荷,使其产生同性相斥,沥青微粒不能很快粘附在骨料表面上,若要使沥青微粒裹覆在骨料表面,必须待乳化液中水分蒸发后才行,所以遇上阴湿或低温季节时就难以施工。

3.下列情况应喷洒粘层

1)双层式或三层式热拌热铺沥青混凝土路面在铺筑上层前。

2)旧路面上加铺上层沥青混合料前。

3)水泥路面上,桥面铺装前。

4)与新铺沥青混合料接触的路缘石、雨水进水口、检查井等的侧面。

4.粘层沥青的施工

1)施工准备

(1)应将需喷洒粘层沥青的下层清扫干净,确保无灰尘。如果用水冲洗时,应使表面干燥;如果是喷洒过透层沥青,应使透层表面干燥。

(2)准备沥青洒布车,使之处于良好状态,保证洒油量准确、均匀。

2)喷洒工艺、质量要求

(1)粘层油的喷油工艺同透层油喷洒工艺。

(2)粘层沥青应喷洒均匀,或涂刷均匀,喷洒过量处应刮除,严格控制喷洒量。

3)施工注意事项

(1)喷洒表面一定清扫干净,并表面干燥。

(2)当气温低于10℃或路面潮湿时禁止喷洒。

(3)喷洒粘层后,严禁车辆行人通过。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(4)粘层沥青喷洒后,一定要等乳化沥青破乳,水分蒸发完后才能铺筑上层沥青混凝土。

三、封层施工

1. 封层的作用

路面封层的作用可归结为四点:一是封闭某一层起着保水防水作用;二是起基层与沥青表面层之间的过渡和有效联接作用;三是路的某一层表面破坏离析松散处的加固补强;四是基层在沥青面层铺筑前,要临时开放交通,防止基层因天气(如多雨、越冬等)或车辆作用出现损毁。

2.封层施工类型

封层可分为上封层和下封层。就其施工类型来分,可采用拌和法或层铺法的单层式表面处治;也可以采用乳化沥青稀浆封层。

3.封层使用的沥青材料

上、封层使用的沥青材料应按表 7-5 选择使用,沥青的标号应根据当地气候情况确定。

重交通和中、轻交通道路石油沥青的技术要求见表 7-6 和表 7-7。

封层适用的沥青材料 表 7-5

沥青种类	上封层	下封层	质量要求
道路石油沥青	AH-90、AH-110 AH-130	AH-110 AH-130	符合表 7-6 的要求
	A-100、A-140 A-180	A-100、A-140 A-180	符合表 7-7 的要求
乳化沥青	PC-3、PA-3 BC-3、BA-3	PC-2、PA-2 BC-2、BA-2	符合表 7-1 的要求
煤沥青	T-5、T-6、T-7	T-4、T-5	符合表 7-3 的要求
液体石油沥青		AL(M)-5、AL(M)-6 AL(S)-5、AL(S)-6	符合表 7-3 的要求

重交通道路石油沥青技术要求 表 7-6

试验项目		AH-130	AH-110	AH-90	AH-70	AH-50
针入度(25℃,100g,5s)	(0.1mm)	120~140	100~120	80~100	60~80	40~60
延度(5cm/min,15℃)	不小于 (cm)	100	100	100	100	80
软化点(环球法)	(℃)	40~50	41~51	42~52	44~54	45~55
闪点(COC)	不小于 (℃)	230				
含蜡量(蒸馏法)	不大于 (%)	3				
密度(15℃)	(g/cm^3)	实测记录				
溶解度(三氯乙烯)	不小于 (%)	99.0				

续上表

试验项目			AH-130	AH-110	AH-90	AH-70	AH-50
薄膜加热试验163℃ 5h	质量损失	不大于 (%)	1.3	1.2	1.0	0.8	0.6
	针入度比	不小于 (%)	45	48	50	55	58
	延度(25℃)	不小于 (cm)	75	75	75	50	40
	延度(15℃)	(cm)	实测记录				

注:①有条件时,应测定沥青60℃温度的动力粘度(P_{60})及135℃温度的运动粘度(mm^2/s),并在检验报告中注明;

②对高速公路、一级公路的沥青路面,如有需要,用户可对薄膜加热试验后的15℃延度、粘度等指标向供方提出要求。

中、轻交通道路石油沥青技术要求 表7-7

试验项目 \ 标号		A-200	A-180	A-140	A-100甲	A-100乙	A-60甲	A-60乙
针入度 (25℃,100g,5s) (0.1mm)		200~300	160~200	120~160	90~120	80~120	50~80	40~80
延度 (25℃,5cm/min)不小于 (cm)		—	100	100	90	60	70	40
软化点 (环球法) (℃)		30~45	35~45	38~48	42~52	42~52	45~55	45~55
溶解度 (三氯乙烯) 不小于 (%)		99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
蒸发损失试验163℃5h	质量损失不大于 (%)	1	1	1	1	1	1	1
	针入度比不小于 (%)	50	60	60	65	65	70	70
闪点(COC) 不小于 (℃)		180	200	230	230	230	230	230

注:当25℃延度达不到100cm时,如15℃延度不小于100cm,也认为是合格的。

4.封层施工规定

1)使用层铺法沥青表面处治铺筑上封层时,施工方法按层铺法表面处治工艺施工(见本章第二节)。其材料用量和要求按表7-8、表7-9执行,沥青用量应采用表中范围的中、低限。

2)使用层铺法沥青表面处治铺筑下封层时,施工工艺同上封层。矿料规格采用表7-10的S14、S13或S12等,矿料用量应根据矿料尺寸、形状、种类等情况确定,宜为5~8m^3/1 000m^2。沥青用量可采用表7-8或表7-9规定范围的中、高限。

3)采用拌和法施工上、下封层时,应按照本章第四节热拌沥青混凝土路面的施工工艺进行。当为下封层铺筑时,宜采用AC-5(或LH-5)砂粒式沥青混凝土,厚度宜为1cm。

4)使用乳化沥青稀浆封层施工上、下封层。

(1)稀浆封层的厚度宜为3~6mm。

(2)稀浆封层的矿料类型及矿料级配,应根据封层的目的、道路等级进行选择,铺筑厚度、集料尺寸及摊铺用量宜按表7-11选用。

(3)稀浆封层使用的乳化沥青可采用慢裂或中裂的拌和型乳化沥青,当需要减缓破乳速度时,可掺加适量的氧化乳作外加剂。当需要加快破乳时,可采用一定数量的水泥或消石灰粉作填料。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(4)乳化沥青的合理用量按表 7-11 规定的范围通过试验确定。

(5)混合料的湿轮磨耗试验的磨耗损失不宜大于 800g/m²;轮荷压砂试验的砂吸收量不宜大于 600g/m²。

(6)稀浆封层混合料的加水量应根据施工摊铺和易性由稠度试验确定,要求的稠度应为 2~3cm。

沥青表面处治材料规格和用量(方孔筛) 表 7-8

沥青种类	类型	厚度(cm)	集料 (m³/1 000m²)						沥青或乳液用量(kg/m²)			
			第一层		第二层		第三层		第一次	第二次	第三次	合计用量
			粒径规格	用量	粒径规格	用量	粒径规格	用量				
石油沥青	单层	1.0	S12	7~9					1.0~1.2			1.0~1.2
		1.5	S10	12~14					1.4~1.6			1.4~1.6
	双层	1.5	S10	12~14	S12	7~8			1.4~1.6	1.0~1.2		2.4~2.8
		2.0	S9	16~18	S12	7~8			1.6~1.8	1.0~1.2		2.6~3.0
		2.5	S8	18~20	S12	7~8			1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2
	三层	2.5	S8	18~20	S10	12~14	S12	7~8	1.6~1.8	1.2~1.4	1.0~1.2	3.8~4.4
		3.0	S6	20~22	S10	12~14	S12	7~8	1.8~2.0	1.2~1.4	1.0~1.2	4.0~4.6
乳化沥青	单层	0.5	S14	7~9					0.9~1.0			0.9~1.0
	双层	1.0	S12	9~11	S14	4~6			1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2
	三层	3.0	S6	20~22	S10	9~11	S12	4~6	2.0~2.2	1.8~2.0	1.0~1.2	4.8~5.4
							S14	3.5~4.5				

注:①煤沥青表面处治的沥青用量可较石油沥青用量增加 15%~20%;

②表中乳化沥青的乳液用量适用于乳液中沥青用量约为 60%的情况;

③在高寒地区及干旱、风沙大的地区,可超出高限,再增加 5%~10%。

沥青表面处治材料规格和用量(圆孔筛) 表 7-9

沥青种类	类型	厚度(cm)	集料 (m³/1 000m²)						沥青或乳液用量(kg/m²)			
			第一层		第二层		第三层		第一次	第二次	第三次	合计用量
			粒径规格	用量	粒径规格	用量	粒径规格	用量				
石油沥青	单层	1.0	S12	7~9					1.0~1.2			1.0~1.2
		1.5	S11	12~14					1.4~1.6			1.4~1.6
	双层	1.5	S11	12~14	S12	7~8			1.4~1.6	1.0~1.2		2.4~2.8
		2.0	S10	16~18	S12	7~8			1.6~1.8	1.0~1.2		2.6~3.0
		2.5	S9	18~20	S12	7~8			1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2
	三层	2.5	S9	18~20	S11	12~14	S13(S14)	7~8	1.6~1.8	1.2~1.4	1.0~1.2	3.8~4.4
		3.0	S8	20~22	S11	12~14	S13(S14)	7~8	1.8~2.0	1.2~1.4	1.0~1.2	4.0~4.6
乳化沥青	单层	0.5	S14	7~9					0.9~1.0			0.9~1.0
	双层	1.0	S12	9~11	S14	4~6			1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2
	三层	3.0	S8 (S9)	20~22	S10 (S11)	9~11	S12	4~6	2.0~2.2	1.8~2.0	1.0~1.2	4.8~5.4
							S14	3.5~4.5				

注:①煤沥青表面处治的沥青用量可较石油沥青用量增加 15%~20%;

②表中乳化沥青的乳液用量适用于乳液中沥青用量约为 60%的情况;

③在高寒地区及干旱、风沙大的地区,可超出高限,再增加 5%~10%。

沥青面层用粗集料规格(圆孔筛)　　表 7-10

规格	公称粒径(mm)	通过下列筛孔(圆孔筛,mm)的质量百分率(%)														
		130	90	75	60	50	40	35	30	25	20	15	10	5	2.5	0.6
S1	40~90	100	90~100	—	—	—	0~15	—	0~5							
S2	40~75		100	90~100	—	—	0~15	—	0~5							
S3	40~60			100	90~100	—	0~15	—	0~5							
S4	30~60			100	90~100	—	—	—	0~15	—	—	0~5				
S5	25~50				100	90~100	—	—	—	0~15	—	0~5				
S6	20~40					100	90~100	—	—	—	0~15	—	0~5			
S7	10~40					100	90~100	—	—	—	—	—	0~15	0~5		
S8	15~35						100	95~100	—	—	—	0~15	—	0~5		
S9	10~30							100	95~100	—	—	—	0~15	0~5		
S10	10~20									100	95~100	—	0~15	0~5		
S11	5~15										100	95~100	40~70	0~15	0~5	
S12	5~10											100	95~100	0~10	0~5	
S13	3~10											100	95~100	40~70	0~15	0~5
S14	3~5												100	85~100	0~25	0~5

乳化沥青稀浆封层的矿料级配及沥青用量范围　　表 7-11

项目	筛孔(mm)		级配类型		
	方孔筛	圆孔筛	ES-1	ES-2	ES-3
通过筛孔的质量百分率(%)	9.5	10		100	100
	4.75	5	100	90~100	70~90
	2.36	2.5	90~100	65~90	45~70
	1.18	1.2	65~90	45~70	28~50
	0.6	0.6	40~65	30~50	19~34
	0.3	0.3	25~42	18~30	12~25
	0.15	0.15	15~30	10~21	7~18
	0.075	0.075	10~20	5~15	5~15
沥青用量(油石比)(%)			10~16	7.5~13.5	6.5~12
适宜的稀浆封层平均厚度(mm)			2~3	3~5	4~6
稀浆混合料用量(kg/m^2)			3~5.5	5.5~8	>8

注:①表中沥青用量指乳化沥青中水分蒸发后的沥青数量,乳化沥青用量可按其浓度计算;

②ES-1 型适用于较大裂缝的封缝或中、轻交通道路的薄层罩面处理,ES-2 型是铺筑中等粗糙度磨耗层最常用的级配,也可适用于旧路修复罩面;

③ES-3 型适用于高速公路、一级公路的表层抗滑处理,铺筑高粗糙度的磨耗层。

5.稀浆封层施工注意事项

1)当在被磨损的旧路面上铺筑稀浆封层时,施工前应先修补坑槽、整平路面。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)稀浆封层施工时应在干燥情况下进行。

3)稀浆封层施工应使用稀浆封层铺筑机,其工作速度宜匀速铺筑,应达到厚度均匀,表面平整的要求。

4)稀浆封层铺筑后,必须待乳液破乳、水分蒸发、干燥成型后方可开放交通。

5)稀浆封层施工气温不得低于10℃。

四、下封层施工实例

1.工程概况

合肥—徐州高速公路南段路面二合同段位于定远县境内,里程桩号为K38+500~K75+583.83,全长37.083km。

主要工程量:厚18cm水泥稳定碎石921 860m^2,厚17cm水泥稳定碎石921 860m^2,厚6cm沥青混凝土下面层882 567m^2,厚5cm沥青混凝土中面层903 106m^2,厚4cm沥青混凝土上面层899 668m^2。

合肥—徐州高速公路路面二合同于1999年10月29日开工,2001年5月25日竣工,该工程由路桥集团公路一局一公司施工。

2.下封层施工

该工程的下封层施工是采用人工和机械施工相结合的施工方法。即人工清扫基层,沥青洒布机喷洒乳化沥青,人工再撒布集料,压路机压实。

1)工艺流程图(见图7-1)

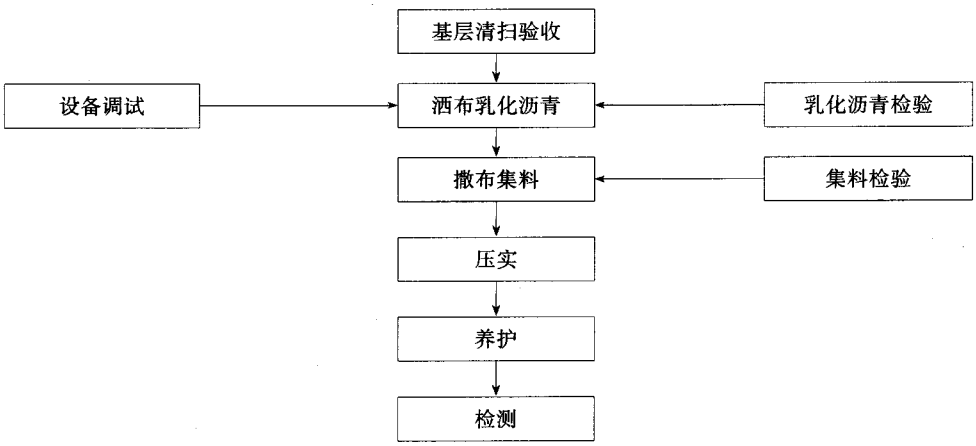


图7-1 下封层施工工艺流程图

2)施工准备

(1)材料准备

①乳化沥青

该项目使用的乳化沥青由业主提供,每100t(或100t以下)的供货只对乳化沥青的蒸发残留物含量、残留物针入度、延度、软化点进行检验。检验结果应符合表7-1的要求。

②集料

集料宜采用坚硬、清洁、干燥、无风化、无杂质并符合规定级配的轧制矿料,应以石灰岩为佳。该工程使用的矿料符合规范S13要求。

(2)人员、机械设备准备

①现场人员

现场负责人	1人
工长	1人
质检员	1人
试验员	1人
操作手	5人
工人	20人

②机械

沥青洒布机	2台
轮胎压路机	1台
洒水车	1台
装载机	1台
森林灭火鼓风机	4台
石屑运输车	2台

③试验设备

针入度仪	1台
延度仪	1台
软化点仪	1台
乳化沥青稠度仪	1台
路面渗水仪	1台
方孔标准筛	1套

(3)基层准备

①验收基层,如不符合要求应处理至符合要求为止。

②用秃的竹扫帚用力将基层表面的所有杂物扫出路外,污染严重的地方用铁锹铲除后清扫,用水冲洗干净。

③用3台森水灭火机沿半幅路基的纵向,3人成一条斜线,前面的人靠近中央分隔带,后面的人依次递进,将路基表面的浮尘吹干净,尽量使表面骨料外露,以利于乳化沥青与基层的粘结,根据当时风向调整吹风机的布置方位。

④在喷洒乳化沥青之前1h左右,根据基层表面的干燥情况,用洒水车洒水润湿,以便使基层表面的孔洞打开,降低粉尘。如遇阴雨天,基层表面已经湿润,则无需洒水预湿。

⑤新施工的基层验收合格后能马上施工封层效果最好。

⑥放样宽度宜比设计宽度每边增加25cm。

3)两油两料的层铺法施工

合徐高速公路的下封层是采用的半幅两次全宽洒油和洒料施工。其工艺要求与双表处相同(见第八章第二节)。

(1)第一次洒油为基质沥青,用量0.4~0.5kg/m^2,洒后不流淌,不露石,否则应人工补洒或者将多洒的油扫开使之均匀。

(2)撒布集料。乳化沥青洒布后,紧接使用汽车和人工撒布规格为S13的集料,其石料总量控制在3~4m^3/1 000m^2,第一次撒布量为2m^3/1 000m^{2}左右,应撒布均匀,不得有重叠。

(3)碾压。集料撒布后,使用轮胎压路机轻压。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(4)第二次洒油,一般宜在5~7d后进行,并在第一层的基础上,认真清除浮动颗粒,并洒布中裂乳化沥青,其用量为0.5~0.6kg/m^2。

(5)撒布第二层集料,用量为2m^3/1 000m^{2}左右,要保证乳化沥青表面的集料均匀。

(6)集料撒布均匀后,用轮胎压路机轻压。石料撒布应均匀,应覆盖乳化沥青表面60%~90%,仅保持少量露黑。料堆处基层表面,当集料用完后,必须清扫、气吹干净后,才能喷洒沥青和撒集料。在气温高时,为防止粘轮而多撒的集料可在铺下面层时扫除回吸。

(7)集料撒布完后,立即碾压,局部露黑处发生粘轮时,应补撒少量集料。

(8)桥头、结构处控制油量,不能多洒,也不能露白少洒。

(9)喷洒乳化沥青时,不能污染路缘石。

(10)洒布乳化沥青的气温不应低于10℃,且温度保持稳定上升,风速适度。有雾或下雨时不应施工。

4)施工质量控制

(1)施工控制检测项目包括乳化沥青喷洒量、集料撒布量、渗水试验、刹车试验和外观检查。

(2)检验方法和检验标准,见表7-12。

沥青路面下封层施工阶段的质量检查标准 表7-12

项目	检查频率	质量要求或允许误差	试验方法
乳化沥青喷洒量	每半天1次	纯沥青量 ±0.2kg/m^2	称定面积收取乳化沥青量
集料撒布量	每半天1次	在规定范围内	用集料总量与撒布面积算得
渗水试验	1处/1 000m^2	渗水量 <5mL/min	用渗水仪,每处2点
刹车试验	1处/2 000m^2 (仅试铺段做刹车试验)	沥青层不破裂	7d后用BZZ—60标准汽车以50km/h车速急刹
外观检查	随时全面	外观均匀一致,用硬物刮开封层观察,与基层表面牢固粘结,不起皮,无油包和基层外露等现象	

第二节 沥青表面处治施工

一、概 述

沥青表面处治用于三级公路和三级以下的公路,各级施工临时便道及旧沥青路面层上加铺罩面层或磨耗层,其施工方法有两种,即拌和法与层铺法。一般铺筑厚度不大于3cm。

路桥集团第一公路工程局(原交通部公路一局)在六、七十年代修建国防"0401"、"5510"工程,对外援建的卢旺达基(加利)鲁(苏莫)公路,布隆迪布(琼布拉)尼(罗河发源地)公路,布隆迪承包工程思(戈基)基(隆多)、卡(多)基(德加)、马(康巴)泥(杨扎拉克)公路,扎伊尔的QW公路等工程,其路面结构均为沥青表面处治。累计修建了沥青表面处治1 000多km,取得了成功经验,尤以卢旺达基鲁公路和布隆迪卡基公路为好,均被当地政府作为样板路。现以卢旺达

基鲁公路为例，谈谈沥青表面处治层铺法施工技术，由于拌和法表面处治施工技术与热拌沥青混凝土施工技术相同，本例就不赘述 。

卢旺达基鲁公路由首都基加利起向东南到与坦桑尼亚交界的鲁苏莫止，全长 156.8km，另加 3.6km 支线，共计 160.4km。公路等级相当于我国二级至三级公路，路面为三层沥青表处，路面结构如图 7-2 所示。1973 年 12 月开始测量，1974 年 10 月开工，1977 年 6 月全部竣工，历时 2 年 8 个月。

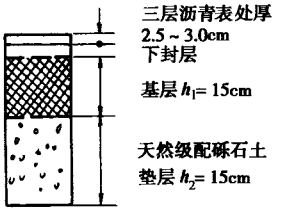


图 7-2　路面结构图

该路系公路一局第一次单独在非洲地区筑路。在缺乏经验，对当地自然条件、筑路方法、筑路材料性能等都不甚了解，在设计施工上都遇到不少实际问题的前提下，为做到“因地制宜，经济合理、实用有效、廉价方便”，体现社会主义经援性质，公路技术组作了大量调查研究和科学试验工作，有效指导了设计与施工，保证了工程质量，降低了成本。基鲁公路的造价仅为当时意大利修建同样情况道路造价的 50%。该路被誉为非洲第一路。基鲁公路最值得一说的成功经验有四点：一是开创了利用非洲丰富的红土砾料作道路基层的新创举；二是泥沼地段路堤设计与施工方法获得成功，令西方同行惊叹并认为是奇迹；15 年后的回访看到路基、路面及涵洞都完好无损；三是对半填半挖、高填方路堤的强力夯实效果好，威力大；四是解决了沥青表面处治的两季施工问题。

二、基鲁公路技术指标

1.掺 3%以上水泥稳定砾石土基层(厚 15cm)

1)主要技术指标

(1)砾石土颗粒要符合级配路面施工技术规范(JT 1003—66)(以下同)中 3 号、4 号最佳级配，其骨料坚硬，风化软质料不用。

(2)$R > 15kg/cm^2$。

(3)基层压实度大于 98%，垫层压实度 95%以上，全路满铺。

2)使用地段：泥沼、潮湿、土质不良而排水也不良地段及重交通地段。

2.掺少量水泥(1.5%～2.5%)的天然砾石基层(厚 15cm)

1)主要技术指标

(1)砾石土颗粒要求同掺 3%以上水泥稳定砾石土。

(2)原材 CBR 大于 100。

(3)塑指不大于 11。

(4)压实度要求同掺 3%以上水泥稳定砾石土基层。

2)使用地段：土质较差，但排水尚好、地下水埋藏深的地段。

3.天然砾石土基层(厚 15cm)

1)主要技术指标同掺少量水泥的天然砾石基层。

2)使用地段：水文地质良好，且排水也良好的地段。

4.矿料及沥青技术指标

1)矿料性能

基鲁公路使用的矿料有两种。一种是辉绿岩，其特征为微粒状，结构致密，贝壳状断口，无解理，深灰色，非金属的珍珠光泽，硬度 2～3 级(摩比硬度)，轧制时小料的针片状过多，仅筛取 1 号、2 号料；再一种是褐铁矿石，其特征是气孔构造，参差状缺口，无解理，黑和黄两色，半金属

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

光泽，硬度5级以上，经烘干有硫磺味。两种矿料物理性能见表7-13。

矿料物理性能　　表7-13

物理指标		相对密度	密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	针片状含量 (%)	磨耗率 (%)	极限抗压强度 (kPa)	备注
一般要求					<20	≯7	1 000	火成岩Ⅰ级石料
辉绿岩	1号料	2.76～2.86	1.37～1.44 1.40	0.5～0.6	12～16.75 14.4	2～2.65 2.22	1 172～1 560	7～10次试验结果
	2号料	2.76～2.86	1.38～1.42 1.40	0.5～0.6	14～28 20.13	2～2.65 2.22	1 172～1 560	
褐铁矿	1号料	3.34～3.36	1.63～1.67	1.75～1.85	17.63	6.7～3.7 7.7		6～10次试验结果
	2号料	3.34～3.36	1.62～1.66	2.0	16.25	7.7		
	3号料	3.34～3.36	1.67～1.72	2.25～2.20	18.25	7.7		

2)沥青性能指标(见表7-14)

沥青性能指标表　　表7-14

项目 \ 性能指标 \ 标号及产地	油100甲	油140	油180	茂名沥青	茂名沥青	在卢采购沥青
针入度(100g,5s) (0.1mm)	81～120	121～160	161～200	78～81	169～188	165～189
延度(25℃)、不小于(CM)	80	100	100	大于100	大于100	大于100
软化点(环球法)不小于 (℃)	40	25	25	54.5～55	49～50	42～42.5
加热损失、针入度占原总针入度　不小于　(%)	60	60	60	(58～63) 75	(110～120) 84	(168～172) 91
加热损失(160℃,5h)不大于	1	1	1	0.25	0.2	0.2
闪点(开口杯法)不小于 (℃)	200	200	200	大于200	大于200	大于200
1958年石油沥青标准				符合油100甲	符　合 油180	符　合 油180

3)沥青与矿料粘结指标

(1)辉绿岩与沥青粘结为4^+级。

(2)褐铁矿与沥青粘结为4级。

5.材料用量

1)下封层

(1)透层油 $C_{25,5}=15\sim20S$，用量为$0.8kg/cm^2$。

(2)封层沥青 $C_{60,5}=25\sim35S$，用量为$0.8kg/m^2$。

(3)石屑用量为 7～8m^3/1 000m^2。

2)表面处治材料用量(见表 7-15)

材料用量表 表 7-15

第一遍		第二遍		第三遍	
沥青 (kg/m^2)	矿料 15～25mm (m^3/1 000m^2)	沥青 (kg/m^2)	矿料 10～15mm (m^3/1 000m^2)	沥青 (kg/m^2)	矿料 5～10mm (m^3/1 000m^2)
0.8	20～22	1.8	10～11	1.8	5～6

注:按一般规律,三层表处沥青用量是第一层用量大,第二层次之,第三层最小;而该工程却认为主矿料粒径大,怕油难于上翻,而未按一般规律施工,取得很好的效果。

6.表处施工控制指标

1)宽度不小于设计。

2)厚度允许误差为 ±10%。

3)平整度不大于 10mm。

4)路拱、超高、横坡允许误差 ±0.5%。

5)测点计算弯沉值不大于设计值。

三、三层表面处治的施工

1.准备工作

1)材料准备

(1)表面处治使用的矿料,应按所需的规格、数量进行备制,并运到指定堆放地点或指定施工路段上按要求堆放,防止材料被污染。

(2)沥青选购后运到工地,应取样试验合格后存放备用。

(3)沥青加工站的设置准备包括安置油锅、开挖预热火道、整理装油场地、搭建油工休息棚及修筑洒油车运输通道。油场一般供油长度以 10～15km 为宜,不应超过 15km。加热站的布置应结合地形实际,做到充分利用、合理布局、操作方便、安全生产。

2)基层准备

对已做好的基层进验收检查。首先是强度、压实度满足要求,表面坚实平整、干净,纵坡、路拱和标高也应符合设计规定,否则处理至达到要求为止。在喷洒透层油前进行测量放样。

3)机具准备

(1)检查洒油车油泵、洒油管道和保温系统运转是否正常有效,并进行试喷,以确定洒油车在单位面积上洒油量的准确性。

(2)压路机配置要合理,检修完好待用。

(3)碎石撒布机的准备与检修。

2.沥青表面处治的施工

沥青表面处治层铺法施工按施工工序的不同,可分为先油后料法和先料后油法两种方法。一般多用先油后料法,但当路肩过窄无法堆放全部矿料,采用人工撒料施工或在低温施工时,为加速反油成型,可采用先料后油方法施工。先料后油法的优点是节省一道洒油工序,但由于

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

没有底层油，可能会产生路面脱皮或拥包现象。故施工前应严格清扫底层，同时初期养护时应加强控制行车速度，防止上述病害发生。基鲁公路施工采用碎石撒布机布料先油后料法的施工工艺。

1)施工程序

清扫底层→洒透层油→洒封层油→洒石屑→行车成型或中午高温轮胎碾压成型→洒第一层沥青→撒第一层集料→碾压→洒第二层沥青→撒第二层集料→碾压→洒第三层沥青→撒第三层集料→碾压→初期养护成型。

2)操作方法

(1)清扫底层及喷洒透层油

表面处治施工时，对基层上的浮土、杂物及松散砂石料等均应清扫干净。如在旧黑色路面上，水泥路面上有粘附污泥，须铲除或用水冲洗干净。对于石灰稳定土、水泥稳定土、石灰水泥土、泥结类级配砂石、国外红土砾料基层，为保证其与表处更好的粘结，减小湿度向上聚积的现象，应洒透层油。

基鲁公路基层为红土砾料基层，每平方米洒透层油 0.8kg，使用汽车洒喷，经 24h 使透层油下渗后再做下道工序。有的基层经压实后面光，透层油很难下渗，影响基层与面层的结合，为此应对基层开放交通，待消除光面后才能洒透层油，或者调整透层油的稠度，使之渗入。

透层油由柴油与沥青掺配制成，其掺配比例为：柴油：沥青 = 20:80(质量比)，稠度 $C_{25,5}$ = 15 ~ 20s，喷洒油温控制在 120 ~ 140℃之间。

(2)下封层的施工

为了保证面层与基层的牢固结合，油渗透得应深些，同时为了使下封层有良好的隔水性，基鲁公路透层油与封层沥青分别使用不同稠度指标分两次洒，即先洒透层油($C_{25,5}$) = 15 ~ 20s)，24h 后再洒封层沥青($C_{60,5}$ = 25 ~ 30s)，随后撒布石屑。不论透层油或封层沥青，都要特别注意搅拌均匀。下封层一般比路面宽 0.5m。

基层做好后，必须隔一定时间，尽量让基层干燥后再做封层，不掺水泥的砾石土尤需如此。封层成型后再做面层。如行车少，封层不易成型，则选择中午高温时用载重汽车或轮胎压路机碾压，促使其成型。

(3)洒第一层沥青

在下封层成型并且表面干燥后，才能进行第一层沥青的喷洒。

基鲁公路使用汽车洒油车喷洒沥青。每次喷洒，洒油车都应根据 0.8kg/m^2 的用油量喷洒。由于施工时断绝交通，采用全幅喷洒。

在喷洒前应全面检查洒油车的油泵系统、管道系统有无故障，沥青油罐上的油表是否准确，洒油喷嘴的高度、喷油斜度、行车排档、行车速度、油泵排挡、沥青节门开关等是否都调整正确，确保洒油量的均匀性和准确性。

在基鲁公路施工中，洒油用量为 1.8kg/m^2。使用 1 号洒油车喷洒时，车速排档为 2，车速为10km/h，油泵排档为 2，沥青开关节门为 3 号。如使用 2 号洒油车喷洒时，车速排档为 2，车速为 10km/h，油泵排档为 2，沥青节门开关为 4 号。所以喷洒沥青时一定要根据油车性能，调节好使用排档与沥青节门开关。

喷洒接头的处理。为使接头处喷油的均匀性，通常在接头处铺上 1 ~ 2m 宽的薄铁板或油毛毡，以保证接头处洒油整齐不重叠。当油车启动后，车速达到喷洒速度时，车行至铁板覆盖的接头处，开关手准时打开洒油管控制节门的开关，油先洒在覆盖板上，然后均匀地洒在路面

上，直到洒完一车油或是洒至某一规定终点处后，关闭节门开关驶离洒油现场。

如果是两次喷洒或多次喷油时，应使纵向接头处的宽度控制在 10～15cm 范围内，覆盖铁板应备足数量重复使用(洒在铁板上的沥青，可在使用前清除后重复使用)。

(4)撒第一层矿料

当洒布汽车喷洒第一层沥青后(不必等全段洒完)，应立即撒铺第一层主层矿料。基鲁公路采用英国产的碎石撒布机，料斗可装 0.5m³，撒布宽度为 1～3m，撒布厚度 5～50mm。撒布 1 号料时，使用慢速挡，间隙开至 40～45mm，就能满足设计要求的厚度。一次撒布 3m 宽，两次撒宽 6m 宽。如有露沥青的地方，用人工补撒，并适当扫匀，清除波浪及坑凹。

(5)碾压

当矿料撒布一段后(不必等全段撒布完成)，应立即用 6～8t 压路机碾压。先从路边开始，再渐移至中心，碾压速度以 1.5km/h 为宜，每次轮迹重叠 30cm，压至表面平整稳定无明显轮迹为止。注意不要过压，一般压 2～3 遍。

(6)洒第二层沥青

当第一层碾压工艺完成后，即可喷洒第二层沥青，其喷洒工艺与第一层相同，用油量为 1.8kg/m²。

(7)撒布第二层矿料

第二层沥青喷洒完成一段后，立即撒布第二层矿料，撒布方法同第一层。每 1 000 平方米用 10～15mm 的 2 号矿料 10～11m³。这里需要特别注意的是，撒布机撒布完 1 号矿料后，换撒 2 号矿料时，一定要清除扫尽料斗中余料，否则斗中矿料易卡滚筒，造成撒布机断链条的事故。矿料的装运、存放中注意小料中不能混入大料。

(8)碾压

当第二层矿料撒布好一段后，即进行碾压，碾压工艺同第一层。

(9)洒面层沥青

第二层碾压完成即可喷洒面层沥青，喷洒工艺同前两层。

(10)撒布面层矿料

面层沥青喷洒一段后，立即撒布 3 号面层矿料。采用 5～10mm 的矿料，每 1 000 平方米用量 5～6m³。

(11)碾压

面层矿料撒布好一段后，立即进行碾压，碾压工艺同前两层。注意防止过压破坏矿料棱角。用 6～8t 压路机压 2～3 遍后，用 16t 轮胎压路机反复揉压；在第二天高温时，再用 12t 三轮压路机碾压，并配合人工扫匀。

(12)初期养护

碾压结速后即可开放交通，并进行初期养护。养护期可采用指挥交通的方法，或设置路障控制行车路线与速度(一般为 20～30km/h)，尽量使路面全宽获得均匀行车碾压，2～3 周后便可成型。

在养护期内，如发现有泛油现象，应补撒 3 号料，并扫匀，当表面矿料被行车挤向路边时，应及时扫到路面上。

四、质量检验标准

1.外观检验标准

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

外观检验标准包括:油量准确、喷洒均匀,表面平整、坚实、不松散、无掉渣、无条状痕迹,无油包、油丁和泛油现象。

2.检测标准

1)路面宽度不小于设计值。

2)厚度允许误差为±10%。

3)平整度不大于10mm。

4)路拱、超高、横坡允许误差为±0.5%。

5)测点计算弯沉值不大于设计值。

五、施工质量评价

1.面层厚度

基鲁公路全长160.4km,竣工检查抽挖100个点,最大厚度为3.5cm,最小为厚度为2.0cm,一般在2.5~3.0cm之间,小于2.5cm的共7个点,只占4.4%。

2.平整度

该公路的平整度很好,竣工检查时专门选择目测平整度差或雨后稍有积水现象的地方进行检查,共抽查26处,平整度为5~10mm者19处,11~16mm者6处,大多数为油面接头处。

3.宽度、路拱

两项指标均符合设计要求。

4.路面总体质量

1)路面强度

K0+000~K65+500段平均弯沉值为0.46mm,K65+500以后平均弯沉值0.473mm。在考虑季节及潮湿系数因素后,分别为0.53mm、0.544mm,而其允许弯沉值分别为1.0mm及1.1mm,其保证率达到99%以上,所以路面的整体强度较高。

2)道路内部结构水分变化方面:除58+900~59+000一段特殊情况外,其余地段在历时三个月的大雨季后,基、垫层及土基各层含水量都处于稳定和少许下降,路面强度也处于稳定和少许增加,这说明表处表面层防水性好,路表水未能渗入;有的路段竣工已达26个月(经历了三个大雨季),下面亦无水分聚集现象。这一现象表明路面不会因反潮湿化而导致路面破坏。

3)从观测资料的季节与潮湿系数及路面总体强度看,除个别特殊情况外,都没有因地带类型和基层材料的不同而有明显差异,说明路段基层材料的不同而有明显差异,说明路段基层结构与路面总厚度是基本符合实际的,从而也说明当地红土砾石,只要有条件的选择使用,不掺或少掺水泥也同样能保证路面质量。

5.外观质量

路面的外观坚实不松散,层间沥青饱满,油与石料粘结裹覆良好,无油包、油丁及泛油现象。施工质量非常好。

六、注意事项

沥青表面处治路面施工,公路一局在国内外修筑了1 000多公里。在施工中有成功的经验,也有不少教训。沥青表处路面施工应注意以下事项,以避免表面处治的病害的发生。

1.下封层的施工

粗面的表处面层，必须有防水措施，防止表面水渗入基层。这是非常重要的，否则即使是水泥稳定的基层，也会招致湿化而破坏。经调查，基加利—卡都那公路就是因为表层渗水而导致大面积的破坏。虽然基层常掺水泥3%以上，但无下封层，又没有洒透层油，在雨季时沥青表面的积水日夜不断下渗入基层导致破坏。为防止表面水渗入基层，采用下封层效果良好。但是，对纯红土砾料基层不作下封层，油面铺好后，曾用井水浸泡10d试验，基层含水量只增长1.0%，路面强度基本无变化，说明基层水稳定性好。为保证工程质量，对纯红土砾料基层或低掺量水泥基层，设下封层是必要的。对掺量3%以上的水泥红土砾料基层，洒了透层油，不作下封层也是可以的。

下封层的施工一定要在基层尽可能的干燥后才施工。为使透层油渗透得深些，使下封层有良好隔水性，透层油洒24h表面干后再洒封层油，随之撒0～5mm石屑3～5kg/m^2，开放交通3～4d，待封层形成后才能进行下道工序。如果洒了封层油第二天就洒下主层油作表处施工，封层未成型，防水效果不好；封层油内的轻质油分未挥发完，它就会与下主层油融合在一起，使下主层油受到稀释造成油石比过大而泛油。

下封层的宽度一般应比路面宽0.5m。

2.雨季施工

在卢旺达一年中有两个雨季，历时达5个月之久，年降雨天数为110～130d。解决雨季施工问题是一个非常迫切的重要问题。沥青表面处治在什么条件下能进行雨季施工，是经过实践认识到的。1976年雨季初期，施工中时晴时雨，有时还在施工作业时遇雨，事后虽作过一些处理措施，但感到把握不大，曾决定雨季停止沥青表处施工，随即对施工遇雨地段的路面认真地进行检查，发现质量良好。当地多为阵雨，历时一般0.5～1h，最多2h左右，且雨过天晴，很快就把表面晒干，雨季施工是可以进行的。其具体作法是：①洒透油时基层表面要干；②洒封层油时，透层油的基面要干；③洒第一次主层油时，下封层要干；④当在矿料层上再洒油时，矿料层要干；⑤撒矿料遇雨时或矿料潮湿时，待雨过天晴高温时，加强碾压。总之，要注意掌握天气变化规律，灵活掌握工作时间，充分利用好天气。要保证透层油有充分下渗时间，晴天多洒，遇雨必须停止洒油、撒料；矿料未干时，禁止碾压；施工地段禁止行车；未成型地段控制行车速度。

3.洒油量的控制

单位面积上的矿料量确定之后，正确的控制单位面积上的洒油量，是表面处治成功的关键。因为洒油车洒油时，可能行驶在上、下坡道上，也可能行驶在弯道上，因此速度很难控制一致，所以洒油量也很难控制均匀。实践证明宜将各层的洒油总量控制在上下限平均值范围内，才不至出现泛油和少油现象。

4.碎石(砾石)撒布控制

碎石(砾石)撒布主要就是控制撒布厚度，由于撒布出来的厚度为松铺厚度，撒布时应考虑压实系数。机械撒布碎石时，碎石从出料口间隙挤出时存在内摩阻力，机械的钢丝、滚筒与碎石间也存在阻力，所以出料口间隙必须调至比松铺厚度大才行，另外碎石(砾石)撒布量与撒布速度有关。因此1号料撒布时使用慢速档，间隙开至40～45mm，撒布出的碎石(砾石)可满足厚度要求；如用快速档则应撒布两次。2号料撒布也用慢速档，间隙约20mm左右。无论撒布哪种矿料，撒布完后，如发现有露沥青未被覆盖的地方，应用人工找补，随即人工扫匀，清除波浪、坑凹。

5.辗压控制

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

各层矿料扫匀完成一段，即可用两轮 6～8t 压路机碾压 2～3 遍。第二、第三层矿料碾压三遍后，应用轮胎压路机反复碾压，并在第二天高温时，再用 12t 压路机或振动压路机继续碾压。碾压时如果 2 号料松散，应配合人工扫匀收集。实践证明，气温降至 20℃以下时，地温也随之降低，2 号料难于粘结牢固；当开放交通时，行车速度达到 20～30km/h，2 号料易被车胎卷起松散。因此，第二天高温时的碾压与扫匀是非常重要的。

6.养护与交通管制

表面处治层铺法很难控制好洒油量，洒油过量易引起泛油现象。泛油处需用 3～5mm 石屑养护，泛油严重的地段应用 2 号料撒布，并用压路机辗压，使矿料粘结在泛油薄层上。

采用层铺法施工的路段，在表处碾压完成后，即可开放交通，但应控制车速，设置路障使车辆行驶时表处路面全幅进行控制碾压，使下层的油上翻而达到路面成型。最有效的控制方法是：在路上每 80～100m 用 0～5mm 石屑堆起一道高 0.3m 左右的小埂，汽车行驶的路线与速度均能有效控制，路面成型才能按要求完成。

第三节　沥青贯入式路面施工

一、一般规定

沥青贯入式路面适用于二级和二级以下的公路，沥青贯入层也可以作为沥青混凝土路面的联结层。

沥青贯入式路面是用不同粒径的碎石或砾石分层铺筑，粒径尺寸自下而上逐层减小，并分层贯入沥青，经碾压密实而构成的沥青碎石（砾石）路面。其厚度宜为 4～8cm，但使用乳化沥青贯入时，厚度不宜超过 5cm。当贯入层上部加铺热拌沥青混合料（亦称上拌下贯式路面）时，总厚度宜为 6～10cm，其中拌和层厚度宜为 2～4cm。

沥青贯入式路面层为多孔型结构，为防止表面水的浸入和加强路面水稳定性，应在其表面上撒布封层料或加铺拌和层。如是乳化沥青贯入式面层并铺筑在半刚性基层上时，应铺筑下封层。沥青贯入层作为联结层时，可不撒表面封层料。

沥青贯入式路面宜选择在干燥和较热的季节施工，并宜在雨季前及日最高温度低于 15℃到来以前半月结束，使贯入结构层通过开放交通碾压成型。

二、材料要求及用量

1.集料

集料应是有棱角，嵌挤性好的坚硬石料，强度大于 3 级以上，尽量选择石灰岩等碱性石料，以保证与沥青的粘结性。如石料选择不好，在碾压时，压碎过多，嵌挤不良，会堵塞空隙，将影响沥青贯入和成型。当使用破碎砾石时，其破碎面积应不小于 40%，沥青贯入式主层集料中大于粒径范围中值的数量不得少于 50%。细粒料含量偏多时，嵌缝料用量宜采用低限，表面不加铺拌和层的贯入式路面，施工完成后，每 1 000m^2 应另备 2～3m^3 与最后一层嵌缝料规格相同的石屑或粗砂等材料供初期养护使用。其主层集料最大粒径宜与贯入层厚度相同，当使用乳化沥青时，主层集料最大粒径可采用厚度的 0.8～0.85 倍。

集料的规格和用量见表 7-16 表 7-17，按贯入厚度及表面是否设热拌加铺层选用。

沥青贯入式面层材料规格和用量

（用量单位：集料：$m^3/1\ 000m^2$，沥青及沥青乳液：kg/m^2）　　表 7-16

沥青品种	石油沥青					
厚度(cm)	4		5		6	
规格和用量	规格	用量	规格	用量	规格	用量
封层料	S14	3～5	S14	3～5	S13(S14)	4～6
第三遍沥青		1.0～1.2		1.0～1.2		1.0～1.2
第二遍嵌缝料	S12	6～7	S11(S10)	10～12	S11(S10)	10～12
第二遍沥青		1.6～1.8		1.8～2.0		2.0～2.2
第一遍嵌缝料	S10(S9)	12～14	S8	16～18	S8(S6)	16～18
第一遍沥青		1.8～2.1		2.4～2.6		2.8～3.0
主层石料	S5	45～50	S4	55～60	S3(S2)	66～76
沥青总用量		4.4～5.1		5.2～5.8		5.8～6.4

沥青品种	石油沥青				乳化沥青			
厚度(cm)	7		8		4		5	
规格和用量	规格	用量	规格	用量	规格	用量	规格	用量
封层料	S13(S14)	4～6	S13(S14)	4～6	S14	4～6	S14	4～6
第五遍沥青								0.8～1.0
第四遍嵌缝料							S14	5～6
第四遍沥青						0.8～1.0		1.2～1.4
第三遍嵌缝料					S14	5～6	S12	7～9
第三遍沥青		1.0～1.2		1.0～1.2		1.4～1.6		1.5～1.7
第二遍嵌缝料	S10(S11)	11～13	S10(S11)	11～13	S12	7～8	S10	9～11
第二遍沥青		2.4～2.6		2.6～2.8		1.6～1.8		1.6～1.8
第一遍嵌缝料	S6(S8)	18～20	S6(S8)	20～22	S9	12～14	S8	10～12
第一遍沥青		3.3～3.5		4.0～4.2		2.2～2.4		2.6～2.8
主层石料	S3	80～90	S1(S2)	95～100	S5	40～45	S4	50～55
沥青总用量		6.7～7.3		7.6～8.2		6.0～6.8		7.5～8.5

注：①煤沥青贯入式的沥青用量可较石油沥青用量增加 15%～20%；

②表中乳化沥青用量是指乳液的用量，并适用于乳液浓度约为 60%的情况；

③在高寒地区及干旱风沙大的地区，可超出高限，再增加 5%～10%；

④本表系根据 JTJ 032—94 规定。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表面加铺拌和层时贯入层部分的材料规格和用量(方孔筛)

(用量单位:集料 $m^3/1\ 000m^2$,沥青及沥青乳液:kg/m^2)　　表 7-17

沥青品种	石油沥青					
贯入层厚度(cm)	4		5		6	
规格和用量	规格	用量	规格	用量	规格	用量
第二遍嵌缝料	S12	5~6	S12(S11)	7~9	S12(S11)	7~9
第二遍沥青		1.4~1.6		1.6~1.8		1.6~1.8
第一遍嵌缝料	S10(S9)	12~14	S8	16~18	S8(S6)	16~18
第一遍沥青		2.0~2.3		2.6~2.8		3.2~3.4
主层石料	S5	45~50	S4	55~60	S3(S2)	66~76
沥青总用量		3.4~3.9		4.2~4.6		4.8~5.2

沥青品种	石油沥青		乳化沥青			
贯入层厚度(cm)	7		5		6	
规格和用量	规格	用量	规格	用量	规格	用量
第四遍嵌缝料					S14	4~6
第四遍沥青						1.3~1.5
第三遍嵌缝料			S14	4~6	S12	8~10
第三遍沥青				1.4~1.6		1.4~1.6
第二遍嵌缝料	S10(S11)	8~10	S12	9~10	S9	8~12
第二遍沥青		1.7~1.9		1.8~2.0		1.5~1.7
第一遍嵌缝料	S6(S8)	18~20	S8	15~17	S6	24~26
第一遍沥青		4.0~4.2		2.5~2.7		2.4~2.6
主层石料	S2(S3)	80~90	S4	50~55	S3	50~55
沥青总用量		5.7~6.1		5.9~6.2		6.7~7.2

注:①煤沥青贯入式的沥青用量可较石油沥青用量增加 15%~20%;

②表中乳化沥青用量是指乳液的用量,并适用于乳液浓度约为 60%的情况;

③在高寒地区及干旱风沙大的地区,可超出高限,再增加 5%~10%;

④表面加铺拌和层部分的材料规格及沥青(或乳化沥青)用量按热拌沥青混合料(或乳化沥青碎石混合料路面)的有关规定执行;

⑤本表系按 JTJ 032—94 规定。

2.沥青

沥青结合料可采用粘稠石油沥青、煤沥青或乳化沥青，其标号和用量可参照表7-18选用。

沥青贯入式路面选用的沥青标号 表7-18

沥青种类	寒区	温区	热区
石油沥青	A-140 A-180 A-200	A-100 A-140 A-180	A-60 A-100 A-140
煤沥青	T-6 T-7	T-6 T-7	T-7
乳化石油沥青	PC-1 PA-1	PC-1 PA-1	PC-1 PA-1

注：沥青路面施工气候分区见表7-19。

沥青路面施工气候分区 表7-19

气候分区	最低月平均气温(℃)	所属省区
寒区	< -10	黑龙江、吉林、辽宁(营口以北)、内蒙古(包头以北)、山西(大同以北)、河北(承德、张家口以北)、陕西(榆林以北)、甘肃、新疆、青海、宁夏、西藏等省区
温区	> -10 <0	辽宁(营口以南)、内蒙古(包头以南)、山西(大同以南)、河北(承德、张家口以南)、陕西(榆林以南、西安以北)、甘肃(天水一带)、山东、河南(南阳以北)、江苏(徐州、淮阴以北)、安徽(宿县、亳县以北)等省区
热区	>0	河南(南阳以南)、江苏(徐州、淮阴以南)、安徽(宿县、亳县以南)、陕西(西安以南)、广东、海南、广西、湖南、湖北、福建、浙江、江西、云南、贵州、台湾、四川(成都东南)等省区

注：青藏高原、四川盆地、贵州高原或其他地区气候呈环状分布时，气候变化较大，应根据本地实际气候情况确定气候分类。

贯入式各层次的分次用量应根据施工气温及沥青标号等在规定范围内选用，在寒冷地带或当施工季节气温较低、沥青针入度较小时，沥青用量宜用高限。在低温潮湿气候下用乳化沥青贯入时，应按乳液总量不变的原则进行调整，上层较正常情况适当增加，下层较正常情况适当减少。

三、施工实例

1.施工准备

1)基层施工准备的要求同沥青表面处治。

2)材料准备工作同沥青表面处治。

3)施工机具准备。

沥青贯入式路面的主层料可以采用碎石摊铺机摊铺、人工摊铺或平地机摊铺。嵌缝料宜

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

采用集料撒布机撒布。本节只介绍使用平地机摊铺主层料，撒布机撒布嵌缝料的施工方法。

(1)沥青洒布车的准备同沥青表面处治。

(2)压路机的准备同沥青表面处治。

(3)主层碎石摊铺应准备平地机和运料翻斗车以保证主层料的运输与摊铺。

(4)嵌缝料撒布应准备撒布机，也可准备手推双轮车或柴油小翻斗车及方头锹、竹扫帚、铁三齿抓等工具。

2.沥青贯入式路面的施工

贯入施工分浅贯入与深贯入两种，其施工方法基本相同。

1)施工程序

清扫基层→洒透层油或粘层油→摊铺主层集料→碾压(如需洒水时应先洒水)→洒第一遍沥青→撒第一遍嵌缝料→碾压→洒第二遍沥青→撒第二遍嵌缝料→碾压→洒第三遍沥青→撒封层料→碾压→初期养护。

当表面层为加铺热拌沥青层时，在撒完第二次嵌缝料，碾压完成后就可加铺热拌沥青混合料层成为下贯上拌式沥青路面，热铺混合料方法同热拌沥青混凝土施工方法。

2)操作方法

贯入式路面施工的操作方法结合公路一局在南也门测设施工的谢赛公路进行介绍。该公路全长 204.5km，加上四条支线 2.4km，总计 206.9km。1978 年测设，1979 年完成设计文件，1980 年下半年开始施工，1985 年 10 月 23 日举行通车典礼。

(1)清扫基层

其操作方法同沥青表面处治。

(2)洒透层油

谢赛公路设计没有透层油，不用喷洒透层油。如施工需要洒透层油，按表处洒透层油施工方法操作。

(3)主层矿料摊铺

在基层处理清扫合格后，才能摊铺主层碎石(机轧砾石)，谢赛公路的主层料是采用翻斗车运料，平地机摊铺，人工配合检查标高、路拱及平整度。

根据汽车翻斗车运量和每平方米主层料用量计算出一车集料应摊铺的长度，设专人指挥自卸车按规定的长度卸料，前一车卸在第一个规定长度路左半幅中部，下一车就卸在第二个规定长度路的右半幅中部。以此类推向前卸料，其压实系数一般取 1.1～1.2，或是经试铺确定。

采用平地机摊铺平整和五点法控制标高、横坡。其具体操作方法与基层施工的五点控制法相同。经过平地机整平的主层料，还应人工配合进一步修整，以保证主层料的平整和粗细均匀，横坡、标高都符合要求。此时要禁止通行车辆，以免影响平整度。

(4)碾压

碾压分两阶段进行。

第一段阶为稳压阶段，此时使用 6～8t 两轮钢筒压路机以 1.5～2.0km/h 的速度由边缘向路中线碾压，每次轮迹重叠一半。碾压完一遍后，检查路拱和标高，如不符合时进行修整至符合要求，再继续碾压至矿料初步稳定、无移动为止，一般为 2～3 遍。

第二阶阶段，改用 10～12t 压路机以 1.5～2.0km/h 的速度行驶进行碾压。为使矿料压实，并减少压碎，在碾压过程中，须经常检查，发现大于 3cm 的空隙时，应及时用等大矿料填补。当碾压矿料大致嵌填紧密、无显著轮迹时，停止碾压。一般视矿料的硬度不同压 4～6 遍，切忌

过压,使矿料过于破碎,影响沥青贯入。但也不可欠压使主层料不稳定,影响强度,贯入沥青也易流失。

矿料碾压时,一般不必洒水。但石料不易压稳时,可酌量洒水。南也门谢赛公路的主层矿料为砾石轧制料,坚硬而破碎面少,不易压实,是在洒水后进行稳压密密的。

压实后的主层表面应平整,并露出均匀的空隙才符合要求。如是洒水压实的主层,在洒主层油前,一定要等洒水蒸发干后才能进行喷洒沥青的施工。

(5)贯入喷洒第一遍沥青

主层矿料碾压完毕后,经检查,表面应平整、缝隙均匀、密实。洒水碾压后的矿料干燥后,应立即喷洒主层沥青。喷洒方法与沥青表面处治相同。

(6)撒铺第一遍嵌缝料

当主层沥青还未喷洒完成全段时,就可在已喷洒沥青的主层上撒布第一遍嵌缝料,人工撒布要一次撒足,铺撒要快,随撒布随用竹扫帚扫匀。谢赛公路使用矿料撒布机撒布,撒布质量控制较好,撒布方法同表处。

(7)碾压

当嵌缝料扫匀后,立即用 8 ~ 12t 压路机进行碾压,随压随扫,使嵌缝料均匀嵌入。碾压工艺与表处相同。一般碾压 6 ~ 8 遍。

(8)喷洒第二遍沥青

操作方法与第一遍相同。

(9)撒布第二遍嵌缝料。

操作方法与第一遍相同。

(10)碾压

操作工艺与第一遍碾压相同。

接下来的作法一般是,还要喷洒一次表层沥青,再撒布面层嵌缝料,再进行一次碾压,才算完成了贯入式路面的施工。如果表面层设计为加铺热拌沥青拌合层结构,就在第二遍碾压施工后按热拌沥青混凝土的方法进行。这就成了下贯上拌沥青混凝土路面施工了。它是由两种施工方法叠加组合而成。

南也门谢赛公路的路面结构为两油三料结构,设计厚度为 5cm,实际施工时,路面厚度为 5.5cm。使用的矿料规格为:5 ~ 12mm、12 ~ 15mm、25 ~ 50mm 三种矿料。因为贯入式表面层厚度为 5cm,当时的设计规范规定不洒透层油。主层油与第二遍沥青用量共计 6kg/m^2,较规范的用油量大 1kg/m^2。沥青用量大的原因是:谢赛公路地处沿海,考虑沥青老化影响耐久性,需加大用油量。该公路使用的矿料为砾卵石轧制,最大粒径为 40mm,矿料偏细,铺筑厚度为5.5cm,也应增加油量。在使用中该路质量很好,没有出现泛油的现象。

(11)开放交通及初期养护。

初期养护方法与沥青表面处治相同。

3.质量检测结果

沥青贯入式路面要求碎石层密度高,应达到 2 100kg/m^3 以上,其他的标准都与表面处治相同。

谢赛公路全长 204km,竣工后经外经贸部、交通部两部验收组检查验收评为优良工程。该路在运营期内的表现也证明了其施工质量的确是一流的。这都是由于在施工中坚持了每道工序检查合格后,才进行下道工序施工的原则。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)路面质量检测结果(见表 7-20 ~ 表 7-23)

路面底基层及基层压实度检验结果统计表 表 7-20

里　程	部　位	检查坑数	合格坑数	合格率	平　均压实度	不合格的	
						最小压实度	平均压实度
K0 + 000 ~ K204 + 000	底基层	2 274	2 066	91%		92%	95.5%
	基　层	1 885	1 776	94.2%	98.7%	93%	95.7%

路面平整度检验结果统计表 表 7-21

里　程	检查数量	合格数量	合格率	总平均值	不合格的	
					最大	平均
K0 + 000 ~ K204 + 000	1 826	1 741	95.3%	5.2mm	15mm	9.6mm

注:标准为 3m 直尺下空隙不大于 8mm。

沥青面层厚度检验结果统计表 表 7-22

里　程	检查点数	最大值	最小值	平均	合格率
K0 + 000 ~ K204 + 000	202	7.5cm	5cm	6cm	100%

注:设计厚度为 5cm。

路面整体强度测定结果统计表 表 7-23

里　程	测点数	保证率系数 λ	采用季节系数 K	计算弯沉值(0.01mm)		
				平均	最大	最小
K0 + 000 ~ K204 + 000	3 886	1.25	2	61.9	92.2	38.4

2)路面的水稳性试验

为了了解最不利季节时路面强度情况,选择了料质较差的一路段,根据常见的雨后路面内浸湿天数,以泡水方法进行水稳性试验。即将路面围水泡浸,以黄河汽车标准轴载测量泡水前后的回弹弯沉值。其测点布置情况如图 7-3 所示。

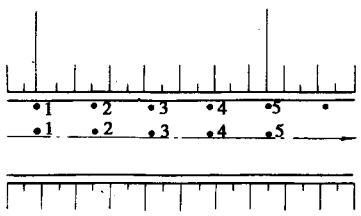


图 7-3　路面测点布置示意

(1)地段

K45 + 901 ~ K45 + 921 左半幅。

(2)料质

底基层料 0.5mm 以下细料含量 35%,塑指 7.7;

基层料 0.5mm 以下细料含量 20%,塑指 8.0。

(3)检测进程

①1984 年 4 月 6 日测各点弯沉。

②1984 年 4 月 7 日筑埂围水泡浸。

③1984 年 4 月 9 日把水放掉,行车 30 次后测弯沉(尔后灌水)。

④1984 年 4 月 11 日把水放掉,行车 30 次及 50 次后测弯沉。

(4)检测结果(见表 7-24)

回弹弯沉检测结果 表 7-24

测点		弯沉值 (0.01mm)				K
		4 月 7 日	4 月 9 日	4 月 11 日(行车 30 次)	4 月 11 日(行车 50 次)	
边	1	18	44	54	52	2.9
	2	30	50	54	50	1.7
	3	26	52	46	46	1.8
	4	30	44	46	44	1.5
	5	32	60	70	62	1.9
						$\bar{K}=1.96$
中	1	22	30	52	22	1.4
	2	26	28	28	28	1.11
	3	20	30	28	28	1.5
	4	28	32	32	32	1.1
	5	20	36	30	36	1.8
						$\bar{K}=1.4$

试验结果表明,路面强度是好的,完全可以经受最不利季节的考验。

3)全线路面弯沉测检结果汇总情况

(1)测点距路肩 0.50m,分别以左、右两个测点为平均值。以黄河牌汽车为标准型车,轮胎气压62Pa,后轴重 10.0t。

(2)K0 + 000 ~ K204 + 200 段测点总数为 1 943 × 2。计算弯沉值为 61.9(0.01mm),其中最大值为 92.2(0.01mm),最小值为 38.4(0.01mm),符合设计要求,均小于设计容许值 119(0.01mm)。

(3)关于季节影响系数 K,根据自测的水稳定性试验结束,采用最不利情况下的最大值 2。

(4)弯沉代表值计算见下式:

$$l_0 = (\bar{l} + \lambda\sigma)K \tag{7-1}$$

式中:l_0——弯沉代表值;

$\bar{l}$——弯沉平均值;

λ——系数;$\lambda = 1.25$;

σ——标准差;

K——系数;$K = 2.0$。

4)路面基层弯沉值检测汇总结果

K0 + 000 ~ K204 + 200 其测点总数为 1 899 × 2,计算弯沉值为 87.0(0.01mm),其中最大值为 129.2(0.01mm),最小值为 61.2(0.01mm)。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第四节　热拌沥青混凝土路面施工

一、施工工艺流程

热拌沥青混凝土路面施工工艺流程见图 7-4。

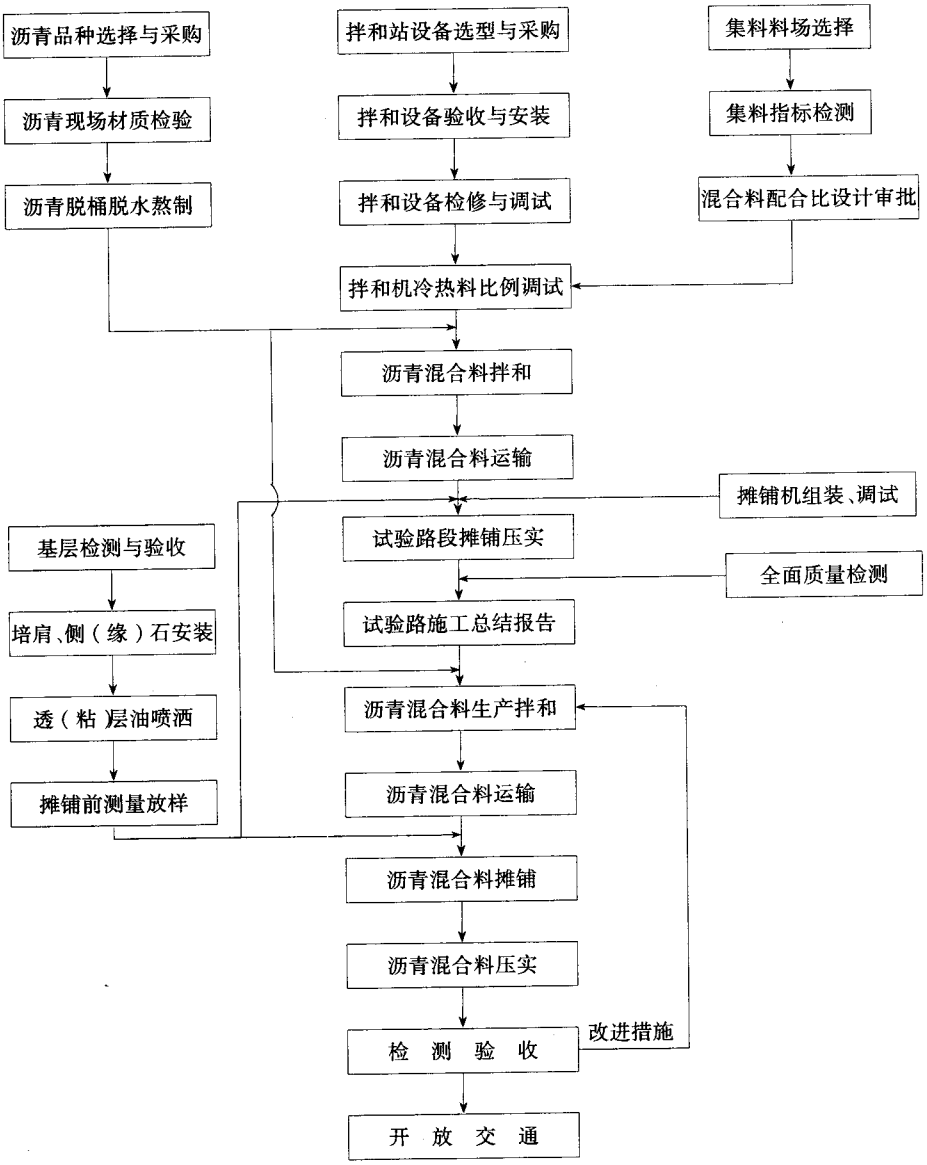


图 7-4　热拌沥青混凝土路面施工工艺流程图

二、施 工 准 备

1.拌和站的建设

1)沥青混合料拌和站的选址

沥青拌和站宜设置在空旷、干燥，并且具有较好的运输条件的地方；供料半径不得大于40km，场站应有足够大的地方放置各种矿料；沥青的贮存加热、拌和的场地，应符合国家有关环境保护、消防、安全等规定和要求。

2)场站应有良好的排水、防水措施，料场应硬化，保证矿料清洁不受污染。

3)选择适合工程需要的拌和设备。无论是采购或是调用，应选用能自动控制的间歇式拌和机。拌和机应配有防尘、除尘设施，能有效地防止有害粉尘污染环境。

(1)混合料产量计算

保证摊铺机工作速度为2.5m/min时：

$$Q = 400\ bh \tag{7-2}$$

保证摊铺机工作速度为2.0m/min时：

$$Q = 300\ bh \tag{7-3}$$

式中：Q——拌和机产量，t/h；

b——路面一次性摊铺宽度，m；

h——摊铺厚度，m。

(2)拌和站的主要设备(见表7-25)

拌和站主要设备配备表 表7-25

序号	机械设备名称	规　　格	单位	配备数量
1	拌和机	160t/h，200t/h	台套	1～2
2	储油罐(池)	容量不小于30～50t	个	6～8
3	锅炉(导热油)	2t	台	1
4	沥青加热锅	3～5t	个	3～5
5	脱桶设备	导热油型3～5t/d	台套	1
6	备用发电机	260～300kW	台	1～2
7	外电变压器	620kW	台	1
8	沥青油罐车	25t	辆	1
9	矿粉罐车(水泥罐车)	8～15t	辆	2～3
10	地中衡	称量30～50t	台	1
11	乳化沥青生产设备		台套	1
12	装载机	2～3m^3	台	1
		0.5～1.0m^3	台	1
13	推土机	D—85	台	1
14	自卸运输车	10～15t	辆	10～20
15	载重汽车	5t	辆	1～2

4)建立能满足工程需要的试验室，该室应有足够的、技术熟练的、有一定经验的试验检测人员，以保证各项试验检测工作的顺利进行。

(1)对原材料进行现场调查、选择，对进场材料进行有效控制，按规定进行材质检测鉴定，把好进料关。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(2)取代表性材料进行目标配合比设计,具体方法步骤见有关论述。

(3)试验室主要试验检测设备配置(见表 7-26)。

主要试验检测设备配备表 表 7-26

序号	试验设备名称	规　　格	单位	配备数量
1	马歇尔稳定度试验仪	包括流值计	台套	1
2	小型电动拌和机		台套	1
3	电动击实仪	包括击实试模 25 个	台套	1
4	电动脱模仪		台	1
5	60℃恒温水箱		个	1
6	静水力学天平	称重 2500g 感量 0.1g	架	1
7	吊篮		个	1
8	针入度仪	包括水槽和测针 3 根	套	1
9	沥青延度仪	0~150cm,包括八字模 9 副	套	1
10	沥青软化点仪	包括架、球、套环等	套	1
11	沥青标准粘度仪		套	1
12	可调温电炉	(测软化点用)	个	1
13	沥青闪点试验仪		套	1
14	沥青比重瓶		只	10
15	精密天平	称量 200g,感量 0.001g	架	1
16	沥青抽提仪	离心式	台	1
17	标准筛(mm)	37.5,31.5,26.5,19.0,16.0,13.2,9.5,4.75,2.36,1.18,0.6,0.3,0.15,0.075	套	2
18	洛杉矶磨耗机		台	1
19	针片状规准仪		个	2
20	压碎值试模		套	1
21	大小搪瓷盘		个	40
22	烘干箱	容量 200L,温控 0~200℃	个	1
23	烘干箱	容量 500L,温控 0~150℃	个	1
24	电子称	称量 2000g,感量 0.1g	个	1
25	电子称	称量 3000g,感量 1.0g	个	1
26	台称	称量 10kg,感量 5g	台	1
27	托盘天平	称量 1kg,感量 1g	台	1
28	公升筒(L)	20、10、5、2、1	只	80
29	温度计(℃)	0~360、0~200、0~100、0~50	只	80

续上表

序号	试验设备名称	规　　格	单位	配备数量
30	秒表		块	2
31	熬奶锅	带柄	个	10
32	酒精灯		个	2
33	刮刀	带柄	把	3
34	干燥器	250mm	个	2
35	量筒(mL)	1 000、500、100	只	10
36	广口量筒(mL)	100	只	3
37	烧杯(mL)	800、600、500	只	9
38	吸管(mL)	50	只	2
39	玻璃棒		只	20
40	甘油	200mL/瓶	瓶	1
41	钻孔取芯机		台	1
42	小型发电机	与钻孔机配套	台	1
43	核子密度仪		台	1
44	3m 直尺		把	3
45	平整度测试仪	连续式	台	1
46	摆式摩阻仪		台	1
47	砂补仪		套	1
48	弯沉仪		副	2

2.下承层准备

1)下承层的检测验收。保证下承层的各项检测指标符合技术规范的要求。否则一定处理至满足要求。

2)测量放样。在交验合格的下承层上恢复中桩并把中桩加密为 10m 一个、复核水准点，并每 200～300m 增设临时水准点一个，根据中桩及摊铺宽度定出边桩(供支架基准线用)和边线桩(为摊机行走导向用)。

3)安装好路缘石或培好路肩。

4)清扫下承层。在稍带湿润的基层上，按规定的油质、油量喷洒透层油。一次喷洒均匀不流淌，封闭交通，待其充分渗透或水分蒸发后摊铺；或在下层油面上喷洒粘层油后铺筑上层油面。

5)在摊铺之前根据边桩，订好可调基准线支架，按设计高程挂好基准线，作为摊铺机控制高程的基准。并用白灰标明摊铺边缘线供摊铺机行驶导向。

3.建立健全施工组织机构

作为一支技术较强的施工作业队伍，一般在执行任务时，应按岗位落实人员，对新增人员进行基础技术培训，对全体人员进技术质量要求交底，明确岗位责任和技术质量要求。其劳动组合见表 7-27(按日产 2 500t 生产能力计)。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

劳动组合表 表 7-27

项　目	所需人员(个)	备　注	项　目	所需人员(个)	备　注
后台混合料拌和	21～34	21～34 人 1 台拌和机	技术负责人	1	
拌和站工长	1		混合料运输组	10～20	
机械技术人员	1～2		测量放样组	3～4	
拌和组	7～10		摊铺组	3～4	
供油供电组	6～10		压实组	5～6	
材料供应组	4～7		试验检测组	6～7	
机械维修组	3～4		专职质检员	1	
前台施工组	36～46	36～46 人/1 个工作面	路面工组	6～8	
工　长	1				

整过施工过程中,前后台通讯联络畅通,指挥协调,步调一致。

4.前台路面施工机械配套准备

1)路面摊铺压实成型的配套机具(见表 7-28)。

路面摊铺压实机具表 表 7-28

序号	机械设备名称	规　格	单位	配备数量
1	摊铺机	福格勒、ABG	台	1～2
2	压路机	净重 6～14t 双轮双振	台	2
	压路机	16t 以上胶轮,充气压力 >0.5MPa	台	2
	压路机	8～10t 双轮钢筒式	台	1
	轻型振动压路机	手扶式 1～2t	台	1～2
3	沥青洒布机	3～5t	1	1
4	洒水车	5～8t	辆	1
5	空压机	3～6m^3	台	1
6	切割机		台	1

2)摊铺前对机械进行维修保养和调试,保证使用状态良好。

5.沥青混凝土配合比设计

一个好的沥青混凝土配合比,必须满足设计要求,同时应在符合质量标准的前提下就地取材;在保证工程质量的前提下,以降低成本增加经济效益为目的而进行优化设计。一个好的配合比,如果在施工中不进行严格控制,也达不到好的施工效果。所以,在施工中,不只是要优化配合比,而且还应始终按优化后的配合比准确地进行施工。

1)配合比设计的选材原则

(1)沥青:选用沥青品质的优劣,对热拌沥青混合料的成品质量尤为重要,特别是高等级公路。必须是符合本地区气候特点要求的重交通道路石油沥青,详见《公路沥青路面施工技术规

范》JTJ 032—94。在选用时，除符合规范要求外，应重点选用含蜡量低、低温延度大的沥青。

目前国内表面层的发展趋势，多选用改性沥青用来解决交通量日益增大、轴载重不断增加、适应高温稳定好、抗低温变形能力强、减少车辆噪音等特殊性能要求。

(2)碎石(粗集料)：在沥青混合料中起着骨架作用，在结构层中起着承重稳定以及抗高温变形性能等作用。碎石规格的选用必须与沥青路面结构层类型相吻合，如结构层类型为粗粒式 AC-25 型，则选择碎石最大粒径为 26.5mm(碎石规格可为 25～15mm 和 15～5mm 两种)，并按规范中要求进行一系列试验。在各项试验指标满足规范要求情况下，选用与沥青粘结力大于 4 级以上的碎石。当碎石为酸性与沥青粘结力小于 4 级时，必须采用在沥青中掺加抗剥离剂进行处理。

抗滑表层粗骨料碎石，多采用石质坚硬、韧性好、耐久、耐磨的玄武岩。

(3)细集料：包括石屑和天然砂。细集料在沥青混合料中起到填充粗集料空隙，使成型的沥青混合料整体性能好，减少粗集料的离析，提高沥青混合料的密实性和防渗作用。因此，细集料材质必须符合 JTJ 032—94 中附录 C 表 C.9、表 C.10、表 C.11 的要求；质地坚硬、干净、无杂质，含泥量(水洗法)高等级公路不大于 3%，其他公路不大于 5%。

(4)矿粉(填料)：矿粉在沥青混合料中起着非同小可的作用。它不单纯填充骨料空隙，其最大价值是与沥青混合后对骨料起胶结作用。当沥青混合料在粗细集料和沥青用量相同条件下，矿粉用量的改变导致沥青混合料马歇尔试验各项技术指标也随着发生变化，见表 7-29 和表 7-30。

矿粉含量与马歇尔技术指标的关系表 表 7-29

矿料配比(%)	沥青用量(%)	矿粉用量(%)	马歇尔试验指标				
			密度(g/cm^3)	稳定度(kN)	空隙率(%)	饱和度(%)	流值(0.1mm)
(5～10mm)碎石:59 石屑:15 粗砂:10 细砂:10	5.5	0	2.285	1.18	8.6	60	20
		2.08	2.332	2.39	10.0	56	24
		3.70	2.354	4.51	7.6	63	25
		5.27	2.400	5.54	4.2	76	23
		6.71	2.452	7.55	0.6	96	25

掺加矿粉后软化点变化情况表 表 7-30

沥青与矿粉用量			软化点指标		
沥青	矿粉	比率	1	2	平均
5.5	0.0	1:0	48.5	49.0	49.0
5.5	2.0	1:0.36	50.0	50.0	50.0
5.5	4.0	1:0.73	51.0	51.0	51.0
5.5	6.0	1:1.09	53.0	53.0	53.0
5.5	8.0	1:1.45	56.5	56.5	56.5

从上上两表中不难看出：沥青混合料马歇尔试验的各项技术指标随矿粉用量的变化而变化。例如：沥青混合料的密度随矿粉用量的增加而增加；稳定度和饱和度随矿粉用量的增加而提高；空隙率则随矿粉用量的增加而减少；沥青混合料的软化点指标随矿粉用量的增加而提高。因此，矿粉用量对沥青混合料的各项技术性能都起着不可估量的作用。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

若矿粉用量过多，也会对沥青混合料起到相反作用，致使沥青混合料在碾压过程中不易稳定，甚至产生推移裂纹，给沥青混合料拌合摊铺带来困难等。

矿粉必须是由碱性石灰岩矿料加工而成，也可用水泥和生石灰粉替代。矿粉的质量技术要求必须符合 JTJ 032—94 附录 C 表 C.12 的规定。

2)目标配合比设计

(1)目标配合比设计流程见图 7-5。

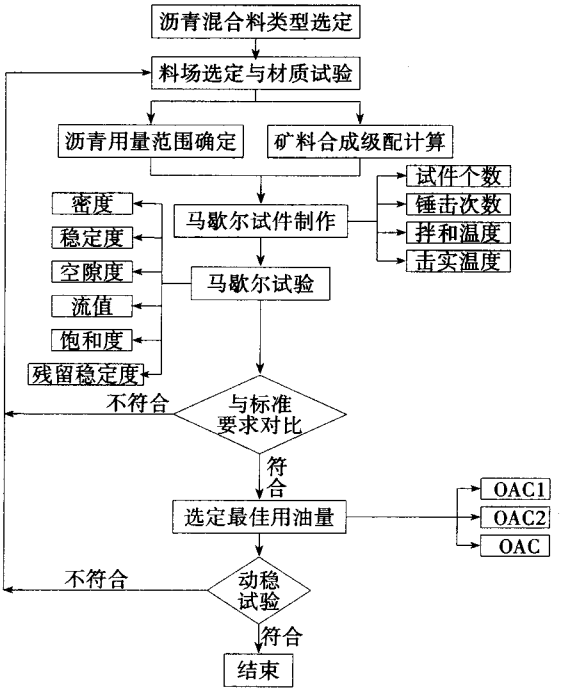


图 7-5　目标配合比设计流程图

(2)沥青混合料矿料合成级配选定步骤。

首先根据类型，确定矿料规格尺寸，现场取样，进行性能实测和颗粒分析，然后依据不同规格矿料筛分结果，求其每个筛孔通过平均值的百分率，也可采用图解法或者采用计算(电算)法求出矿料配合比例。

(3)沥青混合料马歇尔试件制作。

(4)沥青混合料试件马歇尔稳定度和流值测试。

(5)沥青混合料最佳油石比的选择。

(6)目标配合比的优化及报批。

3)生产配合比的调试和确定

为保证沥青混合料优化设计配合比的准确实施，确保用量误差准确控制在规定的允许范围内，必须结合沥青混合料拌和设备进行调试，即把目标配合比变成生产配合比。拌和机在混合料拌和时，矿料按目标配合比的计量进入加热筒，加热后分级筛分进入不同的热料仓，热料仓的料必须重新确定比例进入拌和锅，使拌和的混合料符合目标配合比容许拌和误差的要求。

三、沥青混合料的拌和

1.开盘前的准备

1)操人员应检查油路管线是否畅通,仪表显示是否清晰、准确、无故障。

2)试验室应在开盘前,向拌和组提供有负责人签认的配合比通知单,内容包括:混合料配合比、各种集料含水量。拌和组按通知单进行换算调整生产使用配合比。

3)沥青应采用导热油加热,脱水加温至140℃~160℃备用。

2.严格控制料温(见表7-31)

沥青混合料施工温度 表7-31

沥青种类		石油沥青		
沥青标号		AH-50,AH-70 AH-90,A-60	AH-110,AH-130 A-100,A-140 A~180	A~200
沥青加热温度(℃)		150~170	140~160	130~150
矿料温度	间歇式拌和机	160~180	150~170	140~160
	连续式拌和机	155~175	145~165	135~155
沥青混合料出厂温度(℃)		140~160	125~160	120~150
沥青混合料贮存温度(℃)		降低不超过10	降低不超过10	降低不超过10

应经常量测运料汽车中的混合料出厂温度,特别是前几车沥青混合料的出厂温度应接近高限。

3.混合料拌和

1)操作手持证上岗,明确岗位责任,严格操作规程。

2)拌和过程要求混合料均匀,颜色一致,无花白料现象,沥青均匀地裹复在矿料颗料表面,表面黑色略带棕色光泽,装车时堆不塌,不离析。

3)拌和过程应使用自动操作装置,不随意改为手动操作,严防施工配合比变化。

4.拌和注意事项

1)集料加热温度一般控制在140℃~160℃之间,沥青加热控制在130℃~160℃之间。

2)混合料净拌时间应控制30~40s范围内。

3)出料温度视施工时气温的变化(早、中、晚,开工与收工)、摊铺温度、道路状况、运距和有无覆盖等情况决定,一般控制在130℃~160℃范围内。

4)拌和初期操作手及试验人员应观察成品颜色、级配大致比例、拌和料温度等情况是否满足要求,以便采取措施改进,但拌和人员无权改变配合比。

5)混合料在储料仓中要有一车半以上的储料,方可卸入运输车,同时分堆卸入车箱内。

6)拌和机停机前应用部分不含矿粉、沥青的热料进行洗仓。

7)应对仪表控制盘显示的沥青用量和材料用量,作出数理统计分析,得出相关系数,指导生产。沥青的计算用量与油罐中实耗油数字进行对比,以校正油面用油量是否准确。

8)工作人员应及时、认真地作出完整的运输记录、生产过程记录和事故记录。

5.混合料的质量检查

1)拌和料应拌和均匀,色泽应一致,无花白料,不离析,不结块成团。观察拌和结果并及时反馈以便处理调整。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)每半小时检查一次加热情况和出仓混合料温度,随车填好出厂单。

3)每 250t 混合料取样做混合料颗料级配分析、油石比试验。每生产 500～1 000t 混合料取样做马歇尔试验,获取各项技术指标,并作好试验记录及试验台账。

6.协调

拌和、试验、现场铺筑是一个密切联系的整体,应互通信息,以便协调,每日应召开协调会,及时发现问题,制定改进措施。

四、沥青混合料的运输

1)沥青混合料运输应考虑拌和能力、运输距离、道路状况、车辆吨位,合理确定车辆数量。

2)自卸汽车装料前清扫车厢,必须涂刷防粘剂薄膜(柴油:水 = 1:3),但不应有多余的防粘剂积存车厢中。

3)拌和机向车厢内卸料时,每卸一斗沥青混合料后,汽车向前移动一下位置,以减少沥青混合料中粗细骨料的离析现象发生。

4)运输车一般应覆盖好,防止降温、污染和雨淋,以免影响工程质量和造成浪费。

5)运输混合料的车辆,通过路口、交叉道口或视线不通的地方,应指派专人指挥交通或设置明显的行车指示标志。

6)运送沥青混合料的自卸汽车,后退卸料时,应在后轮胎与摊铺机接触前 10～30cm 处停车,严防撞击摊铺机,此时,汽车挂空档等候摊铺机推动前进并卸料。

7)满载的车辆不得在中途停留,必须直接将混合料运至现场等候摊铺,运到现场的沥青混合料温度应不低于 130℃～150℃。

8)自卸车卸完沥青混合料后,如有粘结在车厢内的沥青混合料剩余物,严禁随意乱倒,更不准倾倒在已铺或未铺的路面上,应倒在指定地点。

五、沥青混合料的摊铺

1)在准备就绪的下承层上,将摊铺机就位于正确的位置上。如是在已铺筑沥青混合料面层接茬处摊铺时,应先将已铺层的接头处切除处理,切除长度用 3m 直尺反复量测确定,把切除后的断面用粘层油涂刷后就位摊铺机。根据摊铺宽度调整好熨平板宽度,按摊铺的松铺系数(一般变动范围 1.15～1.30,根据试验路段施工确定)垫好垫块,按路面横坡度调整好摊铺机,使机上自动找平传感器的标尺与横坡保持一致,并用横向拉线进行校准。

2)将摊铺机的螺旋送料器调至合适高度。为防止摊铺后的沥青混合料出现路中线与边线、表面与下面骨料粗细不均匀现象,一般摊铺 6cm 以下的面层时,螺旋送料器下缘距底层高度应为 10cm 左右;当摊铺层厚度大于 6cm 时,可调整为 15cm 左右。

3)根据摊铺的结构层部位,选择合适的摊铺形式。一般摊铺表面层和中面层多采用拖杆滑靴,基准梁的形式,其长度多以不小于 6m 多则 7～10m 为宜。为保证路面标高,底面层采用走钢丝基准线的形式控制标高。钢丝绳支架桩应牢固可靠,间距多为 5～10m,钢丝绳直径以 2～2.5mm 为宜,拉线长度一般为 250～300m,钢丝绳的紧线器拉力通常为 1.5～2kN,前后两根钢丝绳搭接 10～20m。在摊铺机传感器未驶过搭接段时,前一根钢丝绳的全部桩支架和钢丝绳不准松动或拆除。

4)摊铺机在操作前应预热,熨平板温度不低于 65℃。

5)沥青混合料摊铺温度,正常情况下应控制在 120℃～150℃之间,最高不超过 165℃;低

温时施工，温度应控制在 130℃ ~ 160℃之间，最高不超过 175℃。如没有特殊情况，摊铺时气温应高于 5℃。

6)摊铺机开始受料前，应在受料斗和送料刮板上涂刷少许隔离剂(柴油:水 = 1:3)，防止沥青混合料粘在其上。

7)沥青混合料的松铺系数和松铺厚度，必须从实际施工中测得。因为摊铺机不同，混合料类型不同，松铺系数和松铺厚度也就不同。每天在开铺后的 5 ~ 15m 范围内进行实测，以便准确控制路面的摊铺厚度与横坡。

8)摊铺机摊铺作业时，起步速度要慢，平稳匀速前进，尽量减少中途停机。中途停机后，沥青混合料温度下降，再起步摊铺会使该层出现波浪，严重影响路面平整度。

摊铺机的工作速度应根据拌和站生产能力确定，可用下式计算。

$$v = Qn/60hb\rho \tag{7-4}$$

式中：v——摊铺机施工行驶速度，m/min；

Q——一台拌和站的产量，t/h；

n——拌和站的拌和机台数，台；

b——摊铺宽度，m；

h——摊铺厚度，m；

ρ——沥青混合料压实密度，t/m^3。

9)摊铺时接缝处理

(1)纵缝

①两台摊铺机阶梯排列同时进行热接缝处理时，应将已铺筑混合料留下 10 ~ 20cm 不碾压，作为后摊铺的基准面，后摊铺面应与先摊铺面重叠 5cm 左右(在碾压前进行平整，最后跨缝碾压)，两台摊铺机前后距 20 ~ 30m。

②当面层分两幅摊铺或特殊情况下导致冷接缝时，宜加设挡板或在第二次铺筑前将纵缝边线切除，切成垂直面，清扫干净并涂刷热沥青后再进行第二幅摊铺，摊铺时重叠 2 ~ 5cm。上、下层的纵缝应错开 15cm 以上；表面层纵缝应顺直，宜留在行车道标线位置上。

(2)横缝

横缝多为工作缝或者结构变化处。横缝施工的好坏，对行车舒适性影响极大，应高度重视。

①上、下层的横缝应错位不小于 1m，中、下层横缝宜采用斜接缝接头，表面层应采用垂直平接缝。

②斜接缝搭接长度一般宜为 0.4 ~ 0.8m，搭接处应清扫干净并喷洒粘层油，并剔除超过压实厚度的粗料，或用 5mm 筛子筛铺一层细料，以保证平顺美观。

③表面层平接横缝，可采用挡板法预留，操作时在已铺层面端部挖槽将挡板按标高拉线放入，在挡板外部覆盖一部分热料，以防止碾压时产生推移，在下次摊铺前拆除。也可以将横缝切直并与底面层垂直。无论哪种方法，都应把横缝清扫干净，并涂刷沥青后用摊铺料覆盖接缝口使之加热软化，摊铺时将之消除废弃。如果是气温较低时，还应用喷灯把接缝口加热至 20℃左右才能摊铺。

10)在摊铺作业时，当面层出现下列情况时，可以用人工找补或更换混合料。

(1)纵、横断面上的新老接茬处和构造物接头处，用 3m 直尺检测不合格时，用人工仔细找补。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(2)靠近路侧(缘)石摊铺带的边线处,当局部缺料或粗料过多时,应人工找补。

(3)摊铺表面局部有混合料离析或明显不平整及拖痕时,应人工用细料找补。

(4)超高、加宽处,摊铺机作业不能到位的狭窄部位、交叉道口处以及匝道变断面处都需人工仔细找补。

(5)人工找补时,采用扣锹,不宜平甩。在摊铺刮平的过程中,用力轻重应一致,应避免沥青混合料人为离析。铁锹应加热,并用油水隔离剂清洗干净。

11)应有专人指挥运料车辆倒车卸料。严禁撞击摊铺机和将料卸出摊铺机料斗外。

12)应有专人清除摊铺机两条链轨板行驶路线上撒落的混合料,使摊铺机平稳前进,确保摊铺平整度。

13)当摊铺作业过程不能保证连续供料而停机待料时,料斗中必须有足够的存料,严禁摊铺机的送料刮板外露,人为造成开机后铺面出现粗细骨料集中的现象。

14)当因故障停机后,摊铺机料斗内的沥青混合料如有结硬块应清除干净后,才能倒入新料进行摊铺作业。

15)摊铺机的熨平板上,非本机工作人员不得站立和通行,防止浮动熨平板瞬间下沉,影响摊铺平整度;同时也禁止一切人在刚铺完尚未碾压成型的油面上行走留下痕迹,影响平整度。

16)禁止在铺面上用柴油清洗机械。

17)摊铺作业现场与拌和站通讯联络应通畅,如有意外应及时联系并处理,避免造成损失。

六、沥青混合料的压实成型

摊铺好的沥青混合料,应在合适的温度下尽快碾压成型。

1.控制好沥青混合料的压实温度

在合适的温度下压实,有事半功倍的作用。沥青混合料初压温度过高,沥青混合料不易稳定,碾压轮迹深不易消除,同时容易推移产生发裂,不但压实效果不好,而且还会对平整度产生影响;如初温度过低,碾压效果差,沥青混合料难于压实。混合料的压实温度一般应控制在表7-32所示的范围内。

热拌沥青混合料压实温度表 表7-32

项目		石油沥青
初压温度(℃)	正常施工	110~120 不低于100
	低温施工	120~140 不低于110
复压温度(℃)	正常施工	75~95 不低于于70
	低温施工	80~100 不低于70
终压温度(℃)	钢轮压路机	不低于65
	轮胎压路机	不低于75
	振动压路机	不低于60
开放交通温度		路面冷却后

2.合理选择压实机械组合和压实程序

这是保证沥青混合料能尽快达到最佳碾压效果的唯一手段。

1)初压:多采用6~8t双轮钢筒式压路机或6~8t双轮双振压路机静压2~3遍。

2)复压:宜采用20~25t轮胎式压路机柔压(轮胎充气压力为0.7MPa)或采用6~14t振动

压路机振压(振动频率35～50Hz,振幅为0.3～0.8mm);也可以采用混合压实法,先胶轮柔压,后振动振压,碾压不少于4～6遍。复压过程中随时用3m直尺连续检查碾压平整度,当发现有凸埂时,应及时采用振动压路机沿横向顺埂振压消除。

3)终压:宜采用6～14t振动压路机或6～8t双轮钢筒式压路机静压2～3遍。

除上述压实机械外,还应配备1～2t手扶式小型振动压路机以及人工热夯,以便在边角及狭窄路段使用。

3.压路机碾压工作速度控制

原则上是均匀慢速,其具体要求见表7-33。

碾压速度表　　表7-33

压路机类型	初压速度(m/min)		复压速度(m/min)		终压速度(m/min)	
	适宜	最大	适宜	最大	适宜	最大
钢筒式压路机	1.5～2.0	3.0	2.5～3.5	5.0	2.5～3.5	5.0
轮胎式压路机			3.5～4.5	8.0	4.0～6.0	8.0
振动压路机	1.5～2.0(静压)	5.0(静压)	3.0～4.0(振压)	4.0～5.0(振压)	2.0～3.0(静压)	5.0(静压)

4.碾压方法

1)应将压路机驱动轮面向摊铺机,行驶路线和碾压方向不能任意改变。在压实过程中,不允许突然加速、急刹车、中途调头、左右摇摆行进。在回程中应慢停车、慢起步、慢回程,如是振动压路机,必先停振,慢停车,再启动回程后才起振,防止沥青混合料在碾压过程中造成推移、印痕、拥包等现象发生。

2)压路机应从外侧的低处向中心高处碾压,相邻碾压带应每次重叠1/2～1/3轮宽,最后直到碾压至路中或全宽为一遍。当路线外侧无支撑物时,碾压轮应伸出边线10cm以上;而外侧边线处开始初压时,应先预留30～40cm宽,不进行碾压,待压完一遍后,使压路机大部分重量重叠压在已压面层上时才压预留的30～40cm,防止边线处沥青混合料外移和发生纵向微小裂纹。

3)压路机不宜在同一断面处回程碾压,每次回程向前后错开不少于1m距离。初压、复压和终压的回程应不在相同断面处,前后相距应在5～10m范围内。本次碾压应与前一次碾压段搭接不小于10m。压路机改变方向进退,应在已压铺面上进行。

5.接缝的压实方法

1)横缝压实:使用轻钢轮压路机垂直于路线进行横缝碾压,开始压路机多在已压成的铺面上,伸入新铺层的宽度为15cm,然后每压一遍向新铺混合料移动15～20cm,直至全部在新铺层上后再顺路方向进行正常压实。此时边压边用3m直尺测量并配以人工细料找补,直至平整度和压实度符合要求。

2)纵缝碾压:一般使用两台摊铺机梯阶摊铺作业,纵缝为热接缝时,应以1/2轮宽进行跨缝碾压,以消除缝迹。如分成两半幅施工形成冷接缝时,应先在已压实路上行走,只压新铺半幅铺层的10～15cm,随后将压实轮每次再向新铺面移动10～15cm(同横缝),直至把纵缝压平压实。

6.防止粘轮

为防止压路机碾压过程中出现粘轮现象,可以向压路机碾轮上喷洒雾状水液,但不应过多

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

或流淌。应严禁向碾轮涂刷柴油。

7.碾压完成

施工机械、车辆、压路机等严禁停留在尚未成型或已成型但还未冷到自然温度的路段上，振动压路机在已成型的路段通过时应关闭振动，禁止履带式机械在已成型的油面上直接穿行。

七、施工质量标准及质量控制措施

整个施工过程必须按《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032—94)和关试验规程进行施工控制。

1.质量标准

沥青混凝土路面施工质量标准见表7-34。

沥青混凝土路面施工质量控制标准 表7-34

检测项目		质量要求		试验方法
		一般道路	高等级公路	
外观		表面平整密实，无轮迹、裂缝、推挤、油丁、油包、离析、花白料现象		随时目测
接缝		紧密平顺、无跳车，平整度符合要求		随时目测、3m直尺测量。
施工温度		混合料拌合、摊铺、碾压、开放交通温度均应符合规范要求		用温度计测量，一般公路随时检测，高等级公路一车一次
矿料级配		在规定范围内		拌合厂取样抽提筛分，一般道路：1次/日，高等级道路：1次/500t
沥青用量		±0.5%	±0.3%	拌和厂取样、离心抽提(用射线法，随时检测)
压实度		≥94%	≥95%	
马歇尔试验 稳定度 流值 空隙率		符合规范要求		拌和厂取样试验，一般道路：1次/日，高等级道路：1次/500t
总厚度	代表值	总厚≤60时 -5mm	-8mm	挖验式钻孔
	极值	总厚≤60时 -10mm	-15mm	挖验式钻孔
上面层	代表值	总厚≤60时 -10mm	-4mm	挖验式钻孔
	极值	总厚>60时15%	-8mm	挖验式钻孔
平整度	δ IRI	2.5mm 4.2m/km	1.2mm 2.0m/km	平整度仪
	最大间隙	5		直尺
宽度	有侧石	±30mm	±20mm	钢尺
	无侧石	不小于设计	不小于设计	

续上表

检测项目	质量要求		试验方法
	一般道路	高等级公路	
中线高程	±15mm	±10mm	水准仪
横坡度	±0.5%	±0.3%	钢尺、水准仪
粗糙度	符合设计要求		铺砂法,摆式仪横向力摩擦系数测定车

2.质量控制措施

1)严把材料进场关,不合格的材料不进场,进场材料要以醒目标志牌分规格堆放,当材料有变化时,要及时调整配合比。

2)施工要准确控制施工配合比,通过每天检测数据分析及时调整施工配合比。

3)拌和站应做到没有通知配合比不得开盘,操作人员无权改变配合比,发现问题及时反映或停机;要做好冷料计量、颗料分析验证,保证计量准确;严格掌握沥青混合料的拌和温度和拌和时间。

4)摊铺机的摊铺速度应与拌合速度匹配,严格按照摊铺碾压工序施工。

5)认真按照要求的质量检测项目、频率进行检查控制。

八、施工安全措施

1)沥青场地严禁烟火,并备有防火设施和警示牌。

2)沥青在脱水和熬制过程中,温度不应超过180℃,宜采用文火熬制,要严防沥青溢锅与明火接触发生火灾。

3)燃料油罐存放库及加油站,应远离沥青场地不小于200m。

4)凡是运料汽车通过交叉路口,均应指派专人把守和指挥,避免交通事故。

5)摊铺机施工现场也要有专人指挥运料车倒料,防止汽车互相碰撞,以及碰伤工作人员。

6)摊铺施工现场停工后,应设警卫看守,以防破坏和偷盗,造成不必要的停工停产损失。

第五节 SMA沥青玛蹄脂路面施工

一、概 述

沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)是近来国际上非常引人注目的沥青混合料,以其优良的抗车辙性能和抗滑性能而闻名于世。第一条SMA路面是德国于20世纪60年代修建的,距今已有30多年,目前使用状况仍然良好。

SMA是一种由沥青、纤维稳定剂、矿粉及少量的细集料组成的沥青玛蹄脂填充间断级配的粗集料骨架间隙而组成的沥青混合料,经过碾压成型后具有抗车辙、抗裂、抗滑、不透水、耐久性强等技术优点。

在我国,1993年9月吉林省公路局首次在梅河口修建SMA试验路,以后江苏、辽宁、

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

河北也相继修建试验路。后来交通部组织了 SMA 技术推广工作，在全国很多省市都开始了推广运用。原交通部第一公路工程总公司一公司于 1998 年中标河北保津高速公路第三期 60km 的 SMA 表面层的施工任务。该工程第 3 合同段，起点桩号 K55 + 783，终点桩号 K73 + 200。保津高速路为双幅四车道。原订开工日期为 1998 年 7 月 1 日，竣工日期为 1999 年 7 月 1 日；实际开工日期为 1999 年 3 月，竣工日期为 1999 年 11 月。路面结构为：20cm 石灰土 + 18cm 二灰碎石 + 18cm 水泥碎石 + 6cmAC-30I 型 + 5cmAC-25I 型 + 4cmSMA-16 型。由于多种原因的影响（主要是项经理部考虑做 SMA 的成本较高，而业主对此不强求），SMA-16 型结构只施工了单幅 20km（主要在 1999 年 10 月施工），全线只有三合同采用了 SMA 表面层结构，其余的路段采用 AK-16 型结构。由于该段工程施工质量好，取得了一定的施工经验，故作为实例加以介绍。

二、SMA 的组成特点

SMA 是一种全新的混合料，它是由沥青玛蹄脂填充碎石骨架，组成骨架嵌挤型密实结构的混合料，接近于我国的沥青碎石混合料的孔隙中用足够的沥青玛蹄脂填充的情况。它具有以下六个特点：

1）SMA 是一种间断级配的沥青混合料。以 SMA-16 为例，4.75mm 以上的颗粒的粗集料的比例高达 70% ~ 80%，其中 9.5mm 以上的占一半，矿粉用量高达 8% ~ 13%，0.075mm 筛孔的通过量一般为 10%，粉胶比远超出 1.2 的限制，由此形成的间断级配细集料使用量很小。

2）加入沥青多，一方面增加矿粉用量，同时使用纤维为稳定剂。通常使用木质素纤维，用量为沥青混合料总重量的 0.3%，矿物纤维的用量则为混合料总重量的 0.4%。

3）沥青结合料用量多，比普通混合料高 1%以上，粘结性要求高。要求选用针入度小、软化点高、温度稳定性好的沥青，或者采用改性沥青。

4）SMA 的配合比设计不是完全依靠马歇尔配合比设计方法，主要由体积指标确定。马歇尔试验，试件成型是双面各击 50 次，目标孔隙率为 2% ~ 4%，稳定度、流值不是主要指标；车辙试验是设计控制的手段，沥青的用量可以参考高温析漏试验确定。

5）SMA 对材料要求高。粗集料必须特别坚硬，表面粗糙，针片状含量少，细集料不用天然砂，宜用坚硬的人工砂，矿粉必须使用磨细石灰粉，最好不使用回收矿粉。

6）SMA 的施工工艺要求高。特别是拌和时间要适当延长，施工温度要提高，压实时不能采用胶轮压路机碾压。

综上所述，SMA 的特点是混合料中粗集料多，矿粉多，沥青结合料多，细集料少，材料要求高，使用性能高，归纳成“三多一少两高”。

三、SMA 表面层的优点

1）由于 SMA 是一种以粗骨料为主骨架嵌挤结构，对高温的抗车辙能力强。

2）表面构造深、粗糙、孔隙大、抗滑能力强。

3）沥青玛蹄脂用量大，低温抗裂和耐疲劳性能高。

4）空隙率小，基本不透水、耐久性好，路面使用寿命长。设计时可以减薄表面层的厚度达到节约成本的目的。

总之，SMA 混合料表面层的最大优点就在于使高温稳定性与低温稳定性、水稳定性与抗滑性等相互矛盾或相互制约的性能得到了统一与兼顾。

四、SMA 路面材料的选取

1.沥青

用于 SMA 的沥青结合料一般要求采用稠度较大的沥青。河北地区高速公路一般采用 AH-90 沥青,SMA 路面使用 AH-70 沥青。与普通沥青混凝土相比,SMA 路面对沥青结合料的要求要高;但是否一定要使用改性沥青,则应根所在地区的气候特点、经济条件以及施工能力而定。保津高速一期工程 SMA 路面采用的是改性沥青(AH-90 沥青加 3%SBS 改性剂),而三期工程的 SMA 路面则因施工季节原因改用韩国产重交通道路石油 AH-70 沥青,其试验指标见表 7-35。

沥青质量要求及试验结果 表 7-35

项目	针入度 (0.1mm)	延度 (15℃) (cm)	软化点 (℃)	闪点 (℃)	含腊量 (%)	密度 (g/cm³)	溶解度 (%)	薄膜加热试验		
								质量损失 (%)	针入度比(%)	延度 (%)
结果	62.9	>100	50.0	340	1.7	1.036	99.49	0.10	81.2	>100
要求	60~80	≥100	44~54	≥230	≤3	实测	≥99.0	≤0.8	≥55	实测

经车辙试验表明,改性沥青的混合料的动稳定度比不改性的沥青混合料高出两倍多,但不改性沥青混合料的动稳定度也是符合要求的。

2.集料

SMA 沥青混合料表面层的高温稳定性,是源于粗集料的骨架嵌挤作用。为此要求粗集料必须特别坚硬,棱角好,有良好的嵌挤能力,其压碎值不大于 25%,针片状颗粒含量不应大于 10%,粗集料形状宜为立方体或近似立方体的碎石集料。石料不宜使用鄂式破碎机加工,必须使用锥式(回转式)或锤式破碎机加工。锤式破碎机的锤头比一般情况要小,锤头个数应增多,这样加工轧制出的碎石具有良好立方体形状,针片状极少。保津高速公路三合同所用的粗集料为易县产玄武岩碎石(料场为业主与当地政府合办),其试验检测结果与质量要求见表 7-36。

粗集料质量要求及试验结果 表 7-36

项 目	规 格			要 求
	10~20mm	5~10mm	3~5mm	
集料压碎值 (%)	12.2			≤28
洛杉矶磨耗损失 (%)	17.5			≤30
视密度 (g/cm³)	2.960	3.128	2.968	≥2.50
含水率 (%)	0.60	0.84	0.91	≤2.0
与沥青的粘附性	4级			≥4级
坚固性 (%)	0.94			≤12
泥土含量(<0.075mm) (%)	0.2	0.4	0.3	≤1
软石含量 (%)	0.3	0.4		≤5
磨光值 (BPN)	47			≥42
冲击值 (%)	7.84			≤28

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

细集料在SMA混合料表面层中,所占的比例不超过10%,数量虽少,但它对SMA表面层的影响不小。因为普通天然砂不具有良好的棱角性与嵌挤性能,故SMA表面层要求使用机制砂代替天然砂。保津高速公路三合同采用的砂是河北易县产玄武岩机制砂。

3.填料

矿粉只有吸附在沥青表面形成油膜构成沥青结合料,才能对集料产生粘结作用。SMA沥青混合料的沥青用量大,与矿粉的用量大有关。矿粉在沥青混合料中的作用至关重要,矿粉应采用亲水系数小于1的矿粉,小于0.075mm的含量应大于75%,矿粉应干燥不结团,矿粉不要太细,通过0.02mm的量要限制不超过20%,矿粉本身要有棱角和粗糙性。保津高速公路三合同采用的矿粉是用河北满城石灰岩加工的矿粉。另外,为提高沥青与碎石的粘结性,添加了2%强度等级为32.5的水泥。

4.纤维稳定剂

因为SMA混合料中使用了较多的矿粉,需要添加纤维稳定剂起加筋作用、分散矿粉作用、吸附吸收沥青作用及增粘稳定作用。

木质素纤维是天然木材经过化学处理加工得到的纤维。纤维应满足的要求:纤维长度小于6mm;pH值7.5±1;平均直径0.045mm;吸油量为自身重量的5.0±1.0倍;含水率小于5%。

保津高速公路使用的是德国JRS公司生产的VIATOP66颗粒状木质素纤维,用量为矿料总重的0.45%。工程后期又使用了少量VIATOP80PIVS(66、80是指木质素纤维比例)。如VIATOP 66是指纤维占66.6%,沥青占33.3%;VIATOP 80指纤维与沥青之比为4:1。混合料组成设计应将木质素中的沥青部分考虑进去。

木质素不宜长期码垛存放,否则易受潮结团,在拌和时就不易打撒,拌和不均匀。

稳定剂也可以采用矿物纤维,本工程没使用。

五、SMA混合料配合比设计方法

SMA的设计方法,国际上尚无公认的成熟方法。一般有两种,一种是采用旋转式搓揉压实机设计法,另一种是马歇尔试验设计法。我国多采用马歇尔试验设计方法确定目标配合比,再通过其他辅助试验对配合比进一步确认。其步骤如下所述。

1.粗骨料设计

主要是确定4.75mm以上的粗骨料通过率这一关键指标,即设计好矿料间隙VMA和粗集料骨架孔隙率VCA。

2.玛蹄脂胶浆设计

玛蹄脂胶浆中应含有足够的沥青结合料,并具有相当劲度的沥青玛蹄脂胶浆,它填充在粗集料骨架嵌挤成的石与石的结构间隙中,玛蹄脂胶浆设计就是确定最小沥青用量和空隙率两个关键指标。

3.SMA配合比设计

1)SMA材料选择。

2)根据粗骨料间隙率确定具有良好嵌挤作用的矿料级配。

3)确认所选择的级配最小VMA及沥青最小用量。

4)选择最佳沥青用量OAC确认混合料的空隙率。

5)评价SMA的水稳定性和析漏情况。

4.SMA设计流程图(见图7-6)

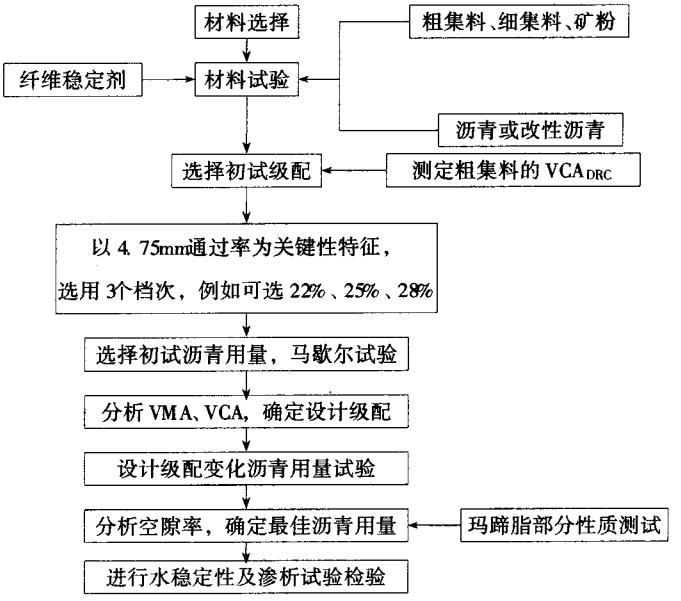


图 7-6　SMA 设计流程图

5.我国 SMA 马歇尔试验配合比设计技术要求(见表 7-37)

我国 SMA 马歇尔试验配合比设计技术要求(建议)　　表 7-37

试验项目	技术要求	
	非改性沥青	改性沥青
马歇尔试件击实次数	两面击实 50 次	
空隙率 W①	3%～5%	
粗集料骨架间隙率 VCA_{mix}	不大于 VCA_{DRC}	
矿料间隙率 VMA	不小于 6.5%	
沥青饱和度 VFA	75%～85%	
最小油石比②，合成集料毛体积相对密度2.9	不小于 5.5%	不小于 5.7%
2.8	不小于 5.8%	不小于 6.0%
2.7	不小于 6.1%	不小于 6.3%
稳定度③	不宜小于 5.5kN	不宜小于 6.0kN
流值	2～4mm	2～5mm
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失	不大于 0.2%	不大于 0.1%
肯塔堡飞散试验的混合料损失(20℃)	不大于 25%	不大于 20%

注:①对高温稳定性要求较高的重交通路段或炎热地区,空隙率可宽到 4.5%;

②最小油石比与集料的毛体积相对密度有关;

③马歇尔稳定度不能作为配合比设计通过与否的唯一的条件使用;

④谢伦堡沥青析漏试验在施工最高温度下进行,没有明确规定时,非改性沥青混合料的试验温度为 170℃,改性沥青混合料的试验温度为 185℃。

6.SMA 的配合比设计检验

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

根据我国的具体情况，SMA 混合料在由马歇尔试验确定矿料级配和沥青用量后，还必须进行下列试验与验证：

1)用谢伦堡析漏试验检验沥青用量；

2)用肯塔堡飞散试验检验沥青用量；

3)用车辙试验进行高温稳定性检验；

4)用水浸马歇尔试验和冻融劈裂试验进行水稳定性试验；

5)透水性试验；

6)表面构造深度检验。

7.保津高速公路 SMA 目标配合比设计

保津高速公路 SMA 混合料的级配设计参考了美国关于的 SMA 的规范。根据保津高速公路一期试验路工程的使用情况，业主及总监办专家建议级配曲线 4.75mm 以下筛孔适当靠上限，偏细些，防止局部产生渗水现象。

试验室根据各种矿料的筛分曲线，借助计算机，用人机对话方式试配计算各种材料的配合比如下：

(10～20)：(5～10)：(3～5)：机制砂：矿粉：水泥 = 26：45：4：12：11：2，详见表 7-38。

目标配合比设计矿料级配计算表 表 7-38

筛孔 (mm)	26	45	4	12	11	2	合成级配	业主要求级配范围
	10～20	5～10	3～5	机制砂	矿粉	水泥		
19	100						100	100
16	91.8						97.9	95～100
13.2	53.2	100					87.8	85～95
9.5	2.7	98.1	100				73.8	60～75
4.75		4.7	90.1	100			30.7	20～28
2.36			1.3	89.7			23.9	16～24
1.18				29.4			16.5	14～18
0.6				14.7			14.8	12～16
0.3				6.9	100	100	13.8	12～15
0.15				5.1	96.7	98.0	13.1	10～12
0.075				1.5	90.0	95.0	11.9	8～10

最佳沥青用量沿用马歇尔试验方法确定。沥青用量按 0.5%间隔递增，共制作五组，每组六个试件。用腊封法(每组 12 个试件)或饱和面干法测定其密度。试件单个配料，用小型沥青混合料自动拌和机拌和。拌和时首先将木质素纤维与矿料干拌 60～90s，使木质素纤维分散。沥青含量的计算要考虑木质素中所含沥青。马歇尔试件的击实次数为双面各 50 次，击实温度控制在 150℃～160℃间。确定最佳沥青用量 OAC 为 5.7%，试验结果见表 7-39。

SMA-16 混合料试验结果 表 7-39

试验项目	单位	各组试验结果					要求	代表值
		1	2	3	4	5		
油石比	%	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	—	5.7
理论密度	g/cm^3	2.772	2.749	2.728	2.707	2.687	—	2.719
实测密度	g/cm^3	2.595	2.607	2.625	2.626	2.621	—	2.626
空隙率	%	6.4	5.2	3.8	3.0	2.5	3~4	3.4
矿料间隙率	%	17.2	17.2	17.1	17.4	18.0	≥17.0	17.1
饱和度	%	63.0	70.2	77.8	82.8	86.1	75~85	80.2
稳定度	kN	8.60	9.42	9.94	9.59	8.41	≥6.2	9.79
流值	0.1mm	27.8	29.8	31.4	33.7	37.2	20~40	34.5

按最佳沥青用量拌料,对目标配合比进行检验。经检验,浸水马歇尔试验、烧杯法沥青析漏试验、肯塔堡飞散试验、车辙试验均符合要求。

8.生产配合比设计

采用的 ASTEC 间歇式拌和机,分别安装了 22mm、14mm、10mm、5mm 四层振动筛,按目标配合比上冷料,进行生产配合比调试。其配合比设计计算的比例为:4 号仓(14~22mm):3 号仓(10~14mm):2 号仓(5~10mm):1 号仓(<5mm):矿粉:水泥 = 19:18:38:12:11:2。级配见表 7-40。

生产配比设计矿料级配 表 7-40

筛孔 (mm)	4 号仓	3 号仓	2 号仓	1 号仓	矿粉	水泥	合成级配	级配范围
	19	18	38	12	11	2		
19	100						100	100
16	85.9	100					97.3	95~100
13.2	37.6	96.3	100				87.4	85~95
9.5	3.2	64.0	93.1				72.5	60~75
4.75		5.1	12.6	98.6			30.5	20~28
2.36		0.7	0.7	72.5			22.1	16~24
1.18				31.8			16.8	14~18
0.6				18.2			15.2	12~16
0.3				10.6	100	100	14.3	12~15
0.15				5.7	96.7	98.0	13.3	10~12
0.075				2.1	90.0	95.0	12.1	8~10

由于表面层 SMA-16 与 AC-16I 型是同时施工的,振动筛在施工中没有变动。拌和机 5 个冷料仓有两个同时供给用量占 45% 的 5~10mm 碎石,在以后生产施工中,冷热料仓供给基本平衡,没出现待料及溢料现象。按此配合比进行马歇尔等试验,各项指标均能达到设计要求。

9.试验段试铺验证

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

SMA-16 试验段铺筑了 200m，拌和机每盘拌和质量为 2800kg，矿粉、水泥有两套装置分别计量。木质素纤维分装成小袋，由拌和缸观察口直接人工投放。回收粉尘全部排出，一点也不回收使用，在粉尘出口处安装了水喷头，减少了环境污染。拌和过程中各个料仓的材料比例、沥青及矿粉、水泥用量逐盘打印数据，由此可见配合比误差变化。试铺过程中，按规范要求进行了抽提筛分、马歇尔试验，均能满足要求。其抽提筛分、马歇尔试验结果见表 7-41 和表 7-42。

混合料抽提筛分试验结果(平均值) 表 7-41

项目	油石比(%)	通过下列筛孔(mm)的百分率(%)										
		19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SMA-16	5.68	100	96.0	87.3	68.1	30.3	21.8	16.9	15.6	13.9	12.3	9.7

马歇尔试验检测结果(平均值) 表 7-42

油石比(%)	理论密度(g/cm^3)	实测密度(g/cm^3)	空隙率(%)	矿料间隙率(%)	饱和度(%)	稳定度(kN)	流值(0.1mm)
5.68	2.672	2.572	3.7	17.2	78.3	10.0	28.8

经过三个阶段 SMA 的配合比设计，保津高速公路三期工程所配制的 SMA-16 混合料的矿料级配符合业主的技术规范要求。试铺施工中所表现出的粗集料嵌挤作用良好；路面构造深度达到 0.8～1.1mm，满足抗滑要求；路表面不透水，防水效果好。由此可见，此配合比设计是成功的。

六、SMA 路面的施工

SMA 路面施工较普通沥青混凝土路面施工除温度应提高 10～20℃，混合料拌和与压实工艺也有所不同，其他工艺都与普通沥青混凝土施工大体相同。因此本节只着重叙述不同之处。

1.SMA 沥青混合料的拌和

拌和是 SMA 沥青混合料施工的关键工序。其实，只要是拌制出的 SMA 混合料合格，摊铺、碾压等工序都是比较容易控制的。

1)SMA 混合料拌和温度要求

SMA 混合料中矿粉和稳定剂都是未加热的冷料。因此加入拌和后会降低混合料温度，为保证出料温度满足 SMA 混合料摊铺要求，所以拌和温度要比普通沥青混合料高。保津高速公路一、三期工程 SMA 混合料的施工拌和温度见表 7-43。

保津高速公路 SMA 混合料拌和温度控制表 表 7-43

项　目	普通沥青(三期)	SBS 改性沥青(一期)	测 量 部 位
沥青加热温度(℃)	155～160	160～165	沥青加热罐
集料加热温度(℃)	>190	>190	热料提升斗
SMA 出厂温度(℃)	160～170	175～185	运料车
混合料废弃温度(℃)	<195	<195	运料车

2)集料及填料的添加

SMA 混合料的特点是粗集料多、矿粉多、沥青多、细集料少，由于这三多一少，使拌和的难

度增大。

SMA 混合料的粗集料含量在 70%以上，矿粉含量在 10%以上，细集料加石屑加砂含量共 15%左右，再加上粗集料中也含有部分细集料，这就使小于 5mm 的细集料实际添加量更小。粗细集料用量的过大悬殊，要求在拌和时应合理调整安排料仓，使配料尽可能的平衡，最大限度的保证拌和生产率达到最高。其具体作法是增加一个粗集料供料斗，保证粗集料的足量供给。细集料因用量少，若冷料仓开口小，细集料较潮湿时就下料困难；若开口过大，则往往过量。为保证细集料的顺利供给，细集料应尽量保持干燥，储存场地要硬化，并使用盖遮雨棚等措施，保证热料仓不出现粗集料亏料，细集料溢仓的不正常现象。改造拌和设备是一项重要的工作内容。

SMA 的矿粉用量大，为普通沥青混合料的 2 倍，而又不能使用回收粉尘，所以拌和站矿粉提升能力明显不足，必须增加一套提升设备。而保津高速公路配合比设计时，为增加混合料粘附性，拌和时添加 2%的水泥，10%的矿粉，拌和站的提升能力刚好满足要求。因为粉尘需全部排除占用了拌和时间，再加上 SMA 拌和时间延长，故拌和站拌和 SMA 混合料生产率有所降低，只有普通沥青混合料 AC-25 生产率的 2/3。保津高速公路三合同使用的是 ASTEC-200 拌和站，拌制 AC-25 产量为 240～280t/h，拌制 SMA 时仅为 160t/h 左右。

3)稳定剂的添加

保津高速公路三合同使用的稳定剂是木质素纤维。为了准确、准时的加入，在拌和锅观察窗外自制了一个翻板式投放口，并安装上传感器与粗集料放料传感器相联，在发出粗集料放料信号的同时，纤维投放口自动开启，预先称量好的木质素纤维与粗集料同时投入拌缸，纤维在干燥粗集料干拌的冲击下打散并均匀的分布在干混合料中，再加入沥青湿拌，出料效果非常好。

4)拌和时间的控制

SMA 沥青混合料的拌和时间应以混合料拌和均匀、纤维分布均匀、所有矿料均裹覆上沥青结合料为准。根据保津高速公路拌和经验，材料添加顺序及拌和时间如表 7-44 所示。拌和过程中视混合料拌和情况，拌和时间可作相应增减。

材料添加顺序及搅拌时间 表 7-44

约 35～40s		约 20s	约 10s
加矿料	加纤维约 10s	加沥青	后搅拌
干拌		湿拌	

2.SMA 混合料的运输

由于 SMA 混合料粘性很大，运料车车厢及底部均需涂刷油水混合物隔离剂，但底部不得存有残液。为保证摊铺温度，当使用改性沥青时，混合料出料温度应为 160℃～170℃，当使用普通沥青时应为 150℃～160℃。为防止表面结硬，运料车必须加盖苫布保温。

SMA 混合料应在气温及路床温度均高于 10℃且处于上升的情况下，在干燥的中面层上铺筑。由于它的压实余量很小，在保津高速公路使用 ABG 423 摊铺机摊铺，松铺系数为 1.05 左右。因为拌和效率低，其摊铺速度应适当放慢与拌和站匹配，尽量减少停机等待摊铺次数。停机后摊铺机下残留的混合料温度下降结硬后难以压实，影响路面的压实度和平整度。如有此现象出现，应作工作缝处理。

3.SMA 混合料的碾压

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

对 SMA 路面来说，碾压是重要的一环，保证及时碾压非常重要。由于 SMA 混合料的粗集料嵌挤良好，碾过程中推挤很小，可以使用较重型的压路机在很高温度下碾压。碾压要紧跟在摊铺机后面隔一定距离碾压，一旦 SMA 混合料的温度下降，如是使用的改性沥青，粘度增大，压实就更难达到要求。

1)碾压温度控制(见表 7-45)

保津高速公路一、三期 SMA 面层碾压温度范围表 表 7-45

项　目	使用普通沥青（三期）	使用 SBS 改性沥青(一期)	测 量 部 位
初压开始温度(℃)	> 130	> 140	摊铺机后
复压最低温度(℃)	> 120	> 130	碾压层内部
终压最低温度(℃)	110	120	碾压层内部

2)碾压要领

SMA 路面碾压施工工艺应采用“刚碾、高频、低幅、紧跟、慢压”的十字方针。SMA 必须用刚性碾碾压，不能使用胶轮压路机碾压，因为胶轮压路机的揉搓容易使玛蹄脂上浮，造成构造深度下降，甚至泛油，破坏 SMA 结构。压路机压实时采用高频率、低振幅，可以防止表面石料损伤，保持良好的棱角性与嵌挤作用。“紧跟、慢压”是指压路机应紧跟在摊铺机后，在高温状态下碾压，以不产生推挤现象为宜，速度宜控制在 4.0 ~ 5.0km/h，切忌在低温下反复碾压，压碎石料，破坏骨料棱角。

3)碾压控制参数(见表 7-46)

保津高速公路碾压控制参数一览表 表 7-46

项　　目	初　　压	复　　压	终　　压
碾压温度(℃)	150 ~ 160	130 ~ 140	120 ~ 130
碾压机械	CC21 型两台，不带振动	英格索兰两台，带振动	英格索兰两台，不带振动
碾压速度(km/h)	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 4.0	4.0 ~ 5.0

实际上静压一遍后，高频率、低振幅振压一遍，再静压两遍就能达到压实要求。英格索兰压路机轮宽、振动力大，用于 SMA 压实较为适合。

4.SMA 的施工缝处理

SMA 路面一般用于表面层，所以应尽量全断面摊铺。由于 SMA 混合料拌和生产率较低，混合料拌和跟不上摊铺速度，停机待料现象难于避免。遇到这种情况，要迅速抬起摊铺机熨平板，用切割机垂直切齐，接缝处冲洗干净，涂刷上粘层油后再摊铺，工作缝就是这样处理的。切忌停机等料，待 SMA 混合料冷却结硬后将很难处理。

横缝碾压与普通沥青混凝土路面施工压实方法相同。

5.SMA 路面质量检测及常见病害

1)SMA 路面的检测

对 SMA 混合料的马歇尔试验，最主要的指标是空隙率、VMA、VCA、VFA，而稳定度和流值并不像对普通沥青混凝土混合料那样显得非常重要。

SMA 路面的压实度检验用常规钻孔取样很难办到，特别是改性沥青 SMA 混合料粘性大，

钻孔有困难。若采用核子密度仪检测，因 SMA 表面为开式结构使核子密度仪读数变异性较大。因此，只有靠增加检测次数，取平均值作为参数，主要依靠保证碾压遍数观察碾压情况来控制。是否为真正的 SMA 路面有两个重要标志：一是在高温下振动碾压而不产生推挤；二是表面有足够的构造深度又基本不透水。这两个条件都满足了，这才是成功的 SMA 路面。

2)SMA 路面的常见病害

(1)过度碾压

SMA 的压实度比较容易达到。但是，若碾压过度，不仅将碎石碾压破碎，破坏了棱角，还会使玛蹄脂上浮，甚至出现油斑，减小构造深度。所以，压实过程中要经常观察表面情况，严格避免过度碾压。

(2)出现油斑

油斑是 SMA 路面又一常见病害，主要是由于混合料拌和时纤维分布不均造成的，或者是由于人工加纤维时漏投、晚投、少投等，或者因纤维受潮结团不能充分拌和打散。

另外，拌和料是以盘为单位，一般是某盘料拌和不均匀，故油斑出现一般都相距不远。此外，油斑出现在路幅的两侧较多，这是由于摊铺机布料时螺旋输送器将比较轻的结团纤维甩至两端所致。发现油斑，应首先检查纤维加量是否合适，拌和时间是否够长，是否是过压所致。过高的用油也容易出现油斑。因此，要求经常检查拌和站沥青计量器具的准确性。另外，纤维掺加剂和路面表面滞水也易导致出现油斑。

6.质量标准

保津高速公路的 SMA 路面采用的是河北省制定的质量控制标准，其主要控制指标见表 7-47。

质量控制指标表 表 7-47

检测项目	质量要求	试验方法及频率
外观	拌和均匀、无花白料等	目测
施工温度	拌和、摊铺、碾压等符合规范	用温度计，1 次/车
矿料级配	在规范范围内	拌和站取样抽提筛分，1 次/台
沥青用量	±0.3%	离心轴提随时检验
马歇尔试验稳定度	≥6.2kN	拌和厂取样
流值	2～4mm	拌和厂取样
空隙率	2%～4%	拌和厂取样
动稳定度	≥1500 次/mm	共取 9 组
混合料弯曲试验	≥2000με 改性沥青≥2200με	取 9 组
摩擦系数	≥55	2 次/km
构造深度	≥0.8mm	1 次/日
压实度	≥97%	每 2km 检查 1 处
平整度	≤3mm	每 100m 半幅 3m 直尺检查
纵断高程	±10mm	用水准仪每 100m 测 5 点
宽度	不小于设计	钢尺量每 100m 量 2 处
厚度	±10%	每 2km 钻芯取样 1 处
横破度	±0.5%	水准仪每 100m 三个断面

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

7.施工质量效果

保津高速公路三合同施工的SMA-16表面层，经检测各项指标，均达到预期要求。

1)矿料级配：由于原材料规格较好、拌和控制偏差很小，经筛分检测，矿料级配基本靠近级配范围中值。

2)油石比：由于拌和控制偏差很小，经抽提检测，油石比均值为5.68%(目标值5.7%)，大大小于要求的0.3%的偏差。

3)压实度：由于压实控制较好，经钻孔取芯检测，压实度均值为98.8%(目标值≥97%，马氏)。

4)平整度：由于中面层的平整度较好、表面层施工时采用的摊铺机械性能较好且碾压控制到位，平整度指标完全满足3m直尺检测小于3mm的要求。

5)表面构造深度：由于混合料的配合比较好、碾压控制到位，表面构造深度达到0.8~1.1mm(目标值≥0.8mm)，达到了采用SMA-16结构作为抗滑表层的目的。

6)透水性：由于配合比控制较好、碾压控制到位，经检测，路面基本不透水。

其他指标如高程、横坡、宽度、马歇尔稳定度、马歇尔流值、马歇尔空隙率、动稳定度、摩擦系数、弯沉值等均符合要求。

8.SMA表面层施工设备配置

保津高速公路三合同SMA路面层施工使用的是普通沥青混凝土路面施工设备。投料部分经过适当的改造方能适合拌制SMA混合料。在碾压工艺上，取消了不适用的胶轮压路机，全部使用钢轮压路机。具体配置见表7-48~表7-50。

SMA混合料拌和站主要机械设备配置表 表7-48

名　称	单位	规　格	配置数量	备　注
锅炉	台	2t	1	
储油池(灌)	个	容量不小于600t	9~12	1.内设蒸汽管道； 2.桶装沥青可不要
沥青加热锅	个	容量3~5t	2~3	
沥青拌和站	台	美ASTEC	1	240t/h，局部改造
发电机	台	260~300kW 500kW	2 1	有外电应备260~300kW2台，自发电应至少备3台
脱桶设备	套	导热油型 3~5t/h	1	三班作业
推土机	台	移山120 东方红75	1 1	
装载机	台	ZL50	6	
洒油罐车	台	4~8t	2	
石粉罐车	台	8~15t	3	
地中衡	台		1	
乳化沥青设备	套		1	

续上表

名　称	单位	规　格	配置数量	备　注
沥青油罐车	台	25t	1	
外电变压器	台	620kW 100kW	1	
沥青软化仪	台		1	
沥青粘度仪	台		1	
含水测定仪	台		1	
闪点、燃点试验仪	台		1	
钻孔取芯机	台		1	
弯沉仪	付		1	
平整度仪	台		1	
3m直尺	根		2	
天平、称	台	称量2 000g	1	
调温电炉	个	800kW	1	
脱模器	台	电动	1	

铺筑现场主要设备配置表　　表7-49

名　称	单位	规　格	配置数量	备　注
自卸运输车	台	15t	20～30	根据运距增减
载重车	台	15t	1～2	
摊铺机	台	弗格勒2500	1	
压路机	台	CC21 双轮双振12t (英格索兰)	2 2	全采用钢轮
沥青洒布车	台	3.5t	2	
洒水车	台	黄河8t	2	
空压机	台	3～6m^3	1	
切割机	台		1	

试验室主要设备配置表　　表7-50

名　称	单位	规　格	配置数量	备　注
马歇尔试验仪	台		1	
电动击实仪	台		1	备用人工击实仪
电动拌和机	台		1	备用人工拌和机

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

名　称	单位	规　格	配置数量	备　注
抽提仪	台	离心式	1	配真空泵
恒温水箱	台		1	
振动筛	套		1	
烘干箱	台	120cm × 80cm × 60cm	1	
标准筛	套	方孔筛	1	
沥青针入度仪	台		1	

第六节　多碎石沥青混凝土表面层施工

一、概　述

多碎石沥青混凝土(SAC)是为适应高等级公路沥青表面层功能的要求，于1988年由交通部公路所沙庆林院士提出来的一种表面层结构，并先后在济青、胶州湾、沪宁、长吉、长营、石安等8条高速公路上采用，总施工里程超过1 000km。密实式粗集料断级配多碎石沥青混凝土表面层各项指标都优于传统密实连续级配的沥青混凝土。

多碎石沥青混凝土是指混合料中4.75mm以上碎石含量占主要部分的密级配沥青混凝土，是一种骨架型密实式结构。该结构的沥青混合料吸收了II型沥青混凝土碎石含量高，表面构造深度大的优点，同时又保持了沥青混凝土I型密级配结构孔隙率小，泌水能力强的优点，还避开了I型、II型两种结构各自的缺点，使沥青表面层具有防滑性能强、抗渗能力高、高温稳定好的特点。但是该结构层除了对材料规格、材质等各项指标要求高以外，对施工工艺的要求也特别高。只有材料满足要求，工艺过关才能做好多碎石沥青混凝土路面，否则将出现质量问题，使路面过早破坏而达不到预期的目标。

路桥集团公路一局参加了济青公路青州至潍坊三合同的施工。从1993年竣工使用至2000年，有关方面反映该路路况很好，养护费为零。沪宁高速公路苏州昆山段1996年竣工，该段也只见极少量小块修补。石安B标1997年竣工，虽然出现一些问题，但我局施工的段落较好。河北衡水106国道A合同1998年竣工，该工程1998年被评为河北省工程质量第一名，该路通车后一年检测平整度仍小于0.75mm。山东潍莱高速公路四合同的多碎石路面也非常成功，目前使用状况良好。

多碎石表面层是一种新型面层，它有其独特的优点，也存在缺点。在工程实践中，其缺点将逐步被克服，其施工工艺也将逐步完善与提高。下面，结合近期修建的山东潍莱高速公路的多碎石表面层的施工，介绍多碎石沥青混凝土施工技术。

二、特　点

1.SAC-16 和 AC-16 矿料级配对照(见表 7-51)

SAC-16 和 AC-16 矿料级配对照表　　表 7-51

项目 \ 筛孔尺寸(mm)		通过方孔筛(mm)质量百分率(%)									
		16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
调整前 SAC-16	范围	90~100	70~90	50~70	30~50	22~37	16~28	12~23	8~18	6~13	4~8
	中值	95	80	60	40	29.5	22.0	17.5	13.0	9.5	6.0
调整后 SAC-16	范围	95~100	75~90	55~70	30~40	22~31	16~24	12~20	10~18	8~15	6~10
	中值	97.5	82.5	62.5	35.0	26.5	20.0	16.0	14.0	11.5	8.0
施工规范 AC-16-I	范围	95~100	75~90	58~78	42~63	32~50	22~37	16~18	11~21	7~15	4~8
	中值	97.5	82.5	68.0	52.5	41.0	29.5	22.0	16.0	11.0	6.0
施工规范 AC-16-II	范围	90~100	65~85	50~70	30~50	18~35	12~36	7~19	4~14	3~9	2~5
	中值	95	75	60	40	26.5	19.0	13.0	9.0	6.0	3.5

从表 7-51 中不难看出,调整前的 SAC-16 和 AC-16-II 中 4.75mm 以上粗集料用量基本相同,只不过 AC-16-II 中 2.36mm 以下的细集料和矿粉用量偏低一些。

通过表 7-51 可以推得不同沥青混合料中各种成分绝对体积的百分含量值,详见表 7-52 和表 7-53。

混合料各种成分绝对体积百分含量表　　表 7-52

项目名称	粗集料	细集料	矿粉	沥青	空隙
调整前的 SAC-16(衡水 307 辅线)					
矿料含量(%)	60	34	6	4.6	3~5
沥青混合料含量(%)	57.36	32.5	5.74	4.4	3~5
击实密度 2 500kg/m³ 中含量(kg)	1434	812.5	143.5	110	0
视密度(kg/L)	2.86	2.69	2.71	1.015	0
绝对体积(L)	501.4	302.0	53.0	108.4	35.2
绝对体积百分率(%)	50.14	30.2	5.3	10.84	3.52

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

项目名称	粗集料	细集料	矿粉	沥青	空隙
调整后的 SAC-16(潍莱路四合同)					
矿料含量(%)	65	27	8	4.6	3~5
沥青混合料含量(%)	62.14	25.81	7.65	4.4	0
击实密度 2610kg/m³ 中含量(kg)	1622	673.6	199.7	114.8	0
视密度(kg/L)	3.01	2.67	3.05	1.032	0
绝对体积(L)	538.8	252.3	65.4	111.3	33.2
绝对体积百分率(%)	53.9	25.2	6.54	11.13	3.32
AC-16-I(JTJ 032—94)					
矿料含量(%)	47.5	46.5	6.0	5.0	3~6
沥青混合料含量(%)	45.2	44.3	5.7	4.8	3~6
击实密度 2 420kg/m³ 中含量(kg)	1 094	1 072	137.9	116.2	0
视密度(kg/L)	2.75	2.65	2.72	1.021	0
绝对体积(L)	398	404.5	50.7	113.8	33
绝对体积百分率(%)	39.8	40.45	5.07	11.38	3.3
AC-16-II(JTJ 032—94)					
矿料含量(%)	60	36.5	3.5	4.0	4~10
沥青混合料含量(%)	57.7	35.1	3.36	3.84	0
击实密度 2 380kg/m³ 中含量(kg)	1 373.2	835.4	80	91.4	0
视密度(kg/L)	2.75	2.65	2.72	1.021	0
绝对体积(L)	499	315.1	29.4	89.5	67
绝对体积百分率(%)	49.9	31.51	2.94	8.95	6.73

不同沥青混合料绝对体积的组成百分率 表 7-53

组成项目 / 混合料类型	粗集料	细集料	矿粉	沥青	空隙
	V_G	V_S	V_C	V_A	V_V
SAC-16 (调整前)	50.2	30.2	5.3	10.8	3.5
SAC-16 (调整后)	53.9	25.2	6.6	11.1	3.3
AC-16-I(JTJ 032—94)	39.8	40.4	5.1	11.4	3.3
AC-16-II(JTJ 032—94)	49.9	31.5	2.9	9.0	6.7

2.粗集料松散与紧密状态下的空隙率分析

通过对粗集料碎石混合料的松散和紧密状态下密度的测定可知,松散状态下的空隙率多为44%~45%,紧密状态下的空隙率多为40%~41%。

3.沥青混合料的矿料结构分析

用细集料+矿粉沥青胶浆填充粗集料碎石空隙,进行分析评定沥青混合料的矿料结构。从表7-53可知:

SAC-16调整前细集料+矿粉沥青胶浆的综合绝对体积为46.3%;

SAC-16调整后细集料+矿粉沥青胶浆的综合绝对体积为42.9%;

AC-16-I混合料细集料+矿粉沥青胶浆的综合绝对体积为56.9%;

AC-16-II混合料细集料+矿粉沥青胶浆的综合绝对体积为43.4%。

当粗集料碎石处于松散状态下时:

SAC-16调整前的细集料+矿粉沥青胶浆填充碎石空隙度为46.3÷45=103%;

SAC-16调整后的细集料+矿粉沥青胶浆填充碎石空隙度为42.9÷45=95%;

AC-16-I混合料的细集料+矿粉沥青胶浆填充碎石空隙度为56.9÷45=126%;

AC-16-II混合料的细集料+矿粉沥青胶浆填充碎石空隙度为43.4÷45=96%。

当粗集料碎石处于紧密状态下时:

SAC-16调整前的细集料+矿粉沥青胶浆填充碎石空隙度为46.3÷41=113%;

SAC-16调整后的细集料+矿粉沥青胶浆填充碎石空隙度为42.9÷41=105%;

AC-16-I混合料细集料+矿粉沥青胶浆填充碎石空隙度为56.9÷41=139%;

AC-16-II混合料细集料+矿粉沥青胶浆填充碎石空隙度为43.4÷41=106%。

从上述分析结果看,SAC-16调整前的矿料级配属密实性较好的骨架结构。无论粗集料处于松散状态下,还是紧密状态下,沥青混合料细集料+矿粉沥青胶浆的综合绝对体积,都能填满粗集料碎石的空隙度。具备有较好的骨架作用和碾压成型条件,不但能使沥青混合料获得较高的粘聚力的内摩阻力,还具有较好的抗高温稳定性与承重能力。只要施工过程中碾压密度不小于97%,沥青混合料的残留空隙不大于7%,同样可以达到防渗水效果。

SAC-16调整后的矿料级配和AC-16-II混合料的矿料级配,虽然也属密实性骨架结构,但施工比较困难,因此必须强调采用高温高频碾压,方能达到预期效果。若碾压过程中稍有不慎,将导致沥青混合料中的残留空隙率大于7%,致使成型后的表面层防水性能差,雨后通车容易产生动压水,造成路面的破坏。

AC-16-I型为密实性的悬浮结构。粗集料被细集料隔开,不能相互靠拢形成骨架,虽然粘聚力较好,防渗水性能好,但做为表面层抗高温稳定性能差,表面粗糙度小,不利于雨季行车安全。

三、材料要求

多碎石沥青混凝土的材料比普通沥青混凝土要求要高。特别是粗集料要求针片状含量少,轧制的碎石应多为立方体或近似立方体,坚硬、耐磨、韧性好,与沥青的粘附性要高等。另外,多碎石沥青混凝土的级配上下限范围要求很窄,对原材料规格要求特别严格,进场集料规格、级配不能有太大变化,否则无法保证质量。以山东潍莱高速公路四合同为例,在选用材料上非常注重材质和材料规格,粗集料为昌乐县乔官镇玄武岩碎石;细集料为平度市小清河中砂和昌乐县朱刘镇石灰岩石屑;填料中的矿粉全部用昌乐水泥厂生产的强度等级为32.5的水泥

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(目的为提高沥青与矿料粘附力);沥青则采用加德士 AH-70 重交通道路石油沥青。其各项指标见表 7-54 ~ 表 7-57。

粗集料技术指标 表 7-54

规格(mm)	检验项目							
	密度(g/cm^3)	含泥量(%)	针片状含量(%)	吸水率(%)	压碎值(%)	磨耗率(道瑞法)	磨光值(BPN)	粘附性
10 ~ 15	3.009	0.1	6.2	0.02	13.5	4.67	55	5级
3 ~ 10	3.000	0.2	12	0.3				
规范要求	≤2.5	≥0.5	≥15	≥2	≥28	≥14	≤42	4级以上

细集料技术指标 表 7-55

名称	检验项目	
	密度(g/cm^3)	含泥量(%)
石屑(0 ~ 3mm)	2.700	2.5
中砂	2.579	2.0
规范要求		≥3.0

水泥技术指标 表 7-56

密度(g/cm^3)	检验项目		
	级配		
	<0.3	<0.15	<0.075
3.0	100%	99.9%	96.8%

沥青技术指标 表 7-57

检测项目	针入度(25℃,100g,5s)	延度(5cm/min,15℃)	软化点(环球法)	闪点(COC)	含蜡量(蒸馏法)	密度(15℃)	溶解度(三氯乙烯)	薄膜加热试验(163℃,5h)			
								质量损失	针入度比	延度(25℃)	延度(15℃)
单位	0.1mm	cm	℃	℃	%	g/cm^3	%	%	%	cm	cm
检测结果	77	>130	47.2	>280	2.55	1.032	99.8	0.08	66	>130	>130
规范要求	60 ~ 80	>100	44 ~ 54	>230	≥3	3.5	>99	10.8	>55	>50	

四、配合比设计

多碎石沥青混凝土表面层的室内配合比设计与普通沥青混凝土配合比设计应该有所区别，主要表现在以下几个方面。

1)马歇尔试验的各项技术标准的不同，见表 7-58。

SAC 与 AC 沥青混凝土马歇尔试验技术标准对照 表 7-58

项　目	击实温度	击实次数	稳定度	空隙率	流值	饱和度	残留稳定度
单位	℃	次	kN	%	1/10mm	%	%
AC	110～130	双面各击 50	>5	3～6	20～40	60～75	70
SAC	135～145	双面各击 75	>7.5	3～5	20～40	65～85	75

(1)为适应沥青混合料采用高温碾压，达到高密实度的成型效果，使沥青混合料残留空隙率控制在有效范围内，让试件的击实成型温度与高温碾压相匹配，将原试件成型温度由 110℃～130℃提高到 135℃～145℃。

(2)原来试件双面击实各 50 次，改为双面击实各 75 次。

(3)由于击实次数的增加，把稳定度由原来要求大于 5kN，改为大于 7.5kN。

(4)为了满足沥青混凝土残留空隙率控制在最佳范围内，把原来马歇尔试件要求空隙率降为 3%～5%。

(5)为适应降低空隙率范围对油石比的有利选择，对饱和度的控制范围由原来的 60%～75%提高为 65%～80%。

(6)为提高沥青混凝土试件浸水稳定性，把残留稳定度由原来的大于 70%，提高为大于 75%。

2)车辙试验同样不应小于 800 次/mm。

3)当使用调整后的 SAC 多碎石矿料级配时，虽然接近国外的 SMA，但由于国外 SMA 矿料级配中掺有木质素纤维，而多碎石 SAC 矿料中没有。因此矿料合成级配调试中，对 4.75mm 以下各筛孔通过量的控制以中值偏上限为宜。

4)矿粉用量控制在沥青用量的 1.4～1.6 倍为宜。矿粉用量不宜太大，否则沥青用量随着增加，导致裹覆在矿料比表面积上的沥青胶浆增厚，同时会造成沥青混凝土高温下的变形大，而大大降低车辙的试验次数。笔者认为裹覆在矿料比表面积上的沥青胶浆厚度，以不大于 40μm 为宜。

五、目标配合比设计

1)通过目标配合比设计，确定各种矿料的合理比例和最佳油石比。

2)用图解法确定矿料的比例，碎石(10～15mm)：碎石(3～10mm)：石屑(0～3mm)：砂：水泥=40:34:13:7:6，此时矿料的合成级配完全符合规范的要求，且 4.75mm、2.36mm、0.075mm 三个筛孔的通过率接近中值。

3)按照此时确定的合成级配制备马歇尔试件，油石比分别为 3.5、4.0、4.5、5.0、5.5 五组，每组三个试件，其试验结果见表 7-59。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

马歇尔试验汇总表　　表 7-59

油石比（%）	密度（g/cm³）	空隙率（%）	饱和度（%）	稳定度（kN）	流值（mm）
3.5	2.541	7.8	51.6	10.8	2.5
4.0	2.575	5.8	62.1	11.3	3.0
4.5	2.604	4.0	73.2	10.9	3.4
5.0	2.613	2.9	30.5	10.5	3.6
5.5	2.610	2.3	84.9	10.0	3.9

根据上表各值，以油石比为横坐标，各项技术指标为纵坐标，按规范要求可初步确定最佳油石比 OAC 为 4.58%，取 OAC = 4.6%。

4)按最佳油石比 OAC = 4.6%制备马歇尔试件，进行水稳性(残留稳定度)和高温稳定性(动稳定性)检验，检验结果见表 7-60。

水稳性和高温稳定性检验表　　表 7-60

油石比（%）	密度（g/cm³）	空隙率（%）	饱和度（%）	稳定度（kN）	流值（mm）	残留稳定度(%)	动稳定度（次/mm）
4.6	2.621	3.2	77.5	10.0	2.6	98	1800
规范要求		3～6	70～85	>5	2-4	>70	>800

由上表可知油石比为 4.6%时，各项技术指标均符合规范要求，由此可确定最佳油石比为 4.6%。

六、生产配合比设计

1.冷料调试

冷料通过供料斗按目标配合比的比例计量进入加热筒加热。加热后筛分再进入不同的热料仓储备，供拌和的热料能迅速的按规定比例投入拌锅。调控好各冷料斗进料速度的原则是控制好拌和机内各热料仓进料的平衡，使拌和机在拌和过程中，热料仓不出现溢料或等料现象。这样才能发挥最大的拌和效率。

2.拌和配合比的确定。

拌和站热料仓上的筛孔尺寸应由合成级配的通过率来决定，要求各个热料仓的矿料量要大致相等。并以此来决定各层筛孔尺寸。从通过二次筛分进入各热料仓的矿料中取样筛分，采用图解法或人机对话算出各热料仓的配料比例。

潍莱高速公路四合同所采用的热料比例是，4 号仓(14～23mm)：3 号仓(6～14mm)：2 号仓(3～6mm)：1 号仓(3mm 以下)：水泥 = 25：35：10：23：7。其合成级配接近目标配合比设计时的

级配。

按照最佳油石比和最佳油石比±0.3%分别进行马歇尔试验，其结果见表7-61。

马歇尔试验结果 表7-61

油石比(%)	密度 (g/cm^3)	空隙度 (%)	饱和度 (%)	稳定度 (%)	流值 (mm)
4.3	2.603	4.3	70.6	10.3	2.5
4.6	2.609	3.7	75.0	11.5	2.7
4.9	2.612	3.2	78.9	10.0	3.0

由表7-61可知，三组油石比其马歇尔试验结果均符合规范要求，所以确定生产配合比的最佳油石比为4.6%。

3.生产配合比的验证

已确定的生产配合比，应铺筑试验路段来验证配合比是否满足施工要求，并对混合料进行室内马歇尔试验、抽提试验、矿料级配试验等。潍莱高速公路四合同的试验结果见表7-62。

生产配合比验证试验结果表 表7-62

项目	马歇尔指标						矿料筛分结果(通过率)(%)									
	油石比(%)	密度 (g/cm^3)	空隙率(%)	饱和度(%)	稳定度(kN)	流值(mm)	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
检测值	4.69	2.619	3.2	78.1	11.7	2.4	100	95.3	83.4	65.9	35.2	26.3	21.0	15.7	14.2	11.4	8.7
规范要求	4.6±0.3	—	3~6	70~85	75	2~4	100	90~100	75~90	55~70	30~40	22~31	16~24	12~20	10~18	8~15	6~10

第二天对已铺好的试验段进行钻芯取样测其压实度，经检测压实度平均值 $K=99.9\%>97\%$（潍莱高速公路有关文件规定上面层压实度应达97%以上），由此可证明，按生产配合比所确定的矿料比例和最佳油石比进行施工，可以满足施工要求，可进行大面积施工。

七、多碎石沥青混凝土的施工

1.多碎石沥青混凝土路面施工工艺流程(如图7-7)

2.多碎石沥青混凝土混合料的拌和

多碎石沥青混凝土表面层的施工过程中，密实度的控制最为重要，必须采取在高温下进碾压使成型后的表面层残留孔隙率控制在3%~7%范围内，才能防止雨水从表面渗入路面中。为此，混合料拌和时，对沥青、矿料的加温控制与出厂混合料的温度控制都比普通沥青混凝土温度要高10℃以上。其具体控制如下：混合料出厂温度为160℃~170℃，集料加热温度控制为165℃~175℃，沥青加热温度控制为160℃~170℃，并保证运到现场的混合料温度不低于160℃。对高于180℃的混合料应予以废弃，以保证碾压温度和路面的压实度。拌和时间宜控

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

制在 40～50s 左右(其中干拌时间不少于 5s)。拌和好的混合料应是所有矿料均被沥青膜裹覆,没有花白料、结块和粗细集料分离等现象,否则应予以废弃。开盘后,前 4～5 车沥青混合料的出厂温度应较正常混合料提高 5℃～10℃,以便加热摊铺机,不使混合料降温太多。

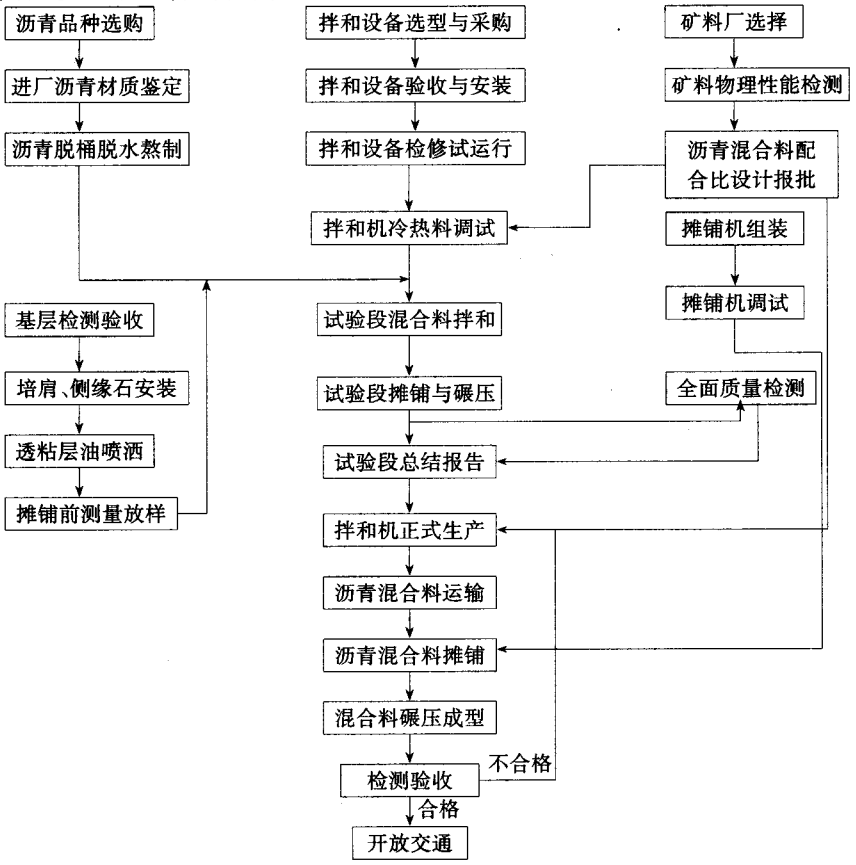


图 7-7　多碎石沥青混凝土路面施工工艺流程图

3.混合料的运输

混合料的运输采用太脱拉自卸车,车厢内清洁无污染。为防止混合料与车厢的粘结,事先在车厢内喷洒一薄层油水(柴油:水 = 1:3),油水不宜过多。运输车上应盖有篷布,用以保温、防雨、防污染等。

4.混合料的摊铺

由于中面层施工已在上一年完成,路面污染比较严重,在铺筑表面层以前用水冲洗干净并干燥后,再洒布沥青乳液粘层油,用量为 0.3～0.4kg/m^2。表面层施工所用摊铺机为德国 ABG—423 型全幅摊铺机,摊铺速度为 2.5m/min 左右,松铺系数为 1.2。其他操工艺与热拌普通沥青混凝土路面施工相同。摊铺时要特别注意三点:一要保证连续匀速摊铺,保证有至少 2～3辆料车等待摊铺;二要将摊铺机的螺旋输送器下缘距底面层高度调到 10cm 左右,以确保摊铺时混合料不离析;三要摊铺机的自动夯锤和熨平板振动级应不低于 4 级。

5.混合料的碾压

混合料的碾压分为初压、复压和终压三个阶段。碾压过程中要特别注意碾压温度和压路机的组合。初压温度控制在 140℃以上。初压采用美国产英格索兰 DD—110 型压路机,面向摊铺机时,静压不起振,沿原碾压带退回时开振动。初压过程中没发生混合料推移等异常现

象。复压应紧跟初压后面进行，采用英格索兰 DD—110、LY—16 胶轮压路机组合共碾压 6 遍。终压采用 YZC—10B 型光轮压路机，先振动碾压一遍，再静压一遍，至少碾压两遍，至完全消除轮迹为止。终压温度应控制在 90℃以上。用于碾压的压路机用水喷湿钢轮时，全部采用喷雾式，并加强保温措施，以保证表面层的压实度。

6.接缝处理

由于采用 ABG—423 型摊铺机全幅摊铺，故不存在纵缝。在每天的铺筑过程当中应尽量连续作业，以减少横接缝数量。在施工时应使上、下两层接缝位置至少错开 1m。在摊铺完毕后，应将摊铺机挪开，将端部混合料整齐，待碾压完成后，用 3m 直尺进行测量，对平整度不符合要求的部分将其切除掉，在下次施工时，在接缝处涂上一层热沥青，并用混合料将接缝处加热后才进行摊铺。碾压时用钢轮压路机斜向碾压，直到接缝处的平整度满足要求时为止。

八、多碎石沥青混合料的室内检测与控制

该检测包括马歇尔试验、抽提试验和矿料筛分试验。对每天拌和的混合料，应按规定频率进行检查，发现异常，应及时调整，保证配合比在规定的波动范围内拌和。

1.马歇尔试验

试验室应每天对沥青混合料进行检测，上、下午各一次，制备 4～6 个试件，测其马歇尔试验指标和力学性能，检验混合料质量能否满足规范要求，如有问题及时调整。现将随意抽查的 10 组马歇尔试验结果列于表 7-63。

马歇尔试验汇总表　　表 7-63

项　目	视密度 (g/cm^3)	空隙率 (%)	饱和度 (%)	矿料间隙率 (%)	稳定度 (kN)	流值 (mm)
最大值	2.619	3.8	78.1	15.0	12.6	3.1
最小值	2.606	3.2	74.9	14.6	9.1	2.4
平均值	2.611	3.55	76.06	14.81	10.57	2.67
偏差系数(%)	0.17	4.65	1.24	1.12	12.2	8.29
规范要求	—	3-6	70～85	>14.5	>5	2～4

2.抽提和矿料筛分试验

油石比是反映沥青混合料的一个重要指标。抽提试验能够检验出油石比的大小，以确保混合料的质量。沥青混合料的级配决定沥青混合料的性质，试验室每天对抽提后的矿料进行筛分，检验其级配能否满足规范要求，如不满足规范要求应及时做出调整。现将施工过程中 10 组抽提和矿料筛分试验结果列于表 7-64。从表中可看出，19.0mm 筛孔上的通过量的平均值不为 100%，也就是说有大于 19.0mm 粒径的矿料存在。热料仓最大筛孔为 23mm，说明这部分矿料粒径在 19.0～23.0mm 之间。表面层厚 4cm，这一小部分矿料不足以影响表面层的质量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

规范上也明确规定，允许有一个或两个筛孔的通过率超出范围。

抽提和矿料筛分试验统计表　　表 7-64

统计特性	通过下列各层筛孔的通过率(%)											油石比
	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
最大值	100	95.3	84	65.9	37.2	26.3	21.0	17.3	14.2	11.4	9.0	4.75
最小值	98.2	91.0	80.7	62.4	35.0	24.3	17.3	14.7	10.4	9.2	7.5	4.60
平均值	99.37	93.06	82.68	64.22	36.44	25.17	19.22	15.73	11.55	9.96	8.22	4.65
偏差率(%)	0.83	1.21	1.25	1.96	2.51	2.94	5.00	4.99	10.1	6.51	5.93	1.12
规范范围	100	90～100	75～90	55～70	30～40	22～31	16～24	12～20	10～18	8～15	6～10	4.3～4.9
规范要求中值	—	95	82.5	62.5	35	26.5	20	16	14	11.5	8	4.6

九、施工质量控制与检测

1.平整度的控制与检测

1)平整度的控制

道路表面层的平整度的好坏直接影响行车的舒适性。因此在施工表面层时，为保证有较好平整度应加强对以下过程的重点控制。

(1)在基层施工中控制好基层的标高和平整度，并验收检查，对不合要求的地段要处理至符合要求。

(2)在摊铺沥青混凝土中、下面层时，一定要以走钢丝的方法，控制好中、下面层的标高与平整度。

(3)在摊铺表面层时，不再采用走钢丝，应采用在摊铺机上安装自动找平的浮动基准梁，以保证摊机前后高差相同的摊铺厚度来提高表面层平整度。

(4)保证拌和料的充足供给，使摊铺匀速。摊铺施工中尽量不停机或少停机。

(5)按压实标准的要求和操作工艺碾压到规定压实度，确保在使用中，平整度不衰减。

(6)按操作要求与压实工艺处理好接头。

2)平整度的检测

潍莱高速公路四合同，采用的是西安公路科研所生产的 XLPY—F 型路面平整度仪，进行平整度检查。其检测结果表明平整度在 0.6～0.7mm 之间，满足规范中不大于 1.2mm 的要求。

2.压实度和厚度的控制与检测

压实度和厚度是路面的重要技术指标。压实度越大，沥青混合料越密实，孔隙越小，稳定度越大，防水性能越好，耐久性也就越好。在施工中，要控制好压实温度，严格按要求工艺压实。

路面的设计厚度必须保证，浮动基准梁摊铺是保证厚度的有效方法。必须要坚持经常量测检查。

每天应对前一天已摊铺好的道路进行钻芯取样试验，测定压实度与厚度，及时提供检测数据，以便现场指导施工。现将 K54＋000～K56＋000 右半幅路面压实度和厚度随机检测结果进行统计评定，见表 7-65。

表 7-65

检测指标 / 统计特性	压实度	厚度
统计次数	20	20
最大值	100.7%	4.4cm
最小值	97.0%	3.8cm
平均值	98.1%	3.98cm
标准差	0.86	0.11
偏差系数	0.88%	2.69%

3.构造深度检测

构造深度是反映路面抗滑性能的重要指标之一。在已成型的表面层上,用砂铺法测表面构造深度,每 200m 为一个断面,每个断面测左、中、右三个点,取三点的平均值作为该断面的构造深度值。现将随机 20 个断面的构造深度值的结果进行统计:最大值为 0.76mm,最小值为 0.60mm,平均值为 0.68mm,标准差为 0.04mm,偏差系数为 5.9%。由结果可以看出,构造深度值均在 0.60mm 以上,完全达到规范要求。

4.摩擦系数检测

摩擦系数是反映路面抗滑性的另一指标。摩擦系数越大,抗滑性能越好。用摆式仪测定摩擦系数,每 200m 为一个断面,每个断面测左、中、右三点,取三点的平均值为该断面的测定值。潍莱高速公路四合同竣工验收时,由山东省交通科研所对 17.7445km 路面其中的 14 个断面进行检测。现列出其检测结果:最大值为 59,最小值为 52,平均值为 55.3,标准差为 2.29,偏差系数为 4.1%。摩擦系数均满足规范中不小于 45 的要求。

5.弯沉值检测

弯沉值检测是在竣工验收时,由山东省交通科学研究所用落锤式弯沉车测定的。其方法是:将测定车开到测定地点,通过计算机控制下的液压系统,启动落锤装置,使一定重量的落锤从一定高度自由落下,冲击力作用于承载板(直径为 30cm)上并传递到路面,导致路面产生弯沉,分布于测点不同距离的传感器检测结构层表面的变形,记录系统将编号输入计算机,得到该测点的弯沉值。共测 112 个点,其结果的变化范围为 7.2 ~ 13.5(0.01mm),平均值为 8.8(0.01mm),偏差系数为 22.3%。从其测定结果来看,满足规范不大于 32.6(0.01mm)的要求。

近年来公路一局施工的多碎石沥青表面层都是成功的。其施工技术越来越完善,质量也越来越高。

由于多碎石表面层混合料级配的特殊性,对材质和施工工艺都要求非常严格,表面层的使用性能也得到很大提高。由于它的使用时间尚短,还不能对它作出结论性的评价。

第七节　彩色沥青混凝土路面施工

2000 年 4 月,《中国企业新记录》记载厦门市环岛路的黄厝海地段建成我国第一条彩色沥青混凝土旅游公路,见图 7-8。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

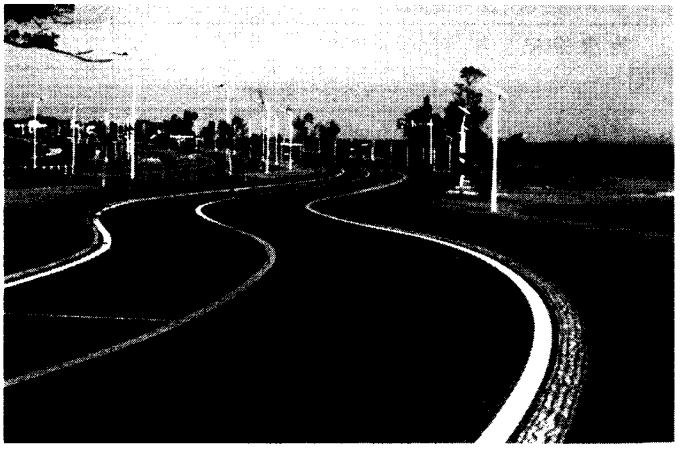


图 7-8　厦门市环岛旅游公路照片

该路于 1998 年 9 月 8 日建成，全长 3.44km，全宽为 60m（非机动车道 + 绿化带 + 机动机道 + 绿化带 + 非机动车道），其绿化用地占 60%。黄厝与大小金门岛隔海相望，是厦门市的黄金海岸。在这绿草茵茵、天海一色的旅游区，建起了一条与环境配合的红色大道，可称得上是为旅游再添新景。

该路靠海一侧宽为 10.5m，其横断面为 6.5m 黑色沥青路面 + 0.25m 卵石分隔带 + 3.75m 红色沥青混凝土路面。下面介绍在基本利用黑色沥青路面施工设备的情况下，是怎样修筑彩色路面的。

一、原材料的选用

1.彩色沥青

本工程所采用的彩色沥青是壳牌（中国）有限公司从荷兰进口的一种“合成”路面粘结料，是一种高分子聚合物，它是由多种有机材料混合而成的。其物理特性与石油沥青相似，是一种半固态、半透明的无色体。由于无色，易染成任何颜色，其性能又通常使用沥青的测试方法进行检测，并用沥青的技术指进行描述，因而俗称彩色沥青。用这种粘结料拌制彩色沥青混合料，只需要 1% ~ 2.5% 的颜料就可以配成有很好色彩的彩色沥青。这种无色粘结料具有类似普通沥青的流变性和力学性能，但它的等粘滞温度比同级普通沥青约低 15℃左右。

由于彩色粘结料还没有国家标准，只好参照《重交通道路沥青技术要求》（GB 50092—96）来评价彩色粘结材料的技术性能。表 7-66 是新加坡产 AH-70 沥青与彩色粘结料技术指标对比表。

AH-70 沥青与彩色粘结料技术指标对比表　　表 7-66

检测项目		标准规定值	检测结果	
			AH-70	粘结料
针入度（25℃，100g，5s）（0.1mm）		60 ~ 80	64	72
延度（5cm/min，15℃）	不小于（cm）	100	> 100	> 100
软化点（环球法）	（℃）	44 ~ 54	51	50
闪点（COC）	不小于（℃）	230	> 230	258

续上表

检测项目			标准规定值	检测结果	
				AH-70	粘结料
含蜡量(蒸馏法)		不大于(%)	3	—	—
密度(15℃)		(g/cm³)	实测纪录	—	1.013
溶解度(%)			>99.0	—	—
薄膜加热试验(163℃,5h)	质量损失	不大于(%)	<0.8	0.2	0.4
	针入度比	不大于(%)	>55	93.8	96.8
	延度(25℃)	不小于(cm)	—	53	—
	延度(15℃)	(cm)	实测记录	>100	>100

注:①标准规定值采用《重交通道路石油沥青质量要求》(GB 50092—96);

②试验方法依照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—93)。

表中的结果显示,粘结料针入度比普通沥青的针入度大,软化点低。从准备使用的矿料粘附性试验结果看,彩色粘结料与矿料粘附性大于4级,新加坡AH-70普通沥青与矿料粘附性为3级。加入0.03%抗剥离剂后,彩色粘结料的粘附性为5级。使用彩色粘结料配制路面混合料可不掺抗剥离剂。

2.无机颜料

该工程使用的无机颜料是上海拜耳颜料有限公司生产的红色色粉。这种色粉是彩色沥青混凝土混合料中的染色素,同时又作为填料代替部分矿粉。其技术指标如表7-67。

无机颜料主要技术指标 表7-67

色光	Δ<1.0	色光	Δ<1.0
冲灰色光	Δ<1.0	水溶性盐	≯0.5
颜色强度(%)	100±5	pH值	5~7
着色力(%)	100±5	吸油量(g/100g)	≈22
筛余量45μm(%)	≯0.05	振实表观密度(g/cm³)	≈1.0
含水量(%)	≯1.0	主要粒子尺寸(μm)	0.2
Fe_2O_3含量(%)	≮95		

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

色粉含 Fe_2O_3 含量极高，是一种不溶于水的弱酸性无机盐。它具有稳定性好，着色力强，色泽鲜明且不易被冲淡的优点，使色彩稳定耐久。另外，其细度、含水量等指标符合矿粉的主要技术指标要求，可代替部分矿粉作填料使用。其特点是：

1)粘附性好，易与各种无机填料混合，且分散性良好；

2)着色力强，着色持久不褪色；

3)安全无毒、无公害；

4)易受潮，不可在阳光下曝晒，应在室内通风良好处密封包装存放，在拌和时开包使用。

3.粗集料

为保证彩色路面色泽均匀，在通车后粘结色膜被磨耗掉后，仍保持路面整体色彩鲜亮，特别选用了与彩色路面颜色一致的石料。该石料专从福建龙岩购进，属粗面岩中性石料，其主要技术指标见表 7-68。

粗集料取样试验结果 表 7-68

指　标	高速公路、一级公路	取样试验结果	备　注
石料压碎值　不大于　(%)	28	18.4	石子用于非机动车道上的人行道，其他各种指标未做
石料磨耗值　不大于　(%)	30	24.3	
视密度　不小于　(g/cm^3)	2.5	2.65	
含泥量　不大于　(%)	1	0.9	
对沥青的粘附性　不小于	4 级	大于 4 级	

试验结果表明，这种粗集料的物理力学性能都能满足技术规范的要求，适宜拌制非机动车道细粒式混合料。

4.细集料

采用普通砂作细集料，河砂是细度模数为 3.5 的粗砂。

5.填料

填料采用符合 GB 50092—96 技术要求的普通石灰岩矿粉。

二、AC-13-II 型红色细粒式沥青混合料配合比设计

彩色沥青混合料配合比设计与黑色沥青混合料设计同样分三阶段进行，即目标配合比设计、生产配合比调试、生产配合比验证。通过配合比设计，确定混合料的最佳级配和粘结料的最佳用量，色粉的最佳用量，达到质量可靠、经济适用的目的。彩色沥青混合料的配合比设计又不同于黑色沥青混合料的配合比设计，其区别有三点：第一是彩色沥青混合料的粘结料的等粘滞温度比普通沥青低 15℃左右，其马歇尔试验击实温度和施工压实控制的温度应比普通沥青混凝土低 10℃～15℃；第二是色粉的掺量应进行另外设计；第三是先按普通沥青混合料配合比设计程序进行制配，再根据色粉设计掺量做色粉替代部分矿粉的验证试验。

1.目标配合比设计

1)集料的比例配制

采用试验合格的各种集料的代表性筛分，电算出其接近各筛孔通过率的级配中值的掺配

比例。彩色沥青混合料集料级配见表 7-69。

彩色沥青混合料集料级配表 表 7-69

筛孔(mm)	通过百分率(%)					备注
	0.5~1.5cm碎石	砂	矿粉	设计级配	规范要求	
含量	57%	38.50%	4.50%			
16.0	98.6	100	100	99.2	100	其中4.5%的矿粉为矿粉与色粉含量之和
13.2	91.6	100	100	95.0	90~100	
9.5	41.1	100	100	66.4	60~80	
4.8	1.8	96	100	42.5	34~52	
2.4	0.6	70	100	31.8	22~38	
1.2	0	37	100	18.7	14~28	
0.6	0	23	100	13.4	8~20	
0.3	0	6	99.8	6.8	5~14	
0.2	0	3	98.0	5.6	3~10	
0.1	0	0	90.3	4.0	2~6	

2)粘结料用量确定

将按比例配制好的集料,按4.0%、4.5%、5.0%、5.5%、6%的油石比用击实法制作试件。因为粘结料与普通沥青有区别,在试验时对同组混合料取110℃~120℃和120℃~130℃两组不同的击实温度进行马歇尔试验对比,试验结果如表7-70。

彩色沥青AC-13-II型混合料马歇尔试验技术指标对比表 表 7-70

试验指标 / 油石比(%)	稳定度(kN)	流值(0.1mm)	空隙率(%)	饱和度(%)	密度(g/cm^3)	击实温度(℃)
4.0	8.5	30.0	9.3	47.8	2.238	
4.5	9.4	29.5	7.7	55.6	2.260	
5.0	8.9	27.9	6.2	63.5	2.282	110~120
5.5	7.8	28.0	4.9	71.0	2.300	
6.0	6.5	27.0	3.6	78.2	2.313	
4.0	8.3	31.0	9.5	47.3	2.232	
4.5	9.1	29.0	7.8	55.2	2.256	
5.0	8.7	28.3	6.2	63.8	2.280	120~130
5.5	7.8	28.5	5.0	70.2	2.296	
6.0	6.2	27.0	3.8	76.9	2.304	

分析上述马歇尔击实试验结果并结合本地气候条件,按规范要求确定目标配合比的最佳

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

油石比为5.1%;以5.1%的油石比制作试件做马歇尔及残留稳定度试验(此次试验中没加入色粉),其试验结果见表7-71。

马歇尔及残留稳定度试验结果 表7-71

试验指标 / 油石比(%)	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)	空隙率 (%)	饱和度 (%)	密度 (g/cm³)	残留稳定度 (%)
5.1	8.6	24.8	6.7	62.9	2.267	83.7

试验结果表明,使用5.1%的油石比是合理的。

2.生产配合比的调试与确定

为保证设计配合比的准确实施,各种材料用量误差控制在规范允许的范围内,必须结合拌和设备进行配合比调试。首先是将各冷料仓的不同规格的冷料,按比例进入拌和机烘干筒,加温烘干再筛分进入分级的热料仓。

1)用油量的确定

分别取各热料仓中的集料,进行筛分,计算各仓的用料比例,使混合料的级配控制在目标配合比的级配允许误差范围内。为保持热料仓的矿料比例平衡、稳定,发挥拌和效率,应反复调整冷料仓的进料比例,使之达到平衡稳定。热料仓的进料比例调试好后,按最佳用油(粘结料)5.1% ±0.3%的用量做马歇尔试验(不加色粉代替矿粉)。试验结果如表7-72。

马歇尔及残留稳定度 表7-72

试验指标 / 油石比(%)	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)	空隙率 (%)	饱和度 (%)	密度 (g/cm³)
4.8	8.6	25.0	7.0	59.3	2.268
5.1	8.6	24.8	6.7	62.9	2.267
5.4	8.6	22.2	5.9	66.2	2.277

从试验结果看,拌和机的配合比调试,用油量(粘结料)控制符合要求,生产配比与目标配合比相符。

2)色粉用量的确定

色粉用量是彩色路面一个极为重要的指标,是控制混合料的主要因素,应慎重选取。根据生产厂家的推荐和一般资料介绍,红色色粉用量为2% ~2.5%较合理。该路生产配合比的掺量按1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%、4%、4.5%制作了不同含量的色粉(色粉等量代替矿粉)的混合料试验,经过反复比较得出使用2.5%色粉用量时,红色最为鲜艳。在色粉含量偏低时混合料呈暗红,但色粉含量偏高时又呈棕红色,故选定2.5%的色粉等量代替2.5%的矿粉。按生产配比加入2.5%的色粉用量进行马歇尔试验,结果如表7-73。

彩色沥青AC-13-II型混合料马歇尔试验技术指标对比表 表7-73

试验指标 / 油石比(%)	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)	空隙率 (%)	饱和度 (%)	密度 (g/cm³)
4.8	8.6	25.0	7.0	59.3	2.268
5.1	8.6	24.8	6.7	62.9	2.267
5.4	8.6	22.2	5.9	66.2	2.277

从试验结果看出，加入2.5%的色粉后混合料的各项技术指标符合规范要求，色彩鲜艳。所以，最终确定色粉用量为2.5%。

三、彩色路面的施工

1.施工准备工作

由于本次施工工程量不大，考虑经济原因，是利用原生产黑色沥青混凝土的设备进行施工，施工前应做如下准备工作。

1)施工前将沥青泵、拌和机、摊铺机、压路机全部清洗干净，对难以清洗的沥青储存池等设备予以更换，以防黑色污染影响彩色效果。

2)为了施工方便和节约彩色混合料，先将设计6.5m宽的黑色细粒式沥青混凝土路面摊铺成型，作为彩色路面的横向支撑及边界控制线。黑色细粒式沥青混凝土切割边线的放样是在直线每10m一点，曲线上每5m一点进行的，定出边缘线，切割应整齐顺直，并及时清洗干净。

3)调试好施工机械设备，使之处于完好状态，并准备好所需的其他工具和材料。

4)将运料车辆的车厢清洗干净。

5)验收施工基底，作好放样和清扫工作。

6)清洗拌和锅，先用砂石料干拌，将拌锅进一步清洗，拌和彩色混合料时应将前1～2盘混合料废弃。

2.铺筑试验段

正式铺筑彩色路面之前，在K5+120～K5+320段铺筑了200m试验段，其目的是为了进一步验证生产配合比是否达到了最佳，拌和时间、拌和出料温度、摊铺温度和速度、压路机械的组合、压实温度、压实工艺、松铺系数及合理作业段长度等施工控制参数是否适合，为今后施工提供依据。

3.彩色混合料的拌和与运输

混合料采用日本生产的TAP—1500型拌和机拌和，每小时生产能力为120t。拌和中应控制好集料、矿粉、色粉和粘结料的准确用量，保证混合料的级配符合要求，粘结料的加热温度控制在145℃～160℃，混合料拌和出厂温度控制在135℃～150℃。拌和时，先干拌集料，待拌和均匀后，加入事先计量准确的色粉，延长干拌时间5～10s后才喷洒粘结料进行湿拌，待混合料色泽均匀一致，所有矿料均裹覆粘结料为止。注意拌和料中不能使用回收粉尘代替矿粉，以免影响混合料色彩效果。

运输车辆是15t以上的翻斗自卸汽车，其数量应保证拌和、摊铺工作连续性，车厢应清洗干净，运输过程中加盖保温防尘污染。

4.混合料摊铺

采用一台ABG—325型摊铺机单幅全断面摊铺。由于此种粘结料等粘滞温度比普通沥青低，因此，摊铺过程中的摊铺温度控制应比普通沥青混合料低5℃～10℃，实际控制在125℃～130℃之间。彩色面层的摊铺采用走拖杆的形式，以控制路面厚度为主，其标高、横坡度应在下承层严格控制。为保证路面的平整度，应保证摊铺机连续均匀进行摊铺作业，作业前应按试验路段测定的松铺系数调整好熨平板的高度和宽度，并加温至63℃左右。摊铺机摊铺速度按4m/min控制，边角缺陷需人工修补。

5.碾压工艺

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

彩色路面的压实工艺原则上与普通沥青混凝土路面相同，只是各个压实阶段的压实温度比普通沥青混凝土路面低 5℃～10℃。初压用 8t 钢轮压路机紧跟在摊铺机后面，一般宜在 110℃～120℃，以1.5～2.0km/h 的速度进行碾压；复压用 15t 胶轮压路机压 3～4 遍即可，速度为 3.5～4.5km/h，压实温度控制在 90℃～110℃之间；稍冷一些再用 8t 光轮压路机终压一遍，速度为2.0～3.0km/h，避免使用振动压路机进行压实，勿使碎石压碎产生白点。压实控制指标见表 7-74。

碾压各阶段的控制指标 表 7-74

机　型	初　压	复　压	终　压
	CC21	胶轮	CC21
遍数(遍)	1	3～4	1
碾压初始温度(℃)	110～120	≥90	≥70
行驶速度(km/h)	1.5～2	3.5～4.5	2～3

6.接缝处理

该工程彩色路面的施工是采用单幅全断面摊铺，不存在纵向接缝，但与黑色路面之间的接缝必须认真处理。热料摊铺后，人工将混合料中的粗集料捡出，并用细料予以填补。碾压时，压路机位于已成型的黑色路面上，先伸入新摊铺的彩色路面 10～20cm 碾压，再压时每次侧移 10～20cm 直至完全碾压新铺路面。这样能保证接缝的平整密实。横向工作缝的处理与黑色路面工作缝的处理方法一样。

7.施工质量检测

1)在施工过程中随机取样进行筛分和马歇尔试验，其抽提结果见表 7-75 和表 7-76。

彩色混合料现场取样抽提筛分结果 表 7-75

AC-13-II 彩色混合料	筛　孔(mm)										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过量(%)	100	100	95	68.4	43	32	19.8	15.4	7.8	6	4.5
规范值(%)	100	100	90～100	60～80	30～52	22～38	14～28	8～20	5～14	3～10	2～6

施工取样马歇尔试验结果 表 7-76

品　种	油石比(%)	空隙率(%)	饱和度(%)	稳定度(kN)	流值(0.1mm)
无色粘结料	5.1	5.5	66.2	6.3	24.5

2)压实度、平整度、标高、厚度和横坡等检测结果，均符合要求。

从以上检测结果看，本工程施工的各项技术指标均满足要求，施工方法是可行的。

通过厦门市环岛路 3.4km 彩色路面的施工，本节介绍了利用黑色路面的施工设备，使用半透明的合成粘结料与色粉施工彩色路面的方法和技术，对今后类似的施工提供借鉴。彩色路面的成本较高，不宜大面积采用，但在旅游区配合环境适当修建彩色路面很有必要，能起到协调环境美化景点的作用。随着国家经济建设的迅猛发展，人民对生活质量的要求越来越高，今后会有更多的彩色路面的修建，会改变单一色彩路面的局面。随着我国彩色路面胶结料的开发运用，更多的修筑多彩路面的时代即将来临。

第八节　改建道路沥青混凝土路面施工

一、石黄高速公路改建工程概述

20世纪90年代初，国家决定实施环渤海战略，石家庄至黄骅高速公路（以下简称石黄高速）是实施这一战略的重点配套工程。石黄高速由辛集段、衡水段和沧州段三段组成。衡水段有20多km是在原307国道的基础上加宽改建的。其中，路面三合同段内有17.5km处于旧路改建段。旧路改建段北半幅利用原307国道加宽修建，南半幅为新建路基。路面工程开工时，新建路基和跨线桥已基本完成，形成了如图7-9粗线所示的断面。

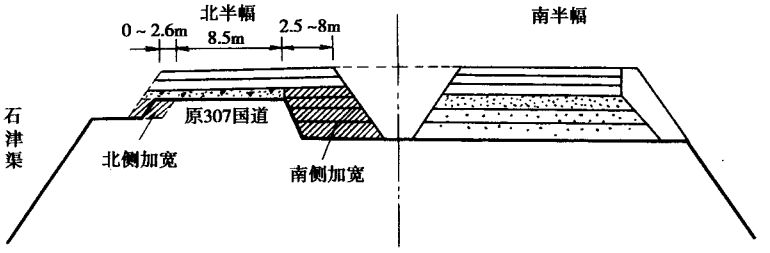


图7-9　路基断面及加宽型式示意图

注：①粗线所示断面为路基交验时的断面型式；

②阴影为加宽部分。

按照施工图设计，北半幅南侧加宽段铺筑两层15cm水泥石灰土和一层20cm水泥稳定碎石，标高至沥青底面层。旧路面顶设沥青碎石整平层。最后铺4cm＋5cm的沥青面层。南半幅底基层为20cm水泥石灰土，基层为两层18cm水泥稳定碎石，最后铺4cm＋5cm＋6cm三层沥青混凝土面层。

根据开工前的实测资料对照原设计分析，施工中存在下列问题关系到旧路改建成功与否，需认真研究解决。

1）旧路不仅南侧需要加宽，北侧也需要加宽，而北侧加宽在设计时没有考虑到。南侧加宽施工方案的确定也直接影响工程质量。加宽如何处理？

2）原307国道路面经几年的运营已发生早期病害，路面多处出现龟裂和沉陷。调查表明，旧路弯沉值普遍偏大，许多段落超过100（0.01mm），有的甚至超过200（0.01mm）。原设计方案已不能适应标准要求。那么，旧路如何处理？是否需要破除重建？旧路面什么情况下需要破除重建？怎样重建？

3）沥青碎石找平层的厚度最大处超过了30cm，由于纵坡和横坡的影响，厚度变化大，施工困难，平整度和标高不能保证。而且沥青碎石层过厚，容易形成车辙和推移，耐久性差，不经济且影响运营。是否采用水泥稳定碎石作为找平层？

4）加宽部分与旧路连接处的纵缝如何处理才能防止路面裂缝的产生？

5）如何采取合理的技术措施进行找平层施工，使只铺筑两层油面的北半幅平整度同样达到新建路基段三层油面的平整度水平？

上述问题解决的好坏，将直接影响路面工程的施工质量。为此，我们采取了一系列技术措施。施工中经多方研究，经过多种方案比选，最终确定了合理可行的施工方案，使以上问题得

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

到了圆满解决，并且取得了良好的效果。下面将这些问题的处理分别予以介绍。

二、旧路改建问题的处理措施

1.对旧路基宽度不足的处理

原307国道宽度只有8.5m，其北侧为石津渠，因此石黄高速路基加宽主要以南侧加宽为主。由于新旧道路路线设计标准不同，新路与旧路路线不能完全重合，因此其加宽宽度不能完全一致，而且不仅仅南侧需要加宽，有的段落北侧也需要加宽（见图7-9所示阴影部分）。

1)北侧加宽

(1)加宽不足1m

主线北半幅北侧加宽宽度小于1m的路段，先在旧沥青路面外侧边缘向下，按1:0.3的坡度，挖除旧路肩及边坡至路床，然后用小型夯具对旧路床进行夯实处理，再用一层15cm左右的二灰土找平至旧路原油面边缘顶以下35cm处，最后用35cm的C15水泥混凝土补至所需宽度并与旧路同高。旧路底基层宽度和强度满足要求的路段，保留原底基层，直接用水泥混凝土补至旧路油面标高，水泥混凝土加宽带预留防撞护拦柱打入孔。

(2)加宽超过1m

加宽超过1m的路段，按1:0.3的坡度，沿旧沥青路面边缘切坡。开挖宽度须满足机械碾压作业的要求，再用一层20cm的二灰稳定土和两层15cm的水稳碎石找平至旧油面标高。二灰土强度要求0.8MPa，水稳碎石7d强度大于4.5MPa，用平地机摊铺。施工控制按结构层技术要求进行。

当边缘油面与基层出现脱空时，切除旧油面15～20cm，再按上述要求进行切坡和加宽。

(3)土基宽度不够的处理

前面介绍的北侧加宽处理措施，路基宽度满足要求，只须做结构层加宽处理。但K22+550～K23+330段，加宽宽度2.1～2.6m，老路土基宽度不足。在这种情况下的处理措施是：先将土路基边坡开挖台阶至加宽起始位置，并用5%的灰土回填至老路床标高，然后按加宽超过1m的方法进行加宽处理。

(4)旧路路基压实度不足的处理

旧路基是在原石津渠大堤的基础上修建起来的，破除后发现路床压实度只有89%～91%，达不到95%的要求，继续碾压压实度没有提高，所以必须进行处理。处理方法是继续下挖20cm，清理碾压完成后，回填二灰土，当二灰土强度达不到要求时，掺入3%的水泥，其压实度要求达到92%以上，然后继续进行二灰土施工。二灰土压实度要求达到95%以上。

2)南侧加宽

南侧加宽带路基与南半幅路基形成同一坡面，路基施工时老路按1:0.1左右的坡度切成一台阶。台阶高度30～60cm。加宽部分根据不同标高，先做2～3层12:25:63的二灰土。南侧加宽宽度2.5～8m，宽度变化大，施工困难，最容易出现的问题是纵缝处形成夹层。为了避免这一问题的出现，二灰土施工宜采用异地拌和法施工。现场拌和需采取特殊措施，每层二灰土拌和5遍以上，粉煤灰或石灰拌和1～2遍以后因拌和机拌不到边必须用人工将靠老路一侧的混合料翻开，将拌不到的部分清理干净，再一次将翻出的土与稳定剂拌和，拌和均匀后再摊平，接着才能进行下一道工序，见示意图7-10。这样能较好地克服了夹层的出现。

最后用一层水稳碎石找平至与老路同高（原设计标高至沥青底面层）。水稳碎石找平层厚度控制在20cm，用平地机摊铺。

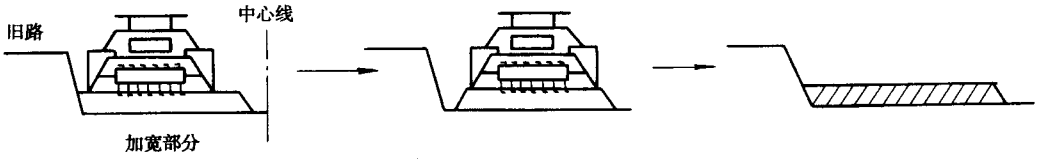


图 7-10　接缝处灰土拌和过程示意图

2.旧路补强

石黄高速施工图设计于 1997 年初进行,路面补强依据 1996 年底实测的旧路弯沉试验资料完成。当时的弯沉测量数值统计分析资料显示旧路弯沉测量值平均值不大于 30(0.01mm),以此推算的路面补强厚度约 9cm。因此原设计北半幅路面为 4cmSAC-16(多碎石沥青混凝土)和 5cmSAC-20。补强层与旧路之间设沥青碎石找平层,路面设计标高也按此原则进行控制。

但是由于几年的大交通量运行,截止到 2000 年 4 月路面工程开始施工时,旧路实测弯沉有了很大的变化,旧路也出现了由于早期病害引起的破坏。2000 年实测旧路代表弯沉值汇总见表 7-77。

2000 年实测旧路代表弯沉值汇总表　　表 7-77

序号	里　　程	代表值(0.01mm)	序号	里　　程	代表值(0.01mm)
1	K15 + 200 ~ K16 + 150	34.68	10	K24 + 000 ~ K24 + 950	79.31
2	K16 + 200 ~ K17 + 150	36.87	11	K25 + 000 ~ K25 + 950	105.41
3	K17 + 150 ~ K18 + 150	62.90	12	K26 + 000 ~ K26 + 950	117.26
4	K18 + 150 ~ K19 + 150	43.03	13	K27 + 000 ~ K27 + 950	89.46
5	K19 + 200 ~ K20 + 000	53.72	14	K28 + 000 ~ K28 + 250	228.28
6	K20 + 050 ~ K21 + 000	110.88	15	K28 + 300 ~ K29 + 250	53.35
7	K21 + 050 ~ K22 + 950	36.84	16	K29 + 300 ~ K30 + 250	66.75
8	K22 + 050 ~ K22 + 950	53.74	17	K30 + 300 ~ K31 + 250	64.26
9	K23 + 000 ~ K23 + 950	61.5	18	K31 + 300 ~ K32 + 700	60.30

根据旧路实测弯沉结果和实地调查的情况进行计算分析,原设计的补强厚度满足不了新建道路路面强度标准要求,需重新进行变更设计。补强方案是采取增加补强厚度的方法,还是将旧路破除重新按新建标准铺筑路面结构呢?下面就这个问题进行方案比较。

1)增加补强厚度

要使设计弯沉达到允许值,必须提高路面的整体刚度。整体刚度提高的措施,一是加大沥青面层的厚度;二是在原有补强面层的基础上增加一层水泥稳定碎石(CCR)补强层。

(1)增加面层厚度

石黄高速路面工程施工图根据 1996 年的实测旧路弯沉值,提出的补强方案是在旧路的沥青面层上设置沥青碎石找平层,然后铺设两层(4cm + 5cm)沥青面层。旧路沥青面层厚度 6.5 ~ 9cm,找平层沥青一般为 0 ~ 8cm,因为横坡、纵坡的影响找平层最大厚度达到 25cm,加上面层的厚度,沥青结构层的总厚度最大可达到近 40cm。

按照 2000 年实测旧路弯沉,原施工图设计的补强厚度不够,补强厚度还要通过计算。其

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

厚度计算可以参照《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97),采用双层加厚铺层计算公式进行计算,见下式。

$$\Phi\left(\frac{h_1}{\beta_1}+\frac{h_2}{\beta_2}\right)=L_R^{-0.25}\left(\frac{l_0}{l_R}-1\right)^{0.35} \tag{7-5}$$

根据设计文件,L_R = 22.2(0.01mm);BZZ - 100 时,Φ = 0.8。假定补强第一层厚度 h_1 = 4cm(SAC-16),第二层厚度为 h_2(SAC-20),加铺层材料参数 $\beta_1=\beta_2=8$。对应不同的旧路弯沉,根据 2000 年实测弯沉计算,补强厚度 h_2 和补强总厚度见表 7-78。

补强厚度汇总表 表 7-78

序号	项　目	代表弯沉值(0.01mm)						
		34.68	50	70	90	110	150	228.28
1	第一层补强厚度 h_1(cm)	4	4	4	4	4	4	4
2	第二层补强厚度 h_2(cm)	7.9	11.7	15.1	17.5	19.6	22.9	27.8
3	补强总厚度(cm)	11.9	15.7	19.1	21.5	23.6	26.9	31.8
4	补强总厚度 + 找平层厚度 + 旧路沥青面层厚度(cm)	18.4 ~ 28.9	22.3 ~ 32.8	25.6 ~ 36.1	28.0 ~ 38.5	30.1 ~ 40.6	33.4 ~ 43.9	38.3 ~ 48.8

注:找平层厚度 0 ~ 8cm,旧路沥青面层厚为 6.5 ~ 9cm。

从上表可以看出,沥青混凝土补强层的总厚度最小为 18.4cm,同一断面的最大厚度能达到 28.9cm,而采用这种方法处理,补强段最大厚度达到了 38.3 ~ 48.8cm。沥青混凝土(AC)相对水泥稳定碎石而言,造价高,热稳性差,而且厚薄不均。AC 层过厚,施工困难,压实度无法保证,容易形成车辙坑槽,平整度不易控制,容易引起早期破坏。因此,在这种情况下加大 AC 层厚度补强是不经济的,也是不可行的。因此,石黄高速没有采用加厚 AC 层的补强方案。

(2)加铺水泥稳定碎石(CCR)

经过方案比选,最后采用了加铺水泥稳定碎石补强的方案,即在 4cmSAC-16 和 5cmSAC-20 面层与旧路面层之间加铺水稳碎石补强找平层。

根据施工时实测旧路弯沉,运用弹性体系理论进行计算,水稳补强找平层厚度参见表7-79(计算过程略)。

水泥稳定碎石补强找平层厚度 表 7-79

项　目	代表弯沉值(0.01mm)						
	34.68	50	70	90	110	150	228.28
水稳碎石厚度(cm)	18.0	24.2	29.5	33.5	36.7	41.9	49.6

表 7-79 所列结果显示,当弯沉值超过 70(0.01mm),水稳补强找平层的厚度达到了 30cm 以上。但在路面工程开工前,交叉道跨线桥已基本完成,所有跨线桥的标高都是按原施工图标高控制净空,其净空余量,经实地测量一般只有 15 ~ 20cm,也就是说,当增加的 CCR 补强找平层厚度大于 30cm 时,净空满足不了要求。而且,当实测弯沉大于 70(0.01mm)时,表明旧路结构存在严重病害,直接在上面补强势必会留下质量隐患。

2)确定方案

综合分析各种因素,最后确定,当实测弯沉大于 70(0.01mm)时,将老路结构破除,全幅按新建道路结构修建,即设 2 × 15cm 底基层,20cm 水稳碎石基层和 4cm + 5cm + 6cm 三层油面;当弯沉小于 70(0.01mm)时,先将旧路基加宽,标高补至老路顶面,再用水稳碎石找平补强(补强

层厚度见表 7-79),最后铺筑 4cm + 5cm 两层油面。

3.整平层施工

整平层的施工质量对最终路面工程的质量起着重要的作用,它是老路改建成功与否的关键。整平层的强度和平整度如达到了较高标准,那么路面强度和平整度就有保证。反之,就达不到好的效果。

由于旧路加宽及横坡的影响,补强层厚度在 18 ~ 44cm 之间。找平层横向厚度相差 8 ~ 10cm,纵向厚度的差值更大。为了使旧路补强段两层沥青面层的平整度达到新建道路(3 层油面)的标准,补强找平层的施工必须采取一些特殊措施。

1)整平层施工方案比选

(1)分一层摊铺

整平层按一层摊铺,在压实度方面不存在问题。试验段结果显示,采用 50t 振动压路机进行碾压,摊铺厚度 18 ~ 25cm,最厚达到 28cm 时,压实度都能满足施工规范的要求。但是由于补强找平层厚度横、纵向极不均匀,分一层摊铺的标高合格率和平整度都没有分二层摊铺的高。从表 7-80 列出的随机抽查的几个点的结果可以清楚的看到,当厚度大的时候,标高偏差最大,这是由于存在松铺系数的原因,厚度大的点,可压实的量就越大,标高变化就越大,偏差也就大。

整平层标高偏差抽样结果 表 7-80

桩　号	分　层	标高偏差(cm)		
		左	中	右
+700	一层摊铺	-0.4	+0.1	-0.9
+710	两层摊铺	+0.7	-0.3	-1.9
+720		+1.1	-1.9	-1.9
+730		-0.7	-0.4	-1.9

表 7-81 列出的是南北半幅第一层两段油面的平整度差异,其结果间接反映整平层分一层摊铺与分两层摊铺的平整度差异。分两层施工的段落,油面平整度明显好于分一层施工的段落。应该说明的是,北半幅对比的数值分别取自两个不同的标段。为了更充分的说明问题,消除不同标段由于施工水平和机具组合方面的差异影响,我们检测了南半幅新建段同一层油面的平整度做为对比。对比结果显示,南半幅当基层采用同一施工工艺的情况下,由二合同施工的 K14 + 390 ~ K15 + 190(B)段的平整度要比由三合同施工的 K15 + 200 ~ K15 + 800(A)段略好。而北半幅由于采用了不同的整平层施工方法,由二合同施工的 B 段平整度没有由三合同施工的 A 段好。所以北半幅两个标段第一层油面平整度的差异,完全是由于整平层采用了不同分层法施工的结果。

第一层油面平整度差异对比 表 7-81

位置	桩　号	平整度检测值							所属标段	施工方法
		1	2	3	4	5	6	平均		
北半幅	K15 + 200 - K15 + 800 (A)	0.66	0.76	0.8	0.88	0.66	0.83	0.77	三合同	两层摊铺
	K14 + 390 - K15 + 190 (B)	0.94	1.09	1.05	1.12	0.99	1.00	1.03	二合同	一层摊铺
(新建段)南半幅	K15 + 200 - K15 + 800 (A)	0.79	0.92	1.09	1.16	0.87	0.91	0.95	三合同	新建路段
	K14 + 390 - K15 + 190 (B)	0.94	0.82	0.89	0.87	0.79	0.78	0.85	二合同	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

综合以上分析，补强找平层施工采用分二层施工效果较好。

(2)分两层摊铺

分两层施工时，为了保证整平层的整体强度和质量，第二层施工必须在第一层水稳初凝之前完成。

通过试验段我们知道，要想有好的平整度，标高偏差要满足要求，补强找平层必须分二次摊铺。也就是说，即使一次能做的，比方说厚度只有 18cm 时，也要分两层来做，也就是将整平层分为找平层和补强层两层来施工。分两层施工，存在一个分层厚度如何确定的问题。施工期间由多方参加的技术研讨会上提出了旧路改建整平层的施工方法分两步，第一步，先将旧路双向坡改造成单向坡，也就是先施工旧路拱与新路拱中分隔带形成的小三角区的整平层施工；第二步，一次性摊铺补强层。这种方法，一是由于小三角区边缘厚度小，容易松散，二是上层补强层厚度变化大，平整度不好控制，因此施工中没有采用。

由于整平层最小厚度约为 18cm，因此，施工时将补强厚度(即第二层)确定为 10cm，这样找平层最小厚度就能控制在 8cm 以上，满足了压实度的需要，同时在最大厚度时也能保证找平层的压实度的要求。

补强层施工采用摊铺机摊铺效果最好，这是大家所认同的。但第一层(找平层)是用摊铺机摊好还是用平地机摊铺好呢？表 7-82 列出的用 3m 直尺检测的整平层平整度结果可以回答这个问题。

整平层平整度对比表(3m 直尺法)　　表 7-82

序号	桩　　号	找平层施工方法	整平层平整度(mm)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	平均
1	K15 + 500 ~ K15 + 630	用 ABG—423 摊铺机	7.5	8.0	8.0	6.5	4.0	6.5	5.0	10.5	7.0
2	K15 + 630 ~ K15 + 800	用平地机摊铺	2.0	6.5	3.0	2.0	5.5	7.0	3.0	4.0	4.1

从表 7-82 可以看出，用平地机摊铺找平层其 3m 直尺平整度平均为 4.1mm，而用摊铺机摊铺的，平整度平均值达到 7.0mm，有一点超过 8.0mm。用平地机进行找平层施工，其效率要比用摊铺机摊高出近一倍。另外如果两层用一台摊铺机，为了保证在第一层初凝前完成第二层施工，摊铺机需来回倒，因每层施工长度只有 50m 左右，所以效率很低。用 2 台摊铺机同时作业，由于中央分隔带正在开挖通迅管沟，后面的摊铺机供料困难，平整度也不好。所以最后整平层施工确定了第一层平地机摊铺，第二层用摊铺机摊铺的方案。

2)施工工艺

(1)施工前旧路面的处理

旧路面经过几年时间的运营，表面已磨光。为了保证旧路与水泥稳定碎石整平层能紧密连接，施工前用铣刨机对旧油面进行拉毛处理，拉毛深度控制在 1cm。为了保证整平层最小厚度不小于 18cm，保证找平层厚度在 8cm 以上，当厚度不满足要求时，对旧路进行铣刨处理。

(2)整平层施工方法

水稳整平层的施工分两层进行，且两层同步作业，从第一层混合料的拌和开始到第二层碾压完毕的时间控制在水泥初凝时间以内。第一层找平层施工，用装载机配合平地机进行摊铺，也可以用摊土机配合平地机作业。相对来说，装载机行驶灵活，效率高，更适合在这种情况下使用。混合料运到现场后，用装载机将料堆大致摊平，然后用平地机进行粗平。粗平完后，用重型压路机(如江麓 1803)静压一遍，基本消除松铺对标高的影响。在此期间，在已完成粗压

的工作面上采用埋砖法或撒白灰布设标高点。布设标高点后，用平地进行精平，最后用重型压路机碾压两遍，使压实度接近95%（在第二遍碾压后底层压实度也就有了保证）。为了尽量缩短作业时间，装载机、平地机、压路机作业要交错进行，在装载机完成的作业面够平地机作业时，抓紧上平地机，然后紧接着上压路机，工序衔接要紧凑。

第一层整幅施工完成50～60m时，第二层摊铺开始进行。为了保证第二层与第一层同步施工，第二层开始摊铺后，第一层摊铺采用半幅作业的方式进行施工，在一个半幅进行作业时，留出另外半幅作为第二层摊铺的供料通道。在这半幅第一层完成以后，将它改为供料通道，然后再开始另外半幅的找平层施工。如此交错，半幅半幅交替进行，保证两层施工同步进行。第一层水稳铺设长度保持距摊铺机50～60m。这种施工方法，笔者称之"两平两压，半幅交替，上下同步"施工法。采用这种工艺，保证了整平层的施工质量，保证了平整度，避免了纵向波浪和行驶飘摇感，为提高路面平整度打下了基础。

(3)层间连接方式

层间连接好坏是分两层施工成功与否的关键。试验段采用了三种方式进行找平层和补强层的连接。

第一种方式是第一层顶面全幅拉毛。后经钻芯发现两层间有松散的现象，且两层分离。

第二种方式是在找平层上撒布3.8kg/m^{2}左右的强度等级为32.5的水泥，然后均匀洒水。这种方式也有两层分离的现象。

第三种方式是洒布水泥浆（水泥:水=1:2）。水泥浆洒布在摊铺第二层前进行，要求洒布均匀，保证在摊铺第二层时表面湿润。用这种方式连接，钻芯取样，芯样均为整芯，上下连接紧密一致，无任何松散现象，因此正式施工均采用洒水泥浆作层间连接。

4.纵缝处理

新旧路基搭接处，容易形成裂缝，纵缝两侧易产生不均匀沉降。因此，对纵缝要采取特殊措施进行处理。

预防纵向裂缝的产生，要从路基施工阶段抓起。在新旧路基搭接时，要按规范挖出台阶，保证压实度，压实到边。在路基顶，为了保证路基强度，石黄高速施工中做了30cm厚的5%石灰改善土，有利于轮荷载的分散，减少新路基工后压缩沉降和裂缝的产生。

铺设土工格栅是避免裂缝和延缓裂缝产生的有效途径。石黄高速在改善土的顶面和底面与老路基联接处铺设了土工格栅。在整平层施工前南侧在纵缝处铺设一层土工格栅，土工格栅宽2m。北侧用水泥混凝土加宽的部分，当宽度大于1m时，在纵缝处也铺设了土工格栅。

原设计改建段在底面层底全幅铺设一层玻璃纤维网。由于在高温下施工玻璃纤维网有推移起拱现象，所以实际施工时被取消。为了避免基层反射裂缝，表面层在改性沥青混凝土中掺入了美国高科技产品博尼维（Bonifibers）沥青混凝土加强筋。其中有一段加了德兰尼特纤维（Dolanit），其掺量根据老路弯沉情况确定，每吨混合料掺博尼维1.1～1.4kg，德兰尼特每吨掺量为1.8kg。这两种纤维是从石油中提炼出来的聚脂化产品，可以提高沥青路面的高温稳定性，疲劳耐久性，对低温抗裂，抵抗反射裂缝具有独特的功能，使用效果极佳。

石黄高速衡水段由中路集团第一公路工程局天津工程处施工的路面三合同老路改建段，竣工检测数据显示，其实测弯沉小于设计弯沉，而且均匀一致；就其平整度而言，虽然只有两层油面，但也达到了南半幅新建道路的水平，检测值均在0.6mm以内，同时也避免了由于旧路改造可能带来的质量隐患，使路面工程达到了优质工程的标准。弯沉值和平整度的检测结果表明，石黄高速老路改建是成功的，施工工艺是合理可行的。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第九节　水泥混凝土路面施工

一、我国水泥混凝土路面发展简述

我国水泥混凝土路面已有70余年的发展历史，但在旧中国，修筑总里程不足30km。解放后我国的水泥混凝土路面只在城镇道路上发展，在公路上起步也较晚。1960年全国仅有60km水泥混凝土公路，1970年累计200km，1980年累计1 600km，1990年累计11373km，1998年累计达8 3652km，到2000年估计为100 000km。也就是说在90年代得到迅猛的发展。

为什么水泥混凝土路面发展这样快呢？其主要原因有以下几点：

1)水泥混凝土路面具有承能力大，使用寿命长，日常养护费用少的优点；

2)我国水泥生产量大，分布广，水泥品质能满足道路使用要求；

3)砂石材料遍布全国，容易做到因地制宜就地取材；

4)施工上既可以采用小型配套机具施工，投入小，施工工艺成熟易掌握，施工质量能达到道路使用要求，特别是二、三级以下道路要求；对于高等级道路也可使用滑模、轨模等施工机械施工；

5)国家高科技攻关项目的成功，使水泥混凝土路面的设计、施工、养护等诸多的技术难题得到解决，为高等级道路的运用打下了坚实的基础，铺平了道路；

6)国家“八五科技攻关”课题圆满成功，又解决了使用滑模摊铺水泥混凝土路面的成套技术，为机械化施工掀起了高潮，目前全国高等级公路使用水泥混凝土路面较为广泛；

7)改革开放使我国经济迅猛发展，为缓解公路交通对国民经济发展的瓶颈制约作用，国家加大了对公路基础设施的超前建设，这也为水泥混凝土路面的建设发展提供了良好的机遇；

8)水泥混凝土路面更为适合我国的资源约束条件；我国沥青资源相对不足，而水泥资源很丰富；沥青路面与水泥混凝土路面初期投资对比，有的地方持平，有地方略贵1/3～1/4，但水泥混凝土路面具有养护费低的优点，所以近期得到很快发展。

二、材料要求

水泥混凝土路面是由适当级配的粗细骨料、水泥、外加剂和水混合，经过水泥的水化作用凝固硬化而成的路面结构。下面介绍其组成材料的技术要求。

1.水泥

水泥的品质直接影响水泥混凝土路面的抗折强度和疲劳强度、耐久性、体积稳定性。因此，应采用抗折强度高，收缩小，耐磨性强，抗冻性好的道路硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，中等以下交通量的道路也可以采用矿渣硅酸盐水泥。各等级交通的路面适用的水泥强度等级见表7-83。

各级交通路面适用的水泥强度等级　　表7-83

交通等级	抗折强度(MPa)	水泥品种和强度等级	备　注
特重	≥7.5	旋窑硅酸盐水泥62.5、普通水泥62.5、道路水泥52.5	硅酸盐水泥52.5、普通水泥52.5、道路水泥42.5，实测弯拉强度达到要求可以使用

续上表

交通等级	抗折强度(MPa)	水泥品种和强度等级	备　注
重	≥7.0	旋窑硅酸盐水泥 52.5、普通水泥 52.5、道路水泥 42.5	硅酸盐水泥 42.5、普通水泥 42.5,实测弯拉强度达到要求亦可用
中等、轻	≥6.5	硅酸盐水泥 42.5、普通水泥 42.5、矿渣水泥 42.5	所有水泥,施工时均应以抗折强度满足要求为准

注:此表摘自《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》。

水泥的初凝时间不小于 3h,终凝时间不小于 10h。另外水泥不得混合堆放,严禁混合使用,出厂期超过三个月或受朝的水泥,必须经过试验,按其试验结果决定正常使用或是降级使用。已经结块变质的水泥不得使用。

2.细集料

混凝土中用的砂,称为细骨料或细集料。一般采用粒径为 0.15 ~ 5mm 之间,颗粒有棱角,洁净,并且级配良好,细度模数为 2.3 ~ 2.5 的粗砂和偏细粗砂,这样的砂与水泥浆的胶结能力强且耐磨。

1)砂的标准颗粒级配范围见表 7-84。

细集料标准颗粒级配范围　　表 7-84

砂级配区	砂的分类	筛孔尺寸(mm)						
		圆孔				方孔		
		10	5	2.50	1.25	0.63	0.315	0.16
		通过百分率(以质量计)(%)						
Ⅰ区	粗砂	100	90 ~ 100	65 ~ 95	35 ~ 65	15 ~ 29	5 ~ 20	0 ~ 10
Ⅱ区	中砂	100	90 ~ 100	75 ~ 100	50 ~ 90	30 ~ 59	8 ~ 30	0 ~ 10
Ⅲ区	细砂	100	90 ~ 100	85 ~ 100	75 ~ 90	60 ~ 84	15 ~ 45	0 ~ 10

2)砂的质量要求见表 7-85。

细集料的质量要求　　表 7-85

项　目	质量指标
云母含量(按质量计)不宜大于(%)	2
含泥量(冲洗法)不宜大于(%)	3
硫化物及硫酸盐含量(折算为 SO_3)不宜大于(%)	1
海砂中氯盐含量(按质量计)不宜大于(%)	0.1
轻物质含量(按质量计)不宜大于(%)	1
有机物含量(比色法)	颜色不深于标准溶液的颜色

3.粗集料

混凝土中使用的碎石或砾石,称为粗集料。其粒径在 5mm 以上,30mm 以下,质地坚硬,无风化,强度不低于 50MPa。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)碎石或砾石技术要求见表 7-86。

碎石和砾石技术要求 表 7-86

项目		碎石	砾石
石料强度等级		≥3 级	≥3 级
压碎指标(%)	水成岩	13 ~ 16	14 ~ 16
	变质岩或深成火成岩	16 ~ 20	
	浅成岩或喷出火成岩	21 ~ 30(≤20)*	
针片状颗粒含量(%)		≤15	≤15
硫化物及硫酸盐含量(%)		≤1	≤1
含泥量(冲洗法)(%)		≤1	≤1
空隙率(%)		—	≤45
软弱颗粒含量(%)		—	≤5
有机物含量(比色法)		—	颜色不深于标准溶液

注:①该表引自《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012—94);

②带 * 号的数值是笔者根据施工实践建议修改的数值,当岩石的压碎值不小于 20%时,达不到路面混凝土抗弯拉强度不小于 4.5MPa,强度等级不小于 30 的要求。

2)为了使路面混凝土形成嵌缜型的骨架密实结构,提高路面使用品质及耐久性,应严格控制粗集料级配。碎石或砾石的级配范围见表 7-87。

水泥混凝土路面用粗集料标准级配范围表 表 7-87

级配类型	粒径范围(mm)	筛孔尺寸(圆孔)(mm)						
		30	25	20	15	10	5	2.5
		通过百分率(以质量计)(%)						
连续级配	5 ~ 30	95 ~ 100	67 ~ 77	44 ~ 59	25 ~ 40	11 ~ 24	3 ~ 11	0 ~ 5
	5 ~ 20			95 ~ 100	55 ~ 69	25 ~ 40	5 ~ 15	0 ~ 5
间断级配	5 ~ 30	95 ~ 100	67 ~ 77	44 ~ 59	25 ~ 40	25 ~ 40	3 ~ 11	0 ~ 5
	5 ~ 20			95 ~ 100	25 ~ 40	25 ~ 40	5 ~ 15	0 ~ 5

4.水

拌和用水应是一般能饮用的水。水的 pH 值大于 4,硫酸盐的含量以 SO_4^{-2} 计算不超过 2 700mg/L,各种盐的总含量不超过 5 000mg/L。对于污水、工业废水、含矿物质的泉水应事先化验确认无害后方可使用。

5.外加剂

水泥混凝土路面的混合料中加入了外加剂后,能改变路面使用品质和满足施工的特定要求,尤其是满足机械化施工的要求。外加剂已成为水泥混凝土混合料中不可缺少的组成成分了。

1)减水剂

水泥混凝土路面的设计抗弯拉强度一般公路为 4.5MPa、高速公路和一级公路为 5MPa,加上施工保证率其抗弯拉强为 5.0 ~ 5.75MPa,对应的抗压强度为 C35 ~ C40 级,强度均已达到高标号的钢筋混凝土的要求。所以使用的外加剂均应满足一等品的技术要求,其一等品的性能

指标见表 7-88。

混凝土外加剂产品种类和性能指标　　表 7-88

试验项目		普通减水剂	高效减水剂	早强减水剂	缓凝高效减水剂	缓凝减水剂	引气减水剂	早强剂	缓凝剂	引气剂
减水率不小于 （%）		8	12	8	12	8	10	—	—	6
泌水率不大于 （%）		95	90	95	100	100	70	100	100	70
含气量 （%）		≤3.0	≤4.0	≤3.0	<4.5	<5.5	>3.0			>3.0
凝结时差 （min）	初凝	-90～+120	-90～+120	-90～+90	>+90	>+90	-90～+120	-90～+90	>+90	-90～+120
	终凝				—	—				
抗压强度比不小于 （%）	1d	—	140	140	—	—	—	135	—	—
	3d	115	130	130	125	100	115	130	100	95
	7d	115	125	115	125	110	110	110	100	95
	28d	110	120	105	120	110	100	100	100	90
收缩率比 28d 不大于 （%）		135	135	135	135	135	135	135	135	135
相对耐久性指标 200 次不小于 （%）		—	—	—	—	—	80	—	—	80
对钢筋锈蚀作用		应说明对钢筋无锈蚀危害								

注：①本表数据摘自《混凝土外加剂》(GB 8076－1997)，高速公路水泥混凝土路面上应全部满足一等品要求，仅摘录一等品数据；

②除含气量外，表中数据为掺外加剂混凝土与基准混凝土差值或比值；

③凝结时间指标“－”表示提前，“＋”表示延缓；

④相对耐久性指标，200 次不小于 80%表示掺外加剂混凝土试件冻融循环 200 次后，动弹性模量保留值不小于 80%。

2)引气剂

使用滑模摊铺水泥混凝土路面时规定应使用引气剂。引气剂既引气也起减水作用，其减水率为 6%～8%，它可增加新拌混凝土的粘聚性，改善和易性，防止泌水离析，提高混凝土匀质性，以松香树脂类(文松树脂、松香皂、松香热聚物)为最好。

6.钢筋

钢筋在水泥混凝土路面中主要用于接缝处的传力杆和拉杆，角隅钢筋和钢筋网四大类。一般传力杆为 ϕ25～ϕ30mm 光圆钢筋，拉杆为 ϕ12～ϕ16mm 螺纹钢筋，角隅钢筋为 ϕ12～ϕ14mm 螺纹钢筋，钢筋网一般以 ϕ8mm 光圆钢筋或 ϕ12mm 螺纹钢筋制成。

7.接缝材料

1)水泥混凝土路面的面板，会因气温变化而热胀冷缩，板间的接缝会夏天变窄，冬天变宽。因此，对板缝间的填缝材料应有如下要求：

(1)填缝材料应当坚韧而富有弹性；

(2)能阻止砂、石嵌入，以免板体自由收缩时受阻；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(3)具有良好的封水性能,并能与板缝粘结牢固,避免水分渗入;

(4)应耐晒、耐磨、耐油。

2)胀缝板

胀缝板可采用各种木板、沥青纤维板、泡沫橡胶板、泡沫树脂板及各种纤维复合板,其技术要求见表 7-89。

接缝板的技术要求 表 7-89

试验项目	接缝板种类			备注
	木材类	塑料(橡胶)泡沫类	纤维类	
压缩应力(MPa)	5.0~20.0	0.2~0.6	2.0~10.0	吸水后不应小于不吸水的 90%
复原率(%)	>55	>90	>65	木材应挖除树节并用原木修补
挤出量(mm)	<5.5	<5.0	<4.0	接缝板厚度误差范围 ±5%
弯曲荷载(N)	100~400	0~50	5~40	长度与宽度误差范围 ±2%

3)胀缝嵌缝材料

胀缝板上部的密封嵌缝条,由于胀缝伸缩量较大,一般不使用缩缝用的实心填缝料,多采用空心的预制橡胶嵌缝条来填塞,橡胶条应符合表 7-90 的技术要求。

橡胶填缝条胶料技术要求 表 7-90

性能	要求	
	I 类	II 类
公称硬度(IRHD)	60	70
公称硬度公差	±5	
最小拉伸强度(MPa)	12	
最小扯断伸长率(%)	250	200
最大压缩永久变形(100℃×22h)(%)	40	
耐老化性能(100℃×72h 热老化后):		
硬度变化(IRHD)	0~+12	
最大拉伸强度变化(%)	-20	
最大扯断伸长率变化(%)	-25	
耐臭氧性能(伸长 20%,40℃×96h):		
一般条件:臭氧浓度(50mg/m³)	不龟裂	
苛刻条件:臭氧浓度(100mg/m³)		
在 -10℃×7h 后硬度(IRHD)增加(最大 + A35)	15	10
耐水性:标准室温×7h 后的体积变化(%)	0~5	
成品填缝件的压缩恢复率(压缩 50%)		
-10℃×72h(最小)(%)	88	
-25℃×22h(最小)(%)	83	
100℃×72h(最小)(%)	85	

4)润滑粘结剂

胶条润滑粘结剂是接缝安装预制橡胶嵌缝条的专用材料。要求粘度适中,固化前不发粘,有转强的润滑作用,固化速度可调,固化后与橡胶填缝条和混凝土缝壁粘接牢固,低温不脆不溶于水等。

5)缩缝填料

(1)常温施工式填缝料技术要求见表7-91。

常温施工填缝料的技术要求 表7-91

试验项目	规范技术要求	更高技术指标①	试验项目	规范技术要求	更高技术指标①
灌入稠度(s)	<20	<10	拉伸量(-10℃)(mm)	>15	>25
失粘(固化)时间(h)	6~24	1~3 (随气温而不同)	与混凝土粘结强度②(MPa)	>0.6	>1.0
弹性(复原率)(%)	>75	>90	粘结延伸率②(%)		>1000
流动度(mm)	0	0			

注:①更高技术指标是已经在高速公路上使用的改性聚氨脂、硅树脂填缝材料实测数值;

②是规范中没有的项目。

(2)加热施工式填缝料技术要求见表7-92。

加热施工式填缝料技术要求 表7-92

试验项目	低弹性型	高弹性型	试验项目	低弹性型	高弹性型
针入度(0.1mm)	<50	<90	流动度(mm)	<5	<2
弹性(复原率)(%)	>30	>60	拉伸量(mm)	>5(笔者建议>10)	>15

(3)缩缝背衬泡沫塑料垫条

为使缩缝填料不流入底部,填缝深度保持基本一致,而设置缩缝填料背衬泡沫塑料垫条。其技术要求包括:背衬材料应具应良好的弹性、柔韧性、不吸水、耐酸碱腐蚀性等;耐热型背衬材料应在180℃时不软化;背衬材料形状最好为圆型,也可为方棱柱型,一般直径或宽度应比接缝大2~4mm。

(4)纵缝填料

由于纵缝设有拉杆约束,对填料要求不高,所有缩缝材料都适用。

8.养生材料

水泥混凝土路面采用洒水覆盖养生最为简单方便,但跟不上机械化施工的需要,因而使用养生剂养生是机械化施工的主要方式,对养生剂的主要技术要求见表7-93。

水泥混凝土路面养生剂的参考技术要求 表7-93

项目	技术指标	试验条件
保水率(%)	≥90	标准配合比:$W/C=0.45$,$C=350kg/m^3$,$D=200mm$,$S_P=32\%$; 养生温度38℃±1℃,相对湿度32%±2%,72h; 试件尺寸15cm×30cm×5cm,不养生的总失水量与涂养生剂250mL/m²失水量之差除以总失水量的百分数
强度保持率(%)	抗折强度≥95 抗压强度≥95	试件尺寸10cm×10cm×40cm,养生3d; 试件尺寸15cm×15cm×15cm,养生条件同上; 涂养生剂试件与完全不失水试件强度之比
表面硬度比(%)	≥95	试验条件同上,试件尺寸15cm×15cm×15cm,使用养生剂表面和完全不失水表面维氏硬度相比
相对磨损率(%)	≥95	试验条件同上,试件尺寸15cm×15cm×15cm,使用养生剂表面磨损率和完全不失水表面磨损率相减再相除
含固率(%)	≥40	养生剂烘干质量与液体质量之比

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

项　目	技术指标	试　验　条　件
耐水冲刷性	微量	养生剂烘干后，浸水 2h，不得再溶解，能抗雨水冲刷
储存稳定性	不得结皮沉淀	产品使用和天然储存 6 个月后，不得结皮沉淀
干燥时间	2～4h	气温 23℃ ± 2℃，相对湿度 50% ± 10%，风速 3m/s

注：保水率、抗折强度保持率、相对磨损率试验方法参照美国 ASTM 试验标准和有关文献。

第十节　水泥混凝土路面小型机具配套施工

一、施工工艺流程

小型机具配套施工工艺流程见图 7-11。

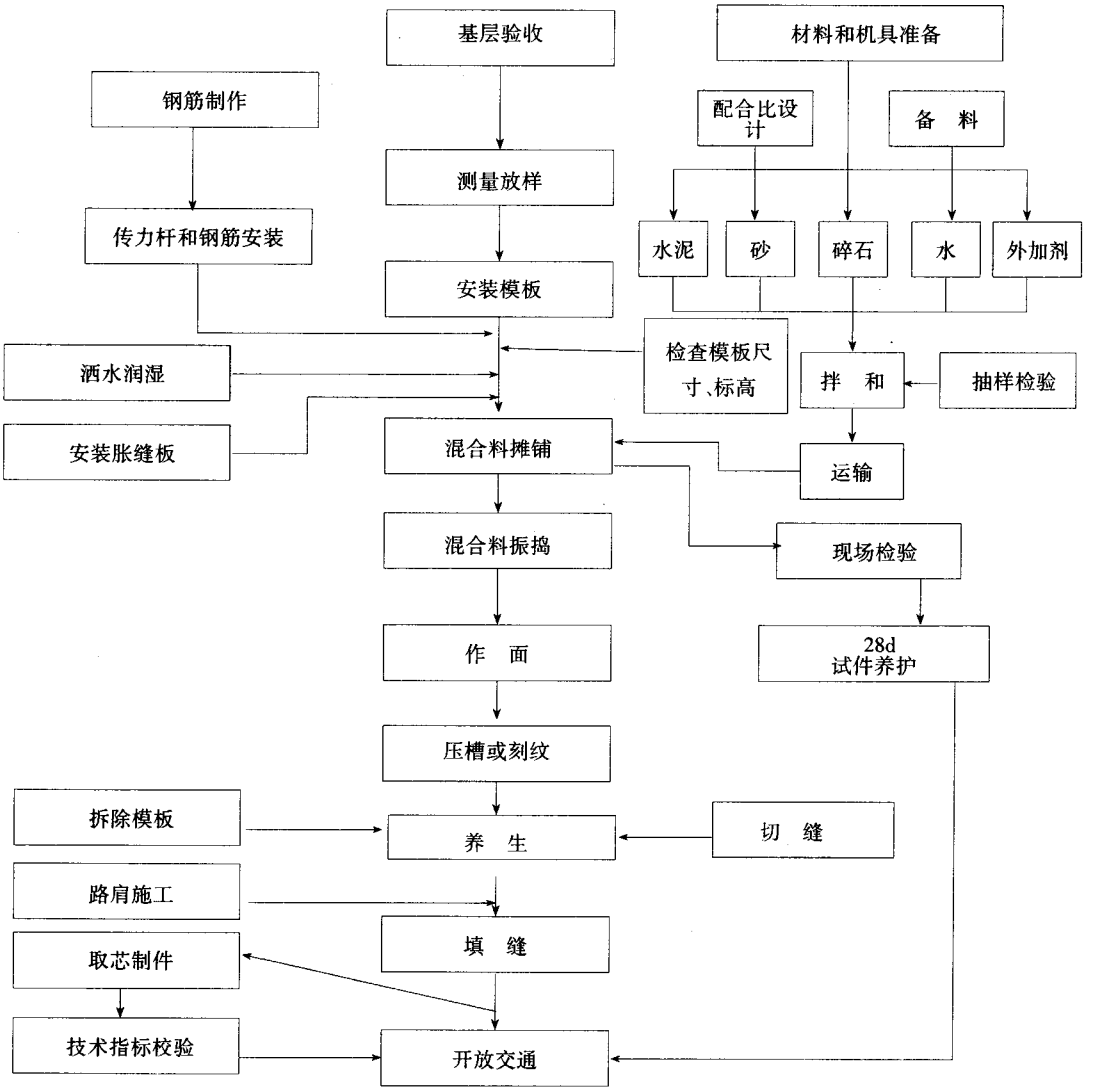


图 7-11　小型机具配套施工工艺流程图

二、施工准备

1.基层准备

1)基层验收

为保证水泥混凝土路面的正常使用,要求基层应具有足够的强度,必须坚实稳定,均匀一致,表面平整无波浪、无坑槽松散,标高、横坡、平整度、压实度、强度均达到规定要求,否则应处理至符合要求。

2)测量放样

(1)在验收合格的基层上每20m放出中线及边缘线,并准确的放出纵向分块边缘线,测算出各桩标高。

(2)每100m增设一临时水准点。

3)支模

(1)支模的平面位置、标高应符合设计要求,位置准确稳固,模板接头平顺不得有离缝和前后接茬错位高低不平的现象。

(2)模板接头、模板与基层接触部位不得漏浆,模板与混凝土接触面应涂刷隔离剂。

(3)模板标高允许误差为±2mm。

(4)支立好模板后,应把道面板分块线明显地标在模顶面,在曲线内外侧的纵向分块距离相应地增长与缩短,要保证横向分块线与路中心线互相垂直,以避免出现锐角。

4)摊铺前应洒水润湿基层。

2.材料准备

按照第九节中对材料的要求,检验、控制材料进场,一定要把好材料关,不合格的材料不让进场。这里不赘述。

3.配合比设计

混合料配合比设计要根据工程的设计要求、当地材料品质、施工方法、操作水平及工地环境等方面,通过选择、计算和试验来确定水泥、水、砂、碎石(砾石)、外加剂几种材料相互之间比例关系。在确定混合料中水、水泥、细集料、粗集料四种基本成分的用量时,关键是选择好水灰比、用水量和砂率这三个参数。

混凝土配合比设计遵循的一般原则是:①根据已有的配合比试验参数或以往的经验,得出初拟设计配合比;②按初拟设计配合比进行试拌,考察混合料的工作性,根据试拌结果再作必要调整,得到设计配合比;③根据现场混凝土的实际浇筑条件,比如集料供应情况(级配、含水量)、摊铺机具和气候等,进行适当调整,提出施工配合比。使所修筑的水泥混凝土路面具有足够的强度和耐久性,有良好的施工和易性,方便施工,且造价经济。

1)设计具体步骤

(1)确定混凝土试配强度

配制混凝土的抗折强度 R_S 按GBJ 97—87的规定提高10%~15%进行确定或者是用经验公式确定。

$$R_S = 0.443R_C^{0.71} \tag{7-6}$$

式中:R_S——抗折强度,MPa;

R_C——抗压强度,MPa。

为了保证混凝土的质量,所试配的混凝土的强度应具有一定保证率,不同保证率的混凝土

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

强度 R，可按下式确定：

$$R = \frac{R_S}{1 - tC_V} \tag{7-7}$$

式中：R——试配强度，MPa；

R_S——设计抗折强度，MPa；

t——保证率系数，按表 7-94 选用；

C_V——混凝土强度变异系数，按表 7-95 选用。

保证率系数 t 表 7-94

保证率(%)	50	80	85	90	95	98
保证率系数 t	0	0.84	1.04	1.28	1.64	2.05

混凝土强度变异系数 C_V 表 表 7-95

施工管理水平等级	优秀	良好	一般	差
变异系数 C_V	<0.10	0.10~0.15	0.15~0.20	>0.20

(2)计算灰水比

按抗弯拉强度配制混凝土时，应按试配抗弯拉强度 R_S 和下述经验公式确定计算灰水比 C/W。

碎石：
$$R_S = -1.0079 + 0.3485R_{SC} + 1.5684(C/W) \tag{7-8}$$

砾石：
$$R_S = -1.5492 + 0.4565R_{SC} + 1.2618(C/W) \tag{7-9}$$

式中：R_{SC}——水泥的抗弯拉强度，MPa；

C——水泥的质量，kg；

W——水的质量，kg。

按抗压强度配制混凝土时，则可按试配抗压强度 R_C 和下式计算确定灰水比 C/W。

$$R_C = AR_{oc}\left(\frac{C}{W} - B\right) \tag{7-10}$$

式中：R_{oc}——水泥的抗压强度，MPa；

C、W——意义同前；

A、B——试验参数，见表 7-96。

试验参数 A 和 B(JGJ 55—81) 表 7-96

集料类别	A	B
碎 石	0.46	0.52
砾 石	0.48	0.61

路面混凝土的最大水灰比(W/C)，应符合 GBJ 97—87 的规定：

①公路、城市道路和厂矿道路，不应大于 0.50；

②机场道路、高速公路，不应大于 0.46；

③冰冻地区冬季施工，不应大于 0.45。

若采用真空吸水工艺施工，水灰比可放大 5%～10%，但脱水后的剩余水灰比必须满足上述要求。

(3)计算用水量

当水灰比确定后，确定用水量的实质也就是确定混凝土中的水泥浆用量，水泥浆的多少又决定于混凝土的工作性要求，如集料表面特性、最大粒径、细集料的粗度和含量等。因此，工程的不同，施工方法不同，要求的坍落度就不同。各种施工方法适应的坍落度见表 7-97。

各种施工方法适应的坍落度　　表 7-97

施工方式	人工施工	真空吸水	三辊轴	轨模摊铺	滑模摊铺
坍落度(cm)	0~2.5	3.0~5.0	0~2.5	1.5~4.0	1.0~6.0

每立方米混凝土的用水量 W_0(kg/m³)可按以下经验公式初算。

碎石混凝土：$$W_0 = 104.97 + 3.09h + 11.27(C/W) + 0.61S_P \tag{7-11}$$

砾石混凝土：$$W_0 = 86.89 + 3.70h + 11.24(C/W) + 1.00S_P \tag{7-12}$$

式中：h——要求施工坍落度，cm；

S_P——砂率，%；是细集料砂占粗细集料之和的百分率，可按下列公式计算。

$$S_P = K\frac{\rho_S V_S}{\rho_S V_S + \rho_G V_G} \tag{7-13}$$

式中：ρ_S——砂的松装密度，kg/m³；

ρ_G——石子的松装密度，kg/m³；

V_S——1m³ 混凝土中砂的松装体积，m³；

V_G——1m³ 混凝土中石子松装体积，m³；

K——拨开系数，在 1.0~1.2 之间，一般可取 1.05。

(4)计算水泥用量

单位水泥用量 C_0 根据下式计算。

$$C_0 = W_0\left(\frac{C}{W}\right) \tag{7-14}$$

根据施工规范要求水泥混凝土路面的水泥用量不应小于 300kg/m³。一般情况，强度等级为 42.5 的水泥用量约为 310~340kg/m³，强度等级为 52.5 的水泥用量约为 300~330kg/m³。

(5)确定砂、石用量

在已知砂率、单位用水量、水泥用量的情况下，可采用假定密度法和绝对体积法确定砂石料的用量。两种方法计算结果近似，在实践中均可采用。

①假定密度法

混凝土假定密度(kg/m³) = 水质量 + 水泥质量 + 砂质量 + 石料质量

即：砂、石总质量(kg) = 混凝土总质量 - 水质量 - 水泥质量

砂质量(kg) = 砂、石总质量 × 砂率

石料质量(kg) = 砂、石总质量 - 砂质量

一般混凝土假定密度值，C15~C30 混凝土为 2 400kg/m³；C40~C60 混凝土为 2 450kg/m³。

②绝对体积法

每立方米混凝土中砂、石总体积 L 按下式计算。

$$L = 1\,000 - \left(\frac{\text{水泥用量}}{\text{水泥相对密度}} + \frac{\text{水用量}}{\text{水相对密度}}\right) \tag{7-15}$$

水泥相对密度为 2.9~3.1，水相对密度为 1.0。

故：每立方米混凝土用砂量(kg) = 砂、石总体积 × 砂相对密度 × 砂率

每立方米混凝土用石料量(kg) = 砂、石总体积 ×(1 - 砂率) × 石料相对密度

(6)配合比的调整

由上面计算方法得到的配合比，是一个初步材料用量，它与实际情况有差异，为此，必须通

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

过试验进行配合比调整。

①试拌调整。按初定配合比取样试拌，测定工作性，判定是否满足设计工作性。如不满足，则调整至满足设计要求的工作性为止。

②强度验核。按符合工作性要求的配合比，适当增减水泥用量，配制三组配合比的新拌混凝土，浇筑混凝土立方体试块或小梁试件，并实测其密度。经养护到规定龄期后测定其强度。如果实测强度未能达到要求的配制强度时，可采取提高水泥强度等级，减小水灰比或改善集料级配等措施。

③试验室配合比计算。通过调整得到符合工作性和强度要求的配合比后，还应按混凝土的实测密度校正其计算密度。混凝土计算密度为经试拌调整后每立方米混凝土各种材料单位用量之和，校正系数 K 为实测密度同计算密度之比值。各种材料用量均乘以校正系数 K，即为定出的试验室配合比。

④施工配合比的换算。试验室配合比是在集料处于标准含水状态下计算出来的，施工现场的含水量经常变化，因而，须根据拌和时集料的实际含水量对试验室的配合比进行调整，对集料的水分应在用水量中扣除，由于集料含水而减少的集料数量，应在集料用量中补足，这就得到了施工配合比。

2)配合比设计实例

(1)水泥采用强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥，28d 抗压强度 $R_C = 48\text{MPa}$，抗折强度 $R_{SC} = 7.83\text{MPa}$，密度 $P_C = 3.1\text{kg/cm}^3$；河砂为中砂，表观密度 $P'_S = 2.70\text{kg/cm}^3$；碎石最大粒径 40mm；石灰石表观密度 $\rho_G = 2.75\text{kg/cm}^3$。设计混凝土抗折强度 $R = 4.5\text{MPa}$，要求坍落度为 1～3cm。

(2)设计试配强度 R_f

$$R_f = (1.10 \sim 1.15)R = 1.15 \times 4.5 \approx 5.2\text{MPa}$$

(3)计算水灰比 W/C

由
$$R_S = -1.0079 + 0.3485R_{SC} + 1.5684(C/W)$$

得
$$5.2 = -1.0079 + 0.3485 \times 7.83 + 1.5684(C/W)$$

$$C/W = 2.22$$

故 $W/C = 0.45$，符合不大于 0.50 的规定，取水灰比 = 0.45。

(4)计算用水量 W_0

$$W_0 = 104.97 + 11.27C/W + 3.09h + 0.61S_P$$

由于混凝土为碎石混凝土，$W/C = 0.45$，最大粒径 4cm。

取坍落度 $h = 2\text{cm}$

查混凝土砂率范围表得 $S_P = 31\%$

$$W_0 = 104.97 + 11.27 \times 2.22 + 3.09 \times 2 + 0.61 \times 31 = 155\text{kg/m}^3$$

(5)计算水泥用量 C_0

可由
$$C/W = 2.22$$

所以
$$C_0 = 2.22W = 2.22 \times 155 = 344\text{kg/m}^3$$

满足规范不小于 300kg/m^3 的要求。

(6)计算砂石用量

按绝对体积法：

$$\frac{\text{水泥用量}}{\text{水泥相对密度}}+\frac{\text{碎石用量}}{\text{碎石相对密度}}+\frac{\text{砂用量}}{\text{砂相对密度}}+\frac{\text{水用量}}{\text{水相对密度}}=1000 \tag{7-16}$$

$$\frac{\text{砂用量}}{(\text{砂}+\text{石})\text{总量}}\times 100=31$$

求解上式得砂 $S_0=622\text{kg/m}^3$

碎石 $G_0=1385\text{kg/m}^3$

每立方米混凝土材料组成 $C_0=344\text{kg}$，$W_0=155\text{kg}$，$S_0=622\text{kg}$，$G_0=1\ 385\text{kg}$，总质量为2 506kg。

(7)试拌混合料，检验和易性，测定单位质量

拌30L混合料，测得坍落度为1.2cm，符合设计要求；实测密度为2 480kg/m³，比计算值小。因此，应进行混合料组成材料用量调整，调整系数 $K=\frac{2\ 480}{2\ 506}=0.990$。调整后

$$C_0=344\times 0.99=340.6\text{kg/m}^3$$

$$W_0=155\times 0.99=153.4\text{kg/m}^3$$

$$S_0=642\times 0.99=635.6\text{kg/m}^3$$

$$G_0=1\ 364\times 0.99=1\ 350.4\text{kg/m}^3$$

(8)制备件准备

同时拌制 $W/C=0.42$、0.45、0.48三组混合料制备小梁试件，测得28d抗折强度为：

$W/C=0.42$　$R_S=5.8\text{MPa}$

$W/C=0.45$　$R_S=5.35\text{MPa}$

$W/C=0.48$　$R_S=5.07\text{MPa}$

最后选定0.45为设计水灰比。

4.机具准备

1)配套机具准备

水泥混凝土路面施工，工序较多较为复杂，还需使用多种专用工具，凡施工使用的配套机具，施工前都应准备齐全，可参见表7-98结合工程实际准备。

水泥混凝土路面机具配套参考表　　表7-98

序号	工序名称	专用机具	备注
1	上料	1.拌和站自带上料斗； 2.皮带运输机； 3.双轮小推车	应加配推土机送料 应加配地中衡称量
2	拌和	拌和机 1.强制拌和机； 2.鼓筒拌和机； 3.锥形拌和机	水泥混凝土路面混合料属低流动性混凝土或干硬性混凝土，推荐使用强制性拌和机，小型机具配套施工宜用移动式拌和站
3	混合料运输	1.自卸汽车； 2.1t小翻斗； 3.双轮手推车； 4.搅拌运输车	适用于大、中、小型道路施工 适用于中、小型道路施工 适用于小型道路施工 适用于大、中、小型道路施工

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

序号	工序名称	专用机具	备注
4	摊铺： 机械作业 人工连续作业	1.滑模摊铺机； 2.轨模摊铺机； 3.平地机 平板振动器、插入振动器、振动梁、封面机转子刷子等提浆辊拉毛器搓平板压槽器	机械施工 机械施工 碾压混凝土施工 小型的机具套配人工施工
5	切缝	切缝机	
6	养生： 养生剂 水养	空气压缩机、溶灌喷枪 洒水车、草袋或麻片	
7	灌缝	灌缝机	

2)拌和站准备

(1)搅拌站的位置应根据施工路线长短和所采用的运输工具决定。一般路线长时可设几个搅拌站，施工路线短或运输能力强，可设集中搅拌站。搅拌站应设在运费经济、进料方便、场地宽敞、水电较近的地方，以运输时间不超过半小时为宜。使用手推车运送混合料时，一般为0.3～1.0km，当用1t小翻斗柴油车运料时为0.8～2.0km，当使用自卸汽车运送时为2～5km。

(2)搅拌机安装。搅拌站一般由两台或多台拌和机组成，安装时要留足进料台的面积，高台搅拌站的搅拌机应根据进料车高度垫高。在通向堆料场方向须设供料小车进料坡道，其坡度小于1:2。出料口应设在运输路线一侧；搅拌站周围，特别是搅拌机附近，应设排水设施。

(3)以三亚二环路水泥混凝土路面为例介绍小型机具配套施工的机具配备和人员组织。该路长度为6km多，4车道路面宽2×7.5m，路面设计抗折强度为4.5MPa，混凝土板设计厚24cm。施工采用的小型机具配套人工连续作业摊铺。拌和站设在4km外集中拌和，自卸汽车运料，最大运距为4km。其主要机具配备见表7-99。

主要机具配备表 表7-99

名称	单位	数量	名称	单位	数量
1.拌和站			4.其他设备		
800L自落式拌和机	台	2	插入式振捣器	台	6
75kW发电机组	台	1	平板振捣器	台	4
3吋水泵	台	1	振动梁	套	1
ZL50装载机	台	1	提浆辊	套	1
3t水箱	个	2	拉毛器(拉槽)	套	1
双轮手推车	辆	6	搓平板	套	1
地中衡	台	2	钢筋切割机	台	1
2.混合料运输			混凝土锯缝机	台	1～2
$3m^3$自卸汽车	台	4～8	洒水车	台	1
3.模板			50kW发电机	台	1
钢模或木模	m	500	5kW发电机	台	1
			灌缝设备	套	1

5.劳动组合

小型机具配套施工水泥混凝土路面需要人员较多,施工技术要求高,应做好组织培训工作。以三亚二环路为例介绍劳动组合见表7-100。

人员组合表　　表7-100

工序名称	单位	数量	工序名称	单位	数量
1.拌和站:			支拆模板	人	8~10
技术负责人	人	1	4.路面摊铺		
试验人员	人	1	技术负责人	人	1
操作人员	人	20~22	操作人员	人	20~24
2.混合料运输			养生切缝	人	3~4
			灌缝等其他工作	人	4~5
自卸车司机	人	4~8			
3.前台施工					
测量人员	人	2~3	合计	人	64~79

三、水泥混凝土路面施工

1.水泥混凝土混合料拌和

1)拌和配料。在开拌前,试验人员应先测量现场砂、石的实际含水量,这个含水量必须有充分代表性,否则将影响配料准确性。如果材料规格含水量发生了变化,应及时通过试验修正施工配合比,并计算出砂、石、水等各种材料准确用量。

2)开盘前校准地中衡以保证称量准确,其配料的计量允许误差为:水泥±1%,粗细骨料±3%。

注意,如水泥如以袋计量时,应抽测其质量是否准确;是否需要采取修正措施。

3)开盘前,按拌和用水标准,调整水量控制盘的指针,使每次加水量符合标准,其允许误差以±1%控制。

4)外加剂的掺入。如是加入固体外加剂,应先准确称量分包投放;如果使用的液体外加剂,应准确地配制均匀测定浓度符合要求。允许误差为±2%,设专人负责添加。

5)进料次序:先上砂,再上水泥,最后上石料(先小,后大);也可以按石料、水泥、砂的次序上料,固体外加剂和水泥同时放入。待全部材料都倒入料斗后,方可进行搅拌,同时开启水阀,使调整好的水量均匀洒布在正在拌和的料中。

为避免第一盘混合料被拌和机鼓筒吸附影响质量,应先拌适量1:2(水泥:砂)砂浆废弃后再按规定配合比拌混合料。

6)拌和时间。混合料拌和时间与拌和机的类型和混合料要求的和易性有关,拌和时不能少于规范规定的最短时间,见表7-101。

混凝土拌和物最短搅拌时间　　表7-101

搅拌机容量		转速(r/min)	搅拌时间(s)	
			低流动性混凝土	干硬性混凝土
自由式	400L	18	105	120
	800L	14	165	210
强制式	375L	38	90	100
	1500L	20	180	240

7)台口工作开始和结束前,或因故中断拌和1h以上时,均应用水冲洗,可放入石料若干加

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

水搅拌 5～10min，再将石料卸出，使其保持清洁。

2.混合料的运输

1)混合料对运输的要求

(1)根据工程实际和工地运输条件选择合适的运输机具，一般工程量大、运输距离长时，应选用机械运输。

(2)流动性大的混凝土在运输途中易产生离析，宜选用搅拌运输车运送。

(3)运输容器必须严密，以免水分流失。

(4)运输应避免时间过长，产生初凝现象。从混合料拌和到成型的允许的最长时间应根水泥初凝时间及施工时的气温确定，不得超过规范规定的时间。

2)搅拌混合料的卸料

拌和机搅拌的混合料卸出时，应通过溜槽和不小于 60cm 长的垂直导管。溜槽坡度根据混合料的流动性而定，宜大不宜小。倾卸混合料须防止产生离析。同时应注意不要碰撞已安装好的模板。

3.混合料的摊铺、振捣、做面和压槽

1)摊铺

(1)摊铺前应在已准备就绪的基层上作进一步检查，主要检查模板间距(板宽)、高度(板厚)、模板支撑稳定性、基层平整度、基层润湿情况、钢筋传力杆位置等均应符合要求。

如为摊第二幅填裆混凝土时，应注意纵缝拉杆调直和纵缝处涂刷沥青。

(2)摊铺。运到现场的混合料，应先检查拌和质量，如发现问题应及时处理调整，运输车卸料时尽可能的分成几小堆，如有离析现象应用铁锹翻拌均匀后再摊铺。路面板厚不大于 24cm 时，可一次摊铺，大于 24cm 时，宜分两次摊铺。下层摊铺厚度宜为总厚的 3/5。松铺厚度应考虑振实影响，预留一定高度，一般宜比设计高出 2cm，或者由试验确定。用铁锹摊铺一定要扣锹摊料，严禁抛掷，当摊铺到模板附近时，应用铁锹靠模板插捣几次，捣出砂浆，以免发生蜂窝麻面。

(3)摊铺有传力杆或布设钢筋的混凝土时，需要配合传力杆、角隅钢筋、钢筋网的安放工作进行，即先摊铺钢筋下半部混合料，待钢筋就位后再摊铺上半部混合料。

(4)当摊时未完成一整块板时，因故停工时，应视停工时间长短作特殊处理。停工半小时内，可将混合料表面用湿布盖上，待恢复工作时把此处混合料耙松，继续摊铺；停工超过半小时以上时，可根据施工时的气温和水泥混凝土的初凝时间做施工缝处理，但应把不足一块板的混合料铲除废弃。

(5)现场取样制作抗压试件 1 组 3 块，制作抗折试件 1 组 3 块，并与路面同条件养生。

2)振捣

摊铺好的混合料应立即进行振捣，应先用插入式振捣器和平板振捣器联合振捣。插入式振捣器宜选 4 000 次/min 以上频率的，平板振捣器宜选激振力大的。

待混合料基本铺平后才进行振捣，不能边摊铺边振捣，以防过振和漏振。

(1)先用插入式振捣器在模板边缘，角隅处全面顺序插入振捣一次。至模板的距离不应大于振捣器作用半径的 0.5 倍，移动距离不应大于其作用半径的 1.5 倍，振捣器在一个位置振动的时间不宜少于 20s，以混合料停止下沉，不再冒气泡振出砂浆为准，避免碰撞模板与钢筋。

(2)接着用平板振捣器全面的覆盖性振捣后，再用振动梁(行夯)作全幅拖拉振实 2～3 遍，使表面泛浆并赶出气泡。振动梁移动速度要缓慢均匀，前进速度以每分钟 1.2～1.5m 为宜，振

实过程中发现不平之处人工及时挖填找平，补料时宜使用较细混合料，禁止使用砂浆找补。振动梁行走时不允许中途停留。

目前厂家生产的铝合金双梁振动梁或槽钢焊制的振动梁，都有刚度小、挠度大的毛病，用于混凝土粗平还可以。实践证明在泰化高速公路施工中改制的钢管式双梁振动梁行走平稳，振平效果好。它是将两根直径 15cm，壁厚为 5mm 的加厚钢管用钢筋焊起来，管间净距 60cm，两钢管上分别加焊钢桁架，联成整体，使振动梁的刚度加大，重心降低。

3)做面

水泥混凝土路面的平整度、抗滑功能、耐磨功能的好坏关键在于做面，施工中必须高度重视。

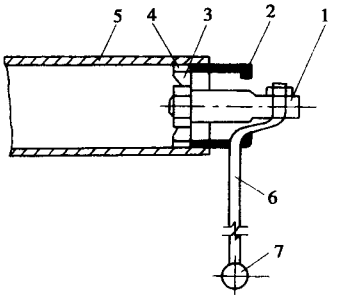


图 7-12　提浆辊构造示意图
1-牵引轴；2-推拉定位销；3-滚动轴承；4-端头板；5-无缝钢管；6-牵引推拉管；7-手把

(1)提浆刮平

振动梁振实后，立即采用提浆辊拖压滚揉，起到进一步的揉压、二次匀浆作用，一般沿纵向 3～4 次即可。遇到有个别露出石子处，要在原地反复滚动数次解决石子露头问题。经过滚压揉搓匀浆使表面有一层厚度 3～4mm 的滋润砂浆为宜，为做面准备。

提浆辊一般选用直径 15cm 钢管制作，其构造示意如图 7-12。

(2)抹面

提浆工序完成后，就可立即着手抹面修整工作，这是保证平整度，提高路面耐磨、抗裂的关键工序。这道工序可以用抹光机抹面或人工用木抹子抹面二种抹面方法。

①人工木抹子抹面

人工用大木抹子多次抹面至表面无泌水为止，用木抹抹面时每次应与上一次抹过的痕迹重叠一半。用 3m 直尺边抹边检查，并刮填不平之处，保证表面平整、接缝平顺。

②用抹光机抹面

采用普通手抹式抹光机只能起到局部平整作用，达不到要求的平整度。为此，利用改制的抹光机可以纵横向自动全幅抹平，一般每处横向抹平 3～4 次，纵向两次相接处抹平重叠至少 1/3，就可达到很好的抹平效果。抹光机抹平后，两人配合用精刮尺(用 6m 长方钢制成)沿横向来回刮动，将抹光机造成的砂浆棱消除。随后用 3m 直尺检查，不平整处用原浆找补。

改进自动抹光机的构造为：两根 I14 工字钢做成一个导向轨道，轨道可沿路面模板纵向滑动，把普通圆盘式抹光机焊上四个滑轮，置于导轨架上，抹光机上装上倒顺开关，使抹光机可沿导轨前进和退后。导轨外侧各边安上踏步，导轨上边焊上桁架增加导轨刚度。

③制作微观抗滑构造

经抹面使路面板表面光滑，不利于行车抗滑，一般应用毛刷垂直于路中线拉毛，使路面板表面粗糙些。

4)压槽(拉纹)

水泥混凝土路面板，光有微观的粗糙构造还远远不能满足抗滑的需要。还要构筑宏观的纹理，增加抗滑摩擦力保证行车安全，为此需压纹或刻纹。这里只介绍压纹(拉纹)。

(1)压槽

压槽是靠压辊自重，在做面后的面板上压出要求的横向槽纹。一般深为 1～2mm，宽为 3～4mm，凹槽间距以不等为好，槽纹应垂直于路中心线。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

压槽的时间不宜过早或过晚，过早会使压槽深，影响平整度，过晚压不进去，造成压纹过浅满足不了压槽纹理深度要求。一般凭经验掌握，以混凝土表面不泛浆，用手指按压有轻微硬感时压槽为宜。

(2)拉纹

面板表面纹理也可用专用工具拉出，根据面板对纹理要求的深度、宽度做一个耙齿，在抹面结束后拉成，见图 7-13。

(3)修整

压纹和拉纹后，混凝土面板上都会出现“毛刺”，这对平整度有不良影响。为此，上述工序后 10～12h 左右用平锹或水平刮尺沿横向铲刮一下，将突出“毛刺”铲刮掉。

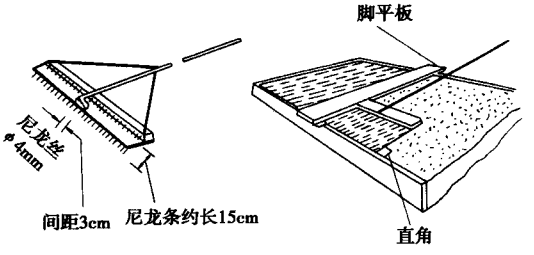


图 7-13　混凝土表面拉毛(槽)

4.做缝

水泥混凝土路面有纵缝，横向胀、缩缝，且数量较多。接缝正是水泥混凝土路面的薄弱环节。接缝质量的好坏，直接影响行车的舒适性和路面的使用寿命，因此，应加以重视，认真做好接缝施工。

1)纵缝

小型机具施工，路面的纵缝一般都按一个行车道宽度 3.25m 或 4.25m 设置，其纵缝为平接缝加拉杆或者是企口缝加拉杆的形式。

一般在施工第一幅时，在模板打孔立模后，浇筑混凝土前将拉杆放入孔内。施工时控制拉杆在第一幅板中的位置与长度，拆模时别摇动拉杆使面板在此处产生裂缝。在第二幅面板施工时，应调直拉杆并在第一块面板的纵缝竖直面上刷上沥青，施工时注意与相邻板接缝平顺。纵缝构造见图 7-14。

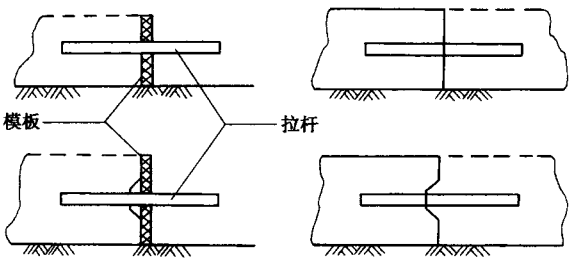


图 7-14　常用纵缝构造示意图

2)缩缝

混凝土面板的缩缝一般多采用在混凝土硬结后锯切，也可以在新混凝土面板施工时采用压入的方式成缝。切缝质量虽好，但切缝时控制不好切割时间可产生早期裂缝，造成断板，所以有时隔几条切缝做一条压缝以防止断板。

(1)切缝时间是否得当是控制断板的关键。一般切缝应在混凝土面板开始收缩，自由开裂前进行，即在 200℃h 或混凝土强度为 6～9MPa 时及时切缝。也可以以锯试切，切口无毛刺、无缺损为宜。

(2)切缝深度不宜小于 6cm 或 1/4 板厚，切缝应与路中心线垂直。切缝时，一定切到合适深度，切到边。缝宽以 5～6mm 为宜。

(3)为了避免断板，切缝时可先间隔跳切(以 20～30m 为宜)，然后在逐块切割。

压缝由于效果不好，这里不作介绍。

3)胀缝

胀缝是与路中心线垂直的缝，它的缝壁必须垂直，缝宽必须一致，缝中不得有砂浆进入，胀缝下部是胀缝板，上部贯胀缝填料，板中设传力杆，要求其位置固定，定向准确。

(1)施工终了设置胀缝

采用顶头端模固定的形式施工胀缝时,其传力杆长度一半穿过端模挡板,固定于外侧模板中如图 7-15 所示。混凝土浇筑前应先检查传力杆位置。浇筑时,应先浇筑传力杆下层的混合料并用插入式振捣器振实,并校正传力杆位置,再浇上层混凝土。浇筑邻板时先拆除端模板,并设置下部胀缝板、木制嵌条和传力杆套管。

(2)施工过程中设置胀缝(钢筋支架固定施工法)

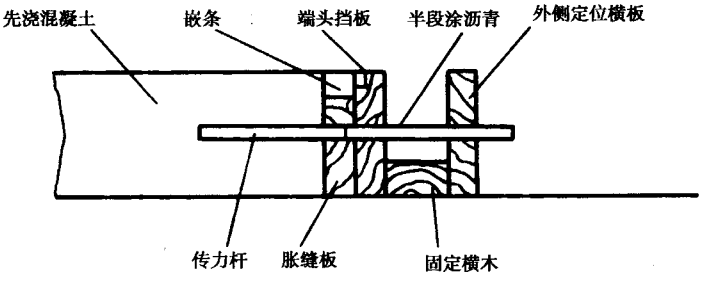


图 7-15 胀缝施工(顶头端模板固定)示意图

在一天的施工过程中需要设置胀缝时,应在设置胀缝的位置按图 7-16 所示形式固定传力杆。将传力杆长度的一半穿过胀缝板和端头板,并用钢筋支架将传力钢筋固定就位。浇筑时应先检查位置,再在胀缝两侧摊铺混凝土至板面。振实后抽出端头板,空隙部分填补混合料并用插入式振捣器振实。

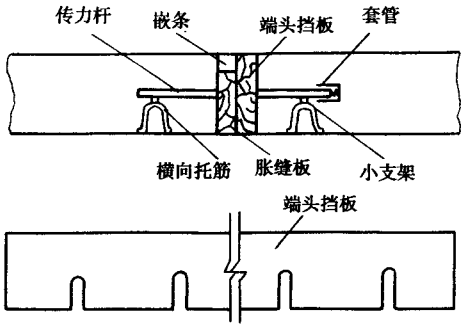


图 7-16 胀缝施工(钢筋支架固定示意图)

4)施工缝

施工缝是在一天施工结束后,或者是在施工过程中发生意外停工而设置的横缝,一般应设在胀缝处或者是缩缝处。多车道施工时,施工缝应避免设在同一横断面上。施工缝设在缩缝处,板中应加传力杆。其施工方法同胀缝施工。

5.养生、拆模、填缝

1)养生

混凝土面板表面修整以后就应养生,为的是避免混凝土的水分蒸发和风干产生收缩裂缝,另外还应控制和减小温差,避免面板产生温缩开裂,还应控制交通防止人畜的损坏。

养生早期宜采用防风雨和日晒的遮挡覆盖设施。当混凝土表面无泌水时,可以在表面喷洒薄膜养生剂,养生剂喷洒应纵横方向各喷洒一次以上,洒布均匀,洒量足够。

养生也可以采取洒水湿养,用湿草帘或麻袋片等覆盖表面,每天洒水 2~3 次。也可以土堰围水养生,水深 5~10mm,具体方法选择以经济适用为原则。养生期不少于 14~21d。

2)拆模

当混凝土强度达到设计强度的 25%以上时可以拆模,拆模时间可参见表 7-102。

拆模时间表　　表 7-102

昼夜平均气温(℃)	5	10	15	20	25	30 以上
最早拆模时间(h)	60	48	36	24	18	12

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

拆模时，应先拆支撑，然后向外慢慢撬动模板，切忌损伤面板边、角或是摇动拉杆造成板的拉杆处开裂。

拆下的模板应清除粘附在上面的砂浆，或修整涂刷隔离剂待用。

3)填缝

(1)清缝

水泥混凝土路面的填缝施工，不论使用那种填缝材料都要求先将胀缝内的嵌缝条取出，并把缝内的尘土、灰浆等杂物清理干净，特别是粘附在接缝壁上的灰浆影响填缝料与缝壁的粘结。清缝工作应用铁钩勾出缝内砂石，然后用 2.5MPa 压力的水把缝内灰尘自高向低冲洗干净，晒干后才可填缝。

(2)填缝施工

①高温填料施工。

加热施工式填缝料，如聚氯乙烯胶泥、橡胶沥青类等要求均匀加热，应采用双层加热锅加热，中间用石腊或耐高温机油作介质，两锅间距一般为 30 ~ 50mm，容积一般为 200 ~ 300L 为宜。

聚氯乙烯胶泥的灌入温度为 136℃ ~ 140℃，橡胶沥青为 100℃ ~ 170℃，滤去渣物后即可倒入预热填缝机内进行灌注施工。

填缝机工作时，前进速度与出料速度必须协调，使其均匀出料并灌到规定高度。填缝料一般比板面低 2mm ± 1mm，在填缝的同时边填边用铁钩来回勾动，使缝壁上残存的灰尘掺入填料中以增加与缝壁的粘结性。

施工要求气温应大于 15℃，气温过低时，应用喷灯将接缝预热以增加粘结性。

②常温填料施工。

常温施工式填料主要有：聚氨酯焦油类、聚氨酯类和聚氨酯沥青类等。

灌缝可使用填缝机，也可使用填缝枪。使用双组分填缝料时，应按规定把甲、乙两组分严格按规定比例倒入容器内，用人工或机械拌和至颜色均匀表面发亮为止，随即倒入填缝机或者填缝枪内进行填缝施工。如是单组分填料，可直接使用。填缝深度一般为 25 ~ 30mm，切割过深的接缝可用背衬料泡沫塑料或油麻绳塞垫缝底。填料高度比面板低 2mm ± 1mm。填缝以后随即用铁钩快速轻轻来回勾动一次，以增加粘结作用。施工中应保面板清洁，洒溢填料及时清除，再洒些水泥擦干。尽量保持面板色泽一致。

6.开放交通

养生期禁止通行，养生期达一个月后，就可开放交通。

四、施工注意事项

1)对基层的标高、路拱、平整度、压实度、强度应进行严格的检查验收，不合格不能铺筑，应处理至达到要求。

2)模板安置位置准确、稳定牢固，接头平顺，铺筑时基层清扫干净，充分洒水润湿和减小基层顶面的摩阻力(以防止早期开裂)。

3)拌和站的计量装置要定期校核，保证其配料的准确性，拌料时间一定要满足规定要求。

4)雨季施工

(1)要收集掌握气象资料。建立健全雨季施工组织，制定雨季施工具体计划和预防措施，

准备防雨材料、机具。

(2)保证拌和站、运输道路、铺筑施工现场和整个施工路线排水良好畅通。

(3)拌和站原材料不受水浸害,砂、石、水泥应具备防雨设施;砂、石料含水量发生变化时应及时调整配合比。

(4)铺筑现场应备有易移动的轻便工作雨棚,保证未做好的面板在初凝前不被雨淋。

(5)遇大雨或暴雨时应及时停工。施工中途遇雨时,铺筑完一块板后赶快停工。如施工不能停止时,必须有防雨措施,应保证施工质量和安全。

5)夏季高温施工

拌和、摊铺工地的气温大于等于30℃时,即为高温施工。当气温大于35℃时应停止施工。高温会促使水泥水化作用加快,水分蒸发加快,不易做面,而且混凝土板面易出现裂缝。所以高温季节施工时应采取以下措施。

(1)控制拌和混合料温度使之不超过35℃。不使用温度高于55℃的散装水泥。使用低水化热水泥,严禁使用早强型水泥。

(2)对砂石材料搭棚遮阳,洒水降温,尽可能的取料堆内部材料使用。

(3)对使用水降温,避免太阳直射贮水柜和水管,在贮水柜内放冰块,在贮水柜壁周设隔热层等。

(4)掺加缓凝剂,延缓初凝时间,使混合物保证适合的工作性能,并降低拌和稠度,使之易拌和,易出料,易振捣,易做面。

(5)对模板、基层洒水降温,并保证基层湿润状态。

(6)混凝土拌和后尽快运到现场,运时加遮盖,到现场及时摊铺,及时振捣,及时做面,及时养护,做面后及时盖临时敞篷。

(7)必要时设挡风墙,以降低吹到面板表面的风速,减少水分蒸发量以控制面板表面湿度。

(8)当白天日照强烈,气温高于35℃,夜间最低温度低于30℃时,应适当采取保温措施防裂。

6)冬季低温施工。

水泥路面施工操作和养护的环境气温等于或小于5℃或昼夜最低气温小于-2℃时视为低温施工。这时混凝土的水化速度慢,强度增长过慢,同时还会因结冰而受冻害。而且在低温季节施工时应有专门的低温施工的操作设计和养护措施。本文不作介绍。

7)施工时,一定要做好防日晒、风吹、雨淋的防护准备,保证施工顺利进行。

8)做面时,一定要控制表面提浆的厚度,应控制在3mm左右。为保证路面平整度和粗糙度,应按规定的操作规程作好拖毛压纹工作,特别掌握好压纹时间。

9)切缝是控制断板的关键,一定要按要求及时切缝。

10)养生期第一个星期最为重要,而前三天又是最关键的养生时间。因此,要抓好前期养生工作。

五、施工质量控制

1.质量标准

为保证水泥混凝土路面的施工质量,应对施工操作工序和工艺进行严格检查与控制。表7-103为水泥混凝土路面的质量标准。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

水泥混凝土面层质量验收标准 表 7-103

验收项目		质量标准和允许误差	检验要求		检验方法
			范围	点数	
抗弯拉强度		不小于规定合格强度	每天或每 200m³（400m²）每 1 000～2 000m³	2 组增 1 组	1.小梁抗弯拉试验；2.现场钻圆柱体试件校核
纵缝顺直度		15(10)mm	100m 缝长	1	拉 20m 线量取最大值
横缝顺直度		10mm	20 条缩缝	2 条	沿板宽拉线量取最大值
板边垂直度		±5mm，胀缝板边垂直度无误差	100m	2	沿板边垂直拉线量取最大值
平整度	路面宽 < 9m	5mm	50m	1	用 3m 直尺连量三次，取最大三点平均值
	路面宽 9～15m	5mm	50m	2	
	路面宽 > 15m	5mm	50m	3	
	高速公路	3mm			
相邻板高差		±3(2)mm	每条胀缝	2	用尺量
			20 条横缝抽量 2 条	2	
纵坡高程		±10(5)mm	20m	1	用水准仪测量
横坡	路面宽 < 9m	±0.25%	100m	3	用水准仪测量
	路面宽 9～15m	±0.25%	100m	5	用水准仪测量
	路面宽 > 15m	±0.25%	100m	7	用水准仪测量
	高速公路	±0.15%			用水准仪测量
板厚度		±10(5)mm	100m	2	用尺量或现场钻孔
板宽度		±20mm(1/2 000)	100m	2	用尺量
板长度		±20(10)mm	100m	2	用尺量，两缩缝间板长
板面拉毛压槽深度		1～2mm	100mm	2 块	用尺量

注：括号内数值为高速公路的允许误差。

2.混凝土原材料

混凝土使用的水泥、砂、碎石（砾石）、水、外加剂和钢筋以及拌制的混合料都要按规定进行检测试验，并作好检测试验记录，把好材料关。

3.钢筋混凝土板的钢筋网片允许误差（见表 7-104）

4.传力钢筋安装检测

传力杆应与面板平行并垂直于伸缩缝，其偏差不得超过 5mm，传力杆的间距偏差不得大于 10mm。

5.外观质量

钢筋网片的允许误差表　　表 7-104

项　目	允许误差(mm)	检测方法	项　目	允许误差(mm)	检测方法
钢筋网长度	±10	尺量	上下网片保护层厚度	±5	尺　量
网眼尺寸	±10	尺量	钢筋网片平整度	±50	拉线尺量
上下网片高度	±5	水准测量			

混凝土面板的外观质量可用看、敲、听的方法进行检查。

1)看是否有蜂窝、麻面、裂缝、断板、起壳脱皮、石子外露和缺边掉角现象,以及是否有麻袋、草帘等养生印痕。表面是否平整、不积水,纵横接缝是否顺直,胀缝是否联通不搭接,填缝是否饱满整齐和是否有污染路面。

2)雨后初晴时,刚建成路面表面潮湿或返潮者为好,否则不好。

3)用小铁锤敲过,发出清晰而响亮的"哨哨"声质量好,否则差。

4)用小铁锤敲击后,用裂缝观察仪检测发现敲击处四周有发丝裂缝时质量差。

第十一节　水泥混凝土路面轨道式摊铺机施工

高等级公路修建水泥混凝土路面,对平整度要求高,由于工程量大,要保证施工进度和工程质量,适宜采用机械化施工。水泥混凝土路面机械化施工时,除了要投资购置相当数量的配套设备外,还应具备一定的技术条件,主要是指施工人员的机械使用素质和相应的维修保养能力。下面结合河南 107 国道新庄至山彪段三、六标段使用德国 JUNIQR 型水泥混凝土摊铺列车施工实例,介绍水泥混凝土路面的轨道式摊铺施工技术。

一、工程概况

河南 107 国道新庄至山彪全长 56.518km。其中,一级公路长 47.055km;二级公路长9.463km。

一级路段为平原微丘区标准,路基宽 23m,其中行车道 2×7.5m,中央分隔带 1.5m,内、外侧路缘带 2×2×0.5m,硬路肩 2×1.75m,土路肩 2×0.5m,最大纵坡 2.6%,最小平曲线半径 1000m。路面底基层为 15cm 石灰土,基层为 15cm 水泥石灰土,面层为 24cmC30 水泥混凝土。

二级路段的路基宽为 15m,其中行车道 12m,硬路肩 2×1m,土路肩 2×0.5m。路面为沥青混凝土路面。

交通部第一公路工程总公司承建三、六标段共 20.825km。1988 年 3 月开工,1989 年 12 月 1 日提前竣工,经交工、竣工验收评定为优良工程,并获河南省金马奖和部优三等奖。使用德国 VQGELE 公司生产的 JUNIQR 型摊铺列车铺筑 19km 左右水泥混凝土路面。

二、施工工艺流程

轨道式摊铺机施工工艺流程见图 7-17。

三、施工准备

轨道式摊铺机施工的准备工作和小型机具配套施工一样也包括原材料质量检测与备料、混凝土的配合比设计优化与试调验证、基层的检验与修整等项工作;另外,还包括轨模安装。

1.原材的选择与质量检验

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

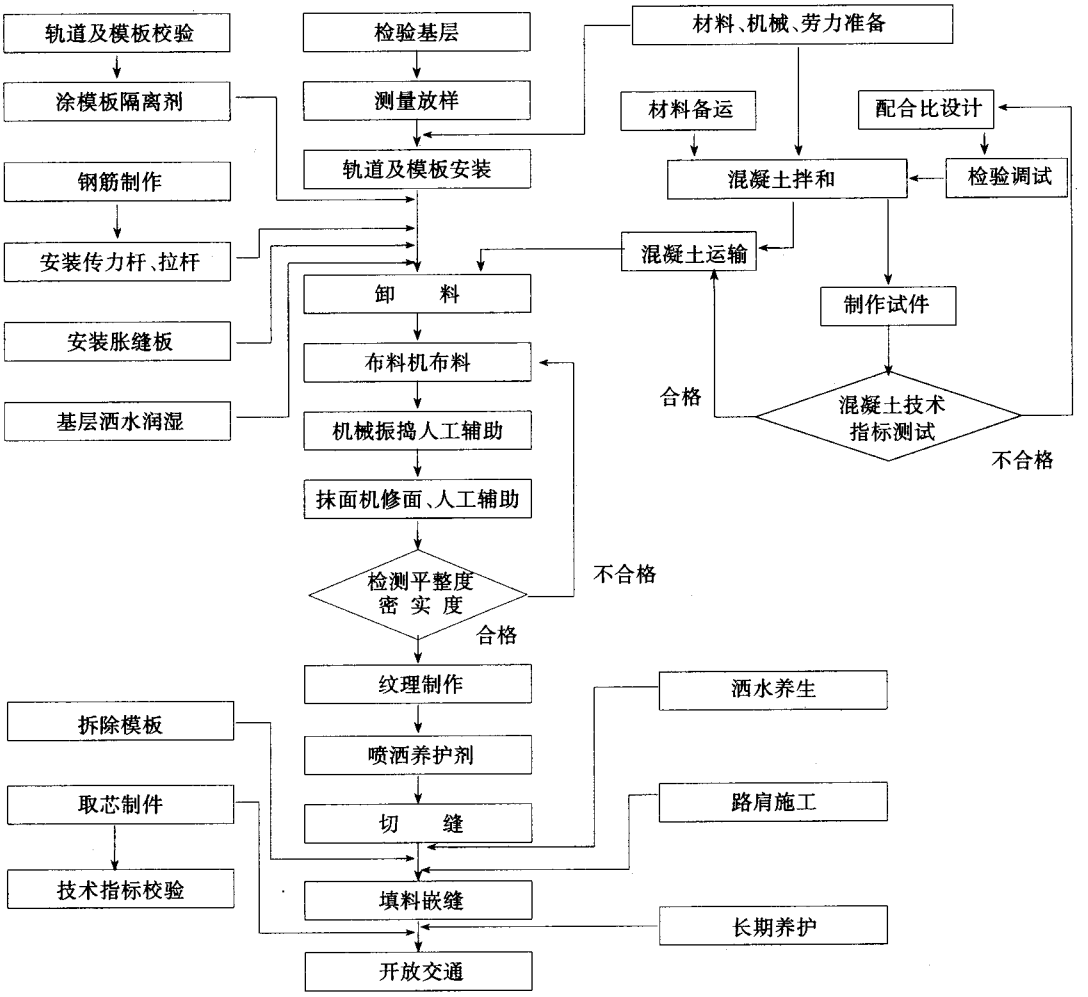


图 7-17　轨道式摊铺机施工工艺流程图

关于水泥混凝土路面的材料性能要求在小型机具配套施工中已作了介绍，这里不再赘述。现只将六标段选用材料验证的情况介绍如下。

1)碎石：选用辉县碎石，0.5～3cm 占 70%，2～4cm 占 30%，其各项技指标见表 7-105。

碎石的技术指标表　　表 7-105

项目	松方密度(10^3kg/m^3)	相对密度	含泥量(%)	空隙率(%)	压碎值(%)	针片状含量(%)	软颗粒含量(%)	有机质含量(%)	硫酸盐含量(%)	备　注
指标	1.482	2.633	0.8	43.6	8.2	10.08	4.2	0	0	级配符合要求

2)砂：选用逐平砂，各项技术指标见表 7-106。

砂的技术指标表　　表 7-106

项目	松方密度(10^3kg/m^3)	相对密度	含泥量(%)	空隙率(%)	细模度数	平均粒径(mm)	有机质含量(%)	SO_3 含量(%)	备注
指标	1.495	2.546	3	41.2	3.08	0.447	0	0	级配符合要求

3)水泥:选用李固水泥厂生产的强度等级为42.5的普通水泥。各项技术指标见表7-107。

水泥技术指标表 表7-107

项　目	细　度(80μm)	安定性	胶砂强度	初凝时间	终凝时间	备　注
指　标	筛余量不大于11%	煮沸法无异常,良好	≥水泥强度	2h 30min	4h 30min	

4)水:井水,中性 pH=7,不含 SO_4^{2-}。

5)减水剂:中州牌 NFA-B 型高效减水剂。

2.配合比设计与优化

轨道式摊铺机施工水泥混凝土路面的配合比设计和小型机具配套施工的配合比设计相同,在此不再重复,只把配合比设计结果做个简要介绍。

设计抗压强度为30MPa,抗折强度为4.5MPa,要求水灰比不大于0.45,水泥用量不大于320kg/m³。依此条件试配后,施工有困难,为此先后做了13组试件,经比较,选用的最佳配合比为:

1)质量比:水泥:砂子:碎石=1:1.71:4.19;

2)水灰比:$W/C=0.45$;

3)减水剂:NFA—13型,掺量为0.5%;

4)稠度为0.3cm;

5)每立方米混合料材料用量见表7-108;

每立方米材料用量表 表7-108

名称	水泥	砂	0.5~3cm碎石	2~4cm碎石	水	NFA—13型减水剂
数量(kg)	336.6	576.0	987	423	151.5	1.68

6)28d试件强度:

抗压强度　　$R_y=35.8\text{MPa}>30\text{MPa}$;

抗折强度　　$R_Z=4.7\text{MPa}>4.5\text{MPa}$。

该配合比坍落度偏小,施工时由1cm调至2~2.5cm。

3.基层的验收与修整

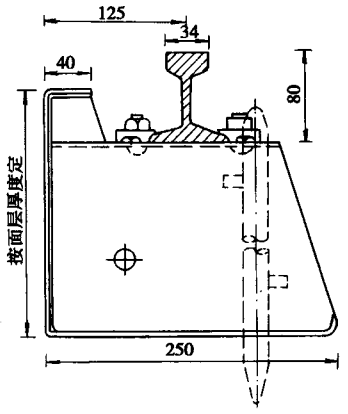


图7-18　轨道模板(单位:cm)

路面基层在做水泥混凝土路面前应按规定进行回弹模量或回弹弯沉值、压实度、厚度、平整度、标高、横坡高等的检测,其值应满足设计要求,否则应修整至符合要求为止。

基层达到要求后,再进行测量放样,放样方法与小型机具配套施工相同。

4.轨模安装

轨道式摊铺机施工的整套机械在轨道上移动推进,是以轨道为基准控制路面高程。由于轨道和模板同步安装,统一调整定位,将轨道固是在模板上,既作为水泥混凝土路面的侧模,也是每节轨道的固定基准座,详见图7-18。

轨道安装高程控制的精度,轨道是否平直,接头是否平顺,对路面平整度和行车性能有着密切影响,必须严加控制。其质量要求及安装允许误差应符合表7-109和表7-110的规定。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

轨道模板的质量指标　　表 7-109

项目	纵向变形	局部变形	最大不平整度(3m直尺)	高　度
轨道	≤5mm	≤3mm	顶面≤1mm	按机械要求
模板	≤3mm	≤2mm	侧面≤2mm	与路面厚度相同

轨道模板安装质量要求　　表 7-110

纵向线型顺直度	顶面高程	顶面平整度(3m直尺)	相邻轨、板间高差	相对模板间距离误差	垂直度
≤5mm	≤3mm	≤2mm	≤1mm	≤3mm	≤2mm

设置纵缝时，应按设计要求的拉杆间距，在模板上预先在拉杆位打孔，以便施工时插入拉杆。支拆模板由一名管理人员负责，约 18～20 名操作员即可。

轨道模板安装牢固后，应对路面铺筑厚度、几何尺寸进行校验和调整，混凝土铺筑前应在模板内侧涂刷隔离剂，并做好防止漏浆工作，上料摊铺前洒水润湿基层。

四、施工机械的选型配套

轨道式摊铺机械施工，是机械化施工中较为普通的一种施工方法。其施工程序与小型机具配套施工方法的程序相同，只是减轻了人工的劳动强度，各工序由一种或多种机械相应的工艺要求进行操作代替原小型机具或人工操作，大大提高了施工质量，特别是平整度得到了改善和提高。

轨道式摊铺机施工各工序可选用的机械见表 7-111。

轨道式摊铺机施工各工序可选用机械表　　表 7-111

工　序	可考虑选用机械	工　序	可考虑选用机械
混凝土拌和	拌和机、装载机、推土机、称量设备	表面修整	修面机、纵向表面修整机、斜向表面修整机
混凝土运输	自卸汽车、搅拌车	抗滑构造制作	拉毛机、压槽机、刻纹机
卸　料	侧面卸料机、纵向卸料机、直接卸在基层上	灌　缝	灌缝机
摊　铺	刮板式匀料机、箱式摊铺机、螺旋式摊铺机	养　生	洒水车、喷洒养生剂机
接缝施工	传力杆、拉杆插入机、切缝机、发电机		

各施工工序可以选择不同类型的施工机械，其生产率和工艺要求不同，因此，应考虑机械选型和配套。首先应对施工方式、施工质量、施工进度起主导作用的机械加以选择。决定水泥混凝土路面质量和使用性能的主要工序是混凝土的摊铺与拌和。只要把摊铺机械作为主要机械，把拌和机作为主配套来选择配套机械就抓住了问题的关键。

下面，结合 107 国道六标的情况说明机械的配套选择。

1.摊铺机的选型

107 国道六标根据当时工程情况，结合单位的经济能力选择了德国 VOGELE 公司生产的 JUNIQR 型混凝土摊铺列车，该机是以金属模板作为滑行基准的轨道式摊铺列车。它由三部分

组成，包括：布料机、振捣机、抹光机，故称之为摊铺列车。

该机主要技术性能：

柴油发动机额定功率 14.2kW；

摊铺列车摊铺宽度为 3.5～5m；

最大摊铺厚度 30cm；

摊铺速度 1m/min；

空驶速度 25m/min；

摊铺生产率为 60m/h。

摊铺列车在施工中，可一次完成混合料的摊铺、刮平、振捣、抹平、成型、磨光等工序的施工作业。

2.拌和机选型、配备

根据摊铺列车的生产能力，拌和站的拌和能力应与之匹配适应，拌和质量要好，要稳定。

1)混凝土拌和机生产率的确定

根据混凝土摊铺列车的摊铺速度、摊铺宽度和厚度，可以计算出要求拌和机的生产能力。在工程量和工期确定之后，就可以根据机械能力，确定应发挥哪种机械的最大生产能力，并配备具有相应生产能力的配套机械，才能保证工程质量并保证工期。根据摊铺列车的生产能力配备拌和站的拌和机，其生产能力用下式计算。

$$Q = HvA \tag{7-17}$$

式中：Q——混凝土生产能力，m^3/h；

H——路面板厚度，m；

v——摊铺列车的摊铺速度，m/h；

A——路面板摊铺宽度，m。

根据 107 国道六标段的情况，则每小时需要拌和混凝土：

$$Q = 0.24 \times 60 \times 4.25 = 61.2 m^3$$

2)选择拌和机型号、台数

107 国道六标原有阜新产 HZQ25 型拌和机一台，该机性能能满足水泥混凝土路面对拌和机的要求。因此，以该机型为对象补足生产能力。所需拌和机台数 N 按下式计算。

$$N = \frac{Q}{P\eta} \tag{7-18}$$

式中：P——拌和机的生产率，m^3/h；

η——实际生产系数，取 85%。

为满足摊铺列车的生产率，每小时需摊铺 $61.2m^3$，HZQ25 拌和机生产率为 $25m^3/h$，则

$$N = \frac{61.2}{25 \times 0.85} = 2.88 \text{ 台} \approx 3 \text{ 台}$$

该工程配置 3 台 HZQ25 拌和机，就可以使摊铺机和拌和机都充分发挥其生产效率。由于工程的工期不受路面层控制，实际配置了两台 HZQ25 拌和机就满足工期要求，只是生产中摊铺机没有充分发挥生产能力。

3.混合料运送车选型及数量

运送车辆的选型主要根据混凝土的运送量和运送距离来确定。实践表明，运距在 1km 以

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

内以 2t 以下小型自卸车较为经济；运距在 5km 左右时，以 5～8t 中小型自卸车运送为最经济。考虑在运送中水分的散失和混合料的离析问题，更远的运送距离以 $6m^3$ 拌和运输车为好。

107 国道六标施工中，根据单位拥有的车型，结合实际运距最大 5km，混凝土的坍落度为 1～2cm，使用龙江翻斗自卸汽车，在运送过程中可根据天气情况确定是否覆盖混合料运车。运送车数量 n 按下式计算。

$$n = \frac{\alpha\left[60\left(\frac{L}{V_1}+\frac{L}{V_2}\right)+t_m+t_n\right]}{t}\times N \tag{7-19}$$

式中：α——途中通行阻滞的安全系数，一般取 1.2～1.3；

L——运距，km；

V_1——自卸车运料速度，km/h；取 30km/h；

V_2——自卸车空回速度，km/h；取 35km/h；

t_m——倒车、卸料时间，min；

t_n——等待装料时间，min；

t——一台拌和机装满的时间，min；

N——拌和站台数。

107 国道六标段施工中，在两台拌和站的拌和情况下，自卸汽车每车装混合料 $3m^3$，配车台数见表 7-112。

自卸汽车配置表 表 7-112

运距(km)	1	2	3	4	5
车数(台)	4	6	8	9	10

4.卸料机械配置

混凝土运到工地铺筑处卸料时，如果基层上没有预先安置钢筋网、传力杆杆及其支架时，可以将混凝土拌和料直接卸在基层上。反之，则采用卸料机械，卸料机械如图 7-19 所示。

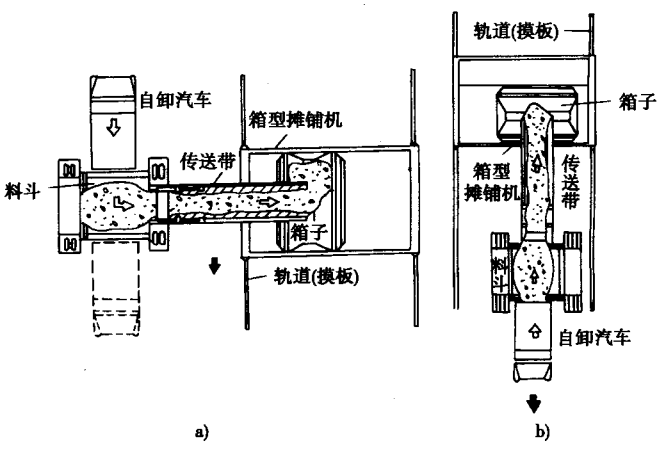


图 7-19 卸料机械

a)侧向卸料机；b)纵向卸料机

107 国道 6 标段采用的是直接卸在基层上的方式，没有选配卸料机。

5.混合料铺筑养生系统的机械配置

107国道六标以JUNIQR型摊铺列车为主导机械,还应配套以下机具:

纵向修光机	1台(未配,而用人工修光代替)
养生剂喷洒器	2台
纹理制作机	2台
调速调厚切缝机	2台
灌缝机	1~2台
移动式发电机20~25kW	1~2台
养生薄膜(0.3mm)	按需要定
插入式振捣器	4台
木抹	4把
4m直尺	1根
轨道模板	1 000m

轨道模板根据工作进度配备,并考虑拆模周期周转数量,一般日平均温度20℃以上按日进度的1倍配置,日平均温度在19℃以下按日进度的2倍配置。

6.拌和运输系统配置

107国道六标配置两台25m^3/h双卧轴强制式拌和站,拌和站的配置是未能满足摊铺机充分发挥生产能力的配置,但满足当时工程实际需要,不至造成投入过大的浪费。拌和站配备以下机具:

送料推土机	1台
供水泵	1台
发电机(外接电源)	1台
地中衡	1台
水计量泵	1台
散装水泥罐	2个

运输车同自卸汽车配置表数量。

合理的机械配套是重要的,主要应把拌和机与摊铺机,运输车辆之间配套好。当主导摊铺机造好后,应在保证其生产能力充分发挥的前提下,使拌和机的生产能力也得到相应的正常发挥。运输车应根据道路情况,运距长短等因素确定,以保证拌和、摊铺两不误,配足运力,使施工均衡、协调。

五、混凝土的拌和、运输与卸料

1.混凝土拌和

混凝土拌和质量决定路面的质量,龙其是机械摊铺的进度与面板的平整度、密实度很大程度取决于拌和质量,而拌和质量的好坏又与材料的规格、技术指标以及配合比计量的准确性有着密切的关系。因此,拌和站供料系统尽量采用电子称能自动准确称量各种材料。在拌和前应根据混凝土配合比要求,对水泥、水和各种集料的用量准确调试后,经试拌检验无误后才能正式生产。一般国产强制式拌和机,拌制坍落度为1~5cm的混凝土,最佳拌和时间,立轴式强制拌和机为90~180s,双卧轴强制拌和机为60~90s。最短拌和时间不得低于低限,最长拌和时间不得超过最短拌和时间的三倍。拌和过程中,外加剂应单独计量。各种材料的计量误差,

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

水和水泥不超过±1%，其他材料不超过±2%。拌和的投料顺序宜为砂、水泥、石子或石子、水泥、砂。进料后边拌边加水。

机械摊铺要求新拌混凝土的均匀性要好。一台拌和机械的每盘之间，几台拌和机之间的新拌混凝土之间的坍落度之差小于2cm。拌和混凝土的时间，以拌和均匀的最小拌和圈数来控制。一般双卧轴搅拌机拌和圈数按不小于25圈控制；立轴强制拌和机拌和圈数按不小于30圈控制。

107国道六标的拌和站使用的是2台阜新产HZQ25型拌和机，拌和站由拌和机、储料系统、配料系统、控制系统组成，搅拌过程全自动控制。拌和外加剂添加是事先称量，人工添加。拌和设备见照片图7-20。

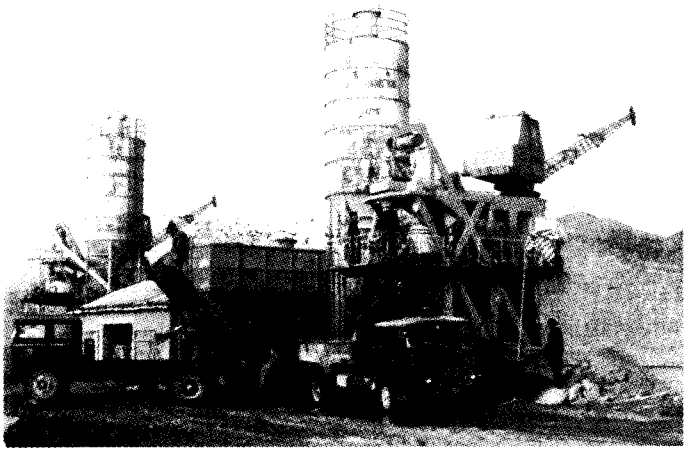


图7-20　107国道六标拌和站照片

2.混合料运输

混合料运输车辆的选型与数量前面已交待。为保证混凝土拌和物的工作性，在运输过程中，应考虑蒸发失水和水化失水以及在运输途中的颠簸和振动使混凝土产生离析。107国道六标采用3m³的龙江自卸车，除要求把运输道路维护好外，还在混合料上加盖防止水分蒸发。运输的最长时间按表7-113所列时间控制，为施工操作留足时间。

出料到浇筑完毕最长时间　　表7-113

施工气温(℃)	允许最长时间(h)	备　注	施工气温(℃)	允许最长时间(h)	备　注
5~10	2	气温指日平均气温	20~30	1	
10~20	1.5		30~35	0.75	

3.卸料

1)侧向卸料机卸料是在路面铺筑范围外操作，自卸汽车不能进入路面铺筑范围，需要有专供卸料机和运输汽车行驶的道路。

2)纵向卸料机卸料可在铺筑范围内操作，由自卸汽车后退供料，因此基层上不能预先设传力杆及其支架。

3)纵向汽车直接将料卸在基层上，供布料机布料，基层上也不能预设传力杆及支架。卸料时应将一车料分卸成几小堆，有利于布料和减小离析。107国道六标就是采用此法卸料。

六、混合料的摊铺

混合料的摊铺是把倾卸在基层上或摊铺机箱内的混合料，按摊铺松铺厚度均匀地填满模板范围内。摊铺机分为刮板式、箱式和螺旋式。

1.刮板式摊铺机

107国道六标选用的是刮板式摊铺机，该机能在模板上自由地前后移动，在前面的导管上左右移动。刮板能自由转动，能将卸在基层上的混合料堆刮向任意方位。刮板式摊铺机布料如图7-21所示。

这种叶浆式的布料机摊铺刮板的底面高度调节到与振动梁前沿保持在同一高度，即等于松铺厚度。通过试验，六标段松铺系数为1.22～1.25，板厚 h = 24cm，其松铺厚度为29.3～30cm。照片图7-22为摊铺机在107线六标的施工作业情况。

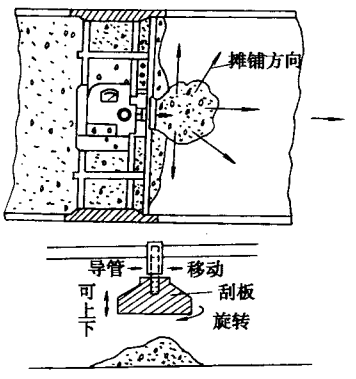


图7-21　刮板式摊铺机作业图

图7-22　107线六标段摊铺机作业照片

2.箱式摊铺机

混凝土通过卸料机纵向或横向把料卸在箱内，箱子在摊铺前进时，横向移动，同时箱子下端按摊铺松铺厚度刮平混合料。其工作过程如图7-23所示。

3.螺旋式摊铺机

螺旋式摊铺机是由能正反方向旋转的螺旋杆(直径为50cm)将混合料摊开，螺旋杆后面有刮板，可以准确调整高度，其摊铺系数在1.15～1.30之间，见表7-114。摊铺系数与混合料配合比、集料粒径和坍落度有关，主要取决于坍落度。为使摊铺均匀平整，螺旋式摊料机前始终保持有5～15cm的混合料堆积，以保证摊铺中有足够的找平混合料。其工作过程如图7-24所示。

摊铺系数　　表7-114

坍落度(cm)	1	2	3	4	5
松铺系数	1.25	1.22	1.19	1.17	1.15

无论使用哪种摊铺机摊铺，都应保证摊铺的均匀性和平整度。要控制好松铺厚度，这是摊铺混合料的关键。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

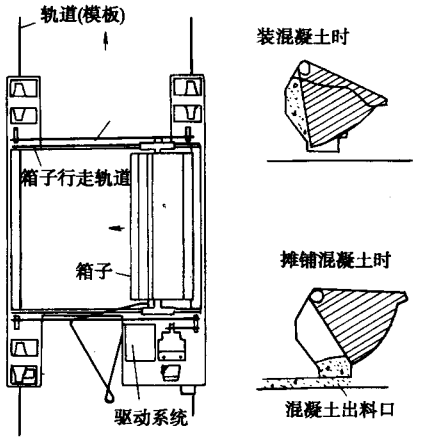


图 7-23　箱式摊铺机作业图

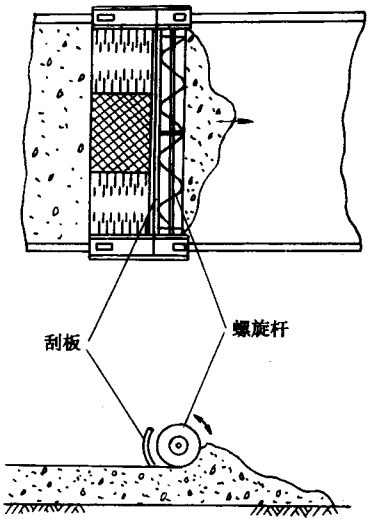


图 7-24　螺旋式摊铺机作业图

七、混凝土的振捣

混凝土振捣机是紧跟在摊铺机后面,对混凝土进行再一次整平和振捣的机械。

1.振捣机

国道 107 线六标使用振捣机构造如图 7-25 所示。

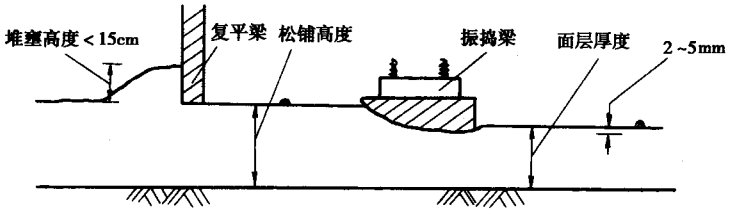


图 7-25　振捣机构造示意图

在振捣机前方设置一道与铺筑宽度同宽的复平刮梁,其作用是补充摊铺机初平的缺陷,使松铺混凝土在全宽范围达到正确的高度。这是与振实密度和路面平整度直接相关的。其后是一道全宽的弧面振动梁施振,以表面平板式施振,把振动力传到全厚度。振捣机采用振动频率在 50 ~ 100Hz 之间的低频振捣。107 国道六标段使用的频率为 75Hz,能满足振捣要求。这种低频振捣是以集料接触传递振动能量的,振捣梁的弹性支承使施振时具有弹压力。布料的均匀和松铺厚度一定要控制好,并且复平梁前面一定要堆塑有确保充满模板的少量余料,一般不超过 15cm,过多会加大复平梁推进阻力。弹性振捣梁通过后,混凝土已全部振实。其后部混凝土应控制有 2 ~ 5mm 回弹高度,这是提出的砂浆,使整平工序能正常进行。

国道 107 线六标使用的振捣机的振子位于梁中部,其振捣力中部强,两边弱,中间易振捣密实,两边不易振密。通过试验路的观察和试验检测,两边拆模后发现蜂窝麻面,密实度只有中间部位符合要求,而两边达不到要求。因此,在布料摊铺后,振动梁振动之前,增加两个插入振捣棒作为两边的辅助振捣,振捣范围为 1.3 ~ 1.5m,同时还配备了 4 人随振捣梁辅助找平调整用料量。通过人工辅助振捣和调整用料的措施,使混凝土板全宽的密实度、平整度均达到要求。

2.内部振动式振捣机

内部振动式振捣机是用并排安装的振捣棒插入混凝土中,由内部进行振实。其振捣器一般安装在有轮子的支架上,可在轨道上自行或机械牵引进行振捣工作。振捣棒分直插式和斜插式两种。

八、混凝土表面的修整

振捣密实的混凝土必须进一步整平、抹光,以获得平整光洁的表面。混凝土的表面修整采用修面抹光机。修面抹光机有纵向移动和斜向移动两种。斜向移动修面机修面是通过一对与机械行走轴线成10~13°的整平梁作相对运动来完成的,其中一根整平梁为振动梁。工作情况如图7-26所示。纵向移动修面机修面是整平梁在混凝土表面沿纵向滑动的同时,还要横向往返移动,由于机体前进而将混凝土板表面整平。其工作情况如图7-27所示。107国道使用斜向修面机施工,人工辅助修整,如图7-28所示。

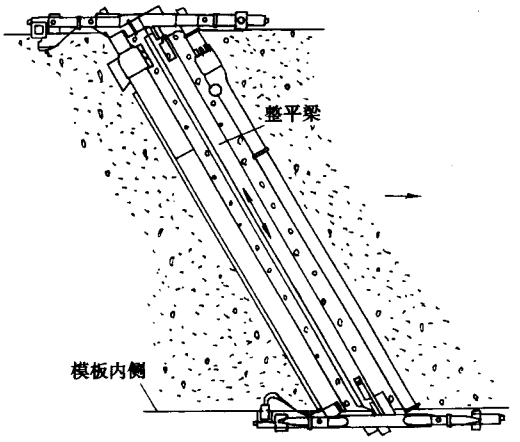


图7-26 斜向修面机作业示意图

使用修面机施工,具体操作应注意以下几点。

1)在修整时,及时清扫轨道顶及模板面,保证机械能顺畅平滑通过,其工作速度应根据混凝土工作性能和机械特性等确定。

2)平整修面时,应使整平机前的壅料涌向路面横坡高的一侧,必要时辅助人工抹面。

3)抹面工作质量与混凝土坍落度有密切关系,应严格控制混凝土坍落度。六标的施工经验是:最佳坍落度控制在1.5~2.0cm;气温在24~28℃时,应保持1.5cm的坍落度;高温天气中午10~16点,坍落度以控制在2.0cm为宜;16点以后应控制在1.5cm。坍落度太小会出现麻面,但超过2.0时也会出现明显的表面不平。

4)面板表面整修后应保证致密,无露骨和不平现象,其提浆厚度宜控制在3~5mm内。

5)精光工序是对混凝土表面进行的最后的精工操作,能保证混凝土表面更加致密、平整、美观。本应采用纵向修光机来施工,107国道六标未引进该机械,改用人工来代替,所以辅助人工光面,其效果比用机械差。无论是人工作业还是机械作业,均不得采用洒水、撒干水泥等非正常操作。

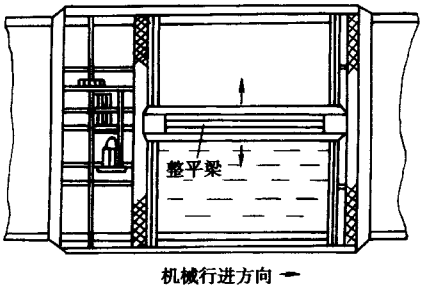


图7-27 纵向修面机作业示意图

6)如果在施工时,碰上阵雨天气,混凝土还未收浆就被雨淋坏,表面出现砂面时,可用抹面机开二档位快速行进把水赶净,再抹出水泥浆恢复原来的状态,会取得较好的效果。

九、混凝土路面的纹理制作

水泥混凝土路面上的纹理是行车安全保证的必要措施,施工时在保证平整度的前提下,可以采用压纹或拉槽方式制造,也可等混凝土板硬化后用刻纹机刻出。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

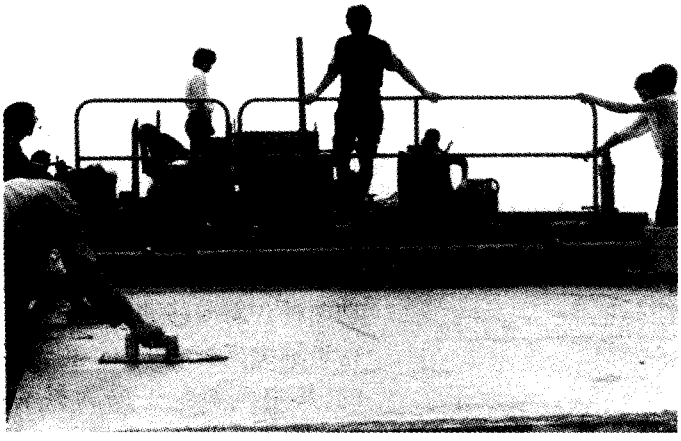


图 7-28　斜向修面机作业照片

1.纹理要求

1)压纹、拉槽的深度一般为 1～2mm,纹宽 3～4mm,间距为 20mm。

2)纹理的走向应与路面前进方向垂直,横向相邻板的纹理互相沟通以利排水。

3)纹理制作应保证平整度的要求。

2.制作工艺

压纹(拉纹)制作工艺与小型机具配套施工的方法相同,请见有关部分介绍。

3.刻纹

使用硬刻槽方式制造宏观抗滑构造的几何尺寸要求是:槽深 2～3mm,槽宽 3～5mm,间距 5～25mm,最小整刻宽度 50cm。硬刻宜在摊铺 3d 后开始,两周内完成。具体施工见图 7-29 和图 7-30。

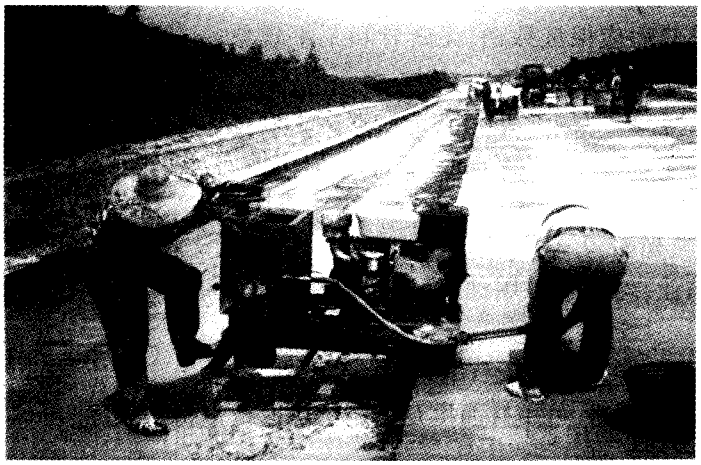


图 7-29　压纹作业照片

轨道式摊铺机施工水泥混凝土路面的养生和接缝施工的质量标准与小型机具配套施工大同小异,请见有关论述。

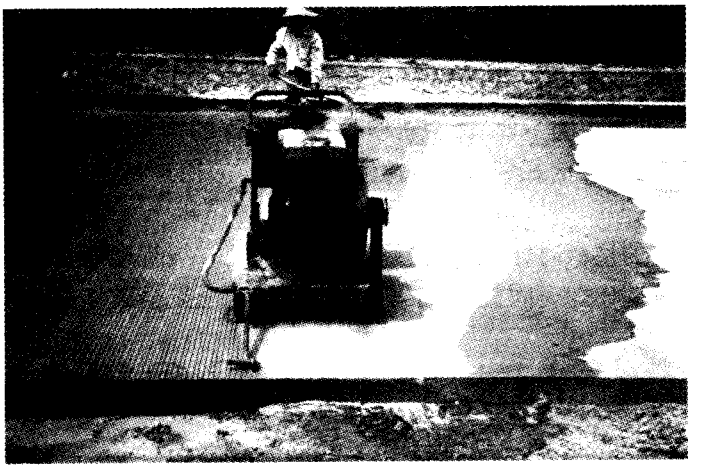


图 7-30　刻纹作业照片

十、施工特点及注意事项

1.施工特点

1)轨道模板施工水泥混凝土路面是机械化程度较高的施工,比人工摊铺快 3 ~ 4 倍,而且劳动强度比人工施工又有很大降低。

2)轨模施工的路面质量好,但是保证施工质量必须在基层质量、轨模安装质量、混合料拌和运输质量好的前提下,还应及时地、认真地做好有关辅助工作,如压纹、养生、锯缝防裂等。如有那项工作不及时、不到位都会给路面质量带来不良影响。

3)由于轨模施工生产率高,为不使摊铺工作受到影响,应该配足拌和能力和运输能力,必须提供足够基层作业面和周转轨模,否则将不能发挥高效率的施工。

4)轨道模板一般只能进行一种宽度和厚度路面板的施工。

2.施工注意事项

1)轨模是标高和横坡控制的基准,安装轨模时应严格控制,固定要牢固,接缝要平顺,行走轨道的接头一定要平顺,施工中应及时清扫轨顶撒落物。

2)基层在上料前必须洒水湿润,但水不能过多而成积水,也不能没洒到,而留有干的表面。

3)拌和时材料用量一定要准确,不能超出允许误差,应根据施工的气温调整拌和物坍落度,以保证摊铺修面的需要。

4)自卸汽车卸料,一定不能把一车料卸成大堆,应卸成几小堆,以缩小刮料摊铺后料堆内与料堆外松铺密度差别,也便于刮料摊铺和减少离析。

5)由于拌和物的坍落度小,一般 1.5 ~ 2.0cm,刮板摊铺的料,料堆下密度大,刮铺范围(靠近模板 1.3 ~ 1.5m 范围内)密度小。因此,配插入式振捣器和人工辅助振捣边部 1.3 ~ 1.5m。另外,由于振动梁振子在中部,对板边振捣力也有所减弱,边部加配人工辅助振捣是必不可少的。

6)由于混凝土拌和物坍落度小,斜向移动修面机修面后,会出现局部麻面,应配纵向移动修面机再精光面一次,在没配精光机时应配人工进行修整工作。

7)自卸车卸料的料堆处,松铺密度比其他地方大,混合料的坍落度又小,有可能出现多料现象,振动梁在此处振动困难。也有地方出现缺料现象,需配人工辅助挖料或补料。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

8)混凝土的提浆厚度宜控制在3~5mm以内,不应过少或过多。

9)掌握切缝时间,及时切缝,防止断板。如切缝时还未拆模,板缝切不到边,应在拆模后及时补切到边。否则,未切到边的地方板角会开裂。

10)纵缝施工时,先施工的一块,由于轨模顶有一2cm的圆弧,因此,拆模后缝边会留下一块薄弱多余的三角混凝土伸向相邻板内。施工相邻板时应用锯将其切除,保证纵缝顺直,而不致出现不规则的裂缝。

11)拆除带有拉杆的模板时,应严加注意,否则会因拉杆被扰动使受拉处的板产生裂缝。

12)压纹应准确掌握作业时间,过晚压不出纹理,过早压纹会破坏平整度。

第十二节　水泥混凝土路面滑模摊铺施工

1999年7月路桥集团第一公路工程局南方公司承接了京珠高速公路湘潭至耒阳段第十合同(K132+850~K148+092.5)15.2km水泥混凝土路面施工工程。该工程采用滑模施工技术,通过这项工程实践,证明了滑模施工质量高,进度快。下面以湘耒高速公路施工实例介绍水泥混凝土路面的滑模施工技术。

一、工程概况

京珠国道湘潭至耒阳高速公路为双向四车道,路基宽28.0m,设计行车速度120km/h。其主线路面结构为26cm水泥混凝土面层,15cm水泥稳定砂砾基层,17cm水泥稳定砂砾底基层。

混凝土路面宽2×11.75m,每幅路面分两次摊铺,先摊铺主板8.25m,再摊铺3.5m宽的边板。

路面混凝土设计抗弯拉强度为5.5MPa,抗压强度为40MPa,路面板厚为26cm,路面平整度3m直尺检测要求3mm以下大于95%,颠簸累计仪测定$\delta \leqslant 1.5$mm。路面每半幅划分为三块板,半幅混凝土板宽为11.75m,按从中到边的顺序,混凝土板块的宽度依次为4.5m、3.75m、3.5m,板长为5.0m。横向缩缝按正交切缝,所有缩缝均插入传力杆,采用的方式为预制钢筋支架法。纵向缩缝及纵向施工缝均设置ϕ16mm的拉杆。另外,填挖交界处以及半填半挖处(高度大于3m),混凝土路面采用单层钢筋网补强。在软基路段使用重配筋的连续钢筋混凝土路面。

基层采用6%水泥稳定砂砾,底基层采用4.5%水泥稳定砂砾。使用厂拌法拌和混合料,机械摊铺成型。基层顶面用沥青封层防水。

二、施工组织

滑模施工,机械化程度高,施工进度快,工程质量好,其施工组织管理必须严密科学。否则,将由于管理失调造成不良后果。

1.滑模施工工艺流程

水泥混凝土路面滑模施工的施工组织必须根据施工工艺流程的要求来进行。其施工工艺流程见图7-31。

工艺流程框图中,最关键的施工工序在框图的中轴线上,对这些工序所对应的各项施工工艺应强化施工组织和管理,只有通过细致严密的科学管理,才能使滑模摊铺施工技术发挥出强大的高质快速的效果来。

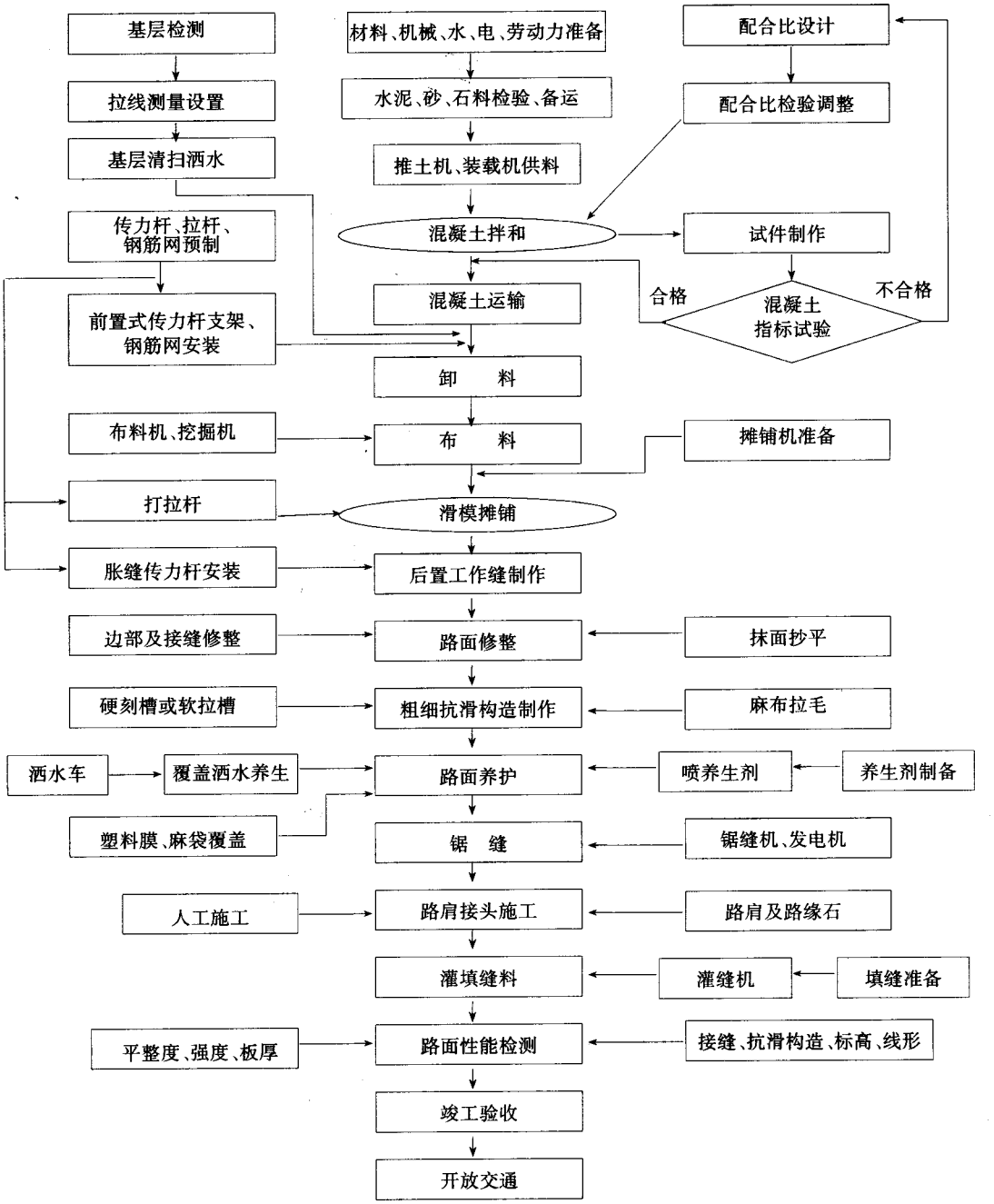


图 7-31　水泥混凝土路面滑模施工工艺流程图

2.强化组织管理

滑模摊铺水泥混凝土路面是一种现代化大规模快速机械施工混凝土路面的新技术，其施工质量和效率都很高，相应的对于其施工组织管理的水平要求也很高。必须建立强有力的组织机构，将人员、材料、机械通过科学的管理机构，组织成一个统一高效的施工系统，才能在预定工期和投标预算范围内保质保量地完成施工任务。湘耒高速公路十合同项目采用了以下的施工组织管理方法。

1)建立高效权威的施工指挥调度机构

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

从施工前期准备工作中就必须建立高效权威的施工组织指挥调度机构即项目经理部。首先是确定指挥机构的负责人即项目经理和总工,形成对工程项目的全过程质量、人员、材料、机械、财务、安全等的科学管理。施工期间,要有职责明确、反应快速的常设调度室和值班经理来指挥生产。

2)建立快速反应的无线电通讯系统

在施工现场,运输车辆、材料供应和搅拌站之间的生产指挥,依靠现代化的无线通讯手段,建立了一套完整的无线电通讯系统及报告、联络和会议制度。

3.人员组织与工作内容

一个大型滑模摊铺水泥混凝土路面施工系统大约需要 140 ~ 170 人左右,包括施工人员、机械手、管理和服务人员。每个人都要充分发挥各自的作用,必须建立分工和职责明确的分管机构及分级目标管理责任制。项目经理部建立以下一些分管机构去加强管理。

1)滑模摊铺机组

由机长或值班机长负责指挥,主机手、副机手和辅助人员进行滑模摊铺施工操作、清洗、保养、加燃料及润滑油、加水、调整和监视传感器及摊铺机各工作机构的工况,包括机械打拉杆和传力杆。约需要 4 ~ 8 人,一班工作用至少 4 人,两班工作用 8 人。

2)现场施工班

有前台工长负责指挥车辆卸料,人工或机械布料,胀缝支架,缩缝支架,桥头双层钢筋网的运输、安装,路面修整,接头的人工施工,拉毛,锯缝,喷养生剂,发电,油料、水供应等人工辅助的工作。由于没有配备布料机和拉毛养生机,一班工作约需 50 人。

3)测量班

由测量组长负责,主要任务是提前完成预计施工段拉线测量和设置安装,配置水准仪两台、测杆若干根、1km 左右双侧拉线和拉线桩。同时完成基层的交工复测、中桩和线形的恢复测量以及滑模摊铺水泥混凝土路面各几何参数的自检。需要 5 ~ 6 人。

4)搅拌站

由站长负责管理和调度各搅拌楼、装载机、推土机、水电供应、钢筋构件加工制作及装车。需要 30 ~ 40 人。

5)车队

自备或租用运输车辆时,由车队长负责混凝土运输、砂石料运输、现场供水、供油、养护剂、钢筋等进出运输。在车队设立保养维修服务组,负责车辆和各种施工机械的维修保养。需要 30 ~ 40 人。

6)试验室

由试验室主任负责各种施工原材料的进场检验,混凝土配合比、稠度、抗折强度控制及检验,混凝土路面的钻芯(板厚、劈裂强度)检验,路面平整度检验,外加剂剂量控制和配制,出具各种材料及工程质量的自检报告。需要 6 ~ 8 人和齐全的水泥和混凝土试验室设备及标准养护室。

7)材料供应

设专人负责水泥、钢材、砂石料、燃料、外加剂、辅助材料和各种电气、机械易损件、备件的供应。水泥设专人负责联络,视施工进度保证及时供应。砂石料、水泥、钢筋等大宗物资由磅站负责称量控制。工地配备电气机械备件库和水泥库,严格材料、备件进出手续。由 5 ~ 8 人组成材料供应组。

8)生活及保卫

食堂及保卫人员负责做饭、送饭及工具、机具、机械、物资、材料的安全。约需10人。

通过滑模摊铺机械施工实践,不断提高工人、技术和管理人员的技术素质和水平,关键岗位需要高素质的人员负责和操作。如滑模摊铺机、大型混凝土搅拌楼、车辆、试验室等,人员必须经过培训方可上岗。培训方式灵活多样,集中培训与现场培训结合,效果较好。另外,明确规定,未经培训的人员不得上岗操作。

4.主要施工机具配备

滑模施工机具选型配套有一个应遵循的原则,这里不作介绍,只将湘耒高速公路十合同的机具配套配备列于表7-115中。

主要机械和机具配套 表7-115

项 目	名 称	机型及规格	数 量	备 注
钢筋加工	钢筋截断机	砂轮切割	1台	
	钢筋折弯机或工作台		2台	
	电焊机		4台	
测量放样	水准仪		3台	
	全站仪		2台	
	线桩		200个	
	拉线		2 000m	
拌和	强制搅拌设备(ORU)	160m³/h	1台	增加1台更好
	装载机	ZL50、ZL40	共2台	
	发电机	100kW、200kW、300kW	共3台	
	供水泵或蓄水池	每小时供水50~70m³	日供水量≥300m³	
	外加剂池	9m³	4个	
运输	自卸卡车	4~12m³	按施工条件定	
摊铺	布料用挖掘机	0.6m³、0.8m³	2台	未配布料机,挖掘机代替
	滑模式水泥混凝土摊铺机	按施工条件定 wirtgen SP850 SP500 GOMACO GP2600	各1台	购置1台不能按期交货,租用1台
	人工拉毛行走板、齿耙	自制	3套	
	锯缝机	国产	4台	
	水磨石磨机	国产	4台	
	移动发电机	40~60kW	5台	
	工作缝及胀缝支架	稳固固定传力杆	按需要定	
养护	养护剂喷雾器		4台	未配喷洒机,喷雾器代替
	洒水车	4~6m³	2台	
	塑料薄膜、旧麻袋		按需要定	

三、施工准备

施工准备工作是工程施工必不可少的,滑模施工水泥路面更为重要。施工的前期准备工作主要包括拌和站设置,现场试验室设置和配合比设计,原材检验进场,施工机械设备检修调

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

试，基层的检测验收放样，通讯指挥系统的建立，人员培训和技术交底等工作。

滑模摊铺水泥路面施工每天的准备工作包括施工前台准备工作和施工后台准备工作。

(一)施工前期准备工作

1.技术准备

审查熟悉图纸、设计文件和有关施工技术规范，编制施工组织设计，进行技术交底。

2.拌和站的设置

1)拌和站宜设置在摊铺路段的中间位置，拌和站内部布置应满足原材料储运、混凝土运输、供水、供电、钢筋加工等使用要求，并尽量紧凑，减少占地。拌和站应安装在原材料堆放的上风头。确因地形等条件限制，砂石料场面积不足时，可在拌和站附近设置砂石料储备转运场。湘耒十合同拌和站因设置条件限制，只能设在起点的一端，最远运距为 18km 多，拌和站照片见图 7-32。

图 7-32　拌和站照片

2)混凝土拌和站应解决搅拌、清洗用水的供应问题，并确保水质。水源供水量不足不稳定时，拌和站宜设置体积不小于 500m^3 的蓄水池，所蓄的水量应能至少满足半天以上的滑模施工需要。施工沿途缺少水源时，拌和站还应解决养生用水。

3)混凝土拌和站应保证充足的电力供应，可就近从电网取用电力。为避免停电影响施工及生产，应自备发电机。电力总容量应考虑全部施工用电、夜间施工照明及生活用电的需要。配电房或发电机应设在地势较高处或架高设置。

4)离加油站较远的工地应设置油罐或油料储备库，确保滑模摊铺机、运输车辆及发电机等动力设备的燃料供应，并能保证其防火防盗安全。

5)施工前应储备正常施工一个月以上的砂、石料。料场应建在地势较高、排水通畅的位置，其底部应采用胶凝材料处理或水泥混凝土硬化处理，严禁料堆积水和泥土污染。不同规格的砂、石料之间应有隔离设施，严禁混杂。

6)在冬季、雨季和热天施工条件下，应在砂、石料堆上架设防雨、防雪、隔晒顶蓬或覆盖帆布，覆盖材料的数量不宜少于正常施工时 10d 的用量。

7)拌和站原材料运输与混凝土运输车辆不应相互干扰，应设置车辆进出道口的环形道路。每台或每两台安装在一起的拌和站应设相对独立的运料进出口，并有临时停车场。拌和站下装车部位应采用混凝土铺筑 20cm 厚的路面，并应设置清洗污水排水沟、积水渗水坑或可清洗

拌和站的废水处理回收设备，确保满足环保要求。

3.现场试验室的设立及配合比设计

施工工地应建工地试验室，提供足够的试验、养生、办公场所。配齐试验人员和满足试验精度要求的仪器。现场试验室主要对原材料进行调查、检测，定期抽检、分析、设计、调试混凝土配合比，控制混凝土拌和物的工作性，对抗弯拉强度、平整度、厚度、抗滑构造深度进行检测并提供自检报告等。

1)试验室配置

湘耒高速公路十合同试验室配备了试验人员 8 人，试验办公场所 70 多 m^2，在原有公路桥涵水泥混凝土试验设备的基础上，新购了以下试验设备，见表 7-116。

湘耒高速公路十合同新购试验设备表 表 7-116

设备名称	规格	单位	数量
雷式夹、雷式夹测定仪		套	1
水泥标准养护箱	HBY—B40	台	1
天平	MP—110(最小读值 0.01g)	台	1
天平	ES—5000(最小读值 1g)	台	1
天平	ACS—15(最小读值 5g)	台	1
振动式标准筛机	ZBSX—92A	台	1
强制式单卧轴混凝土拌和机	BJD—60 型	台	1
混凝土振动台	ZHV—A 型	台	1
混凝土贯入阻力测定仪	HG—80 型	台	1
混凝土含气量测定仪	GQC—1 型(改良法)	台	1
混凝土维勃稠度仪	HCY—A 型	台	1
混凝土钻芯机	HZ—15 型	台	1
混凝土抗折强度试验机	YE—1000 型	台	1
自动控制标养室		个	1
3m 直尺、塞尺		套	1
抗滑检测仪:人工铺仪		套	1

2)路面混凝土配合比设计

滑模施工的混合料配合比设计步骤与其他方式施工的混合料配合比设计步骤相同。由于滑模施工的特点，对新拌混合料有最优工作性的特殊要求。因此，配合比设计就有一定的特点。

(1)配合比必须满足的基本技术要求

①满足道路面板抗弯强度要求。

②满足道路面板耐疲劳性的要求。

③由于面板接缝多，要求具有小变形量性能，有利于防止路面板破坏。要求混凝土有较低

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

的弹性模量，干缩温缩变形小。

④满足道路面板耐久性要求。

(2)混凝土工作性要求

①路面混凝土应振捣密实，不能出现蜂窝麻面，对新拌混凝土应有最大的振动粘度系数和最小的坍落度要求。

②混合料在经滑模摊铺过后，应不塌边流角，边部平整度和侧面垂直度保持良好。对新拌混合料应有最小的振动粘度系数和最大的坍落度要求，见表 7-117。

滑模摊铺机施工最佳工作性允许范围 表 7-117

项　目	振动粘度系数 ($N/m^2 \cdot s$)	坍落度(cm)		行走速度 (m/min)
		碎石混凝土	砾石混凝土	
最佳工作性	150～500	2～4	3～6	1～1.5
允许范围	100～600	1～5	2～7	0.5～3.0
稳定性要求	300±200	3±2	4±2	正常 1.5±0.5

(3)滑模摊铺机对新拌混凝土的要求

①流动性：有良好的流动性，施工时摊铺的阻力要小，在高频振捣作用下易于液化，便于成型。

②粘聚性：具有抵抗形变保持形状的能力，在运输过程中及摊铺作业中不离析，不分层，摊铺后成型良好，密实无麻面、不塌边、不泌水、不裂纹。以上两条要求相反，这就需要新拌混合料具有良好的触变性，既要有良好的和易性、流动性，又要有足够的粘聚力，以获得优良的摊铺性能，令两者统一起来。“触变”性能，是指混凝土在外力作用下，流动性迅速增加，混合料内部剪应力明显减小，而外力停止时又恢复到原状态，使之有良好摊铺性。

③保坍性：混凝土的坍落度随时间延长和运输振动而减小，采用特殊的外加剂来保持，使混合料在摊铺作业时具有施工要求的坍落度。

3)施工配合比

(1)材料选用

保证路面施工质量，最重要的是从源头抓起，严格控制材料质量，选择符合要求的材料品种和规格。

①水泥

湖南有三大水泥品种，通过试验检测，结合运距等条件。选用了金磊牌水泥为主要品种，韶峰牌水泥为备用品种。

②碎石

湘耒高速公路对碎石要求非常严格，规定使用 0.5～1.6cm、1.0～2.5cm 两种规格的碎石进行参配使用。经过反复检测试验，选定小水铺石场和花桥石场两种品质相同、质量稳定的碎石，其各项指标符合规定要求。

③砂

经过测试比较，选用了利生砂场细度模数为 2.5～2.8 的优质中砂。

④引气剂

湘耒高速公路通过试验对比，选用了山西城兰化工厂生产的飞云牌 AE 混凝土引气减水剂为主要品种，上海同济大学生产的 SJ—231 引气剂为备用品种。

⑤减水剂

由于路面施工横跨两个标段，最远运距 16km 多，施工气温在 10℃～35℃之间，通过试验选定，夏季高温时使用广东柯杰外加剂有限公司生产的 KJ—70 缓凝高效减水剂；冬季使用该公司的 KJ—45 缓凝高效减水剂。这两种减水剂对混凝土降低温升，延缓凝结时间，提高抗折、抗压强度有较好效果。

⑥水

拌和用水为耒水河水厂的自来水，各项指标符合要求。

(2)施工使用配合比

通过正交法的试配和调配，最终选用的施工配合比为：水灰比为 0.39，水泥用量为 385kg/m^3，水用量为 150kg/m^3，砂用量为 671kg/m^3，碎石用量为 1194kg/m^3，其中 0.5～1.6cm 占 45%，1.0～2.5cm 占 55%，AE 混凝土引气剂掺量为 0.006%，KJ—45 减水剂掺量为 0.4%。

该配合比，实测坍落度为 1.2cm，1h 后坍落度为 4cm，符合滑模摊作业要求；实测振动粘度系数 $\eta = 465.38\text{N/m}^2\cdot\text{s}$，符合滑模摊铺振动粘度稳定值 $300 \pm 200\text{N/m}^2\cdot\text{s}$ 的要求；实测含气量值为 3.5%，符合含气量 4% ± 1%的范围要求；实测 28d 抗折强度 7.03MPa，抗压强度46.52MPa，满足路面设计强度要求。

该配合比在施工中根据天气、施工季节、运距和砂、石料含水量变化等因素，微调减水剂、引气剂和用水量。保证摊铺现场混凝土坍落度、振动粘度系数等工作性适宜于滑模摊铺机进行摊铺作业。只有保证变化幅度最小，才能摊铺出高质量的路面。

4.运输车辆及道路准备

滑模摊铺前，施工道路上各种桥涵、通道等构造物应提前完成，确有困难不能通行时，应有施工便道。施工时应确保运送混凝土的道路的基本平整、畅通，不得延误运输时间或碾坏基层。道路的不平整将增大混凝土的离析程度和延长运输时间。在天气炎热的白天施工时，还应给车辆准备好遮阳棚布，以减少混凝土水分蒸发。

运输车辆的数量应根据施工进度、运量、运距及时进行调整，其配置原则上应以满足摊铺机连续摊铺，尽量减少因缺料而引起的停机次数的要求，总运力应比总拌和能力略有富余。其配置可按下式计算：

$$N = 2n(1 + Sr_c m / v_q g_q) \tag{7-20}$$

式中：N——表示汽车辆数(不同产量拌和站分别计算再计其和)；

n——表示相同产量拌和站台数；

S——表示单程运输距离，km；

r_c——表示混凝土密度，10^3kg/m^3；

m——表示一台拌和站的生产能力，m^3/h；

v_q——表示车辆的平均运输速度，km/h；

g_q——汽车的载重能力，t/辆。

5.基层准备

1)基层验收

在路面摊铺前应对基层进行全面的验收，检测基层的强度、压实度、结构层厚度、平整度、标高、横坡等，各项指标均应满足规定要求，否则应修整至符合规定为止。

2)测量放样

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

用全站仪按设计坐标准确放出挂线点的位置，挂线桩间距为：平面直线段每 10m 一桩，圆曲线段、平面纵曲线或纵面竖曲线加密到 5m 一桩，并做好标志。

3)传力杆支架固定点放样

一个传力杆支架用 2×4 个点来固定。可以制作一个放样模，借助放好的挂线点，用模板来放出固定点。并在固定点处用冲击钻钻直径 14mm、深 70mm 的孔，在钻好的孔中打入木钉。

4)清扫、洒水湿润基层

为防止过干的基层吸附混合料中的水分，造成面板底部混凝土失水，强度降低，产生收缩裂纹，在上料前必须洒水湿润基层。这样做在高温天气时，还可以降低基层表面温度，有利于混凝土的施工。

5)挂线

基准线挂线是为摊铺机上 4 个水平传感器和两个方向传感器提供一个精确的与路面平行的水平(横坡)和直线(转弯)方向平面参考系。路面摊铺的几何精度和平整度很大程度上取决于拉线的测设精度。因此，拉线是水泥混凝土路面滑模施工的“生命线”。准确安装设置基准线对于滑模摊铺至关重要。

工作基准线的设置如图 7-33 所示。其工作步骤如下：

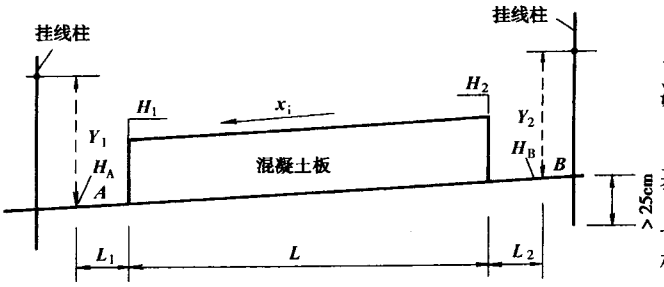


图 7-33　工作基准线设置图

(1)根据现场情况选定挂线点 A、B，至路面边缘的距离 L_1、L_2，一般情况下选择 $L_1 = L_2 = 1.8 \sim 2.0$m。

(2)根据路线及路面设计参数在基层上准确放出 A、B 两挂线点，并钉上钢钉。在钢钉附近打上钢纤，挂线桩打入基层 25cm 深，以确保挂线桩的牢固，不因弯道水平拉力而倾斜。有时打入困难时，则用冲击钻钻好眼后，再打钢钎。

(3)挂线点的纵向间距一般取 10m，半径小于 1 000m 的曲线上取 5m。

(4)准确测出 A、B 两点钢钉上的标高 H_A、H_B。

(5)计算 A、B 两点的挂线高度 Y_1、Y_2。

$$Y_1 = H_1 - L_1 x_i + e - H_A \tag{7-21}$$

$$Y_2 = H_2 - L_2 x_i + e - H_B \tag{7-22}$$

式中：e——摊铺机挂线常数，一般取 $e = 0.5$m；

x_i——路线纵坡坡度，%。

其他符号见图 7-33。

(6)根据计算的挂线高度 Y_1、Y_2 进行挂线。挂线时，对同时控制方向(一般为摊铺机前进方向右边)的基线应用垂球进行精确对中。

为了防止出现施工差错，便于测量工程师施工前复核测量，一般宜采取提前 1 ~ 2h 设置好基准线。挂线时张拉力不小于 1kN，拉线张拉紧后挠度不应大于 1mm。挂线完成后，用眼睛贴近基准线目测顺直度，其线型应顺滑无折线和拐点。一般情况下单根拉线长度在 250 ~ 300m。挂好线后应避免碰撞和振动。

6.机械准备

施工机械的配备原则:①按工艺要求配齐,缺一不可;②生产稳定可靠,故障率低。拌和站的混凝土生产能力应能满足摊铺机的最低施工速度 1m/min 的要求。本项目在没有布料机的情况下,根据需要,摊铺机前可配备一台装载机或小挖掘机进行布料,其履带上最好有橡胶垫,以免施工行走时碾坏沥青封层,破坏其防水作用。

施工前必须对拌和站、运输车辆、布料机、滑模摊铺机、锯缝机等施工机械进行检修;对经纬仪、水准仪、全站仪等测量拉线仪器和人工辅助施工的振捣棒、模板等机具及试验仪器进行全面检查、调试、校核、标定、维修和保养,并试运行正常。对主要设备易损零部件,如滑模摊铺机振捣棒、用于振捣传力杆处混凝土的振捣棒等应有适量储存。

7.路面施工保护准备

为了防止施工时的突然降雨造成对混凝土路面的破坏,完全有必要在施工现场准备 100m 左右的防雨棚,以备不时之需。防雨棚在白天施工时还可起到遮阳的作用,减少混凝土路面的水分蒸发。在气温高、水分蒸发速度快的天气进行混凝土路面施工时完全有必要对刚摊铺成型的路面采取塑料薄膜覆盖保水,以免水分蒸发过快,混凝土路面表面出现收缩裂缝。混凝土路面的养生一般采用喷洒养生剂与覆盖麻袋洒水相结合的方式,不掺粉煤灰的路面至少洒水养生 7d,按施工高峰期日进度 500m 计算,准备的麻袋应至少能覆盖 4 000m 路面。

8.人员培训与技术交底

滑模摊铺路面施工开始前,应对施工、试验、机械、管理等岗位上的技术人员进行技术交底,对各工种技术操作工人进行技术操作培训。技术人员、操作工人对工序衔接、各工序技术要求应做到心中有数,应把握操作要点,不经培训不得上岗操作。

9.联络指挥

滑模摊铺混凝土路面施工时,应密切加强前后台的联系,建立快速有效的通讯指挥系统。在条件允许的地方建立小型电台或用手机进行直接联系。在施工中必须设专人负责联络指挥,进行有效的生产调度与指挥。

(二)每天开工前施工前台应做好的准备工作

1)提前清扫干净摊铺机前基层 1 ~ 2km。

2)提前检查所施工路段基层的纵横缝情况并做好记录,并对裂缝进行处理。对裂缝凿开 1 ~ 2cm 宽,3cm 左右深,用沥青进行灌缝处理,以避免水渗入路基,施工时再在裂缝上加铺油毛毡。

3)提前 1 ~ 2d 对所施工路段的基层胀缝进行处理。凿开顶胀处破碎、脱空的基层,用 C20 混凝土修补,在混凝土中留 7 ~ 8cm 灌以 5% ~ 6% 的沥青砂,作为基层的膨胀空间,施工时再对基层胀缝处的混凝土板用钢筋网进行补强。

4)至少提前 1d 对松散的基层部位用 C20 混凝土进行修补,施工时在修补部位加铺油毛毡。不得在施工过程中用混凝土填补,这将使上、下层粘结,导致面板厚度发生变化,产生应力集中点,导致断板的发生。

5)如沥青封层受到破坏,需重新洒油防水,保证基层平滑,减少基层与面板间的摩擦。

6)按板块划分将固定传力杆的木钉钉好,长度以按 2d 的工作量平均每天 500m,提前 1km 为宜。

7)检查基层边缘距中桩的距离,提前调整好摊铺机的履带使之在底基层上行走。或者将超宽的基层用风镐凿除,但这样将破坏基层上沥青封层的防水作用,需对破坏的基层边缘重新进行洒油防水。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

8)清扫摊铺机履带处基层的砂及基层料,以免摊铺机行走时打滑,以及由于履带处不平整导致高度传感器上下抖动影响路面平整度(此项工作亦可在施工过程中派专人进行)。

9)施工前台机械(发电机、振动棒、挖掘机、水车等)应及时就位,并定期对其进行检修及保养,保证机械性能良好。进行夜间施工时,电工要提前检查电路及灯具。

10)传力杆、钢筋笼、拉杆、用于基层裂缝处铺的油毛毡、固定传力杆的铁钉等应提前拉到施工现场,并在施工现场准备少量的绑丝,以绑扎在搬运过程中脱落的传力杆。

11)混凝土路面补强钢筋网提前绑扎并放置于补强路段的两侧。

12)注意安全,施工人员应戴安全帽。

13)施工现场应准备振动棒和养生剂喷雾器等施工易损件的备用件。

14)第一天施工完毕后,及时进行摊铺机的清洗,并进行必要的保养、检修工作。挂线人员至少提前挂好 50m 左右的线,施工开始处的传力杆钢筋笼应提前安装好,以使摊铺机提前就位,为第二天的开工作好准备。

15)开盘前检查施工前台人员、水车的到位情况。天气炎热时,需洒水降温后方可开盘。

(三)拌和站的施工准备工作

1)每天工作完后,清除拌和机、配料机、皮带运输机等机械设备、水电设施周围的所有障碍物和消除其他有可能危及安全的因素。

2)按说明书的润滑规定,每天工作完后,对施工机械应进行日常保养、润滑,润滑油污染严重时,应予以更换。

3)起动控制电路,检查供电电压是否在拌和机需要的正常范围内。

4)检查各仪表、灯光、称量显示屏等信号装置是否工作正常或在允许的误差范围内,照明设施是否齐全完好。

5)检查空压机、润滑油泵工作是否正常,开闭各料门数次,并进行检查调试。

6)拌和机主机、配料机、皮带运输机等有关机械设备进行 10min 的空载运行,检查水电气系统是否正常。

7)每天开盘前需检测砂石料的含水量,根据含水量调整混凝土的加水量,控制好混凝土的坍落度。

8)天气炎热施工时,应提前对集料进行洒水降温,保证混凝土的出场温度在 35℃以下。每次施工结束后对料筛进行检查,发现破损处及时焊好。

通过认真进行各项准备工作,就能较好地开始每一天的工作,增加了工作的主动性,使每天的工作都有一个良好的开端。

四、水泥混凝土路面滑模施工

(一)混合料的拌和

滑模施工水泥混凝土路面,对新拌混凝土混合料要求特别高。主要有三点要求:①配料精确,滑模施工的混凝土是材料精良准确的精细混凝土;②稳定性高,每盘搅拌出的混凝土有较为稳定的工作性,波动要尽量的小;否则摊铺机应进行频繁调整与适应,不能进行高质量的摊铺;③大量连续供料,否则将影响平整度和生产效率。如何保证拌和料质量稳定和出料快速是施工的关键。

湘耒高速公路十合同,引进了意大利 ORU 厂的 HR6000 型混凝土间歇式拌和站一台,本拌和站的设计生产能力为 160m^3/h。采用微机自动化控制系统,控制整个拌和过程,包括:配料、

上料、搅拌时间、卸料时间。主拌和机为双卧轴强制式拌和机，配料系统采用自落值自动补偿，含水量自动补偿的重量法。上料系统采用所有进入搅拌锅内的料全经过待料仓斗，而大大提高了配料的准确性和生产效率。

湘耒高速公路十合同拌和站采用与 wirtgen SP850 配合施工 8.25m 宽的路面主板，与 SP500 和 COMACQ GP260 型配合施工 3.5m 宽的边板。SP850、SP500 摊铺机要求混凝土坍落度为 2～4cm，COMACQ GP260 要求混凝土坍落度 3～6cm，每小时需要混合料 120～200m^3。工程要求拌和机配料精度为：水泥 ±1%、水 ±2%、骨料 ±3%、外加剂 ±2%，最短纯拌和时间为 25s，每盘之间坍落度差值 ±1cm。湘耒高速公路十合同只有一台拌和机，要完成与摊铺机的配合有很大困难。为优质高效完成任务，拌和站人员经过对影响拌和质量与生产效率的各种因素进行分析，提出了有效的措施，保证了拌和机完好率、使用率，创造了拌和机三点调试法使配料精度比要求标准提高 2%～3%，配料速度可达到 200m^3/h；对原材料的质量进行了严格控制和合理组织供应。拌和站的生产能力可达到 150～160m^3/h，高峰时达日拌混凝土 2 860m^3，连续工作 80h 的记录。生产的混凝土抗折、抗压强度满足设计要求，全部合格。湘耒高速公路十合同在拌制 12 万 m^3 混凝土的过程中与摊铺机配合较好，充分的发挥了拌和、摊铺的生产能力。

（二）混合料的运输

1）本工程的混合料运输是采用每车装 4～12m^3 的自卸汽车运输。运输车的车型和数量根据施工进度、运量、运距和路况确定。

2）运输时间应保证混凝土运到现场适宜滑模摊铺，并短于混合料初凝时间 1h，同时也应短于摊铺允许最长时间 0.5h。

3）装料时应防止混合料离析。防止漏浆、漏料污染路面，特殊气候下应加盖，装车前冲洗干净车厢，车厢干时应洒水湿润，但不积水。

（三）安放传力杆及钢筋网

1）按设计位置先打好木钉，摆放传力杆支架。以 8.25m 板为例，基层上每隔 5m 打好两排木钉，既便于指挥倒料，又能保证摊铺时快速固定两个传力杆支架。具体操作为：两人将沿线摆放在一边的传力杆支架抬放到木钉处，在木钉中钉入圆钢钉并将其打成 Γ 型将其固定。用脚轻推传力杆支架，以不摆动为合格。

传力杆支架检查合格后，人工配合挖掘机将混凝土布入传力杆支架中，以刚能盖平传力杆为限，再用插入式振捣器将其振捣，切忌传力杆支架上过多覆盖混凝土与过分振实，以免摊铺机布料经过时，因松铺密实度不均，造成经摊铺机振捣过后传力杆处面板厚度不均、收缩不一致，导致平整度受到影响。图 7-34 所示为人工安装就位并将混凝土布入传力杆支架，用插入式振捣器振好的照片。

2）补强段路面连续钢筋网安装。

由于该工程没购买配套的侧向布料机，在摊铺路面补强地段的连续钢筋网地段时，不能直接事先布好钢筋网，而是把事先预制绑扎好的钢筋网运到施工路段堆放在两边，施工时按钢筋网距离底面的高度绑好架立筋。架立筋采用“Ω”形状，接地处向两边相反方向弯曲一小段，防止倾覆。保证钢筋在板中的准确位置，切忌把钢筋网先安放在应放的位置，影响卸料或被料车压坏。其施工安放步骤如图 7-35 所示。

（1）安装好钢筋网补强处端头的 1 号传力杆。

（2）组织混凝土运输车卸料，挖掘机进行布料，在基层上平铺一层混凝土，厚度不要超过钢筋网距路面底板的高度，挖掘机后退。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

图 7-34　人工安装传力杆支架的照片

(3)人工把已沿路放好的 1 号、2 号钢筋网摆放就位,并注意控制好钢筋网两侧的保护层,避免出现面板两侧露筋的情况。

(4)运输车进行卸料,注意运输车不要开上钢筋网。

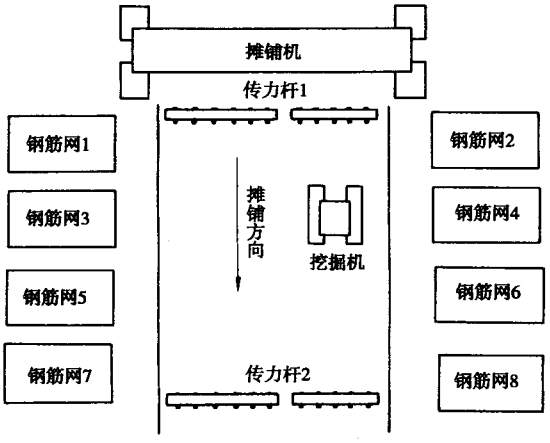


图 7-35　钢筋网安放图

(5)挖掘机将料大致布均匀,人工配合挖掘机将就位的 1、2 号钢筋网端头的混凝土除去,以利于钢筋网的搭接,并在放 3、4 号钢筋网的位置平铺一层混凝土。如果现场混凝土偏干,应尽快将摊铺机往前开;如现场混凝土坍落度偏大,则可等放好 10 ~ 15m 钢筋网后将摊铺机前开。这样可减少停机次数,提高路面的平整度。

(6)人工摆放 3、4 号钢筋网就位,注意控制好钢筋网相互之间的搭接长度,并应特别注意不要让钢筋端头向上翘起,对向上翘起的钢筋端头应用铁丝绑扎好,否则有可能出现路面露筋的情况。

(7)重复(4)、(5)、(6)三个步骤,使 5、6 号钢筋网就位。

(8)固定好 2 号传力杆,并布料振捣好。

(9)挖掘机进行布料,人工摆放 7、8 号钢筋网就位,注意钢筋网不要压传力杆,以利于传力杆滑动。

(10)运输车卸料,挖掘机布料,摊铺机继续摊铺。

(四)水泥混凝土路面的滑模铺筑

1.摊铺前的检查

1)摊铺现场准备工作的检查

(1)上料前基层是否洁净和洒水湿润。

(2)检查已设置好的基准线是否被扰动,精度能否满足要求。

(3)检查板厚是否满足要求,如果偏厚一点可以直接铺筑;若略薄时,则应在 50 ~ 100m 内

调整基准线高程来保证面板厚度要求,或者处理基层。

(4)检查接缝支架是否定位;纵缝为连续摊铺时,前幅已安装的拉杆是否校正、扳直;纵向施工缝壁是否涂刷沥青等。

(5)检查是否备齐人工辅助施工工具和机具。

(6)拉毛及养生设备、工具、机械、材料是否准备妥当。

(7)施工人员组织情况是否满足要求。

(8)监理的开工令是否签发到手。

2)滑模摊铺机械的检查

(1)滑模摊铺机各项工作参数的正确设置与检查。

(2)滑模摊铺机空载对位与检查。

2.卸料、布料

1)卸料

湘耒高速公路十合同采用自卸汽车运料,正面直接卸在基层上。因此,必须有专人指挥车辆卸料。要求卸料分布均匀,不欠料也不多料,料位高度应在螺旋布料器叶片上缘以下,最高料位不得高于松方控制板上缘。以 8.25m 板宽为例,每米所需混凝土方量为:$8.25 \times 0.26 \times 1.0 = 2.145m^3$。那么,$12m^3$/车的自卸车一车料可铺 5~6m。

2)布料

当混合料卸在指定范围后,再用 PC—200 挖掘机进行布料。混合料松铺厚度控制在高于混凝土板厚 6~10cm 为宜,挖掘机应大致整平以减小摊铺机对传力杆的推移力并可改善混凝土摊铺的平整度。

在传力杆与补强钢筋网处的卸料、布料按传力杆、钢筋网安装时所讲的方法进行。

3.滑模摊铺施工

1)作业开始阶段的调试校核

在开始摊铺的前 5m 内,必须对所摊铺路面的厚度、宽度、中线、标高、横坡等参数进行准确的测量。机械操作手应根据测量结果,及时缓慢地在行进中微调摊铺机上传感器、挤压底板、超铺角、拉杆打入深度及压力、抹平板的压力及边缘位置等。从摊铺机起步到正常工作应在 10m 内完成,并将达到要求的摊铺机工作参数的设定位置固定保护起来,不允许再作改变。

第二天连续摊铺时,应将摊铺机后退到前一天做了侧向收缩的工作缝的路面处,将挤压板前缘与工作缝端部对齐后开始摊铺。施工开始时,每天都应先检查底板、振捣棒等关键工作参数和摊铺效果。

2)滑模摊铺机摊铺作业操作要点

(1)布料器控制

湘耒高速公路十合同使用的摊铺机的机载布料器为螺旋式布料器,这种布料器具有二次搅拌的功能,使布料均匀离析小。布料时一定要控制好布料的数量,不宜过多或过少。特别要重视两侧均衡,边角的料一定要充足。

(2)进料门的控制

进料门是滑模摊铺施工的第一关,控制好了,施工顺利,反之不仅平整度差,还会损坏机械。控制进料门的依据是振捣仓内的料位高度。仓内料位过高,摊铺机阻力大,振捣排气效果差,路面密度差;仓内料位过低,挤压底板供料不足,形不成挤压作用,路面缺料,出现缺料坑。正常料位,是控制在振捣棒以上 10cm 左右,施工的路面质量较好。施工过程中操作手一定随

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

时观察仓内料位高低，手动控制在一个适宜恒定范围内。

(3)摊铺机施工的行进速度控制

滑模摊铺机施工一定要使摊铺机缓慢均匀连续不间断地工作，根据拌和能力可在1~2m/min之间选择，湘耒高速公路十合同选择的混凝土坍落度为2.5~5cm，1.0m/min的工作速度。振动频率1万次/min左右，夯板频率167次/min左右较为适宜。

(4)对高频振捣棒的位置和工作情况进行监控

为防止漏振，摊铺机行走前应先开启振动棒。但又严禁振动棒在水泥混凝土外面振动，因为振动棒空载振动很容易遭烧毁。同时要注意观察每个振动棒的振动情况，及是否有漏油现象。振捣棒振捣频率总体上应控制在6 000~11 000r/min内，具体则应根据混凝土的稠度、坍落度以及摊铺机行走速度、停机等料时间来控制，做到振捣密实，排气充分。当新拌水泥混凝土过湿时，应适当降低振动频率，加快机器作业速度；当新拌水泥混凝土过干时，应适当提高振动频率，降低机器作业速度。由于滑模摊铺机只能一次通过，不能倒车重铺，则必须做到既不能欠振、漏振，造成麻面或拉裂，也不得过振、提浆过厚，导致坍边或溜边现象，并导致混凝土表面不耐磨。

(5)控制成型密度

经过捣实后的混凝土能进入成型模板，成型模板可根据施工要求调整成喇叭口、内八字型、仰角及路拱等。成型模板与左、右两侧模板组合可调整成前宽后窄的喇叭口型，使更多的混凝土能进入，随后受到挤压，增加混凝土的密实度。成型模板调整成有一仰角，同样能使更多的混凝土进入，随后受到挤压。仰角大小根据施工情况而定，但要注意仰角过大也会影响摊铺质量，使路面表面不光滑，同时增加行进阻力，一般控制在2°~5°之间。

(6)加设加长滑模板

为了减少水泥混凝土的塌边，于摊铺机后设有加长模板。其与侧模板组合，可调整成侧模端上窄、下宽；加长模板也上窄、下宽，外边缘略高，向内收，成为内八字形。当摊铺机过后，由于水泥混凝土的收缩作用，上边缘高的部分微微塌落，正好消除内八字形，使两侧上、下轮廓线正好形成直角，而表面横坡形状正好符合要求，这样能防止混凝土因坍落度稍大而塌边，保证了施工质量。

(7)控制好挤压底板与振动仓内混凝土的力平衡

挤压底板的料与振捣仓内的混凝土之间，始终应保持相互间压力的均衡，才不致于挤压力忽大忽小而影响平整度。

(8)拉杆置入

采用拉杆置入器置入拉杆钢筋。拉杆置入器分为侧置式和中置式。侧置式置入器由人工辅助半自动打入；中置式拉杆置入器由摊铺机的一个速度传感器计算摊铺机行走过的距离而命令置入器自动插入拉杆，在中部拉杆打入后，混凝土表面将留有一凹坑，可采用人工辅助，使用由搓平梁搓出的砂浆卷来修补。

(9)弯道作业

弯道区作业时，因横坡加大，机手应注意料仓料位及左右高度控制。先是调整计量板使超高的一边升高一些，低的一边降低一些；其次是提高小搅笼的转速，使之向高的一边提浆加快，确保料仓料位一致，避免一侧过多，而另一侧过少。

(10)坡道作业

在坡道作业时，向高或向低摊铺时，都应较好的控制计量板，保证进入料仓的料位适中；其

次,在由低向高摊铺时,应尽量避免大搅笼前堆料过多,防止摊铺机打滑,影响平整度。

(11)表面搓平与修整

搓平梁搓平后,以较小的变形在混凝土表面进行修整,精平成型出来的混凝土表面,并消除混凝土表面的气泡。搓平梁搓出的砂浆卷还能修补中央拉杆打入后留下的凹坑,随后由超级抹平器抹平。但由于超级抹平器不能完全抹到边,为保证板块边缘的平整度,还须人工抹边,但这项工作应当在摊铺机的加长模板范围内做完。

(12)制造表面微观构造

混凝土面层经摊铺机的超级抹平器抹平后,用拖挂在加长模板后与摊铺机宽度相同的麻布进行纵向拉毛。拖挂麻布长度不宜太长,与混凝土接触面在1m内效果最好。每次工作开始前,也应将拖挂麻布润湿透,麻布应每隔4~5h进行更换清洗,工作完毕后也要清洗,以防止凝结的小水泥颗粒破坏路面的平整度,使混凝土表面过于粗糙。纵向拉毛后,不仅能消除混凝土表面的气泡,还能形成路面的粗糙度,增加行车安全系数。

3)滑模摊铺施工的事故处理

滑模施工要求面板表面平滑,形状规矩,不应出现麻面、塌边、溜肩、拉裂等病害现象。一旦出现问题应立即查找原因,采取措施解决。

(1)施工中发现横断面某处多次出现麻面或拉裂,通常是该处的振捣棒或前仰角出了问题,要停机检查。更换该处的振捣棒或调整前仰角位置。如摊铺后,发现路面上留有发亮的砂浆条带,则表明振捣位置过深,必须将振捣棒底缘调至在挤压底板的后缘高度以上位置。

(2)如在摊铺不小于8m的双车道路面时,若左右两边卸下的料稠度不一致时,摊铺速度应按偏干的料设置,并将偏稀的一侧的振捣棒频率迅速减小。

(3)滑模摊铺作业时出现横向拉裂时,应在以下方面进行检查并采取相应措施。

①拌和物整体或局部过干硬、离析、骨料粒径过大,不适宜摊铺,或在该部位摊铺过快,振捣频率不够,混凝土未振动液化而导致拉裂,应降低摊铺速度提高振捣频率。

②等料时间较长,摊铺起步速度过快,也可能拉裂。在等料时,应间隔一刻钟开启振捣棒振动2~3min;起步时,应先振捣2~3min后再缓慢前进。如超过1.5h,应设工作缝。

③应检查挤压底模的位置与前仰角设置是否有变化。底板设置成前倒角时,必定拉裂;前仰角过大时,也可能拉裂。应在行进中调整前两个水平传感器,将挤压底板调整为适宜的前仰角,消除拉裂现象。

④当滑模摊铺机出现故障时,应通知拌和站停拌。在1.0~1.5h内能排除故障,允许继续摊铺。否则应尽快将滑模摊铺机拖出作业面。

4)摊铺结束后的工作

(1)摊铺机驶离工作面

摊铺机结束作业前,先把计量板提到最高,让料充分进入料仓。当混凝土全部进入料仓后,此时振动棒振动控制开关就应全部关闭,然后把调频旋钮转到零位,提升振动棒到水平状态。最后当行进到抹平器前端要出路面时,关闭抹平器开关,停止抹平器作业。此时,把高程由自动转为手控,拿下传感器杆,略升高机器,让机器在方向传感器控制下,驶离作业区一定距离后,停止运行。再拿开方向传感器,把方向传感器控制由自动转为手动,电脑控制板由“运行”转为“备用”。整体升起机器,放下侧模板,打开清洗开关,对机器整个清洗。

机器整体清洗完成后,把大小搅笼、夯板、清洗开关全部关闭,升起侧模板,压低整机,最后全面检查机器是否有需要维修的地方。没有的话,应加润滑油,关闭发动机,以备后期作业。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

确保下次能顺利开工。

(2)作横向工作缝

每天工作结束或是摊铺过程中因故中断作业时,中断时间超过初凝时间的2/3,则必须设置横向施工缝。施工缝的设置位置应与胀缝或缩缝设计位置相吻合,并与路中线垂直。横向施工缝采用平缝加传力杆方式设计与施工。

其施工方法有两种:①软作横向工作缝,在起终点设端头模板,后由人工修整平;②缩缝加传力杆支架施工,在传力杆中间切缝,再用手工凿除下部的混凝土。湘耒高速公路十合同的工作缝施工就是采用的本法。

5)横向连接摊铺

后幅横向连接摊铺时,摊铺机的履带有一边要在先铺筑的面板上通行。因此,控制先铺筑面板的养护时间应不少于7d,对钢履带的摊铺机应铺垫橡胶垫或者是使用橡胶履带的摊铺机。对纵缝的连结部位先进行人工修整,要求连接缝顺直,横向平整度不大于3mm,极值不超过5mm,并校正前幅已设好的拉杆,在侧立面上半部涂刷沥青。滑模连接摊铺过后,要清理干净粘在前幅板面上的砂浆,要求应清刷出抗滑构造来。同时还应使第二幅的抗滑构造与前幅的抗滑构造一一对应,以利排水。

6)路面板修理

路面板滑模摊铺成型后,一般不应修整,而且禁止使用混凝土或砂浆修补。人工可进行少量局部的修整。

(1)人工操作抹面修整局部麻面、塌边等缺陷,修补后应纵向微观拉毛,并用3m直尺检查,确保平整度小于3mm。

(2)修整前、后幅摊铺相接处纵缝,使该处满足平整度要求。

(3)对摊铺机起步处,与桥面接头处的修整采用3m直尺边检查边修整。如混凝土已硬化,才发现这些部位不合要求,可以在早期采用水磨石研磨机研磨至达到规定要求。

(五)抗滑构造施工

为保证行车安全,特别是雨天行车安全,必须要作好路面板的抗滑构造。湘耒高速公路十合同施工,其微观构造是使用麻袋片拖出的,宏观构造是使用人工软拉槽方式施工的。具体施工方法如下所述。

1.滑模摊铺机后微观软拖构造施工方法

在滑模摊铺机后设钢支架,拖挂大于摊铺宽度20cm的麻布、帆布或棉布,洒水湿润后,使布片接触路面的拖行长度控制在0.4~1.5m,进行纵向拉毛。具体的拖行长度与施工时砂的细度模数大小成反比。布片在连续施工6~8h后,每天完工或两次施工间隔时间过长时,应及时清洗,必要时更换新布片。

2.滑模摊铺后宏观构造要求及软拉槽施工

湘耒高速公路十合同路面板上的宏观构造要求:槽深2~3mm,槽宽3.5mm,槽间距15~25mm,一次最小拉槽宽度约50cm,每耙之间的距离与槽间距相同,槽深基本均匀,槽的方向与路中线垂直。

软拉槽的施工情况见图7-36。

软拉槽施工时,宜在混凝土表面泌水结束后20~30min内及时进行。湘耒高速公路十合同没使用硬刻槽施工法刻槽。由于路面硬化,有的局部经研磨后,需要恢复宏观构造,就需使用硬刻槽方法。因此,这里也简要介绍一下硬刻槽施工法。硬刻槽使用刻槽机,宜在摊铺后约

图 7-36　软拉槽施工照片

72h,混凝土不掉边,不掉角的情况下开始,半个月内完成。

(六)混凝土面板的养生

混凝土板抗滑构造软拉制作完毕后应立即养生。滑模摊铺水泥混凝土路面宜采用喷洒养护剂及覆盖的方式养生。

1.养护剂养生

关于养护剂,目前还没有一个统一的国内和行业规范标准,但使用养护剂的优点是显而易见的。首先,阻止混凝土表面水分的散失,这样就可以大大延长养生时间,只要养护剂没有被磨掉,路面始终处于养生当中,而不受撤除养生的时间限制;其次,在较短的时间内增加混凝土的抗压、抗弯拉强度,提高混凝土表面硬度和耐磨度,从而延长路面的使用寿命;第三,是有效防止塑性收缩裂缝出现的关键措施之一。目前国内养护剂的化学品种主要有水玻璃基、石蜡基和聚合物单体树脂基三大类。其主要区别在于:水玻璃基养护剂保水率仅 60%左右,但具有表面快速硬化,耐磨性较强的特点;乳化石蜡基养护剂保水率最高为 70%～85%,缺点是不耐磨;聚合物单体树脂基保水率居中,但易被雨水冲掉。

养护剂的使用主要是注意控制喷洒养生剂的厚度,标准是足以形成一层完全封闭的薄膜,喷洒必须均匀,不能漏喷,多喷,喷洒后的混凝土路面不得出现明显的颜色差异,喷洒剂量一般不小于 300mL/m^2,保水率大于 90%。

湘耒高速公路路面养生剂采用的是浙江省建德市第一建材厂生产的千岛湖牌 ZC—99 型混凝土养护剂,为业主指定使用产品,其保水率不小于 95%,乳白色液体,使用时按 1:3 的体积比混合,搅拌均匀用喷雾器喷洒于新铺混凝土路面上。喷雾器应定时清洗,以免堵塞喷头。

2.覆盖洒水养生

湘耒高速公路路面施工中,除按规定采用喷洒养护剂养生外,还要求使用麻袋覆盖养生,并及时洒水,每天洒水遍数由现场施工情况而定。保证在任何气候条件下,保持麻袋底部在养生期间始终处于湿润状态。一般养生时间宜为 2～3 周。

3.雨季施工养生

湘耒高速公路地处湖南南部,天气变化无常,故常常遇到在正常施工中,雨从天降。此时需立即对已型成的混凝土路面采取抢救措施。我们采用的方法之一是盖塑料薄膜,薄膜长度应大于覆盖面 60cm;两条薄膜对接时,搭接宽度不应小于 40cm,并在薄膜上加盖细土或细砂压

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

严实，以防止被风吹破或掀起；方法之二是用钢管做若干个长 10m、大于路面宽度 2m 左右的防雨棚，为便于拖拉，安装四个车轮，随摊铺机后移动。活动养生棚见图 7-37。养生期间应始终保持薄膜的完好，若发现破裂情况应立即修补或更换。

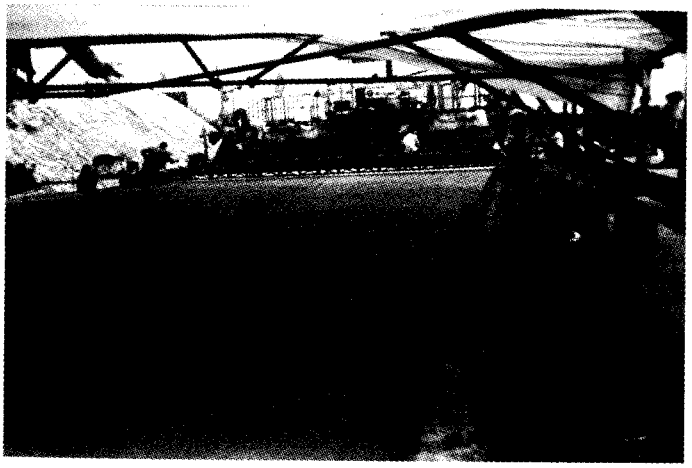


图 7-37　紧跟摊铺机的活动防护棚

4.养生期间的保护

混凝土板在养生期间和填缝前，严禁人、畜、车辆通行，防止对路面造成难以弥补的破坏。在达到大于设计抗弯拉强度的 80%，并撤除养生覆盖物之后，方可通行。

(七)切缝施工

切缝是一道相当重要的工序，若此道工序不能及时进行，轻者会出现啃边掉角，严重时则会产生断板现象，前面所做的一切工作都会前功尽弃，唯一的办法就是返工，重新摊铺。

横向缩缝、纵向缩缝、施工缝上部的槽口均采用切缝法施工。硬切缝时间控制在 200～300℃·h，同时还需要参考养护剂、混凝土外加剂的品种以及温差的变化而现场决定。横向缩缝最长不能超过 24h，纵向缩缝不能超过 48h，切缝宽度为 3～8mm，深度为 1/4～1/5 板厚。

湘耒高速公路十合同缩缝全部采用硬切缝。横向缩缝使用的机具为江苏省靖江产 HJS 桁架轨道式切割机，见图 7-38。每道缝间距为 5m，切割深度不低于 7cm，缝宽 5mm，要求与路中

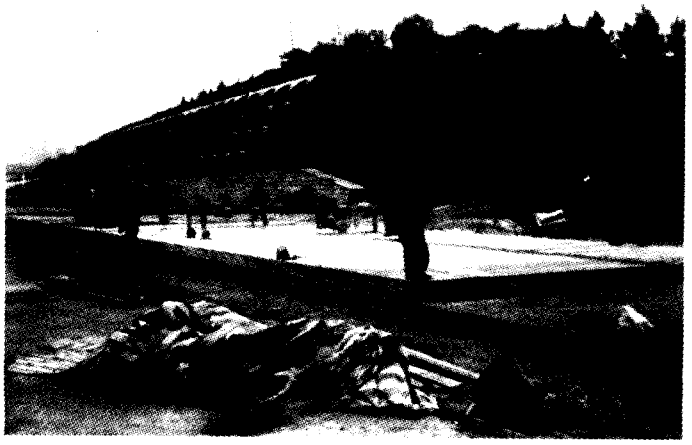


图 7-38　桁架轨道式切割机工程照片

线重直。若一次摊铺过长时，每隔 10～20m 跳切，之后再 5m 切一道缝，以减少断板率。纵缝施工几何尺寸与横缝相同，要求与路中线平行，且顺直、圆滑。切缝完成后，应立即用高压水枪冲洗干净，混凝土路面不得残余砂浆。若不及时清除，砂浆会形成具有一定强度的混凝土块，从而影响以后填缝工作的进行。

(八)填缝施工

为了保证接缝的宽度，控制接缝口不被破坏，提高面板间嵌锁和荷载传递能力，故规范要求：我国的各等级公路的水泥混凝土路面养生期满后，缝槽口必须及时进行填缝。

1.填缝材料

填缝材料应具有与混凝土面板壁粘结牢固，回弹性好，拉伸量大，不溶于水，不渗水，低温时不脆裂，高温时不挤出，不流淌，耐老化，不龟裂和耐久性好等性能。

常用的填缝材料有三种：常温施工式填缝料、加热施工式填缝料、预制多孔橡胶条制品。下面主要介绍前两种。

1)常温施工式填缝料主要有聚氨脂、硅树脂类、氯丁橡胶、乳化沥青橡胶类。其技术要求见表 7-118。

常温施工式填缝料技术要求 表 7-118

试验项目	一般技术要求	较高技术要求	试验项目	一般技术要求	较高技术要求
灌入稠度(s)	<20	<10	拉伸量(-10℃)(mm)	>15	>25
固化时间(h)	6～24	1～3	与混凝土粘结强度(MPa)		>10
弹性(复原率)(%)	>75	>90	粘结延伸率(%)		>1 000
流动度(mm)	0	0			

注：较高技术要求为已经在高速公路上使用的多键共混聚氨脂、硅树脂等填缝材料的实测数值。

2)加热施工式填缝料包括：橡胶沥青类、聚氯乙烯胶泥类和沥青玛蹄脂类等材料。其技术要求见表 7-119。

加热施工式填缝料技术要求 表 7-119

试验项目	低弹性型	高弹性型	试验项目	低弹性型	高弹性型
针入度(0.01mm)	<50	<90	流动度(mm)	<5	<2
弹性(复原率)(%)	>30	>60	拉伸量(-10℃)(mm)	>10	>15

湘耒高速公路横向缩缝和纵向缩缝均采用常温施工式聚氨脂类填缝料填缝，是湖南省新特交通材料股份有限公司生产的、交通部指定推荐使用的专利产品。

2.填缝施工工艺

1)填缝前，应采用高压水和压缩空气彻底清除接缝中的砂石及其他污染物，确保缝壁内部清洁、干燥。必要时先用 3～4mm 宽单锯片补切，把不易冲洗干净的杂物清除出来。具体要求是缝壁口上无灰尘。

2)用滚轮将多孔泡沫塑料柔性垫条挤压到规定深度，一般是 20～30mm。目的是保证所灌填的缩缝材料深度均匀、一致。缩缝填料形状系数控制在 2～4 之间。

3)按规定比例(厂家已按比例放入不同的容器中)把四种不同种类的聚氨脂混合到一起，充分摇匀，并应随拌随用，不要配制过多，以免造成浪费。

4)将配制好的材料倒入专用灌壶中，均匀灌入已压好背衬条的缩缝内。由于路面存在横坡，呈液体状的材料因自重顺横坡流向低处，这样高处缝内就会发生缺料现象，此时应过

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

20min 重新填缝一次。靠中央分隔带部分约长 10cm 范围内，应灌注整个缝深，以封闭中央分隔带的路表渗水。填缝料的高度，夏天宜与板平，冬天宜低于板面 1～2cm。填缝必须饱满、均匀、连续贯通，与缝壁粘接充分，不开裂、不渗水。值得注意的是，在一般路段，已饱涂沥青的纵向施工缝可不切缝、不填缝，让其自然开裂。

3.养护期

视温度和季节确定养护期的长短，冬天 2～4h 左右，夏天 1～2h 左右。填缝期间禁止车辆通行，直到养生期结束。

(九)胀缝施工

1.胀缝设置情况

在水泥混凝土路面的施工过程中，沿线路行进方向摊铺的各段混凝土路面会有时间及位置上的不同。不同情况下施工的混凝土面板，其内部由温差引起的膨胀量也有显著不同。为了避免产生过大热压应力，应给混凝土面板的膨胀预留一个伸长的余地，施工中必须加设胀缝。混凝土面板的膨胀值与温度的关系见下式。

$$\Delta L \propto F(X) \tag{7-23}$$

式中：ΔL——混凝土面板膨胀增加值；

$F(X)$——温差。

由公式可以看出，在高温季节(指平均气温在 30℃以上，下同)施工的混凝土面板由于在施工时，温度已经达到或接近达到当地气温的最高值，所以在施工完成后，它不大可能再有更大的膨胀应力值产生，也因此较少存在由于膨胀应力而引起的混凝土面板破坏；而在低温季节(指平均温度在 30℃以下，下同)施工的混凝土面板，伴随着气温的上升，其内部产生的温差膨胀应力将急速增加，直至强大到足够破坏混凝土面板的水平。由此，我们可以看出，不同温度季节的施工中，胀缝的设置间距是不同的。

当然，设置胀缝也会给施工带来不便。此外，由于施工时传力杆设置不当(未能正确定位)或封缝不好等原因，使胀缝所处的混凝土板块常出现碎裂等病害。根据一些经验和观测资料表明，胀缝间距较短的路段(小于 100m)，在设计年限内即会出现胀缝缝隙过大，这将使依靠集料嵌锁作用进行的荷载传递能力大幅下降，并且由于填缝料难于长久保持较高性能，导致各种杂物落入缝内，造成附近区域的混凝土在膨胀受阻时产生碎裂破坏或平面拱起。为了约束混凝土面板的前后位移，增加传荷能力，减少错台、碎裂和拱起等病害，同时也是为了方便施工，胀缝宜少设。

湘耒高速公路十合同段 K132＋850～K148＋092.5、联络线第三合同段 LK0＋000～LK2＋962.87 水泥混凝土路面工程中，综合各项影响因素，将主线胀缝的间距设定为：高温季节 500m 左右，低温季节 300mm 左右；由于联络线施工时间从每天下午 4 点开始，恰好避开一天中最热气温，间距仍大于 300m，我们按 400m 控制。

胀缝的设置除了与气温有关外，与路线的几何特征、构造物的数量以及基层结构物等都有十分密切的关系。在邻近构造物处、板厚改变处、小半径平曲线和凹形曲线纵坡变换处、沿行车道与交叉之间以及其他规定均需设置胀缝处，尤其在桥梁两侧端头处，为了抵消由于桥面混凝土板块过长而引起的过大膨胀量，需设至少两道胀缝。

2.施工前期的准备工作

根据湖南省以往修建的长沙—湘潭、长沙—益阳、益阳—常德等几条高速公路的经验以及在建的湘潭—耒阳高速公路本身的施工情况，同时也是针对 Wirtgen SP850 滑模摊铺机在行走

过程中所做胀缝的不足和产生的问题，在施工中采取了“留板”的方法。所谓“留板”，就是在混凝土面板施工过程中，处于胀缝所在位置两侧（或一侧）的板块先不浇筑混凝土，而是待气温达到要求后，再用人工方法浇筑。宜尽量避开上午 10 时至下午 5 时的高温天气，最好是选在温度为 30℃ ± 2℃之间进行施工。

由于是“留板”，因此所留出来的板块形式就要视当时混凝土面板的具体施工情况而定。根据实际情况，所留板块有以下几种类型。具体情况如图 7-39 所示。

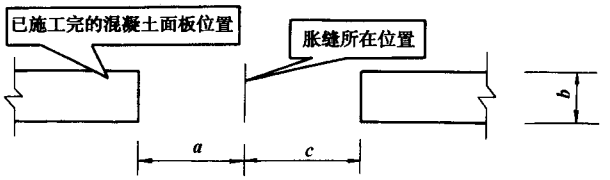


图 7-39　胀缝与施工缝之间的相对位置

a、c-施工缝与胀缝之间的距离；b-混凝土面板的厚度，$b \geqslant 26$cm（联络线中 $b \geqslant 25$cm）

根据 a、c 的大小，图 7-39 中有 4 种可能性存在：

1）$a \geqslant 3$m，$c \geqslant 3$m（即胀缝与两侧施工缝间距不小于 3m）；

2）$a < 3$m，$c < 3$m（即胀缝与两侧施工缝间距小于 3m）；

3）$a = 0$，$c \geqslant 3$m（即胀缝与一侧施工缝位置重叠，与另一侧施工缝间距不小于 3m）；

4）$a = 0$，$c < 3$m（即胀缝与一侧施工缝位置重叠，与另一侧施工缝间距小于 3m）。

3.第 1）、2）两种情况的胀缝机械施工

胀缝传力杆及其固定钢筋笼在钢筋加工棚集中加工好并运到现场。胀缝采用预留半块板（2.5m 长）的施工方法。

用全站仪按设计坐标放出胀缝的位置，并在基层上做好记号。用 ϕ14mm 的冲击钻在基层上钻孔（每片传力杆钢筋笼用 4 点固定）并打上木钉，用铁钉把胀缝的钢筋笼一端固定在打好的木钉上，用挖掘机进行布料至钢筋笼大致平后，用人工进行振捣（注意混凝土不能振捣过于密实），然后用挖掘机再次布料至混凝土面层顶面大致平，最后用摊铺机走过胀缝处预留板的一端，并多留出约 50cm 长混凝土，然后将多余的混凝土用人工挖除。待达到一定强度后，找出基层上胀缝位置的放样点，在混凝土表面放好线，然后用混凝土切割机沿着样线切缝，再用人工凿除端部多余混凝土并凿平端部。

按以上步骤做好预留板的另一端。

4.第 3）、4）两种情况的胀缝人工施工

湘耒高速公路十合同的胀缝主要是采用的“留板”人工施工来完成的。其人工施工的程序和工艺如下。

1）检查基层上胀缝“留板”处的沥青封层是否完好，否则应补洒沥青作好封层以防渗水及易于混凝土的胀缝滑动。

2）支模板。支模板时一定要注意模板与胀缝板两端已完成路面板的连接平顺度。

3）将已完成的两侧混凝土面板端头用切割机切割竖直，人工凿直、凿平传力杆钢筋下板面。

4）用两端拉线的方法调平、调正已施工的混凝土面板端头的传力杆位置。

5）根据端头面板传力杆位置在胀缝板上放样，直接用 PVC 导管在胀缝板上进行钻孔，并将钻下来的胀缝板圆片留在导管内不取出作为导管一端封闭材料。

6）在胀缝的内侧距离顶面约 6cm 处预切一条 2～3cm 深的缝（不宜切断），以便剔除更换嵌缝条。

7）将安放胀缝板混凝土板端头顶面向下 1～3cm 高的面板刷上一层聚胺脂胶水，随后贴上胀

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

缝板。注意,胀缝板应上下齐平,如下有缝隙,不能用砂浆堵塞,要用同类的胀缝板材料堵塞。

8)安装 PVC 导管,将管中有胀缝板堵片的一端用胶纸封闭。

9)用弯成直角的油毛毡垫在传力杆及胀缝板下,再用薄膜穿过所有的传力杆,以保护胀缝及面板在施工中不受污染。

10)安装胀缝钢筋笼。为了保证胀缝的工程质量,增强胀缝两侧抗拉强度,抵抗胀缝处混凝土的破坏,采用了钢筋环箍支架,胀缝板加传力杆结构。胀缝支架,每侧宽度不小于 50cm。当摊铺宽度不小于 7.5m 时,加工钢筋支架时可以从中间断开。但在安装时,必须保证胀缝板的连续性,并能够将混凝土完全隔离开。

湘耒高速公路十合同路面主板有 4.5m、3.75m 和 3.5m 三种宽度,因此胀缝也应按对应的宽度施工。传力杆除了尺寸必须合乎要求外,其安装精度应满足:水平倾斜不超过 1cm,竖向倾斜不超过 1cm,竖向移位 ± 2cm,纵向移位 ± 3cm。

桥头搭板处的胀缝,其加强钢筋支架同前述一样。而钢筋网一侧应与胀缝支架相焊接,每米不少于 3 个焊点。双层钢筋混凝土搭板一侧可取消胀缝支架,直接焊在双层钢筋网上,但箍筋不得减少。

11)浇筑混凝土及其他工作。

人工浇筑胀缝"留板"混凝土时,其混合料坍落度要比摊铺机摊铺时的大些,一般运到现场的坍落度宜控制在 4 ~ 6cm。而拌和站出料的坍落度控制值应根据当时气温、风力、料车运输情况等因素综合考虑。混凝土的浇筑必须精心施工,与两端已完工的面板接头一定要尽可能的接顺、接平。浇筑振实成型后,着手养生、纵向微观构造、横向宏观构造的施工。覆盖养护7d以后,将胀缝板上部 6cm(已预切)部分取出,并冲洗干净,然后进行嵌缝施工。

嵌缝施工应注意控制嵌缝条的质量,不合标准的材料禁用。嵌缝时必须保证缝壁干燥清洁无灰尘。粘结剂应均匀地涂在上部 1/2 以上深度的缝壁形成连续 1mm 厚的粘结剂膜,以形成紧密的粘结。在嵌缝施工中,嵌缝条长度方向应不拉伸不压缩,保持自然状态;宽度方向应压缩 40% ~ 60%嵌入。养生 12 ~ 48h 当粘结剂固化后,将胀缝两端多余嵌缝条齐路面切除,并用海绵堵塞嵌缝条两端通孔。

(十)施工缝的施工

施工缝是为施工间断而设置的横缝,宜设在胀缝、缩缝处。设在非胀缝、缩缝处时,横向施工缝采用平缝加传力杆。施工缝的传力杆钢筋一半预埋在混凝土面板中,另一半须先涂以沥青以利滑动。传力杆必须与施工缝垂直。

五、质量控制

水泥混凝土路面的设计使用年限为 20 ~ 30 年,如何保证新摊铺的路面达到和超过规定使用年限,如何保证行车的舒适和安全,施工时的质量控制是关键。其控制方法应从以下几个方面入手。

1.确保混凝土路面的抗弯拉强度

水泥混凝土路面要保证设计使用寿命 20 ~ 30 年,而使用寿命的长短与混凝土的抗弯拉强度有很大关系。湘耒高速公路设计抗弯拉强度为 5.5MPa,则混凝土的试配抗弯拉强度应为 6.05MPa。而十合同 15km 路面的抗弯拉强度平均达到 7.32MPa。为路面长期使用提供足够的抗弯拉强度,在施工过程中应抓住几个关键点。

1)把好混凝土材料进场质量关

滑模摊铺混凝土路面的质量取决于原材料的质量，把好原材料的进场质量检测，就从源头上堵塞了质量漏洞，就抓着了根本。

(1)高速公路水泥混凝土路面混合料要求所用水泥抗折强度高，收缩性小，耐磨性强，同时抗冻性也要好。湖南省三大水泥品牌虽都是免检水泥，但工地试验室还是要多次进行全面检测，并两次送衡阳技术监督局复检，从检测结果中确定了金磊牌水泥为主选品牌，韶山牌为备用品牌。在施工中每批进场水泥都要事先抽检合格后才收料。

(2)滑模摊铺对粗集料的级配要求最为严格。因此，在选择料场时除了强度满足要求外，控制材料的级配是最重要的。由于当地料场生产规模小，技术状况落后，料场供应量小，一种规格的料，可能由多个料场供应。一旦确定了供应料场和供料规格后，就应严格按标准检查。十合同采用的碎石为 0.5～1.6cm 和 1.0～2.5cm 碎石进行掺配使用。砂为细度模数 2.5～2.8 的优质中砂。凡是不合格的材料不准进场。

(3)外加剂选用前应严格试配挑选，使用中重视检查，防止其有效成分含量下降，影响使用质量。

2)优化配合比

在进行配合比设计时，一定要按正交试验方法进行配合比设计，使选用的配合比是最优化的，即该配合比不但满足强度要求，也满足施工要求，同时也是最经济的。

试验室的配合比需要在拌和站进行调试和试拌，要使新拌的混合料有好的适铺性，强度、含气量、坍落度损失、密度等都要满足要求。同时，要根据天气、温度以及运输距离和现场摊铺效果，随时对配合比进行微调。

3)采用性能先进的拌和设备

性能先进的拌和设备能较好地保证混凝土的抗弯拉强度。湘耒高速公路十合同采用的是意大利 ORU 型混凝土间歇式拌和站，为双卧轴强制式拌和站。该拌和站的设计生产能力为 160m^3/h。它采用微机自动化系统，对整个拌和过程进行控制，其精度非常高。配料系统采用自落式自动补偿以及含水量自动补偿的重量法。上料系统采用所有进入搅拌锅内的料均经过待料仓斗的方式，从而大大提高了配料的准确性和生产效率。

由于滑模摊铺机的生产能力较大，拌和站的生产能力一般难以满足需要。这样，就有可能出现人为地追求高产量导致混凝土搅拌不均匀而降低抗弯拉强度。因此，一定要规定最短纯搅拌时间。这样，是否拌和站的生产能力就不能提高呢？即使是最先进的设备，它仍有许多需要完善的地方。湘耒高速公路十合同根据混凝土生产的关键线路，对混凝土的拌和过程进行系统分析，在进料顺序及加料方式等方面进行了一些改进，缩短了最短拌和时间，提高了产量。另外，对拌和机定期保养，及时更换机油，作好常用磨损、易损配件的供应工作，确保拌和机完好率，对混凝土拌和料的高质稳质也是极为重要的。

4)选用恰当的养生方法

养生对混凝土强度的增长十分重要，需达到好的养生效果，应根据天气、温度等情况，确定好养生时间及养生剂的喷洒量。湘耒高速公路十合同采用喷洒养生剂与覆盖麻袋洒水相结合的养生方法，收到了良好的效果。

2.严格控制混凝土面板的厚度

路面板的厚度与使用寿命有很大关系。湘耒高速公路业主要求面板厚只能比设计厚不能薄。因此，在施工中要确保板厚 100%合格。设计板厚 26cm，十合同 15km 的路面板厚检测代表值为 27.3cm。这主要是由于基层施工水平参差不齐，有的断面标高差在 5cm 以上。为保证

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

面板厚度，在施工中应抓好以下工作。

1)严格验收基层

要想保证路面板厚度合符要求，必须要求基层的标高、横坡、平整度符合要求。因此，对基层应严格验收。对验收不合格的基层要进行认真处理，使之满足要求。

2)调整拉线、控制板厚

摊铺机的拉线挂好后，应进行人工横向拉线检查路面板厚。如果板厚小于规定的厚度，则要调整拉线标高，一般调整原则是 2cm 需要在 100m 范围内调整。

3)随时检查板厚，及时采取措施

摊铺机摊铺出路面，要及时检测板厚是否符合要求。如果厚度不够，则要分析原因，若为摊铺机的参数设置不准，应马上调整摊铺机参数；若是路面边缘塌边，则应支顶模板进行修补。

3.严格控制路面平整度

路面平整度是保证行车舒适的重要参数。湘耒高速公路十合同经过严格施工控制，3m 直尺检测平整度合格率达 95%以上。平整度仪检查结果 $\delta = 1.2$，符合《公路工程质量评定标准》(JTJ 071—98)规定的 $\delta \leqslant 1.5$ 的要求。施工中主要进行以下几方面的控制。

1)经常调整和保养摊铺机

摊铺机是一种比较精密的机器，只要局部某一个细部出问题，则其摊铺出的混凝土路面将存在各种各样的问题，而平整度将会受到更加严重的影响。应将滑模摊铺机的搓平梁和超级抹平器调整合适，防止变形。熟练的机械操作人员在施工前应对机械进行准确的校正，施工中要根据具体情况适当调整虚方板、振动棒的升降，振动的频率以及超级抹平器的速度等，控制摊铺速度并保证混凝土进料均匀、平稳。

同时，要经常对摊铺机进行检查、保养，并配备足够的易损零件。这对于机械施工来说是非常重要的。假设超级抹平器坏了，没有合适的配件，人工去整平，是很难达到优良的平整度的。

2)控制混凝土稳定的工作性

滑模施工对混凝土的稳定性要求极高，要求混凝土拌和料具有最佳的工作特性。混凝土拌和料从拌和站到摊铺机前的过程中，运距、气温等外界环境对混合料的各项技术指标都有影响，会随时改变。为了使运到现场的混合料达到要求的稳定工作性指标，拌和站应根据试验室随时检测的坍落度情况进行微调，保证所供的混合料的稳定工作性。混凝土拌和料质量的稳定完全取决于拌和站拌和的高标准。只有严格对配合比、外加剂加以控制才会拌和出质量稳定的混合料，才能摊铺出平整度优良的路面。

3)合理的机械配置

确保前台摊铺机的连续作业是提高滑模摊铺混凝土平整度的关键，是进行机械装备选型和配套的指导原则。摊铺机在连续工作状态下其振动搓平梁下的混凝土均匀、稳定地经过搓平梁达到较高的平整度。一旦停机频繁，搓平梁下的混凝土因受摊铺机静止后搓平梁自重的持续作用，一方面高程必然会低于其他部分的混凝土而形成一横向沟槽，严重影响路面的整体平整度；另一方面因混凝土受压骨料会下沉，水泥净浆上升，造成此部分的混凝土不均匀，极易形成早期干缩裂缝。所以要求其他机械的配置都以摊铺机能够连续作业为原则。应做到拌和能力充分，运输能力足够，材料供应充足，达到均匀供料，均匀连续摊铺。施工过程中应做到不停机，万不得已时也应少停机。

4)保证挂线精度

滑模摊铺水泥混凝土路面的施工拉线是保障平整度的“生命线”。为确保拉线精度，首先

要在拉线测量时严防出现差错，其次要随时对拉线进行抽检测量，贴近拉线观察线的走向及顺直度。要安排边线巡视人员，监视摊铺机的导向系统传感器沿拉线滑行，严防掉线。要用红色尼龙绳清晰表明拉线的位置，严禁任何人和车辆触动已设好的拉线。

另外，拉线最好使用 ϕ3～ϕ5mm 钢绞线，每根钢绞线长度 250～300m，以保证拉线易于张紧。拉线桩的纵向间距在直线段设置不大于 10m，而曲线段则视弯道半径大小，内侧宜加密到 2.5～5m，外侧为 3.5～5.0m。在纵坡较大地方，拉线桩的间距要加密到 5m 左右，才能保证摊铺出的平整度较好。

5)加强面板的及时检测与修整

路面板滑模施工，即使前面所有工作都作得很好，也可能出现意外。比如局部的麻面及平整度不符合要求，熟练工人会赶在超级抹平器前进行修整处理，但应严禁修整工人在搓平梁上来回走动，使搓平梁下混凝土受力不均，造成更大的平整度损失；对抹平器未抹到的边缘，应人工用木抹刀抹平；有塌边、溜肩时，则对模板进行支顶或对边缘补料修整。两侧修整人员要随时对路面两侧的纵向、横向平整度进行检测，特别是左右连接摊铺的纵缝处更要重点检测，发现问题立即修整。

在混凝土硬化后，专职的平整度检测员应分车道加密检测，发现不合格的地方，作上标记，并用粗磨头的水磨石机打磨至规定的平整度，用硬刻槽法补刻抗滑宏观构造。

6)加强胀缝板的施工控制

在温度较低时，滑模摊铺机每天施工完成后需留下胀缝位置，待温度到 30℃左右用人工施工。人工施工时要先对两边的接头板进行检查，如发现平整度达不到要求，则要先用磨平机磨平，然后，再安装胀缝板，浇筑混凝土，细心整平，保证人工施工的混凝土板平整度合格。

7)精心施工工作缝

横向施工缝的连接处往往最易影响路面平整度质量。为确保平整度符合要求，一次摊铺的长度应尽量长，施工缝尽可能调整到胀缝处。施工缝的制作有两种方法：一种是人工立模、抹平；另一种是摊铺机超铺一段距离后待混凝土基本干硬时凿除多余部分，需要配备深层锯缝工具和横向传力杆打入工具。现场因施工机具的限制一般采用人工方式，即在施工前先人工立模然后摊铺机就位摊铺，施工缝处由人工抹平修整。在施工完毕后摊铺机移走，人工做施工缝接头。这样接头部位的平整度就只能依靠抹面工人的精心修整，故需选责任心强的熟练工人来施工。

8)加强宏观构造软拉槽后的修整

在软拉槽后，混凝土面板会出现“毛刺”，这些“毛刺”对平整度有不良影响。为此在软拉槽后 10～12h，应使用平铁锹或水平尺沿横向铲、刮一下，将“毛刺”铲刮掉。

4.施工质量标准

水泥混凝土路面滑模摊铺施工的质量标准见表 7-120 和表 7-121。

各级公路水泥混凝土路面滑模施工的质量标准 表 7-120

项次	检查项目	规定值或允许值		检查方法和频率
		高速、一级公路	其他公路	
1	弯拉强度(MPa)	100%符合《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》附录 C 的规定		每工作班留 2～4 组试件，日进度<500m 取 2 组；≥500m，取 3 组；≥1 000m取 4 组
2	板厚度(mm)	代表值≥－5；极值≥－10		每 200m 每车道 2 处

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

项次	检查项目		规定值或允许值		检查方法和频率
			高速、一级公路	其他公路	
3	平整度	σ(mm)	≤1.5	≤2.5	平整度仪：全线每车道连续检测，每100m计算σ、IRI
		IRI(m/km)	≤2.5	≤4.2	
		最大间隙h(mm)	≤3(≥90%)	≤5(≥90%)	3m直尺：半幅每200m 2处10尺
4	抗滑构造深度(mm)		0.8~1.2	0.6~1.0	铺砂法：每200m测1处
5	相邻板高差(mm)		≤2	≤3	3m直尺测：每条胀缝3点，每200m纵横缝2条，每条3点
6	滑模连接摊铺纵缝高差(mm)		平均≤2 极值≤3	平均≤3 极值≤5	3m直尺测：每200m纵向工作缝，每条3处，每处间隔2m测3尺，共9尺
7	纵横缝顺直度(mm)		≯10		纵缝20m拉线每200m 4处，横缝每200m 4处
8	中线平面偏位(mm)		≯20		经纬仪：每200m 4点
9	路面宽度(mm)		≯±20		第200m 4条
10	纵断高程(mm)		≯±10	≯±15	水准仪：每200m 4个断面
11	横坡(%)		≯±0.15	≯±0.25	水准仪：每200m4个断面
12	断板率(‰)		≤2	≤4	断板块占总块数比例
13	脱皮印痕裂纹露石缺边掉角(‰)		≤2	≤3	上述缺陷的受检面积与总面积比例
14	路缘石顺直度和高度(mm)		≯20	≯20	200m 4处，越位20mm
15	填缝饱满度(mm)		≤2	≤3	比路面低的高度，累计长度超过100m
16	切缝深度(mm)		≥50	≥50	不宜偏浇超过10mm
17	胀缝缺陷				每条胀缝有明显缺陷者
18	胀缝板连浆偏位倾斜(mm)		≤20 ≤20	≤30 ≥25	胀缝板两侧测量：连浆偏位倾斜视同胀缝明显缺陷
19	传力杆偏斜(mm)		≤10	≤13	钢筋保护层仪：每车道3根平均值

混凝土拌和物及水泥混凝土路面的检验项目和频率 表7-121

材料	检查项目	检查频率	
		高速公路、一级公路	其他公路
混凝土拌和物	坍落度及其均匀性	每天施工测3次，有变化时随测	每天施工测3次，有变化时随测
	坍落度损失率	开工、气温较高和有变化时随测	开工、气温较高和有变化时随测
	振动粘度系数	配合比试拌，原材料和配合比有变化时测	配合比试拌，原材料和配合比有变化时测
	含气量	每天测1~2次，有抗冻要求2~4次	每天测1~2次，有抗冻要求2~4次
	泌水率	必要时测	必要时测
	密度	每天施工测1次	每天施工测1次
	温度	必要时测，冬季、夏季每天1~2次	必要时测，冬季、夏季每天1次
	凝结时间	必要时测，冬季、夏季每天1~2次	必要时测，冬季、夏季每天1次
	水化热	冬季、夏季施工必要时测	冬季、夏季施工必要时测
	离析	随时观察	随时观察

续上表

材料	检查项目	检查频率	
		高速公路、一级公路	其他公路
混凝土路面	弯拉强度	每班留2~4组试件，日进度<500m取2组，≥500m取3组，>等于1 000m取4组，测f_{cs}、f_{min}、C_v	每班留1~3组试件，日进度<500m，取1组，≥500m取2组，≥1 000m取3组，测f_{cs}、f_{min}、C_v
	钻芯劈裂强度	每3km每车道钻取1个岩芯，硬路肩为1个车道，测平均f_{cs}、f_{min}、C_v、板厚h	每3km每车道钻取1个岩芯，硬路肩为1个车道，测平均f_{cs}、f_{min}、C_v、板厚h
	3m直尺平整度	每半幅车道100m 2处10尺	每半幅车道200m 2处10尺
	动态平整度	所有车道连续检测	所有车道连续检测
	板厚	每100m路面摊铺宽度内左右各2处，连接摊铺每100m路面边缘1处并参考岩芯高度	每100m路面摊铺宽度内左右各1处，连接摊铺每100m路面边缘1处并参考岩芯高度
	抗滑构造深度	铺砂法：每幅200m 2处	铺砂法：每幅200m 1处
	横坡度	水准仪：每200m 6个断面	水准仪：每200m 4个断面
	接缝顺直度	20m拉线测：每200m 6条	20m拉线测：每200m 4条
	摊铺中线偏位	经纬仪：每200m 6点	经纬仪：每200m 4点
	纵断高程	水准仪：每200m 6点	水准仪：每200m 4点
	路面宽度	尺测：每200m 6处	尺测：每200m 4处
	切缝深度	尺测：切缝后每200m 6处	尺测：切缝后每200m 4处
	灌缝饱满度	尺测：每200m接缝测6处	尺测：每200m接缝测4处
	连接摊铺纵缝高差	尺测：每200m纵向工作缝，每条3处，每处间隔2m测3尺，共测9尺	尺测：每200m纵向工作缝，每条2处，每处间隔2m测3尺，共测6尺
	胀缝缺陷	每条观察填缝及啃边断角	每条观察填缝及啃边断角
	胀缝板连浆	每条胀缝板安装时测量	每条胀缝板安装时测量
	胀缝板倾斜	尺测：摊铺宽度内每块胀缝板的两侧	尺测：摊铺宽度内每块胀缝板的两侧
	胀缝板弯曲和位移	尺测：摊铺宽度内每块胀缝板3处	尺测：摊铺宽度内每块胀缝板3处
	胀缝、缩缝传力杆偏斜	钢筋保护层仪：每车道4根	钢筋保护层仪：每车道3根
	断板率	数断板面板的块数占总块数的比例	数断板面板的块数占总块数的比例

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第八章　基础施工

第一节　明挖基坑

一、不加固坑壁的基坑

1.适用条件

1)干涸无水或虽有水但经改河或筑堤后,能排除地表水的河滩、河沟。

2)地下水位低于基底,或渗透量小,不影响坑壁的稳定性。

3)基础埋置不深,施工期较短,挖基坑时不影响邻近建筑物的安全。

2.坑底平面尺寸

雨季施工,有基坑排水设计或基础模板设计的,依设计所需基坑大小而定;基础地基需要进行加固的,按设计加固范围和作业需要确定;一般情况下,采取基础平面尺寸四周各边增宽50~100cm,以便在基础底面外安置基础模板,设置排水沟、集水坑。在干旱晴天时施工的坑壁垂直无水的基坑,其基础平面尺寸不必加大,可直接利用垂直坑壁作外模浇(砌)筑基础。

3.基坑形式

1)垂直坑壁基坑

对于天然湿度接近最佳含水量,构造均匀,不致发生坍滑、移动、松散或不均匀下沉的基土,基坑可采用垂直坑壁,见图8-1a)。

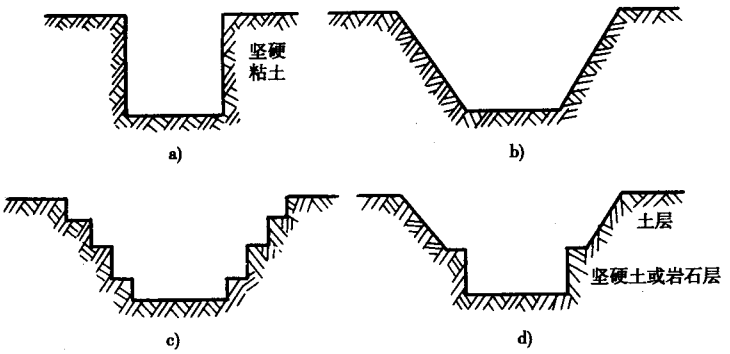


图8-1　基坑形式示意

a)垂直坑壁;b)斜坡坑壁;c)阶梯坑壁;d)上层斜坡下层垂直坑壁

2)斜坡和阶梯坑壁基坑

基坑深度在5m以内,土的湿度正常时,基坑可按表8-1的规定采用斜坡开挖或按坡度比值挖成阶梯形坑壁,每梯高度为0.5~1.0m为宜,并可作为人工运土出坑的台阶,如图8-1b)和c)所示。

基坑深度大于5.0m时,可参照表8-1坑壁坡度适当放缓,或作平台;土的湿度超过坑壁的稳定性时,应采用该湿度下土的天然坡度或采取加固坑壁的措施。

基坑坑壁坡度表　　表 8-1

坑壁土质	坑壁坡度		
	基坑顶缘无载重	基坑顶缘有静载	基坑顶缘有动载
砂类土	1:1	1:1.25	1:1.5
碎、卵石类土	1:0.75	1:1	1:1.25
亚砂土	1:0.67	1:0.75	1:1
亚粘土	1:0.33	1:0.5	1:0.75
粘土夹有石块	1:0.25	1:0.33	1:0.67
硬质页岩	1:0	1:0.1	1:0.25
岩　石	1:0	1:0	1:0

注:①挖基经过不同土质的土层时,可按不同坡度放坡,变坡处酌留平台;

②在山坡上开挖基坑,如地质不良时,应注意防止坍滑。

3)上层斜坡下层垂直的坑壁基坑

基坑上层土质适合敞口斜坡条件,下层土质为密实粘性土或岩石时,可采用上层斜坡下层垂直的坑壁形式,如图 8-1d)所示。在坑壁坡度变换处,应留有至少 0.5m 宽的平台。基坑无水时,坑底可按基础平面尺寸开挖,利用坑壁代替基础模板浇筑混凝土。

4.施工中注意事项

1)为避免地表水冲塌坑壁,在基坑顶缘四周适当距离设截水沟,并应防止水沟渗水,影响坑壁稳定。

2)坑缘边应留有护道,静载距坑缘不少于 0.5m,动载距坑缘不少于 1.0m。在垂直坑壁坑缘边的护道还应适当增宽。

3)施工时应注意观察坑缘顶面上有无裂缝,坑壁有无松散塌落现象发生,以确保安全施工。基坑施工不可延续时间过长,自基坑开挖至基础完成,应抓紧时间连续不断施工。

4)如用机械开挖基坑,挖至坑底时应保留不少于 30cm 的厚度,在基础浇筑或砌筑前,再用人工挖至基底标高。

5.无水基坑施工方法

1)一般小桥涵基础,工程量不大的基坑,可用人力施工方法进行。

2)大、中桥基础工程,基坑深、基础平面尺寸大、挖方量大时,可用机械施工或半机械施工方法。

3)无水基坑的开挖方法可参照表 8-2。

无水基坑开挖方法　　表 8-2

地质及支撑状况	挖掘方法	提升方法	运输方法	附　注
土质无支撑	挖土机(正铲)	挖土机(正铲)	挖土机直接装车	挖土机在坑底
土质无支撑	挖土机(反铲)	挖土机(反铲)	挖土机回旋弃土	挖土机在坑缘上
土质无支撑	挖土机(拉铲)	挖土机(拉铲)	挖土机回旋弃土	挖土机在坑缘上
土质或石质无支撑或有支撑	人力或风动工具	传送带($H<4.5$m)	传送带接运	传送带可分设在坑下或坑上

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

地质及支撑状况	挖掘方法	提升方法	运输方法	附注
土质或石质无支撑或有支撑	人力或风动工具	吊车、各种动臂吊机或摇头扒杆，配带活底吊斗	回旋弃土或直接装车	吊升机具设在坑缘或坑下，必要时可在坑上脚手平台接运
土质，无支撑或有支撑	吊车抓泥斗： 软土(无齿双开)、 漂石或大砾石(四开)、 硬土(有齿双开)	抓泥斗	吊臂回旋弃土或直接装车	
土质或石质无支撑或有支撑	人力或风动工具	爬坡车： 有轨(石质坑)、 无轨(土质坑)、 用卷扬机或绞车	爬坡车、接斗车或手推车	
土质无支撑或有支撑	人力挖掘	用锹向上翻弃(H < 2m)或人工接力上翻	弃土或装车	

4)几种适合挖基用的单斗挖掘机的主要技术规格列于表8-3。

单斗挖掘机主要技术规格 表8-3

名称	单位	挖掘机型号							
		WY40履带式液压挖掘机	WL60轮胎式液压挖掘机		WL100/A履带式挖掘机		WY100履带式液压挖掘机		
铲斗容量	m^3	0.4	0.6		1.2		1.0		
发动机功率	kW	40	60		90		110		
最大工作压力	MPa	21	14				32		
行走速度(最大)	km/h	1.70	32.13		2.20		3.40		
最大爬坡度	%	40	28		28		45		
最大挖掘半径	m	反铲 7.08	正铲 6.46	反铲 8.30	反铲 9.35	反铲 12.00	反铲 9.00		
最大挖掘深度	m	3.74	3.78	4.63	1.95	6.80	5.70		
最大挖掘高度	m		3.38	3.38	4.40	6.30	5.39		
机器质量	t	11.5	13.50		31.0		25.0		
外形尺寸(长×宽×高)	m	6.94×2.48×3.28	7.60×2.75×3.85		12.5×3.48×3.66		9.53×3.10×3.40		
产地		北京	贵阳		抚顺		上海		

二、加固坑壁的基坑

1.加固坑壁

在下列情况下宜采用加固坑壁：

1)基坑坑壁土质不易稳定，并有地下水的影响；

2)放坡开挖工程量过大，不符合工程进度和质量要求；

3)受施工场地或邻近建筑物限制不能采用放坡开挖。

2.木挡板支撑坑壁

1)直挡板支撑

可分普通式及框式两种。

普通式由直挡板、横梁木与横撑木组成，见图 8-2a)和图 8-2c)。框式由直挡板与框架撑所组成，见图 8-2b)。

直挡板支撑，一般适用于基坑尺寸较小的情况。如宽度相当于一根对撑木的长度，深度相当于一块木挡板的长度。根据土质情况，可一次开挖，至坑底后再安装直挡板支撑；也可分层下挖，随挖随打下直板随即支撑，但此法出土不方便。有的基坑较深，坑壁上部可采用放坡开挖，下部可采用加固坑壁垂直开挖的办法。

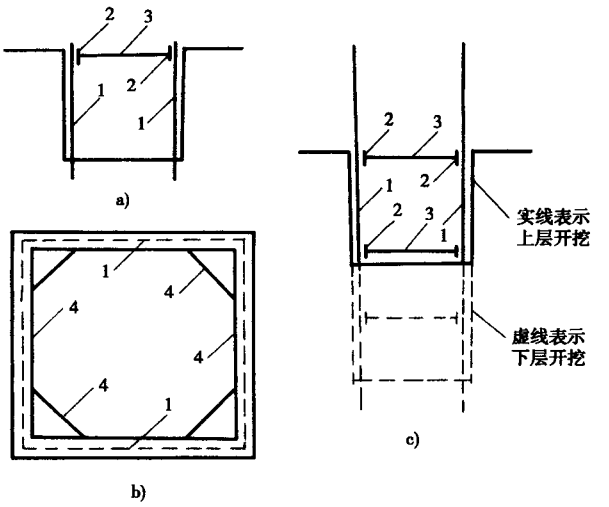


图 8-2　直挡板支撑

a)直挡板支撑基坑；b)框架支撑基坑；c)直挡板支撑分层开挖基坑

1-直挡板；2-横梁木；3-横撑木；4-框架撑

2)横挡板支撑

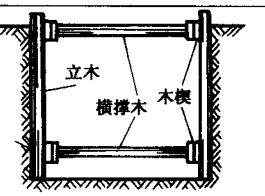
横挡板支撑由横挡板、立木与横撑木所组成，一般形式见表 8-4。

横挡板支撑的立木与横撑木等支撑结构的布置，可根据土压、基坑大小、材料强度及需要工作空间等条件，参照表 8-5 选用支撑形式。

3)坑壁支撑的计算

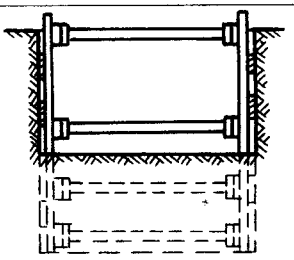
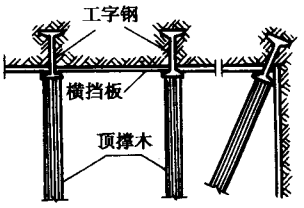
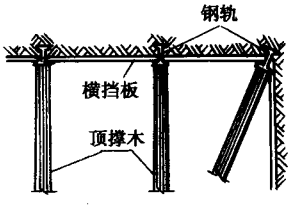
土压力按库仑公式计算，不计土与挡板间的摩擦力。主动土压力和被动土压力的计算分别见式(8-1)和(8-2)。

横挡板、立木与横撑组成形式　　表 8-4

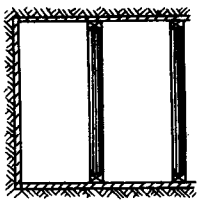
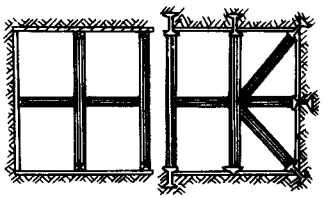
序号	基坑状况	开挖及支撑方法	示意图
1	土质较好，深度不大	一挖到底，再行支撑	 土质粘性好时，横挡板可间隔设置

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

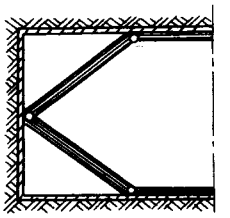
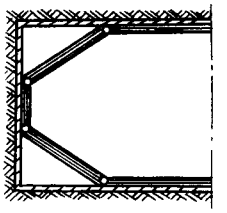
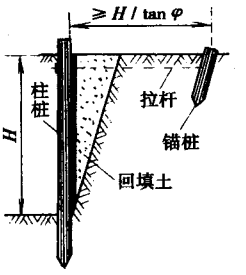
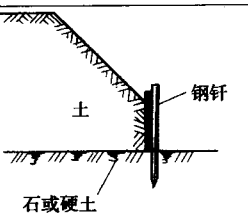
续上表

序号	基坑状况	开挖及支撑方法	示意图
2	深度较大	挖至可能(不支撑,短时内能稳定)的深度,安设支撑,再下挖至一定深度,安装第二层支撑,循序渐进,直至基底	 侧面图
3	土质较差或在地下水位以下	1)基坑周围每隔 1.5～2.5m 打入小工字钢至基底以下一定深度; 2)边向下挖边在工字钢翼缘内安装横挡板挡土; 3)在一定高度上,于工字钢翼缘上安装横撑; 4)挡板与土壁不贴紧时,可在翼缘与挡板之间加楔木	 平面图
4	土质较差或在地下水位以下,但土压较小	同上,但以钢轨代工字钢,轨底向基坑,安装顶撑时,如轨底支承面积不够,可加一段槽钢或垫板	 平面图

横挡板支撑结构形式 表 8-5

序号	适用状况	支撑方法	支撑结构示意图
1	基坑宽 3m 以内	短边横挡板支撑在长边横挡板上(或切角互相支撑),只在长边上设立木及横撑	
2	基坑宽度较大	长短边上均设立木及横撑	

续上表

序号	适用状况	支撑方法	支撑结构示意图
3	基坑宽度大，需要工作空间亦大	人字形支撑	
4	基坑宽度大，需要的工作空间更大	八字形支撑	
5	用大型挖掘机施工的大基坑不能安设横撑的	锚固式支撑	
6	基坑坡脚小规模防坍	用钢钎支挡板	

$$E_a = \gamma h \mathrm{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) \tag{8-1}$$

$$E_p = \gamma h \mathrm{tg}^2(45° + \frac{\varphi}{2}) \tag{8-2}$$

式中：E_a——主动土压力，kPa；

E_p——被动土压力，kPa；

γ——坑壁土平均天然容重，kN/m^3；

φ——坑壁土平均内摩擦角，°；

h——基坑深度，m。

坑壁支撑受力情况见表 8-6。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

坑壁支撑受力情况 表 8-6

支撑形式		杆件形式	荷　载	支承点
横挡板	挡　板	简支梁或连续梁	均布荷载(土压)	立　木
	立　木	简支梁或连续梁	三角形荷载	横撑
	横　撑	压　杆	轴向压力(立木支点反力)	
直挡板	挡　板	简支梁或连续梁	三角形荷载(土压)	横　梁
	横　梁	简支梁或连续梁	均布荷载	横　撑
	横　撑	压　杆	轴向压力(横楞支点反力)	

横挡板支撑计算:一般坑壁横挡板支撑的立木间距为 1.5～2.0m;横撑间距由立木强度及基坑工作条件决定,一般为 1.0m 左右。挡板的厚度可按受力最大的最下一块板来计算确定。

如图 8-3a)所示,最下一块板上水平压力面是梯形。为简化计算,用 $E_a = p_a h$ 的矩形压力图来代替,板宽为 b,横挡板是受均布荷载 bE_a 的连续梁;如图 8-3b)所示,为简化计算与安全计,按简支梁来求其最大弯矩。

$$M_{max} = \frac{bE_a L^2}{8} \tag{8-3}$$

式中:M_{max}——挡板在立柱间跨中最大弯矩,kN·m;

L——立柱间距,m;

b——挡板宽度,m;

E_a——主动土压力,kPa。

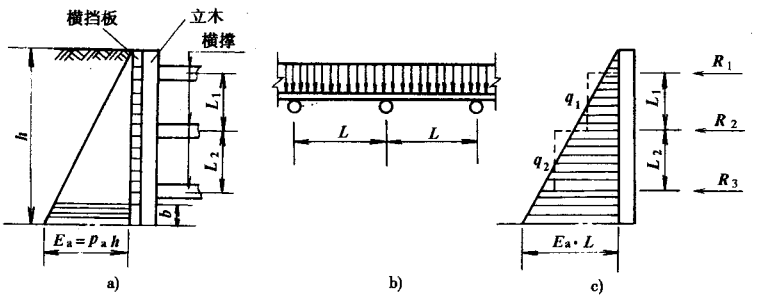


图 8-3　横挡板支撑计算示意

横挡板所需的断面模量为:

$$\overline{W} = \frac{M_{max}}{[\sigma]} \tag{8-4}$$

式中:$[\sigma]$——挡板木料容许弯应力,kPa;

M_{max}——意义同式(8-3)。

挡板厚度为:

$$d = \sqrt{\frac{6\overline{W}}{b}} \tag{8-5}$$

式中:$\overline{W}$——意义同式(8-4);

b——意义同式(8-3)。

立木为承受三角形荷载的连续梁,为简化计算可按多跨简支梁计,并按控制跨度设计其尺寸。计算时可将各跨间梯形分布荷载简化为均布荷载 q(等于其平均值),如图 8-3c)虚线所示;然后取其控制跨度及立木断面模量,确定立木尺寸。

支点反力可按承受相邻两跨度上各半跨的荷载计算,图 8-3c)的中间支点反力为:

$$R_2 = \frac{q_1 L_1 + q_2 L_2}{2} \tag{8-6}$$

图 8-3c)的上下两支点的外侧已无支点，故计算立木两端悬臂部分的荷载应分别由上下两个支点(R_1、R_2)承受。横撑为承受支点反力的压杆，计算时按轴心受压验算其强度及稳定性。若横撑截面有不对称的削弱时，应考虑由截面偏心引起的偏心弯矩作用，按偏心受压杆件验算。稳定和偏心受压验算时，其折减系数 ϕ 也可按下列方法计算。

当横撑的细长比 $\lambda \leqslant 80$ 时，按式(8-7)计算；当 $\lambda > 80$ 时，按式(8-8)计算。

$$\phi = 1.02 - 0.55\left(\frac{\lambda + 20}{100}\right)^2 \tag{8-7}$$

$$\phi = \frac{3000}{\lambda^2} \tag{8-8}$$

式中：λ——构件长细比，$\lambda = l_0/r$；

l_0——受力构件的计算长度，m；

r——计算截面回转半径，m；$r = \sqrt{I_m/A_m}$；

I_m——毛截面对其重心轴的惯性矩，m^4；

A_m——毛截面的面积，m^2，

ϕ——折减系数。

4)坑壁支撑施工

坑壁支撑木材应采用针叶材如松木、杉木，不宜使用杂木。楔块、垫木宜用硬木。

坑壁土压因土的湿度增加而变大，可能引起支撑变形，故应随时检查，防止出现受力不均和应力集中等情况。检查时除观察支撑变形、开裂等现象外，并可用小锤敲击，根据音响判别受力大小。受力小的音钝，受力大的音脆；受力过大的支木能发出格格响声。对已变形或受力过大的支撑，应随即加固或更换。

3.混凝土支护坑壁

1)适用条件

适用于圆形或椭圆形，地下水渗流不严重的各类土质基坑，可用于直径较大、较深的基坑。

2)护壁混凝土配制和操作要求

为确保基坑内的安全施工，对所用的混凝土，应达到速凝早强的要求，便于很快起到支护坑壁的作用。对水泥、砂、石的质量和配制均应严格要求，砂石料洁净，最大粒径不大于 25mm。混凝土配合比，速凝剂掺量，以及从掺速凝剂到浇筑或喷射的时间，均应由试验室或已有的经验确定。在护壁前应将坑壁周围的松动部分清除干净。

3)护壁厚度的计算

$$d = \frac{E_a D}{2\sigma_a} \tag{8-9}$$

式中：d——护壁厚度，m；

E_a——主动土压力，kPa；按式(8-1)计算；

D——基坑直径，m；

σ_a——混凝土早期抗压强度，kPa。

4)支护坑壁混凝土的两种施工方法

(1)喷射混凝土护壁。喷射混凝土厚度视坑壁土的径向压力和混凝土早期强度，可按式

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(8-9)计算。根据经验,一般厚度为 5 ~ 8cm,一次喷护约需 1 ~ 2h,一次喷护如达不到要求厚度,应待第一次喷层终凝后,再补喷,直至达到要求厚度为止。

施工程序:在基坑口挖环形沟槽作土模,灌注 C15 混凝土作坑口护筒;护筒也可预制,挖土下沉;护筒顶面高于地面 10 ~ 20cm,护筒厚度按基坑大小及土质而定,一般为 15 ~ 40cm;护筒长度按上层土质稳定情况而定,一般为 1.0 ~ 1.5m。

护筒灌注后 3 ~ 4d 即可开挖基坑。护筒以下开挖时,从中心向外挖,周壁力求圆顺。可视地质情况,每天挖深 0.5 ~ 1.0m;当土层较稳定时,一次挖深可超过 1.0m。随即喷射混凝土护壁。挖一节,喷一节直到基底。

如遇坑壁涌水较大,可用铁管插入渗水孔引流至集水坑并抽出。喷射时先喷渗水较小的地方,逐步向渗水大的地方围拢,最后拔除管子喷堵。

基坑挖至设计标高经监理检验合格后,应立即浇筑基础混凝土。

(2)现浇混凝土护壁。宜有定型的钢模,见图 8-4b)。基坑开挖视土质稳定情况而定,一般每挖深 1.0 ~ 1.8m,立模浇筑一次混凝土。拆模时间要根据掺速凝剂及气温条件、混凝土达到支撑强度等要求来决定,一般在 24h 以后便可拆模。挖一节,浇一节混凝土,直到基底为止,见图 8-4a)。每次装模时,在上下节之间留有高 20cm 浇筑口,最后用混凝土堵塞。浇筑护壁厚度视基坑大小及坑壁土质而定,一般厚 8 ~ 15cm;必要时还可采用钢筋混凝土,但在两节之间应预留联接钢筋,见图 8-4b)。

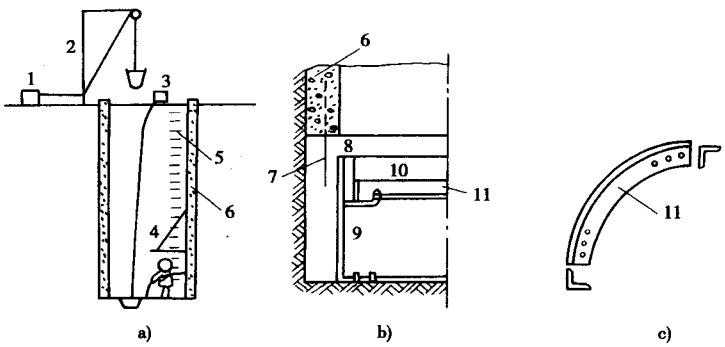


图 8-4 现浇混凝土护壁

a)施工示意;b)护壁钢模;c)钢模支撑

1-卷扬机;2-摇头扒杆;3-抽水机;4-防护栅;5-铁梯;6-护壁混凝土;7-联接钢筋;8-浇筑口;9-钢模;10-ϕ16mm 卡具;11-钢模支撑

三、工程实例

(一)厦门大桥 1 号墩和 7 号墩基础施工

厦门大桥主桥 1 号和 7 号墩基岩出露面较高,设计为钢筋混凝土基础,其尺寸分别为 4.26m × 6.70m × 1.50m 和 4.60m × 6.70m × 2.0m。1 号墩用 1.0m 高袋装土填筑围堰;7 号墩南、北、西三面均被便道和土岛围住,只需东面增加一道土堤就能围水,而围堰内面积较大,可就近弃土。

1.1 号墩基础施工

1 号墩用外破法清除 3 ~ 5m 风化岩层,为保证施工安全、减少开挖量,采用与开挖竖井类似的方法进行光面控制爆破。设直立式坑壁,炮眼选用直眼菱形掏槽,用 4 个时段毫秒雷管起

爆。基坑一次爆破成功,安全效果良好。与放坡漏斗状爆破比较,开炸量减少一半。由于采用光面爆破,坑壁光滑平整,浇筑基础混凝土时不立模板,使之紧密嵌入岩层。

2.7号墩基础施工

采用机械和人工相结合的方式进行挖基,用砂石泵排泥(人工搅拌相结合)。人工挖泥装入吊斗,利用吊机卸至1:4边坡以外。石质基坑采用光面控制爆破,采用泵送混凝土浇筑基础。

(二)集美立交桥基础施工

集美立交桥是厦门大桥的组成部分,由引桥、匝道桥、匝道和辅助道构成。单线累计总长度3 769.81m,其中桥梁长度2 481.82m,共120孔。

桥位范围内的地形、地貌,大致可分为水、陆两个台阶。水中地面高程有+2.0m(蓄水池)、±0.0m(水电沟)、-2.0m左右(杏林湾)三个小梯级;陆地主要是水域周围的道路和堤坝,高程+6.0~+8.0m。

由于墩台数量多而分布又密,单墩逐一围水施工意义不大,只有采用大面积围水及筑大岛等办法,一次解决一片墩群的大围水方案,才能充分提高机械化程度,为基坑土方挖运、石方爆破清运、混凝土输送、模板和钢筋笼吊装等创造条件。该方案妥善解决了施工与交通安全、既有市政设施的正常运转、杏林湾排洪以及向市内供水等多方面的问题。下面以水电沟大围水施工为重点,介绍扩大基础施工。

1. 工程地质条件

桥位范围内深层基岩为燕山期花岗斑岩,岩面倾斜起伏很大。因地面大部经过人工改造,地质剖面呈现三种不同状态:①天然状态——基岩上覆盖厚度不等的强、中、微风化层及表土,如杏林湾;②原地面第四纪覆盖层上又加上较厚的填筑土,如几段堤坝上;③覆盖层被剥离后,岩层呈裸露状态,强、中风化层甚至基岩露出表面,如水电沟及蓄水池中。地质条件对各类挖基施工的影响分述如下。

1)水中扩大基础

64个基础分布于水电沟和蓄水池中,强风化层、基岩露出地表,没有下卧软弱层,地基可靠。主要施工难点包括以下几个方面。

(1)为保证排洪需要,不允许压缩原过水断面;基础顶面高程一般不能高于原地面。这样就有14个基坑需要爆破,受环境影响难度较大。

(2)有的强风化层呈土状,在长期泡水的情况下,基本承载力低于0.3MPa的设计要求,需作加宽加深加垫层处理。

(3)有的基坑遇有孤石,基底承载力不均匀,需作特殊处理,如引18-II墩。

(4)原开挖水电沟时,超深处用石渣回填,以及修建潮汐发电站留下一些旧基础,对围水止水有严重危害。

(5)位于水陆交界处边坡上的墩基施工特别困难。不仅要拆除和恢复高达8m的旧驳岸,而且靠陆一侧基坑边坡高度达10m,原填方下还有软弱层或透水层,容易引起塌方;靠水一侧存在抛石层及旧基础,止水困难。这类墩台有引3-II~引7-II、引8-I~引9-I、叉1、匝C_1台等9个。

2)陆上扩大基础

有匝A台、匝E台、匝F台、E_1墩、E_2墩等5个陆上扩大基础,地质条件没有特殊问题,主要在于处理管、线、路对施工的干扰。

2. 扩大基础施工

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

以水电沟大围水施工为重点，介绍扩大基础施工设备、方法以及特殊基础的处理、控制爆破等。

1)大围水施工主要机械和劳力配备(见表 8-7)

2)基础施工

整个大围水工地组织挖基、基础、墩身三条流水作业线，自西向东推进。因工期太紧，首先以基础施工为重点，墩帽等水面以上工程暂不安排。

(1)挖基。配备 2 台 W—100 液压反铲挖掘机，日产 400～500m^3。该机型能下挖 3～3.5m，操作自如，故障少，适合浅基施工。除留下回填土外，多余土方及时运走。

基坑底面尺寸按基础设计尺寸各边加 0.5m；底面找平坚持用挖不用填，留下 0.2m 用人工挖掘。边缘设 10cm×10cm 小排水沟和深 60cm 集水坑，使用小型潜水泵抽排渗水。

可能出露石方的基坑，提前安排剥离表土，暴露基岩，以便及时制定爆破方案，安排凿岩爆破。

大围水施工主要机械和劳力配备 表 8-7

序号	机械设备			劳力		
	名称	单位	数量	名称	单位	数量
1	液压反铲挖掘机 W—100	台	2	总人数	人	227
2	推土机 T—140	台	1	技术工种	人	137
3	装载机 ZL—50	台	1	起重工	人	8
4	空压机 10m^3/min	台	1	钢筋工	人	20
5	凿岩机 YT—24	台	6	木工	人	15
6	履带吊机 日本 ST—180 40t	台	1	混凝土工	人	15
7	履带吊机 波兰 KV1203 15t	台	1	电爆工	人	3
8	轮胎吊机 日本 KATO 50t	台	1	电工	人	5
9	自卸汽车 8～12t	台	4～6	机修工	人	4
10	混凝土泵车 IPF—100B－8E27	台	1	测量工	人	10
11	混凝土罐车 MR—4500 6m^3	台	4	试验工	人	3
12	搅拌楼 30m^3/h	台	1	机修工和驾驶员	人	40
13	对焊机(φ30mm 型)	台	1	电钻工	人	6
14	电焊机	台	3	爆破工	人	2
15	钢筋机械(切断、调直、弯曲)	台	各 2	砌石工	人	4
16	抽水机(离心式)200～250m^3/h	台	6	开料修面工	人	2
17	抽水机(潜水泵)20～30m^3/h	台	10	普通工	人	60
18	砂浆搅拌机	台	3	管理人员	人	10
19	翻斗车 1t	台	4	后勤人员	人	20
20	蛙式打夯机	台	2			

(2)基底处理。根据开挖所见基底土质、地质资料和触探数据，对不同基坑进行分别处理。

①基本承载力满足设计要求(0.3MPa)的土质基坑，铺填 15cm 碎石填层，并夯实。

②基本承载力低于设计要求的土质基坑，要加宽加深，用 C20 混凝土作垫层，扩大受压面积，以降低基底承压应力。增加的宽度、深度和混凝土垫层厚度按甲方提供的参考数据选用，如图 8-5 和表 8-8。

③基底承载力不均匀的基坑(一部分为孤石，另一部分为土质)，根据不同情况采取不同处理方法。当孤石面积不大时炸除孤石，基底高程按土质部分要求设置；当孤石面积较大时，将土质部分继续挖深，用 C20 混凝土补齐，力求基底承载力比较均匀，避免不均匀沉降。

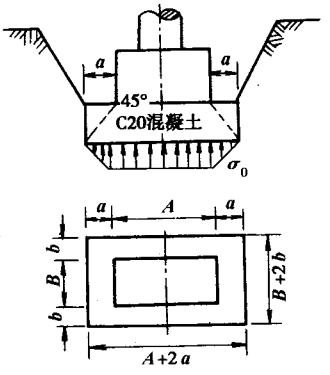


图 8-5 扩大基础增加混凝土垫层图

基础扩大时基底应力修正 表 8-8

基础尺寸 A×B ＼ 增加尺寸	a(m)	b(m)	h(m)	σ_0(MPa)
7.5m×7.5m	1	1	1	0.255
	2	2	2	0.230
7.5m×5.0m	1	1	1	0.242
	2	2	2	0.212
6.0m×6.0m	1	1	1	0.242
	2	2	2	0.211
6.0m×4.5m	1	1	1	0.232
	2	2	2	0.200

3)钢筋施工

因基础体积较大，不便吊安，采取工场加工、现场人工绑扎。调直、对焊、切断、弯曲等工序尽量采用机械，组织专业化批量生产。基础类型主要有四种，钢筋类型也不多，每种批量较大，实行分类挂牌堆放，根据现场需要进行快速配料。成批划线，为每个基础准备上下层钢筋网的 8 根放样筋，使现场绑扎时不需丈量，就能做到间距符合要求。

4)模板设计、加工和安装

为提高施工速度并确保混凝土质量，采用拼装大块模板(每个基础四块)用吊机配合安装。

计划模板数量时，从全部基础出发，尽量提高周转次数，又满足大围水突击快速施工需要。在分析全部基础尺寸的前提下，决定拼装 3 套 12 片模板，因而可随时根据需要组拼各种尺寸的基础模板。备件及组拼方法，如表 8-9 所示。

基础钢模板的备件及组拼方法 表 8-9

序号	模板备件		各种基础尺寸和模板组拼方法			
	长×高(宽)(m)	片数(片)	长×宽×高(m)	全桥个数	大围水个数	模板组拼方法
1	7.5×1.6	6	7.5×8.5×1.6	6	3	4×1 或 2×1+2×(3+1)
2	6.0×1.6	2	7.5×7.5×1.6	14	14	4×1
3	5.0×1.6	2	7.5×5.0×1.6	19	16	2×1+2×3
4	4.5×1.6	2	6.0×6.0×1.6	10	10	2×1+2×2

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

序号	模板备件		各种基础尺寸和模板组拼方法			
	长×高(宽)(m)	片数(片)	长×宽×高(m)	全桥个数	大围水个数	模板组拼方法
5	合计:121.4m²/12片		6.0×4.5×1.6	13	4	2×2(或1)+2×1
6			7.5×12.8×1.6	1	1	2×1+2×(1+3)
7			6.0×12.0×1.6	1	1	2×2+2×(4+1)
8			6.0×10.2×1.6	1	1	2×2+2×(4+1)
9			6.0×8.0×1.6	1		2×2+2×(3+1)
合计				66	50	

注:1号备件长度均为7.5m,但其中2片的围图长度为8.5m,其余模板和围图同长。

大块钢模板的板料均用小块定型钢模板组拼,竖向及水平围图选用I10型钢,强度刚度均留有富余,减少变形确保尺寸准确。构造力求简单,四角用法兰螺丝拉紧定位,顶部一层拉紧,底部一层撑于坑壁的木支撑。现场装模速度快,可在1h内完成。综合周转达23次,加上回收后改作承台模板总周转可达40次,比按单种基础配套,节省模板及围图钢料近一半。

5)混凝土浇筑

混凝土均在预制厂集中搅拌,有两个拌和楼,15m³/h搅拌机2台,45m³/h搅拌机1台,生产能力强,速度由现场浇筑和运输控制。基坑垫层、基础和墩柱穿插进行,日浇筑量约200m³,安排4~5辆混凝土罐车(6.0m³/车)输送,基本满足需要。

现场浇筑采用溜槽法,混凝土最大骨料粒径40mm,坍落度7~10cm。为保证入模时的坍落度符合要求,外加剂分别在搅拌和现场两次掺入。现场用工较省,每100m³左右基础操作工3~4人,3~4h即可完成。

3. 大围水施工效果

从1988年11月第一次围坝开始至1989年2月22日最后破坝放水,历时104d,实际施工66d,50个基础和71根墩柱全部按原定计划完成。施工中经历两次大雨,两次破坝排水,损失工日21d。施工质量优良,费用未突破计划,也未耽误农时。围水突击施工取得成功,扭转了立交桥施工的被动局面,为按期完工奠定了基础。

大面积围水施工布置如图8-6所示。

4. 几个特殊基础施工

1)引18-II的大孤石类型联合基础

此墩位于原石拱桥1号墩北侧,新旧桥墩基础紧靠在一起,原设计基础为7.5m×5.0m×1.60m钢筋混凝土板,顶面高程±0.00m。在-0.3m左右出露一块大孤石,面积达9.5m×6.0m,基础东面2/3在孤石上,西面1/3为土基。孤石埋藏较深,挖坑并钎探至-4.0m尚未到根部。如全部炸除,会使现有石拱桥1号墩基础悬空并危及石拱桥的安全,故决定利用孤石,用C25混凝土补宽,构成孤石和混凝土的联合基础。做法是用光面爆破炸除孤石中部凸起部分,使孤石顶面标高保持-1.0m的高度;将西侧基坑挖至-3.5m基本承载能力大于0.3MPa

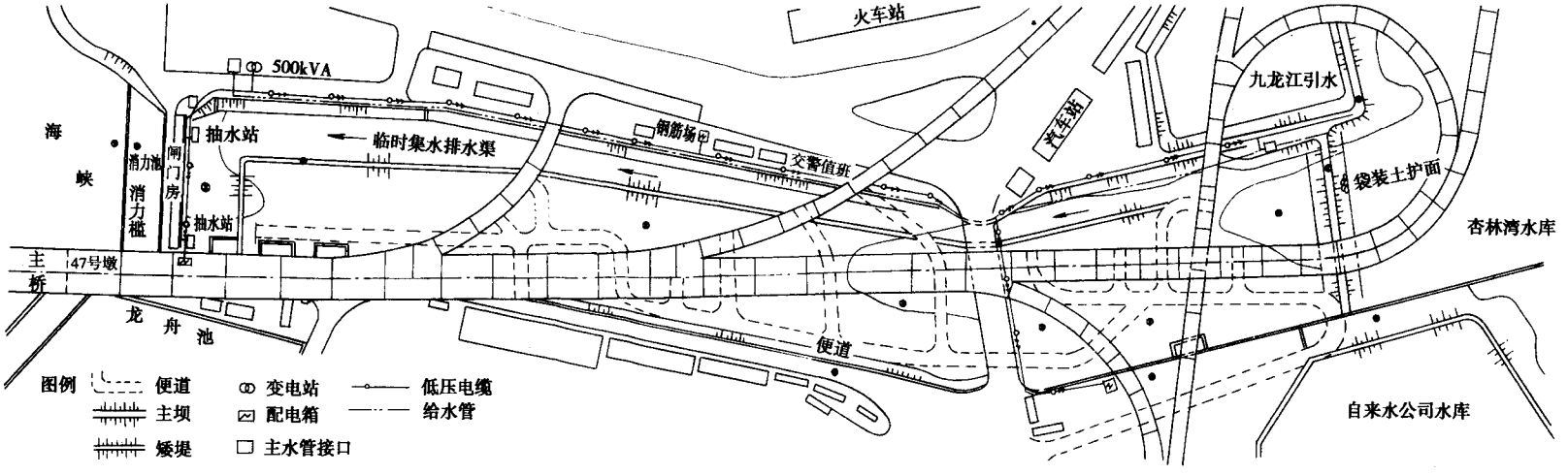


图 8-6　大面积围水施工布置图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

的粗中粒强风化层，以 C20 混凝土补高至孤石顶高程。孤石顶面以上再浇厚 ϕ1.0m 的钢筋混凝土板基础；孤石和混凝土竖直面接触，将孤石凿毛清洗，上下部各设一排 32ϕ28mm 锚杆，顶部设置一层剪力型钢和 ϕ28mm 的分布钢筋，墩身主筋全部锚入孤石 2m，如图 8-7 所示。

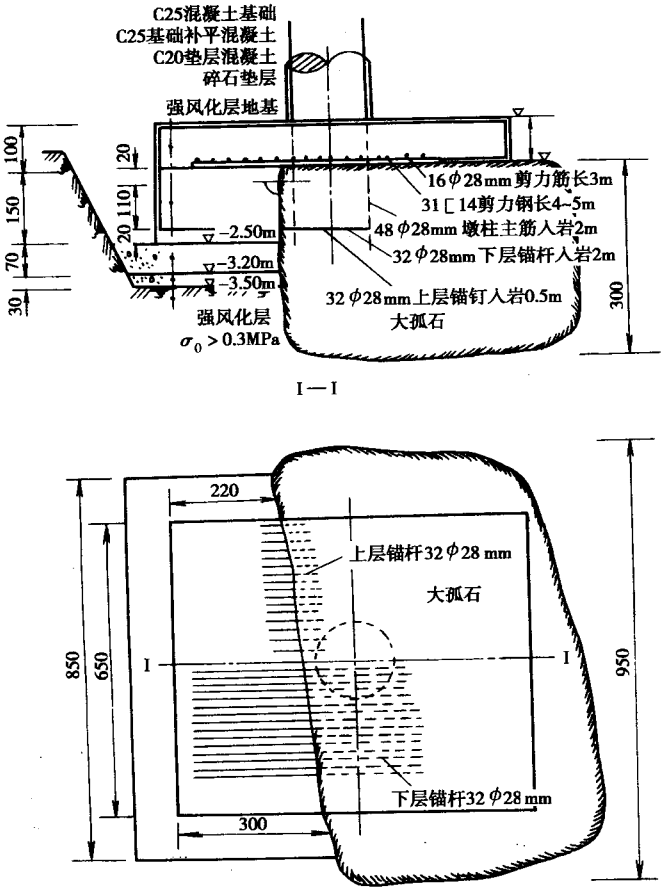


图 8-7　引 18-II 联合基础(单位：cm)

2)基底承载力不均匀类型

引 11-I 基础东侧为一块条形孤石，两侧为两块方形孤石，顶面高程约为 +0.3m，中部有一条强风化带，如图 8-8。挖沟至 -3.0m，风化带呈粗粒状，可判定 σ_0 > 0.3MPa，孤石均未露根。基底高程设计为 -2.0m，为此所有孤石以光面爆破降至设计高程，竖向面凿毛清洗，中沟以 C20 混凝土垫平至 -2.0m，再按原设计浇筑 1.6m 厚钢筋混凝土板。

当软弱部分在基础边缘，而又不能挖到基岩时，垫层混凝土还应按 45°分布线扩大。还有一种处理的方法是将软弱部分挖到承载力高于设计时，以混凝土填补，使与孤石齐平，再浇混凝土板。

3)引 8-I 基础的岸边偏压类型

此墩位于水陆交界处，东侧基坑边坡高达 10.3m，两侧在水电沟中，边坡的土层为回填土，下层为砂性残积土，有少量地下水，坡顶有 ϕ1.2m 自来水管并紧挨某建筑墙基，边坡不足 1:0.5，稳定性差。因此，防止塌方、保护水管和墙基是施工的难题，见图 8-9。

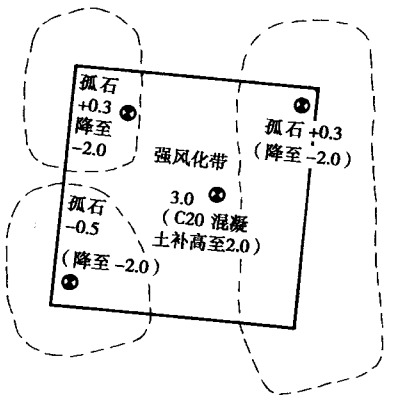


图 8-8　引 11-I 基础下的孤石图(单位:m)

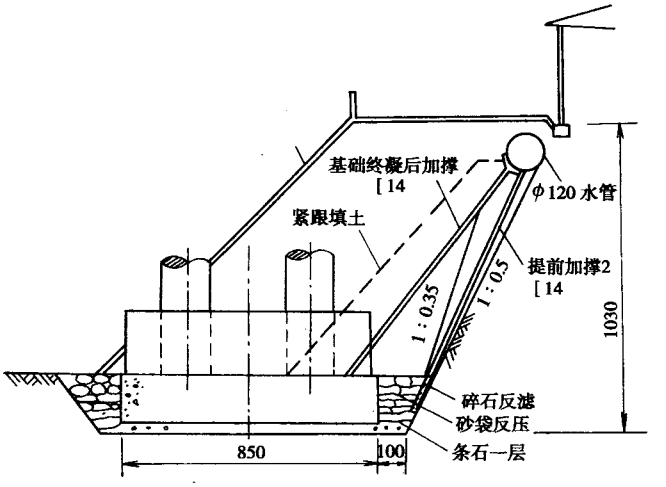


图 8-9　施工横断面图(单位:cm)

根据经验,边坡塌方都有一段过程,首先是坡角有地下水冒出的部位发生小变形,继而扩大为小弧形坍塌,然后坡顶裂缝,开始掉块,最后为整块崩塌或滑动。此为土体内应力调整过程(土体失稳)的时效,全过程从几小时到几天不等。为利用这个时效,以快速施工的方法,尽量缩短边坡暴露时间,并采用坡脚设倒滤层引水和反压护脚,以防止大的塌方。

为争取时间,事先充分作好施工器材、设备、水管支撑材料的准备。然后拆除护坡,挖去+2.0m以上土方,从挖下部土方开始,连续快速作业,具体步骤如下。

(1)首先在边坡上挖一道斜向小沟,下部用挖掘机挖一个到底的坑,坑底填 20cm 碎石,砌双层条石,安上第一道水管支撑。

(2)从东侧高坡下开始挖基,分段成型,每挖 2.0m,坑底填以碎石,砌条石一层,再按基础边缘线叠砂袋(代模板),形成滤水层和反压矮墙。然后大面积开挖基坑,整平基底,填碎石层,四周叠砂袋墙(代模板)另贴油毡止水。挖基和基底处理工程量很大,机械、人工配合,高强度作业,12h 内完成挖基 520m^3,回填碎石 40m^3,叠袋装砂墙 136m^3。

(3)绑扎基础钢筋,浇筑混凝土。从开挖 +2.0m 以下基坑到浇筑混凝土仅用一昼夜。

(4)次日上午装模,绑扎钢筋浇好第二台阶混凝土(因偏压,第二层混凝土尺寸为 7.0m × 2.0m × 2.0m)。同时完成 4 根水管的钢支架。因坡顶塌方,水管暴露长度 6.0m,中间一节 4.0m全悬空,用 I14 型钢作 4 根钢撑,下部顶住基础顶面的预埋型钢,上部焊成弧形叉顶住水管,打紧木楔使之受力。

(5)第二台阶混凝土终凝后,拆除模板,进行部分回填反压(图 8-8 的回填虚线),先填至+3.0m以防塌方,3d 后再填高至管道底。

(6)第二天晚立模安装钢筋笼,浇墩柱混凝土,两昼夜即完成全墩主体,从挖上部土方到回填和恢复护坡原貌仅用了半个月的时间。

第二节　钻孔灌注桩基础施工

一、工程实例(大直径深桩循环钻机成孔)

济南黄河二桥位于黄河新铁路桥和黄河一桥之间,全长 5 750m,其中主桥主跨为 210m 的

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

连续钢构。主桥下部构造为刚构墩，采用宽 1.8m 的实心双薄壁墩，连续墩采用宽 2.8m 的实心墩，主桥刚构墩采用桩径 ϕ2.0m、桩长 93.5m 的摩擦桩，连续墩采用桩径 ϕ2.0m、桩长 81.0m 的摩擦桩。

主桥墩位处于黄河主槽内，施工时，采用搭设便桥平台的方法，在平台上置钻机钻孔。连续墩处于黄河漫滩上，平地筑岛埋设护筒钻孔。刚构墩设计桩长为 93.5m，平台顶面标高至桩底标高最大高差为 103.5m，这样的钻孔深度在国内桩基施工中是最深的。

下面主要介绍大直径深孔钻孔灌注桩的施工。

1. 地层概况

116 号刚构墩，地处黄河主河槽内，施工时最高水位标高为 29m，设计桩顶标高为 24.5m。地层基本上以细砂土、亚粘土等组成。由地质剖面图显示：在河床标高 26.5 ~ 18.3m 为亚砂土，18.3 ~ 9.7m 为粉砂，9.7 ~ 7.6m 为亚粘土，7.6 ~ 6.8m 为粘土，6.8 ~ 5.35m 为亚粘土，5.35 ~ 0.5m 为亚砂土，0.5 ~ -6.5m 为亚砂土，-6.5 ~ -9.5m 为粘土，-9.5 ~ -25.10m 为亚粘土，-25.1 ~ -35.5m 为粘土，-35.5 ~ -43.25m 为亚粘土，-43.25 ~ -58.75m 为粘土，-58.75 ~ -60.55m 为亚粘土，-60.55 ~ -73.2m 为粘土含姜石，-73.2m 以下为粘土层。

2. 便桥、平台的搭设

1)平台上部按履—50 荷载考虑，并配四台 QJ—250 型钻机。施工时正逢黄河枯水季节，河道干枯，决定采用钻孔灌注桩。并沿桥承台周围布置，平台桩在 116 号墩中 2.0m 的桩间间隔布置，横桥向布置成 3 排，如图 8-10；顺桥向布置成 7 排，如图 8-11。贝雷片为 3 排单层，横桥向布置跨径组合为 6m + 18m + 18m，如图 8-12 所示。

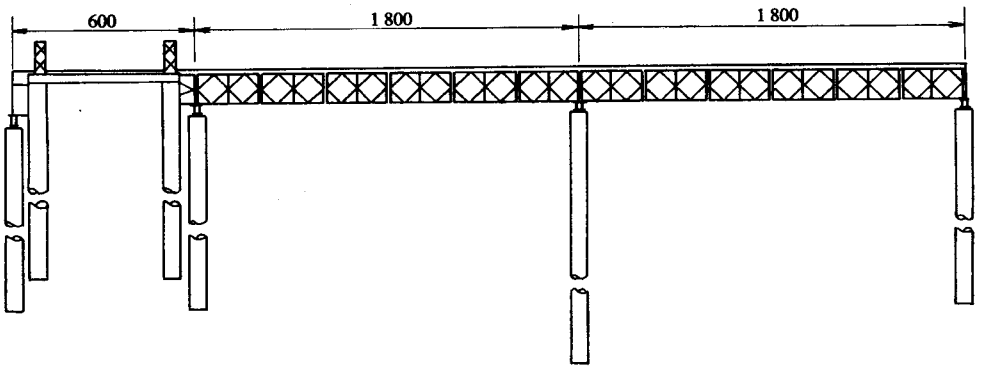


图 8-10　钻孔平台横向立面示意图(单位：cm)

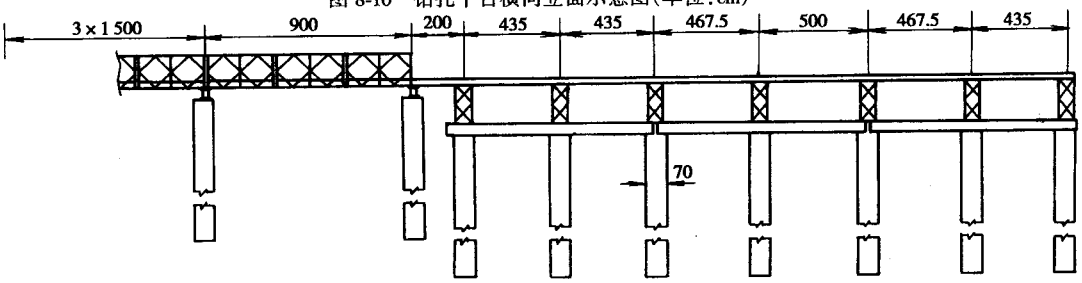


图 8-11　钻孔平台纵向立面示意图(单位：cm)

平台钻孔桩采用 ϕ70cm，长 20m，上接方柱 70cm × 70cm。7 根柱之间用 2I36 型钢与柱上预埋件相焊接，然后在每根柱顶上放置 3 排间距 45cm 的贝雷片，柱与柱之间的贝雷片用自制的 ∠100mm × 100mm × 10mm 的角钢交叉作为横向联系。

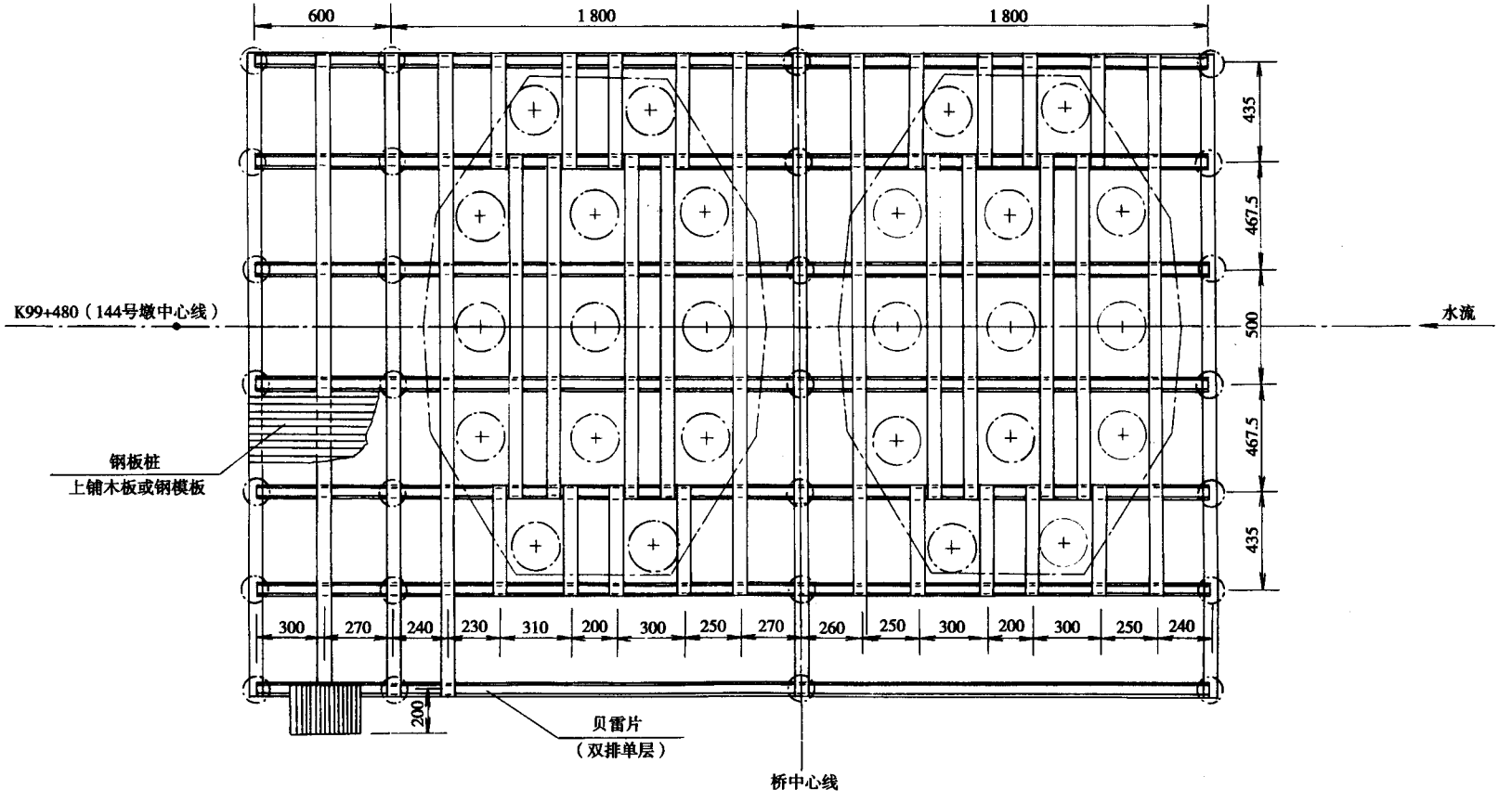


图 8-12　钻孔平台平面图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

贝雷上置 I36 型钢，放于节点位置，间距每隔 3.0m 左右。横梁放置时应注意与桩位错开，留出桩的距离，以便下放护筒钻孔，横梁放置后上铺 IVa 型钢板作为桥面系。

2)便桥

便桥下部同平台，桩长为 18.0m，上部采用下承式装配钢桥。2 排单层贝雷放置好后拉斜撑，上铺标准式横梁、纵梁，再上铺 5cm × 20cm × 380cm 木板作桥面板。

3. 钻孔灌注桩施工

1)钻机选择

济南黄河二桥使用的钻机，有河北新河产的 KQ2500A 潜水钻机，郑州产的 KP2000 型钻机，上海探矿厂产的 GPS—25 型钻机，台湾奇正重型机械有限公司产的 S—500 型钻机。其性能比较及钻孔数，见表 8-10。

钻机性能比较及钻孔数 表 8-10

钻机型号	成孔直径 (m)	钻深 (m)	转盘转速 (r/min)	最大钻矩 (kN·m)	主机功率 (kW)	钻机重 (t)	根数
KQ2500A (河北新河厂)	1.8~2.5	80	20	50	2 × 22 = 44	32	7
KP2000 (郑州勘探厂)	1.5~2.0	100	63	39	45	20	6
S—500 (台湾)	1.5~2.5	90	42	150	320	28	2
GPS—25 (上海探矿厂)	1.5~2.5	100	20	30	37	28	3
GPS—20 (上海探矿厂)	1.5~2.5	80	20	30	30	22	8

从 1996 年 11 月 15 日至 1997 年 4 月 24 日，历时 160d 钻完主桥 116 号墩的 26 根桩。最长成桩时间 35d，最短为 8d，在施工中有的桩设计深度超过了钻机钻深的允许值，但仍能达到设计标准，只是对钻机钻杆磨损较大。

2)打设护筒

主桥 116 号墩共有 26 根桩，为了不相互影响钻孔，埋设了直径 2.4m，δ = 10mm 厚的 26 个护筒，长度为 13.0m。打设护筒时作了专用导向架，护筒沉放时，按桩位准确地定出位置，在导向架的导向作用下，上置替打架，用 60t 振动锤振动下沉至平台贝雷架中间位置。在施打过程中要注意振动锤的偏心，注意随时调正护筒垂直度。

原施工设计考虑冲刷以及让护筒进入亚粘土层(+9.0m 高程)，护筒长度需 21.35m，后又为节约钢材和考虑地层情况和便于施工，将护筒长度改为 13.0m。汛期为了护筒免受冲刷，在平台四周提前设置了钢板桩围堰，板桩底部高程为 +12.5m。

钢板桩周围土层的最大冲刷深度在上游为 5m 左右，河侧由 5m 渐变为 0m，岸侧钢板桩外的土基未见冲刷。施工前调查最大冲刷为 6m，钢板桩设计以此为据，实际冲刷深度基本与调查相符，见图 8-13、图 8-14。

3)成孔工艺

安装钻机前，应先将护筒内杂物清除干净。我们在 116 号墩 4 号桩施工时，由于筒内有一

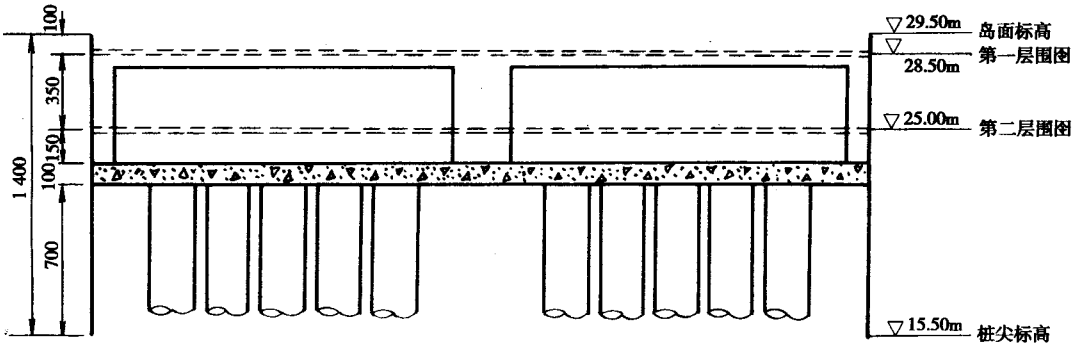


图 8-13　钢板桩围堰施工立面布置图(单位:cm)

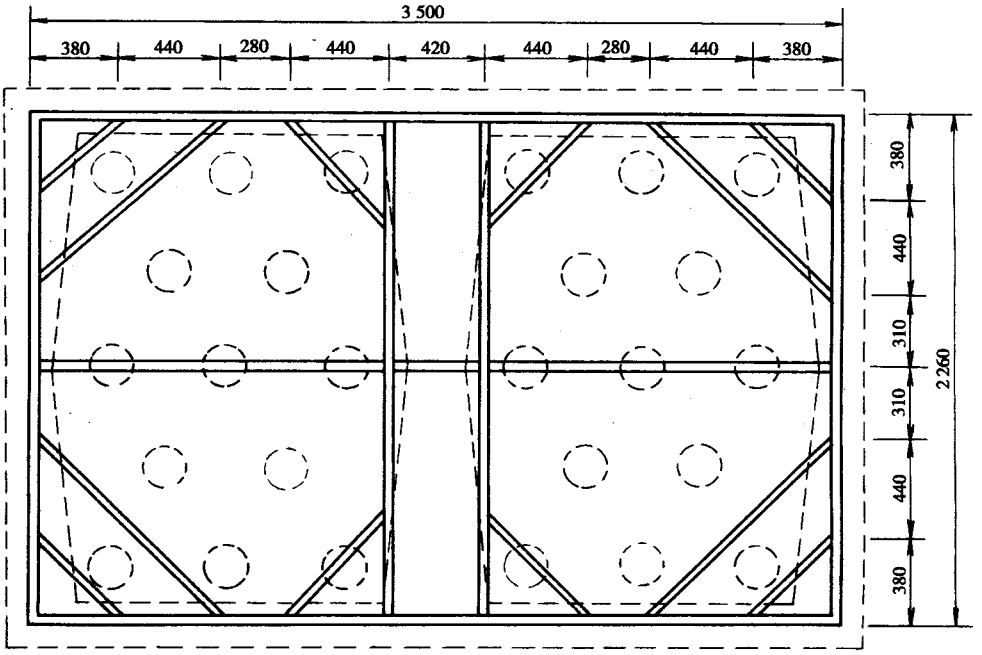


图 8-14　钢板桩围堰施工平面布置图(单位:cm)

些钢筋、角钢掉进护筒内,致使钻进时,出现护筒漏浆、钻头严重损坏的情况。

钻机就位时钻头中心应对中,护筒的位置预先应埋设准确,否则钻头会碰撞护筒,易漏浆或桩位钻孔不正确。如发生上述情况,只能重新返工施打护筒,影响钻孔进度。

开钻前先用膨胀土制备泥浆,密度控制在 1.2g/cm^3 左右,进入粘土层后,自造泥浆护壁,要注意保持水头压力差控制在 3.0m 左右。

钻进时根据地质条件控制进尺速度,开始用慢速档,正常钻进后,适当调整钻速,钻进中采用底部加配重,减压钻进。

钻进参数见表 8-11。

钻机钻进时,为保证垂直度要求,避免或减少斜孔、弯孔和扩孔现象,采用自然吊垂法减压钻进。钻机的主吊钩始终承受部分钻具重量,孔底承受钻压不得超过钻杆钻头和压块的重力之和的 80%。116 号墩平台标高 + 32.5m,泥浆池标高为 + 29.5m。由于地理条件限制,潜水钻机用正循环开钻,钻至 20m 左右改用反循环钻进,其他钻机用正循环钻进。在粘土层易造成出浆口堵塞或粘钻,一般每孔都要平均提钻 6 次。后对钻头进行了改进,三翼钻头的芯管水口

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

降低，另外减少腰带撑杆，变9根为两个并排的3根。经改进后钻头进入粘土层后，钻进速度加快，粘钻现象减少。

钻进参数表　　表8-11

参数 / 地层	钻压 (kN)	转速 (r/min)	钻速 (m/h)
粘土、亚粘土	10～15	30～45	4～6
砂、粉砂	5～15	20～45	6～10
砾砂卵石	3～10	20～40	3～5

此外在钻至60～80m处，此土层为含姜石砾石的粘土层，进度明显放慢，并易粘钻，钻机在平台上跳动明显。有时通过姜砾石粘土层时需4～5d。后来几台钻机各配备一个牙轮钻头，一个变径接头，钻进效果较好，一般通过此层约为1～2d。三翼钻头应经常修补，加焊合金刀排。

4)清孔

清孔采用换浆清孔，是以沉淀池中低相对密度的泥浆，置换钻孔中的高相对密度的泥浆。清孔时要保持孔内水头，防止坍孔。清孔后的泥浆密度控制在1.1g/cm^{3}左右，含砂量控制在4%以下，沉淀厚度不大于0.4D(即80cm)，并不能用加大孔深的方法替代清孔的沉淀厚度。

5)钢筋笼制作和吊放

116号墩桩长93.5m，钢筋笼长47.5m，共分三节接长，分段长度为18m+18m+11.5m。在孔口采用搭焊，搭焊错开间距为1.3m，接头按50%错开。为了检测成桩质量，在钢筋笼内设有四根2寸的钢管，对称布置，沿桩通长敷设。最上面一段钢筋对称接长四根主筋至孔口。钢筋笼用50t吊车两点起吊运到孔口，焊接钢筋笼时应快捷迅速，尽量减少焊接时间。

6)混凝土灌注

本桥桩长93.5m，加上一定的扩孔系数(1.02～1.15)，每根桩需混凝土约300m^3。灌注过程中一定要保证连续不间断的供应混凝土。

灌注水下混凝土前应对导管做水密性及承拉试验。水密试验采用的压力为155Pa，其具体做法是：在选择好的平整开阔的场地上，将导管接长，两端封闭，一端接空压机管，向导管内注入70%的水；然后开动空压机经过30min后接头不漏水，即认为合格。导管接头为卡口联接，卡口内加橡胶密封圈。此外，导管应编号、标出长度，以便拆管时正确掌握导管的埋置深度。

下放的导管应先下到孔底，然后上提25～40cm。首批灌注的混凝土数量，经计算为8.2m^3。储料斗容积10m^3，架设高度7.2m。此种储料斗储料数量多、冲击力大、使用效果好，保证了成功率。

剪球采用抽板法，铁板用绳吊于钻机卷扬机上。下面铺放彩条布，在混凝土降落时起隔水作用，漏斗为1.5m^3。装灰后抽起漏斗铁板，随后开放储料斗开关。提升时要保证位置居中，根据导管埋置深度确定提升高度，提升后导管埋深不得小于2.0m或大于6.0m。拆除导管动作应迅速。

混凝土的配合比要满足大孔径深桩的要求，初凝时间控制为18h，坍落度18～20cm，超灌桩长为2.0m。处理水中桩头时，在灌注结束后，混凝土达到初凝前用高压水冲洗杂层和顶部的超标高混凝土层。

4. 施工注意事项

1)根据土层,选用合适的钻机型号、钻杆和钻头形式。

2)打设护筒后,应保持护筒内的洁净,防止铁件落入护筒内。

3)在施工时注意观察翻浆现象。靠河侧的2根桩,由于钢板桩二次插打漏水,水退后,发现上面的砂土层移动,同时由于插打钢板桩时的振动力的影响,钢护筒移位且护筒内外土层扰动,钻孔时水头较多,出现翻浆现象。

4)由于平台面积小,平台上施工用具多,应合理安排钻孔顺序,避免相互干扰。另外,规定任何桩的混凝土灌注24h后才能开始距该中心5.0m以内的桩进行钻孔和开挖。本桥桩采用超规范设计,最小间距为4.35m,更要求合理安排工序,否则会影响进度。

5)主桥116号墩,每根桩设四根声测管。埋设时注意不要漏浆,否则会堵塞声测管,超声波探头下不去,检测就无法进行。

6)注意防止钻杆受扭矩而钻头被毁。116号墩10号桩及12号桩在施工中,钻头分别落于孔底,12号桩因未及时发现,造成钻头严重损坏,钻头翼板全部拧坏。用偏钩捞取了部分铁件,还残存了部分在孔底,然后用ϕ1.5m的钻头,打至设计桩底标高处,再用ϕ2.0m钻头开钻,使未捞出的铁件落入ϕ1.5m孔径内。

7)桩的检测。对主桥每一根桩都进行无破损检测,对桩的部分或全长进行20%的钻芯取样。经检测,主桥116号墩桩基优良率达到96%以上。

二、工程实例(全护筒钻机成孔)

1.工程概况

1)厦门高集海峡大桥由于基岩高低起伏不平,基础形式也有所不同。1号、7号墩因受潮水影响较少,基岩风化带浅或基岩覆盖层簿,基础处于中风化或微风化的岩层上。设计采用浅埋扩大基础;施工采用围堰堵潮措施,明挖施工。

2)主桥2~6号、8~16号、30~47号墩位处岩层较破碎,风化深度及完整基岩面起伏都较大,特别是墩位横向起伏较大,墩台采用钻孔灌注桩基础。施工方案为:2~6号、8号、30~39号、43~46号墩采用便道筑岛,砂袋护面,MT—150钻机全护筒钻机成孔,钢板桩围堰内建承台。9~16号、40~42号等深水墩,采用钢管桩—贝雷梁平台,YKC—31改进型冲击钻全护筒钻孔成桩,在钢套箱内封底抽水建承台。

3)17~29号墩由于覆盖层及强风化带都较厚,原设计为钻孔摩擦桩。我们提出为减少填堤筑岛土方和发挥现有设备的作用,改为预应力混凝土方桩方案。经同意后,我们用42m桩架打桩船配KB—45锤沉桩,钢套箱内封底抽水建承台、墩身。

2.MT—150钻机全护筒施工

1)钻机性能

该机为日本三菱重工产品,机身长10.57m,宽3.18m,高16.06m,自重51t。自身带两个发动机,用于绞盘的发动机功率为127kW,用于液压泵的发动机功率为82kW。靠履带行走,履带板宽60cm,对地压力0.094MPa,行走速度为0.73km/h,爬坡能力21%。

钻机的起升装置设在钻机的三个绞盘上。对护筒的转动、压入和拔出,全靠液压装置。机上装有两个液压油泵,额定压力均为14MPa,转动扭矩1 480kN·m,拔出力1 180kN,压入力300kN。钻机孔径为ϕ100cm、ϕ110cm、ϕ120cm、ϕ130cm、ϕ150cm。本机只随带ϕ150cm的导向套和护筒。孔的标准深度为40m,本桥最大钻深为36m。

2)钻机附属装置

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1)护筒

随机只带 ϕ150cm 一种护筒,每节分别长 2m、3m、4m、6m。护筒外径 148cm,内径 139cm,为双钢结构,内外钢板之间有加强肋,每米质量约 900kg。最低节护筒(开口护筒)端部呈锯齿形,带有外倾切削刀,刀角外径为 150cm,节长 1.8m,质量 1.78t。护筒长度可以自由任意组合,连接为企口搭接,用 14 个螺栓联结,此螺栓称为锁紧螺栓。

(2)锤式抓斗

斗有两个抓瓣,由连杆拉动,能自动开闭,由钢丝绳拉动,往返从孔内抓出钻渣。ϕ150cm 孔径的锤式抓斗高 3.655m,直径 1.34m,抓斗容量 0.24m^3,质量 3.35t,其钻进程序见图 8-15。

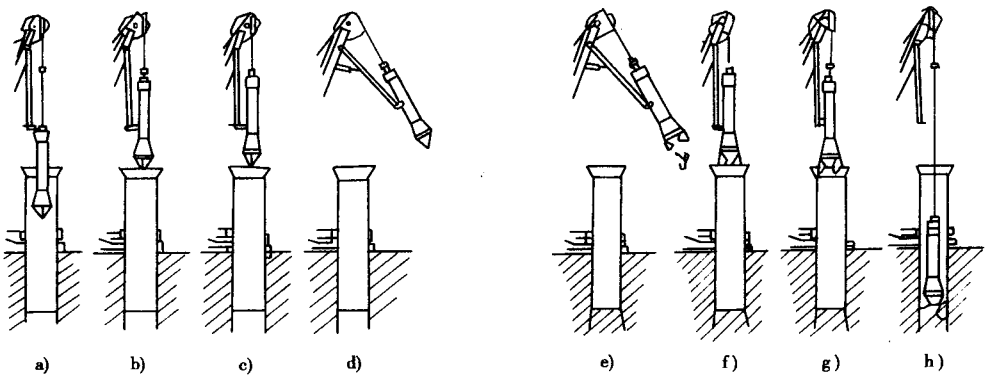


图 8-15 MT 钻机全护筒法施工程序

(3)锤

锤呈十字形,由合金钢铸成,头部带有冲击力。锤分两种:一种是冲击锤;一种是扩孔锤。根据地层软硬情况,而分别选用,原则是前者钻进,后者扩孔。

3.成孔工艺及注意事项

全护筒施工法,其施工工序为:钻机就位、钻机成孔、清孔、安放钢筋笼、安放导管、灌注混凝土。与一般的正循环回转钻孔、反循环回转钻孔、冲抓锥钻孔、冲击锤钻孔施工工序基本相同,但其施工工艺是有较大区别的。

1)钻机就位

要使钻机抱箍(即导向套)下龙口中心与桩位中心重合。具体做法是用"三脚尺"找出抱箍下龙口中心,用锤球与放样桩对中。就位时要保持钻机摆放水平,利用钻机上的前后液压支腿进行调整。

全护筒法施工要转动、压入和拔出护筒,对地基有较高的要求。如钻机就位处地基不稳定,在钻孔过程中会引起钻机的倾斜和滑动,而造成桩的倾斜和偏位。通常的做法是使场地平整,排水顺畅,对软弱地基作必要的填筑和换土处理,地基上要垫上尺寸为 3m × 8m 的垫排。一般垫四块,地基坚实时,也可只垫两块。

2)钻机成孔

第一节护筒安放时要保证其竖直度。护筒通过抱箍将其抱紧并不断地转动而被压入地下,以保护孔壁,然后用锤式抓斗开挖护筒内的土层。护筒压入地下时,要特别小心,要一边转动,一边压入,压至要求的深度。

对地质条件不同的地层,钻进方式也有所不同。这主要反映在护筒相对于冲锤和抓斗的超前与滞后。遵循的原则是:既要使孔壁不坍塌,又要保证护筒能压下去,也能顺利拔出来。

(1)松软土的钻挖。护筒超前压入 1.0～1.5m 的深度,如图 8-16 所示。再用锤式抓斗在护筒内抓土。

(2)一般硬度土质中钻挖。护筒超前压入约 30cm 左右,如图 8-17。这也是标准的钻进方法。

(3)实砂层的钻进。原则上护筒不宜滞后,但对密实稳定的砂层,通常可提前钻挖 20～30cm,如图 8-18 所示。因为在这种地质条件下,孔壁间的摩阻力较大,护筒的压入和拔出较困难,护筒滞后一定距离,能使其在不太大的压力下压入并顺利拔出。但护筒滞后时,往往会产生多余的钻挖量,因此最好根据具体情况,保持最小的超前钻挖深度。

(4)含有漂石土层的钻挖。在含有较大漂石的地层中,其提前钻挖量也要保持最小值,最适宜的做法是超前量与漂石的直径大致相等。例如漂石直径为 15～20cm,则钻挖超前量也以 20cm 为宜,见图 8-19。如漂石直径很大,则可使用冲击锤将其先行冲碎,然后再用抓斗抓出。

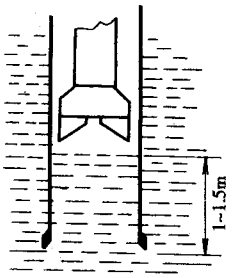


图 8-16　松软土的钻挖

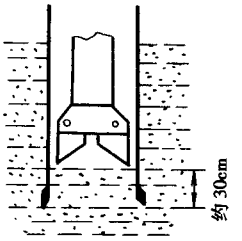


图 8-17　一般硬度土质中的钻挖

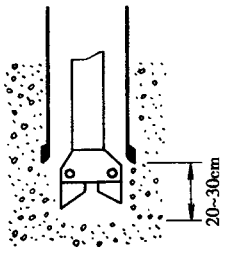


图 8-18　密实砂层的钻挖

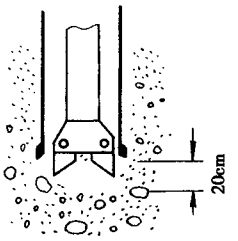


图 8-19　含有漂石土层的钻挖

(5)坚硬土质中钻挖。超前钻挖量要有一定的限制,否则护筒悬空过高,会出现剥落和坍孔的可能。因此,即使土质很坚硬,也不宜有很大超前钻挖量。此外,护筒滞后太多,超过冲抓斗的高度,对开口护筒上的切削刀和锤式抓斗上的钢丝绳不利。通常超挖深度以不超过 1.5m,如图 8-20,即不超过抓斗高度为宜。

(6)对岩石的钻进。应力求保持孔底平整,当钻进到微风化和新鲜花岗岩时,护筒不能再下压,一般要放在中风化层上,并使用带冲击刃的十字冲锤先将岩石冲碎,然后用抓斗将钻渣掏出。冲击锤连续冲击的落距不宜过高,以防止锤在下落过程中摆动幅度过大而碰撞护筒,一般控制在 2～3m。当遇孤石时,应将护筒底部压在孤石面上,用冲击垂低落距(2～3m)冲击。如果是探头石应加适量片石将孔底填平,以保成孔的竖直,并防止冲击锤偏击损伤护筒,如图 8-21。

3)清孔

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

成孔及清除孔底钻渣和沉淀物，一般采用压缩空气吸淤管在孔底平面上缓慢均匀移动，吸净钻渣和沉淀物。清孔到后期可适当停一段时间，沉淀后，再继续清，直到吹出清水为止。全护筒施工法虽在清孔时孔壁不会坍塌，但也应适量补水，原则上孔内水头不低于地下水头。清孔应在混凝土灌注前 4h 进行。

4)安放钢筋笼

全护筒法施工，要在混凝土灌注过程中按顺序拆除护筒，因而钢筋笼不能悬吊，必须直接支撑在孔底。如设计图上钢筋笼未到孔底，要另外焊接钢筋支承架，特别在钢筋笼未完全埋入混凝土之前，其顶部要设置标识钢筋或拴挂皮尺，以便确认钢筋笼顶标高，防止上浮或因支架失稳而落入孔中。

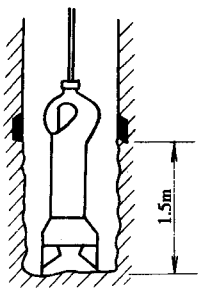


图 8-20　坚硬土质中的钻挖

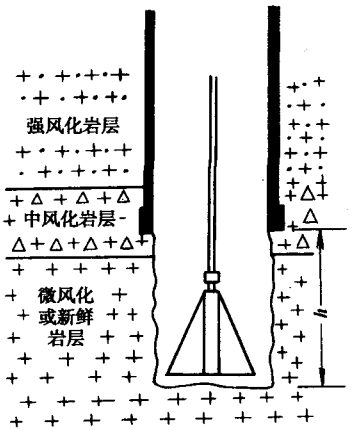


图 8-21　岩层的钻进

5)安放导管

导管是 MT—150 钻机配套设备，为 ϕ250mm，长分别为 1m、2m、3m。其加工精度高，通用性能好，接头为旋转连接，拆装方便，接头处有密封槽垫并有防松保险螺栓，安全可靠。

6)灌注混凝土

混凝土在拌和站自动计量上料拌和，拌和能力 35 ~ 40m^3/h。三台 6 ~ 7m^3 罐车运输，现场用 50m^3/h 泵车将混凝土直接输送到导管内。

导管提离孔底 20 ~ 30cm。剪球后，要随时量测混凝土标高，严格控制导管埋深，一般为 2 ~ 4m。

与导管的拆除一样，护筒也要根据上拔的具体情况逐节拆除，但要使护筒在混凝土中保持适当的埋深，一般最大埋深 2m，最小 0.5m。埋深过大，护筒与混凝土之间产生较大粘滞力和摩阻力，造成起拔困难甚至拔不出来；埋深过小，则在上拔时容易使护筒脱离混凝土，若此时发生坍孔，混凝土面会突然下降，造成夹层，甚至发生断桩。总之，导管和护筒在拆除时，均要根据现场的实际情况，具体分析，尽量缩短拆除的时间，以保证混凝土灌注的连续性。

4. 施工中的问题与分析

MT—150 钻机用于桥基钻孔，在国内还是首次，有成功的经验也有失败的教训。我们对一些常见的事故和问题通过分析取得一定的认识，并制定了相应的预防方法和措施，详见表 8-12。

5. MT—150 钻机施工的优缺点

1)优点

施工中的常见问题及预防方法和措施　　表 8-12

问题	原　因	预防方法和措施
护筒拔不出来	1)摩阻力大于拔出力,特别在混凝土护筒内外均产生摩阻力时; 2)地质情况复杂,软硬层相间,且地层软硬相差悬殊,或遇膨胀性粘土; 3)钻挖过程中护筒过早下压,下压量太大或护筒倾斜; 4)护筒接头处的连接螺栓不够数,拧得不紧,转动时被切断或松动脱落; 5)钻机下的地基软弱,导致拔护筒时缺乏足够的支反力	1)精心操作,随时观察油表压力,当拔出压力超过10MPa时,要特别小心;达14MPa时,应停止混凝土灌注;不断地转动护筒,以减小摩阻力,待压力回降到10MPa以下时,再继续正常作业; 2)适当增大护筒的滞后量,冲锤和抓斗超前钻挖,使护筒与孔壁间有足够的间隙; 3)控制护筒的下压量,保持护筒的竖直度; 4)保证护筒接头处的连接螺栓数量(每个接头14个),并将其拧紧; 5)加固地基,使排水顺畅,同时加大垫排面积,必要时换土处理
掉锤	1)当地层由硬变软,在穿透坚硬层后向上提升冲击锤时,被坚硬层卡住,或由于操作不当,锤和抓斗斜置于护筒内; 2)钻进过程中,钢丝绳断裂,螺栓或销子脱落	1)在接近由硬变软的临界部位时,要用冲击锤低落距轻凿,然后再用扩孔锤扩孔,待孔扩好后再用抓斗掏钻渣,继续钻进,严格按操作规程施工; 2)加强操作人员责任心,经常检查钢丝绳和连接部位;当锤和抓斗下落时,严禁急刹车
超挖量大	1)地质情况不利,孔内坍塌严重,而护筒又不能及时跟进; 2)操作不当,护筒滞后太多	1)严格按操作规程施工,随时量测钻进深度,护筒要及时跟进; 2)控制钻挖的超前量选择适当的护筒滞后距离
灌混凝土时钢筋笼和护筒一同拔起	1)混凝土灌注时间太长,造成混凝土凝固粘附在护筒上; 2)钢筋笼和护筒的竖直度不一; 3)混凝土中的粗骨料粒径大于钢筋笼和护筒之间的间隙; 4)护筒内侧表面凹凸不平或护筒变形; 5)钢筋笼较轻; 6)护筒在混凝土中埋深过大	1)严格控制混凝土质量,坍落度以18~22cm为宜,加快灌注速度;适量掺加缓凝剂,延缓混凝土的初凝时间,保证混凝土初凝时间达4~6h以上; 2)保持钢筋笼和护筒的竖直度一致,钢筋笼放好后,要转动并提升护筒1~2次,观察钢筋笼是否同时运动; 3)混凝土配合比设计时选择适宜的粗集料粒径,钢筋笼上安放圆形垫块,以保证其与护筒的间隙; 4)及时整修变形损坏的护筒,保持护筒内壁平整; 5)减小混凝土下落时的冲击力,特别是首盘混凝土灌注时更需注意;在钢筋笼顶部设一观测标记,随时观测钢筋笼与护筒的相对标高;在钢筋笼底部加焊十字筋,并附重物、如混凝土块; 6)严格控制护筒的埋深,及时转动提升护筒

(1)全护筒施工能可靠地作业,不受土质不利条件影响,因此一般不会发生土壁坍塌。在靠近建筑物甚至在柔软地带、含地下水的地层都能进行施工。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(2)钻机马力大,效率高,能钻进 30～40m 左右的钻孔,其性能主要取决于钻机型号和土质条件。

(3)混凝土的灌注完全能在水中进行,由于使用了全护筒,几乎不用额外开挖,就能钻出高精度的桩孔,扩孔系数小,不浪费混凝土。

(4)钻机性能良好,除绞盘部分外,其余均为液压操作,灵活方便。在施工过程中,可随时调正平整度和垂直度,孔位的偏差和倾斜度能得到有效控制,钻孔质量有保证。在厦门大桥完成的 128 根桩中,倾斜度均不超过 0.5%,孔位偏差在 3cm 以下者居多,均满足规范要求。

(5)机身虽重(510kN),但能分解成三段,装运还是比较方便的,并可钻斜孔。

2)缺点

(1)不适宜在坚硬岩石、岩石夹层、膨胀土、密实砂土、泥岩地带,也不适宜在地下承压水太大的地层施工。如果地下水位以下有密实砂层时,一旦转动护筒,会压实护筒周围的细砂,从而增加护筒与孔壁间的摩阻力。而该力不能超过护筒转动的拔出力,否则,护筒拔出困难,甚至拔不出来。

(2)钻机结构复杂,燃料消耗大,为保养维修和操作机械,需要熟练的高级技术工人。

(3)施工过程中产生事故的因素较多,如果钢筋笼变形,灌注混凝土时,就有与护筒一起拔出的可能。

(4)因机械重而大,作业场地相对要大;由于转动拔出护筒时,所需的反作用力大。因此,对地基的要求也较高,且不宜在脚手架或水上作业。

(5)配属机械多,最少要有一台 30t 以上吊车和一台装载机同时作业。

(6)价格昂贵,施工成本费用过高。

总之,如果标书未指定使用全护筒工艺施工,就不宜选用这种机型,否则代价太高。因此,钻孔桩施工工艺和机械设备的选择,应根据不同的地质情况和经济技术指标来综合考虑。如我们在天津高架桥,采用潜水钻机成孔;新建的滦河大桥和青岛丹山桥使用了冲击钻机成孔,均取得了较好的效果。

第三节　挖孔桩施工

一、钻、挖结合成孔

现浇桩基,一般采用挖孔或钻孔两种方法。而在某些适宜条件下,采用挖、钻相结合的方法,可取得很好的效果。我们在湖北京珠高速公路二合同环水二桥的桩基施工中就实施了这种方法。

1.环水二桥概况及地质条件

湖北京珠高速公路二合同环水二桥全长 697m,上部为 23 孔 30m 后张预应力工字梁,下部为柱式墩 ϕ1.5m 桩基,桩身长度 26m 或 28m 不等,地层如图 8-22 所示。

从地质剖面显示,上部 8.0m 为粉、细砂交互层,下部约 20m 属白垩系紫红色细砂岩,钙质及泥质胶结,呈层状构造,表面裂隙和垂直裂隙发育,从强风化到弱风化,岩芯单轴抗压强度为 31～42MPa。

2.钻、挖结合方案的确定

0～8.0m 的砂层适用于循环钻机,而下部岩层采用一般普通钻头无法钻进成孔。后又采

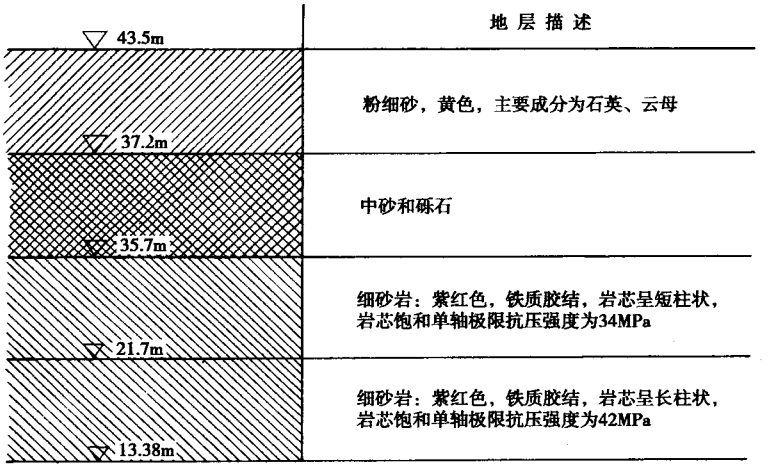


图 8-22　环水二桥 17～23 号排桩地质剖面图

用了牙轮钻头、滚刀钻等钻进均较困难，成桩需 20～30d，且钻头费用高。若采用冲击钻，一是现有的数量少，不能满足施工要求；二是由于珠海岸 17～23 孔的 42 根桩地层条件与此相同，冲击钻成孔极易造成坍孔。因此，我们设想砂层适用于钻，而岩层适用于挖，这样钻挖结合既可少投入钻机，又可多开工作面，而成孔速度也大大加快。

3.钻、挖结合施工中，对一些问题的处理

1)在开挖岩层过程中如果砂层护壁不好，随时有塌孔的危险。如果采用混凝土护筒护壁，由于周围为流砂层，流砂被渗水冲刷出来后，护筒后将成为空洞而产生塌方，且混凝土护筒分节预制下沉，防渗水能力较差，给石方爆破开挖岩层也会造成一定的难度。我们采用一节 9.0m长的钢护筒伸入到风化岩层中来解决此问题，即先用循环钻机进至岩面下 1.0m，然后将钢护筒用吊车下至孔底。

2)止水处理方法。由于上部为砂层，地表水位高，渗水性强，若护筒底部不加处理，水将从护筒底部渗入孔内，造成挖方困难。处理的方法是用水下混凝土封堵，即下完护筒到岩面以下 0.6m 处，安设导管浇筑封底混凝土，然后再往下开挖。此种方法止水效果明显，虽还不能彻底封死渗水，但渗透大大减少，能保证正常开挖和爆破作业。

4.施工工序和工艺(如图 8-23 所示)

1)孔口埋设长 1.5m，ϕ1.6m 的钢护筒。

2)用 GPS—15 循环钻机钻进，在开工时加入粘土造浆，钻孔孔径为 1.55m。

3)ϕ1.5m，厚 4mm 的钢护筒，用吊车吊入孔底。钢护筒在工地用简易卷板机制作，焊接要牢固，焊缝要严密。

4)用泥浆泵抽出泥浆；ϕ20cm 导管灌注 C25 水下混凝土封底 0.6m。

5)采用爆破法向下掘进，开挖直径为 1.4m。采用浅眼小爆破法，严格控制炸药用量以防损坏孔壁，每循环进尺 1.0～1.2m。爆破参数如下：

(1)炮眼直径 38mm；

(2)单位炸药消耗量：2.5～3.0kg/m^3；

(3)周边眼密集系数：$m=0.6\sim0.75$；

(4)线装药密度：0.2kg/m；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

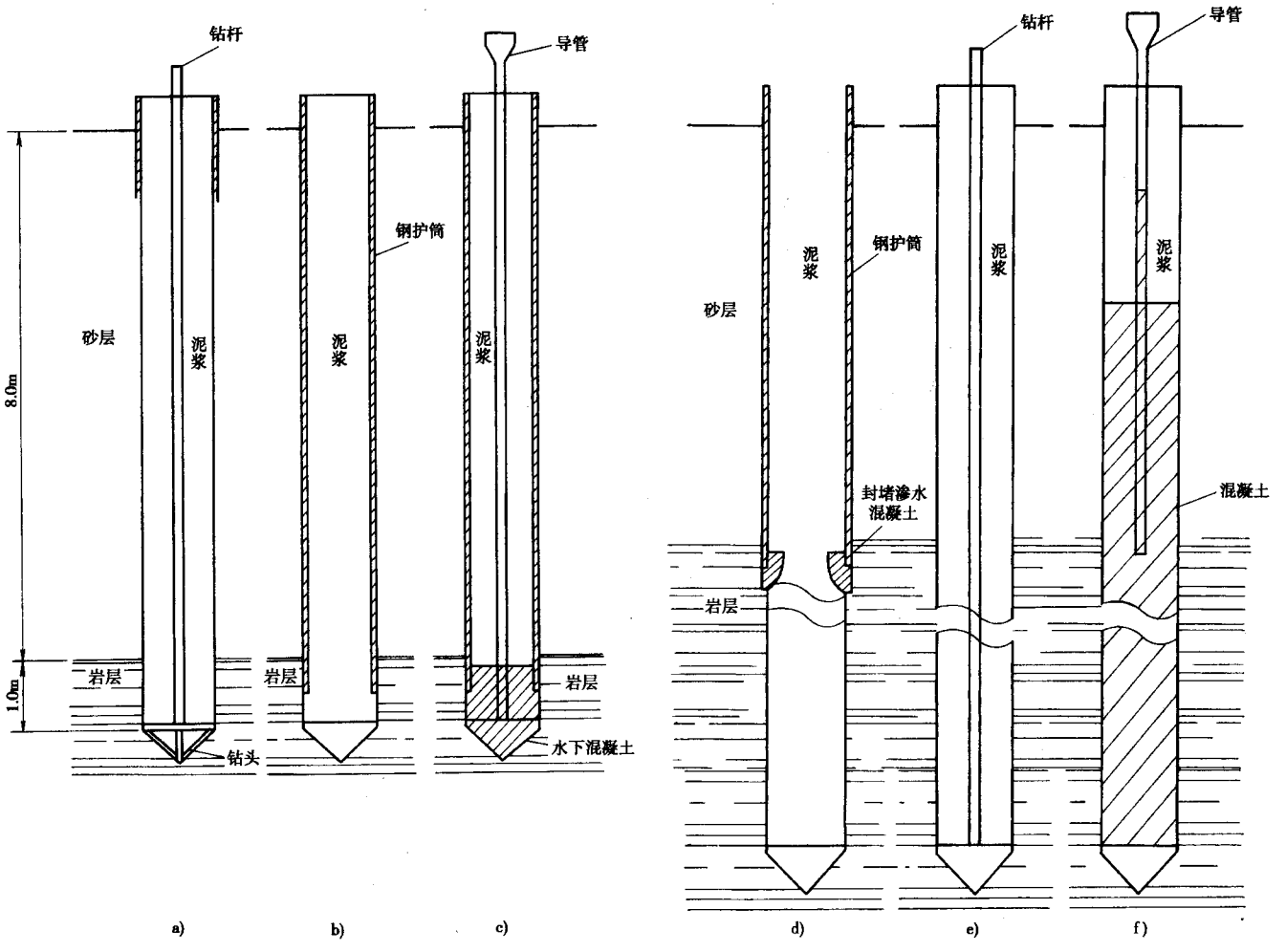


图 8-23　施工工序和工艺图

a)用循环钻钻至岩面以下 1m;b)下 ϕ1.5m 钢护筒至岩面以下 0.6m;c)用导管法浇注水下封堵混凝土;d)抽出泥浆,爆破开挖至孔底,挖孔直径为 1.4m;e)凿除封堵混凝土注入泥浆,拨除护筒用循环钻扫孔;f)用导管法浇注水下混凝土

6)装药系数:掏槽眼取0.6,辅助眼取0.5,周边眼取0.55。

采用2号岩石炸药,以微差毫秒控制,以减小地震波对孔壁稳定性的影响。爆破次序为掏槽眼→辅助眼→周边眼。空眼为掏槽眼爆破提供凌空面,炮眼平面布置如图8-24所示。

周边眼10个均匀布置于ϕ1.2m的圆周上;辅助眼6个,均匀布置于ϕ0.6m的圆周上;掏槽眼7个,其中3个均布于ϕ0.3m的圆周上,一个为圆心位置,剩下3个均布于ϕ0.12m的圆周上,为空眼,形成凌空面。

7)当开挖到桩底标高后,凿除喇叭型封底混凝土,向孔中注入泥浆,当泥浆密度为1.3g/cm^{3}后,拔出钢护筒。

8)用ϕ1.5m循环钻机扫孔到孔底标高。用换浆池清孔,当泥浆相对密度为1.1~1.2,含砂率小于4%时用吊车下钢筋笼并用导管法灌注水下混凝土。

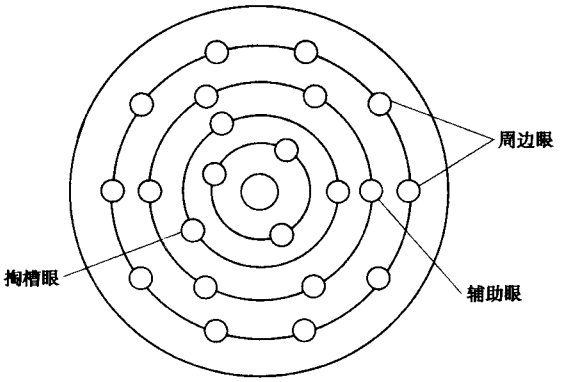


图8-24 炮眼布置平面图

5.实施效果分析

1)上部采用循环钻机钻进,泥浆护壁,进尺快,护壁好,有效地避开了人工开挖或冲击钻时流砂的危害。下部岩层开挖采用爆破掘进,速度远远快于牙轮钻、滚刀钻、冲击钻。在同一个孔中针对不同地质条件,采用不同的成孔方法,有意想不到的效果。

2)采用二次扫孔和水下灌注混凝土,而不采用空气中灌注,既提高了灌注质量又节约了混凝土。由于岩层裂隙较发育,在空气中灌注难以避免存在少量渗水而影响质量;用二次扫孔形成的孔壁较为规则,扩孔系数小于冲击钻,能有效控制桩的断面尺寸和混凝土的超用量,节约成本。

3)采用钻挖结合,可大大减少每个孔口钻机的占用时间(每个孔口钻机占用时间不超过2d),解决了钻机少这一问题,一台钻机可同时配合4~6个孔位施工,从而速度加快。

二、砂砾层中挖孔桩施工

挖孔桩适用于无水或少水较密实的各类土层中,在孔壁土质易于坍塌及渗水量较大情况下,一般都不采用。但我们通过对施工方法的改进,在渗水量较大的砂砾层中,进行挖孔,并取得了一定效果。

1.工程概况

1)京珠高速公路湘潭—耒阳段新市联络线耒水桥为19×16m的空心板梁桥,下部为柱式墩台。原设计基础为钻孔灌注桩,孔径为1.25m,桩长10~19m。耒水河上部覆盖2~4m厚的砂砾层,渗水量大,极易流动;下部为红砂岩,河中水位与桩顶基本齐平。

2)联络线比主线晚开工12个月,但要求与主线同时完工。而当地雨季又较长,旱季较短,为此要求下部结构必须尽快完工。如采用钻孔,则工期难以保证,经济效益也差。经研究决定,改为人工挖孔施工。

2.人工挖孔桩施工设计

1)施工方案的确定

采用现浇钢筋混凝土护筒,边挖边下沉护筒,挖至页岩处,采用水下灌注混凝土方法堵住

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

渗水，再下挖到设计标高。

2)护筒制作

考虑施工方便及经济效益，采用现浇钢筋混凝土护筒，加入竖向钢筋，使护筒连成一体。护筒内径为1.30m，壁厚15cm，内外层钢模进行浇筑混凝土，下沉一节，浇筑一节，连续施工，简捷方便。

3.人工挖孔施工

1)第一节护筒

在河床上整平地面，铺上一层细砂找平，然后立内模，根据桩位，调正内模位置正确，再立外模，即可浇筑混凝土，可掺入一定的早强剂。模板内外，均采用钢模，表面光滑，利于下沉。

2)挖土下沉

人工挖出护筒内砂砾，护筒随着下沉，由于护筒自重较小，可用人工压重法，使之下沉。用3kW抽水机排水，人工挖出砂砾的速度较快，护筒下沉及时。施工时，有时护筒外侧砂砾沉陷，可采用回填粘土或砂砾，以保证护筒周围的稳定。进度较快，平均每天可达到0.8～1.0m。

3)护筒接高

挖孔至护筒高于地面10cm时，即停止挖孔，支模接高护筒，重复以上步骤，直至挖到岩层顶面。

4)护筒底堵水

(1)首先用水泵将孔内水基本排干，然后沿筒底凿除岩层约30cm深，再往四周开挖排形槽，保证其外缘比护筒外缘宽10cm。

(2)灌注水下混凝土封底，待桩内水稳定后，进行C15水下混凝土的灌注，厚约40cm。

(3)为了省工、省料和便于继续开挖，在抽干水时，可在桩中心半径约30cm范围内，人工码砌砂卵石。

(4)封闭完成后继续开挖，当封闭72h后可将水抽尽，用风镐将桩内混凝土凿除，如渗水量较少，即可继续挖孔工作。

护筒堵水如图8-25所示。

(5)灌注水下混凝土

人工挖至设计标高后，下入钢筋笼即进行混凝土的灌注。由于渗水量大于6mm/min，采用水下灌注方法，施工时注意控制混凝土的配比及坍落度。

(6)人工挖孔的施工结果

经试验桩成功后，每根桩的挖孔时间为15d左右。采用遍地开花，全面挖孔，8月底开始施工，10月底全部完成，为下部构造其他部位的施工争取了时间。经湖南大学检测后，全部42根桩均为甲等。

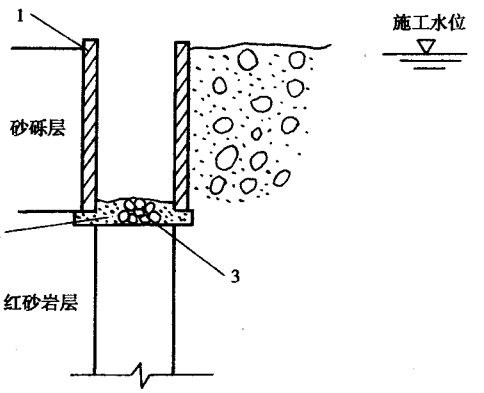


图8-25 护筒底堵水示意

1-钢筋混凝土护筒；2-水下灌注的混凝土；3-卵石

4.混凝土护筒施工技术要求及特点

人工挖孔关键是混凝土护筒的施工。一是要保证护筒位置的准确；二是要控制护筒接头的渗水量。规范要求，挖孔桩桩位偏差为50mm，倾斜度偏差为1%，为确保精度，采取以下技术措施。

1)采用全站仪放样，并经常检测，设有专人随时检查护筒的位置及倾斜度。

2)发现护筒倾斜后，先分析倾斜原因。如挖土是否对称，井内流砂是否反涌，是否遇到较

大卵石顶住,以及筒内挖出的土堆在护筒外一侧而导致沉陷,未及时回填等等。

3)护筒倾斜的纠正,采取在护筒高的一侧集中挖土,在低的一侧回填砂砾或粘土,必要时在护筒顶面施加水平力扶正。护筒中心位置偏移的纠正采取先将护筒倾斜,然后均匀挖出砂砾,使护筒底中心线下沉至设计中心线后,再进行纠偏。混凝土护筒接头部位留有锚固接头筋,接高时对混凝土接头表面进行凿毛处理达到不漏水,从而达到对护筒接头渗水量的控制。

5.结语

施工技术方案的确定,是由经济性指标和施工技术的难易程度决定的。在施工机具和技术工缺乏而工期又较紧的情况下,选用可靠的简易施工方案是可以考虑的。显然,本桥挖孔桩施工的成功,表明在富含水的砂砾层中采用人工挖孔是可能的。该方案值得在其他相似的地层中予以借鉴。

三、工程实例(挖孔桩施工)

1.概况

1)工程概况

金丽温高速公路武义江大桥全长 360m,下部为 ϕ1.2m 桩基础、柱式墩、盖梁,设计桩长 20m 左右,均为嵌岩桩;上部为 18.20m 预制后张法空心板梁。

2)地层情况

武义江大桥跨越武义江河床,多数桩位于河滩滩地上。两岸河滩广阔平坦,枯水期绝大部分为旱地。经勘探其地质情况如下。

(1)0~2.0m 为粉细砂,黄褐色,潮湿、松散。

(2)从 2.0~4.0m 为砾卵石层,其中卵石占 30%~40%,砾石占 30%,其他为混粘土及少量砂,黄褐色及灰色,饱水。

(3)从 4.0~9.0m 为全风化玄武岩,暗紫色、黄绿色等杂色,岩石风化已呈土状,硬塑,上部为软塑状。

(4)9.0~17.0m 为强风化玄武岩,暗紫色,岩石风化严重,呈土夹碎块状,下部呈碎石状,节理发达。

(5)17.0m 以下为中风化玄武岩,浅黄及绿色等杂色,岩石裂缝较多,呈碎块状。

2.挖孔桩方案的确定

原设计为 ϕ1.2m,桩长 20m 左右的钻孔灌注桩,但由于武义江为季节性河流,枯水期河水干涸,主河道狭窄,河滩广阔平坦,基础大部分集中在河滩上。原地质钻探资料表明,除个别地层水量较大外,大部地层为潮湿状态,因此,出于下面几点考虑,最后选择了挖孔桩。

1)采用挖孔桩取代钻孔桩,节省了大量费用。另外,若成孔后有效降低孔内水位,采用空气灌注混凝土,可大大减少水泥用量,从而达到降低成本的目的。

2)人工挖孔投入少,作业面多,数十个孔可同时进行开挖,较钻孔桩明显缩短工期。

3)采用人工挖孔,更便于对地质情况进行判定,进而正确确定终孔标高,确保入岩深度。桩底沉渣用人工清理得更澈底,保证桩底与岩石的结合效果。此外,若采用空气灌注可避免水下混凝土施工的危险性,确保桩身混凝土的质量。

4)由于挖桩成孔后孔内水质较好而又无泥浆存在,所以,即使孔内水位较高,无法按空气灌注,采用水下灌注混凝土,也不会有断桩现象的发生。施工中若出现堵管、不翻浆等现象无法继续灌注时,大可不必慌张,这时可从容地将导管全部拔出,重新进行剪球。这样混凝土在

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

结合的紧密程度上，仍然可以得到保障。

3.挖孔桩的施工

1)准备工作

设备、人员、材料到场后，要仔细研究桩位处的地层情况，根据设计单位提供的地质断面图，确定不同地层的厚度、性质，进而制定相应的成孔方法、护壁方案和安全措施。

2)成孔

(1)降水措施。根据地下水位标高的不同，选择相应的降水措施。

①河岸枯水段，采用孔内降水，即用潜水泵直接进行孔内抽水。当孔内水量较多时，可同时开挖同排几个孔，以达到降水效果。

②河滩丰水段，采用孔外降水，在多孔开挖仍不能达到应有的降水效果时，可采用孔边开挖渗水池的办法实现孔外降水。

(2)护壁施工。一般情况下采用混凝土护壁，根据地质情况，护壁方法也有所不同。

①原地面至透水层段，本段特点是土层较紧密，含水量较低。护壁长度可设为 1.0m，每开挖 1.0m，即安装钢模，浇筑护壁混凝土。

②流砂、涌泥等丰水段，本段地层受水浸泡，容易出现流砂等情况，护壁较为困难，这时可将护壁长度缩短为 0.5m。对个别特殊严重坍孔段，可根据安全情况，再酌情减短护壁长度，必要时，护壁采用钢筋混凝土，以防护壁坍塌。

③较为松散的地层处理，施工中如出现这种地层，无法进行混凝土护壁时，可采用具有足够刚度的钢护壁替代混凝土护壁并作到随挖随沉。

护壁过程中，在每浇注一节护壁，必须用垂球校核桩的中心位置，以保证桩身竖直度。

(3)岩石段成孔，可不进行护壁，相对较软的岩石段可采用空压机配合风钻开挖成孔。岩石较为坚硬处，采用井底水下爆破开挖。但要注意在距孔底标高 50cm 以上的范围内停止爆破，采用人工开挖，以防止对孔底的扰动，影响基底承载能力。

4.桩身混凝土灌注

1)当孔内渗水量较少时，应先抽干孔内积水，然后用窜筒进行水上混凝土空气灌注。这时的混凝土除桩顶以下 2.0m 范围内，需按常规方法进行振捣外，其他部分均靠其本身下落自动挤压密实而不用振捣。

2)当孔内积水深度始终保持在 10cm 以上时，而又无法抽干，应视作水下桩，必须严格按照水下混凝土的规定进行。

5.施工难点及措施

对于挖孔桩而言，施工的主要难点是在成孔过程中，如何控制软塑土透水层不发生坍孔，以及岩石爆破工艺等。

1)护壁局部塌方

当护壁以下出现局部塌方时，为避免出现坍孔等严重后果，必须进行及时处理。方法是沿护壁下插长度为 1.0m 的 ϕ16mm 钢筋，入土 0.5m，外露 0.5m，间距 0.15～0.2m，以此作为支撑，用麻袋将塌方位置封堵好，快速抽水、支模、灌注混凝土。

2)护壁出现漏水

护壁通过透水层时，若护壁混凝土不密实，会造成护壁的渗漏，严重时可能会造成护壁坍塌，给以下的施工带来不便。所以在注意护壁混凝土振捣密实的同时，若出现孔壁漏水，应及时处理。

方法是对于水压较小的水孔，用水玻璃掺加30%的水泥，充分拌匀后直接堵塞。对于水压大、直径较大的水孔，先将孔内松散的混凝土打掉、洗净，根据水量大小选择相应尺寸的塑料管插入孔壁导流，然后用加30%水泥的水玻璃将漏水处沿塑料管四周封死。24h后，将塑料管打折并用铁丝扎死，切断水源。

3)岩石爆破

井下爆破除特别注意安全以外，还应注意以下几点：

(1)采用少药多炮的特点，防止超挖扩孔及爆破对孔壁的扰动；

(2)打眼、放炮时孔内水位尽量降低，以便合理准确控制炮眼位置，以防超爆、超挖；

(3)接近桩底设计标高(一般为50cm内)时，停止爆破，改用人工开挖，防止超挖以及对基底的扰动。

第四节　空气幕下沉沉井施工

一、概　述

用空气幕下沉沉井是我们在修建包头黄河大桥时跟铁道部大桥局学习的一项新工艺。它就是在沉井井壁周围预设若干层管路，每层管上钻有许多小孔，接通压缩空气，向沉井井壁外面喷射空气，以减少井壁与土壤之间的摩阻力，从而加速沉井顺利下沉。因为压气时在沉井周围形成一层空气帷幕，故称空气幕沉井。

20世纪80年代以来，已有部分公路桥梁采用了空气幕方法下沉钢筋混凝土轻型沉井和钢沉井，突破了长期以来应用大圬工重量型沉井的局限。通过包头黄河大桥的实践，表明采用空气幕下沉沉井是一种增加设备不多、进度快、经济效益较显著的施工方法。

二、特　点

为了克服沉井下沉时土对井壁侧面的摩阻力，过去在选择结构形式时，通常采用加大井壁厚度，增加圬工数量，加大沉井自重，以穿过深厚的覆盖层。后来为了节省圬工，下沉轻型沉井，也曾采用过泥浆润滑套法下沉工艺，但该法存在着沉井下沉完后，井壁摩擦力不易恢复的缺点。因此，采用空气幕下沉是更为理想的方法，较之重型沉井及泥浆润滑套法有如下优点。

1)由于通过压气在井壁周围形成气幕，减少了井壁摩阻力，从而减少沉井重量，能节省大量圬工。

2)采用空气幕法可加速沉井下沉，并可利用分区压气进行纠偏，以控制沉井竖直下沉。

3)停止压气后，可使周壁土壤很快恢复对井壁的固结作用，沉井即趋于稳定，从而可提高基础的使用安全度和基础的抗震能力。

4)空气幕法解决了主体结构要求的沉井自重小(减小基底压力)和施工时要求的沉井自重大(克服井壁阻力)的矛盾，使沉井基础更趋于合理。

5)既可在滩地，也可在水中施工。

6)使用范围广。沉井施工是深基础或地下工程常采用的方法之一，这种方法不仅适用于地下水位较高的粉砂、细砂、中粗砂类地层，以及粉、粘性土壤，也可在硬土、砾石层中使用。它的应用范围极广，如各类地下构筑物、桥梁的墩台基础、取排水建筑物、采矿竖井以及船坞坞首等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

沉井下沉的方法近年来已有不少改进，如采用泥浆护壁、空气幕下沉、水力机械化、空气吸泥、钻吸不排水下沉等，使下沉速度、施工安全等方面得到了全面改善和提高。

三、构造及工艺原理

沉井下沉过程中要克服两种阻力，一是沉井正面阻力，二是沉井侧面阻力，如图 8-26 所示。

正面阻力靠井孔内人工开挖(无水)、抓泥斗抓土或吸泥机吸泥等方法消除。沉井侧面摩阻力历来主要靠沉井自重来加以克服。随沉井入土深度的增加，往往单靠增加沉井自重，难以克服阻力，造成下沉困难。采用空气幕可减小沉井的侧面摩阻力，从而减小井壁厚度。用空气幕和不用空气幕两种沉井，所用的混凝土数量相差可达 30%左右。

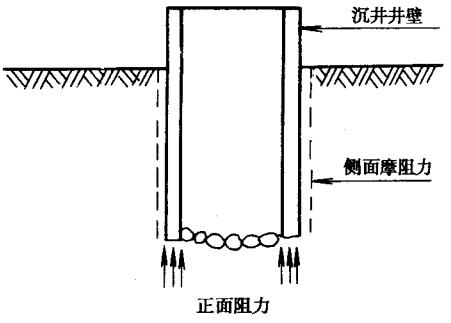


图 8-26　沉井下沉阻力分布图

空气幕法下沉原理是：当沉井下沉时，其正面阻力已大部分消除后，向压气系统压入高压空气，高压气流由井壁内预埋水平管路的气龛上的小孔喷出，一层层水平输气管路分批由上向下逐层开启，向井壁周围土层喷射高压气流，气流沿井壁上溢，形成一圈压气层，带动砂、粘土翻滚，造成土壤液化，粘土则形成泥浆，从而减小土壤对井壁的摩阻力，使沉井下沉。当沉井下沉发生倾斜时，可采取在水平管路局部通气，使高的一侧摩阻力消失，低的一侧摩阻力不消失，将沉井调平。

试验表明，风压应为水平通气管路入土深度理论水压的 1.6～2.5 倍；风量则应根据气龛耗气量确定。一般按每个气龛耗气量 0.02～0.03m^3/min 计，并另加一定储备风量。所需风压可按下列经验公式计算：

$$P_0 = P_w + P_s + 0.25P \tag{8-10}$$

式中：P_0——所需压缩空气的压力，kPa；

P_w——土压力，kPa；一般取 60～80kPa；

P——压缩空气有效压力，kPa；$P = 13H$；H 表示深度，m。

四、施工方法及质量要求

1.施工方法

1)空气幕下沉沉井，就是在灌注每节混凝土前，按预先设计好的部位，沿井壁四周分区安设水平喷气管路，再沿水平喷气管每隔一定距离安装一个气龛木模，钉在井壁外模板上。每两层水平喷气管间，均连接有竖直风管。竖直风管随沉井的接高而接长，并伸出沉井顶面 20cm 左右，便于与压风管接通。

2)待灌完沉井混凝土及拆模后，在井壁凹槽处的水平喷气管上用电钻钻以小孔，使井壁四周形成一排排的气龛。其空气幕沉井和压气系统布置如图 8-27 所示。

3)钢沉井也可以使用空气幕法，除气龛凹槽有所不同外，其余管路布置与上述相同。

4)沉井压气时，必须从上层气龛逐次向下进行，绝不可由下而上。否则，可能造成气流不沿外壁向上喷，而向下穿过刃脚，由井孔内溢出，造成翻砂。

5)包头黄河大桥采用气幕沉井的一些数据。

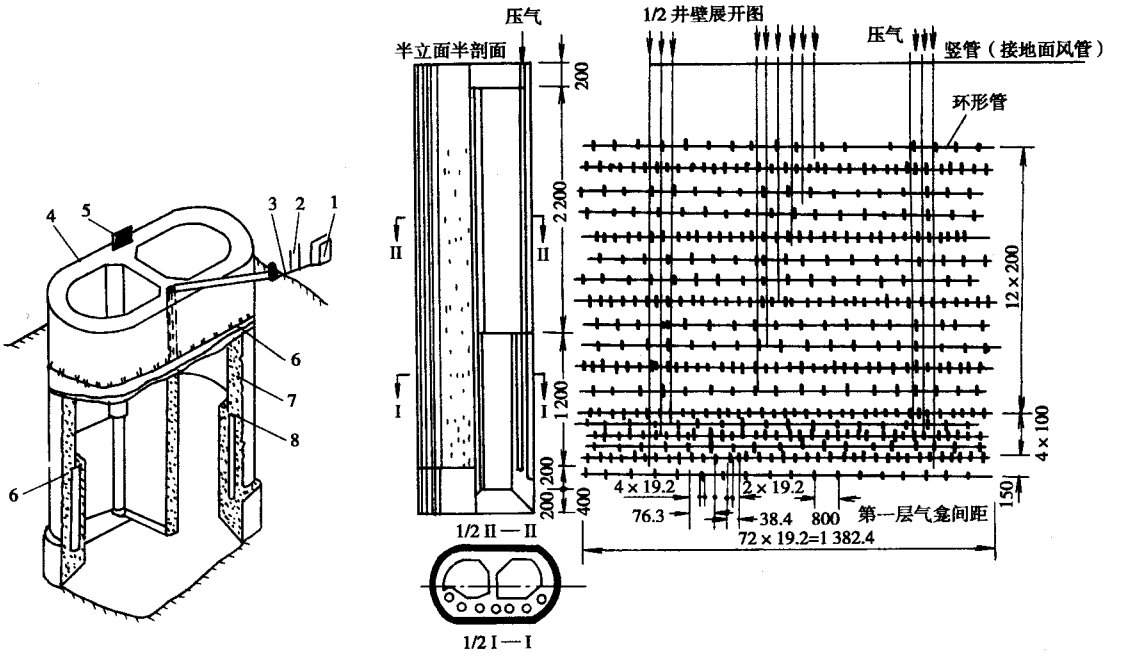


图 8-27　空气幕沉井压气系统布置示意图(单位:cm)

1-压风机;2-风包;3-地面风管路;4-沉井;5-井壁预埋竖管;6-井壁预埋环形管;7-气龛;8-气龛中的喷气孔

(1)供气的气压一般为 0.7 ~ 0.8MPa。风量根据下沉的深度变化,一般在 20m 深以内用 $8m^3/min$;30m 深以内用 $18m^3/min$;30m 以上时,宜用 $20 \sim 25m^3/min$。

(2)需要设 3 ~ 4 个并联的气包,贮存与供气量相适应的高压空气,以保证供气的稳定。一般总容量为 $10 \sim 20m^3$。

(3)竖管的管径一般为 50 ~ 70mm,环形管的管径为 25mm。为节约成本埋在井壁内的管道,可用硬塑料管,外管则用相应气压的钢管。

(4)环形管上气孔,孔径为 1mm。气龛外口尺寸为 15cm × 15cm,深 3cm。

2.质量要求与注意事项

1)质量要求必须遵照部颁《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—98)执行。沉井实测项目见表 8-13。

沉井实测项目　　表 8-13

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率	规定分
1	各节混凝土强度(MPa)		在合格标准之内	按 JTJ 071—98 附录 D 检查	30
2	沉井平面尺寸(mm)	长、宽	±0.5%,大于 24m 时 ±120	尺量	10
		半径	±0.5%,大于 12m 时 ±60		
3	井壁厚度(mm)	混凝土	+40,-30	沿周边量 4 点	10
		钢壳和钢筋混凝土	±15		
4	沉井刃脚高程(mm)		符合设计规定	用水准仪检查	10

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率	规定分
5	顶、底面中心偏位(纵、横向)(mm)	一般	1/50 井高	用经纬仪检查	15
		浮式	1/50 井高 + 250		
6	沉井最大倾斜度(纵横方向)(mm)		1/50 井高	吊垂线检查	15
7	平面扭转角(°)	一般	1	吊垂线检查垂直两个方向	10
		浮式	2		

2)埋设风管一定要在模板完全立好后,再按设计位置安设。

3)安装竖直风管时,其顶端要高出顶面 20cm,并及时将管口塞好,以避免掉进杂物,造成管路堵塞。还应对风管及时作好编号,以免混乱。

4)钻喷气孔时要注意钻通,并将孔周围毛刺清刷干净,以保证喷气孔畅通。

5)每节沉井下沉之前,必须对新制气龛进行压气检查,使每个气龛均能发挥作用。气龛的耗气量是必不可少的数据,并应作好管路空气流量的测量。

6)沉井下沉应在井壁混凝土达到规定强度后进行,沉井接高时,各节的竖向中轴线应与第一节竖向中轴线相重合,接高前要纠正沉井倾斜。下沉到设计标高时,应检查基底,确认无误后,方可封底。

7)在整个下沉过程中,应先在井内除土,消除刃脚下土的抗力后再压气,但也不得过分除土而不压气。一般情况,除土面低于刃脚 0.5 ~ 1.0m 时,即应压气下沉,压气时间一般不超过 5min/次。

8)停气时应先停下部气斗,依次向上,应缓慢减压,不得突然停止。防止造成瞬间负压,喷气孔吸入泥砂,而堵塞。刃脚以上 3.0m 内不宜设置喷气孔。

9)机具设备。所用的机具设备除与一般沉井相同外,还需增加如表 8-14 所列机具。

机 具 设 备 表 8-14

名 称	规 格	单 位	数 量	备 注
压风机	$20m^3$/min,压力 0.7 ~ 1.0MPa	台	1	可与吸泥机共用
风 包	风力 0.7 ~ 1.0MPa	台	5	总容量 20 ~ $25m^3$
分配器	6 ~ 8 头	个	4	
转子流量计	L_{28}—20 型	台	2	
转子流量计	L_{28}—40 型	台	2	
压力表	量程 1.0MPa	个	2	
压风机	$0.6m^3$/min	台	1	供塑料焊枪压缩空气
高压胶管	ϕ35mm	m		视风源远近而定
塑料硬管	ϕ25mm、ϕ32mm(内径)	m		视沉井大小及高度而定
塑料焊枪		把	1	

五、气幕沉井下沉记录

包头黄河大桥6个沉井，全部采用气幕法施工，其中6号沉井最深，入土深度为32m。现将该沉井下沉的最后困难阶段（即入土深度27～32m）的气幕沉井下沉记录介绍如下（表8-15），以供其他类似工程参考。

6号墩最后一节沉井下沉记录 表8-15

施工日期和时间	使用空压机（台）	压力（MPa）	沉井入土深度（m）	沉井下沉量（cm）	备注
4月13日 8:00～6:30	2	0.65～0.7	27.18	18.0	
4月13日 20:05～21:35	2	0.6～0.7	27.36	6.5	
4月14日 8:45～10:00	2	0.6～0.7	27.54	12.5	东边有塌方
4月16日 6:00～11:00	4	0.55～0.6	27.85	12	
4月18日 6:30～7:30	4	0.6～0.65	28.0	18	
4月18日 19:00～20:00	3	0.5～0.7	28.20	12	锅底较浅
4月19日 6:20～8:00	4	0.2～0.6	28.35	13.5	
4月19日 14:15～15:25	4	0.55～0.6	28.57	19.5	下游气幕未开
4月21日 20:35～21:45	3	0.5	28.67	8	
4月22日 8:30～10:00	3	0.6～0.7	28.78	10.5	下游气幕未开
4月23日 15:15～16:30	4	0.55～0.7	28.92	8.8	
4月25日 16:00～17:00	4	0.6～0.7	29.10	16	北边气幕未开
4月27日 6:00～7:00	4	0.6～0.7	29.28	13	
4月27日 14:30～15:30	4	0.55～0.7	29.40	13	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

施工日期和时间	使用空压机（台）	压　力（MPa）	沉井入土深度（m）	沉井下沉量（cm）	备　注
4月28日 8:45～10:15	3	0.6～0.7	29.81	10	北边气幕未开，上下游有明显大塌方，导管提高3m
4月30日 9:00～10:15	3	0.6～0.7	29.90	西38 东18	北边上游气幕未开
5月1日 7:15～8:30	2	0.6	30.0	5	北边气幕未开
5月2日 7:30～8:50	2	0.6～0.7	30.10	上游5 下游7	
5月3日 6:00～11:00	2	0.6～0.7	30.40	下12 上12	
5月5日 10:05～11:35	3	0.6～0.65	30.60	上8 下7	
5月6日 8:00～9:30	3	0.6～0.7	30.70	6	北边气幕未开
5月7日 15:30～16:45	3	0.6～0.65	30.91	4	
5月8日 10:00～11:15	3	0.6～0.7	31.00	7	
5月10日 17:30～19:00	2	0.65～0.7	31.10	4	
5月17日 7:30～9:15	2 另加2台吸泥器	0.65～0.7	31.25	上2.8 下3	粘土夹少量石子，坚硬，下沉困难。 超刃脚1.5m用气幕下沉，西南角塌方
5月27日 10:40～11:50	4	0.6～0.7	31.50	上18.5 下19.5	上下游均有塌方上游严重
5月28日 6:20～7:45	4	0.65～0.7	31.60	7	上下游地面有裂纹
5月29日 5:00～6:50	3	0.65～0.7	31.70	10	一台空压机坏了
5月30日 6:63～7:73	3	0.6～0.7	31.75	5	上游塌方严重导管提高4m
5月31日 6:00～7:30	3	0.65～0.7	31.90	8	
6月1日 6:00～7:30	3	0.6～0.7	31.94	2	
6月1日 21:00～22:00	2	0.6～0.7	32.00	4.5	

第五节　承台及系梁施工

一、厦门集美立交桥承台施工

厦门集美互通式立交桥桩基承台共53个，分五种尺寸，见表8-16所示。

集美立交桥的承台　　表8-16

承台尺寸(m)	6.5×6.5×2.5	5.5×5.5×2.5	6.5×2.8×2.5	4.5×4.5×2.0	7.0×4.5×2.0
桩径及根数	4φ－150cm	4φ100cm	2φ150cm	4φ100cm	4φ100cm
承台个数	9	12	19	11	2
墩台号	引$_{1\text{-}1\sim7}$ 引$_{11\text{-}1,2}$	B_6、B_7、$D_3\sim D_{10}$、 D_{15}、D_{16}	$B_8\sim B_{16}$、$D_{11}\sim D_{14}$、 $E_7\sim E_{10}$、A_4、A_5	$B_{17}\sim B_{23}$、 $E_3\sim E_6$	$B_{台}$、$C_{2台}$

承台设计顶面高程控制较严，陆上要求不露出原地面。水中便道施工的墩顶面高程为+3.0～+3.5m(便道保留不拆除)，承台基坑采用敞口开挖。筑岛施工的$B_6\sim B_{14}$、$D_8\sim D_{16}$等18个墩，顶面高程±0.0m，开挖深度达6～7m，又在水中采用钢板桩围堰施工。B_{22}、B_{23}两墩在水渠中，顶面高程与渠底(+2.4m)平，采用双层钢板桩围堰施工。

1.敞口开挖施工

一般施工步骤包括如下几项。

1)基坑放样。先用经纬仪交会法定出墩中心点及纵横轴线，再根据埋置深度及土质类型确定开挖轮廓线，基坑底宽按承台尺寸加2×0.5m，基坑边坡对旧堤老填土采用1:0.5，新填土采用1:1.5。

2)开挖基坑。使用液压反铲挖掘机开挖，自卸车装运土方，边坡及死角部位以人工配合修整，底部20cm用人工找平。有水的基坑，四周设10cm×10cm小边沟排水，在方便的一角挖深0.6m的集水坑，用潜水泵抽水排干。

3)设垫层。为避免泥土污染钢筋，无水及少水的基坑垫10～15cm碎石，水较多且基坑为烂泥时，碎石层可稍厚并夯实，再浇10cm混凝土。

4)凿桩头。人工剥离桩顶主筋，调成喇叭状，并在比承台底面高10cm处截断桩头。如发现桩头有不合格混凝土(如夹泥)，除凿除外，并用标号高一级的混凝土补齐。

5)安装模板。安模前重新准确测定中心和纵横轴线，定出四角准确位置，再用吊机配合安装模板。每个方形承台的模板仅四大片，用定型钢模板组拼。采用[10槽钢做成的竖围囹刚度较大。吊放就位后扣紧四角法兰螺栓，安上顶面拉条和底部周围木撑即告完成。每一承台模板安装仅需1h左右。为节省材料和适应承台各种尺寸，制拼5种基本形式模板10片，可组拼成5种尺寸承台模板2套。使用方便，周转次数仅承台施工达12次。因大多数由基础模板改拼，故其总周转次数达40次以上。模板组拼形式，如表8-17所示。

6)绑扎钢筋。因承台体积大，不便采用整体吊装，均就地绑扎。同基础钢筋一样，在工厂成批制作，挂牌堆放，随时可以在很短时间内完成一个承台配料。预先成批标出定位筋位置，在绑扎时可节省大量时间，而且确保间距准确。

7)混凝土浇灌车可直抵墩位，现场用溜槽浇灌，坍落度7～9cm，插入式振捣捣实。

2.钢板桩围堰施工

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

承台模板的备件及组合　　表 8-17

模板备件			组合方法	
编　号	尺寸(m)	数量(片)	承台尺寸(m)	组合方法
1	7.0×2.5	2	6.5×6.5×2.5	2×1+2×2
2	6.5×2.5	2	6.5×2.8×2.5	2×1+2×5
3	5.5×2.5	2	5.5×5.5×2.5	2×2+2×3
4	4.5×2.5	2	4.5×4.5×2.0	2×3+2×1
5	2.8×2.5	2	7.0×4.5×2.0	2×1+2×1

施工步骤除先打钢板桩，随后开挖过程设支撑外，其他均与敞口开挖相同。现将与钢板桩施工有关的问题叙述如下。

1)钢板桩围堰尺寸的选定

采用钢板桩围堰的承台有 5.5m×5.5m×2.5m 和 6.5m×2.8m×2.5m 两种，模板和两层围图总厚 25cm。考虑设外支撑，围堰内边长按基础边长加 2.0m，如图 8-28。

2)钢板桩长度 L 的选定(如图 8-29)

$$L = h_1 + h_2 + h_3 \tag{8-11}$$

式中：h_1——地面至承台底的高度，m；本桥大多为 6.0m；

h_2——混凝土封底厚度，m；与地质情况及水头高度有关，对强风化层及残积亚粘土采用 0.2～0.3m，抽干水浇注，本桥多属这种情况；对于砂层、淤泥层等含水丰富土层及承载力很低的土层，采用 0.8～1.0m，水下浇灌；

h_3——嵌入底土深度，m；对于本桥残积亚粘土及强风化层取 1～2m。

工地备有长 9m 和 15m 的钢板两种，短者放在靠挖掘机操作一边，长者置于其他三边，不予割断。

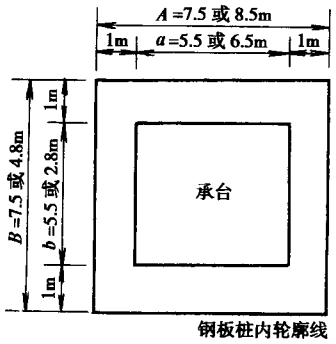


图 8-28　钢板桩围堰尺寸选定

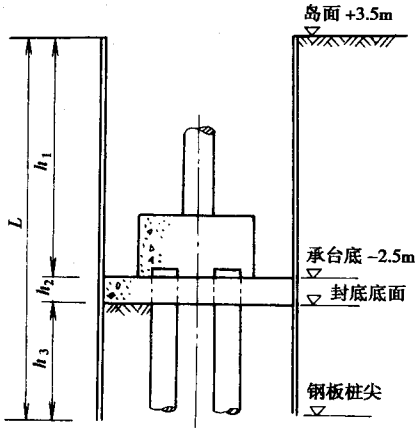


图 8-29　钢板桩长度选定

3)钢板桩的支撑

支撑的层数、间距和位置需根据基坑深度、土质和钢板桩的抗弯能力计算确定。我们参考主桥计算结果和实际情况，在 +3.0m 及 +0.5m 处，设两层支撑，上层及斜撑用 I 24型钢，下层

用I40型钢。所用材料，略偏安全，如图8-30所示。

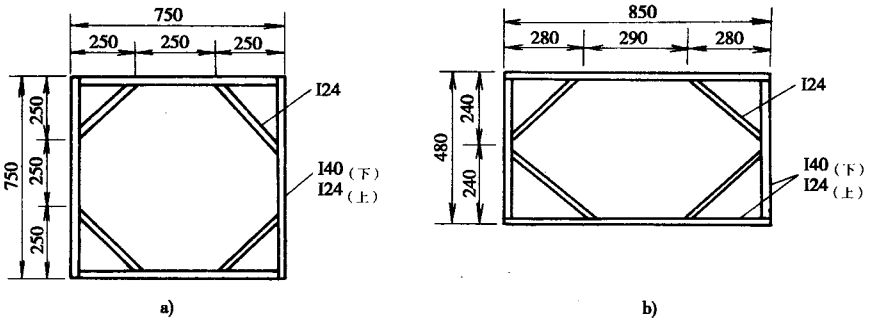


图8-30 钢板桩围堰支撑(单位:cm)

a)5.5m×5.5m承台;b)6.5m×2.8m承台

4)钢板桩施打

采用吊机配落锤和吊机配振动锤两种沉桩方法。

5)开挖基坑

上部3.0m以内仍用液压反铲挖掘机，以提高效率。3.0m以下抓斗反复在中心抓土，边角部分辅以人工开挖。注意随开挖深度及时设置支撑。

6)封底混凝土

浇封底混凝土厚度应按坑底土质而定，当为淤泥或砂土时，为防止产生流砂，切忌先行抽水，宜浇0.8~1.0m厚度的水下混凝土。当为残积土及强风化层时，可先抽水，再浇0.2~0.3m厚的混凝土，本立交桥大多数都属这种情况。

7)承台模板、钢筋、混凝土施工

与敞口开挖承台基本相同。

8)起拔钢板桩

使用40t履带吊机配振动锤拔桩，进展顺利。拔桩时，围堰支撑及焊有支架牛腿的钢板均暂保留，以防止压力过大而损坏钢板桩。也可先回填土再拔桩。

3.双层钢板围堰施工

B_{22}、B_{23}两个承台位于向厦门输水的渠道中，水浅，流速慢，渠底为浆砌片石铺砌。由于施工期间不能停止输水，土坝围水或打钢板桩，均不适宜，因此选择了阻水面积最小的双层钢板围堰。围堰高2.0m，宽1.0m，两层钢板之间填土止水。抽水后首先把铺砌层拆除，再于钢围堰内沿打木板桩(桩长4m，打入承台底以下1m)防止围堰下塌方而产生严重漏水。采取这些措施后施工仍不太顺利，两个墩各耗用了一个多月。此例说明，工程虽小，如措施不当，也会误事。

二、钢套箱围堰施工

厦门大桥主桥主墩因基础形式不一，施工方法各异，因而承台施工方法也不相同。其中17~29号墩为预应力沉桩，因均系深水基础，承台采用了钢套箱围堰施工。

1.钢套箱的设计与制作

钢套箱的平面尺寸定为8.4m×8.4m，以便两种承台尺寸6.4m×6.4m和7.7m×5.05m共同使用。钢套箱高度按常年正常高潮位+6.5m加0.5m的富余高度为+7.0m作为套箱顶标高；设计承台标高-1.2m加1.8m的封底混凝土厚度，计-3.0m，作为套箱的底标高。因此套箱的高度为10.0m。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

考虑到钢套箱周转使用时拆装方便，分上、下两层，上层高 4.8m，下层高 5.2m。每层分为四片，每片和上下层之间均采用螺栓连接，用平板橡胶带止水。

钢套箱为正方形截面，由面板横肋、立柱和桁架围囹组成。横肋按支承在立柱上的连续梁计算，以选择截面尺寸；桁架围囹按框架计算，以选择桁架高度及杆件的截面尺寸。钢套箱每个质量为 5.1t，由 12t 大型门吊装船出运。

2.深水墩承台施工顺序

水中抛砂(砂袋)筑岛或挖泥至 -3.0m 标高 $\xrightarrow{\text{组拼套箱}}$ 安装钢套箱 → 基底整平和检验 → 浇筑封底混凝土 → 混凝土养生 $\xrightarrow{\text{抽水}}$ 凿桩头 $\xrightarrow{\text{立模、绑钢筋}}$ 浇筑承台混凝土 $\xrightarrow{\text{墩身施工}}$ 拆除钢套箱。

按照施工顺序，工地安排一组施工船舶进行流水作业，以尽量减少船舶的锚缆相互交叉、干扰，充分发挥其施工能力，加快施工周转，节约台班费用。

3.船泊设备及布设

表 8-18 是深水墩施工所需的主要船机设备，其中混凝土搅拌船是根据工程需要自行设计组装而成，其平面布置如图 8-31。混凝土搅拌船由 1 000t 方驳改装组拼。

船机配备和数量表 表 8-18

设备名称	规格或性能	单位	数量	用途及说明
挖泥船	$1m^3$ 抓斗	艘	1	墩位挖泥
泥驳	$120m^3$	艘	2	装泥
拖轮		艘		
起重船	60t	艘	1	
方驳	400t	艘	2	钢套箱堆放及组拼
方驳	300t	艘	1	承台及墩身模板堆放
混凝土搅拌船	$25m^3/h$	艘	1	水上供应混凝土
仓驳	500t	艘	1	运输碎石
水泥驳	120	艘	1	运输水泥
拖轮	298kW	艘	2	拖带及值班
民船	30～50t	艘	4	运输钢筋等材料和供应混凝土
空压机	$9m^3$	台	2	吸泥及供潜水员使用
潜水泵	$25m^3/h$ 扬程 15m	台	40	抽水
水船	300t	艘	1	供水

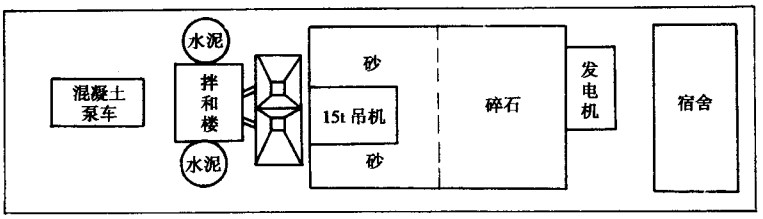


图 8-31 混凝土搅拌船平面布置图

4.海底筑岛及挖泥

9～14号墩海底标高为－5.86～－3.94m，低于承台底面－3.0m标高。采用抛填海砂筑岛方法安放钢套箱。筑岛面积为10m×10m，用袋装砂包按1:2的坡度放置边坡。岛面经潜水员大致整平，在钢套箱底每边安放两块钢筋混凝土预制板（2.0m×1.0m×0.15m），以扩大承压面积，使套箱不致沉陷。

15～19号墩海床高于－3.0m，用挖泥船先将每个墩位周边挖至－3.0m，沉放钢套箱后，再用吸泥管将套箱内的泥砂吸出箱外至－3.0m标高。

5.钢套箱组拼及安放

钢套箱加工完毕，在预制场进行组拼并编号。重复使用的组拼，可在现场进行，根据起重船的起吊高度，上节套箱能整体拆除，而下节套箱由于封底混凝土的粘结力过大，只能分片拆除。现场组拼在起重船尾部舱面作业，先将下节套箱依编号顺序装好，再将上下两节依号对位拼接而成。然后拧紧连接螺栓和安放橡胶止水带，经验收后待用。一个套箱由10人组拼，一天即可完成。

套箱顶面四边轴线上各焊一根1.0m长的标杆，作为安放定位时的测量标志。套箱由起重船整体安放，经纬仪轴线交会定位，一次安放成功。

6.水下封底

套箱安放就位后，采用吸泥管清除套箱内泥砂土，吸泥管内径为20cm，由两台9.0m³空压机供气。每个单墩吸泥量约有60～80m³，一般三个潮水就能吸完，由潜水员进行泥面整平或四周堵漏（筑岛墩位）并清洗桩身周围粘土（17～29号墩还须注意清洗直桩和斜桩间的粘土）后，才能进行混凝土封底。

1）封底混凝土厚度的确定

根据抽干水后高潮时钢套箱所承受的浮托力进行估算：

$$Q + h(\gamma_c A + n\pi D[\tau]) \geqslant K\gamma HA \tag{8-12}$$

式中：Q——围堰总重，kN；$Q = 51$kN；

h——封底混凝土厚度，m；

γ_c——混凝土容重，kN/m³；取24.5kN/m³；

A——围堰底净面积，m²；$A = 61.48$m²；

n——钻孔桩的数量，$n = 4$；

D——钻孔桩外径，m；$D = 1.7$m；

$[\tau]$——桩与封底混凝土的容许摩阻力，kN/m²；取10kg/m²；

γ——水的容重，kN/m³；

H——围堰高度，m；$H = 10$m；

K——安全系数，$K = 1.15$。

则 $51 + h(2.45 \times 61.48 + 4 \times 3.14 \times 1.7 \times 10) \geqslant 1.15 \times 1.0 \times 10 \times 61.48$

$h \geqslant 1.7$m

2）封底混凝土的浇筑

每个单墩封底混凝土数量约为110m³，深水墩的承台能否顺利施工，关键在于能否保证封底混凝土的成功，因此必须十分重视。

（1）混凝土的配合比选用了合适的砂、碎石级配，采用20～22cm的坍落度，保证其流动性。经试验在混凝土中还掺了少量的铝粉，以确保混凝土和钢套箱的紧密结合。

（2）封底混凝土导管的布设和浇筑程序。图8-32和图8-33分别为钻孔桩墩及打入桩墩水

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

下混凝土导管布置图。

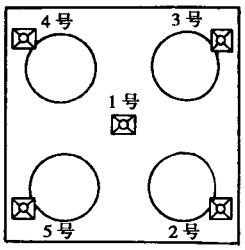


图 8-32　钻孔桩墩水下混凝土导管布置图

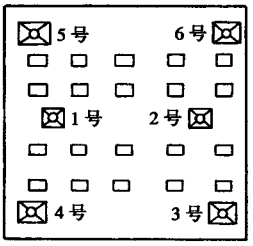


图 8-33　打入桩墩水下混凝土导管布置图

混凝土由搅拌船泵送，浇筑时先灌 1 号导管（或 2 号导管）至封底混凝土顶面标高，然后补浇四角至封底混凝土顶面标高。

（3）封底混凝土的养生为自然养生，但应注意浇筑后的 48h 内，保持套箱内外水位平衡，以避免过大水位差产生的水压力，破坏封底混凝土内部结构。我们采用套箱内外各悬挂两台 $25m^3/h$ 潜水泵抽水和补水以及在套箱壁 +3.0m 标高处开两个 20cm × 20cm 的小孔等措施，以保证水位差不大于 50cm。

7.承台混凝土施工

封底 3d，当混凝土强度达设计强度 75% 后，即可抽水进行承台施工。混凝土由水上搅拌船泵送供应，钢筋由木船运输，起重船吊装入模绑扎。

8.施工中出现的问题和处理方法

1）22 号墩西墩施工中，由于钢套箱的部分受力焊缝断裂，致使一块面板与桁架突然脱离，而造成整个围堰破坏。套箱壁受振动与封底混凝土脱开有 2 ~ 3cm，漏水严重而无法堵漏，围水失败。最后只有拆除已损坏的套箱，重新另加工制造一个平面尺寸为 9.4m × 9.4m 的长套箱，套着原封底混凝土，四边与新套箱各面有 50cm 的间距，沿此间隙浇筑水下混凝土封底。而工期因此延误了两个月，教训十分深刻。

2）封底漏水

据统计，48 个钢套箱围堰约有 10 个存在不同程度的漏水现象，经观察分析原因有以下三个方面：

（1）有少量淤泥在封底前未清除干净，浇筑时淤泥被挤至某一位置，或被封底混凝土所包裹，造成局部混凝土厚度减小或夹泥而发生漏水；

（2）桩身周围粘土未清洗干净，封底后抽水，海水沿桩身渗漏；

（3）套箱封底后受外力碰撞，（如施工船舶）使套箱壁与封底混凝土产生裂缝而造成套箱的边角漏水。

根据渗漏情况采用不同措施堵漏。小的渗漏用棉絮堵塞，严重的漏水采用特殊措施处理。如 11 号墩东墩，原封底质量很好，未发现渗漏。但在处理 8 号桩的质量事故过程中，由于施工机具的振动和船舶的撞击，造成部分封底混凝土与套箱壁裂开，漏水比较严重，无法堵塞。后采用在原封底混凝土面预留的承台与套箱间 1.0m 宽度的范围内立模板如图 8-34，补浇 0.5m 宽，1.0m 高的水下封底混凝土。其作用

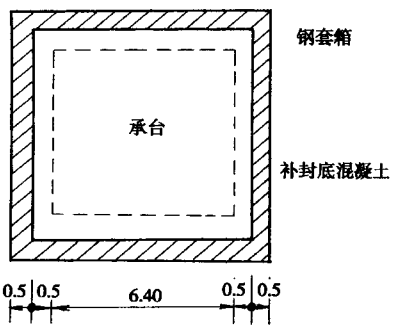


图 8-34　封底漏水处理布置图（尺寸单位：m）

是封住原封底混凝土与套箱壁间的漏缝，处理效果是比较好的。

20号墩东墩在凿桩头时，发现封底混凝土有一处开始渗漏，而且越漏越大，凿开一定厚度后发现有淤泥，难以堵塞。后由潜水工用水下吸泥管将这部分淤泥吸除，下导管补浇封底混凝土，重新排水施工。

三、大沙河桥水中系梁施工

1.工程概况

大沙河桥是位于沭阳境内的沂淮高速公路上的一座大桥。上部结构采用先简支后连续的预制组合箱梁，跨径为25m，共有6跨，其中2、3、4号墩为水中钻孔桩基础，每墩2根柱，桩径1.5m，桩长44m，桩与桩距离7.21m，中间设置系梁，系梁处水深5.0m，且底标高离河床底有6.8m。

2.方案的确定

钻孔桩施工方案为先搭钢便桥，继而搭设钻孔平台，用振动锤下钢护筒，钻机在钢平台上进行钻孔施工。

施工的难点主要是深水中的系梁。系梁混凝土只有7.0m^3，在河床中间，属于高桩承台，适于采用有底钢套箱。

有底钢套箱是悬吊在水中的套箱，利用基础顶部做为承力点，一般由侧板、底板和悬吊系统三部分组成。有底钢套箱的作用主要是挡水，以实现承台基础处于干处施工。按照常规的施工方法是先用钢套箱围出系梁(承台)的施工工作面，浇筑封底混凝土，待达到一定强度后，再抽水进行整个系梁的(承台)的钢筋绑扎，模板安装，最后浇筑混凝土，完成水中系梁(承台)的施工。

但大沙河桥系梁工程并不大，如果大面积的围水，再浇封底混凝土，继而进行系梁的施工，而底板混凝土不能拆除，势必给钻孔桩增加荷戴，且施工难度大，浪费又较多，同时钢围堰的排水面积大，一次性投入也过大。

针对以上问题，经充分讨论研究，最后决定先预制部分系梁，并制作两个如墩柱模板的圆柱形套箱，套箱和预制系梁利用特制的法兰盘连接，形成一个如哑铃状的整体，如图8-35所示。再将8个5t的手拉葫芦悬吊在设置于基础上的悬吊系统，逐节下沉逐节拼装，直到设计标高，再浇筑封底混凝土，待达到一定强度后，再抽水完成另外部分系梁施工。

3.施工步骤

1)搭设钻孔平台，用振动锤下钢护筒，开始钻孔灌注桩施工。

2)钻孔桩完成后，凿除部分桩头，经检测合格后，在钢平台上预制部分系梁，系梁两头按规范要求，预留出足够的钢筋，凿毛，设置悬吊系统。

3)待系梁达到强度后，拼装第一节、第二节钢套箱，与系梁连接后，将系梁或套箱一起吊起，抽出预制系梁下的横梁及一切阻碍系梁下沉的障碍物。

4)下沉套箱和系梁直到一定高度，再拼装第三节套箱，拼完后，下沉到设计标高，用工字钢将套箱和钢平台连接成一个整体。

5)将套箱与护筒之间的空隙用砂袋堵漏。并浇筑套箱和护筒之间的封底混凝土。

6)待封底混凝土强度达到要求时，进行抽水，拆除悬吊系统。然后割除护筒，对封底混凝土顶面进行清理整平，如有漏水的地方，应采取相应措施进行彻底的封堵。

7)凿除桩头至设计标高，绑扎剩下系梁和墩柱的钢筋，支设系梁模板后，再浇筑系梁与钻孔灌注桩连接部分的混凝土。待接头混凝土强度达到一定要求后，继续安装墩柱模板，浇筑墩柱混凝土。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

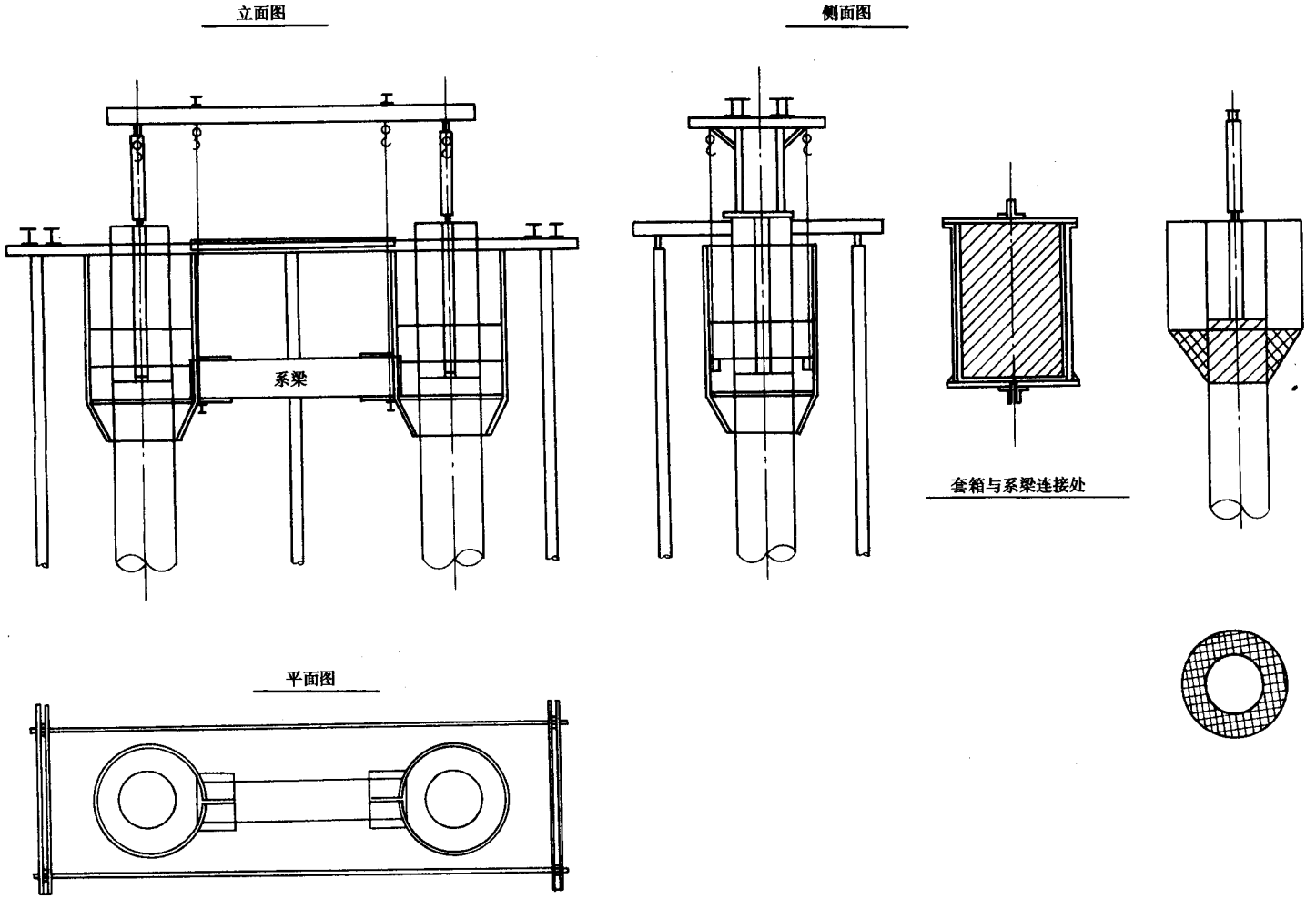


图 8-35　有底钢套箱构造示意图

8)拆除墩柱模板,往套箱里面灌水,直到与河面水位相平。

9)潜水员潜水将套箱节与节之间的螺栓拆除,用吊车将套箱分节拆除。

10)进行下一系梁的施工,如此反复循环。

主要施工流程见图 8-36。

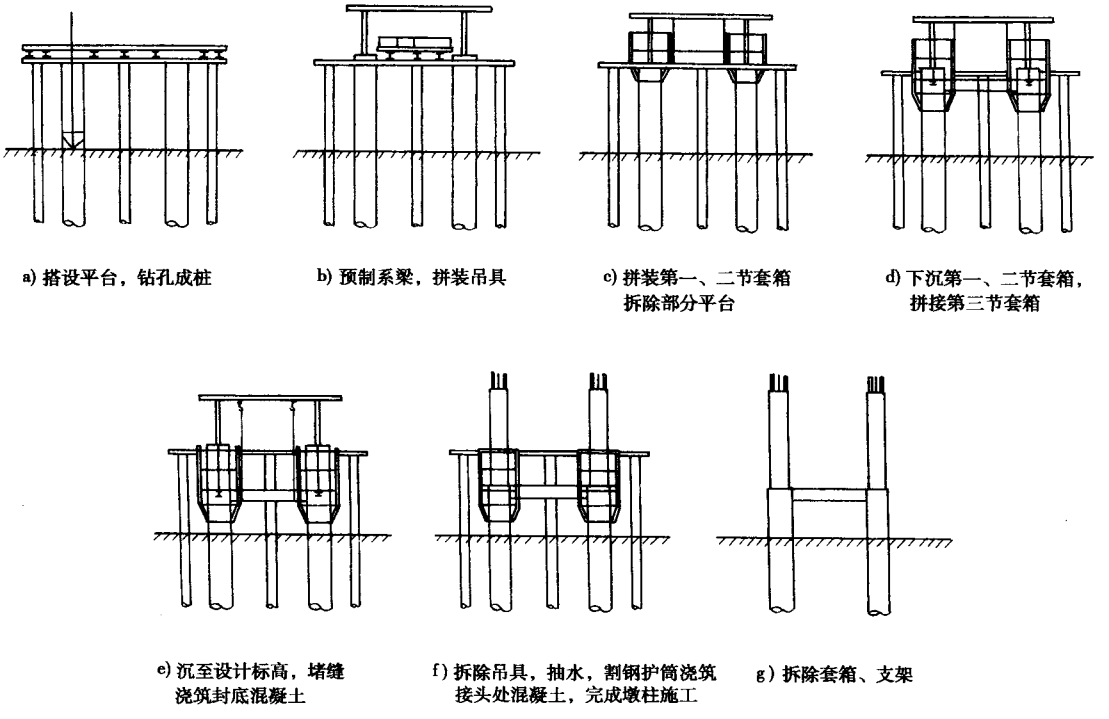


图 8-36　施工流程图

4.钢套箱的构造及必要验算

钢套箱采用 6mm 厚 A3 钢板做面板,用[8 槽钢做横竖肋,对面板进行加固。考虑到起吊能力和安装方便,套箱共分三节,每节对称分为两片,片与片之间,节与节之间均用螺栓连接。

第一节如同墩柱模板状,无特殊构造。第二节底正好在系梁顶标高处,形状如第一节,只是在与系梁接触面处特制一个镰刀形的法兰,该法兰与第三节的法兰连接,竖向锁紧系梁。第三节在与系梁接触处开一凹形槽口,槽口伸出 40cm 的钢板,确保与系梁紧密连接。在系梁底标高以下做成一个漏斗形的圆台,上口直径与第二节一致,下口直径比护筒直径大 20cm,该漏斗将成为封底混凝土的容器。

1)套箱承压计算

混凝土封底完成并抽干套箱内的水后,壁板内外水头差达到最大允许值时,侧板应力达到最大值。因套箱是圆形的,只需考虑它的失稳,图 8-37 是受力图。

沿套箱高度方向截取 1.0m 的高度,求出套箱能承受的临界荷载。

$$Q_c = 24EI/D^3 \tag{8-13}$$

式中:E——钢材的弹性模量,MPa;取 2.06×10^3MPa;

I——1.0m 高度竖向截面的组合惯性矩,m^4;

D——套箱直径,m;

Q_c——临界荷载,N/m。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

而内外水头差达最大允许值 h 时，其荷载为：

$$Q = \gamma_w \times h \times L \tag{8-14}$$

式中：γ_w——水的容重，kN/m^3；$\gamma_w = 10kN/m^3$；

h——内外水头高差，m；

L——套箱横截面周长，m；

Q——套箱所受的水荷载，N/m。

必须满足 $Q_c > KQ$。

K 为安全系数，取 2.0。

2)预制系梁承载计算

系梁与钢套箱一起被吊起时，必须承受一定的荷载，同时考虑到，手拉葫芦下放时有可能不同步。但无论如何，总有两个吊点要受力。据分析，当设在钢套箱的两个吊点下落得太快，即不受力时，系梁受力最不利。此时，其受力模式如图 8-38 所示。

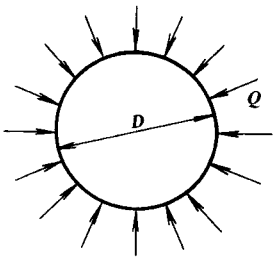


图 8-37　套箱受力图

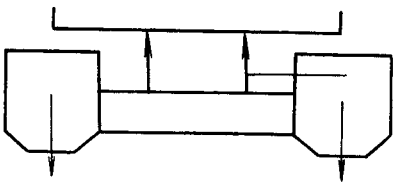


图 8-38　系梁受力模式图

A 点的弯矩为：$M_a = W_1 L_1 + Qa^2/2$

O 点的弯矩为：$M_o = QL_2^2/8 - M_a$，取 M_a、M_o 的最大值。

根据双筋矩形截面梁计算公式计算，系梁能承受的最大弯矩 M_j。

M_a、M_o 中的最大值必须小于 M_j。

3)钢套箱的内吊环的计算

钢套箱里焊有内吊环，必须对焊缝进行强度验算。其最不利受力情况，是在吊系梁的吊点不受力时，此时其受力为系梁和套箱总重量之和的一半(每个套箱有两个吊环)。

其受力状态：

$$F = W_1 + W_2/2 \tag{8-15}$$

$$M = Fe \tag{8-16}$$

$$\delta = M/I_f \cdot h_c/2 \tag{8-17}$$

$$t = F/A_{fw} \tag{8-18}$$

必须满足：

$$\delta_{合} = (\delta^2 + I^2)^{1/2} < [\tau] \tag{8-19}$$

式中：W_1—— 一个套箱的重量；

I_f——惯性矩；

W_2——预制系梁的重量；

A_{fw}——腹板焊缝的面积；

$[\tau]$——角焊缝的容许应力，取 85MPa。

4)悬吊系统

悬吊系统由立在钻孔桩上 ϕ50mm 钢管和上面的“π”形架及“π”形架上的横梁组成。钢管按轴心抗压构件计算,“π”形架及横梁按简支梁计算,验算其弯曲应力和局部承压应力。

5)封底混凝土厚度的计算

在浇筑完封底混凝土后,待达到一定强度时,抽干套箱里面的水,这时套箱承受自身重量,并且承受巨大的浮力。此时套箱有向上浮的可能,封底混凝土与护筒之间的粘结力可以抵消一部分浮力。此时,必须满足:

$$F - (W_1 + W_2/2) \leqslant \pi D[\tau]T \tag{8-20}$$

$$F = K\gamma_w V \tag{8-21}$$

式中:F——套箱所受的水浮力,kN;

W_1——每个套箱的重量,kN;

W_2——预制系梁水中的重量,kN;

D——护筒的直径,m;

T——封底混凝土的厚度,m;

$[\tau]$——钢护筒与封底混凝土之间的容许摩擦力,kN/m^2;

K——安全系数,取 2.0;

γ_w——水的容重,10kN/m^3;

V——套箱的体积,m^3。

5.施工中的注意事项及安全措施

1)搭设平台时,须考虑到套箱和系梁下沉的空间,在用振动锤下沉钢护筒时,必须用测距仪定位,同时必须在平台上焊导向架,保证护筒准确就位及必要的垂直度和倾斜度,应按规范要求小于 1%。

2)预制系梁与套箱联接时,必须保证水平,目的是为了保证套箱与系梁连接后能处于垂直状态,而确保顺利下沉。

3)拼装套箱时,法兰之间必须填上橡胶垫,同时涂上玻璃胶,玻璃胶采用早强型,凝固后有一定的强度和弹性,保证密封效果。

4)套箱是靠 8 个 5t 的手拉葫芦下沉就位的,必须 8 个人操作,1 个人指挥,测量人员协助观测,下沉时必须尽可能同步。该桥施工时,指挥人员吹声哨子,每人就下沉导链链环一格后立即停止,测量人员观察垂直度,当没有问题后,再继续下沉,如此反复循环,直到设计标高。

5)封底混凝土应采用灌注桩剪球的方法进行封底,坍落度控制在 18cm 左右,并可适当掺入部分粉煤灰,以增强混凝土的泌水性。抽水时如发现有漏水处,可用棉絮沾黄油进行堵塞,效果良好。

水中系梁采用悬吊式钢套箱施工,与常规施工方法相比,具有其独特的思路,不仅节约了材料,加快了施工进度,且为水中基础的施工拓宽了思路,有一定的参考和实用价值。

四、大体积混凝土承台施工

济南黄河大桥是济南—德州高速公路上的一座特大桥。主桥 116 号墩下部构造为钻孔灌注桩基础,上接 4.5m 厚的承台。承台基坑开挖方量约 6 200m^3,两个承台的混凝土方量各为 1 170.4m^3。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1.承台基坑开挖

1)施工时间为四月份,黄河水位标高为28.0m,沿围堰外河床标高23.28m,钢板桩围堰的标高32.5m,钢板桩15m。在标高为+30m处设置2I36a型钢围囹,用自制的三角架附着于钢板上支撑2I36a,围囹横桥向通过平台上的贝雷梁作为横梁传力,纵向通过平台桩上联系的2I36a作为内撑。

2)基坑内土层为砂性土,基坑开挖采用3台22kW的泥浆泵配3台22kW高压清水泵。施工期间水位为+28m,利用黄河水,用清水泵向基坑内注入黄河水,用高压水枪冲刷砂土,用泥浆泵吸走泥浆。

3)基坑开挖至+27m后,在基坑边缘围堰内采用轻型井点降水,井管间距为1.0m,管长为4.5m,滤管长为1.0m,分管直径1.5cm,总管直径为5cm。分管与总管之间用橡胶管联接,各分管插入土层,标高为+23.0m。基坑内用6台7.5kW的离心泵进行井点降水。基坑开挖至+24.3m的标高后,基本处于干燥环境作业,浇筑30cm厚C10混凝土垫层。然后绑扎承台钢筋,进行承台施工。

2.冷却水管法降温施工承台

承台平面为八边形,面积260m^2,高4.5m,属大体积基础混凝土。而招标文件中又不允许采用掺加片石和粉煤灰的方法降低水化热。因此,我们决定采用埋设冷却水管的一次施工工艺,以确保承台混凝土的整体性。

埋设冷却水管对混凝土进行冷却,是减少混凝土内外温差,避免产生温度裂缝的一项有效措施。

1)冷却管的布设

冷却水管在高度范围内,设置三层。第一层距承台底面0.75m,第二层与第一、第三层各距1.5m,第三层距承台顶面0.75m。冷却水管为ϕ2.54cm的铁管,距承台边的距离为1.2m。

2)冷却管的安装

冷却水管切割成4.6~11.2m不等长节段,然后两端车丝。在已绑扎完的下层承台钢筋网上放置第一层冷却管,在已经绑扎完的中层承台钢筋网上放置第二层及第三层冷却管,各段配好弯头及套管。在承台钢筋绑扎完前需用铁丝固定好冷却水管位置。

3)通水冷却

承台开始浇筑前,冷却管就应通水循环,以免阻塞,影响冷却效果。平台上面用直径1.8m高3m的护筒作为水箱,试通水后三层水管总流量基本保持在2.4m^3/h,通过离平台约200m的一口自打井向水箱连续供清水。在承台开始浇筑后,冷却水管开始通水,通水冷却时间为15d。

4)混凝土温度计算

(1)承台混凝土绝热温升计算。

假设封底混凝土的水化热已完成,不考虑承台混凝土表面散热的影响,封底混凝土的热能与弹性模量等特性相同。

①最终绝热温升计算见下式:

$$T_0 = \frac{WQ}{C\rho} = \frac{357 \times 377}{0.96 \times 2430} = 57.69(℃) \tag{8-22}$$

式中:W——每立方米混凝土水泥用量,kg/m^3;W=357kg/m^3;

C——混凝土比热,kJ/(kg℃);C=0.96kJ/(kg℃);

ρ——混凝土密度,kg/m^3;取2430kg/m^3;

Q——水泥水化热，kJ/kg；取 377kJ/kg。

②混凝土每天的绝热温升见下式：

$$T_t = T_0(1 - e^{-mt}) \tag{8-23}$$

式中：T_0——最终绝热温升，℃；

T_t——混凝土每天的绝热温升，℃；

m——与浇筑温度有关的系数；$m = 0.384$（混凝土浇筑温度取 25℃）；

t——龄期，d。

(2)绝热温升加混凝土入模温度减去冷却水带走的热量所降低的温度，等于计算温度。

混凝土表面温度参照《高层建筑施工手册》中大体积混凝土施工。

$$T_b(t) = T_q + 41H \times h'(H - h')\Delta T(t) \tag{8-24}$$

式中：$T_b(t)$——龄期 t 时的混凝土表面温度，℃；

T_q——龄期 t 时大气的平均温度，℃；

H——混凝土计算厚度，m；$H = h - 2h'$；

h——混凝土实际厚度，m；

h'——混凝土的虚厚度，m；

$$h' = K\frac{\lambda}{\beta} \tag{8-25}$$

式中：λ——计算折减系数，取 0.666；

β——模板及保温层的传热系数；

K——系数。

承台混凝土的浇筑，从 1997 年 5 月 19 日 0:05 开始，5 月 21 日 0:30 结束。

116 号墩承台混凝土计算温度如表 8-19。

116 号墩承台混凝土计算温度 表 8-19

龄期(d)	混凝土计算温度(℃)					
	绝对温度 + 浇筑温度 25℃	每天冷却水降低的温度	累计降低温度	混凝土内部最高计算温度	混凝土表面温度 T_b	最高温度与表面温差
1	43.40	1.89	1.89	41.51	29.80	11.71
2	55.92	1.89	3.78	52.14	32.96	19.18
3	64.46	1.89	5.67	58.79	53.29	23.5
4	70.29	1.89	7.56	62.73	36.31	26.42
5	74.21	1.89	9.45	64.73	37.07	27.89
6	76.92	1.89	11.34	65.58	37.50	28.08
7	78.77	1.89	13.23	65.54	37.68	27.86
8	80.04	1.89	15.12	64.92	37.71	27.21
9	80.84	1.89	17.01	63.83	37.6	26.23
10	81.48	1.89	18.9	62.58	37.45	25.13
11	81.82	1.89	20.79	61.03	37.22	23.81
12	82.11	1.89	22.68	59.43	36.97	22.46
13	82.29	1.89	24.57	57.72	36.69	21.03
14	82.40	1.89	26.46	55.94	36.39	19.55

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

5)测温方法

承台的测温点布置如 8-39 所示。

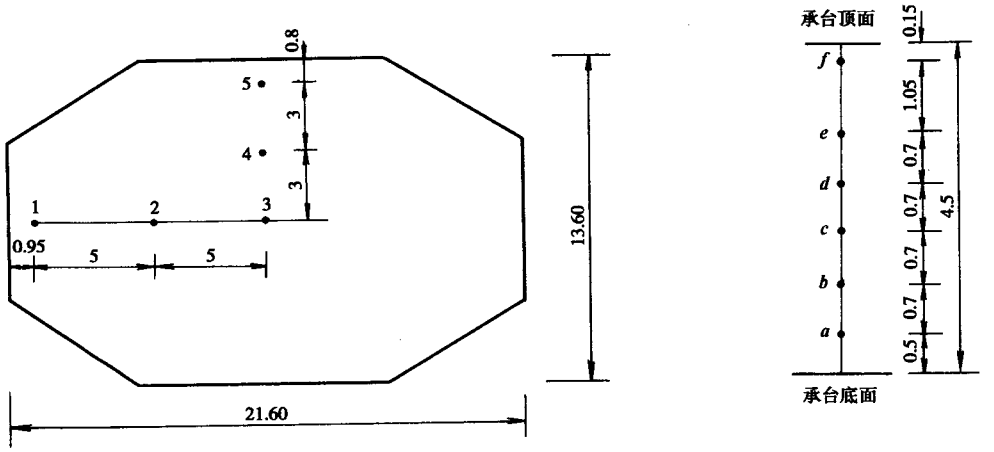


图 8-39　承台测温点布置(单位:m)

承台混凝土温度—时间曲线关系,通过整理如图 8-40 所示。

测温点共布置 5×6=30 个,以便掌握混凝土内部实际最高温度,进行适当调整。

测温采用建筑电子测温仪,它是由主机、测温探头和测线构成。先选好测线长度,预埋时用钢筋作支承物,先将测温线绑在钢筋上,测温线的温敏元件处于测点位置,并不得同钢筋直接接触,插头留在外面,对其进行必要的保护。

116 号墩承台混凝土实测温度如表 8-20 所示。

通过比较,计算温度比实测温度大,且混凝土表面温度计算偏低。分析原因主要是计算温度中未考虑承台混凝土的自然散热,致使计算温度偏高,混凝土表面温度计算时经验数据取值偏低。

采用冷却水管对大体积混凝土进行散热降温,防止温度裂缝是一项很有效的施工方法。经过通水可降低混凝土内部温度 26℃,经计算混凝土内温度最高控制在 28℃,实际情况混凝土内外温差控制在 23℃(离混凝土顶面 0.15m 的温度假定为混凝土表面温度)。

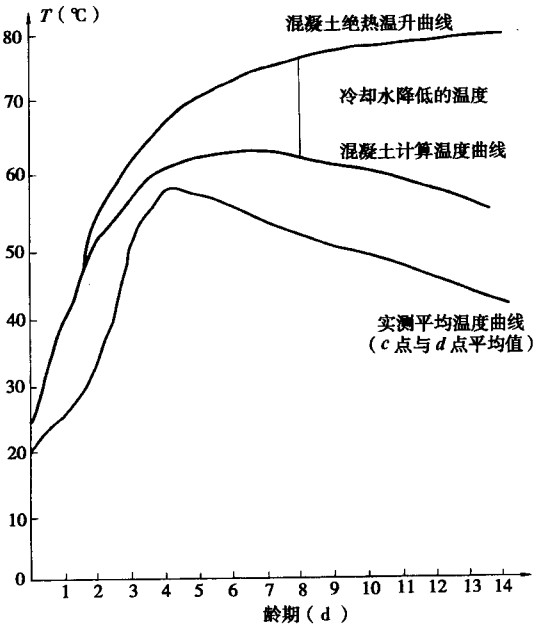


图 8-40　承台混凝土温度—时间曲线

116 号墩承台混凝土实测温度　　表 8-20

测温时间	平均气温(℃)	测温点平均温度(℃)						冷却管进出口水温(℃)	
		a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	进口	出口
1997.5.19	21.0	28.40	25.3	25.7	25.7	25.7	25.0	17	28
5.20	25.3	47.42	50.86	40.58	26.64	28.16	29.42	17	32

续上表

测温时间	平均气温	测温点平均温度(℃)						冷却管进出口水温(℃)	
	(℃)	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	进口	出口
5.21	25.7	50.96	58.14	55.84	49.44	38.44	22.65	19.2	35.5
5.22	25.2	52.52	58.6	60.2	58.64	59.1	51.36	15	35.67
5.23	22.3	51.66	51.6	58.32	58.2	58.3	44.5	18	35.67
5.24	22.0	48.76	55.26	55.38	59.0	55.66	40.84	19	38.5
5.25	24.0	49.66	52.66	55.60	53.94	51.78	44.06	17.92	35.74
5.26	20.4	47.43	48.5	53.84	52.60	46.93	30.78	17.17	39.43
5.27	16.3	42.55	46.33	52.80	48.30	46.28	30.60	14.5	38.9
5.28	17.2	43.65	44.87	48.87	50.10	44.25	33.12	14	33.71
5.29	18.3	44.75	43.67	48.28	48.85	42.88	30.37	14.2	34.56
5.30	2.5	44.25	42.77	46.65	49.05	41.70	30.83	15.7	34.80
5.31	22.4	40.95	39.87	44.9	43.75	38.55	27.83	16.3	35.1
6.1	24.5	45.1	40.5	37.37	42.7	33.9	28.9	17.8	35.3

根据有关资料,大体积混凝土内外温差一般控制在25℃以内,认为是可靠的。(大体积混凝土时,$H=0.2\sim0.4L$;H为离基础面高度,L为浇筑块长边。)

116号墩承台混凝土浇筑完成后,说明此法是比较成功的。

用冷却水管法降低混凝土水化热施工大体积混凝土比较简单,安装速度较快,与施工干扰不大,增加费用不多,并可以缩短工期。另外有利于提高结构的整体性,减少施工工序间隔,取消施工缝处理,加快施工进度。

6)施工注意事项

(1)在混凝土开始浇筑前就通水,若混凝土温升达到最高值再进行冷却,就只能加速散热降温效果,不能减小内外最大温差,对降低温度应力的作用就会减小。

(2)保持水箱与冷却水管的畅通,不能让一些污物阻寒冷却管,以防止冷却水不能在混凝土内部循环。

(3)要派专人养生,上水。本桥养生方法是在承台顶覆盖土工布,并在上面用循环温水进行蓄水养生。

(4)若进行测温工作,埋设的原件应保护好,以防坡坏,数据丢失。

(5)混凝土配合比进行优化,尽可能减少水泥用量,用低水化热水泥,掺用外加剂等。以上措施对水泥水化热温度有降低作用,最高温度出现的时间也会推迟。

第六节　锁口钢管桩围堰施工

一、龙溪河大桥2号墩围堰施工

(一)工程概况

1)龙溪河大桥是长寿—涪陵高速公路上的一座特大桥,该桥分左右两幅,横跨龙溪河,全长725m,主桥组成为140m+240m+140m的连续刚构,引桥为4×40m预应力简支T梁,两座7.5号浆砌重力式U型桥台。位于水中的两个主墩基础分别由24根ϕ2.2m桩基及2 300m^{3}的混凝土承台组成;43m高的墩身,为双肋柔性薄壁墩;0号块件高13.5m,29对悬浇块;引桥为明挖扩大基础,ϕ1.6m圆柱墩柱,交界墩为ϕ2.8m圆柱墩身;合同总造价8 500万元。根据业主要求,本桥从

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

跨中一分为二，长寿岸指令分包给渝通公司，涪陵岸由公路一局完成。

2)2 号墩地质情况介绍

龙溪河是我国最先开发的内陆河，沿河道共有大小五级发电站。本桥的上游是狮子滩电站，下游是下洞电站。本河段设计常水位 216.5m，2 号墩区域水深 3～7m，河床有 2m 厚的淤泥覆盖层，下卧为裂缝发育的泥岩及片块石堆积层，河床倾斜，近岸的基岩标高 212.90m，远岸的基岩标高 206.0m，承台设计底标高 212.165m(最初承台底标高 205.165m)，即承台施工需要开挖基岩。

(二)围堰方案选择

1.锁口钢管桩围堰思路的产生

围绕 2 号墩基础施工，先后曾考虑过多种围堰方案。

1)常规的无底双壁钢套箱围堰，因不具备大型水上起重设备，而无法实施。

2)有底钢套箱围堰，因承台埋置在基岩中，不具备施工条件。

3)支架面板围堰，拼装烦琐，下沉困难，且接头漏水不易处理。

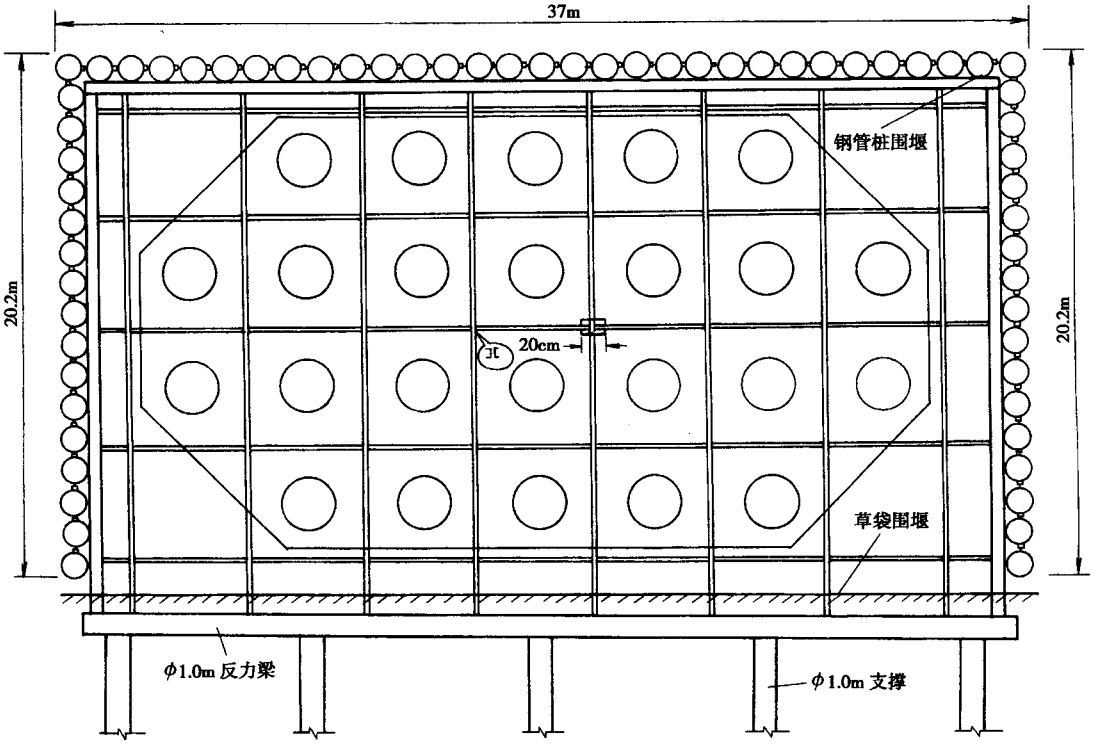
4)筑岛、沉井因河床倾斜坡度较大，土方用量惊人。

5)钢板桩围堰内支撑多且易漏水。

在对以上种种方案不断否定的基础上，受钢板桩围堰的启发，最后确立了锁口钢管桩围堰施工的思路。即在承台四周，按设计要求将能互相连成整体的钢管桩一根根提吊就位，并通过机械助沉至设计位置，然后清淤、封底并支设内支撑，从而使钢管桩、封底混凝土及支撑组成一个具有相当刚度及强大承压能力且密不透水的敞口箱体，将外界水源切断，实现干施工承台的目的。

2.2 号墩围堰的基本构成(如图 8-41)

1)根据 2 号墩实际情况，围堰形式采用三面钢管，一面草袋。因草袋无法承担顺桥向支杆



a)

图 8-41

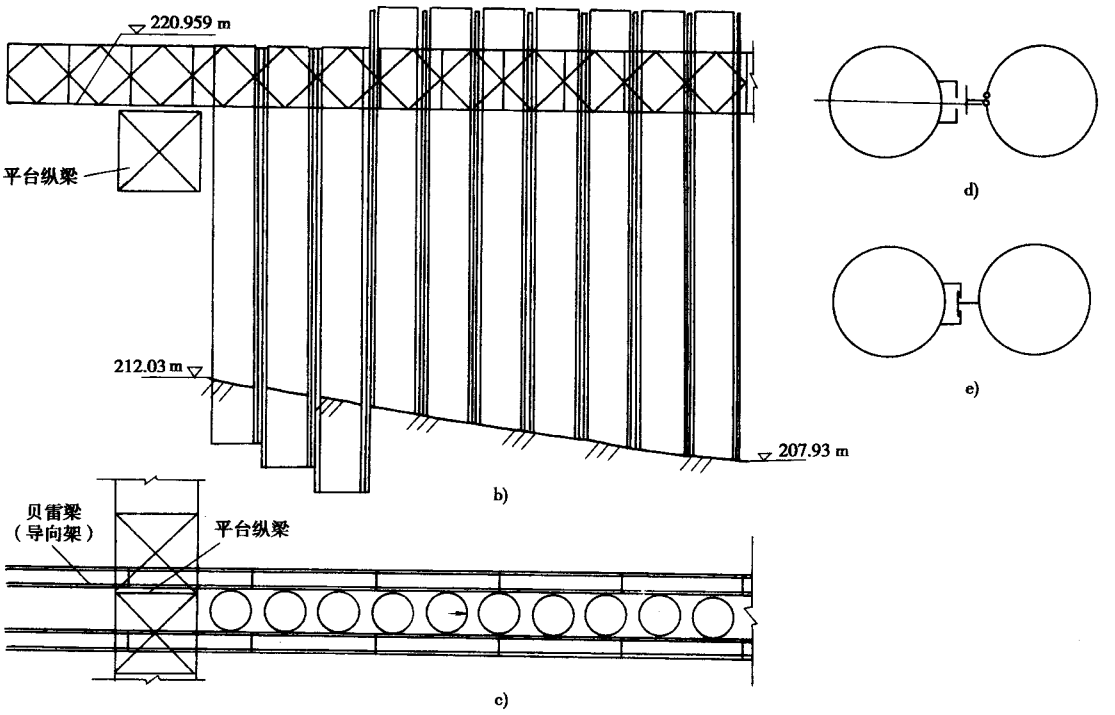


图 8-41　龙溪河大桥 2 号墩围堰施工方案图

a)围堰布置平面图;b)ϕ100cm 钢管桩围堰安装示意图(立面);c)围堰钢管桩就位的平面图;d)钢管桩顶口加工详图;e)就位后锁口详图

注:主材用量包括:

①ϕ1.0m 钢管桩

上游:$L=(221-209.33+2.5)\times16=226.7$m;下游:$L=(221-210.63+2.5)\times16=205.9$m;河内:$L=(221-206)\times32=480$m;合计:$L=912.6$m;$G=912.6\times0.246=224.5$t。总价值:$224.5\times4\,000=89.8$ 万,现有 450m,尚需追加投资:45.5 万元。

②钢板

$\delta=1.0$cm 钢板$(0.6+0.26)\times(912.6-64\times2.5)\times0.01\times7.85+8.8=59.6$t;$\delta=2.0$cm 钢板 $0.86\times64\times2.5\times0.02\times7.85=21.6$t。钢板 $\delta=1.0$cm 及 $\delta=2.0$cm 总质量:81.2t。价值:$81.2\times3\,600=292$ 万元。

以上总计投资:约 $89.8+29.2=119$ 万元。

传递的压力,故依山体,设一道支撑横梁。

2)本围堰的设计水位标高为 218.5m,设计常水位 216.5m,洪水位 221.0m。

(三)钢管桩围堰的必要设计

1.钢管桩连接形式的确定

1)思路形成。钢管桩围堰的思路能否成为现实,至关重要的一点莫过于选择一种合理的连接形式,将钢管桩连成整体。所谓"合理"是指连接形式必须满足如下要求。

(1)连接灵活性:可以用于各种形式的围堰拼装。

(2)加工的简便性:适应工地特殊环境。

(3)操作的方便性:不受深水和淤泥等的限制。

(4)足够的刚度:满足机械助沉的刚度和强度。

(5)连接的密封性:这是围堰止水的关键环节。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

研究以上几点要求，特别是不受深水和淤泥限制，这的确不是普通栓接和焊接等能满足的。经过再三研究，决定采用钢板桩“锁口”的连接形式。（不过尚需说明，在此不是机械照搬钢板桩的“锁口”）。由于钢板桩的锁口的封密性是通过提高机加工精度和限制阴阳头缝隙来实现的，而该思路不是靠进一步提高机加工精密度减少接缝缝隙，相反是加大锁口的有效空间，通过在锁口空间填充止水材料来达到目的。

2)锁口具体形式见图 8-42。

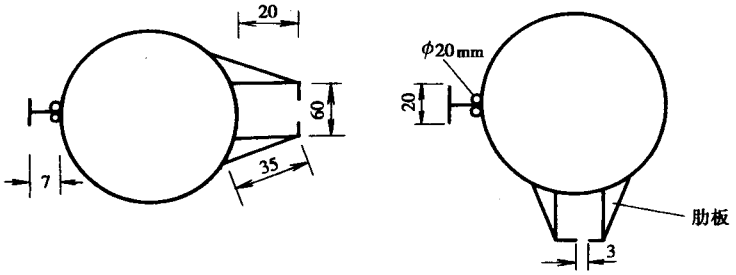


图 8-42　锁口形式图(单位：cm)

在钢管桩上分别焊制锁口阴头和阳头，阴头和阳头可以成 180°，也可以根据施工需要任意确定两者的角度。

为了适应机械助沉的需要，钢管桩的顶口加工专用桩帽、底口设置刃脚(用钢轨割制)。同时为了防止在切削下沉过程中弯折变形，下端 2m 锁口用 $\delta = 2cm$ 钢板加工，并将最下端加工成楔形，如图 8-43。

2.锁口止水材料的选择及试验

锁口内止水材料的好坏是钢管桩围堰设计成败的关键，锁口内止水方案的选择是围堰设计全过程思考的焦点。

1)思路形成

最初考虑用黄泥塞填，但因黄泥易被水冲刷而流失。继而考虑用袋装黄泥防止流水冲刷，并在黄泥上包一层塑料薄膜防止水的渗透，此试验在岸上模拟效果较好，但实际操作并不理想。一是深水抛填位置不准，易形成空腔；二是由于浮力作用，在水中很难将泥捣实。最后考虑灌注水下浆体，为了防止浆体沿锁口缝隙外溢，在锁口内衬一个通长布袋，经过实地模拟该方案效果理想。止水示意图见图 8-44。

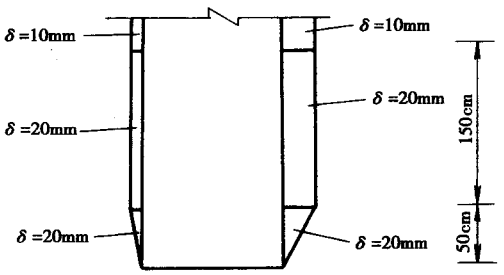


图 8-43　桩底楔形图

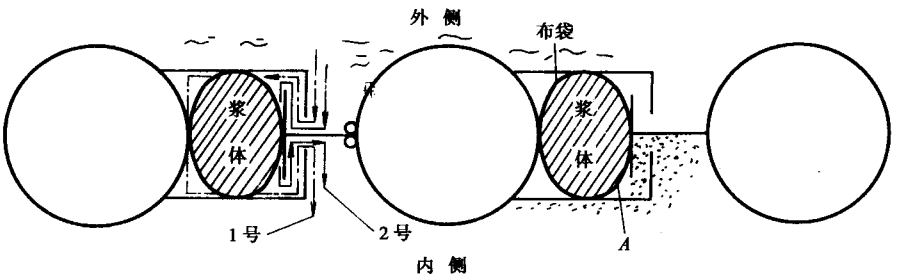


图 8-44　止水示意图

2)袋装浆体的止水原理

在封底时,必定有部分浆体进入 A 区,但因锁口灌浆在封底之后,可以肯定在 A 区存在空腔或缝隙。这样外界水系就可能绕过钢管桩底部进入 A 区。除非钢管桩潜入不透水层较深,水不会绕过钢管桩底部。否则,势必会从封底混凝土顶面向桩外溢出。如果先灌浆后封底,这种现象就会减少或消失。

通过观察浆体形成的截面,锁口的四个角未被浆体充实,但浆体和锁口四壁密帖。不难发现,板结的浆体有效地切断了外界水系进入围堰的 1 号、2 号路径。但 1 号、2 号路径是不是联系内外水系的全部路径呢?经分析显然不是,水尚可以透过钢管桩底部,沿 A 角进入围堰。这个通道,暂称作第三路径。第三路径漏水情况是否发生?在此先不作讨论。

3)浆体设计原则

(1)由于采用水下灌注的方法施工,故浆体必须具备良好的流动性。

(2)浆体能板结、密水。

(3)板结的浆体既有一定强度承担外部水压,但强度又不能过高,不能给以后的拆除带来困难。

本着上述原则,在试验室以黄泥、水泥、特细砂、水为原料作了大量试验。为了模拟实际情况,所有试验均让浆体在水中自然板结。在大量试验基础上,最后确定了如下浆体配比:

水泥:特细砂 = 1:6(60% 含泥量)。

此浆体 28d 抗压强度为 0.6 ~ 0.4MPa。

3.围堰内支撑设计

1)思路

由于施打了封底混凝土,围堰下端就靠混凝土支撑。上口在承台顶面以上 50cm 处设计井字支撑,为安装方便并满足受力需要在井字支撑的接点设立柱支撑,防止井字支撑上拱、下挠,立柱预锚在封底混凝土之中。

2)主要验算

(1)钢管桩抗弯验算。经验算:$\delta_{拉} = 33.6\text{MPa} \leqslant [\delta] = 140\text{MPa}$。

(2)井字支撑验算:分配梁 $\delta_{拉} = 120\text{MPa} < [\delta] = 140\text{MPa}$。

(3)反力梁抗弯验算:$\delta_{拉} = 117\text{MPa} < [\delta] = 140\text{MPa}$。

(4)钢管桩局部抗弯验算:由于篇幅受限在此从略。

本设计按 218.5m 水位标高控制,(设计常水位 216.5m,大坝标高 216.7m,洪水位221.0m。)本围堰不做防洪水设计。

4.封底混凝土设计

围堰封底拟用 C30 混凝土,其厚度根据以下三个原则确定:①在水压力下围堰不上浮;②在水压或承台一级混凝土作用下不与护筒发生粘结破坏;③在水压或承台一级混凝土作用下混凝土板不发生弯折破坏。经过对比计算可知,第③条是封底混凝土厚度的控制因素。根据混凝土板不发生破坏这一原则,确定各板块的具体厚度。通过验算,本围堰的板块厚度分别为 1.2m、1.5m、2.0m。

封底混凝土具体厚度分区见图 8-45。

(四)围堰施工细节及要点

1.钢管桩加工

1)变截面处内平搭接,保证安装方便。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)T型板及L型板与钢管桩连接必须满焊不漏水,为加强T板的刚度,须在T板两侧各加焊一根 ϕ20mm 圆钢。

3)锁口接长特别注意施工质量,绝对不能漏水。

4)转角处的阴头、阳头施焊角度必须正确。

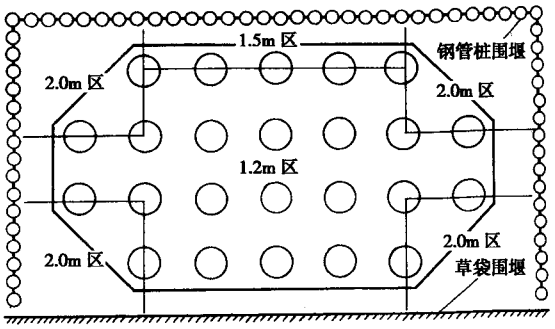


图 8-45 封底混凝土厚度分区

2.钢管桩安装

1)用安位架导向,避免钢管桩倾斜。

2)钢管桩安装从一头开始依次安装。

3)钢管桩施打要用桩帽,为保证施打过程中钢管桩不倾斜,可以分级多次施打就位。

4)钢管桩底标高用岩面标高控制,且进入封底混凝土不小于 70cm。

3.锁口灌浆

1)严格控制锁口内浆体的底标高,保证在封底混凝土内不小于 50cm。

2)严格控制浆体的施工质量,避免过稀导致收水严重和过稠导致灌注困难。

3)布袋安装时防止绞缠,布袋长度必须满足确保浆体一次灌注到位。

4)对个别收水严重,需要补灌者必须及时进行,防止口袋被浆体硬结,影响补灌质量。

5)布袋口径应略大于锁口的口径。

6)锁口灌浆应略提前于封底混凝土浇筑。

4.封底混凝土浇筑

1)由于围堰面积较大,为减小封底难度,提高混凝土质量,分四箱施封,每箱约 250m^3 混凝土。

2)抛片石挤淤固基,清淤,找平,铺 10cm 厚碎石层,防止混凝土冲击淤泥。

3)封底前派潜水员下水清理护筒及钢管桩上的淤泥。

4)严格按设计封底混凝土厚度控制标高。

5)采用"下栓塞法"实施水下混凝土浇筑,避免以往布管方法的弊病,提高混凝土施工质量。

(五)围堰封水效果评定及局部漏水处理

通过排水证实,锁口钢管桩的封水是成功的。本围堰的漏水情况主要反映在以下两方面。

1.草袋堰墙漏水

由于草袋的基础是裂隙相对发育的泥岩,而草袋的后面又是大量堆积的片、块石,当河水上涨(本河水位每天都有 1m 左右的起落),河水通过片石的缝隙,穿过草袋及草袋以下泥岩缝隙渗漏。

2.个别钢管桩的锁口漏水

1)比较明显的是在钢管桩接长的位置发生漏渗,此情况是由于漏焊所致,这种漏水一般很小。

2)由于布袋不够长或浆体收水较大,造成个别锁口出现二次补浆。如果第二次补浆的时间不及时,则会造成第一次浆体发生或多或少的板结,从而产生在接头处的浆体的不密实的现象。

3)由于钢管桩潜入河床土质和深度存在差异,而围堰锁口浆体的灌注又发生在封底混凝土浇筑后,故有个别锁口出现了沿第三条路径漏水的现象。

3.处理方案

1)对草袋堰墙漏水

选择河床水位最低时,集中下挖淤泥至基岩,支模浇宽 0.1 ~ 1.2m,高 2.8 ~ 3m 的混凝土墙体。该墙最大的作用是防止草袋堰因渗水冲刷而出现垮坍的现象,当然就封水而言也有一定效果。

2)锁口漏水情况的处理

(1)接头焊缝漏水一般不进行处理,漏水很少。

(2)对发生二次灌浆出现漏水的情况,选择最低水位时封堵,见图 8-46。先让潜水员在外侧临时封堵,然后在钢管桩的内侧如图示用钢板焊一箱体,且底板在空腔下 50cm,箱顶可以适当加高,然后用粘土掺水泥塞填其中,并捣实,可达到长期封水的目的。

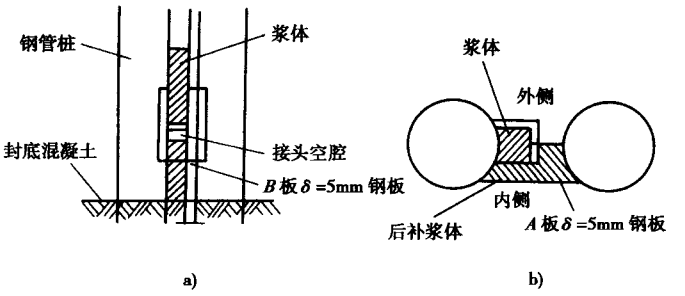


图 8-46 桩间封堵示意图

a)立面图;b)平面图

(3)对沿第三条路径漏水的地方处理,相对来讲比较繁琐。先强排水,对漏水处支设模板,然后在静水状态时采用水下浇筑的方法注入砂浆(不用混凝土,是由于砂浆更容易进入漏水死角)封死漏水路径。或强排水直接处理,见图 8-47。先用钢板盖住漏水处,并在钢板上留排水管,钢板与钢管桩点焊。然后用黄泥、棉絮堵塞缝隙,使水从管中排出,最后在黄泥及钢板外覆盖混凝土,待强度满足后封死水管,从而切断第三路径的漏水。

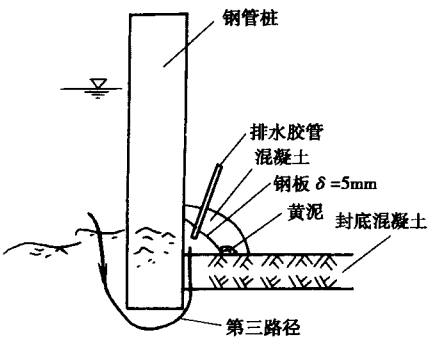


图 8-47 桩底止水示意图

从 2 号墩基础施工情况看,以上三种处理方法都很有效。余下的少量漏水,通过堰内排水系统,可轻松满足施工要求。

(六)锁口钢管桩围堰的优越性

锁口钢管桩围堰的方案是在否定多种思路的基础上,受分解双壁钢围堰及钢板桩围堰的启发而形成的。其优越性表现在以下几个方面。

1)单元体刚度大,承压能力好,大大简化内支撑。

2)单元体重量很轻,不受起重能力限制。

3)拼装灵活可以适应于不同结构形式的基础。

4)单元体截面小,刚度大,满足机械助沉,特别适应于复杂地质情况中的围堰安装。

5)拼装可以与桩基同步,大大缩短工期。

6)良好的回收性,导致可观的经济效益。

(七)锁口钢管桩围堰在 2 号墩具体应用中的得与失

1.该围堰的成功之处

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

无论锁口的结构形式,还是锁口封水方案的选择都比较成功。

2.不足之处

1)锁口接长工艺重视不足,出现个别焊缝漏水现象。

2)锁口灌浆方案落实的不是很好,主要表现在:①浆体拌制控制不均匀,个别收水过大,造成二次补浆,并且二次补浆的时间没有把握好,造成交界面漏水;②由于布袋长度不够,个别锁口采用两布袋搭接,致使交接面出现质量问题;③由于封底在锁口灌浆之前完成,加上个别钢管桩基础为片、块组成(透水性很好),从而出现第三条路径漏水。

(八)结语

龙溪河大桥2号墩地理环境的特殊性;为锁口钢管桩围堰的产生提供了可能。而2号墩承台的成功浇筑,一方面,以事实证明了钢管桩围堰的可行性;另一方面,也证明了钢管桩锁口的设计是钢管桩围堰设计的核心,而锁口封水方案及施工工艺是钢管桩围堰方案的关键。随着锁口封水方案的解决及锁口止水效果的不断改进、优化,锁口钢管桩围堰在深水基础施工中的应用将越来越普及。

二、龙溪河大桥基础平台钢管桩施工

龙溪河桥2号墩属于深水基础,水深10m,水下设计24根 ϕ2.2m 的群桩,采用冲击锤和循环钻机两种方式钻孔。这两种工艺均需要搭设水上平台,我们采用了打钢管桩作为施工平台的支架。根据工地现有的材料和设备,自行设计和拼装了一艘打桩船和一艘运桩船,经过实地试验,性能可以满足要求。

水中打桩主要有两个步骤,即打桩和运桩。

1.打桩

1)打桩船的设计

打桩船由船体、打桩架、起吊设备和振动锤组成。船体由 ϕ2.5m 的圆柱模板拼成,长8.0m。模板接缝用1.0cm的橡胶夹条封严,且在船体内各设一个 50m^3/h 水泵,以备船体漏水及时抽走。打桩架用万能杆件拼成高8.0m,净宽4.0m的门式支架,它将两个浮桶连成一个整体。起吊设备分两部分,一部分是在龙门支架横梁上设一个5t卷扬机,通过滑轮组起吊振动锤;另一部分是用一个3t卷杨机通过7个单门滑车起吊钢管桩,并把钢管桩垂直地送到振动锤接口处。打桩船示意如图8-48。

2)打桩船下水

打桩船自重40t,由于没有大型起重设备,打桩船的下水成了难题。此打桩船的最大倾翻角只有18°,又不能直接由岸上推下水。

根据龙溪河水位受下游发电厂的影响,每天起伏在1.0m左右,而打桩船下水后吃水深度为1.15m。因此,借助河水高潮,采用在距岸边2.0m处挖槽,深为1.2m,并设滑道且水平,于滑道上拼装打桩船,拼好后打通2.0m的隔水部分,待水位上涨后,将船拉出槽内。施工示意如图8-49。

3)打桩船在水中的行走和定位

打桩船在打桩前和打桩后都要在水中行走和移动,而打桩船的定位是否准确,将直接影响到打桩的质量。因此,打桩船的定位一定要准确,牢固,尽可能地在开动振动锤时不摆动。龙溪河中打桩船的行走定位,是靠设在岸上的两个桩锚,和抛在河中的一个锚,且三个锚互成120°。锚上的钢丝绳各与一个手拉葫芦连接,通过手扳葫芦的缩、放完成行走、定位。实践证

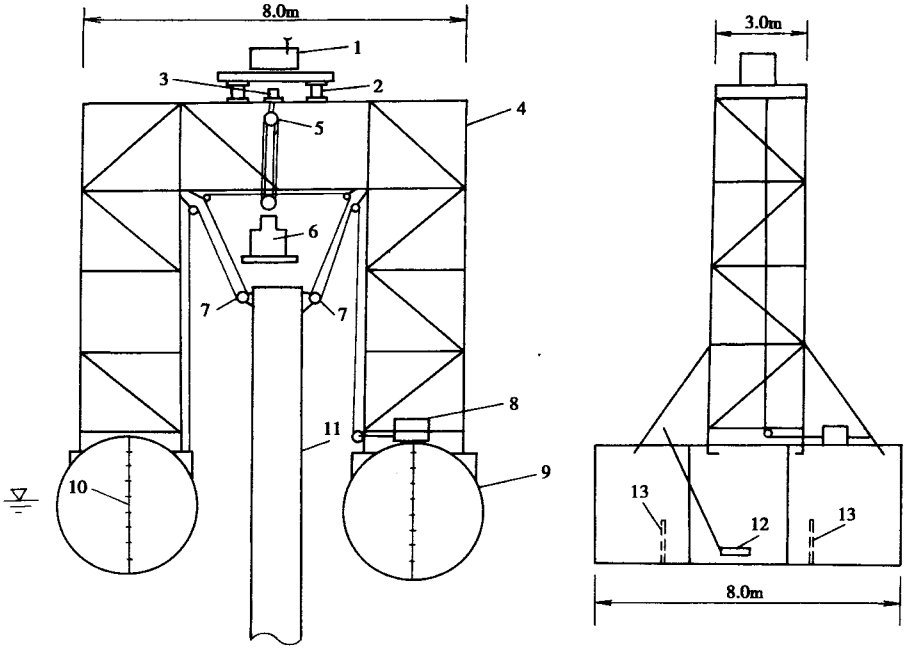


图 8-48　打桩船示意图

1-5t 卷扬机;2-卷扬机支架;3-吊振动锤横梁;4-万能杆件支架;5-3 门滑车;6-振动锤;7-单门滑车;8-3t 卷扬机;9-φ2.5m 模板;10-没水标尺;11-钢管桩;12-水泵;13-隔水板

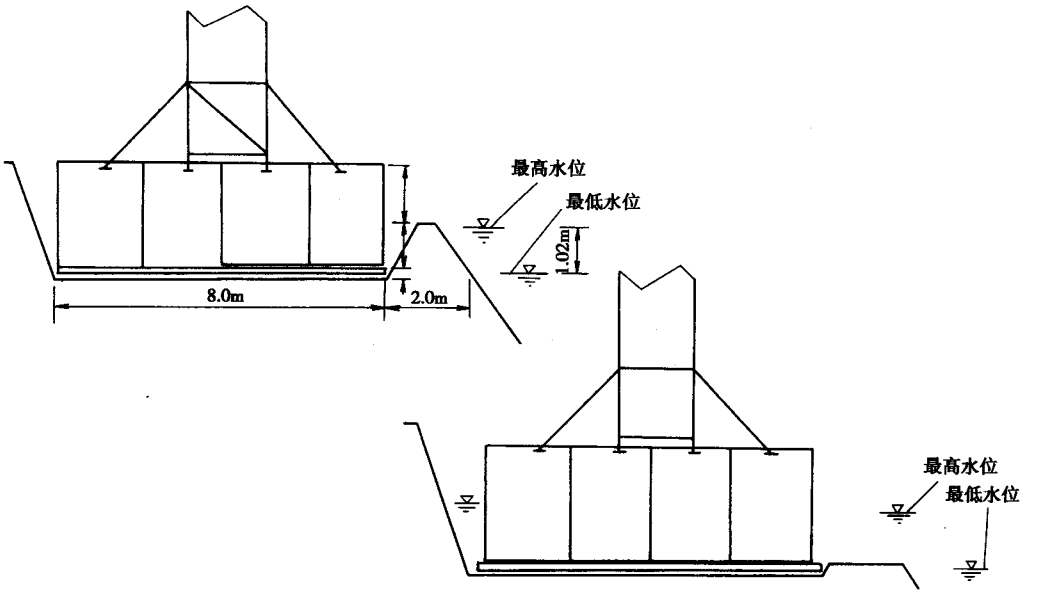


图 8-49　打桩船下水示意图

明,打桩船基本满足施工要求。

4)钢管桩的起吊

运桩船将钢管运到打桩船吊架内,利用打桩船上 3t 卷扬机将钢管桩吊起。由于 3t 卷扬机采用一根钢丝绳通过四个动滑轮起吊钢管桩两侧,钢管桩起吊后是竖直的,然后送到振动锤的接口内。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

5)振动锤与钢管的连接

通常振动锤的油压夹带与钢管必须夹紧,才能保证打桩时钢管竖直。而龙溪河桥施打的钢管直径为96cm,振动锤夹嘴宽1.2m,不能很好与钢管连接。利用现有材料,自制了一个夹嘴,与原来的夹嘴相比,既减小了高度与宽度,又满足了要求,如图8-50所示。

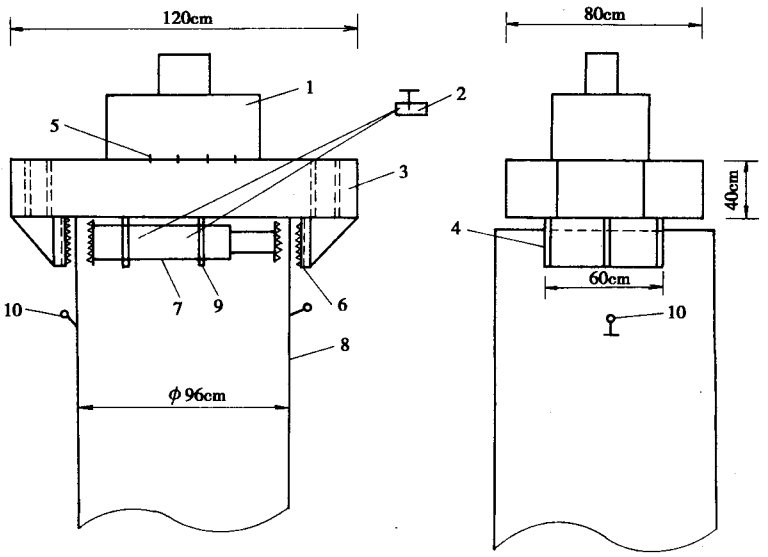


图8-50 自制振动锤与钢管桩连接器

1-锤体;2-油泵;3-ZH400型钢作连接嘴受力横梁;4-挤压嘴固定齿板;5-连接螺栓;6-齿板;7-60t穿心千斤顶;8-钢管桩;9-固定千斤顶箍;10-单门滑车

6)钢管桩施打

待振动锤与钢管桩连接好后,用测量仪器把钢管桩精确定位,开动振动锤,同时开动5t卷扬机将钢管桩打下。龙溪河大桥打桩的要求,每分钟钢管振动下沉不超过1cm即可。

2.运桩

1)运桩船的设计

运桩船设计总体思路,是轻便且具有承受钢管桩自重的浮力。运桩船由船体和吊装钢管装置两部分组成。船体主要作用是在水中提供浮力,用型钢做成外框,内装16个空油桶构成。用一个手拉葫芦通过船体中心的一个穿心孔吊装钢管,使钢管浮于水中。运桩船总质量为150kg。运桩船示意图见图8-51。

2)运桩施工

先将运桩船拉到岸上,将穿过中心孔的手拉葫芦钢丝绳与钢管桩连接,而后拉紧手拉葫芦,到运桩船底面与钢管接近。用8t吊车将运桩船与钢管一同吊到水中。用麻绳拖动运桩船,将其拖到打桩船内,用3t卷扬机吊起,松开手拉葫芦,一次运桩结束。

3)体会

龙溪河大桥水中打桩,基本上能满足施工要求,但也存一些不足之处。

(1)打桩船吊架高度小一些,造成在岸边水浅处不能垂直吊起钢管,影响了打桩的质量。

(2)打桩船船体稍短,造成打桩船在水中行走不稳,增加了一定的危险性。

在以后类似工程中,有待于改进和完善。

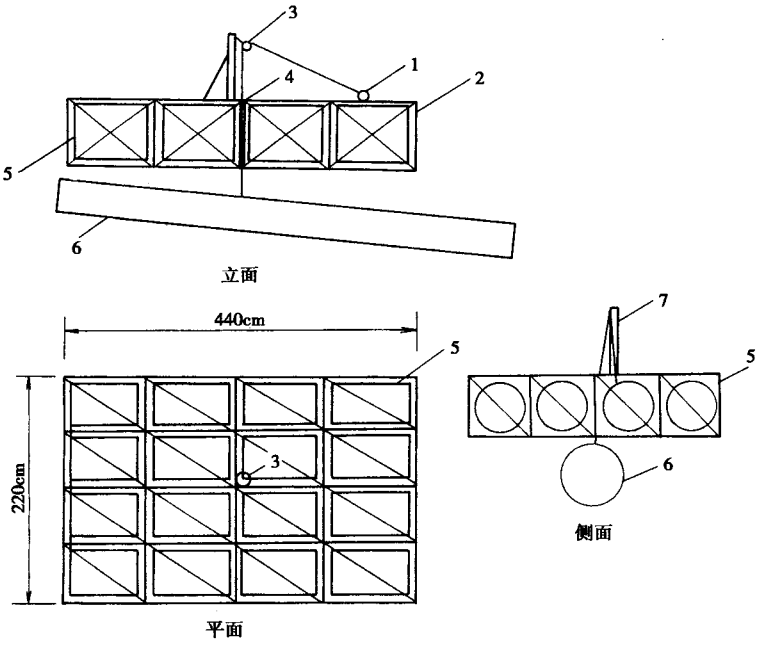


图 8-51　运桩船示意图

1-手拉葫芦;2-运桩船框架([10 焊接);3-单门滑车;4-穿心钢管;5-空油桶;6-钢管桩;7-三角架

第七节　基坑预应力锚索加固施工

厦门海沧大桥的东锚基坑位于牛头山前缘斜坡地带和东渡码头后缘平坦地带的交界处。基坑开挖深度从 +42.0m 到 -5.6m。由于基坑深达 47.6m,岩层为侏罗系上统南园组流纹质晶屑凝灰熔岩,岩层风化强烈,风化深度大,又很不均匀。在强风化带中,基本呈土状,并经常夹有全风化带及中风化带(碎块状)的交替层。岩质较软又较破碎,单轴极限抗压强度为 8 ~ 18.1MPa。

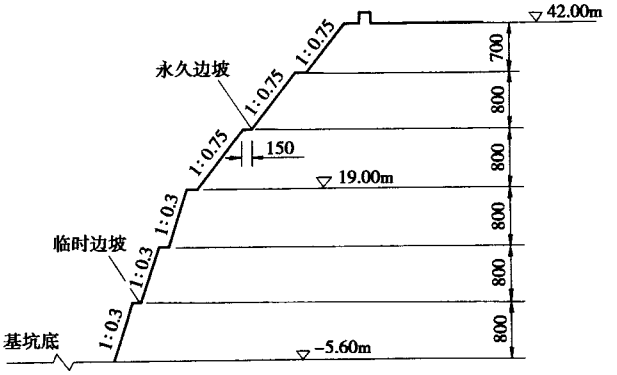


图 8-52　东锚坑基坑边坡示意(单位:cm)

在锚碇两侧主要发育有走向 N10° ~ 20°E、N50° ~ 85°E、N35° ~ 45°W 及 N60° ~ 75° W 的四组节理,倾角陡,以倾西为主;在锚区东、北两侧主要有走向 N20° ~ 50° E 和 N20° ~ 40°W 倾向 NE 和 SW 两组发育节理,裂隙发达,对土体及基坑边坡稳定不利。为保证东基坑的边坡稳定和引桥基础的安全,除了进行边坡喷射混凝土和钢筋锚杆加固外,还对东侧基坑边坡,进行了预应力锚索重点加固。

东锚基坑边坡最大坡度为 1:0.75,最小边坡为 1:0.3,如图 8-52 所示。

一、预应力锚索的设计方案

1.采用预应力锚索设计的原因

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

由于东锚基坑在第一个边坡高度 +35.00m处，设有一个 12.50m × 25.00m 的引桥桥墩施工平台，位于东侧边坡中线两侧，桩号 K6 + 178.16 ~ K6 + 190.66。在施工平台上要进行钻孔灌注桩、桥墩施工。为保证引桥钻孔灌注桩和桥墩的施工安全，以及桥梁修建以后外露边坡的稳定性，除进行 10cm 厚的喷射混凝土和普通钢筋锚杆防护外，还设计了预应力锚索对东坡和部分北坡重点加固，以防止东坡断裂带的滑塌。

2.预应力锚索的设计

东锚基坑共设计预应力锚索 52 套，其中分布在东坡 + 31.00m 处 18 套，+ 23.00m 处 14 套，+ 15.00m 处 12 套；具体布置见东锚基坑东坡预应力锚索位置图（图 8-53）；北坡 + 31.00m 处 4 套，+ 23.00m处 4 套。预应力锚索设计长为 30m，锚固长度设计暂定为 8m（见图 8-54），具体采用多长应根据试验最后确定。锚具设计荷载为 600kN，张拉力 720kN，标准钢绞线强度为 1 860MPa。

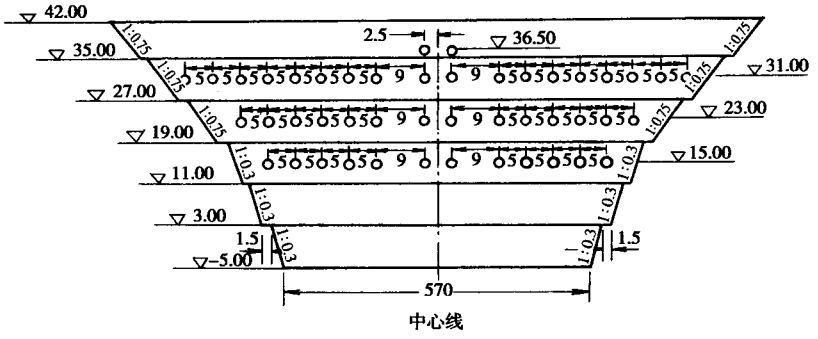


图 8-53　东坡预应力锚索位置图（单位：m）

注：圆圈表示锚索设计位置。

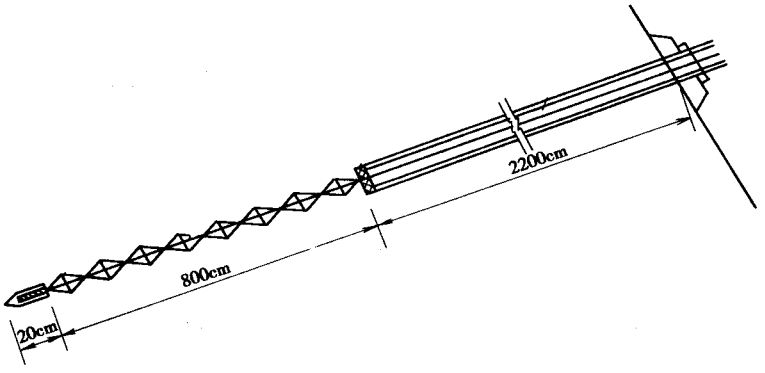


图 8-54　预应力锚索设计示意图

预应力锚索由 4 根钢绞线组成，共设两根压浆管。中间一根是第一次压浆管，用于锚固端压浆；边上一根用于二次压浆，是自由端在张拉以后压浆使用，以形成预应力锚索的保护层。水泥浆设计标号为 30MPa，水泥浆压力为 0.8MPa，每孔的实际压浆量是计算压浆量的 120% ~ 130%（其中有部分水泥浆压入岩缝）。30MPa 水泥浆用强度等级为 52.5 的水泥配制，水灰比为 0.45 ~ 0.50。

二、试验锚索的施工

依据设计要求，东锚基坑预应力锚索应在设计位置以外做两根试验锚索，以验证设计数据

是否符合实际情况。

1.锚索张拉过程中受力情况分析

1)锚索锚固端的水泥浆对于锚索的握裹力,需能承受极限拉力。在岩层中,锚索的抗拔力和最小锚固长度,一般取决于水泥浆的握裹力。

$$T_u \leqslant \pi d L_e U \tag{8-25}$$

式中:T_u——锚索的极限抗拔力,kN;

d——锚索的直径,m;

L_e——锚索的有效锚固长度,m;

U——水泥浆对于锚索的平均握裹力,kN/m^2。

2)锚固端地层对于水泥浆的摩擦力需能承受极限拉力。在风化岩层和土层中,锚索的极限抗拔力取决于锚固端地层对于锚固端水泥浆所产生的最大摩阻力。

$$T_u = \pi D L_e \tau \tag{8-26}$$

式中:T_u——锚索的极限抗拔力,kN;

D——锚索的钻孔直径,m;

L_e——锚索的有效锚固长度,m;

τ——锚固端周边的抗剪强度,MPa;该值除取决于地层特性外,还与施工方法、灌浆质量有关,由试验确定。

3)锚固的土体在最不利的条件下仍能保持整体稳定性,主要指锚索加固范围内的坡面能保证整体稳定,否则预应力锚索将不起作用。

2. 试验锚索的施工情况

两根试验锚索按设计要求在52套受力锚索以外选择试验场地,经与设计、监理、业主共同研究决定在东坡第一个坡面标高+36.50m,桥轴线两侧2.50m处做试验锚索,采用XY—1B地质钻机进行湿钻孔,钻完孔以后进行冲洗,安放锚索,第一次对锚固端进行压浆,浇筑混凝土垫墩,安装锚具。

3. 锚索进行张拉试验

待水泥浆和混凝土垫墩达到设计强度后进张拉,张拉按设计要求进行。当张拉力达到426kN时,锚固端地层由于水泥浆的摩阻力而遭到破坏,仅达到设计张拉力720kN的59%;第二套锚索按同样的方法进行张拉试验,在张拉力达到384kN时,仅为设计张拉力720kN的53%,试验锚索因地质情况与设计不符,宣告失败。

4.采取改进措施

试验锚索失败后,经业主、设计、监理和施工单位共同研究分析,认为岩层已经全风化和强风化,钻孔后孔壁摩阻力减小,故试验锚索张拉力达不到设计要求,决定采取以下办法来增加水泥浆与孔壁的摩擦力。

1)锚固端第一次压浆强度达到5MPa时,采用高压劈裂注浆法,即以20MPa以上的高压进行二次压浆,使水泥浆进入岩层,增加孔壁摩阻力。

2)变湿钻孔为干钻孔。用QZ—100K潜孔钻机风动钻孔,空压机压缩空气清孔,以防止孔壁被泡软。

通过采取以上措施,在以后的预应力锚索施工中均能达到720kN的张拉力要求。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

三、预应力锚索的施工

预应力锚索钻孔采用潜孔钻机或地质钻机成孔，用空压机清孔并风干。锚索在加工场地集中制作，再由人工运到现场进行穿索。注浆机第一次注浆锚固端并做张拉混凝土垫墩，待水泥浆及垫墩混凝土强度达到设计强度的80%时，进行预应力锚索的张拉锚固，然后进行第二次压浆（自由段保护层注浆）并浇筑封锚混凝土。

1.主要施工机械

有QZ—100K潜孔钻机、XY—1B地质钻机、空压机、水泥浆搅拌机、高压注浆机、砂轮切断机、混凝土拌和机、钢筋切断机等。

1）QZ—100K潜孔钻机主要用于坚硬岩层的锚索施工。中风化岩层的使用效果最好。此机械构造简单、轻便，可以自动进退，使用方便，需配6～9m^3/min空压机风动清孔。

2）XY—1B地质钻机主要用于较软岩层锚索施工，破碎岩层可以使用。此机械构造也很简单、轻便，但采用电动湿钻成孔，对孔壁易泡软，影响水泥浆与孔壁的摩阻力。

3）高压注浆机的注浆压力要达到20MPa以上，能够用于锚固端的二次劈裂注浆，增加水泥浆与孔壁的锚固力。在水泥浆与地层孔壁的摩阻力满足不了张拉力需要时，才采用高压劈裂注浆法施工。

4）空压机主要用于QZ—100K潜孔钻机的钻孔以及成孔后的清孔，所使用的设备是柳州生产的9m^3/min的空压机。

5）采用后张法预应力桥梁锚索压浆所用的水泥浆搅拌机，并配有盛水泥浆的储浆箱，水泥浆必须通过滤网过滤。

6）砂轮切断机是切断预应力锚索钢绞线的设备。

7）钢筋切断机和混凝土拌和机是一般施工设备，由于工程数量不大，各有一台简单设备就能满足施工需要。

2.预应力锚索的施工方法

1）首先在喷射混凝土完成的坡面上按设计图纸经测量后确定预应力锚索的位置，然后进行施工场地整理，搭设预应力锚索施工平台。

2）对准锚索设计位置安装地质钻机，并按设计要求调正钻机钻孔的角度，以确保成孔方向的准确性。

3）钻孔有干湿两种成孔方法，根据不同的地质情况采用不同的钻孔方法。

（1）在较完整的中风化岩层中，采用QZ—100K潜孔钻机，并配以9m^3/min的空气压缩机。钻机安装在可移动的框架上以固定钻进方向。这种钻机在完整的岩层中进度很快，钻出的孔是干的。

（2）在强风化岩层中，采用XY—1B地质钻机钻孔，边钻进边冲水，这种钻孔方法费用较低，但孔壁岩层易被泡软，影响水泥浆与孔壁的摩阻力，而对有裂缝的岩层，形成渗水作用，造成边坡严重失稳或滑塌。

4）清孔。钻完孔后，应用清水在钻孔内进行充分的清洗，以便将岩粉清出孔外，再用压缩空气将孔内积水吹干。

5）在场外将预应力锚索按设计图纸加工制作成型。预应力锚索所用各种原材料必须有出厂合格证，并经试验合格报监理工程师签认后方可使用。

6）预应力锚索用人工运至现场并穿锚索，要求锚索穿到设计深度，穿索前应除锈并经监理

检查合格。

7)灌浆。

(1)水泥浆的配制。为便于压浆,施工采用纯水泥浆,设计强度应达到30MPa。水泥采用海螺牌强度等级为52.5的普通硅酸盐水泥,水灰比为0.40~0.45。为提高早期强度,需掺加高效早强减水剂,以便预应力锚索提前张拉。水泥浆应在搅拌机中搅拌均匀,为避免大块材料堵塞压浆泵,水泥浆需经滤网过滤后再倒入压浆泵。

(2)灌浆。预应力锚索穿索完成后,用预先安装在锚索中心的ϕ17mm的塑料管灌注锚固端水泥浆,注浆数量通过计算和观察水泥浆流出的情况确定是否满足设计要求。当锚固端注浆强度达到5MPa后,采用20MPa的高压劈裂注浆,以增加水泥浆与孔壁的锚固力。最后在张拉完成以后注自由端的水泥浆。所有注浆都必须制作水泥浆试件,以便确定注浆强度是否合格。

(3)灌浆完成后,将灌浆管、压浆管、搅拌机等设备用清水冲洗干净。

8)浇筑混凝土垫墩,安装锚具。待锚固端水泥浆和混凝土垫墩的强度达到设计强度的80%时,进行预应力锚索的张拉。

(1)锚索张拉前,应对张拉设备进行校正和监理签认,设备合格后方能开始张拉。

(2)锚索张拉应按规定的程序进行,在编排张拉程序时应考虑邻近锚索张拉时的相互影响。

(3)锚索正式张拉前应进行20%设计张拉荷载的张拉,使其各部分接触紧密,钢绞线完全平直。

(4)锚索正式张拉时,应达到设计张拉荷载720kN,待锚索预应力没有明显衰减时,再进行锚固。锚固后48h内若发现有明显应力松弛时要进行补偿张拉。

(5)当自由端的水泥浆达到设计强度时,可切除外露的钢绞线,切的位置至外锚具距离不应小于100mm,并浇筑封锚混凝土。

3.预应力锚索的施工程序

场地整理、搭设工作平台→测量定位→安装地质钻机→成孔→清孔并风干钻孔→穿锚索→锚固端压浆→高压劈裂压浆→浇筑混凝土垫墩、安装锚具→锚索张拉→检验→自由端封孔压浆→封锚→拆除施工平台。

4.预应力锚索施工注意的问题

1)锚索体钢绞线表面应没有损伤、没有锈蚀,并严格按设计尺寸下料。编排钢绞线时,应安好压浆管,锚固端沿锚索体轴线方向每隔1.0~1.5m应设置隔离定位架,锚索体应捆扎牢固,锚索体与内锚头及锚索体与外锚的联结必须牢固,其强度应大于锚索的张拉力。

2)孔口支承墩尺寸和强度应满足张拉要求,支承墩的承力面应平整,并与锚索的受力方向垂直。

3)锚索张拉前应对张拉设备进行鉴定,张拉过程中应仔细观察锚索应力的变化,如发现明显松弛,应分析原因并采取措施。

4)压浆过程中应详细记录水泥浆用量,一般实际用浆量应高于计算用浆量的20%,孔口应流出灰浆。如用浆量太大,应作好记录,请监理签认,作为增加单价的依据,这种情况主要是由于岩层裂隙和空洞造成的。

5.施工体会

1)预应力锚索在设计时应对锚固岩体的地质情况作充分研究分析,确定合理的孔壁摩阻力,以便选择适当的锚索设计参数。

2)在风化严重、裂缝发达的边坡上进行预应力锚索施工时,应避免湿钻孔,防止施工用水

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

渗透到岩层中而造成边坡塌方。东锚基坑东坡锚杆和锚索的湿钻孔，可能是造成部分边坡塌方的原因之一。

3)在风化严重的岩层上，混凝土锚固墩应增加其底面积，最好采用锚固梁的设计方案，否则会造成锚固墩起不到锚固整个岩体的作用。

4)在裂隙发达的岩层中进行预应力锚索施工时，如果水泥浆对岩层孔壁的摩阻力满足不了极限拉力时，采用 20MPa 以上的二次高压劈裂注浆，能成倍提高孔壁的摩阻力，使其达到设计张拉力的要求。

第九章　墩身、盖梁施工

第一节　墩身施工

一、圆柱墩施工实例

1.工程概况

摩苏尔五桥及引道工程，横跨在伊拉克著名的两河之一底格里斯河上，位于摩苏尔市的一号桥和三号桥之间。东与森林区通往三、四号桥的连接路相接，西和旧城区的巴勃辛加交叉口相通，是一个大型城市交通综合性项目。

跨越底格里斯河的主桥，总长 772.6m，宽 32m，建筑面积 24 659.2m^2，跨径组合为 43.4m + 13 × 52m + 43.4m；基础为 191 根 ϕ1.5m 的钻孔灌注桩，平均桩长 20.4m；桩顶设承台，承台以上为钢筋混凝土菱形截面桥墩，最大高度 17.6m；上部构造为两组单箱预应力钢箱混凝土连续梁，每根箱梁上顶宽15.2m，下底宽 4.84m，高 3m，采用整孔钢梁模架逐跨施工。

主桥东岸有 4 个匝道桥和连接路，构成三层立体交叉。匝道桥共 72 跨，跨径 20 ~ 27m，总桥长 1 894.4m，桥面宽为 10.5m 和 12.5m 两种，建筑面积25 390m^2；基础为 ϕ1.8m 或 ϕ1.5m 的钻孔灌注桩，平均桩长 24.6m；下部构造为 ϕ1.5m 或 ϕ1.2m 的圆形墩柱，最大高度 17m；上部构造采用预应力简支 T 梁，与桥面板迭合作用，每 3 ~ 5 跨内桥面板构造连续。

2.墩身施工

1)施工方法

匝道桥接柱共 191 根，有 ϕ1.2m 和ϕ1.5m两种类型(ϕ1.2m60 根，ϕ1.5m131 根)。接柱最高的高度为 15.86m(ϕ 1.5m)，其混凝土浇筑数量为 28m^3。

施工方法是：钢筋笼分段预制成型，现场吊装组拼；钢模板分段组拼，立模一次完成；泵车灌注混凝土一次到顶。

以最高的接柱(H = 15.86m)为例，施工程序如图 9-1 所示。

2)需要注意的问题

(1)模板基础平台，必须力求水平，便于使用千斤顶、缆风绳、花兰螺栓、预拉葫芦调整模板垂直度。模板拼到 8m 高度时，就应调整平面位置和垂直度。待全部完成后，再进行检查校正。

(2)混凝土是否一次浇筑到顶，应考虑到模板的强度和刚度的大小。由于采用的现成的钢模板，面板壁厚 10mm，法兰盘厚度和两半拼接的纵向连接板厚度 20mm，加强肋板间距 50mm × 30mm，连接螺栓 M22，竖向接缝螺孔间距 50mm，水平接缝螺孔间距 30mm；加工精度高(采用机加工)，直径偏差 ± 1.5mm，长度偏差 ± 1mm/1m；因此适合采用高墩模板分段组拼，混凝土一次浇筑的方法。

混凝土浇筑速度为 18m^3/h，钢模板每延米质量约为 800kg。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(3)混凝土配合比强度为 33MPa，坍落度 8～14cm，粗骨料最大粒径 20mm，和易性良好，为适合泵车使用的泵送混凝土。

配合比采用 1∶1.607∶2.793(水泥∶砂∶碎石)；每立方米水泥用量为 420kg(强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥)；水灰比为 0.38。

(4)要有可靠的安全设施，包括带护栏的作业平台，带保护圈的竖梯(安装在支好的模板上)，悬挂在模板周围的安全网。

(5)重视养生。国外对混凝土的养生十分重视，尤其是干热地区。从浇筑后 2～3h 一直要养护 7d，始终让混凝土表面呈湿润状态。该桥采取的措施是柱顶放置储水桶，柱身罩布罩，由水桶向下渗水。专门配备水车一台，给匝道桥接柱养生供水。尽管如此，也时常有养护供水不及时的现象，所以，宜采用柱身喷涂养护剂的办法养生。

3)施工组织、主要机具设备及进度

接柱施工中，混凝土的拌和、运输、泵送由五桥统一的机运队承担，钢筋笼由匝道桥下部构造钢筋班制作和现场绑扎。混凝土浇筑由桥下部构造混凝土班担任，接柱浇筑由 6～8 人完成。

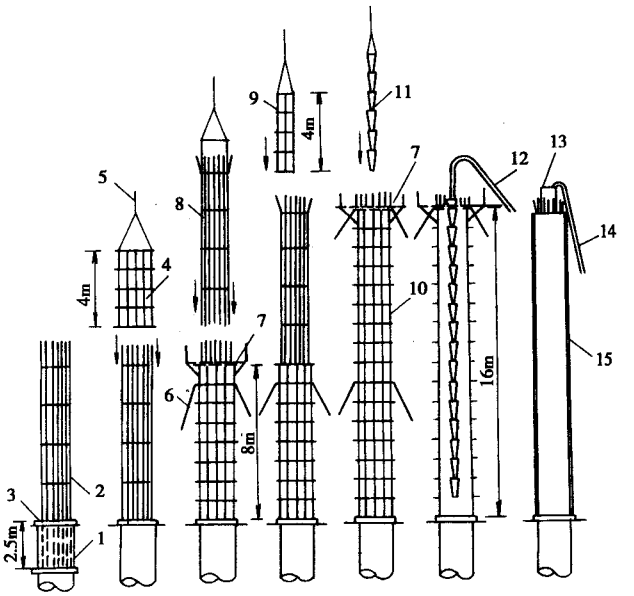


图 9-1　圆柱墩施工程序图

1-桩基与接柱钢筋搭接段(待凿完桩头后立 ϕ1.8m 模板高 2.5m，并吊立第一段接柱钢筋，下端入模，并灌注混凝土，模板拆除后，回填基坑)；2-接柱第一节钢筋笼；3-接柱模板混凝土基础平台(顶面与接柱底面高程一致，尺寸：2m×2m×0.25m)；4-ϕ1.5m 接柱模板(由 8 块高为 1m 的半圆模板组成)；5-吊绳；6-可调节的缆风绳(下端固定在 3t 的混凝土活动锚碇上)；7-作业平台；8-接柱第二节钢筋笼；9-高 4m 的半圆接柱模板(由 8 块高为 1m 的半圆模板组成)；10-已经支好了的 16m 高的接柱模板；11-串筒；12-混凝土泵车布料管；13-底部装有漏管的储水桶；14-上水胶管；15-布罩

为了加快模板周转，减少班组的穿插交接，所有接柱的模板作业，钢筋笼的运输和吊装，盖梁模板使用的剪力销预埋件，接柱与桩钢筋搭接段的模板，基坑清理、排水，拆模后养护设施的准备等工作均由一个专门的“接柱小组”来完成。其组成是：工长 1 名，木工 7 人，起重工 4 人，普工 2 人；配备一台 30t 吊车。装载运输机械由工程队统一安排使用。接柱的模板总工程量为 8050m^2。接柱模板的数量为：ϕ1.5m 接柱钢模板，长 30m(面积 141m^2)；ϕ1.2m 接柱钢模板，长 24m(面积 91m^2)。接柱与桩基搭接钢筋段接桩钢模板：ϕ1.5m 的长 7.5m(面积 35m^2)；ϕ1.8m的长 5m(面积 28m^2)。各种类型模板的平均周转次数为 27 次，其中 ϕ1.5m 接柱钢模板周转次数为 40 次。

接柱施工的平均进度为每月完成 24 根(每根接柱的平均高度为 9.3m，包括了地下桩基与接柱钢筋搭接段)。

在正常的情况下，15m 高的 ϕ1.5m 接柱，3.5d 完成两根，平均 2d 一根；8～10m 高的 3d 完成一组 3 根，平均每天 1 根。

二、高墩翻模施工实例

(一)嘉陵江大桥高墩施工

1.工程概况及施工方法的确定

该桥是渝(重庆)长(长寿县)高速公路上的特大桥,桥址位于重庆高家花园,距石门大桥2.5km。主桥基础为明挖刚性扩大基础,主墩为柔性薄壁墩,上部为(140m+240m+140m)3孔连续刚构预应力混凝土箱梁。

嘉陵江大桥9号、10号两主墩均为双肋式柔性薄壁墩,其中9号墩高61.83m,10号墩高60.79m,两肋间净距7m,截面为2.5m×8m。为减少墩身阻水和防止船只碰撞,墩身上、下游设置了半径为1.59m,矢高为0.8m的弓形分水尖。墩身的主要受力钢筋为φ28mm束筋(两根为一束)。

在进行施工组织设计时主墩的施工曾考虑了两种方案。第一种是搭架施工;第二种是翻模施工。由于搭架施工耗材、耗时,且受施工现场条件的影响(即9号墩墩身施工期间需渡洪,10号墩墩身施工期间要削坡),综合考虑选择了第二种方案。模板高3m,利用已浇筑好部分的模板为支承,在其上进行钢筋绑扎及翻模浇筑混凝土,以后重复以上的工作到墩身竣工。

2.施工方法与程序

1)主钢筋接长

φ28mm主筋为一根从基础至上部箱梁0号块通长的钢筋。如何根据翻模施工工艺将主筋接长是应当考虑的。根据设计图,φ28mm主筋埋入基础下2m,根据施工技术规范第10章关于钢筋接头的规定,我们有意地将墩身露出基础外面的φ28mm钢筋长度分为1m、4m和7m三种,这样可将钢筋接头分散在三次的翻模施工中。由于施工中对φ28mm主筋的定尺长度为9m,所以施工中必须在墩身内做一施工辅助架,辅助架高6m,宽2m,长7.6m,要求焊制,可在顶层上铺木板,作为施工平台。接长主筋时,分为3人一组,一人在模板支撑台上用棕绳将φ28mm主筋连接好套筒的一头拴好,另两人在辅助架平台上往上拉棕绳,将其插入套筒内。辅助架的另一作用是帮助主筋定位。插筋前应将辅助架与模板及φ28mm主筋连接固定好。进行主筋定位时,从辅助架的四周焊接短的钢筋,再用一根做好定位标志的水平筋与之相焊,再将φ28mm主筋按标志就位,辅助架随墩身施工逐步提高。施工程序如下所述。

(1)先将主筋一头用套筒挤压。

(2)将未挤压的套筒的另一头插入墩身的φ28mm主筋未挤压的一头内。挤压施工中应注意的问题及质量要求包括如下几个方面。

①对进场的钢套筒首先进行外观检查,包括长度、直径、壁厚等,不合格的钢套筒不得使用。

②钢筋、钢套筒以及压模这三者必须相匹配,如φ28mm主筋应使用C28规格的钢套筒和M28型号的压模。

③严格遵守操作规程,钢筋挤压操作时必须从接头中间压痕标志开始,依次向端部进行,严格打磨横肋,连接钢筋轴线应尽量一致,误差不得超过4°,必须做插入和检查标志。

④现场操作时的质量检验,可通过游标卡尺抽检每批接头的挤压变形量是否合格来进行。挤压变形量是挤压连接工艺的关键参数,也是现场鉴定接头是否合格的依据。挤压变形量包括压痕最小直径和压痕总宽度。对φ28mm主筋的挤压连接接头而言,压痕最小直径允许范围为41~44mm,压痕总宽度不小于55mm。如果接头的压痕最小直径大于上述范围,则表明钢套筒与钢筋横肋咬合少,接头强度会达不到要求;而如果接头的压痕最小直径小于上述范围,则压痕外套筒太薄,拉伸时可能在此压痕处被拉断。对于压痕总宽度的要求,可以用挤压的道数来控制,本桥φ28mm主筋挤压接头共10道压痕。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

⑤挤压接头强度试验结果必须达到钢筋母材的抗拉强度标准值的1.05倍,对于每批接头要取样送检。

(3)用挤压设备在墩上挤压连接。

(4)按设计图位置对 ϕ28mm 主筋定位。

(5)绑扎其他钢筋。

2)翻模施工

每一个墩身2套模板,翻模结构为面板、纵横肋和操作平台。操作平台分为上操作平台和下操作平台。上操作平台人员作钢筋的接长、绑扎及堆放一些施工机具(如电焊机、挤压机等);下操作平台供施工人员穿、拆拉杆用。翻模时必须用塔吊协助,具体的操作程序如下。

(1)绑扎第一节段钢筋后检查验收,支第一套模板,检查验收后浇筑混凝土。

(2)以第一套模板为支撑,进行第二节段的钢筋接长、绑扎并检查验收。

(3)支第二套模板,经检查验收符合要求后浇筑混凝土。

(4)将第一套模板用手拉葫芦悬挂于第二套模板对应的下操作平台支架上,卸掉模板的拼缝螺栓,抽掉对拉拉杆;待第三节段的钢筋绑扎检查验收后将第一套模板依次利用塔吊翻上、拼装、穿对拉螺杆、模板调整,检查验收后浇筑混凝土。

(5)重复第一节段的施工,直至完成整个墩身混凝土的浇筑。

3)钢筋、模板工序的施工组织

根据墩身施工程序及特点,设立挤压、接长定位、钢筋绑扎、模板等4个班。

(1)挤压班:6人,分为两组,3人一套挤压设备,负责地面和墩上钢筋的挤压连接。

(2)接长定位班:6人,3人为一组,每一组配一名电焊工,负责将挤压好一头的套筒插入到墩身 ϕ28mm 钢筋头上,待挤压班将另一头连接好以后,负责主筋的定位。

(3)钢筋绑扎班:8人,负责钢筋下料、运料、绑扎。

(4)模板班:6~8人,负责模板的拆、翻、装工作。

由于主墩为双肋式,翻模施工可交错进行,施工高峰期每一主墩3d可以浇筑2节段混凝土。

4)混凝土施工

嘉陵江大桥主墩混凝土的设计强度为50MPa,采用翻模施工,每节墩身的混凝土数量为64.6m^3,采用泵送。因此在做混凝土配合比设计时,考虑大体积混凝土施工的温度影响,掺入了一定量的粉煤灰,以代替部分水泥,从而降低了水化热温度,满足了设计要求。施工时注意施工缝的处理及外观质量。

(二)金水河特大桥高墩翻模施工

1.工程概况

金水河特大桥是洛阳至三门峡高速公路一合同段的重点工程。大桥全长759.76m,基础为扩大基础和钻孔灌注桩基础,下部构造为空心薄壁墩,墩身最高38m,平均墩高31m,主体为双室薄壁构造,壁厚50cm,其构造简图如图9-2所示。

2.施工方案及施工工艺

1)施工方案及施工工艺选定

研究施工方案时,放弃了爬升模板及滑模施工,综合各方面因素,决定利用现有的一台40t履带吊机进行翻模施工。

模板设计高为3m一节，每个作业面使用2节模板，每次浇筑3m混凝土。模板外模用5mm钢板作面板，[8槽钢做肋，间距为50cm。连接法兰盘用角钢焊制，模板接口处设错口，中间夹橡胶垫。从经济角度出发，内模使用组合钢模板拼装，直径50mm的电焊管为肋，对拉杆布置间距为1.2m×1.2m。经计算选用直径20mm钢筋作为对拉杆，其外套硬塑料管以便周转使用。

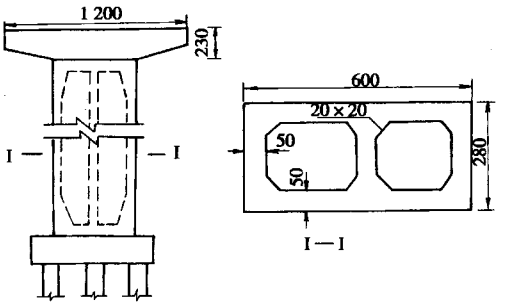


图9-2 空心薄壁墩构造图(单位:cm)

2)施工要点

(1)3d为一个施工周期，每个作业面只需6人，30m高墩身一个月时间就可以完成。

(2)拆除和翻升外模时所有作业人员要配合默契，安全第一。

(3)外模合为一体后应及时调整其平面、铅直位置，并在调整后迅速固定好平面和立面法兰盘上的螺栓(模板调整利用焊在平面法兰上的顶丝进行)，以防浇筑混凝土时模板产生位移。

(4)桥墩主筋采用ϕ20mm的螺纹钢，间距为25cm，截面主筋为122根。从安全、方便和加快进度出发，在浇筑底部变截面混凝土时焊接主筋长度均为9m或4.5m交错排列。由于模板高3m，所以在以后绑孔焊接主筋时可直接采用9m筋，在进行下一循环作业时，只要利用模板上部剩余的50%主筋，即可绑扎、焊接9m主筋。依此类推，循环至顶。这样不仅满足了规范对同截面内焊接接头个数大准大于50%的要求，而且减少了接头数量，为施工提供了方便。

(5)内工作平台跟随内模的提升而提升，它有两个作用：一是提高了高墩作业人员的安全性，在提升内模时不致于有如临深渊的感觉；二是高墩9m主筋可以用吊车将每一循环的用量吊入平台上，方便了施工，经测定仅此每循环可减少1d的作业时间。

(6)工作平台为铺在内模上的5cm厚的木板。混凝土浇筑采用泵送，泵管利用紧固器固定在墩身通风孔上。为了获得顺直接缝，要求每次浇筑都务必和模板齐平；为了获得良好的外观，混凝土倾落用串筒，且分层浇筑；保证振捣质量，注意浇筑顺序，并且避免混凝土浇筑时产生环形力矩，扭动模板。

第二节 盖梁施工

盖梁施工的模板支撑方法分有支架(落地)和无支架(墩柱支撑)两种。用支架施工方便，适合于墩柱不很高的桥梁；当墩柱较高时，搭设支架不但难度大，而且时间长，不经济，采用无支架法施工比较有利。本节只介绍盖梁模板的支撑方法，对钢筋、混凝土施工不作叙述。

一、有支架施工

盖梁施工可采用的支架是很多的，一般常用的钢支架有轻型门式钢管支架、碗扣支架、重型六四军用梁和贝雷桁架组拼的支架及使用万能杆件组拼的各种型式的支架，以上支架均属定型产品，组装方便成本较低。有关支架的详细资料，使用时可参看有关手册和产品使用说明书。使用支架法施工盖梁时，除考虑支架的承载能力即支架的强度、刚度满足施工规范的规定外，支架的稳定性是应重点考虑的。除立柱保持稳定，并用斜撑、拉杆固定外，应验算支架的总体稳定，支架在自重和风荷载等作用下的抗倾倒的稳定系数不得小于1.3。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

二、无支架施工

所谓无支架施工就是利用墩柱作为支撑来施工，做法是在墩柱的适当位置设置支撑系统（牛腿），承受盖梁施工的所有荷载。此法的优点是省支架，缩短了工期，特别是高墩盖梁的施工，其经济效益是突出的。无支架施工盖梁的几种施工设备及方法简介如下。

1）预埋式牛腿支撑：特点是利用墩柱施工的预埋钢板与盖梁施工的支撑部分的槽钢、工字钢焊接形成牛腿支撑，在牛腿支撑上放置主梁，主梁上设横梁、模板及施工平台。

2）预留孔式牛腿支撑：特点是在墩柱施工时留预留孔，在预留孔内安设支撑或固定件与伸出预留孔的部分形成盖梁施工的牛腿支撑，支撑的其余部分同上。

3）抱箍式牛腿支撑：特点是在圆形墩柱的外缘设置箍形钢带，利用钢带与混凝土间的摩擦力支撑盖梁施工的主梁，形成抱箍式牛腿支撑。

三、牛腿支撑的设计与验算要点

牛腿支撑的设计按《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》（JTJ 025—86）进行设计计算。

1）预埋式牛腿支撑：重点应对焊接构件进行检验，对焊缝按设计规范的规定进行计算和验算；同时应对牛腿各构件进行强度验算及支架的稳定性计算。

2）预留孔式牛腿支撑：除对牛腿本身进行强度、刚度及稳定性进行设计计算及验算外，还应对墩柱混凝土的局部承压进行验算。其他验算同上。

3）抱箍式牛腿支撑：设计时应按钢带与混凝土墩柱的摩擦力进行控制，同时应验算与钢带连接的构件的强度、刚度是否满足要求。

四、高墩盖梁无支架施工模板提升实例

1.工程概况

江津长江公路大桥位于江津市城区上游通木滩河段，大桥右岸通过艾坪山下，左岸横跨成渝铁路。孔跨布置：主桥为 140m + 240m + 140m 连续刚构，左岸引桥为 14 × 50m 简支 T 梁，右岸引桥为 4 × 22.5m 连续空心板，全长 1 360m，为四车道公路专用桥。

左岸引桥位于江津市对岸漫滩上。枯水期河漫滩宽 600 多 m，干枯时间 5 个月左右（12 月份至次年 4 月份）；汛期最大水深达 10m 以上，一般 5m 左右，维持时间 7 个月（5 月份至 11 月份）。原合同工期为 1995 年 4 月 18 日至 1996 年 11 月 30 日。要保证在原合同工期内竣工，就必须在 1995 年 12 月份至 1996 年 4 月份的枯水期内全部完成河漫滩内的 18 根 ϕ2.5m 的人工挖孔嵌岩桩，18 根平均高度 36m 左右 ϕ2.5m 的墩柱，9 座在 37m 左右高空的盖梁。由于吊机起吊高度不够，盖梁采用无支架施工，模板提升成为施工关键。

2.提升施工方案

利用在柱顶设置的挑梁、盖梁底模主梁下设置的托架及其滑车组将盖梁模板系统用卷扬机提升就位。底模的整体卸落是利用卷扬机以及在已浇筑完成的盖梁顶设置的扁担梁和滑车组完成。

1）荷载计算

（1）全部盖梁钢筋、钢绞线、波纹管、锚垫板的质量为 9 411kg。

（2）模板质量（底、侧模）24 255kg。

（3）主梁质量（贝雷及支撑片、I 25工字钢、脚手板）22 654kg。

(4)牛腿、砂筒质量 640kg。

(5)合计总质量 56 960kg。

2)吊点个数、卷扬机数及滑车大小、钢丝绳直径的确定

若保证在提升过程中,盖梁支架的四个角的上升速度均衡,并可以相互调整,需设四个吊点,因此也就需要四台卷扬机。

据以上荷载计算情况,则每个吊点的受力为:

$$569.60 \div 4 = 142.4\text{kN}$$

设计计算时,考虑动载系数 1.2,则每个吊点的计算受力为:

$$142.4 \times 1.2 = 170.88\text{kN}$$

由于卷扬机起重能力为 50kN,所以单根绳的拉力应小于 50kN。按照 170.88kN 的计算重量,选用 H16 × 3D 滑车。钢丝绳的安全系数按 5.5 考虑,则应选用 ϕ17.5mm 的钢丝绳(170 级),长度不少于 7 × 36 + 30 = 282m。50kN 卷扬机的卷筒容量为 350m,满足要求。

3)提升架形式

对提升架形式进行了反复的考虑和比较,为了减轻盖梁支架的重量,确定采用二次提升。第一次先提升钢筋、波纹管,然后绑扎完成盖梁钢筋骨架及波纹管定位;第二次提升模板及钢绞线等,在整个盖梁支架就位后,拼装模板及穿钢绞线。该提升架设计的最大难题是在第一次提升后既能不影响盖梁柱顶钢筋的绑扎,又要便于装拆,同时还要保证上下两个滑车在盖梁支架提升到位时之间有一定的距离。为达到以上要求,经过反复讨论研究,决定在进行墩柱施工时,在柱顶的外侧边缘与盖梁轴线成 45°夹角的方向设置两个预埋台,用两个类似牛腿受力原理的小挑梁代替柱顶的提升架,这样就解决了因柱顶提升架不拆除不能绑扎柱顶盖梁钢筋的难题。另外,为保证上下两个滑车之间的距离,对盖梁支架下面的托架采取了加高的措施,具体设计形式及布置情况见图 9-3。

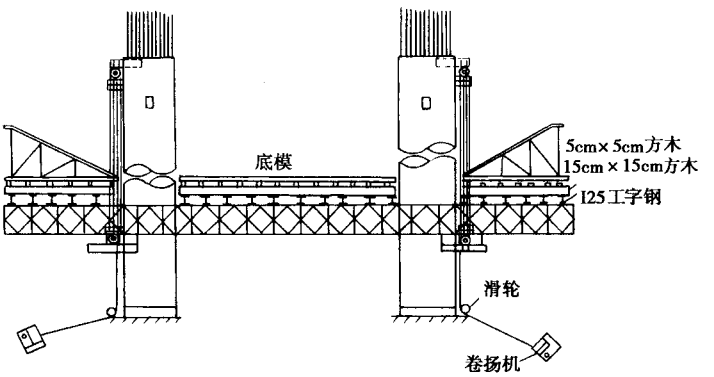


图 9-3 盖梁支架整体提升示意图

注:侧模、钢筋等未示意,卷扬机只示意两台,另两台未示意。

为了减小盖梁支架贝雷片与墩柱之间的摩擦,顺利地完成提升过程,在贝雷片与墩柱接触的上下弦杆的型钢槽内设置了滚动轴。滚动轴直径 4.5cm,长 10cm,共设置了 8 个。从使用的情况看,该滚动装置的效果不错,不但减小了墩柱与贝雷片之间摩擦,使提升顺利,而且还避免了墩柱外观的破坏。

全部完成提升架设计并浇筑完成第一座盖梁后,征求对提升架的意见,施工人员提出:在操作使用时,发现挑梁上的滑车与托架上滑车的方向成 90°夹角,这样在提升过程中钢丝绳之

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

间相互摩擦，尤其是在即将提升到位时，由于两个滑车的距离很近，钢丝绳交叉摩擦更严重，若反复如此使用，钢丝绳损伤太严重，也相当不安全。根据操作人员提出的问题，对原托架2号杆件上的吊点方向进行了调整，钢丝绳相互摩擦的问题便解决了。

4)盖梁支架卸落要点

(1)固定下滑车的钢丝绳不要直接和贝雷片接触，应垫上枕木或方木，以免贝雷片上弦杆局部变形。

(2)盖梁支架下落过程中，支架上要有专人站在安全处观察支架下落是否平稳，如不平稳应及时通知卷扬机操作手进行调整(提升过程中也是如此)，以免支架在下落过程中倾斜严重，模板倾倒或坠落。

5)主要优点及缺点

(1)优点是解决了起吊设备不足、起吊设备的起吊高度不够及起吊能力不能满足施工要求这一关键问题；结构简单，便于工地现场加工；装、拆操作方便，工效高。

(2)缺点是个别杆件重量较大，人工操作比较吃力。

五、剪力销式牛腿支撑施工实例

摩苏尔五桥的概况前面已介绍，现就匝道桥盖梁的施工简介如下。

1.盖梁工程的特点

1)类型多，尺寸变化大。匝道桥共有69片盖梁，4座桩柱式桥台。盖梁除横断面尺寸相同外(宽1.8m，高1.2m)，外形上有直线形、折线形和斜交形三种形式。如再考虑其长度、坡度，接柱直径和数量、柱间距离等的变化在内，69片盖梁有26种不同的规格。

图9-4所示的为三种盖梁形式。

2)离地面的高度变化范围大，由2m到15.5m。

以上的两个特点决定了盖梁施工需解决的主要问题是：盖梁模板的通用性及模板支撑的形式。

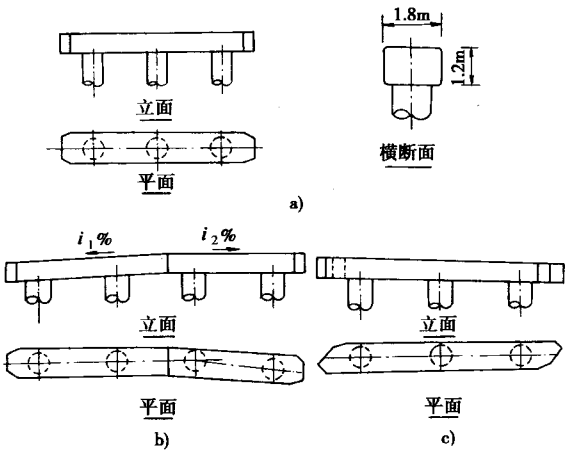


图9-4 盖梁形式

a)直线形；b)折线形；c)斜交形

2.盖梁模板

1)模板类型和支撑形式

根据对全部盖梁尺寸的统计分析得知，除折线形盖梁的转角处和斜交形的端头难于使用可互换的通用模板外，其余部分的模板和直线形盖梁的模板，均可使用系列尺寸的标准底模和侧模进行组拼(用小于5cm的木条调节缝隙)。因此，确定采用自制的专用组合钢模板，特殊部位使用木模板。

为了适应接柱高度变化大的特点，减少支撑脚手架的工作量，加快底模周转，盖梁模板的支撑形式采用剪力销式牛腿支撑。

盖梁模板体系的组成如图9-5所示。

对高度在9m以下的盖梁，不使用L形吊架，直接搭设移动式脚手架、平台，在其上安装牛腿支撑和进行模板安装作业。

模板的标准件规格见表9-1。

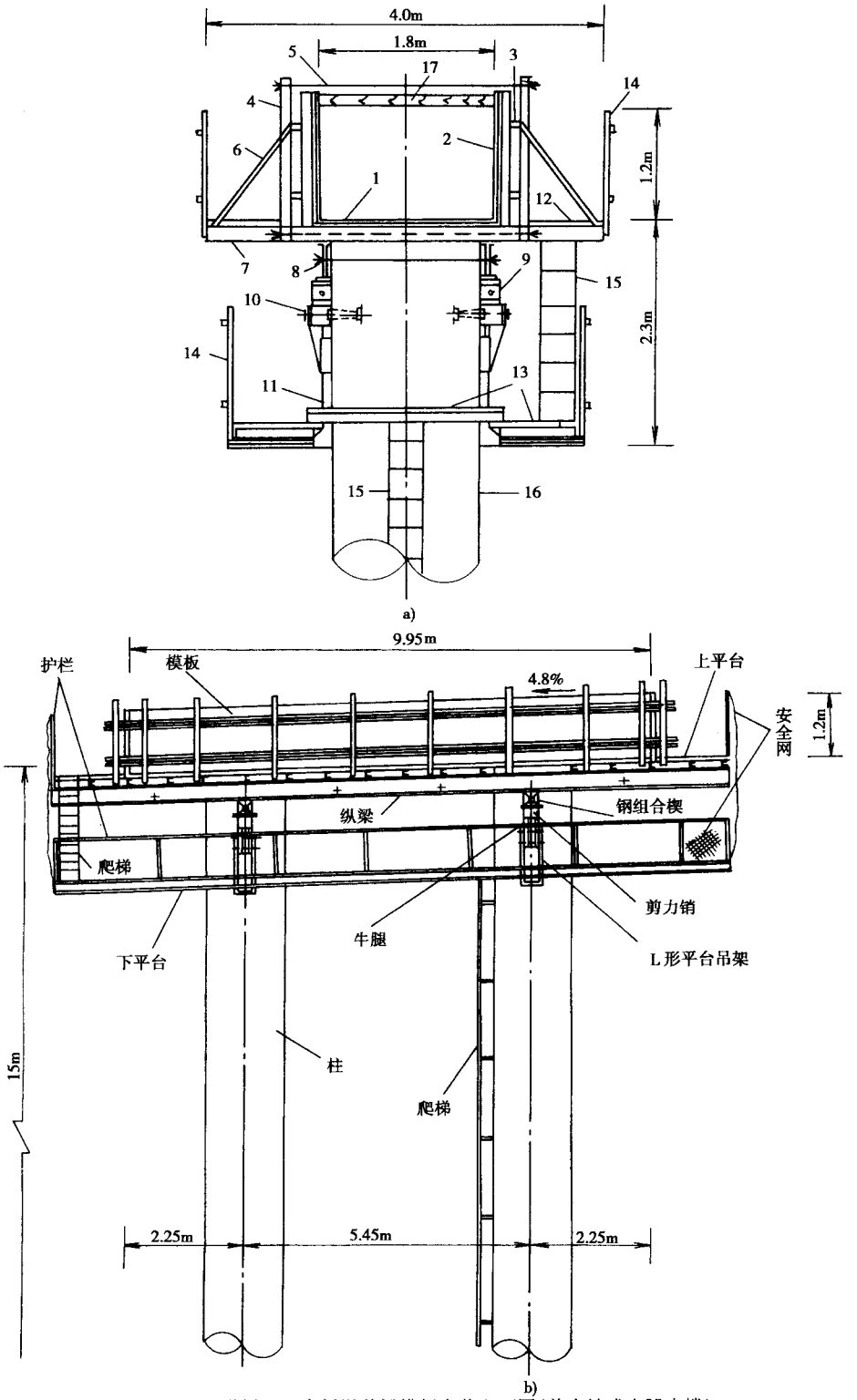


图 9-5　匝道桥 15m 高桥墩盖梁模板安装立面图(剪力销式牛腿支撑)

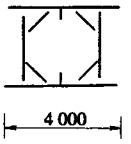
a)侧面;b)正面

1-底模;2-侧模;3-横肋;4-立柱;5-拉杆;6-可调节长度的活动斜撑;7-组合式横梁;8-纵梁;9-钢组合楔;10-剪力销式牛腿支撑;11-L型吊架;12-上平台;13-下平台;14-护栏;15-钢梯;16-接柱;17-木撑

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

盖梁模板标准件规格表

表 9-1

构件名称	编号	尺寸(mm)	构造简述 (尺寸单位:mm)	数量
底模	D_1^1	2 000 × 1 800	面板厚:5 肋板:6 × 63 肋板间距:600 × (200 ~ 300) 总厚度:68 板间采用 M16 × 50 螺栓连接	6
	D_1^2	1 450 × 1 800		8
	D_1^3	600 × 1 800		4
	D_1^4	400 × 1 800		6
	D_1^5	300 × 1 800		6
	D_1^6	250 × 1 800		4
	D_1^7	200 × 1 800		6
ϕ1.2m 柱身底模	D_2	2 000 × 1 800	平面中部开 ϕ 1240(ϕ 1540)孔、对半组拼 M16 × 50 螺栓连接同底模	9
ϕ1.5m 柱身底模	D_3	2 000 × 1 800		10
端部底模	D_4	1 000 × 1 800	平面呈 1000 形同底模	8
边端侧模	C_1^1	5 300 × 1 300	板面结构同底模板后[100 立肋与其焊接。厚度 168。使用时与横肋用钩头螺栓连接进行拼装	4
	C_1^2	1 300 × 1 300		4
中部侧模	C_2	2 000 × 1 300		4
	C_3	4 000 × 1 300		8
端头模板	C_4	1 300 × 1 800	截面形状 600	6
组合式横梁	Z_1	1 260 × 4 000	由 400 长的[140 用∠5 × 50 角钢焊接组成[140 间距 400、角钢间距 580	8
	Z_2	2 400 × 4 000		12
ϕ1.2m 柱身横梁	Z_3	1 520 × 4 000	形状  4 000 对半拼接	6
ϕ1.5m 柱身横梁	Z_4	1 800 × 4 000		10
横肋		长度随盖梁长度决定断面[[—[100		160
立柱		高度 1 500 断面[[—[100 间距 1 200		62
斜撑		代调节螺旋的钢管、间距 2 000		36
拉杆		ϕ16 高强螺杆 $L = 2700$		62
纵梁		由加强了翼板的 I360 构成,根据盖梁尺寸组拼长度(螺栓连接)转折处现场焊接		70
钢组合楔				24
剪刀销式牛腿		构造另述		24

2)模板用钢量(不包括组合横梁以下部分的结构)

(1)底模部分:模板 60kg/m^2,支撑件(组合横梁)116kg/m^2。

(2)侧模部分:模板 83kg/m^2,支撑件(模肋、立柱、拉杆、斜撑)67kg/m^2。

3)模板的几个细节问题

(1)纵梁刚度大,盖梁悬出和柱间跨径不大,故不考虑预留拱度。因支撑无沉陷,各构件均系钢结构,底模也不考虑预留高度。

(2)接柱(顶面)的中心允许偏差为 1.5cm,直径允许偏差为 ±0.5cm。接柱顶凿毛时,宜高出设计标高 0.5~1cm。盖梁柱身底模与柱身间的缝隙,用小木楔填实,上覆内径同柱身直径,宽度 5cm,厚度 0.5mm 的铁皮环,用小钉子固定在木楔上。脱模后柱身周围无漏浆现象,平整美观。

(3)模板内侧设 40mm×40mm 倒棱,采用扁钢两边刨成 45°斜角后分段焊接在模板上制成。

3.剪力销式牛腿支撑

1)支撑设计

(1)结构简图及力学模式(见图 9-6)

因为拉杆通过中空的剪力销连接于预埋螺母,牛腿由拉杆压挂在剪力销上,因此,剪力销处只有垂直和水平方向的约束,可以转动,A 点简化为一个铰支撑;牛腿下部 B 点只有水平方向(向柱身)约束,简化为一个连杆支撑;牛腿简化为一个三角构架。钢组合楔传递荷载 P。

(2)内力分析(见图 9-7)

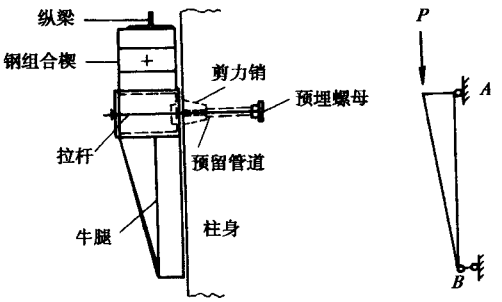


图 9-6 结构简图与力学模式

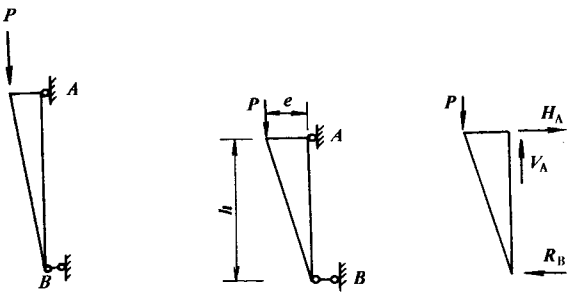


图 9-7 内力分析图示

由内力分析图示可得:

$$V_A = P$$

$$H_A = R_B = \frac{Pe}{h}$$

式中符号意义见图 9-7。

(3)各部件尺寸的确定

根据荷载、接柱混凝土强度、构造要求等条件,通过计算确定各部件尺寸,如图 9-8 所示。

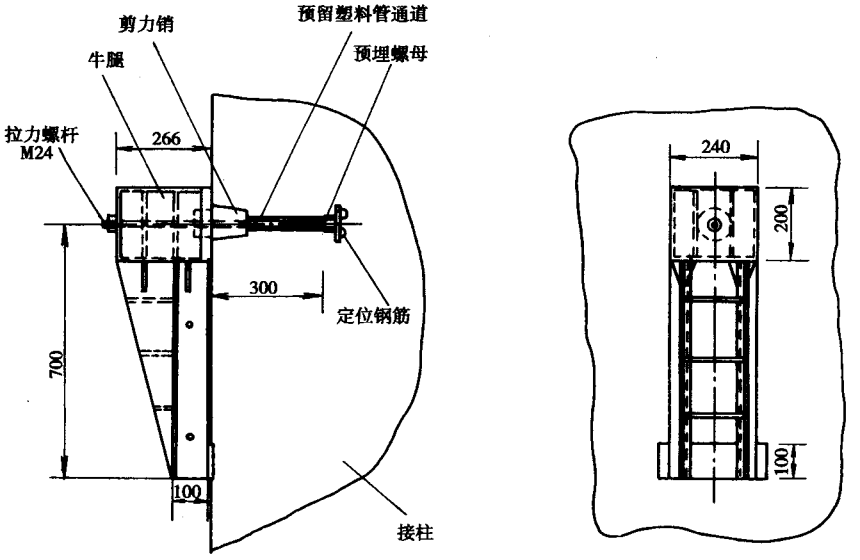
2)剪力销式牛腿支撑试验

由于孔洞内混凝土压应力计算采用了较多假定条件,没有按最大应力值设计,为安全起见,在施工前做了牛腿加载试验,试验布置如图 9-9 所示。

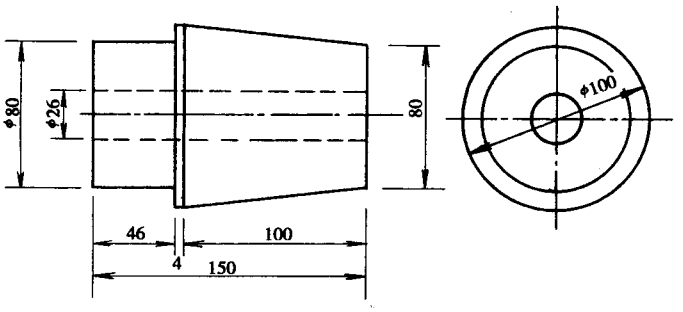
选择了过渡段第 3 号墩第 3 号接柱进行试验。在浇筑接柱混凝土时在柱下距接柱底面 70cm 处,预留了剪力销孔洞和预留管道及预埋螺母。拆除接柱模板后,按正常使用位置倒置牛腿(如图 9-9 所示),上紧拉杆,在牛腿下面与地基(灌注桩桩头扩大部分)之间放置垫板与千斤顶,接上油泵与油压表。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

加载时观察结果如下：①加载到 13t(设计荷载)时，构件与混凝土孔洞周围无变化；②加载到 20t 时，预留孔洞上边沿出现表面微细裂纹；③加载到 23t 时，孔洞上边沿表层混凝土脱落，



剪力销式牛腿安装图



剪力销

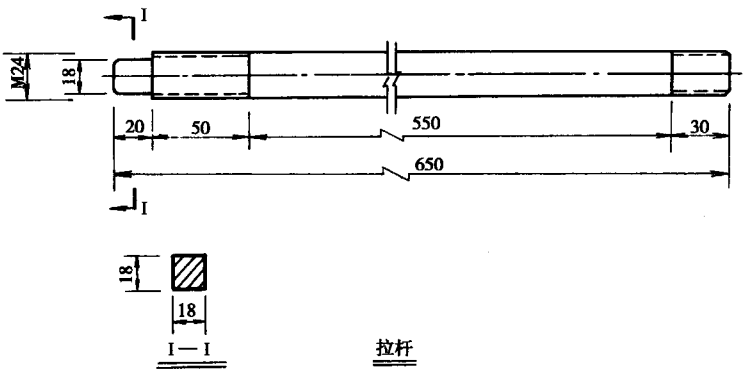


图 9-8　剪力销式牛腿支撑各部件尺寸(单位：mm)

碎片面积 2cm²，厚 0～2mm；④加载到 30t 时，孔洞上边沿表层混凝土脱落碎片面积 40cm²（水平向 8cm，垂直向 5cm），厚 0～4mm。至此，加载停止。

卸载后，检查孔洞内壁其他部位无变化，剪力销、牛腿、拉杆等均无残余变形。

根据试验情况，我们认为在设计荷载下剪力销式牛腿支撑是安全的。

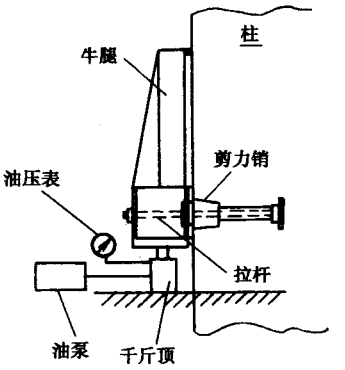


图 9-9　实验布置简图

3）剪力销式牛腿支撑安装方法

（1）剪力销孔及预留管道成型模具

为了在浇筑接柱时，形成内表面与剪力销锥体外表面一致的混凝土孔洞，并预留下从孔洞底面中心到预埋螺母间的管道，首先应按剪力销和拉杆等的尺寸加工数套成型模具以供浇筑接柱时使用。图 9-10 为适用于上面设计的剪力销式牛腿使用的成型模具设计图（ϕ26～ϕ30mm 塑料管，图中未示出）。

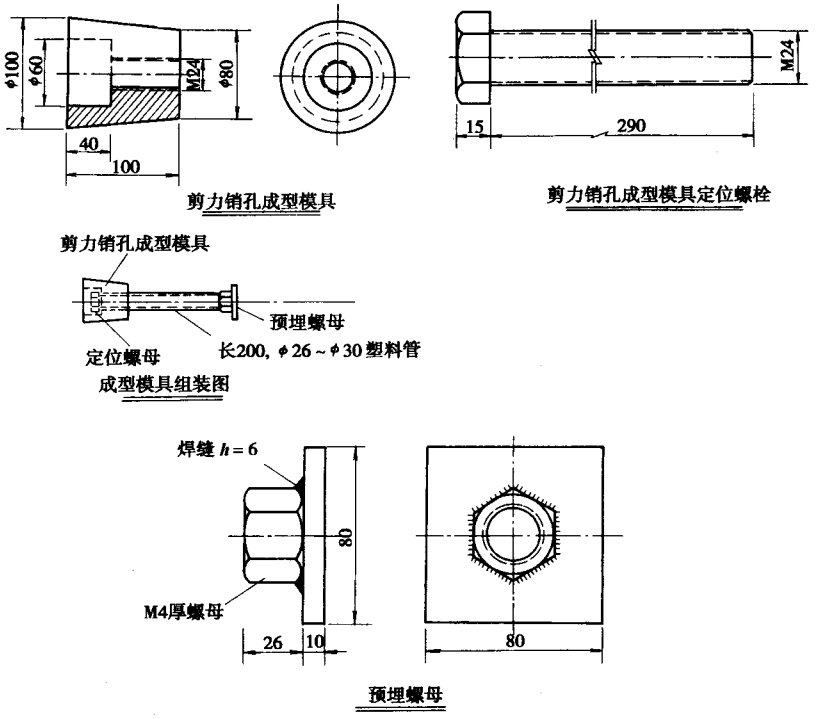


图 9-10　剪力销式牛腿成型模具设计图（单位：mm）

入模前，先将定位螺栓从成型模具凹坑底旋入中间的螺丝孔内，直到螺栓头差 5mm 左右到底部，然后将塑料管套在伸出成型模具的螺杆上，再把预埋螺母扭紧在螺杆尾部，装配完后，形如一哑铃。装入模板前剪力销孔成型模具表面涂脱模剂或机油，凹坑内用泡沫塑料填满以防漏浆将凹坑堵死。其内螺纹要涂油，以利拆除时定位螺栓易于旋出。塑料管道尽量下齐，长度准确。

（2）成型模具入模

接柱模板支好后，从模板上口向下量一定距离，得到剪力销的位置。在模板内由木工下到

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

模内，将已装配好的成型模具的锥型大底面紧贴模板，借助短钢筋（ϕ12mm）点焊在预埋螺母座板上，钢筋两端绑扎或点焊在钢筋笼上，稍微弯成弧状。将模具压在模板上，水平面上固定好后，再用短钢筋同样地在垂直方向上将成型模具固定。此处浇筑混凝土时应注意细心捣实，保护预埋件。图 9-11 为安装示意图。

这里需要说明的是，拉杆预留孔也可沿接柱直径方向通长布置，由两端的剪力销孔对拉省去预埋螺母。但因贯穿整个接柱断面，妨碍导管或串筒的放置，且易弄坏塑料管。模板上如果不开孔，较长的成型模具和管道连结件，则无法放置与压紧。所以最好采用两侧的剪力销各自独立的体系。安装时若与主筋冲突，须调整主筋间距。

(3)成型模具拆除

接柱模板拆除之后，利用吊篮将工人送到预埋成型模具的位置。首先掏出凹坑内的泡沫塑料，用套筒扳手将定位螺栓旋出一定长度，然后在柱身与螺栓头之间插入一种拆卸的专用工具（如图 9-12 所示）。待专用工具放正之后，再向里上紧定位螺栓，这时形成对剪力销成型模具的外拔力，即可将其拔出。匝道桥共 191 根接柱，382 个剪力销孔，均顺利将成型模具和拉杆拔出。

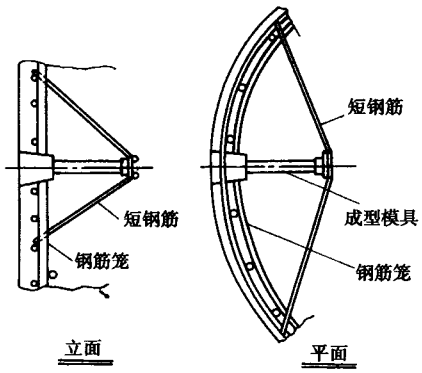


图 9-11　安装示意图

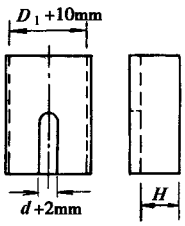


图 9-12　成型模具拆除示意图

注：$H \geq$ 柱表面（D_1 + 10mm）部分弓形矢高 + 预埋螺母厚度 + 10mm。

(4)剪力销式牛腿的安装

利用吊篮将操作人员和构件送到预留孔处的空间位置。首先清理孔洞内可能漏进的水泥浆，然后把剪力销推入孔洞内，穿入并旋入拉杆（拉杆上应作记号，用以判断是否已旋到底）；再将牛腿抬起，顺着拉杆穿过牛腿钢板上的大孔（挂在剪力销上）、小孔（穿出拉杆上螺母用）。把牛腿悬挂在剪力销上，贴紧直径为 D_1 的剪力销第二个环状平面。在牛腿下面环状钢板与柱表面间放入木楔片。旋紧拉杆螺母，牛腿压紧在柱表面后，安装工作就结束了。

下平台由吊在牛腿立柱上的“L”形吊架支承，下平台搭好后可在上面继续模板的支模工作，这里不再叙述。

(5)安装工作的施工组织情况

①安装成型模具用工：电焊工、木工各 1 人，30min 安装 1 个。

②拆除剪力销成型模具用工：起重工、普工各 1 人，5min 拆除 1 个，可与拆模配合，用吊车起吊吊篮。

③安装剪力销式牛腿用工：木工、起重工各 1 人，5min 安装 1 个，可与支盖梁模板配合，用吊车起吊吊篮。

要达到上述劳动定额，平时要保养好构件，螺丝上好黄油，安装成型模具时位置要准确，预埋管内不得漏浆。

4.盖梁施工程序(如图 9-13 所示)

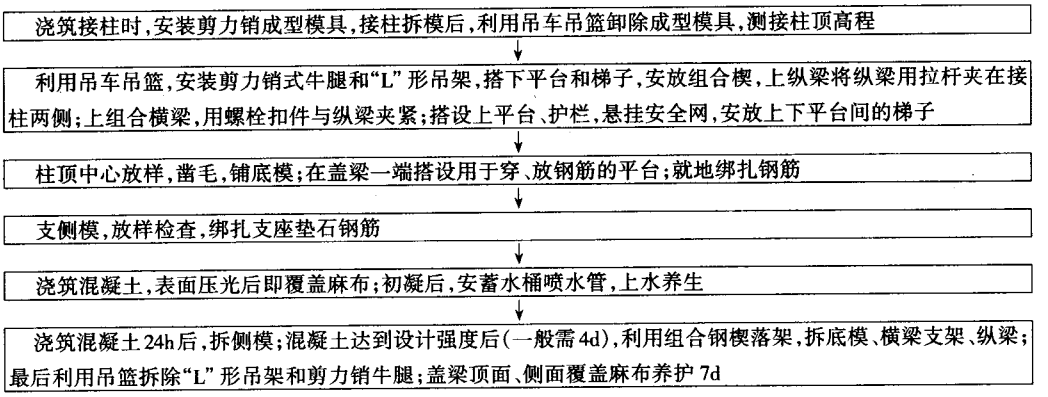


图 9-13　盖梁施工程序图

5.盖梁施工组织、主要机具及进度

1)盖梁作业分模板组和钢筋组 2 个组

模板组:木工 5 人,起重工 3 人,普工 1 人,共 9 人;钢筋组:8 人。

模板组配备 30t 吊车一台,与其他作业组共用装载机、叉车用于水平运输。钢筋组采用机械加工钢筋,运输机械与模板组共用。

2)模板配备情况

(1)底模:1、4 号匝道桥盖梁长 12m,2 套;2、3 号匝道桥盖梁长 9.95m,2 套。当用于过渡段的长盖梁时只能组拼 2~3 套。

(2)侧模:1、4 号匝道桥 1 套;2、3 号匝道桥 1 套。当用于过渡段的长盖梁时,只能组拼 1 套。

(3)剪力销式牛腿:24 个;组合楔:24 个。

3)进度

按施工的统计日期计算,包括桥台共 73 个盖梁,施工时间为 250d;平均每个盖梁用时 250/73=3.4d。钢筋共 344t,制作、绑扎用工 8×250=2 000 工日;平均每吨钢筋用工 2 000/344=5.81 工日。

六、预埋式、预留孔式及抱箍式牛腿支撑施工实例

1.潭洲大桥工程概况

潭洲大桥全长 1 472m,主桥采用连续箱梁结构,引桥采用简支 T 梁结构,下部构造为双柱墩,基础为钻孔桩。全桥盖梁共计 106 个,接柱高度 2~15.5m。桥位处于填砂鱼塘上,临时道路已贯穿全部引桥。

2.盖梁模板

1)侧模:采用组合钢模拼装,布设 2 道[14 槽钢纵肋,横肋采用 10cm×10cm 方木,两根为一组,间距 100cm。

2)底模:方正部分用组合钢模拼装,边角及异形部分用木板加工。

3)横梁:采用[14 槽钢,间距 70cm。

4)主梁:采用 I40 工字钢。

5)楔块:采用组合钢楔。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

6)牛腿:预埋式、预留式及抱箍式均采用2[20槽钢焊制。

3.预埋式牛腿

预埋式牛腿构造形式如图9-14所示。预埋钢板厚度一般大于20mm,与墩柱受力主筋采用焊接连接;并设置①号筋2ϕ20mm、②号筋1ϕ20mm,钢筋长70cm;牛腿外伸部分采用2[20槽钢对接焊成"□"形,与预埋钢板焊接。设计时除对焊缝进行验算外,对外伸部分的弯剪应力也要验算。

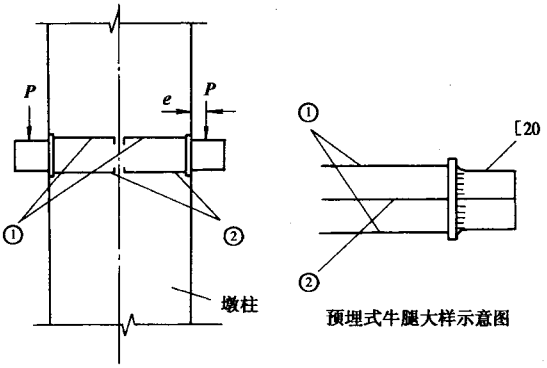


图9-14 单柱预埋式牛腿示意图

4.预留孔式牛腿

预留孔式牛腿构造图见图9-15。预留孔的大小应视安装方便及预留孔的变形而定,其尺寸应较牛腿大20~40mm。牛腿采用2[20槽钢制作,局部承压强度不足时,采用局部加强的方法予以解决。

预留式牛腿实质为两端悬臂简支梁,在如下假定条件下计算牛腿各截面内力:支承部分为柱壁以内2cm,支承宽度10cm;e为主梁半宽加30mm。

5.抱箍式牛腿

抱箍式牛腿设计包括两部分内容:①钢带与混凝土柱的摩擦设计;②钢带与外伸部分的焊接设计。

抱箍式牛腿构造见图9-16。计算时假定钢带与混凝土柱沿圆周均匀接触。

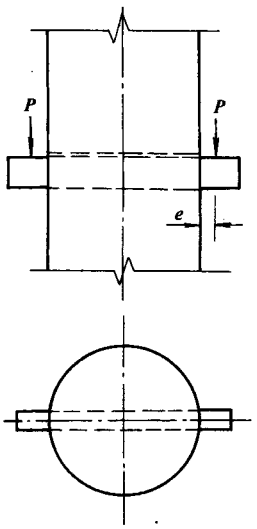


图9-15 预留孔式牛腿示意图

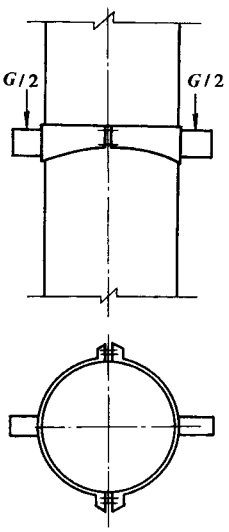


图9-16 抱箍式牛腿示意图

6.施工注意事项

1)牛腿焊接使用焊条规格不低于E50型。

2)焊接操作人员必须具有相应工种的上岗证,施焊前焊接试件应通过力学试验,合格后方可正式操作。

3)冬季施焊,要有保温措施。

4)预留孔式牛腿其预留孔设置位置要准确,不可倾斜,否则须经校正预留孔后,方可安放牛腿。

5)牛腿的焊接和安置大部分属高空作业,必须注意施工安全。

6)采用抱箍式牛腿安装钢带时,应将钢带应力张紧到工作应力。

7.三种牛腿支架比较

采用牛腿代替支架,在盖梁施工中节约了大量的人力、物力,施工方便快捷。上述三种牛腿各有所长,通过使用比较,预留孔式牛腿最好。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第十章　装配式桥梁施工

第一节　预应力混凝土T梁施工

一、摩苏尔五桥T梁预制施工

1.工程概况、场地布置和工艺流程

1)工程概况

匝道桥共716片大梁,工程量如前所述。

根据标书文件(特殊规范)要求:同一孔的大梁龄期相差不得超过14d,如按梁数量多的一孔22片计,技术上要求每天至少生产22/14=1.6片。

因此,T梁预制场设计生产能力为每天2片,年产量730片(约合混凝土13 000m^3)。

预制场从1986年4月1日起开始生产,1987年2月22日完成716片大梁。该预制场完成匝道桥大梁任务之后,又预制了法鲁克立交桥T梁72片,共生产T梁788片。

按匝道桥大梁生产的实际进度推算,每天平均生产716/322=2.22片,年产量为810片,超过预制的设计生产能力。

当工作熟练之后,又采用了蒸汽养生,每天可正常生产3片T梁,机械和人力可以满负荷工作。

混凝土供应是由全桥的搅拌站承担,由混凝土运输车运送到预制场(运距800m)卸入吊斗,由塔吊运送入仓。

2)预制场场地布置

(1)预制场在全桥工地的位置

根据业主提供的占地范围,预制场选定在底格里斯河东岸立交区3号匝道南侧。具体位置如图10-1所示。总面积为:120m×350m=42 000m^2

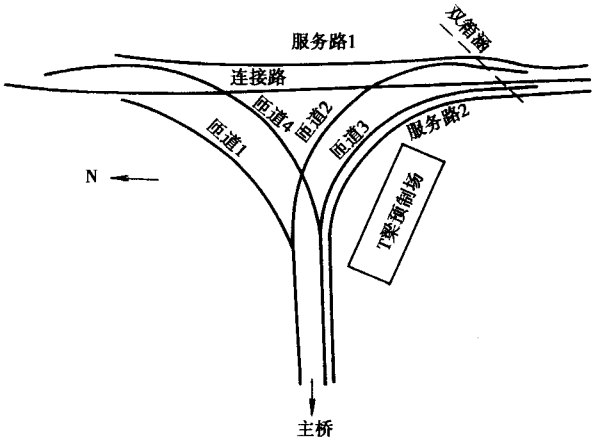


图10-1　预制场场地位置图

(2)预制场平面布置

预制场平面布置及吊机立面如图 10-2 和图 10-3 所示。

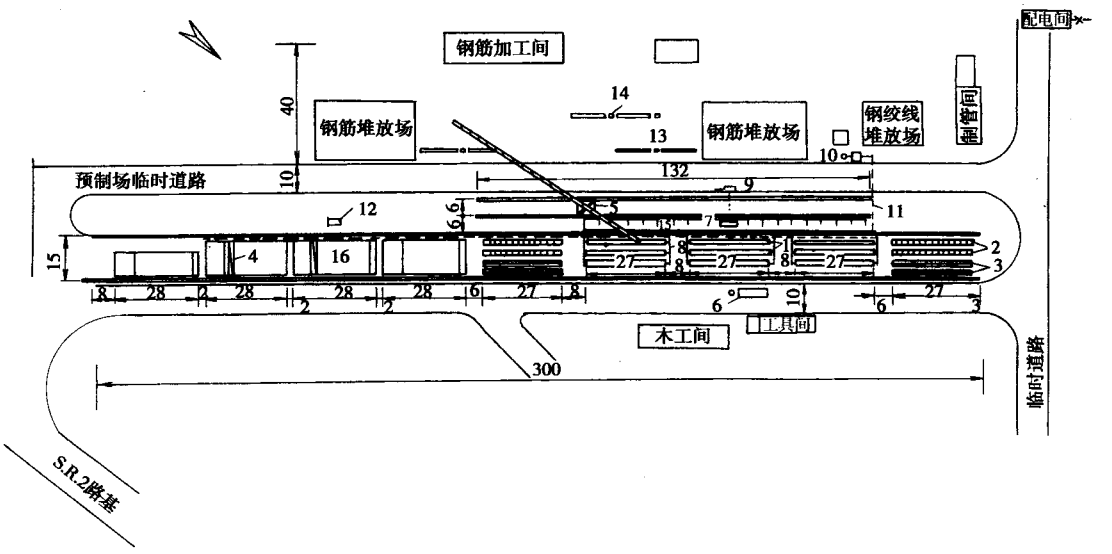


图 10-2　预制场平面布置图(单位:m)

1-T 梁底模;2-钢筋骨架拼装台;3-穿束定位台;4-龙门吊机(30t, l = 15m);5-塔吊(LIEBHERR256HC 4.4 ~ 12t, R = 55m);6-混凝土运输车卸料台及吊斗;7-低压蒸汽锅炉 2 台;8-蒸汽管道;9-柴油箱;10-水塔及蓄水池;11-水管;12-压浆机;13-钢筋切断机;14-钢筋弯曲机;15-挂块预制场;16-T 梁存放场

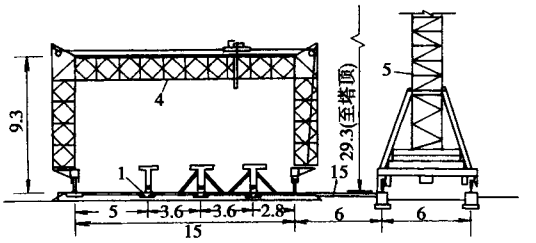


图 10-3　吊机立面图(单位:m)

注:图中所示各部位名称见图 10-2。

(3)主要机具设备数量(见表 10-1)

主要机具设备数量表　　表 10-1

机具设备名称	单位	数量	规格、型号	备　　注
龙门吊机	台	2	贝雷片拼装,自行式,跨度 15m,高度 9.3m。起吊能力 30t	包括 5t 慢速卷扬机 4 台,行走机构 4 付,贝雷片 36×2 = 72 片
塔吊	台	1	LIEBHERR256HC	拼装高度 29.3m,臂长 55m
钢轨	m	864	43kg/m	
变压器	台	1	400kW	
发电机	台	1	200kW	备用

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

机具设备名称	单位	数量	规格、型号	备　　注
钢筋切断机	台	2		
钢筋弯曲机	台	2		
电焊机	台	3	BX—300/500	
制管机	台	1	SR—125	与主桥合用
穿索机	台	2	EMK	
钢绞线压花机	台	1		
高压油泵	台	2	EHPS—3	
张拉千斤顶	台	2	ZPE—12/st2	
压浆机	台	1	VSL Mixer	
插入式振捣器	台	10		
附着式振捣器	台	20		
高频转换器	台	3		带振捣器用
低压蒸汽锅炉	台	2	Buser 330/T500	燃油式
叉车	台	1	5t	
T梁钢模板	套	6/10	R.M.D产品,梁长27m	侧模6套,底模10套
混凝土吊斗	个	2	自制	
水塔	座	1	容量25m^3	高6m,包括蓄水池
钢筋骨架拼装台	处	4	自制	
履带吊车	台	1	55t	主要用于吊装,空时立、拆模
水车	台	1	T(带水泵)	供水用

3)工艺流程

(1)预应力T型梁简介

预应力T型梁断面如图10-4所示。无中横梁,仅在梁端预埋钢筋,待安装后现浇端横隔梁。

匝道桥T梁长度变化大,除第一孔22片梁长一致外,其余长度均不等,最长梁26.955m,最短梁12.247m。25m以上T梁占总数的80%。

T梁顶面横坡有±4%和±4.8%四种,纵坡在-5.15%~+4.74%间变化。靠梁端底部楔

形突出部分混凝土面坡度变化，实现 T 梁安装的纵坡。

端横隔梁与梁中心线间角度在38°～128°间变化，因此 T 梁翼缘板与梁中心线间夹角也在 38°～128°间变化，多数为 90°左右。

由此看出，匝道桥 T 梁外形尺寸复杂，每一片梁均不一样是它的特点。在预制和安装中必须按设计梁号，逐片编号，对号入座进行施工和检查。T 梁模板亦要能简便地进行调节和组拼，适应梁的外型尺寸的变化。

预应力 T 梁采用 VSL 预应力体系，钢绞线型号为：S—11(Super)，锚头型式：TYPE EC 5—12，死锚头压花型式：H 型，FPtk 209。

(2)预应力 T 型梁预制工艺流程(如图 10-5 所示)

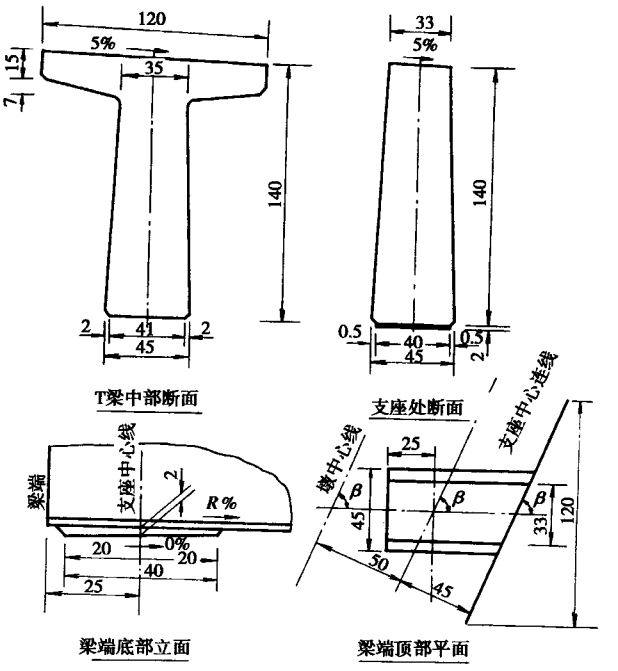


图 10-4　预应力 T 型梁断面图(单位：cm)

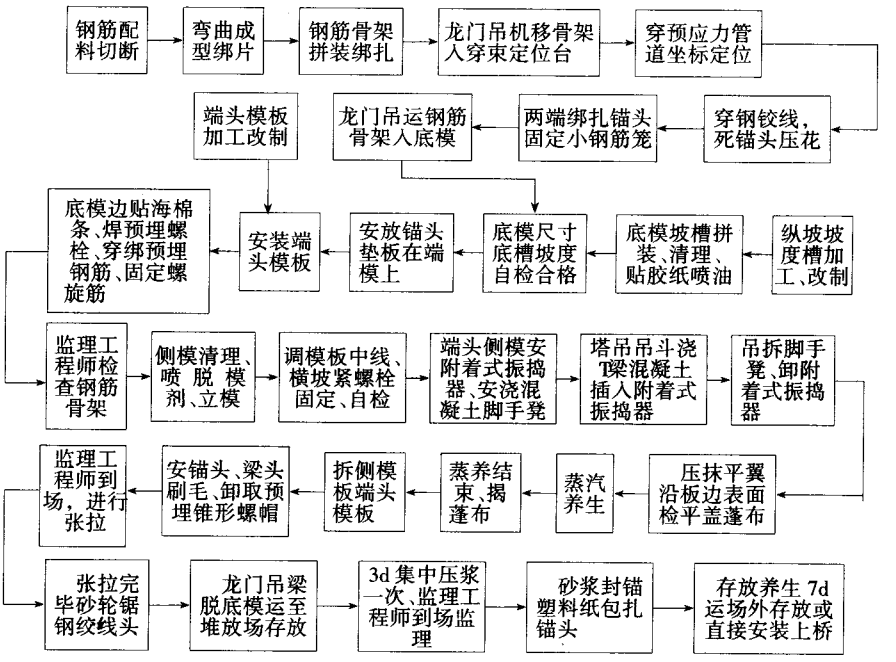


图 10-5　预应力 T 型梁预制工艺流程

(3)预制场主要工程数量(见表 10-2)

(4)预制场准备工作用工

西桥预制场从 1985 年 10 月开始清场，1986 年 3 月 25 日完成准备工作，共用工约 1 500 个；土方及吊装均机械作业，各种机械台班 117 个。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

预制场主要工程数量表　　表 10-2

工　程　项　目	单　位	数　量	备　　注
清场、平整场地	m^2	42 000	
挖方	m^3	2 200	底座、塔吊基础、蓄水池
道路、场地回填砂砾	m^3	7 600	
混凝土 C15～C20	m^3	1 420	T 梁底座、塔吊基础、地秤存放场
轨道铺设(43kg/m)	m	864	其中 600m 用木枕(龙门)
水管	m	500	
蒸汽管道	m	822	包括挂块养生
埋设电缆$\begin{pmatrix}3\times95+1\times35\\3\times75+1\times25\end{pmatrix}$	m	600	
临时工棚	m^2	930	
塔吊拼装	座	1	质量:110t
龙门吊机拼装	台	2	质量:50t
钢材加工	t	47	底座、钢筋骨架拼装台

2.模板

预应力 T 形梁模板是由英国 R.M.D 公司,根据 T 梁设计图加工的产品。在现场仅铺设了大梁底模底座。从使用情况来看效果较好,其优点是:调节组拼方便,适应 T 梁外形尺寸多变的特点;侧模刚度大,结构简单,便于倒运周转使用;模板平整度好。缺点是:未考虑装外部附着式振捣器,模板到后工地对端侧模板加固,须增加振捣器安装用肋板;由于顶板横坡靠升降左右两侧侧模高度来调节,左右两侧模又完全对称(按横坡为零时的尺寸),故左右梁腋处翼缘板根部厚度不等,相差近 4cm。为此,对大梁翼缘板进行了重新验算,虽然计算通过,但毕竟不同于设计的意图。

1)模板构造

(1)模板标准横断面(见图 10-6)

(2)侧模

侧模块件长度 6.75m,左右侧模共 8 块,组成 27m 梁长模板,共定购 6 套。

面板厚度 5mm,竖肋为[型压延钢材,间距 1.6～1.7m,横肋如图示为⌐型钢材,间距 0.5m,侧模纵向对接采用螺栓连接面板企口,如图 10-7 所示。

顶板横坡靠左、右侧模升降调节,螺栓顶升。

(3)底模

底模断面及与底座的连接如图 10-8 所示。

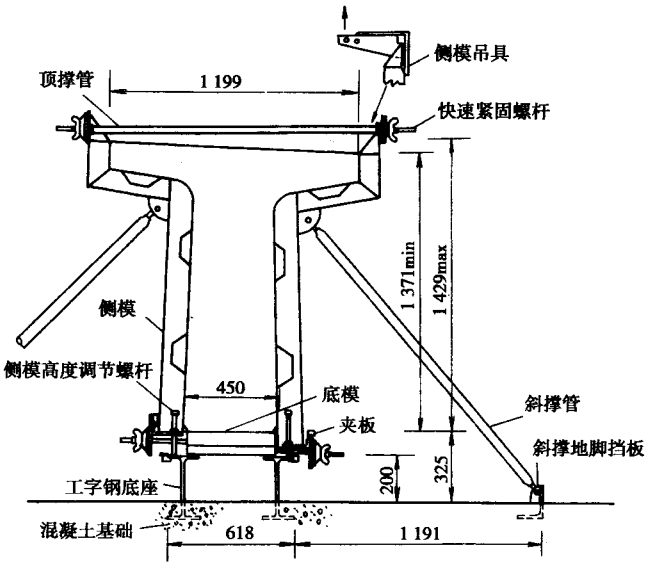


图 10-6　T 梁模板标准横断面(单位:mm)

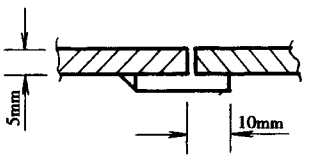


图 10-7　侧模纵向对接示意图

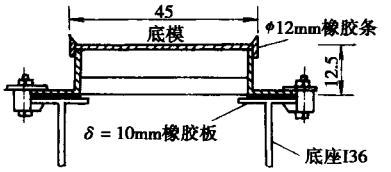


图 10-8　底模断面及与底座的连接图
(单位:cm)

底模共有长度分别为 4.35m、2m、1m、0.7m、1.1m 的端部带槽口的和长度为 0.2m 的活动底模,共 6 种类型。在使用中增加了 0.6m 长的底模并用木制底模代替了活动底模。

底模共 10 套,每套由上述长度模板组拼为 27m 梁长底模。

R.M.D 原产品底模长度在 20cm 内变化是考虑通过带坡槽口的底模来调整。因此带坡槽口的模板长为 1.1m,坡槽口长 70cm。设计坡槽口长度为 44cm,这样每次除做坡槽底垫块外,还要补平 70 - 44 = 26cm 长的坡槽,增加木工工作量。在施工中作了改进,将原 70cm 长的坡槽口改为上口 44cm,下口 36cm,深 4cm 的坡槽,每次根据大梁纵坡计算垫块有关尺寸,决定坡槽口上口到梁端的距离进行安装。垫块原来采用防水胶合板,因变形大,后改为钢板,效果较好。

坡槽底模及坡槽垫块如图 10-9 所示。

T 梁坡槽垫块的制作是一个精细复杂的工作,尺寸精确与否直接影响到大梁安装后纵向坡度的准确程度以及支撑位置和与支座表面吻

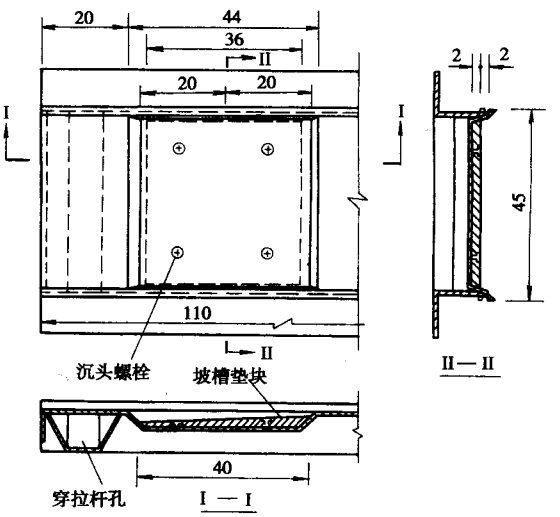


图 10-9　坡槽底模及坡槽垫块(单位:cm)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

合的准确性。716片大梁纵坡从-5.15%变化到+4.74%，几乎每片大梁纵坡都不一样。为了施工的方便，经研究采用0.5%为一变化档次，从-5%～+4.5%共20个档次，在每个匝道桥T梁预制前由技术人员根据设计图纸归档次计算有关数据，标出梁号和数据值，复印成表发给班组加工，并以此作为检查依据，防止出错。

坡槽垫块加工数据见图10-10。

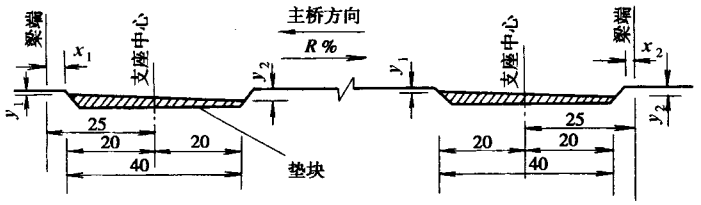


图10-10 坡槽垫块加工数据图(单位:cm)

坡槽垫块加工数据按以下公式计算：

$$y_1 = 2 - 20 \times xR\% \qquad x_1 = 5 - y_1$$

$$y_2 = 2 + 20 \times xR\% \qquad x_2 = 5 - y_2$$

式中：R——坡度取值档次。

表10-3为2号匝道桥部分T梁坡槽垫块加工数据的计算结果。

坡槽垫块加工数据 表10-3

R值范围	R取值	适用梁号	片数	数据(cm)			
				y_1	y_2	x_1	x_2
$+0.3 \leqslant R \leqslant +0.63$	+0.5	309～316	8	1.9	2.1	3.1	2.9
$+1.82 \leqslant R \leqslant +1.85$	+2.0	237～244	8	1.6	2.4	3.4	2.6
$+3.1 \leqslant R \leqslant +3.19$	+3.0	245～252	8	1.4	2.6	3.6	2.4
$+4.32 \leqslant R \leqslant +4.74$	+4.5	253～284	32	1.1	2.9	3.9	2.1
$-0.47 \leqslant R \leqslant -0.69$	-0.5	317～324	8	2.1	1.9	2.9	3.1
$-2.72 \leqslant R \leqslant +2.81$	-2.5	333～340	8	2.5	1.5	2.5	3.5
$-4.86 \leqslant R \leqslant -5.15$	-5.0	349～396	48	3.0	1.0	2.0	4.0

(4)端头模板

根据设计梁长和计算的坡槽处x_1、x_2值，决定定型底槽拼装长度和制作调节梁长的活动底模。这样梁身端模板在底模上的位置即可确定。

侧模拼装长度大于梁长，将梁身端模夹在左、右侧模之间，利用侧模上的螺孔和调节螺旋支撑。梁身端模板面板为木板，根据不同的锚头尺寸制作。

根据翼缘板端线与大梁中线间的夹角β，计算出翼缘板端模在中线处到梁身端部的距离，按照这个距离和夹角β，定出翼缘板端模的位置和外形尺寸。制作木模板，利用侧模螺栓孔和梁身端模进行支撑。

2)模板安装要点

(1)安装前清理板面刷脱模剂，底模口贴海绵条，防止漏浆。端侧模需要凿毛的部分可仔细地刷上一层缓凝剂，脱模后用水冲净、刷毛，也可露出新鲜混凝土面替代人工凿毛。

(2)底模及坡槽垫板检查，校对梁号。

(3)利用模板专用吊具，由塔吊吊运侧模，先距钢筋骨架30～50cm落下，再水平方向徐徐

靠近骨架就位支上斜撑。对钢筋骨架的临时木斜撑，要用一块钢模顶住。拆除时，先拆相应面上的斜撑，防止一次全拆导致骨架倾翻。

(4)侧模吊完后利用模板下面的垂直螺栓和斜撑螺栓调整顶面横坡，再调中线，然后再微调一次，上紧上、下水平拉杆和斜撑螺杆。

3.钢筋骨架及预应力管道的安装

1)钢筋骨架的制作

(1)骨架箍筋片在模具内绑扎，要做到尺寸标准规格统一。

(2)钢筋骨架成型绑扎。

钢筋骨架是在骨架拼装台的拼装架上进行的，拼装架的构造如图 10-11 所示。

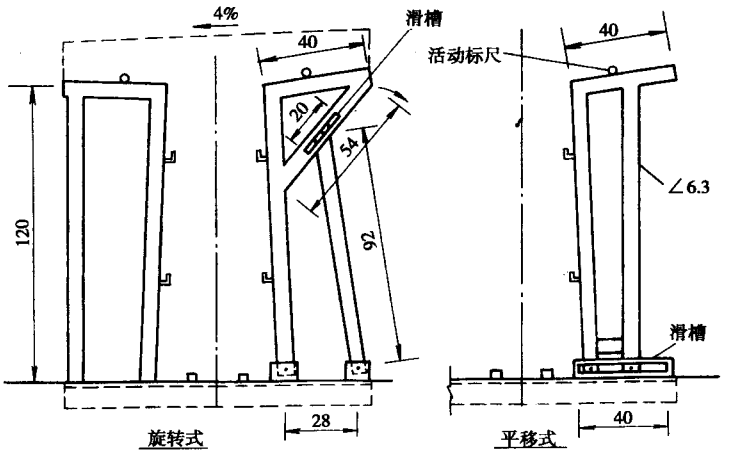


图 10-11　拼装架构造简图(单位:cm)

拼装架纵向间距 2m，设有活动标尺，可按梁长划线，具有适应大梁长度变化的特点。拼装架按顶板 -4%的横坡考虑，改变活动标尺管径即可适用于 -4.8%的骨架。因采取大梁调头的方式，故也适用于反横坡(即 +4%和 +4.8%)的骨架拼装。梁梗下大上小，拼装架一侧固定，一侧活动(旋转式和平移式)，拼装绑扎好的骨架也便于吊出。

绑扎丝扣要一顺一倒，留头尽量短(国外公司将绑扎丝留头剪掉)。塑料保护层垫块要垫均匀，梁两端钢筋密集，重量大，要多垫一些。

预应力管道有时就在骨架成型台上穿入，一般将骨架吊在立位台上再穿管。

(3)钢筋骨架的吊运入模。

每片梁的骨架重 2t 左右，两台龙门吊机通过 27m 长的钢制扁担梁(断面箱形，用[20 槽钢组合制成)吊运。扁担梁与骨架间用多根钢绳(间距 1.5m)连接，吊运时扭曲变形很小。

骨架待预应力管道安装好后，吊运入底模，纵向位置要放准确，箍筋片要垂直，待位置调好后四周支上木斜撑再松吊点。最后再检查一次管道坐标是否圆顺，吊运中有无错动，如有毛病应进行调整。

2)预应力管道安装与穿束

预应力管道纵坐标数值在图纸上是指从管道中心线到底模面的距离。实际施工时应减去管道半径，得出管道下缘至底模面的尺寸，印发给定位作业组进行坐标定位。这样尺寸容易掌握准确。采用的铁皮波纹管道，直径 65mm、72mm，套管直径 70mm、77mm。

管道要固定牢实，每隔 2～3m 要加焊一个半圆形的钢筋卡子以避免在浇筑混凝土时，管道移位。管道接口要对齐，套上套管后用胶带纸扎紧包裹严密。管道压浆进出口设在两端，用

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

ϕ3cm 软塑料管引出,接头处也应包扎严密。管道安好后进行穿束,钢绞线采用 S—11 型,每束 11 根(即每条管道内 11 根钢绞线)。

梁长不一样,设计的钢绞线束也不一样。梁长小于 14m 的为 2 束,梁长 14 ~ 25m 的为 3 束,梁长 25 ~ 27m 的为 4 束。

钢束一端为张拉锚头,另一端为死锚头,各束交错布置张拉锚头和死锚头。张拉端锚头型号为 VSL—5—12 TYPE EC。死锚头型号为 VSL—5—12 TYPE 11H。穿束使用穿束机,两端人员用电话联系。钢绞线前进端到位后,电话通知穿束机人员停机,并用手电锯切断钢绞线。钢绞线的预留长度应根据两端锚头需要的长度(包括张拉端千斤顶需要的长度)留足 0.75m。

穿束时必须注意安全,前进端管道口前禁止人员站立,不准操作人员探头窥视,操作人员必须精力集中,电话及时联系。死锚头端使用压花机成型。

4.混凝土浇筑与养生

1)T 梁混凝土浇筑

(1)混凝土要求

混凝土设计强度 55MPa,预应力张拉时混凝土强度不小于 48MPa。坍落度 6 ~ 10cm,粗骨料最大粒径 20mm。

(2)混凝土的运输与布料

混凝土从拌和站用 $7m^3$ 罐车(2 台)运到卸料台,放入吊斗内(两个自制的容量 $1m^3$ 和 $1.5m^3$交替使用),塔吊运送入仓。吊斗放料口距模板顶面 30cm 时放料,放料量由活门控制,分三层布料捣实。

(3)混凝土的振捣

采用内、外部振捣结合的方式,内部振捣器为转换器带动的高频低压振捣棒,直径 5 ~ 7cm,共 4 根。大梁两端锚头处,钢筋密集,箍筋间距不足 5cm,振捣棒难于插入。因此,在端部的左右侧模梁身 1/2 高处,各安 4 台附着式振捣器,进行外部振捣,效果较好。

操作人员站立在模板两侧搭设的活动浇筑平台上工作。

(4)表面抹平

为了便于桥面混凝土浇筑时安放梁间空缝上的石棉底板,需要将大梁翼缘板两侧,大梁伸出钢筋外边的顶板部分(宽约 3cm)抹平。顶板的其余部分按横坡压平拉毛即可。

2)T 梁养护

(1)1986 年 10 月 29 日以前,没有进行蒸汽养生,是在常温下浇水自然养生 7d,顶板盖海绵被,梁四周覆围麻布。因这段时间气温高,养生 2d 可达张拉时的强度 48MPa。

(2)低压蒸汽养护。

①养护设备采用 Buser 低压蒸汽锅炉:型号 330/T500;燃烧器:OE—3;水:每小时蒸发量 500kg;耗油量(轻柴油):25 ~ 30kg/h,全自动控制。

管道布置见预制场平面布置图。每个大梁底座下每端纵向两侧各布蒸汽管道 1 条,长 27m/2,喷汽孔直径 ϕ3mm 间距 60cm,各分管均安装截门。

大梁浇完压平后,在模板上横向旋转木枋,纵向搭钢管,放在木枋上的槽口内,再在上面覆盖厚蓬布,形成密闭的空间。

②蒸汽养护时间安排与温度控制。

蒸汽养护时间安排(循环周期 1d)见 T 梁蒸汽养护温度时间曲线(图 10-12)。

混凝土浇筑后静置时间,根据浇筑温度而定。温度与静置时间的乘积不少于 60 ~ 80h℃。

过早升温会因新浇的混凝土抗拉强度小，而引起微细裂纹产生。

升降温速度为 10 ~ 32℃/h，一般规定 24℃/h，最高蒸养温度为 80℃。

当蒸汽套内温度降低到大致与外界气温相等时拆去覆盖物。

温度计布置在距梁端 3 ~ 4m 的两侧 1/2 梁高处，共四个测点。升降温阶段半小时测一次，恒温阶段 1h 测一次。测温人员应与司炉密切配合工作，作好记录。

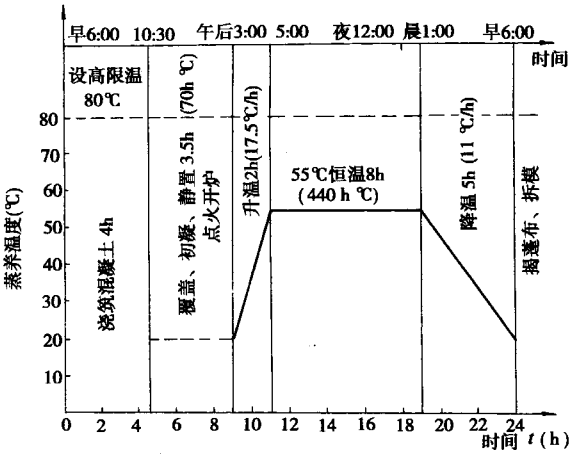


图 10-12　T 梁蒸汽养护温度时间曲线

③大梁试件的养护。

至少制作 3 组(9 块)试件。其中两组随梁养护，分放在测温点和梁中部顶板上。其中一组待蒸养完成降到外界气温后试压，其结果作为大梁张拉时的强度。另一组试件，蒸养完成之后，移到试验室内湿法养护到 28d 试压作为大梁 28d 强度。

第三组试件制作后入试验室内标准养护 28d 试压与蒸养后的试件 28d 强度比较。

掌握经蒸养后的混凝土的最终(28d)强度的情况。

施工中蒸养后的试件强度一般都在 50MPa 左右(即张拉时 T 梁混凝土强度)。

5.预应力钢束张拉与管道压浆

1)预应力钢束张拉

(1)T 梁钢束布置与张拉顺序

钢束布置见图 10-13，图中①②③④为钢束编号。

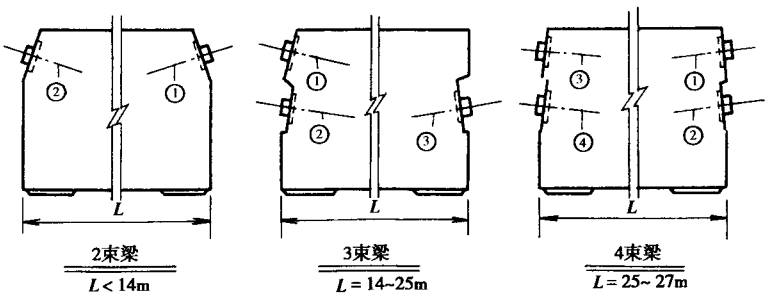


图 10-13　钢束布置图

张拉顺序：2 束梁同时张拉①和②束；3 束梁先同时张拉②和③束，再拉①束；4 束梁先同时张拉②和④束，再同时张拉①和③束。

(2)锚头与设备

张拉端锚头(包括夹片)：TYPE EC 5—12 Fptk 209；

张拉千斤顶：VSL ZPE 12/St2　2 台；

高压油泵：EHPS—3　1 台；

张拉千斤顶悬挂小龙门推车(自制)：2 台。

张拉千斤顶，在使用前必须编号标定，使用半年应检验一次。

(3)张拉油压表读数和钢束延伸量计算。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(4)张拉作业。

2)压浆

(1)压浆时间

T梁预应力张拉完成之后,即用龙门吊运至存放场,按规定张拉后8h~7d之内管道压浆。

(2)设备

压浆机(包括拌和)型号为VSL Mixer,最大压力:2MPa,排浆量:15L/min(1.5MPa)、35L/min(0.3MPa)。灰浆试验仪用于测定水泥浆流动度、膨胀和防水性。

(3)压浆作业与主桥相同,不再叙述。

6.预应力T梁预制工序循环周期时间安排、劳动组合与质量管理要点

1)编制旬工作计划

根据经理部下达的月计划,预制场要做出旬工作计划,交各工班组执行。在旬计划中除列出梁号和控制外形尺寸的数据外,必须列出特殊梁号的数据,合理安排底模周转,穿插预制,做到预制T梁既满足同孔梁预制时间不得相差14d以上的规定,又合理使用现有数量的坡槽底模避免加工改制工作量增大。如桥台和分岔墩上的活动支座,要求底模楔形坡槽尺寸加大。而这类型的槽口底模数量少,就需要在短期内穿插预制而不是按顺序号预制了。

表10-4为预制场旬T梁预制安排表之一。有了旬计划,10d之内每天的具体目标就明确了。

三队元月下旬T梁预制安排表 表10-4

浇筑日期	施工班组	梁号	梁长(m)	混凝土(m^3)	横坡(%)	采用纵坡(%)	匝孔	说明
16	A	706	26.046	18.17	-4.8	-3	$R_4$26	
	A	713	26.288	18.26	-4.8	-3.5	$R_4$27	匝桥向用450mm底槽
	B	707	25.927	18.10	-4.8	-3	$R_4$26	边梁埋泄水孔
17	A	702	26.524	18.52	-4.8	-3	$R_4$26	
	B	714	26.171	18.17	-4.8	-3.5	$R_4$27	匝桥向用450mm底槽
	B	703	26.404	18.43	-4.8	-3	$R_4$26	
18	A	704	26.285	18.35	-4.8	-3	$R_4$26	
	A	715	26.054	18.09	-4.8	-3.5	$R_4$27	匝桥向用450mm底槽
	B	700	26.763	18.69	-4.8	-3	$R_4$26	
19	A	699	26.882	18.77	-4.8	-3	$R_4$26	边梁
	B	716	25.937	18.01	-4.8	-3.5	$R_4$27	边梁埋泄水孔,匝桥向用450mm底槽
	B	701	26.643	18.60	-4.8	-3	$R_4$26	
20	A	325	26.080	18.20	+4.8	-1.5	$R_2$23	边梁埋泄水孔
	A	326	26.201	18.29	+4.8	-1.5	$R_2$23	
	B	327	26.321	18.37	+4.8	-1.5	$R_2$23	

续上表

浇筑日期	施工班组	梁　号	梁长（m）	混凝土（m^3）	横坡（%）	采用纵坡（%）	匝　孔	说　　明
21	A	328	26.442	18.46	+4.8	-1.5	$R_2$23	
	B	329	26.563	18.55	+4.8	-1.5	$R_2$23	
	B	330	26.683	18.63	+4.8	-1.5	$R_2$23	
22	A	331	26.804	18.72	+4.8	-1.5	$R_2$23	
	A	397	26.116	18.13	+4.8	-4	$R_2$32	边梁埋泄水孔，匝桥向用450mm底槽
	B	332	26.925	18.80	+4.8	-1.5	$R_2$23	边梁
23	A	333	26.086	18.21	+4.8	-2.5	$R_2$24	边梁埋泄水孔
	B	334	26.206	18.29	+4.8	-2.5	$R_2$24	
	B	335	26.327	18.38	+4.8	-2.5	$R_2$24	
24	A	336	26.448	18.46	+4.8	-2.5	$R_2$24	
	A	337	26.569	18.55	+4.8	-2.5	$R_2$24	
	B	338	26.689	18.63	+4.8	-2.5	$R_2$24	
25	A	339	26.810	18.72	+4.8	-2.5	$R_2$24	
	B	398	26.228	18.21	+4.8	-4	$R_2$32	匝桥向用450mm底槽
	B	340	26.931	18.81	+4.8	-2.5	$R_2$24	边梁

注：A——钢筋A组绑扎；B——钢筋B组绑扎。

2）预应力T梁预制工序循环周期时间安排

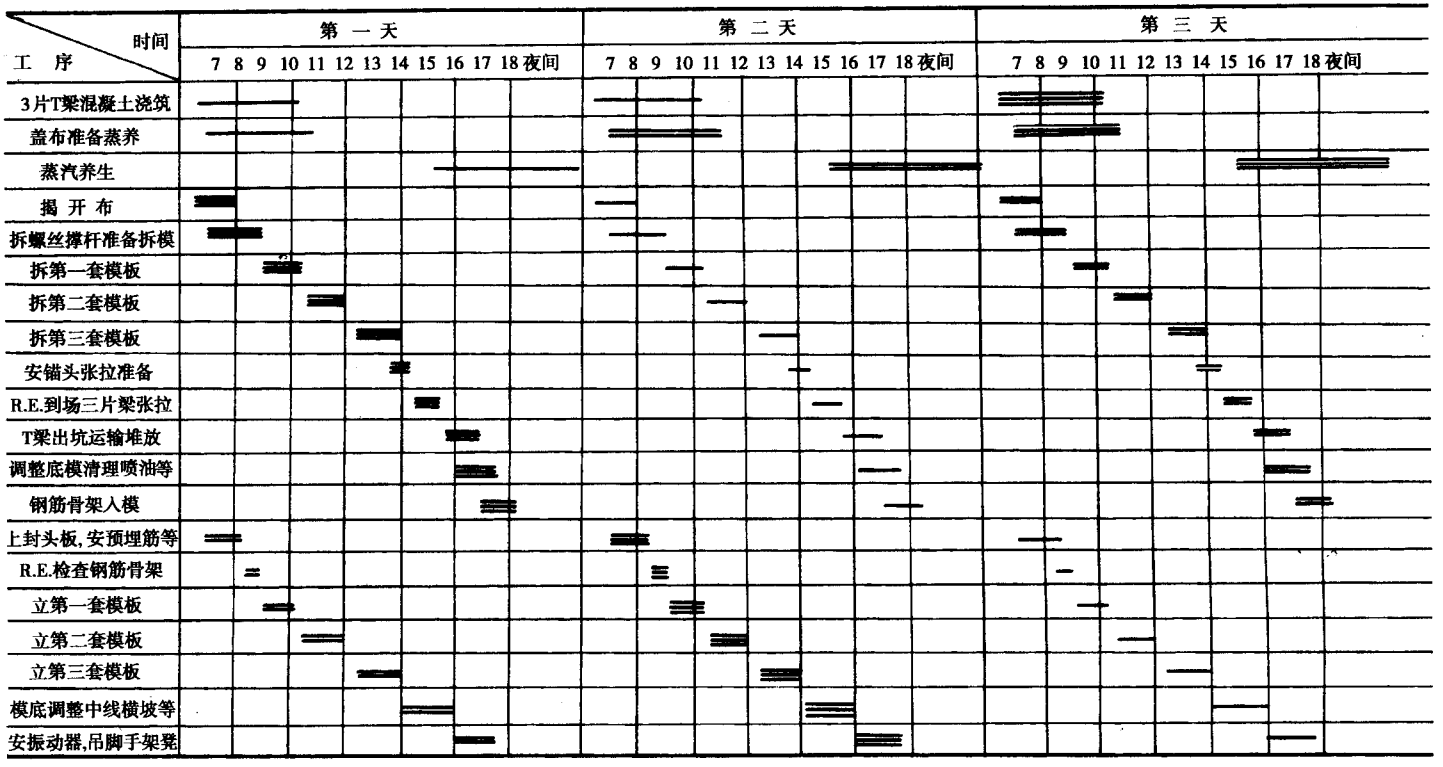
T梁预制是工厂化生产，受外界条件变化影响相对要少，工序周而复始地循环，生产有其自身的循环周期。根据预制场的现有设备和工作一段之后的经验分析，认为底模占用时间的长短是T梁生产进度的控制因素，为了加快T梁生产速度（由1d2片到1d3片）采用了蒸汽养护的办法，底模占用时间缩短为3d，其他工序均能满足底模只占用3d的进度需要。因此，我们将3d作为一个工序循环的周期按小时安排各工序的作业时间，就能保证一个底模3d生产一片T梁，9个底模，每天就能生产3片梁了。预应力T梁预制工序循环周期时间安排见表10-5。

3）劳动组合

根据T梁生产循环周期时间表要求的各工序的时间和从实际中摸索出来的劳动定额，对各作业班组实行定员、定岗位、定工作内容、定使用机械，要求每个班组的工作必须按时完成。如因气候和监理工程师检查耽误了时间，则必须加班赶出，这样就能保证按计划均衡生产了。劳动组合的实施情况是：工人基本上要按操作程序，有条理地、紧张地干上7h以上才能完成任务，达到了满负荷的要求。预应力T梁预制劳动组合、工作内容见表10-6。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

预应力T梁预制工序循环周期时间安排表(日产3片梁)　　表 10-5



注:①I组1号、2号、3号底模用"—"表示,II组4号、5号、6号底模用"="表示,III组7号、8号、9号底模用"≡"表示;

②本表仅安排上底模的工序循环时间,钢筋骨架拼装绑扎、束道坐标定位、穿束压花、封头模板和纵坡坡槽的加工改制等工序作业时间未列入,但这些工序每天都能按时完成任务,保证3片T梁的准时预制,压浆3d一次未列入本表;

③R.E为驻地工程师。

预应力T梁预制劳动组合、工作内容一览表　　表10-6

作业班组		人数	配备机械	工作内容
钢筋班	配料组	3	切断机一台	钢筋调运、解捆，根据配料单尺寸断切，分送到所用组，还负责梁头预埋筋和锚头螺旋筋绑扎，少量钢筋除锈等
	弯曲成型组	4	弯曲机两台	根据图纸尺寸，将钢筋弯曲成型
	绑片组	3		将弯曲成型的钢筋绑扎成T形箍筋片，装上料架，由铲车运往骨架拼装架处
	骨架拼装组分A、B两组	8		将T形箍筋片搬入拼装架穿进主筋和水平筋量好尺寸，对准位置绑扎成钢筋骨架。当日A组绑1片，B组绑2片；次日A组绑2片，B组绑1片。还负责钢筋保护层塑料绑块安放
	坐标组	4		三片梁束道坐标管的定位、绑扎，点焊固定及锚端处加强小钢筋笼的绑扎
木工班	加工	4		负责T梁封头板、纵坡坡槽、吊点处底模的加工，改制和修理，底模尺寸控制和拼装，底模的清理，贴胶纸喷油，封头模板的立拆，还有特殊型号梁模板的配制及其他木工活
	主模组分A、B两组	10		底模边贴防漏浆海棉条、拆模板、模板的清理、喷脱模剂、梁端侧刷缓凝剂、立模板、调中线及顶面横坡，浇混凝土时还负责值班。当日A组立1片模板，B组立2片；次日A组立2片，B组立1片
混凝土班		12	高频转换器3台、插入式振捣器4台、附着式振动器16台	每日上午负责3片T梁的浇筑，其工作有罐车放混凝土，浇筑台上扶斗、放料、混凝土摊平；振捣是内外结合，内用 $\phi5\sim\phi7$cm 的插入式，外挂16只附着式振动器。下午协助浇筑混凝土脚手凳，梁头横隔梁处水冲刷毛，取预埋螺帽及预制场场地的清扫等杂项工作
起重班	龙门组	4	跨径15m龙门一对	吊钢筋骨架上穿束台及骨架吊入底模，还有T梁的出坑运输和堆放，压浆养生后装车运走
	塔吊组	4	256HC塔吊1台	两个司机，两个指挥，每天分两班作业，任务是吊斗浇T梁混凝土，拆立模板和穿束机械、钢束、钢筋的吊移
张拉班		5	穿束机、压花机、张拉千斤顶、油泵	负责转运安放铁皮管束道、穿钢绞线、压花放螺旋筋、胶纸缠束道和锚头板连头、安锚头张拉等工作；还负责钢绞线的吊运、穿束张拉机械的就位，压浆时有1人开压浆机
养生班		7	T500低压锅炉2台	蒸汽养生分两班作业，每班2人，1人司炉，1人看温度填记录。另外3人负责盖油布，揭油布，油布的刷晒，修补更换等工作
其他		10		铲车、水工、电工、电焊工、机修工、技术人员直接为T梁预制服务
合计		78		

注：①T梁吊装、支座浇筑、小型构件预制的人员未列入本表内；

②压浆工作3d一次，张拉班1人开机，从支座浇筑等预制场外其他班组抽3人；定额只计1人，即2h完成。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

4)质量管理要点

匝道桥T梁生产对各工序而言,有其自身的质量要求,只要工人熟练之后,严格操作均能达到。而T梁类型及外型尺寸的变化极易导致出错,如出了差错将影响全盘各工序的工作,T梁可能报废。因此T梁生产的质量管理的要点是:按设计图上的梁号统一每片梁的各个工序进行生产,梁长度的控制,梁的纵横坡度控制。T梁生产质量管理的具体措施包括四个方面。

(1)熟悉图纸给准数据

匝道桥上部构造图纸200余张,技术人员和班长要逐张熟悉。在每批T梁生产前技术人员将梁的外形控制尺寸和特殊尺寸数据,填入旬工作计划内。工班可提前做好准备,安排加工。为防止700多片大梁生产重号或漏号,在图纸上要把已编入旬生产计划的梁号,写上生产日期作上记号,生产之后即行划掉。此项工作必须一人查记,他人复核,确保准确无误。

(2)按梁号编号挂牌生产

为了使T梁生产不致混乱,从钢筋骨架拼装绑扎起就挂上牌,牌上注明梁号、梁长、正负纵横坡度,边梁还需特别注明。牌随工序走,一直保存到拆模、张拉、压浆。底模拼好后也编上号,用胶纸贴在底模头上,骨架对号入座。在T梁出场前还在梁上喷油漆永久标志(英文),内容为梁号、浇筑日期、张拉日期和压浆日期。标志的位置(除上游侧边梁外)一律在T梁安装上桥后的主桥向上游端侧边,方向即西北角(上游边梁因美观起见在西南角),在预制场标志作在东南角(上游边梁为东北角)的梁都要调头。挂牌编号保证了梁号不乱、吊装易找。

(3)梁长控制

梁长由三个环节控制。按旬计划表内的梁号和数据,第一是查底模拼装长度;第二是在钢筋骨架拼装台上检查骨架长度;第三是在骨架吊上底模时,质检人员、木工、钢筋工三方人员会齐,按图核对。这样就能防止长度差错。

(4)梁的纵横坡度控制

首先将纵、横坡符号约定,从主桥向匝道桥方向看,纵坡上坡为"+"下坡为"-";横坡右下坡(观察者方向)为"+",左下坡为"-"。

预制场大梁底座方向与主桥纵方向近于平行。钢筋骨架拼装台是按1号匝道桥的大梁上桥方向制作的,即是"-"横坡。为不改动拼装台,"+"横坡的骨架也在上面成型。入底模时骨架也不调头,纵横坡要适应的话,在底模坡槽内的垫块坡度方向就要和同符号纵坡的"-"横坡梁方向相反。这样纵横坡度就适应了。凡是"+"横坡的梁,在预制场内的方向与上桥安装方向相反,在作永久标志时应喷在大梁东南角(如系上游边梁则在东北角),吊装时调头。

为了使底模坡槽垫块方向和永久标志方向正确,而且又直观,需列出大梁纵横坡度与底槽坡向、永久标志位置的关系表,交木工加工组负责底槽垫块的人员使用(见表10-7)。

大梁纵横坡度与底槽坡向、永久标志位置的关系 表10-7

纵横坡符号		底槽坡向	T梁侧永久标志位置	T梁吊装是否调头	备注
纵	横				
-	-	西	西北角	不调	从主桥看匝桥
-	+	东	东南角	调头	纵坡:上坡"+",下坡"-"
+	-	东	西北角	不调	横坡:右下坡"+",左下坡"-"
+	+	西	东南角	调头	上游边梁的标志南北互换

由于采取了上述措施,全部大梁预制没有出现梁号错位、重号、漏号现象,外形尺寸和坡度

也都正确无误。

二、摩苏尔五桥T梁吊装施工

1.吊装方案

1)匝道桥有关吊装施工的数据

上部结构型式:预应力T型简支梁;

T梁数量:716片;

长度:12.2~27m;

最大梁重:48t;

匝道桥桥跨孔数:72孔(分为4个匝道);

桥宽:10.5~29.6m(安装宽度);

安装高度:3~18m;

桥梁纵坡:-5.15%~+4.74%;

平曲线半径:最小275m、最大472m;

桥梁岔口数:3;

桥梁立交层数:2层(24匝桥立交);

斜交孔跨角度:45°;

地面环境:旱地,平坦。

2)吊装方案的比较与选择

开始讨论吊装方案时,曾有三个方案,即跨墩龙门;桥下运梁,桥上导梁起吊横移就位;吊车吊装。用匝道桥的有关数据与各方案的适用条件一比较就得出了结论。由于匝道多,高、宽度变化大,平面上分岔和双层立交的限制,跨墩龙门方案失去了优越性。只有吊车吊梁的方案能适应匝道桥的上述特点,能够做到安全、经济、快速地施工。吊车吊梁采用一机吊梁还是双机抬吊,经过对进场路况和场地便道承载力考察及对今后机械的使用率考虑,选用了用2台55t液压履带吊车吊梁的方案。

3)吊装机具设备

55t液压履带吊车(型号:P&H,5055A)	2台
50t运梁拖车(工地改制)	1台
电焊机	1台
吊具	2付
千斤顶(5t)	2个
边梁支撑夹具(型钢自制)	2付
方木撑木	若干

2.劳动组合与工效

施工人数:共12人。其中吊梁指挥1人,吊车司机2人,拖车司机1人,大梁装车2人,拖车跟车1人,大梁安装就位4人(每端2人),电焊工1人。

工效:平均运距500m,9片大梁的孔跨(特殊地段每孔8片),半天安装一孔。

3.吊装作业

1)作业程序(见图10-14)

2)特殊孔跨大梁的安装

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

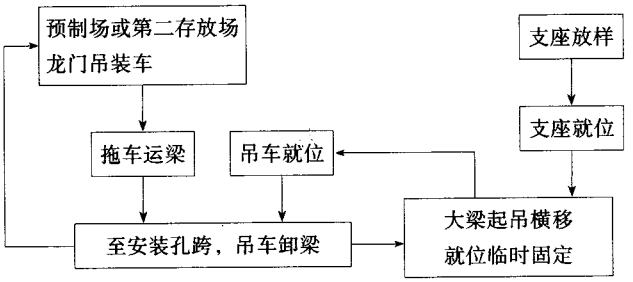


图 10-14　吊装作业程序

(1)过渡段第二、三孔在 15°斜坡上吊梁(见图 10-15)

过渡段第二、三孔外侧紧靠通往主桥的便道，填土高，坡脚侵占了孔跨的一半，路基不能挖断，只得在孔跨内修一填土斜坡，让吊车在吊梁横移时行走。按规定不允许在斜坡上进行吊装作业，但经分析认为：吊车为全液压操纵，起吊、转向、行走均很平稳，无冲击现象，转向刹车可靠，行走系统液压马达功率大爬坡能力强，且自锁性很好；设备先进加上制定严密的措施，谨慎操作，是可以在这 15°的斜坡上吊大梁的(该两孔大梁质量为 39t)。采取的措施是：①大梁起吊时，尽量把位置对准，避免就位时转向太大；需要转向时，两台吊车不得同时进行，交替小幅度转向互相制约；②防止吊车意外溜坡，在履带后面用枋木打掩。利用先进设备，采取有效措施，实行谨慎的操作，完成了这两孔的吊装。

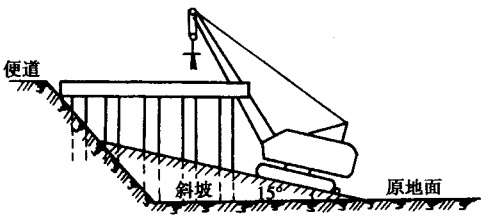


图 10-15　吊车在斜坡上吊装

(2)2 号和 4 号匝道桥双层立交孔跨大梁的安装

2 号匝道桥 18 号孔与 4 号匝道桥 18 号孔立体交叉。2 号匝道桥在上，吊装高度 16.5m；4 号匝道桥吊装高度 10m。先安装 2 号匝道桥大梁。为了减少大梁吊高横移的距离，先由外侧进梁，吊车起吊后退使大梁横移就位，见图 10-16。

2 号匝道桥 18 号孔其他各片梁的吊装，一台吊车卸车位置受 4 号匝道桥 17 号墩的限制，只得位于梁端头横着吊，横移时也只好在该孔外侧紧贴 17 号墩运行，如图 10-17 所示。这样吊梁，必须根据 17 号墩大梁安装的高度、吊点距盖梁中心的距离、盖梁宽度等数据，算准吊车需要的扒杆长度和吊车距墩(17 号)的距离。在实地按计算的数据拼接扒杆和平整吊车车道放置吊车。大梁起吊后尽量使梁底紧贴盖梁横移，而且注意观察，不得让扒杆碰上盖梁(计算时已考虑，但吊装时也必须观察)。

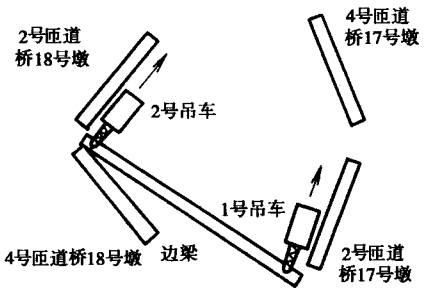


图 10-16　双层立交孔跨大梁的安装示意图(一)

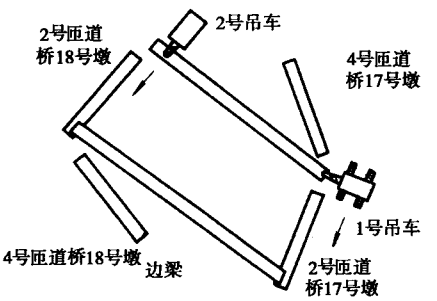


图 10-17　双层立交孔跨大梁的安装示意图(二)

4 号匝道桥大梁则将吊车扒杆减短，同 2 号匝道桥一样吊梁。

(3)斜交桥上斜梁的安装

2号匝道桥上跨越连接路的19、20、21孔均为斜交，梁与墩成45°。梁中线与墩中线一端为锐角，另一端为钝角。1号吊车处于锐角位置，如采用通常的施工方法，把梁吊起之后，达不到安装高度，大梁便和扒杆相撞，大梁也几乎就在1号吊车的驾驶室上方，司机既不安全，也无法观察(见图10-18)。

在这种情况下，就不能按其他孔跨那样布置吊车了。也只能如立交桥跨一样，吊车一横一顺布置，将处于锐角位置的吊车放在孔跨外横吊。因2号匝道桥19号墩外侧地势低，20号墩外侧在路基上，高而平整，故梁从外侧进入，2号吊车位于20号墩外侧横吊(见图10-19)。

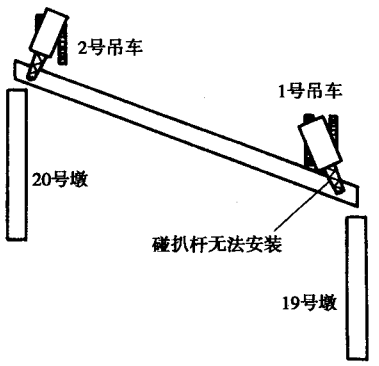


图10-18　斜交桥上斜梁的安装示意图(一)

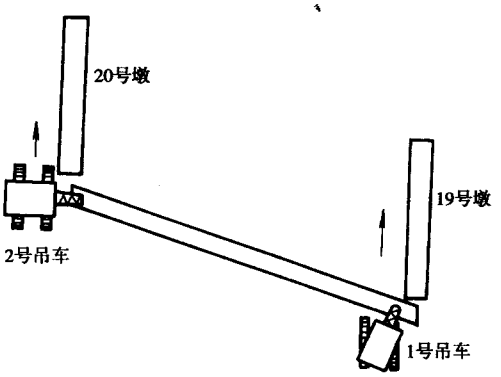


图10-19　斜交桥上斜梁的安装示意图(二)

(4)桥台上最后一孔大梁的吊装

因桥台施工时，台背填土已到盖梁底，但台前填土仅为修筑锥坡考虑，宽度不足以走行吊车，台后有耳墙，无法在台后安放吊车，只有将台前填土加宽临时供吊车横移大梁时使用。由于填土较高，放坡运梁拖车后车轮又靠不到吊车跟前，吊点位置超出吊车起吊半径，将吊车走行道路横向延长展缓坡度，又受场地限制，只好尽量将拖车向台前退车，让台前吊车吊辐尽量减小，稳定系数不小于1。将梁稍稍提起(10cm以下)，同时起扒杆把梁往车前拉动，拖车和另一吊车吊着(不吊起)也顺着向桥台方向移动，直到台前吊车吊幅在允许的起吊半径之内。这时两台吊车可同时将梁提起，拖车退出(见图10-20)。

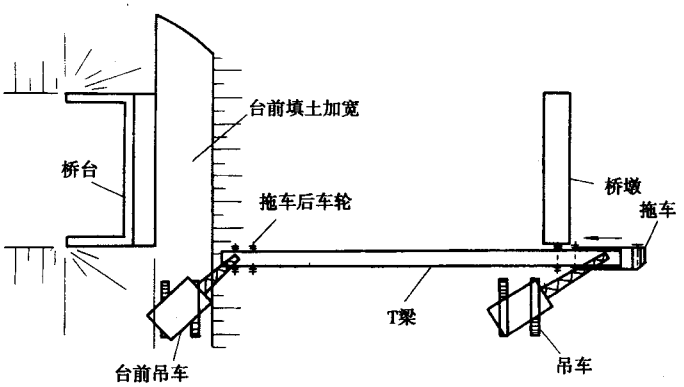


图10-20　桥台上最后一孔大梁的吊装示意图

3)吊车吊装应注意的问题

吊车安装大梁除了需要统一指挥，严格遵守操作规程，坚持吊前试车、检查之外，还需要注意以下几点：

(1)吊车的技术状况必须保证完好，绝不能带着隐患工作，严防吊装过程中出现停车事故；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(2)吊车驾驶员素质一定要好,富有经验;由于提升、运行、转向、操纵等工作由驾驶员一人完成,工作中必须全神贯注,认真负责,一丝不苟,服从指挥;

(3)吊前指挥必须针对吊高、吊重、吊幅的数据,计算吊车扒杆拼接长度、起吊半径;和司机一起在现场落实吊车位置、运行路线、相互配合,共同检查吊装现场清理和地基压实的情况。

第二节　山区弯坡桥预应力混凝土工字梁架设

一、工程概况

北京八达岭高速公路石佛寺4号桥全桥总长995m,共32跨,跨径长度有35m、25m、30m三种;幅宽由7片主梁组成,桥面总宽13m,桥墩最高达26m,平面半径最小仅为190m。该桥一面紧靠山,另一面是排洪用的关沟,关沟与山体之间只有一条7m宽的旧路,有4个桥墩正位于山顶上,同时还要跨两道铁路及三道公路,在这种情况下使用吊车吊装是不可能的。根据进度需要,我们采用两种吊装方法:①跨墩高低脚龙门、双导梁法;②墩上墩下高低脚龙门法。

二、跨墩高低脚龙门、双导梁架设法

施工照片如图10-21～图10-23所示。

图10-21　施工照片(一)

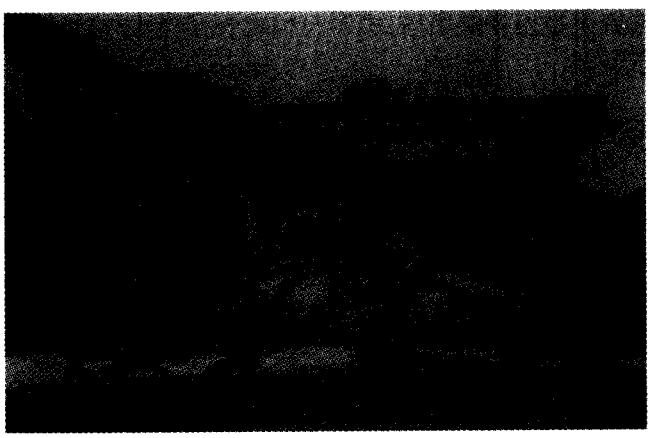


图10-22　施工照片(二)

图 10-23　施工照片(三)

1.架梁机具的选用及必要的验算

1)龙门架

根据现场的实际情况和现有机具设备的情况,选择了高低脚跨墩龙门,外侧龙门支脚比内侧高 2.0m,横梁呈水平状态,龙门架的导轨为 1%的坡度。其断面形式如图 10-24 所示。

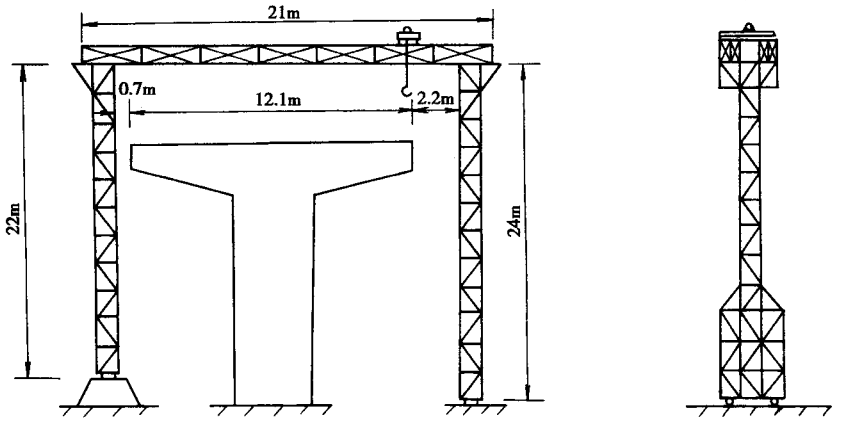


图 10-24　龙门架断面形式

龙门架的支脚采用万能杆件拼装而成,单元件的长度为 2.0m,上横梁用贝雷片拼装,每个断面有 6 组贝雷片。

(1)对上横梁进行受力验算

工字梁作用于横梁上的重量:300kN(按最重的工字梁 600kN 计算);

工字梁吊装时的冲击力:$300 \times 25\% = 75\text{kN}$;

施工时的临时荷载及自重:$2.7 \times 6 \times 7 + 60 = 173.4\text{kN}$(其中:每片贝雷重 2.7kN,共 $6 \times 7 = 42$ 片,小平车、销子、花窗等共按 60kN 计算)。

$$\sum P = 300 + 75 + 173.4 = 548.4(\text{kN})$$

施工时最大弯矩:$M = \dfrac{\sum PL}{4} = \dfrac{548.4 \times 18}{4} = 2467.8\text{kNm}$(其中:18m 为横梁的支点间距离)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

施工时最大剪力：$$Q=\frac{\sum P}{2}=274.2\text{kN}$$

经查，可知：

采用6片贝雷片时：$[M_0]=6\times975=5850\text{kNm}$，$[Q]=6\times150=900\text{kN}$

因$[M_0]>M$、$[Q]>Q$，故安全。

(2)龙门架的支脚为万能杆件拼装而成的桁架结构，主要承受压力，根据以往的经验，强度足够，不必验算。

(3)运梁平车及吊梁用的平车均按600kN进行考虑。卷扬机为50kN，其下是6组滑轮组。

(4)钢丝绳的选用：钢丝绳的安全系数取5。

工字梁底放一钢轴，两边用钢丝绳挂上来升降大梁，最小断面处绳为两根。

则每根绳受力：$\frac{300+75}{2}=187.5\text{kN}$

选用$6\times37\phi1.8\text{mm}$的多根钢丝绳。

允许拉力：$P=945\text{kN}$

钢丝绳承受最大拉力：$5\times187.5=937.5\text{kN}<P$，满足要求。

2)双导梁架桥机

双导梁全长87m，由于工字梁处于反向曲线上，半径为300m，双导梁只能处于直线状态，则导梁在盖梁处的相对位置最大偏差为1.50m。

为了能够保证导梁的前支点在盖梁上及后支点在工字梁上，两个导梁之间的间距定为7m。双导梁架桥机的拼装如图10-25所示。

每组导梁由3排单层和双层(中支点段)贝雷桁梁组成，其验算同龙门架的横梁，最大弯矩及剪力均小于相应的允许值。

上横梁由I50a工字钢组成，每个横梁有两根工字钢。

通过查《材料力学》可知：

$$\text{I50a工字钢}[\sigma]=160\text{MPa}、W_x=2\times1\,860=3720\text{cm}^3=3.72\times10^{-3}\text{m}^3$$

$$[M]=[\sigma]W_x=595\text{kN}\cdot\text{m}$$

施工中最大弯矩为：

$$M=\frac{375\times7}{4\times2}=328\text{kN}\cdot\text{m}$$

因$[M]>M$，故安全。

3)运梁平车

每个运梁平车均按载重600kN进行设计制作，平车的轨距为3.5m，使轨道正好落在两片工字梁的轴线上。

2.施工程序

1)施工现场(如图10-26所示)

2)施工顺序

由于龙门架置于27～28号墩之间，故最先吊装第28跨的工字梁。另外由于第24、30跨受铁路的限制，双导梁只能在桥上拼装，不能在路基上拼装；又由于双导梁长87m，最少要有两跨吊装就位后才能拼装。根据实际地形情况，我们选择了吊装第27跨。

先往上(上坡)吊装29、30、31跨，再往下(下坡)吊装26～16跨。第30跨为钢箱梁，共三箱，均为敞口式，吊装就位后，需进行横向联结，盖小盖板，浇筑桥面混凝土，养生。所有工序完

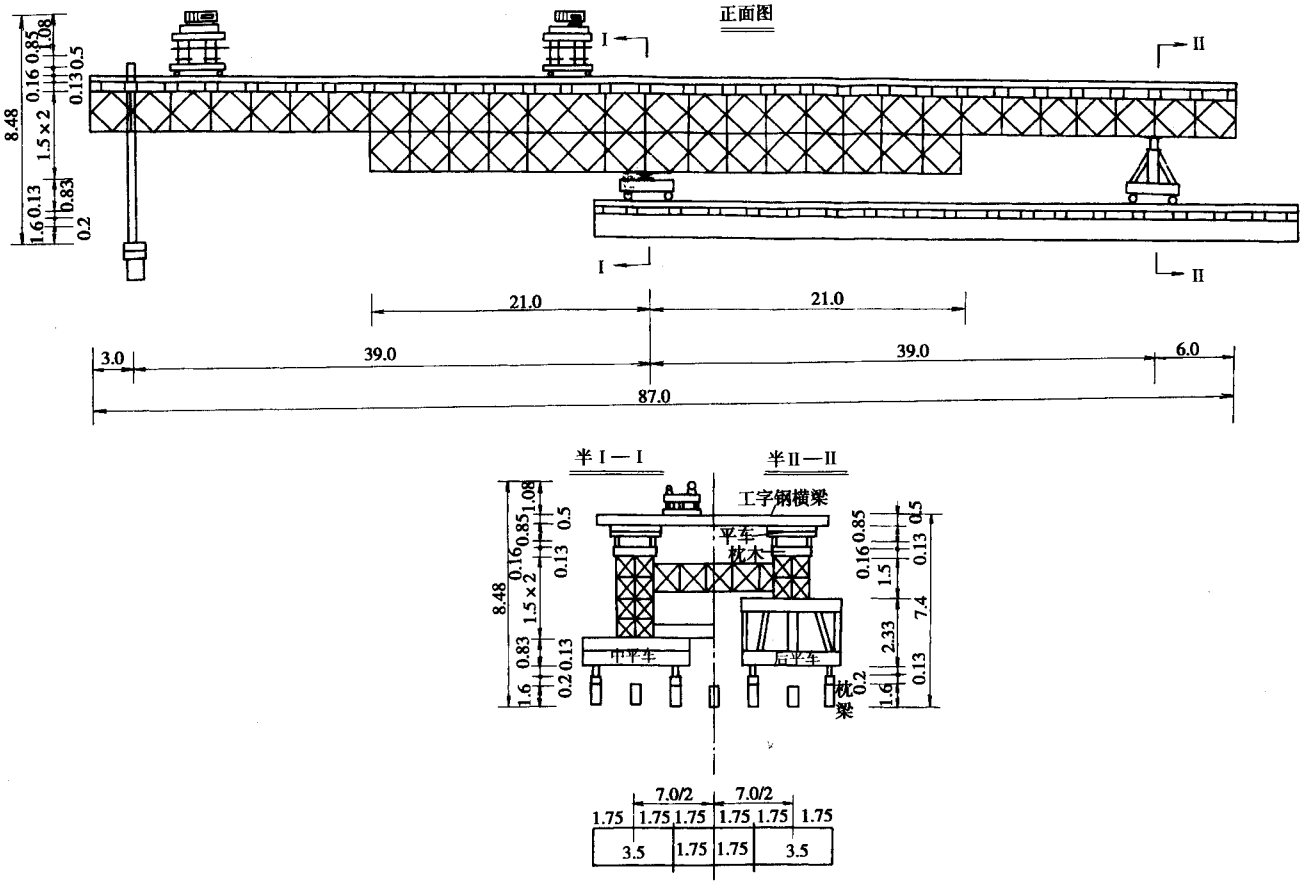


图 10-25　架桥拼装示意图(单位:m)

注:①本图按架桥机在直线上,纵横坡为平坡时的情况下;

②架桥机各部位所用的卷扬机、钢丝绳等均未示出;

③送梁平车未示,送梁平车轨距 3.5m,其左右轨道分别以架桥机每组轨道中靠近桥中心的一股轨道作为其轨道。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

成后至少需要 15d 的时间，但吊梁工期总共只有 60d，不允许等 15d 后再吊装下一孔。另外，为

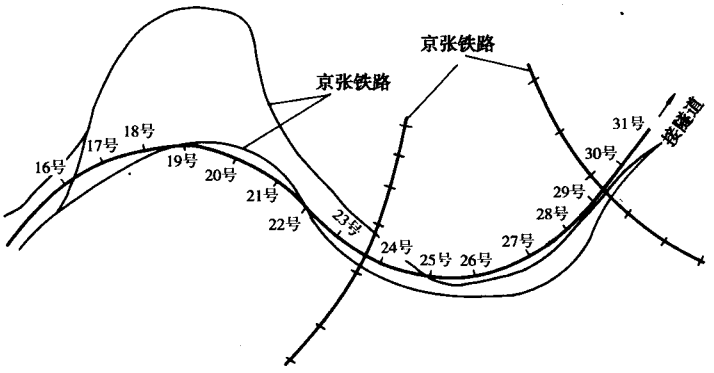


图 10-26　石佛寺四号桥部分施工现场示意图

了不影响铁路的营运，跨铁路的两跨尽量放在一起吊装。故最后确定的施工顺序为：29、30 跨吊装完成后，倒过头来顺坡而下吊装 26～16 跨，第 31 跨用吊车进行吊装。

由于 27、28 跨可以直接用龙门吊将工字梁就位，进行由中间往两边的对称吊装。

其余 14 跨用双导梁进行吊装，双导梁之间的宽度为 7m，而盖梁的宽度为 12.8m，显然 2 片边梁和 2 片中梁不能直接就位，还要进行第二次横移，吊装顺序相应地改变为外边 2 片工字梁（包括一片边梁、一片中梁）对称横移就位，然后中间的 3 片工字梁直接对称就位。

3）施工工艺流程

（1）第 27、28 跨大梁吊装

两端吊车就位 —试吊→ 起吊大梁 —2.0m 高→ 横移大梁 —拖车就位→ 落梁、装车 —前行、倒车→ 运至龙门架下（与桥轴线平行）—试吊后提升→ 提升至高于盖梁 20cm —横移→ 至大梁安装位置就位 → 横隔梁联结，临时加固 —验收检查→ 落吊钩，准备下一片大梁。

（2）其余 14 跨

大梁两端吊车就位 —试吊→ 起吊大梁 —2.0m 高→ 横移大梁 —拖车就位→ 落梁、装车 —前行、倒车→ 运至龙门架下（要求与桥轴线平行）—试吊后提升→ 提升至高于工字梁 100cm —横移→ 至运梁平车位置就位 —临时加固→ 运至双导梁处 —起吊→ 纵移至大梁安装孔径 —横移→ 至大梁安装位置 → 就位 —放在导轨上→ 人工横移 —至大梁安装位置→ 顶起工字梁 —撤去导轨→ 调整就位 → 横向、纵向联结 —验收检查→ 准备下一片大梁 —一孔完成后→ 铺小盖板、顶层钢筋联结 —铺导轨→ 双导梁前移 → 准备下一孔工字梁。

（3）工字梁人工在盖梁上的横移及落梁

由于双导梁不能直接将两片边梁和两片中梁吊装就位，需在盖梁上进行横移。横移前在盖梁上铺钢轨，在钢轨上放一槽钢，在槽钢与钢轨之间放置四氟乙烯板，二者之间刷黄油以减小摩阻力。用双导梁将梁放在槽钢上，然后用手拉葫芦拉动梁下的槽钢，在钢轨上作相对运动，从而带动梁横向移动。为了便于撤走钢轨及枕木，同侧的两片梁一起横移。

横移就位后，在每个梁端的梁底上套一个钢板制作的“马鞍”，“马鞍”的每侧各放一个千斤顶，通过升调千斤顶达到起梁及落梁的目的。

4）施工技术及安全保证措施

（1）梁的桥下运输

由于预制场地的限制，35m 梁在山上预制，30m 梁在山下预制。运梁路线只能走山路，弯

急路陡，最大坡度在6%以上。

30m梁运输用两头牵引的拖车，并有一台50t轮胎吊随行，遇到急弯处需用吊车吊起一端拐弯。35m梁运输用一辆拖车运输，ZL50装载机牵引。另外为防止工字梁的侧弯，拖车上均做了夹具。

(2)架桥机纵横坡的调整

桥梁的纵坡为3.952%，为了使架桥机受力合理，调整了前支脚及后平车的高度，并做成2%的斜坡，从而使架桥机纵坡为2%。

盖梁横坡最大为4%，在每组导梁下的平车上进行调整，使架桥机呈水平状态。

由于调整后的架桥机仍有2%的纵坡，为防止运梁时前滑，运行系统改为齿轮啮合并有自锁系统，且在双导梁的端部增加了防撞块。

(3)运梁平车

除平车上对梁必要的固结系统外，由于3.952%纵坡的影响，产生往前2.4t的滑动力，在末端用5t的卷扬机拉住，这样降低了行走部分的速度，便于在弯道部分的调整位置以及使产生的离心力最小，防止工字梁的侧向变形。

(4)其他保证措施

①制定安装操作规程及安全措施，专门成立了吊装小组，负责整个大梁的运输、吊装施工，同时健全岗位责任制，做到人员落实，责任落实。

②充分做好各项准备工作，如大梁的检查、编号、设备的检修、电器电路的检查、各项安全制度的落实检查等。

③通过试吊来最后检查各项工作的准备情况。

④与铁路部门联系配合，以保证跨铁路孔吊装大梁的安全。

三、墩上墩下高低脚龙门架设法

采用“六四式军用桥墩”的杆件作为立柱，用贝雷片拼装成横梁，此方案的优点是适应靠山体的小半径桥跨，易于整体拼装、拆卸，分跨施工；缺点是每个墩都得拆装一次，费工费料。工字梁安装施工照片如图10-27～图10-29所示。

1.龙门架型式及特点

图10-27　30m跨高低脚门架

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

图 10-28　30m 门架吊具杠杆梁安装

图 10-29　大梁卸车

高低脚龙门架一脚高，支在路上，另一脚低，支在盖梁上，如图 10-30 所示。设计跨径有 16m 和 30m 两种，横梁采用贝雷桁架拼装，低脚龙门支在盖梁上是经过设计院验算的，受力符合要求。

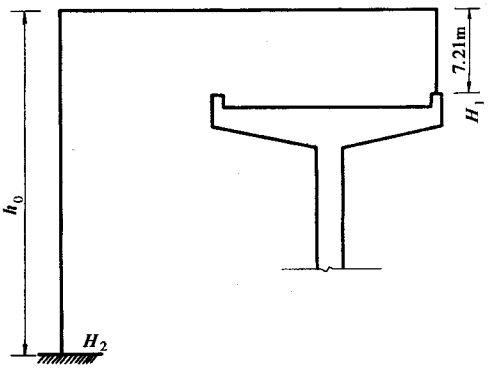


图 10-30　高低脚龙门架示意图

1)立柱

立柱有 1.21m 和 4.47m 两种。立柱的 1/4 剖面是用两根[30 槽钢互对，然后焊上护板闭合成箱式构件，用 4 组构件拼成整个立柱。

2)龙门架在曲线上的考虑

由于此桥是弯桥，两相邻盖梁呈“八”字形，所以考虑到如果将门架横梁安装成与梁平行，那么势必造成里窄外宽，在梁平移时，会对门架产生极大的水平力。鉴于这种情况，只得让门架横梁与外边梁垂直，而内外边梁差用吊具的孔位来调节。

3)龙门架高度设计

首先根据实际情况推算出梁底到龙门架底的高差,总高为3.8m,然后再推算龙门架底到盖梁顶的净高。需考虑的问题有:

(1)由于桥是弯桥,且纵坡为3.952%,所以肯定会遇到越梁的问题;

(2)梁在起高或平移过程中,还可能遇到越盖梁上挡块的问题,梁在起高以后的净空至少要保证0.5m,将这几个因素全部考虑进去,盖梁到龙门架的净空最小要保持7.1m;用一节4.47m长柱和两节1.21m短柱拼接起来,下面加一个0.3m厚的枕梁,总高度为7.21m,符合设计要求。

4)横梁与立柱、立柱与基础、枕梁与盖梁的连接

(1)横梁与立柱的连接采用固接形式,主要是因为短腿一侧仅有两根立柱支在盖梁上,两根立柱悬空;如果采用绞接形式,龙门架就不能承受较大的水平力,所以采用固接形式。

(2)立柱与基础的连接是在事先打好的基础上钻孔,安装螺栓,然后灌入环氧树脂砂浆,等到安装立柱时,把立柱上的法兰盘对好螺栓,拧紧螺丝。

①立柱长度。

由于原路的纵坡与桥纵坡不一致,且相差很大,所以高立柱共分5长2短、6长2短、5长3短及6长1短四种组合形式,具体使用哪一种视地面标高及盖梁标高而定。

②立柱基础。

首先推算出基础的设计标高 $H_2 = H_1 + 7.21 - h_0$,如图10-30所示。其平面尺寸定为6.20m×3.00m和8.20m×4.50m两种形式,采用C25片石混凝土现浇,厚度不小于1.2m,基础底还可加一层钢筋网片,以确保基础的稳定。

(3)短立柱下的枕梁与盖梁的连接是靠事先在盖梁上预埋钢筋与枕梁焊在一起,以保证其整体刚度。

5)横梁

横梁采用贝雷片拼装,每两片拼成一组,为保证其刚度,在贝雷桁架的中间通长焊上工字钢,如图10-31所示。两组贝雷桁架之间用角钢做横向连接,以增加其刚度和稳定性。

2.吊具特点

梁的提升采用横梁上的平车下挂滑轮组,为了解决弯道上的梁内外长度不一样且吊装产生水平力的问题,特设计上下扁担及杠杆梁吊具。

1)上下扁担

上下扁担是由两根I28工字钢加工而成的,上下扁担中间挂两个4门滑车。上下扁担与杠杆梁组合吊具如图10-32所示。

2)杠杆梁

因此桥是弯桥,最小半径190m,内外梁长差最大可达1.6m,门架须平行设置,所以吊梁时门架要受到水平拉力的作用,需设计一个扁担梁或杠杆梁来调节梁的不等长问题。又因扁担梁过于笨重,就设计了由两根I28工字钢加工而成的杠杆梁,如图10-33所示。使用时可以用杠杆上的销子孔来调节两吊点之间的距离,解决了内外边梁长度差的问题。具体调节方法如下:例如吊第11跨,内外梁长为30.24m和29.64m,梁长差为60cm;吊第一片时可将销子孔插入"0"孔位,因为从"0"孔位到"A"孔位正好是1.2m,而吊点也正好离端头1.2m,从而保证了门架不受水平力作用;吊第二片时,根据梁长差孔位就要换到"+1"孔位。

3)连接板和夹具

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

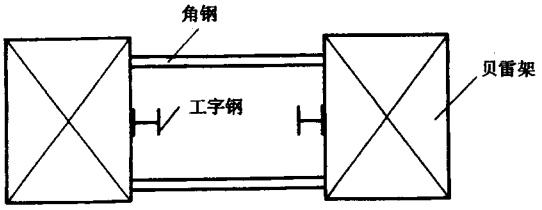


图 10-31　龙门架横梁断面示意图

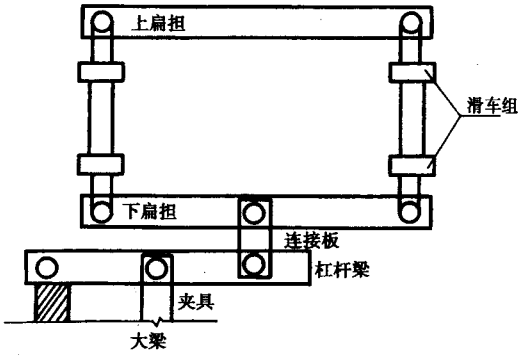


图 10-32　吊具示意图

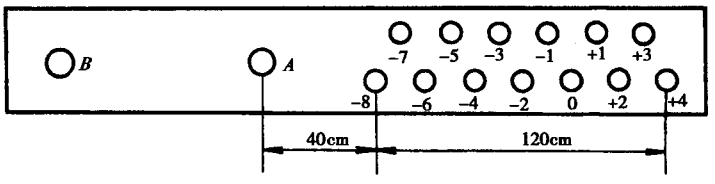


图 10-33　杠杆梁示意图

扁担梁和杠杆之间的连接用两块厚 20mm 的钢板，两头各焊一块护板。夹具也是用由两块 20mm 厚的钢板焊成的，全部是用销子连接。为使连接板不向内移动，用一根钢管套在销子上以支撑连接板。为使夹具上的销子不受太大的弯矩，给销子做一个底托。连接板、夹具、销子底托如图 10-34 所示。

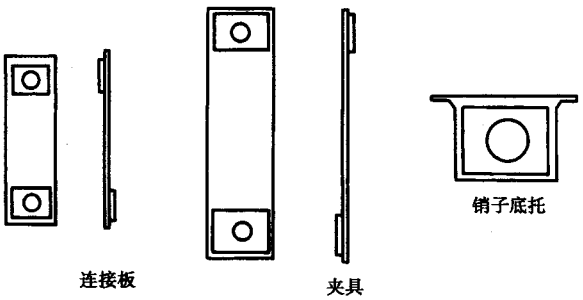


图 10-34　连接板、夹具和销子底托

3.横移系统的设计

采用龙门架横梁上的小平车移梁，为使小车能平稳地移到梁的位置上，我们采取了以下措施：

1)卷扬机两边的绳等长；

2)在小平车的两侧各装一个 2 门滑轮组，穿绳时一边采用“二二走三”，另一边采用“二二走四”的穿法，这样可以加大平移小车所需的力；同时，减缓小平车的运行速度，保证小车的安全行驶。

横移系统平面布置如图 10-35 所示。

4.起重系统的设计

卷扬机采用 5t 慢速带倒相开关的，钢丝绳用 6×37ϕ1.8mm 的，起重滑车采用 4 门吊环型滑车，规格为 HQD4—20 型。

起重系统构造如图 10-36 所示。

5.门架及吊具计算

高低脚龙门架和吊具，按其受力进行内力及变位计算和截面验算。

6.门架的安装

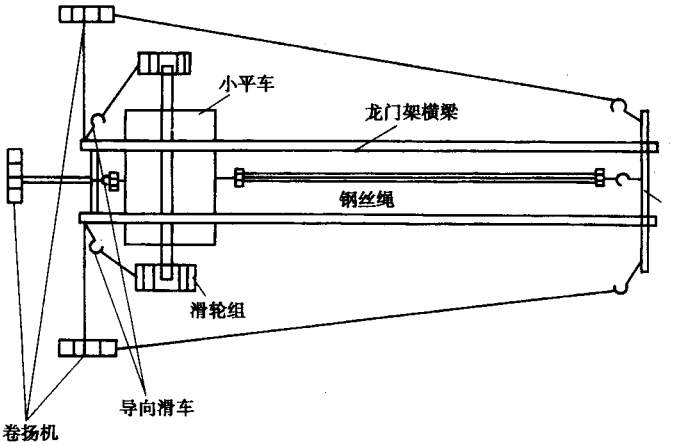


图 10-35　横移系统示意图

1)立柱

首先把立柱及平联斜撑按一定模式拼成许多单元,用吊车吊起其中一个放到已放好样的基础或盖梁上,然后根据立柱上法兰盘孔位钻孔,灌入环氧树脂砂浆,立即插入螺杆,拧紧螺母,然后再装其他单元。此过程中,法兰盘要对正,每个螺丝都要拧紧。

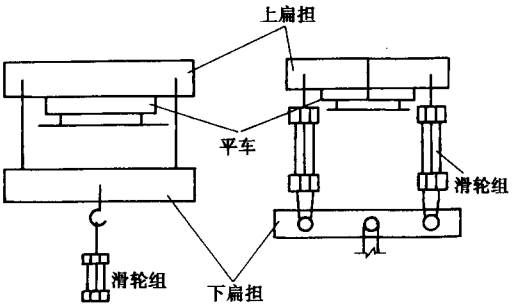


图 10-36　起重系统示意图

2)横梁

立柱装好后就可以安装横梁,横梁是用贝雷片安装成的,每组重 19t,高度达 30m,用 220t 吊车来吊装。吊装时要注意以下几点:①法兰盘的位置要对正;②为避免小平车走不到最外边梁的位置上,横梁钢丝绳固定端的距离要足够;③安装支撑时要边量边装,以免长度不合适。

3)起重系统

(1)卷扬机的固定

由于卷扬机有 2m 多宽,所以两台起重卷扬机均放在横梁上是不可能的,只得放在地面上。这样就需要更多的钢丝绳和导向滑车,稳固时还要注意卷筒要与导向滑车垂直,以免发生压绳。后端用钢丝绳固定牢,以免发生事故。每台卷扬机均配备两个导向滑车,均用钢丝绳缠绕在钢立柱上。选择导向滑车位置时注意不要磨绳,如图 10-37 所示。

(2)穿钢丝绳

将绳锁在横梁的另一头,平移时不用松卷扬机,不需负重平移,这样做保证了安全,提高了效率。

4)横移系统

一个横移系统需要 5 个 2 门滑车,如图 10-38 所示。安装时注意滑车要用钢丝绳缠绕好,以免脱落。焊接的地方焊缝要饱满密实,同时还要注意穿绳时不能磨绳。

7.吊装过程中遇到的问题及解决办法

1)卷扬机的转速太快,使小平车的运行不太稳定,时不时撞击门架,为安全起见,只得换了一台慢速卷扬机。

2)卷扬机筒与钢丝绳不垂直造成压绳,用一个单门导向滑车拉住钢丝绳,使之与卷筒

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

垂直。

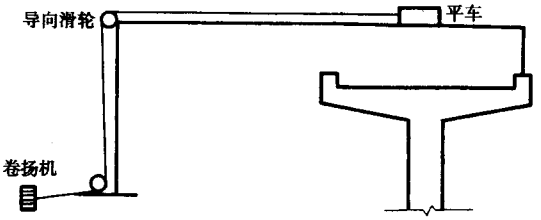


图 10-37　卷扬机固定示意图

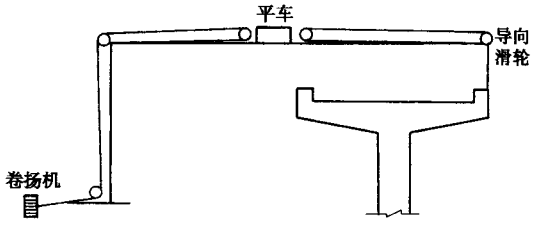


图 10-38　横移系统示意图

3)夹具开始是用 10mm 厚的钢板加工而成的,使用时由于钢板太薄,当梁发生倾斜时夹板被压弯,只得换用 20mm 厚的钢板,并在表面焊两条角钢,以加强其刚度。

4)所用滑轮是未经养护的旧滑轮,所以上梁时发出"吱吱"的响声,浇入机油后仍不能改观,换一个新滑轮后才解决问题。

5)由于扁担梁孔位太多,给加工带来了很大困难,为更快地解决,用气割割孔,才得以顺利完成。

6)由于一套门架需法兰盘 21 块,每块法兰盘上有 21 个孔,只得买了两台磁力钻。

7)大梁就位时,有时大梁偏向一头 30cm,不得不用升一头、降一头的办法解决。

8)缆风绳的位置起初放在立柱中间位置,为确保安全,把缆风绳拴在最高点,且每个立柱栓 4 根。

第三节　预应力空心板预制安装

一、工程概况

同三线宁波段四合同渔郎岸大桥全长 1 524m,上部结构为 76 孔跨径为 20m 的先张预应力空心板。四合同还承担另外 6 座大中桥 20m 空心板的预制安装任务。

二、先张预应力空心板的预制

1.场地布置

为压缩施工用地,节约开支,尽可能利用永久征地。将水泥库、拌和站、砂石存放厂均设在渔郎岸桥的桥位下。在 5 ~ 15 孔桥位北侧借地 $150 \times 50 = 7500m^2$ 作为预制场地。场内设 6 条生产线,每条生产线可一次生产 20m 先张预应力空心板 5 片,6 条生产线流水作业,交叉施工,基本上达到了每 6d 一个周期。

2.生产工艺及质量

1)预制底座

为调整纵、横坡度,空心板端头底部 40cm 范围内三角垫层高度 H_i 为变量,如图 10-39 所示。因此空心板底座也应设置出相应变量的三角垫块以满足设计要求。

预制底座采用混凝土,底座表层 2cm 采用水磨石磨平,保证了外观质量,且造价低。渔郎岸特大桥预制厂设底座 6 排,每排宽 1.24m,长 110m。

2)张拉方法

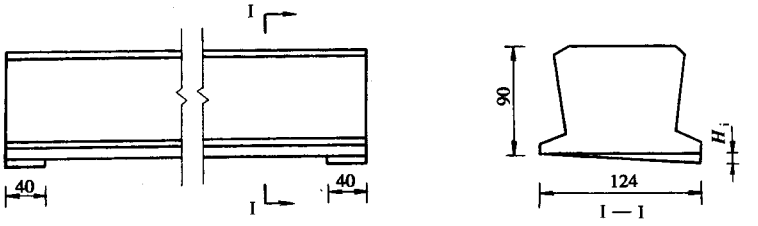


图 10-39　空心板端头底部 40cm 三角垫层高度 H_1 示意图(单位:cm)

长线台座生产先张预应力空心板,采用整体张拉、整体松张的张拉工艺。利用两台YCT300型千斤顶在张拉端整体张拉、放张,同时为节约钢绞线,采用螺丝端杆连接器,如图10-40所示。

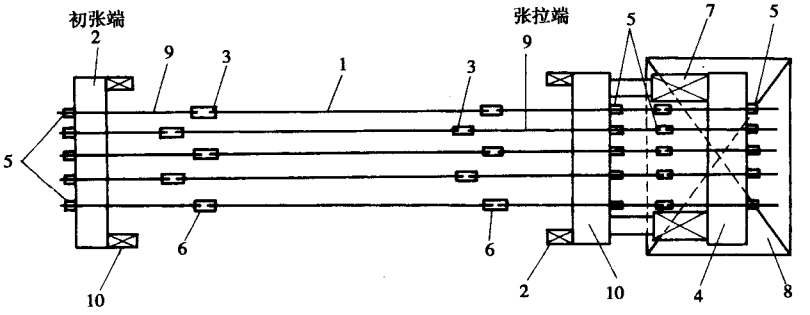


图 10-40　整体张拉示意图

1-钢绞线;2-钢横梁;3-工作夹具;4-移动横梁;5-螺帽;6-连接器;7-千斤顶;8-移动平车;9-螺丝端杆;10-承压柱

千斤顶整体张拉顺序如下:首先,在初张端进行预拉,预拉应力为20%的设计应力,目的是调整各束钢绞线的初始应力达到一致,便于整体张拉;预拉用200型油泵及YC—18型穿心式千斤顶进行;其后,上安全保护夹板,检查连接器连接情况无问题后,在张拉端用ZB10/320-4/800B型超高压二级电动油泵及两台YCT300型千斤顶整体张拉;一台油泵带动两台千斤顶使应力保持一致,按施工技术规范的规定张拉直到张拉完毕、锚固;然后,进行下一槽的张拉。为了使千斤顶及横梁的移动方便,在张拉端设置张拉坑,移动横梁固定在移动平车上,如图10-41所示。移动平车的设置,使千斤顶很方便地在6槽底座间循环使用,加快了施工进度。

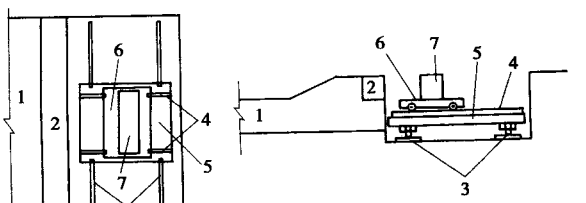


图 10-41　张拉坑及移动平车示意图

1-预制底座;2-钢横梁;3-下平车导轨;4-上平车导轨;5-下平车;6-上平车;7-移动横梁

张拉时采用螺丝端杆,每根钢绞线节约长度为2.5+2+1=5.5m(其中,两端螺丝端杆长度为2.5+2=4.5m,穿心张拉需留1m以便穿心锚固),每槽5片同时张拉,每片16根钢绞线,共节约钢绞线5.5×16×437×1.129=43.43t,节约费用达5%。

3)支拆模板、混凝土浇筑设备

渔郎岸特大桥预制厂根据占地少的特点,利用原有废旧型钢,设计拼装一台小型偏心吊装门架,顶部设一台1t电动葫芦,运行于出梁门架内,用于支拆模板及浇筑混凝土。门架布置如图10-42所示。

4)预应力放张

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

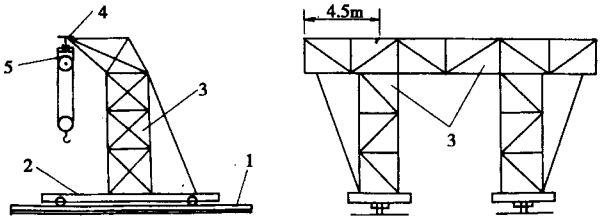


图 10-42　门架示意图

1-导轨;2-门架座;3-门架;4-I36 型钢;5-1t 电动葫芦

预应力放张按施工技术规范的规定采用大吨位千斤顶整体放张。放张过程中由于钢绞线的回缩,板体由放张端向锚固端产生较大位移(放张端第一片位移量达到35cm 左右),梁端三角垫层离开底座凹槽时对梁体及底座产生较大的剪切力,导致梁端或混凝土底座受剪破坏。

为了减少梁体和混凝土底座的破坏,保证施工质量和进度,将混凝土底座阻碍梁体位移的凹槽作成一定坡度,以减小梁体位移时三角垫块与底座凹槽间的剪切力,从而达到保护梁体及混凝土底座不受剪切破坏的目的。

三、空心板的吊装

采用跨墩龙门架上桥,在桥上用装载机牵引平车运梁,双导梁架桥机全桥整幅吊装。

1.空心板梁出坑上桥

预制场空心板出坑上桥平面布置见图 10-43。

预制场纵向与渔郎岸大桥平行,为便于上桥,在集中存放空心板附近的右半桥 7 号墩在完成桩基施工后暂不施工下部构造,留出上梁的通道口,存放的空心板均通过此口平移到桥位内,利用跨墩龙门架起吊上桥。为解决轨道交叉干扰,因地制宜,在轨道交叉处两龙门架轨道上方铺设装拆便捷的活动轨道。活动轨道长 3m,平时卸除,保证两龙门架畅道;横移空心板时,装上活动轨道,用后再卸除。

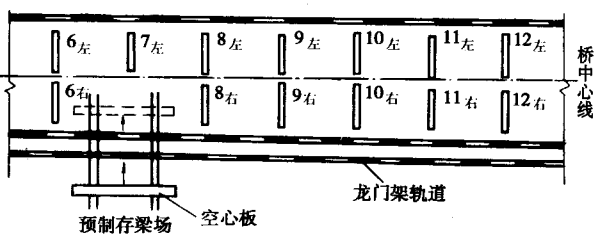


图 10-43　空心板出坑上桥示意图

2.双导梁架桥机

在弯桥上,双幅一次架设空心板到位,同单幅架设比较,无论是在工期上,投入上,安全质量上,双幅吊装都优于单幅吊装。但怎样才能克服超高、弯道和同一墩柱左右半桥前后梁长度不同的难点,是架桥机设计的关键。架桥机横梁长 30m,由 4 片贝雷组成,见图 10-44。两纵梁中到中间距 21m,纵梁由两排贝雷组成,上下设加强弦杆长度 51m,见图 10-45。

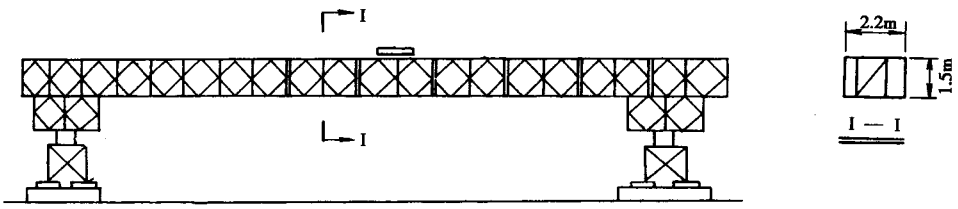


图 10-44　架桥机横梁示意图

超高问题通过支点调整标高解决。架桥机转向和纵导梁异步行走综合考虑,将架桥机的滚动支点调整一个所需的转角,移位时,架桥机就会按所需方向水平转动,实现架桥机转向。纵梁的异步行走,当行走其中一道纵梁时要求另一道纵梁保持不动状态,整个架桥机各部位结构尺寸,不因纵梁移动而变形,要求有足够的刚度和稳定性。应强调纵梁上的横梁要定位,又

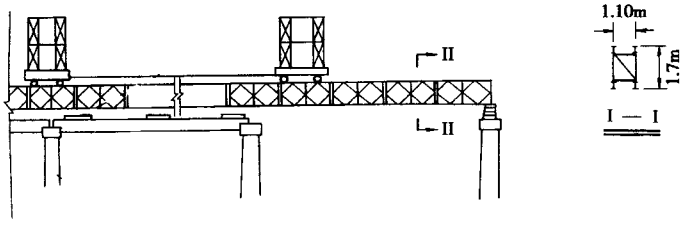


图 10-45　架桥机纵梁示意图

不影响下面的纵梁前移。

在架桥机纵梁尾部各固定一个 1.5t 以上的卷扬机，牵引横梁在纵梁上前后行走就位（纵横梁间要设滑道滑轮）。当某一孔空心板就位后，架桥机在安装下一孔前，需要前移纵梁时，将横梁紧固在已就位好的空心板上，开动纵梁上的卷扬机向后牵引横梁，因横梁固定不动，将迫使纵梁连同卷扬机一同向前移动，达到前移纵梁的目的，同时又解决了纵梁的异步行走问题（分别开动某一纵梁上的卷扬机，则纵梁分别向前行走）。

3.空心板的桥上运输和安装就位

空心板断面近似于矩形，且宽度大于高度，顶面平整，就位后稳固。浇筑绞缝混凝土后，可在上面行车。利用这一便利条件，取消以往在桥上用大量的枕木导轨铺设运梁轨道，卷扬机牵引运输的传统方法，改用装载机直接在桥上牵引运输。同时装载机在桥上可配合装移部分架桥设备，减少了其他吊装设备；装载机掉头所需转弯半径小，掉头方便，可在桥上任意转向，是弯桥上运梁的最佳选择。安装就位与传统的双导梁安装就位方法相同。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第十一章　预应力混凝土连续箱梁施工

第一节　移动模架(滑模)法

滑移式钢梁模架(简称滑模)施工,就是采用大型自行曳行的滑模设备,现场整孔全断面一次浇筑,逐跨推进,完成桥梁施工。它适宜修建50m左右的跨径,且桥长较长(宜800m以上)的等截面连续梁桥(平曲线半径不小于700米)。滑模施工在国外20世纪70年代中期就开始使用,国内于1988年首次在厦门大桥使用。采用滑模施工无需在跨间设置落地支架,而是用整跨架空钢梁来支撑模架,在现场完成模板安装、调整、钢筋绑扎、混凝土浇筑、张拉及养生等一系列工艺后,纵移钢梁模架逐孔施工。

一、工艺原理及特点

1.工艺原理

所谓滑模,就是在待浇混凝土的箱梁两侧各设置一根承重钢箱梁来支承模板、梁重和各种施工荷载,钢箱梁前后端设有钢桁导梁,钢箱梁和钢桁导梁各节段均用高强螺栓拼接,钢箱梁和导梁底部装有不锈钢带,使钢箱梁和导梁可在滑撬的四氟板上滑行。浇筑箱梁混凝土时,钢箱梁前端导梁支承于前方桥墩上,后端支承于已浇混凝土梁段的悬臂端上,中部支承在中墩处临时钢支架上。当一跨梁段张拉完毕后,落下滑模,卸下底模,并用滑模内设的液压牵引系统,牵引滑模纵移至下一跨。内模为液压式自装自卸分节模板,在混凝土箱梁底板顶面预置的轻轨上纵向牵引就位。箱梁混凝土均系全断面一次浇筑成型。

2.滑模施工特点

1)每孔仅在1/5跨径处设一道垂直施工缝,因而混凝土箱梁的整体性能好,施工时的受力状态与使用阶段相近似。

2)上部结构几何形状(即平曲线竖曲线的变化)易于调整,浇筑好的梁体平顺,线型美观。

3)模板、钢筋、混凝土主张拉等成套工艺都是在模架上完成,施工不受桥下限制,占用施工场地较少。

4)桥梁上下部可同时施工(下部只要超前3~4孔)。

5)结构简单,布束合理,节省材料。

6)工序循环周期性强,施工方便,管理程序化、标准化,施工速度快捷,且质量易于保证。

7)施工机械化程度高,节省劳力,减轻劳动强度。

二、施工工艺流程及操作要点

1.施工工艺流程(见图11-1)

2.操作要点

1)准备工作

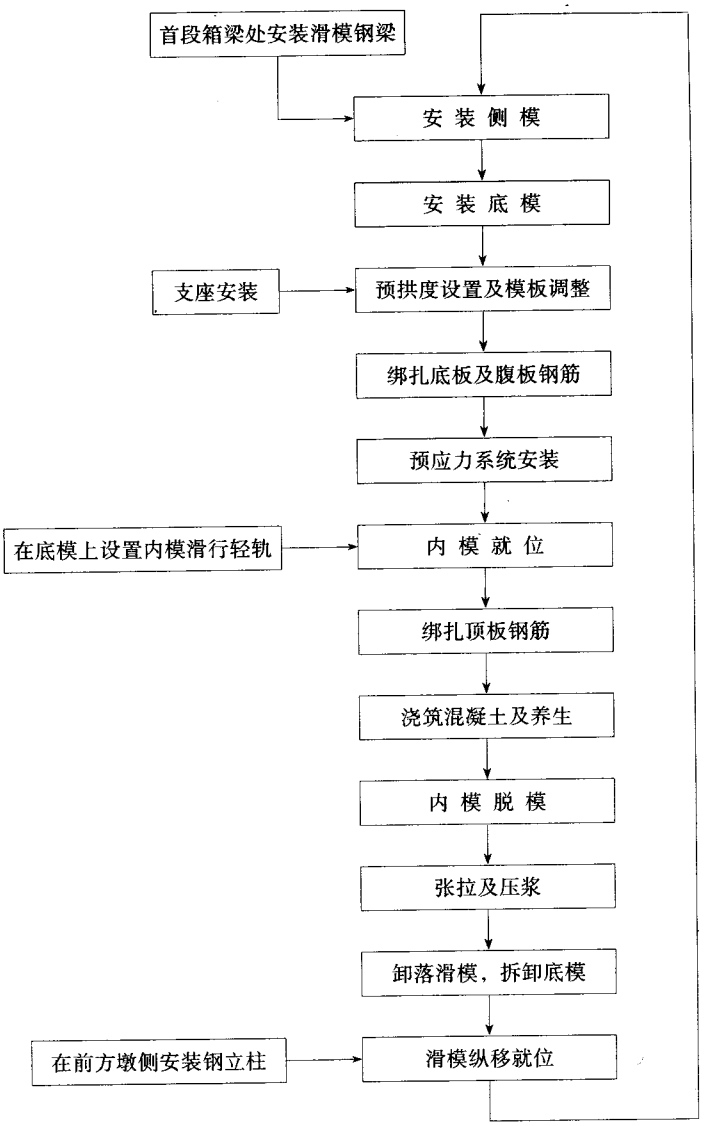


图 11-1　预应力混凝土连续箱梁滑模施工工艺流程

(1)滑模钢梁拼装

在首段混凝土箱梁浇筑前进行拼装，拼装工作场地约需 30m × 60m。拼装前应根据浇筑梁段的跨径和工作缝的位置，确定滑模中支点钢箱梁的加固位置，然后用工字钢或厚钢板满焊加固。滑模前导梁可在首段浇筑孔内拼装，然后将滑模前移，拼装后导梁，最后将滑模向前牵引在浇筑孔内就位。

(2)钢立柱安装

钢立柱是滑模钢箱梁的临时支撑，它承受着钢箱及箱梁混凝土的重量，因此技术要求严格。钢立柱下的混凝土垫块是用来支撑和调整钢立柱使用高度的临时结构物，要按计算高度提前浇筑或预制安装。

(3)中钢横梁的安装

在桥墩浇筑过程中，顺桥向水平位置预留 2 束 5 ~ 12 钢束管道(管道多少取决于受力情

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

况)。在管内穿好钢绞线,将位于墩身前后的钢横梁张拉锚固,使中钢横梁与墩身及钢立柱连成整体,以提高钢立柱抵抗水平力的能力。

(4)托架滑撬

墩身两端钢立柱顶上安置托架,它放在纵梁上,以高强螺栓与纵梁相连,纵梁则与中钢横梁栓接。每个托架上安装 3 000kN 和 1 000kN 千斤顶各 2 台,以千斤顶顶升钢箱至浇筑箱梁的正确位置。在托架上纵向相距 1.6m 安装两组滑撬,在每组滑撬上再安装两组各 2 块聚四氟乙烯滑板。

(5)前后钢横梁安装

浇筑孔前方墩顶设支架式前钢横梁,滑模前钢桁导梁吊起支撑在前钢横梁上。后钢横梁设于浇筑孔后方已浇筑悬臂段端部,用吊杆吊起支撑滑模钢箱梁后端和后钢桁导梁。

2)侧模安装就位

将侧模悬挂在滑模钢箱上,侧模就位实际上是将两侧钢箱通过横向滑移装置向内侧滑至设计要求位置,以待安装底模。

3)安装底模

当钢箱及侧模就位后,将底模对号入座,逐块安装于侧模上。安装过程中,要注意底模与侧模连接处的平整度,销子要安装牢固。对于两块底模之间的间隙,要用木板和防水胶合板嵌紧,以防漏浆。

4)支座安装

此项工作要在已做好的支座垫石上进行。

(1)根据箱梁混凝土收缩徐变、弹性变形、气温影响以及施工过程中箱梁的临时固定支座的设置,计算确定支座上滑板预偏值。

(2)将支座混凝土垫石凿毛,在其上铺 2 ~ 3cm 厚与墩身标号相同的砂浆,然后立即将支座吊装就位,调整好标高后,并用砂浆填满捣实。锚固螺栓孔内的砂浆也同样捣固密实。

5)预拱度设置及模板调整

当侧模及底模安装就位后,要调整各支点处的模板纵向标高,使钢箱模板处于浇筑混凝土时的正确位置,与此同时设置好预拱度。预拱度的设置由安装在钢箱上的垫块和侧模连接处钢框架支撑立柱上的调整螺栓来完成,预拱度值由综合计算分析而定,预拱度理论值的计算主要考虑如下因素:

(1)钢箱的弹性变形;

(2)恒载;

(3)混凝土梁产生的弹塑性变形;

(4)支点沉降。

后方施工接缝处的侧横与底模,要通过后钢横梁和钢箱梁吊顶使之与已浇混凝土密贴,并用海绵条堵漏。

6)绑扎底板及腹板钢筋

钢筋绑扎按设计及施工规范要求进行。在底板钢筋绑扎同时,要沿底模纵向安放两排混凝土预制块轨道座垫,并通过预留孔用螺栓将该座垫与底模固定;然后在底板钢筋绑扎完成后在座垫上铺设两道轻轨,轨道铺设完毕,开始腹板钢筋绑扎。在箱梁腹板钢筋绑扎接近完成时,要按设计图要求的位置,绑扎纵向预应力束管道定位筋,然后安装管道。管道要平顺,接长部分要用胶带纸裹紧。定位钢筋要编号,并与箱梁模板号相对应,其焊接位置由管道坐标计算

而定。钢筋绑扎完成后要进行检查验收,合格后方可进行下道工序。

7)预应力系统施工

将钢绞线和穿束机等运到施工现场,放置在已完成的桥面上;将钢绞线从预应力管道一端穿至另一端。穿束时,两端工作人员要密切配合,控制好张拉预留长度(一般 60~80cm)。当穿到位置后,用手提式电动砂轮锯将钢绞线垂直切断。一束钢绞线全部穿完后,要顺序完成锚固头的制作、联接器的安装、压浆管出浆管设置等工作。

8)内模就位

首段箱梁的内模可由吊车直接吊入,以后各段内模就位均利用滑模前导梁的卷扬机,沿内模轨道拖拉就位。内模就位后,利用各自的液压系统调整好内模板标高和外形尺寸,并用防浮螺栓将每节内模与底模上的混凝土预制块固定。内模与侧模间距用方柱形混凝土预制块加以控制。内模安装好并检查合格后,方可进行下一道工序。

9)顶板钢筋绑扎

顶板钢筋绑扎要按设计及施工规范要求进行。绑扎过程中,同时按要求安装顶板预应力管道及压浆管、出浆管等。

10)箱梁混凝土浇筑

混凝土浇筑采用泵送。其顺序为:首段梁从后端开始向前浇筑,其余各段均从前端向后端浇筑。每段梁横断面混凝土浇筑顺序为先浇底板,再浇腹板,最后浇顶板。

(1)底板混凝土浇筑

底板混凝土一般领先腹板混凝土 1.0~2.0m,浇筑时泵车输送管道通过内模预留窗口,将混凝土送入底板。下料时,一次数量不宜太多,并且要及时振捣,尤其边角处必须填满混凝土并振捣密实,以防浇筑腹板混凝土时冒浆。振捣时,先用插入式振捣器,然后用平板式振捣器将底板混凝土振平。振捣完,喷洒养生剂养生。

(2)腹板混凝土浇筑

当超前浇筑的底板混凝土刚接近初凝(一般浇筑完 2h 左右)时,即开始斜层浇筑腹板混凝土。两侧腹板混凝土要同步进行,以保持模板支架受力均衡。每层混凝土浇筑厚度不得超过 50cm,且要振捣密实,严禁漏振和过振现象。振捣器采用插入式高频振捣器,每层混凝土必须在初凝之前及时覆盖新的混凝土,以确保腹板混凝土的连续性。

(3)顶板混凝土的浇筑

当腹板浇筑到箱梁腋部后,开始浇筑顶板混凝土。其浇筑顺序为先浇中间,后浇两侧翼缘板,但两侧翼板要同步进行。振捣时,先用插入式振捣器,再用行夯进行振捣整平。为控制桥面标高,必须按两侧模板标线高度进行混凝土浇筑。

在完成第二次抹面后,立即喷洒养生剂,覆盖养生。当混凝土达到初凝后,根据气候情况,另外采用塑料布、草袋或土工布覆盖并洒水养生。

(4)混凝土的技术要求

设计规范要求预应力混凝土的强度等级不得低于 40MPa。因此以 50MPa 为例,指出箱梁混凝土泵送施工的技术要求。

①强度:不得低于设计强度 50MPa。

②水灰比:宜小于 0.4。

③水泥强度等级:不得低于 52.5,富余系数不小于 1.13。

④坍落度:10~12cm 为宜。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

⑤外加剂:宜根据性能要求由现场试验确定。

11)内模脱模

当一段梁的混凝土全部浇筑完以后,一般 24h 左右,即可脱内模拆除端模。操作时先拆卸侧模底角模,再利用内模液压系统将顶模两边的角模降缩,落降顶模,卸掉侧模栏杆;然后利用滑模前方的卷场机牵引内模支架,沿轨道向前移,此时侧模收缩脱位;待每节内模都脱离原位后,再将所有内模反向牵引 1~2m,让出张拉千斤顶所需的作业面,完成内模卸脱工作。

12)施加预应力和管道压浆

当箱梁混凝土达到设计强度的 80%后,一般控制在浇完混凝土 3d,就可进行预应力张拉。张拉前要作好如下准备工作。

(1)检查钢束孔道是否畅通

将垫板喇叭口清理干净,然后用空压机吹清管道。

(2)安装锚头和夹片

将钢绞线逐根穿入锚头的孔眼内,然后将锚头顺着钢绞线推至锚垫板处,并靠紧。将夹片套入钢绞线上,并推入锚头的锥形孔中。

(3)安装千斤顶

将与锚具规格相对应的限位板套在钢束上,并推至锚头处,将张拉千斤顶悬挂在一活动支架上,用两个梳形导向叉,将钢绞线疏分,使钢绞线的分布与千斤顶内的孔眼对准,在每根钢绞线端头均套上一个导向帽壳,使其顺利穿过千斤顶盘孔。

(4)张拉与锚固

采用 VSL 预应力设备进行张拉。张拉时按拉力和延伸率双向控制,按设计要求的顺序进行张拉,将设计要求和张拉力分为三级,每一级张拉到要求的值,均测量一次延伸量,重复张拉至设计控制力和相应的延伸量。将钢束的实际延伸量与计算值相比较,其误差应小于 6%。

张拉过程中,要及时做好记录,且记录要整齐、准确。

(5)管道灌浆

张拉完 8h 左右,即要压浆。压浆前,先将管道用空压机吹干净,并在锚头上安上封锚堵帽。压浆时,在管道末端设一控制开关,当管道末端冒出浓浆后,即可封堵。为使管道充满水泥浆,要保持 0.5~0.7MPa 的压力 1min,再按下控制开关。至此,压浆结束。压浆工作要一气呵成,中间不得停顿。

所灌灰浆应满足如下质量要求:

①灰浆标号应为梁体混凝土标号的 80%;

②水灰比为 0.38;

③每立方米灰浆水泥用量不少于 1 489kg;

④膨胀剂掺量为 5%;

⑤压浆稠度为 12~18s。

13)箱梁拆底模及滑模纵移

当完成了纵向预应力筋张拉后,解除底模与侧模的联接销钉,将各支点处的千斤顶回缩,使钢箱侧模板脱离混凝土箱梁(即落梁),然后逐块拆除模板。

底模全部拆除后,通过设在三个支点处的横向装置,将钢箱向外侧横移到滑移轨道上,然后操纵滑模纵向滑移装置,使钢箱滑移至下一孔位置。滑移时,箱梁两侧钢箱要同步进行,前后相差不得超过 1.5m。且滑移时速度要平稳,不宜超过 4m/min,且当时的风速不宜大于 20m/s。

三、质量标准及注意事项

1.滑模法现浇预应力混凝土箱梁的质量标准(见表 11-1)

移动模架(滑模)法现浇预应力箱梁允许偏差表 表 11-1

序 号	项 目	允许偏差	检查方法及频率
1	箱梁轴线偏位(mm)	10	每孔用经纬仪检 3 处
2	箱梁混凝土强度(MPa)	不低于设计强度	按试验要求取样做试块不少于 3 组
3	每孔箱梁施工预拱度(mm)	±5	按钢箱节点计算位置检查
4	箱梁顶面宽度(mm)	±30	每孔用钢尺量测 5 处
5	箱梁顶面纵向高程(mm)	±10	每孔用水平仪检查 6 点
6	外观	光洁、平顺、线型顺滑美观、无麻面	目测

2.注意事项

钢梁拼装前将钢梁节点处连接板接触面上浮锈清除干净,并涂刷二次固化无机富锌漆。

四、移动模架(滑模)法施工实例

厦门高集海峡大桥位于厦门岛北端,跨越高(崎)集(美)海峡,主桥全长 2 070m。上部构造为 45m 等跨径等截面预应力混凝土箱形连续梁,共分五联($8\times45m+8\times45m+12\times45m+10\times45m+8\times45m=46\times45m$)。横向为两个独立的单箱,梁高 2.68m。桥面布置为 $2\times9.5m$(行车道)+1.0m(中间分隔带)+$2\times1.5m$(人行道),全宽 23.5m,横坡 1.5%,桥面铺装为 8cm 沥青混凝土。纵坡 0.3%,双向设置,竖曲线半径 1.8×10^5m。设计荷载为汽车超—20,挂车—120,人群荷载 $350kg/m^2$。箱梁采用移动式模架逐跨施工。下部构造为钢筋混凝土矩形薄壁双柱墩,钻孔灌注桩或打入预应力混凝土方桩基础。箱梁内仅在墩支点处设横隔梁,横断面布置如图 11-2 所示。

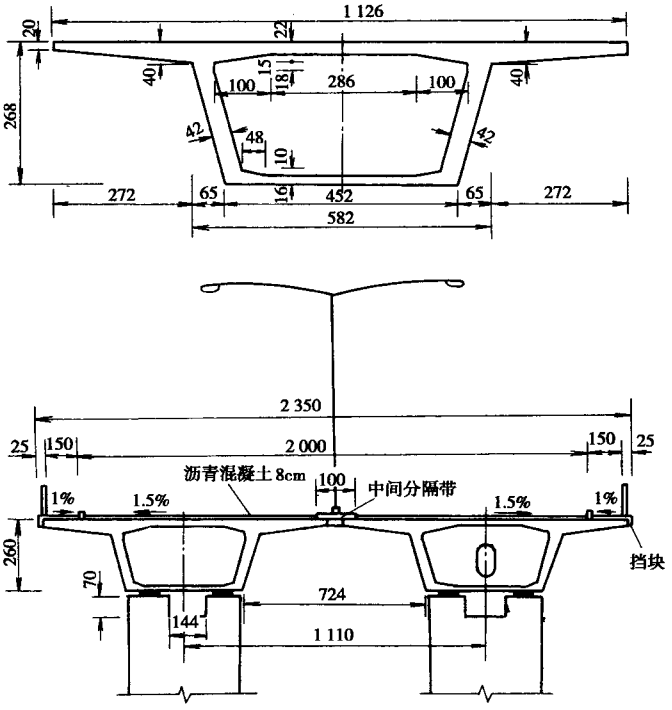


图 11-2 箱梁横断面布置(单位:cm)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1.模架设备及工艺特点

1)模架设备

此模架由西德 PZ 公司研制,瑞士 LOSINGER 公司提供,共两套。每套模架由两组钢梁组成,承重部分为钢箱梁,由 6 个单元组成,长 61.25m,高 2.25m,宽 1.9m。前后分别有钢桁架导梁,前导梁长 31.25m,后导梁长 21.25m。本桥所用的模架钢梁全长 113.75m。钢梁各单元之间均用高强螺栓连接。前后导梁与承重钢箱梁连接处分别有一个可水平转动的铰,以适应弯桥需要;因本桥是直线桥,此铰用高强螺栓固定。自移设备设在承重钢箱梁的箱内,通过液压夹头夹紧钢索后,用长杆千斤顶驱动。钢梁下弦底部装有不锈钢带,以便在托架的四氟滑板上滑行。前后导梁上各有一组 150kN 液压式卷扬机,用以提升托架等部件。每套模架钢梁约重 4970kN。

外侧模每节长 1.25m,通过可调节高度和水平位置的螺杆支座固定在钢梁上,预拱度即用此螺杆来调整。内模每节长 5m,钢支架结构,伸缩采用液压装置,装拆方便,其竖杆下端支撑于钢轨上,钢轨下垫有与箱梁同标号的混凝土预制块。在前方有一工作平台固定在前导梁上,平台上设牵引绞车,可将内模逐节牵引就位。底模每节长 1.25m,与侧模配套使用,在与侧模架连接处用钢销销紧。底模的装拆本桥采取吊车及卷扬机等配合使用,拆下的底模放在船上,而后运至下一孔位置安装。

墩身内外侧均设有托架,每个托架上有 4 台大千斤顶,用以顶升钢梁,托架下有钢立柱支撑于下部承台顶面。

浇筑箱梁混凝土时,钢梁前支点通过前横梁上的长杆千斤顶支撑在墩顶,中间支点直接搁置在托架上,后支点则是通过后横梁上的 4 根吊杆将钢梁悬挂在已完成箱梁悬臂端上,悬挂点在距支座中心线 6.25m 处(如图 11-3 所示)。当该梁段混凝土浇筑完成后,后吊点的最大压力为 4800kN。

2)施工工序

本桥从高崎向集美推进施工。施工前,在高崎端提前将第一套模架拼装好,通过若干组滑撬将拼装好的模架滑移至第一孔位置。完成第一孔后,再滑移至下一孔(移梁工作一般 3h 即可完成)。同时拼装另一套,第二套比第一套落后两孔,前后交替进行施工。箱梁各段浇筑长度为:各联首跨 45 + 8(悬臂段) = 53m,末跨 45 - 8 = 37m,中跨均为 45m。梁段施工接缝设在距墩支座中心 8m 处,浇筑重量为 152.6kN/m。每孔施工周期为 14 ~ 15d,其程序与作业时间如下:

(1)钢梁模架卸落、拆底模,将模架移至下一孔位置	1.5d
(2)安装底模、整修模板、调整标高、预拱度	1.5d
(3)绑扎底板、腹板钢筋,敷设预应力管道,安装锚具	2.5d
(4)牵引内模就位、管道内穿钢绞线、制作 K 型连接器	1.5d
(5)绑扎顶板钢筋,浇前一孔支点处横隔梁,质量检验	2d
(6)浇筑混凝土,养生	3 ~ 4d
(7)施加预应力,压浆	2d

3)标高调整及预拱度设置

模架就位后,需要调整钢梁的标高及模板的预拱度。各支点处的标高由托架或横梁上的液压千斤顶调整,预拱度则由侧模架与钢梁连接处的支座螺杆来调整。影响预拱度的主要因素有:

(1)钢梁由于新浇混凝土重量而产生的挠度;

(2)内模重量;

(3)混凝土箱梁产生的弹塑性变形,包括后支点反力的影响。

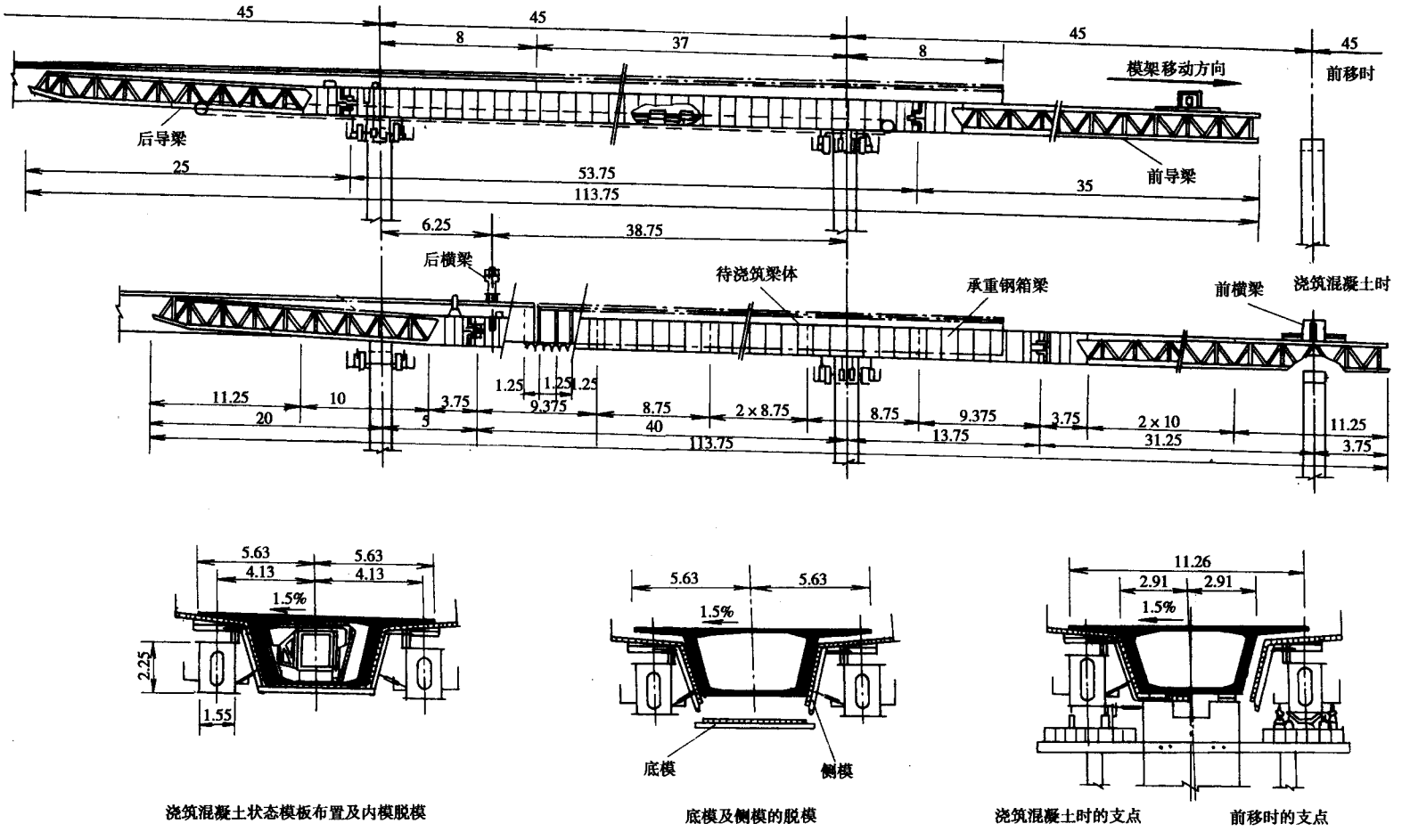


图 11-3　模架构造(单位:m)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

4)混凝土浇筑

箱梁采用 C50 混凝土,现场整孔全断面一次浇筑。混凝土拌制要求坍落度 8 ~ 12cm,有很好稠度,不离析,便于泵送。混凝土施工所使用的主要设备有:西德 Statter 混凝土拌和站 1 台($35m^3/h$),混凝土运输车 3 台,混凝土泵 2 台,发电机 1 台,插入式振捣器、平板式振捣器(桥面用)及其他小型工具。

每联首段箱梁是从始端向悬臂端推进浇筑混凝土。以后各段均从悬臂端开始逆向进行,最后与前一孔已浇段合龙,产生施工接缝。浇筑顺序为先浇底板,领先 6 ~ 8m 待混凝土稍有结硬后斜层浇筑腹板,此时所遵循的原则是以腹板混凝土不从与底板接茬处溢出为度。当腹板混凝土浇筑到顶板时,即浇顶板。施工时要随时注意新浇混凝土与已浇混凝土的接茬,工作面上的混凝土在初凝前应有新混凝土盖上。注意顶板抹面工作,并使表面足够粗糙。养生采用塑料薄膜覆盖表面,其上再用麻袋盖上,浇水,保持湿度。腹板处的顶板面容易产生开裂,应引起足够重视。混凝土浇筑时间一般为 10 ~ 12h。

2.预应力体系

采用瑞士 LOSINGER 公司提供的 VSL 预应力体系。主钢束均布置在箱梁腹板内,每侧各 6 束,全断面 12 束一次张拉完成,均为一端张拉。在工作缝处,下一孔的钢束用连接器与前一孔张拉好的钢束进行连接,使主钢束全联贯通。为满足逐跨施工的特点,在邻近腹板的顶板上增设 4 束水平施工钢束,以抵抗由于钢梁后吊点的反力作用在墩支点处产生的负弯矩。钢束布置如图 11-4 所示,主束均为 VSL5—22,控制张拉力 2782kN;水平施工束为 VLS5—12,控制张拉力 1 517.4kN。

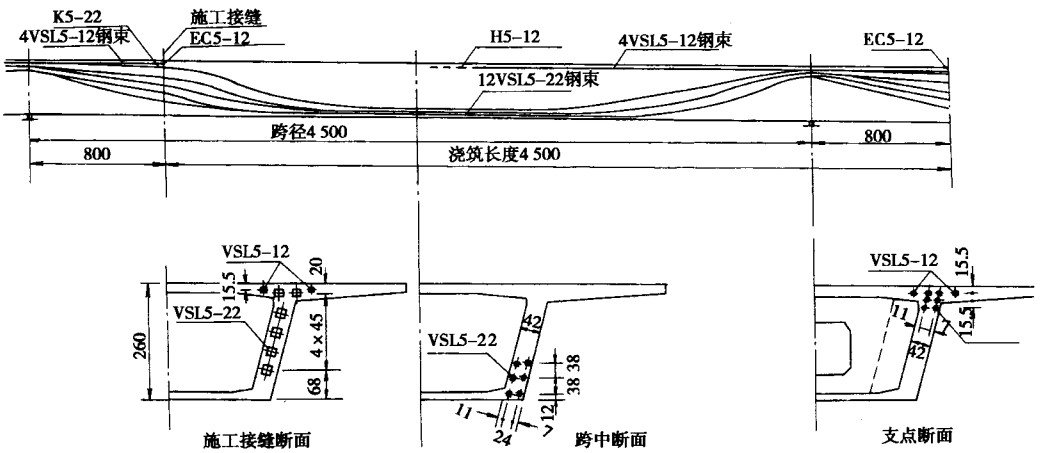


图 11-4 预应力钢束布置(单位:cm)

1)材料

钢绞线由 7 根钢丝绞合而成,直径为 13mm。管道采用半刚性波纹管,由断面为 36mm × 0.3mm的优质钢带在制管机上卷制而成,接缝压纹咬口,搭接 3mm,既可弯曲,又有一定刚性。

本桥采用的锚具有 EC、H 型锚头和 K 型连接器三种。EC 型锚头(图 11-5)是通过一块锚垫板与套管及中间法兰组成一整体铸件,锚头正面有圆锥形孔眼,将钢绞线穿入后,插入两片锥形楔块锁定。本桥用 EC5—22 和 EC5—12 两种。H 型锚头(图 11-6)亦称为固端死锚或压花锚,用于非张拉的固定端,直接埋在混凝土中,后张拉力通过裸露的钢绞线粘结在混凝土中来传递,其端部用压花机将钢绞线头顶压成灯泡状,并用格架使之排列成正方形或长方形。在钢绞线开始散开处,放置螺旋筋和钢箍以防止此处混凝土的应力集中。本桥每联始端均采用 6 束 H5—22 型锚头,另 6 束用 EC5—22 型锚头,水平施工束的所有固定端均用 H5—12 锚头。

K型连接器(图11-7)的锚头呈齿轮状,其正面亦有圆锥形孔眼。接长钢束时,先将被连接端的钢绞线用砂轮电锯切齐,然后套上钢丝弹簧圈,外面再套上一个软钢套管,使用挤压机将软钢套管与钢绞线牢固地挤压在一起,形成大头;将此大头置于K型连接器的齿槽内侧,并用钢带环绕固定,再套上喇叭形钢套筒。

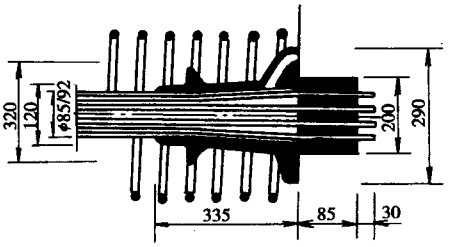


图11-5 EC型锚头(单位:mm)

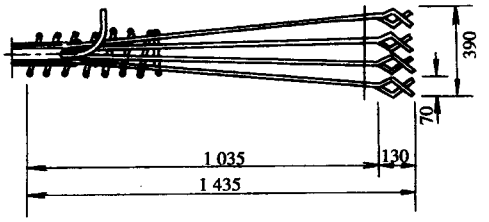


图11-6 H型锚头(单位:mm)

2)设备

本桥采用的VSL预应力专用设备包括制管机、穿束机、死锚压花机、挤压机、张拉千斤顶、张拉用高压油泵和压浆机等。

制管机为VSL SD150型,安上不同模具,可卷出不同直径的金属管道,该机每分钟能卷50m钢带。穿束机为VSLEMK型,单根穿钢绞线,其速度可任意调节,穿束时可进亦可退,其最大穿束速度为7.9m/s,最大推力3.53kN。死锚压花机为VSLLSP—4型,用于H型固端锚头的压花制作,该机最大顶力35.4kN。挤压机为VSLPSZ型,用于制作K型连接器中的连接头,该机最大顶力381.6kN。张拉千斤顶为VSLSA522/ZPE406型3台,最大张拉力4660kN;SA512/St12型2台;单根张拉千斤顶1台。压浆机1台,其最大特点是拌浆、压浆均有两个拌浆桶交替使用,以保持压浆工作的连续性。它能按精确的水灰比供给灰浆,并获得均匀的混合物。固定在拌和机上的灰浆泵能产生对钢束管道6~10m/min的灌入速度并满足连续压浆所需要的压力。

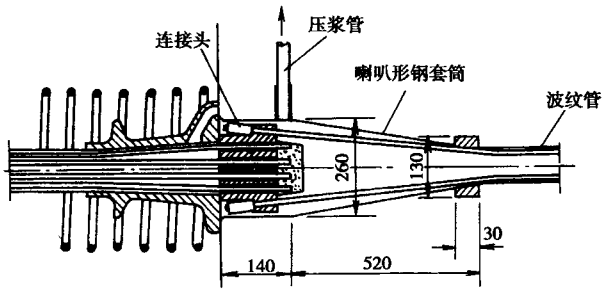


图11-7 K型连接器(单位:mm)

3)支座和伸缩缝

支座采用国产PZ系列盆式橡胶支座,有PZ—ZX—300、PZ—ZX—700、PZ—GD—700三种型号。

伸缩缝采用西德MAURER产品,它由支撑箱、横梁、加劲型钢和橡胶伸缩带组成。本桥用D160B和D240B两种型号,其伸缩量分别为160mm和240mm。

第二节 软弱地基上满堂支架法

软弱地基上满堂支架法浇筑连续箱梁在施工中应用比较广泛,特别是定型产品门式支架及碗扣式支架广泛应用以来,为满堂支架法施工提供了便利条件。

在软土地基上采用满堂支架法施工应注意的主要问题是防止或减少地基沉陷。当地基承载力不足时,应采取处理措施,防止因支架沉陷造成现浇箱梁的质量事故。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

具体施工时应对主支架的地基土质进行分析，当地下水位高时应采取降水措施，如挖排水沟排水，必要时可采取井点法降低水位。当地基属于软土地基时，建议不采取用满堂支架法施工，否则需对软土地基进行处理。

同三线淮江高速公路丁—4标宝射河大桥，地处江苏省扬州市宝应县望直港镇，采用满堂支架施工。现将其软土地基处理的情况介绍如下。

一、地基处理概况

表层为可塑性状态灰黄色粘土，其下为流塑状态的灰色淤泥，淤泥以下为灰黄色硬粘土层，中部土层为灰黄色亚粘土软弱层，下部土层为夹灰色亚粘土混粉砂软弱土层，地下水位埋深0.5m左右，土的天然含水量高达60%～80%，其压缩性高，均匀性差，灵敏度高，强度低。软土的容许承载力一般为60kPa左右。

宝射河大桥引桥上部结构均为普通钢筋混凝土连续箱梁，跨径为20m，5～6孔一联，梁高1.3m。引桥全长680m，采用单箱双室断面，顶板宽13.5m，其中两翼缘板各宽2.5m，底板宽8.5m，每跨箱梁重达350t。如何进行软土地基处理，保证地基有足够的承载力，避免因沉降过大和沉降不均引起连续箱梁横隔梁墩顶负弯矩区产生裂缝，以及如何控制连续箱梁施工标高是本工程的关键所在。

软土地基处理措施包括清表、排除地表水、填平坑凹，将原地基表面30cm进行灰土处理，再在其上铺40cm砂垫层。

二、地基承载力验算

1.门式支架受力计算

门式支架的纵向步距0.9m，横向步距0.8m，具体结构如图11-8所示（加固钢管未示出）。垫木尺寸为14.0m×0.2m×0.2m。我们把满堂门式支架看作一个整体，整个箱梁也看作一个整体，则有：

$$P = G/N \tag{11-1}$$

式中：P——每个支架立柱承受的荷载，kN；

G——一跨箱梁的重量（包括施工荷载），kN；

N——支撑一跨箱梁的支架立柱数目。

所以：$P = 500/(23 \times 14) = 11\text{kN}$。

2.软土地基的受力分析

取一个门架（2个立柱）作为研究对象，近似认为砂垫层表面所承受的力是支架立柱通过垫木板（计算规格：1.0m×0.2m×0.03m）传递下来的均布应力σ_1，承压面$S = 0.2\text{m} \times 1.0\text{m}$。均布应力$\sigma_1$按下式计算：

$$\sigma_1 = 2P/S = (2 \times 11)/(0.2 \times 1) = 110\text{kPa}$$

地基受力分析如图11-9所示。

首先，从图11-9中可知，必须满足垫木板对砂垫层施加的荷载应力σ_1小于或等于砂垫层的容许承载力即：

$$\sigma_1 \leqslant [\sigma_{砂}] \times K_1 \tag{11-2}$$

式中：σ_1——垫木板对砂垫层的荷载应力；

$[\sigma_{砂}]$——砂垫层的容许承载力，中粗砂取$[\sigma_{砂}] = 350\text{kPa}$；

K_1——地基承载力砂垫层的调整系数查《建筑施工脚手架实用手册》，K_1 取 0.4。

代入数据有：　　$\sigma_1 = 110\text{kPa} \leqslant 350 \times 0.4 = 140\text{kPa}$

满足要求。

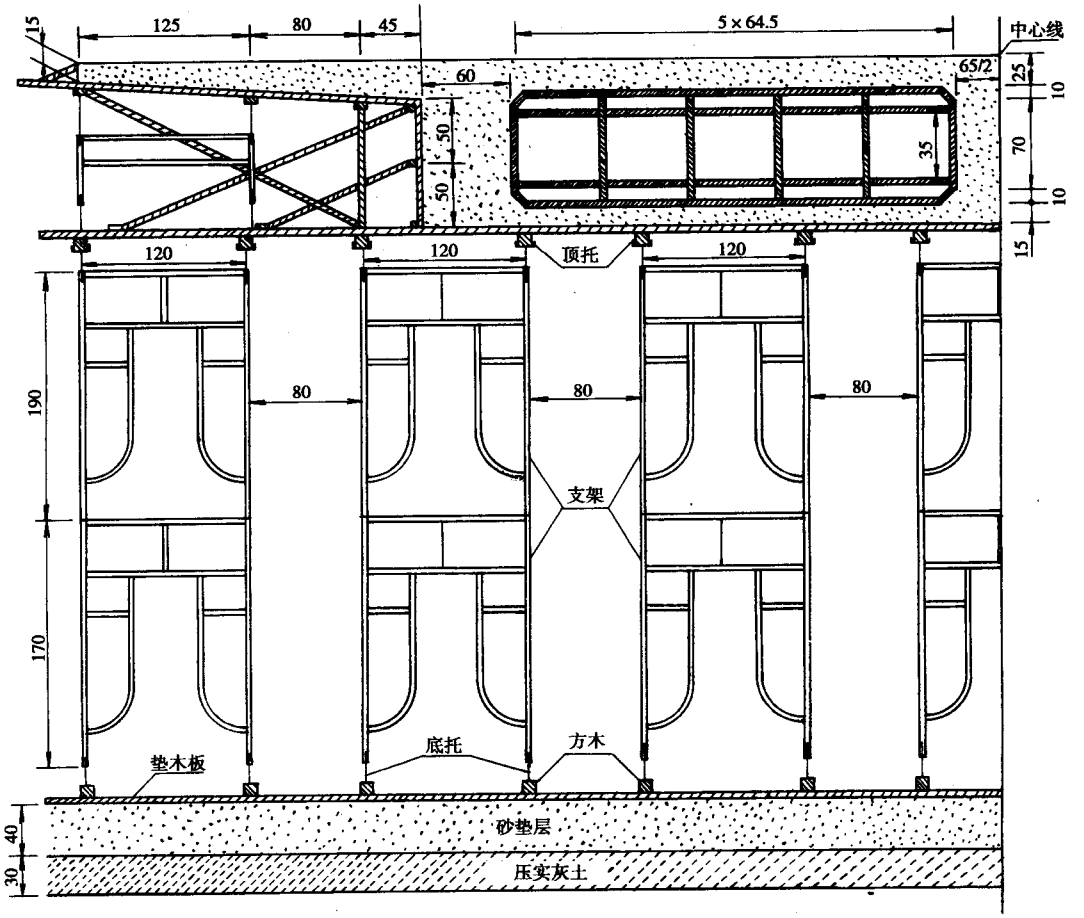


图 11-8　门式支架横断面示意图(单位:cm)

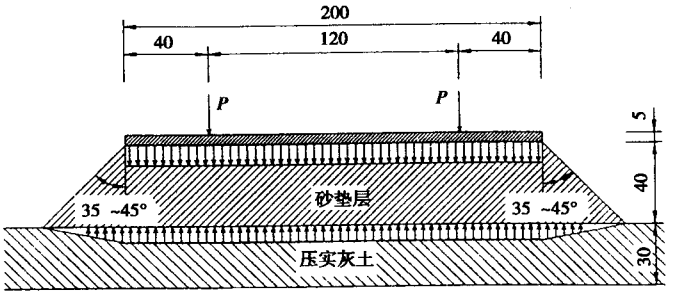


图 11-9　地基受力分析示意图(单位:cm)

其次，从图 11-9 中可以看出应力 σ_1 由砂垫层承受，而在较软的灰土顶面附加应力显著减少，基底压力 σ_1 通过砂垫层以角度 θ 向下扩散，扩散至砂垫层底面压应力 σ_h 与砂垫层自重应力之和 σ_H 应小于或等于该处下层顶面地基的容许承载力$[\sigma_H]$即：

$$\sigma_H \leqslant K_2[\sigma]_H \text{ 或 } [\sigma]_H \geqslant \sigma_h / K_2 \tag{11-3}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中：$[\sigma]_H$——软土地基的容许承载力；

σ_H——σ_h 与砂垫层粘土自重应力之和；

K_2——地基承载力粘土的调整系数，查《建筑施工脚手架实用手册》取 $K_2=0.5$。

由于当地砂料奇缺，价格高昂，为减少对砂料的投入，砂垫层的厚度 h_s 取 40cm，下面对 σ_H 进行计算：

由受力分析图可知，σ_1 按 $\theta=35\sim45°$通过砂垫层向下扩散到地基灰土顶面，并假定该处由此产生的压力呈梯形分布，根据力的平衡条件可得到：

$$Lb\sigma_1=\left[(b+h_s\tan\theta)L+bh_s\tan\theta+\frac{4}{3}(h_s\tan\theta)^2\right]\sigma_h \tag{11-4}$$

通过整理，该处地基的附加压力为：

$$\sigma_h=Lb\sigma_1/[Lb+(L+b+4/3\times h_s\tan\theta)h_s\tan\theta] \tag{11-5}$$

式中：L——垫木板的长度，m；$L=1.0$m；

b——垫木板的宽度，m；$b=0.2$m；

h_s——砂垫层的厚度，m；$h_s=0.4$m；

σ_1——垫木板底面的平均压力，kPa；$\sigma_1=110$kPa；

θ——砂垫层的压力扩散角，°；θ 取 35°。

代入数据有：

$$\sigma_h=1.0\times0.2\times110/[0.2+(1.2+4/3\times0.4\times\tan35°)\times0.4\times\tan35°]$$
$$=34.4\text{kPa}$$

已知中粗砂容重 $\sigma_H=\sigma_h+\gamma_s h_s$　　$\gamma_s=19\text{kN/m}^3$。

$$=34.4+19\times0.4$$
$$=42.0\text{kPa}$$

由式$[\sigma_H]\geqslant\sigma_h/K_2$ 得：

$$[\sigma_H]\geqslant42/0.5=84\text{kPa}$$

从以上计算可知，原地基经灰土处理后的容许承载力必须达到 84kPa 以上。为确保地基完全可靠，考虑到不可预见的因素，要求经灰土处理后的地基容许承载力必须达到 100kPa 以上，并通过现场地基荷载试验进行检验，合格后方可进行下道工序的施工。

三、软土地基处理的施工质量控制

首先，清除施工现场一切杂物，用推土机将原地基表面推成 1% 的单面坡，用旋耕机翻松原地面土 30cm 左右并掺入适量生石灰，掺灰过程中需严格控制掺灰量，做到掺灰量适宜；然后用旋耕机旋拌几次，使石灰均匀分布于粘土内，闷灰 3～5d 后，用推土机压实灰土（因地基太软压路机无法上）。压实之后，进行地基荷载试验，地基承载力达到要求，方可进行下道工序的施工。

其次，在地基灰土处理完毕后设置排水系统，在每处灰土表面开挖 4 条“井”形砂沟，再在砂沟出水口处开挖一条排水沟。由于桥址处地下水位高，排水沟内水不能自然流出，在排水沟两端各挖一个深度为 1.5m 的集水坑，用水泵将排水沟内的水日夜不停地从集水坑内抽出，使灰土表面没有积水，确保灰土地基的承载力。砂沟、排水沟、集水坑位置如图 11-10 所示。

以上工作做好后，开始进行砂垫层的铺垫。在铺垫过程中将砂注水分层（每层 20cm 左

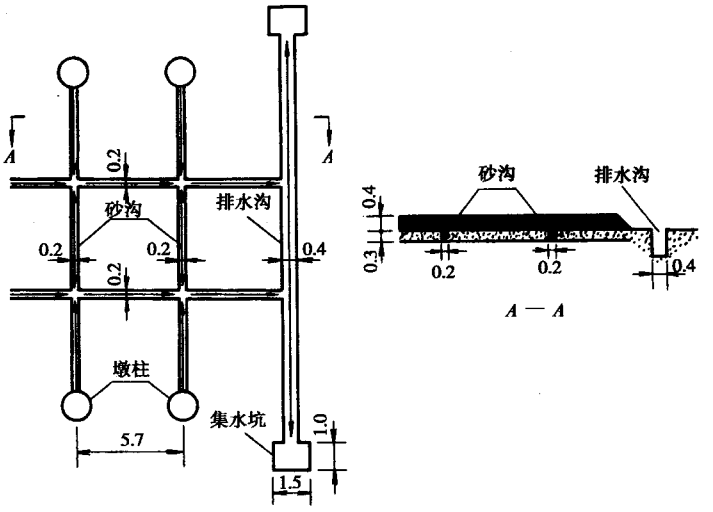


图 11-10　现场地基处理图(单位:m)

右),并加以振捣达到中密状态。

四、箱梁施工标高控制

为保证结构竣工后尺寸准确,脚手架应预留施工拱度。在确定箱梁施工标高时,应考虑下列因素:

(1)脚手架和地基承受施工荷载后引起的弹性变形 S_1;

(2)连续箱梁由于混凝土收缩及徐变而引起的挠度 f;

(3)由于杆件接头的挤压和卸落设备压缩而产生的非弹性变形 S_2;

(4)脚手架基础在受载后的非弹性沉降 S_3;

(5)底板模板的刚度。

为严格控制现浇箱梁施工支架的基础沉降量和支架变形,正确设置支架预提高度,在正式浇筑混凝土之前,用袋装砂对箱梁支架地基进行了等载预压以消除其不可恢复变形,并观测其弹性变形值 S_1。根据弹性变形值 S_1 正确设置箱梁施工标高,设置方法如下:考虑混凝土收缩徐变引起的挠度以及对连续箱梁浇筑进行水平分层(上层为:顶板、翼板;下层为底板、腹板)的实际具体施工过程,将连续箱梁施工标高在设计标高的基础上,每个墩顶位置箱梁的预提高度为弹性变形值 S_1,每跨跨中预提高度为弹性变形值 S_1 + 10mm;其余位置的预提高度均以每跨墩顶预提高度为最小值,跨中预提高度为最大值按直线比例分配。

第一联 6 孔箱梁等载预压观测结果统计见表 11-2。

等载预压观测结果统计　　表 11-2

项目 \ 类型	总变形值(沉降值)(mm)	可恢复变形值(mm)	不可恢复变形值(mm)	备注
支架	17	8	9(S_2)	表中统计数据为 6 孔平均值,支架高度 4~6m
地基	6	2	4(S_3)	
合计	23	10(S_1)	13	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

根据表中数据，将第一联连续箱梁施工标高确定如下：在设计标高的基础上，每个墩顶位置箱梁的预提高度为10mm，每跨跨中预提高度为20mm；其余位置的预提高度均以每跨墩顶预提高度为最小值，跨中预提高为最大值按直线比例分配。

为验证箱梁施工标高的设置是否合理，对第一联箱梁落架后的标高进行了追踪观测，观测结果令人满意。浇筑的第一联箱梁是完全成功的，得到业主的高度评价。为后续连续箱梁的成功浇筑奠定了坚实的基础。

五、混凝土浇筑质量控制

首先，在混凝土中加入了缓凝早强剂，将混凝土初凝时间调至3h，使支架、地基变形在混凝土初凝前基本稳定。其次，鉴于连续箱梁一次性浇筑施工难度大，采用二次浇筑的方法；第一次浇筑至箱梁上承托始点（包括底板、腹板），第二次浇筑顶板、翼板。

下面，我们对第一次浇筑完成后连续箱梁的受力进行分析，其受力如图11-11所示。由图11-11可知，桥墩为刚性支撑，满堂支架为弹性支撑。在第二次浇筑顶板时，底板会产生下挠，支架受力增大，从而支架、地基又产生变形，导致沉降不均，使得支座反力增大，横隔梁墩顶负弯矩增大，极容易导致墩顶开裂的质量事故。为此，在正式浇筑顶板混凝土之前，为了尽可能克服在浇筑顶板过程中，支座反力增大（墩顶负弯矩增大）这一问题，采用了如下几点措施。

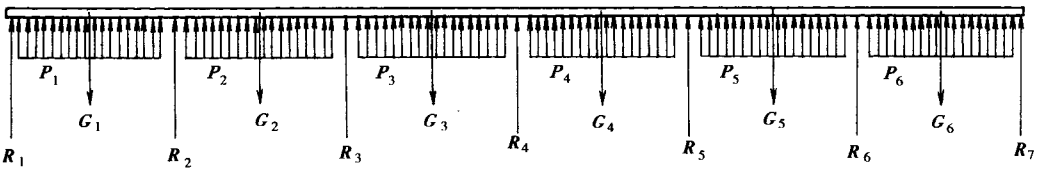


图11-11　第一次浇筑完成后箱梁受力示意图

（1）仔细检验支架有无收缩和下沉，对支架进行预压，将各顶托调紧，达到减少支座反力（墩顶负弯矩）的目的。

（2）将箱梁室内的养生积水全部抽除。

（3）尽可能地减少浇筑顶板时人为的施工荷载。

（4）由于桥址处于软土地带，土的灵敏度相当大而且具有触变性，当其受到扰动时，原有的天然结构就会发生变化，土粒间的联结就会减弱，从而使地基承载力降低，支架、地基产生骤然沉降，导致梁顶负弯矩区产生裂缝。所以需在混凝土浇筑完毕后的2～3d内封锁便道，不准任何车辆通过，避免对新浇筑箱梁产生不良影响。

第三节　顶　推　法

一、概　述

1.顶推法施工的特点

顶推法施工是预先在桥台后面的路堤或引道上搭设预制台座，再在预制台座上逐段浇筑梁段结构，待梁段混凝土达到预定强度后，张拉顶推用的临时预应力束，用顶推装置及梁端导梁等，通过滑移设施，将梁段顶推前移；预制一段，顶推一段，直至梁段全部就位。顶推方法一般可分多点顶推和单点集中顶推两种，根据桥跨结构的重力大小、下部构造的情况选择使用。

2.顶推法施工的优点

1)顶推法适用于建筑通航河道、城市大型立交桥等,无需搭设脚手支架,不影响交通或拆迁过多的建筑物。

2)顶推法可采用在厂房内预制,创造了冬季能继续施工的条件。

3)箱梁在厂房内预制,使梁的整体性较好,工人的操作环境也较舒适,易于保证梁的质量。

4)顶推法可以配合墩台的修建顺序,上下部构造可流水作业,便工期较为紧凑。

5)顶推法与悬拼、吊装方法施工相比,危险的起重工作量少,相应的施工安全度较大。

3.顶推法施工的缺点

1)工作面最多只有两个(两岸同时预制和施工),使推进速度受到限制。

2)拆除临时预应力束,安装永久预应力束或将临时预应力束转换为永久预应力束,施工较为繁琐困难。

3)对变坡、变高的大跨度连续梁和夹有平曲线或竖曲线较长的桥墩较难适用。

4)在高的柔性墩上顶推较困难。即使用多点顶推时,也要采取临时的稳定性措施。

二、顶推法施工实例(一)

(一)工程概况

包头黄河公路大桥位于内蒙古自治区包头市市郊区画匠营子村西。因该地区天气寒冷时间长、风沙大,经多次研究,采用了顶推法施工方案。其桥型布置简介如下。

1.上部构造

主桥上部构造采用3联4×65m预应力混凝土等截面连续箱梁,北岸引桥为1孔20m与主桥同外型预应力混凝土简支箱梁。主桥总长810m,桥面行车道净宽9m,两侧人行道净宽1.5m。伸缩缝采用钢制梳形齿缝。桥面铺装为防水混凝土。

支座均为氯丁橡胶盆式支座,承载能力分为300kN及900kN两种。每联4孔的支座布置:中墩为固定支座,其他4墩为活动支座。活动支座为聚四氟乙烯与不锈钢板的滑动装置。

2.下部构造

1~6号墩为24~28m深的沉井基础,7~12号墩为8根ϕ1.5m长57~60m钻孔灌注桩高桩承台基础,各墩墩身为混凝土重力式,并设有钢板护面破冰体。南岸台为8根ϕ1.5m长47m钻孔灌注桩基础,埋置式台身;北岸台为2根ϕ1.5m长30m钻孔灌注桩基础,双柱式台身。

设计荷载为汽—20、挂—100。

(二)预制台座、预制厂房及蒸汽养护设施

1.预制台座

为了缩短施工周期,箱梁预制采取先浇筑底板混凝土,后浇筑腹板和顶板混凝土的流水作业。即根据底板施工与腹、顶板施工分为先后两阶段设计预制台座。图11-12为底板施工阶段预制台座与底模装配图。桥型布置如图11-13所示。

底板段预制台座由1~5号排支墩支撑,在支墩上设置纵横向支撑工字钢,用于传递底板段全部施工荷载。采用升降式活动底模板。

箱梁段由5~9号排支墩支撑,在支墩上架设4排装配式公路钢桁架及I32工字钢横梁组成箱梁底座。为承受横梁悬臂端由钢桁梁传递的施工荷载,在I32端头设置了外侧支墩。

箱梁外侧模通过[36槽钢安装在底座上。上述装配式钢桁架一直通过过渡段锚固在13号台上,借以抵抗过渡段及预制底座各排支墩在箱梁顶推时产生的水平力,参见图11-14及图11-15。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

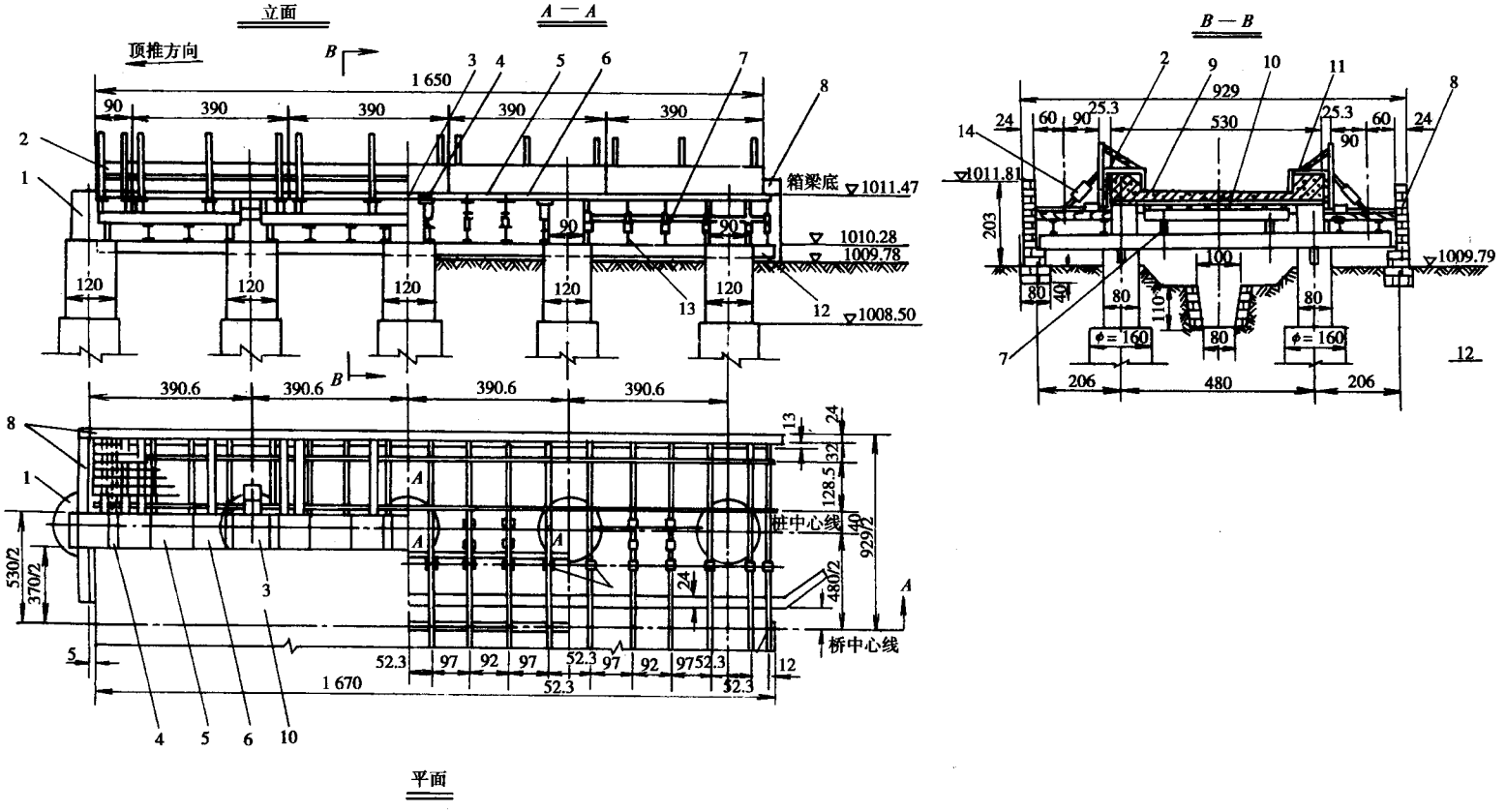


图 11-12　底板施工阶段预制台座及底模装配图(单位:cm)

注:本图标高均以 m 计。

1-滑道支承墩;2-外侧模;3-支座上钢模板;4-滚筒上木模;5-滑道固定模板;6-滑道活动模板;7-丝杠;8-保温墙;9-箱梁底板;10-定型组合模板;11-内侧模;12-纵向支承工字钢梁;13-横向支承工字钢梁;14-丝杠

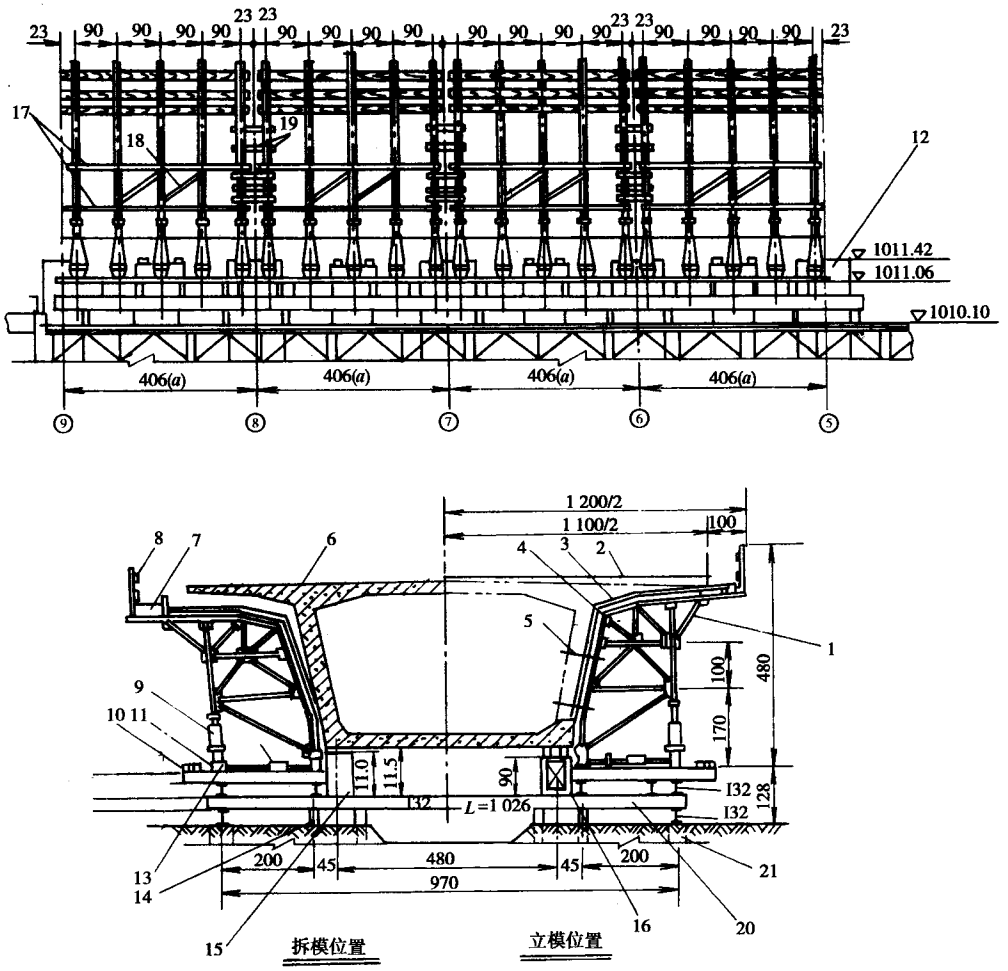


图 11-14　箱梁段台座及外模装配图(单位:cm)

1-钢桁架;2-长拉杆;3-模板;4-纵肋;5-短拉杆;6-箱梁;7-脚手板;8-栏杆;9-螺旋千斤顶;10-脚手板;11-36 槽钢;12-横接装置;13-桁架支座;14-装配式公路钢桁梁;15-滑道支座;16-临时钢支架;17-纵向连杆;18-斜撑;19-短连杆;20-32 槽钢横梁;21-外侧支墩

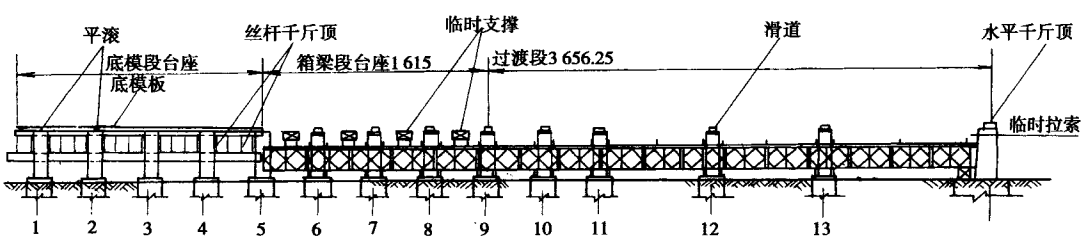


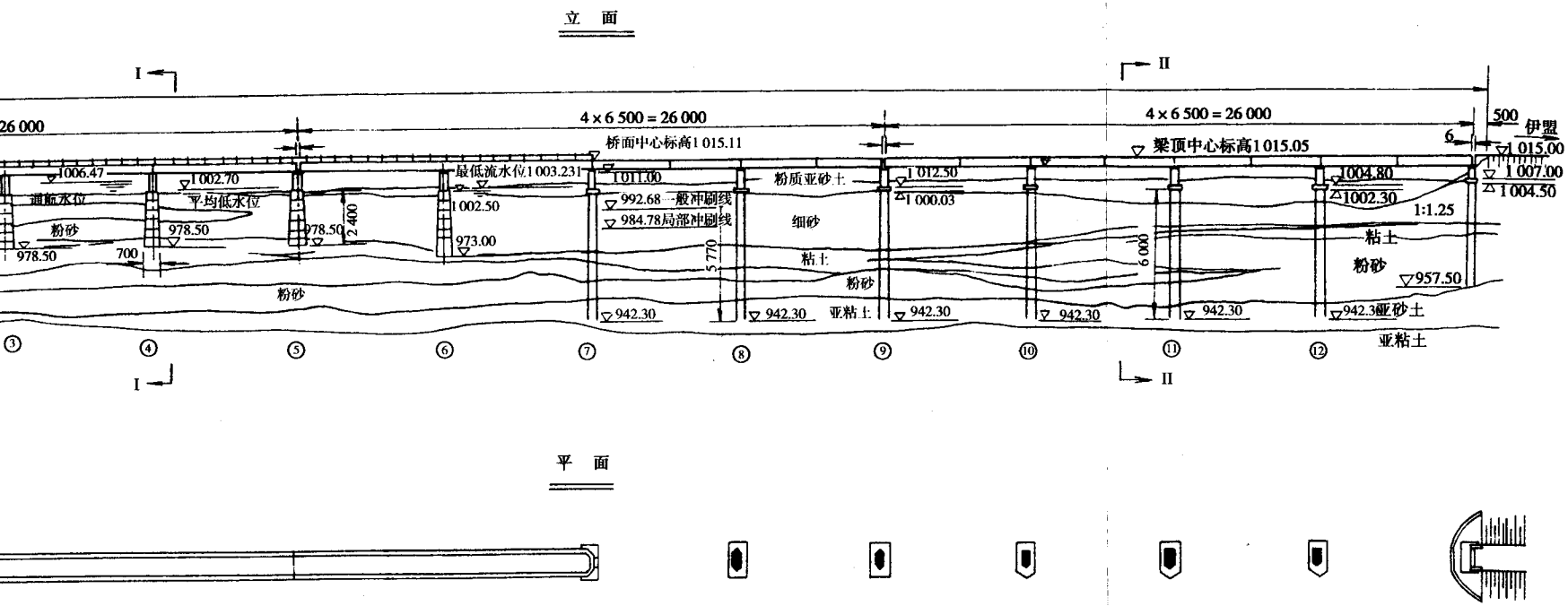
图 11-15　预制台座及过渡段总体布置图(单位:cm)

2.预制厂房

为了克服风、雨、严寒等自然条件的影响和避免蒸汽养生的热量损失,在预制台座处修建了厂房,在过渡段增加了养生保温棚。

厂房结构采用装配式公路钢桁架拼装屋架,净跨为 17m,高 12m,共长 4 × 10 = 40m,如图 11-16 所示。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载



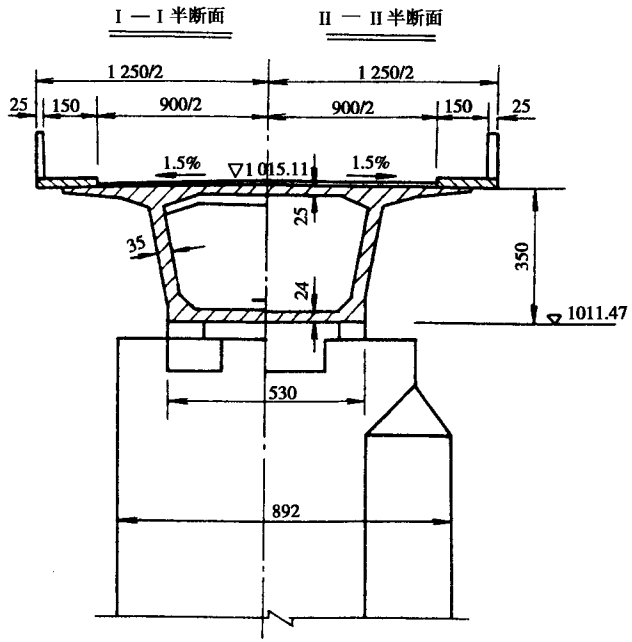
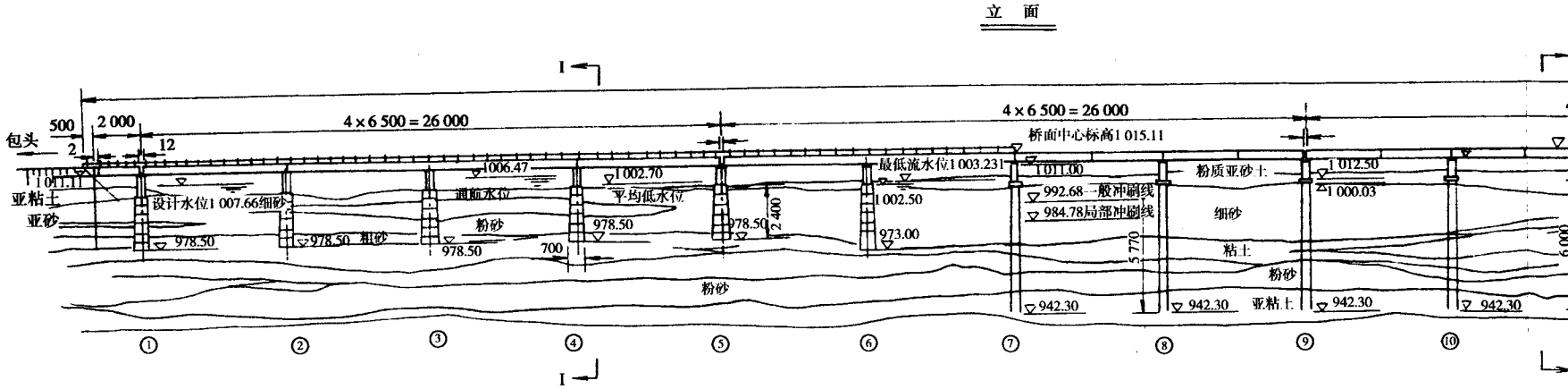
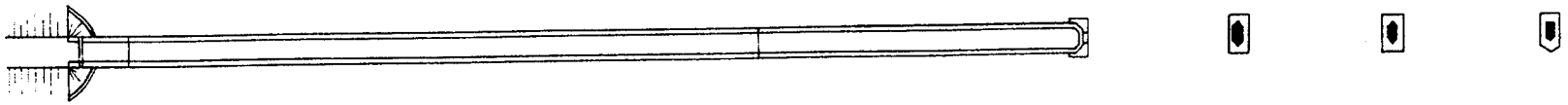


图 11-13 桥型布置图(单位:cm)

注:本图标高均以 m 计。





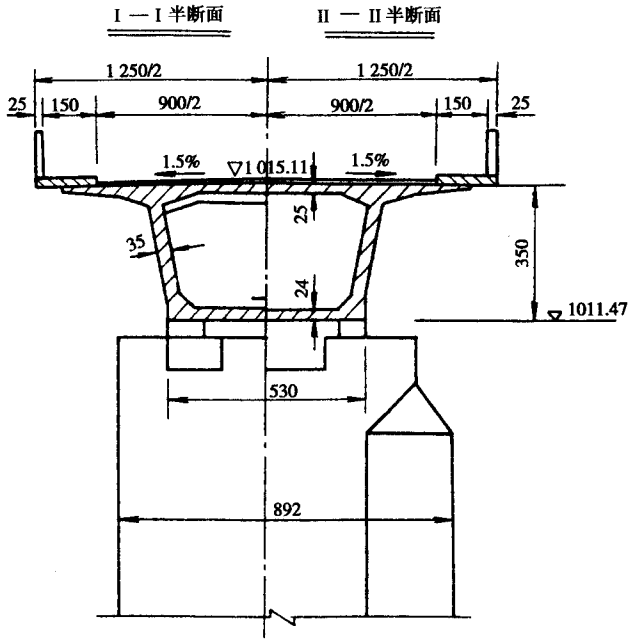


图 11-13 桥型布置图(单位:cm)

注:本图标高均以 m 计。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

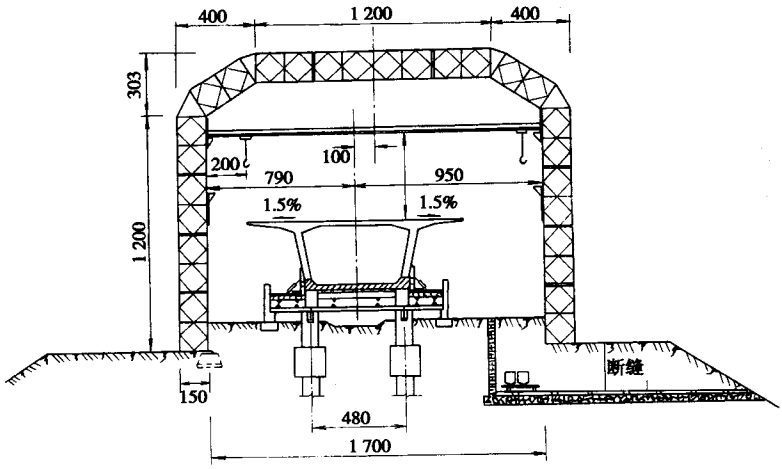


图 11-16　预制厂房示意图(单位:cm)

在过渡段修建了保温棚与预制厂房相接,净宽 12m,用于管道压浆保温养生。

3.蒸汽养护

为了缩短施工周期,加快施工速度,采取蒸汽养生方法,提高混凝土的早期强度。主要设备为 2 台 $2m^3/h$ 快装卧式锅炉,通过管道将蒸汽送入养护棚。

1)底板段蒸养

底板混凝土的蒸养是在底板下方敷设蒸汽管道,以释放出来的辐射热对混凝土进行养护,并在底板段两侧砌保温砖墙,形成保温室。混凝土顶面因直接暴露在空气中,为了克服混凝土表面失水,采用蒸汽喷管进行蒸汽养护,其喷汽管架设在距混凝土表面一定高度处,再在其上覆盖养护棚布,形成蒸汽室。一般在 40℃养护 48h 时左右,混凝土强度可达到设计强度的 80%以上。

2)梁段蒸养

(1)在厂房内,沿箱梁外侧模砌筑保温墙。

(2)在外侧模桁架上,每侧设上下两层蒸汽排管,采用管道幅射热保持模板外面的养护温度。

(3)顶板与底板相同,亦进行蒸汽养护。

经以上各项措施,箱梁亦能在 18h 左右使混凝土强度达到 80%以上,满足施加预应力的强度要求。

3)过渡段蒸养

对于预应力管道压浆的工作,需在箱梁顶推出预制厂房后与箱梁预制的下一个周期同时进行,特别是在冬季时,压浆后必须与箱梁一样采取蒸汽养护,以便在下一次顶推时,使压浆强度达到 30MPa,才能进行顶推移架。所以在过渡段设置了蒸养棚,敷设蒸汽管道。

(三)临时墩施工及滑道安装

1.临时墩施工

为了缩短顶推跨径,在每跨跨中设一临时墩。临时墩基础为 2 根 ϕ1.5m 钻孔灌注桩,桩长 41m。墩身为 2 个钢筋混凝土柱,每个墩柱用 2 根 24ϕ5mm 钢丝束与正式墩对拉。临时墩构造示意如图 11-17 所示。

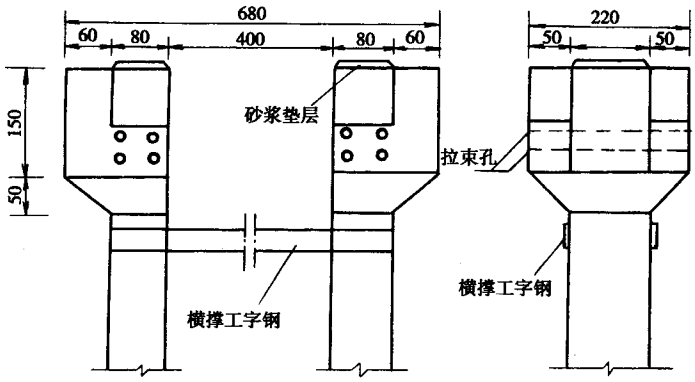


图 11-17　临时墩构造示意图(单位:cm)

临时墩虽然在顶推阶段使用后即行拆除,但连续梁在其顶上顶推过程中要承受很大的垂直力和不小的水平力,还会产生一定的沉降值,必须要精心施工。对临时墩的钻孔灌注基础及墩身混凝土都要严格地按设计要求进行细致的施工。但当第一联梁顶推加载后,复测某些临时墩仍有 2 ~ 3mm 的沉降量。经过调整滑道标高后,第二联顶推时再没有发生明显的沉降。

2.滑道安装

每个主墩和临时墩顶都需设置两个滑道。滑道安装标高精度规定为:相邻墩滑道标高差不大于 ± 2mm;同墩滑道标高差不大于 ± 1mm。

滑道安装方法:①先在滑道下的墩顶混凝土内预埋 4 根螺杆,套上 4 个螺母;②将滑道钢板上相应位置的 4 个螺杆孔套入预埋螺栓,用钢板下 4 个螺母调平钢板至设计标高后,然后在预埋螺栓上上紧 4 个螺母,固定钢板;③在钢板四周抹上环氧树脂砂浆,并在四周预埋压浆咀,用 C40 水泥砂浆压实滑道与墩顶间的空隙。

(四)导梁及临时墩施工

1.导梁构造

导梁采用平行弦三角形桁架体系,桁高 3.18m,桁距 4.8m,上弦节间长 4m,下弦节间长 2m,总长为 20m,为顶推跨径的 62%。上、下联采用十字交叉式,横联采用 V 形式,如图 11-18 所示。

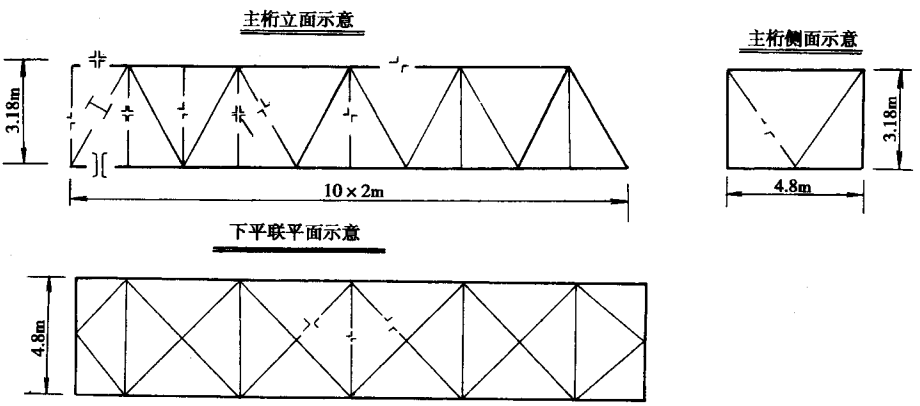


图 11-18　导梁一般构造示意图

导梁下弦为主要承重的构件,受力复杂,除拉压交替外还承受局部弯曲。导梁根部的几个

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

节间，在下弦槽钢中布置了较多的竖向加劲肋。为了加强腹板的稳定，在下弦两个槽钢中间设置了冷弯方钢管，以减少下弦腹板的自由长度。此外，导梁与箱梁的连接接头也是受力的关键，除导梁与箱梁连接的接点板用钢箱锚固在箱梁内之外，还用 16 根预应力钢丝束使导梁与箱梁连接。

2.导梁制作

本桥导梁共制作 3 套，当第一联梁使用首尾导梁进行全联顶推时，第三套导梁可用于第二联梁的首端，继续预制箱梁。

导梁制作中的质量要点如下。

1)下弦杆平直度：在制作装配时，下弦杆的底面是基准面，必须保证下弦杆位置准确，底面平直。

2)各节点连接质量：为使导梁在设计荷载作用下，减少各节点的非弹性变形，必须保证各节点的连接质量。本桥施工时因缺乏高强螺栓，改用 45 号钢螺栓。实践证明，导梁下弦杆平直度较差，损坏滑板较多，但节点的紧固质量还好。

3.拆卸导梁用的临时支墩施工

在两联箱梁分界的墩顶上，如本桥的 5 号墩、9 号墩，当前一联梁已经就位，后一联梁推至导梁未触及前一联梁时，必须在该墩附近设一临时小型支墩，以便分节拆除导梁。箱梁推至该支墩上时，还需在张拉部分锚固于梁端的后期束后，方能将箱梁推至主墩支座处。

该临时支墩采用 ϕ219mm × 10m 钢管桩作基桩，在两个 180cm × 282cm 的小承台上接 80cm × 120cm 的钢筋混凝土柱，如图 11-19 所示。支墩承受的最大垂直力为 3 400kN，水平力约 340kN，通过 4 根 ϕ219mm 钢管及 4 束 24ϕ5mm 钢丝束传递给主墩承受。

(五)箱梁钢模板

1.箱梁的构造特点

1)箱梁的外形特点是在底板、顶板和腹板内侧都设有齿板。设计中以 a (4.0625m)为计算单元，每联分为 17 个梁段预制，每节梁段长度为：中节 $4a$ = 16.25m，端节 $2a$ = 7.975m(2 × 4.0625 − 6cm 伸缩缝 − 9cm 封锚混凝土 = 7.975m)。底板、顶板和腹板上的齿板位置均在每个单元的端头，其外形为长 180cm，厚 25cm 的三角形。

2)在箱梁跨中和支点设有横隔板，横隔板在底板、顶板和腹板的加厚部分的混凝土应和箱梁混凝土一次浇筑，横隔板的钢支撑在顶推前安装，钢支撑外的混凝土在施工间隙浇筑。

3)因预制箱梁采用底板段和箱梁段两阶段施工，为此需设计制作供浇筑混凝土用的底模和浇筑腹板及顶板混凝土用的外模和内模。

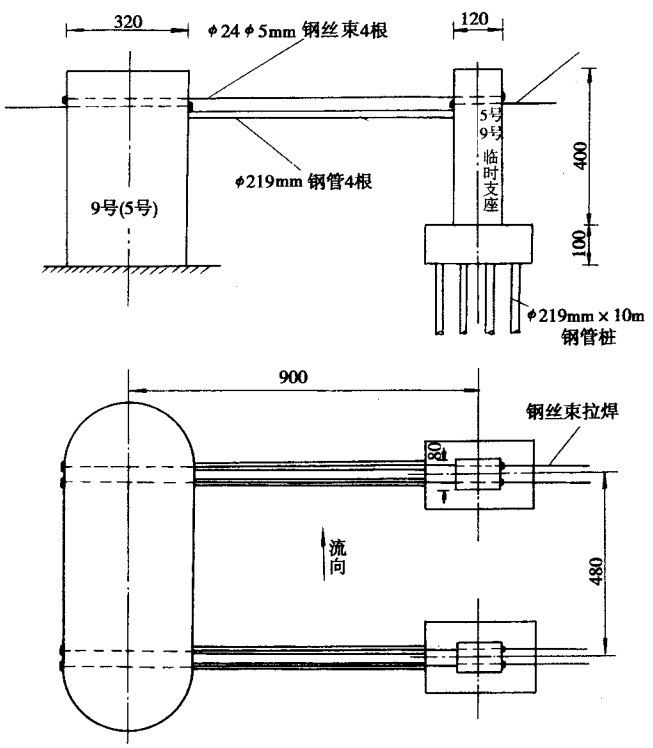


图 11-19　拆卸导梁用临时支墩示意图(单位：cm)

2.模板构造和装配

1)箱梁底板构造和装配(见图 11-12)

底模由定型组合模板、支座和内、外侧模等组成。

滑道模板安装在箱梁底板两侧的滑道上,宽 80cm;组合模板安装在两条滑道之间,宽 370cm。组合模板采用冶金部门生产的定型组合模板,纵肋采用冶金部门生产的连杆,布置间距为 45cm。横梁采用 I36 工字钢,布置间距 100cm,每根横梁支撑在 2 个丝杠上,用丝杠拆模。底模每侧滑道上设置 5 个装配式公路钢桥顶推用滚筒,用作滑移支座,间距为 390cm。滑道模板由 9 块模板组成。

底模的外侧模采用定型组合模板、角模、立柱和丝杠组成。内侧模和端模因各断面尺寸不同,由工地自配木模。

2)箱梁外模构造和装配(见图 11-14)

外模由模板、桁架、螺旋千斤顶、支座等组成。

模板采用定型组合模板,纵肋(连杆)间距 45cm,角模和支撑系统由施工单位设计和制造。

外模支架为钢桁架,每组 5 片,间距 90cm。桁架支座采用铰结,在外侧立柱上安装螺旋千斤顶。桁架顶端设施工脚手平台,设计荷载为 2.5kN/m^2。为使升降灵活,在螺旋千斤顶端部设球铰,为防止在浇筑混凝土过程中,因振动引起丝杠滑扣,造成模板松动,在螺杆上增加了锁紧螺母。

外模支座固定在 I36 槽钢上,用螺旋千斤顶使外模准确就位。

外模与内模安装就位后,每组模板用上下两道拉杆对拉。上面一道拉杆每根长 11.6m,是从顶板上将两侧外模固定,不从混凝土中穿过,避免与钢筋、管道相碰。但由于拉杆太长,施工时不易操作,后改用钢丝绳以花篮螺栓调整松紧,效果较好。下面一道拉杆在距底板底面约 80cm 处,需穿过腹板,将内、外模拉紧,杆长1.2m。因腹板内钢筋和管道很多,施工较困难,需进一步改善。

在外模腹板模板上每组一侧外模安装 8 个附着式振捣器,在两片桁架中间上、下各安一个,浇筑混凝土时,开动模板附着式振动器并辅以插入式振动器振捣。

3)箱梁内模构造和装配(见图 11-20)

(1)内模构造

内模由定型组合模板、异形模板、钢架和丝杠等组成。

内模除定型组合模板和连杆外,其余构件和支撑系统全部由施工单位设计和制造。

内模纵肋间距 45cm,刚架间距 90cm,拉杆和振动器安装与外模相同。

每组内模由 10 个模块拼成,下面 4 块为 A 型模块,上面 4 块为 B 模块,中间 2 块为 C 型模块。模块之间用螺栓和铰连成整体。

内模分块如图 11-21 所示。A 型模块由 1 号模板和 1 号刚架组成,对称地装拼在箱梁底板的三角垫木上。在每个刚架下面设置 2 个丝杠,丝杠既是内模支承,又可调整模板高度。

B 型模块由 2 号模板、2 号刚架和异形模板组成,对称地装拼在 A 型模块上。

A、B 型模块上的丝杠座,用于装、拆模时与水平丝杠和倒体连接。

C 型模块由 3 号模板和 3 号刚架组成,装拼在 B 型模块中间。

A、B 型模块用螺栓连接,不设铰。B 型和 C 型模块除用螺栓连接外,另设铰。拆除螺栓后 B 型模块可沿铰转动。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

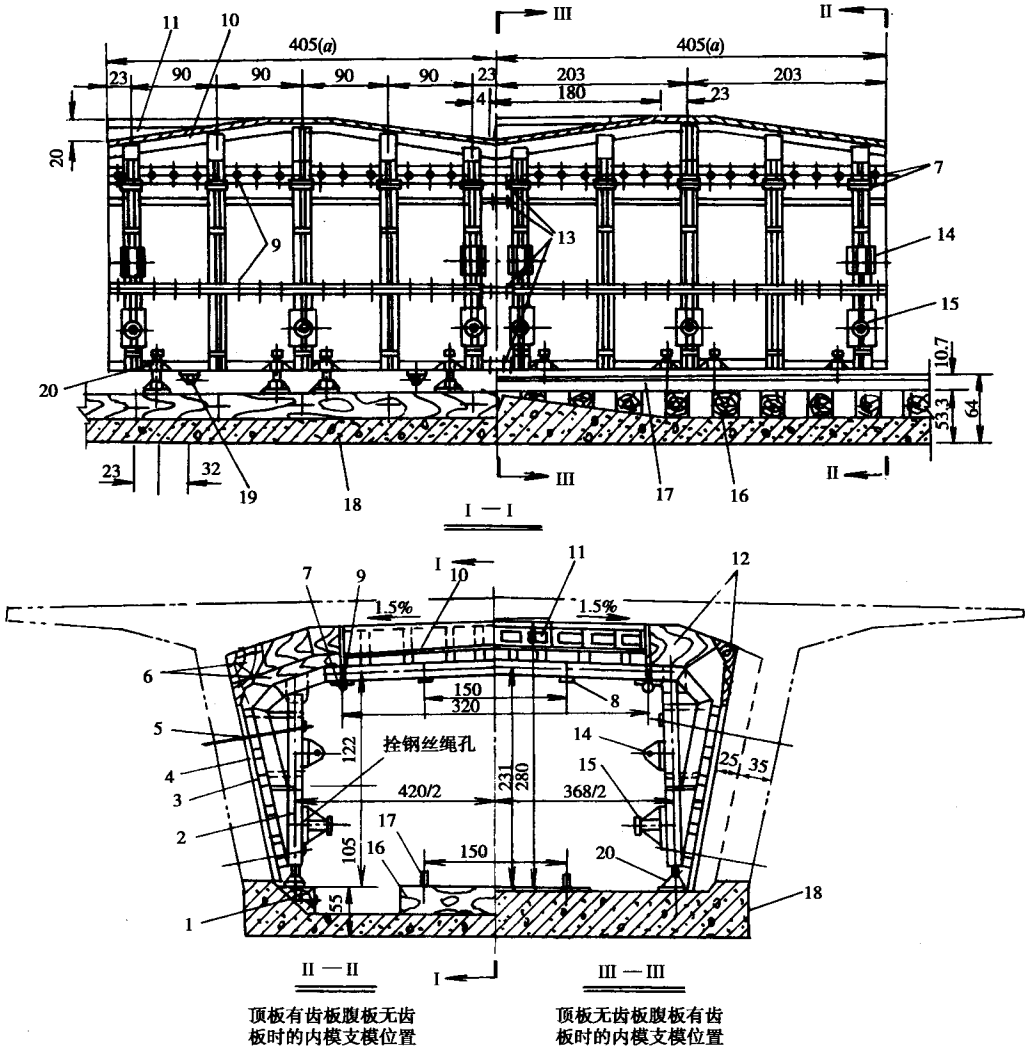


图 11-20　箱梁内模构造和装配(单位:cm)

1-垫木;2-钢架;3-组合模板;4-纵肋;5-拉杆;6-异形木模板;7-活页和销轴;8-挡板;9-螺栓;10-下层模板;11-上层模板;12-异形木模板;13-连接板;14-调整丝杠座;15-水平丝杠座;16-枕木;17-钢轨;18-箱梁底板;19-行走轮;20-垂直丝杠

(2)内模拼装

内模拼装时,需用吊车和台车,其操作程序如下:

①在距预制台座最适宜处铺设枕木和钢轨,将台车吊装到钢轨上;

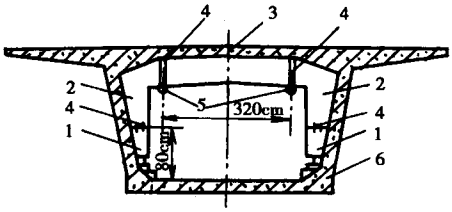


图 11-21　内模分块示意图

1-A 型模块;2-B 型模块;3-C 型模块;4-螺栓;5-铰;6-箱梁

②将 1 号刚架吊放在台车两侧的垫木上,用台车上的水平丝杠与 1 号刚架上的丝杠座连接,将 1 号刚架固定;

③将 3 号刚架吊放在台车上部的钢架上;

④将 2 号刚架上面的螺栓孔和活页与 3 号刚架的螺栓孔和活页对正,下面的螺栓孔与 1 号刚架的螺栓孔对正,然后插上销子,用螺栓固定;

⑤内模中每组按 $a/2$ 长分为两个独立的模板系

统，当2个 $a/2$ 段模板按以上各工序拼装完后，调整1号刚架下丝杠，使左侧1、2、3号钢架上的螺栓孔与右侧1、2、3号刚架上的螺栓孔对正后，用螺栓将一组模板联成整体。

⑥按以上方法反复进行，将4组刚架全部拼装完后，用刚架和台车上的丝杠仔细调整，使各部尺寸的安装误差达到设计要求；

⑦在刚架上安装1、2、3号模板和异形模板；

⑧使用时，将已拼装好的内模分组吊装至箱梁底板上就位。

(3)内模拆除、搬运和支立

内模的拆除、搬运和支立，用台车来完成，台车构造如图11-22所示。

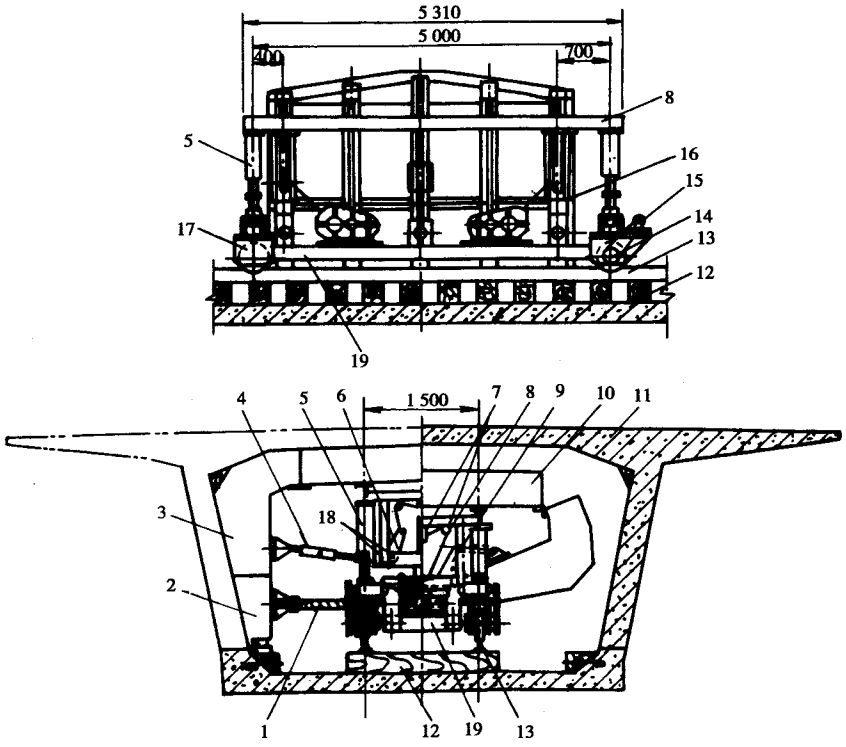


图11-22　钢模台车示意图(单位：mm)

1-水平丝杠；2-A型模块；3-B型模块；4-调整丝杠；5-立柱丝杠；6-左摇臂；7-滑轮；8-台车上部；9-右摇臂；10-C型模块；11-箱梁；12-枕木；13-钢轮；14-主动轮；15-变速器；16-卷扬机；17-从动轮；18-摇臂销子孔；19-台车下部

①当箱梁内无齿板时，模板的拆除、搬运和支立：

a.移动台车，使其停在靠近底板一端的箱梁内模下，开始拆运第1组模板；

b.升高立柱丝杠，至台车上车架距C型模块约1cm时停止；拆除B、C型模块之间的连接螺栓，向上旋转A型模块下的垂直丝杠至不能转动为止；

c.用两组50kN手动链滑车与1、5片刚架上的丝杠座连接；手动链滑车拉动A、B型模块，当模板松动后，A、B型模块随铰转动，落在台车车架上；为保证施工安全和减小模板变形，在台车车架上增设护栏并增加缓冲装置(如钉厚胶皮等)；

d.旋转台车上的立柱丝杠，使模板与混凝土脱离约5cm；

e.用卷扬机牵引台车，将整组模板运至底板段就位；

f.用模板和台车上的丝杠反复调整模板位置，至符合设计要求时，用拉杆与外模固定；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

g.第1组模板拆运完后,按上述操作方法继续拆除2、3、4组模板。

②当箱梁内有齿板时,模板的拆除、搬运和支立:

因箱梁内有齿板,空间小,无法进行整组模板一次脱模和拆运,需将模板分两次拆运。先拆运下面两块A型模块,用台车运至底板段就位后,台车返回,再拆运B、C型模块。

a.移动台车,使其停在靠近底板一端的箱梁内模下,开始拆除第1组模板;

b.拆除A、B型模块之间的连接螺栓,向上旋转A型模块下的垂直丝杠,至不能转动为止;用撬棍将A型模块松动,在台车上放一横木,将左右两块A型模块挂在台车上,运至底板段就位;

c.台车返回原位,升高立柱丝杠至台车上车架距C型模块约1cm为止;

d.拆除B、C型模块间的连接螺栓,用两组50kN手动链滑车与1、5片刚架上的丝杠座连接;用手动链滑车拉动B型模块,当B型模块松动后,沿铰转动,落在台车架上;

e.下降台车立柱丝杠,使模板与顶板混凝土距离35cm;

f.用卷扬机牵引台车,将B、C型模块运至底板段就位;

g.用模板与台车上的丝杠反复调整模板位置,至符合设计位置时,用拉杆与外模固定;

h.第1组模板拆运完后,按以上方法继续拆运2、3、4组模板;

i.根据设计图,调换双层模板处的三角模板、支点横隔板处模板和腹板上有齿板处的模板。

3.模板的主要优缺点

本桥箱梁模板是在吸收国内已建同类桥梁经验的基础上,参考国外顶推法施工箱梁模板的有关资料,并结合本桥箱梁的构造特点,设计试制的。经现场使用,其具有以下的优缺点。

1)主要优点

(1)装拆方便、周转快、用工省。一组箱梁模板装拆用工如表11-3所示。

一组箱梁模板装拆用工表 表11-3

模板名称		模板装拆时间(h)	人数(人)	工日(d)	备注
外模		3	7	2.6	可和其他工序交叉作业
内模	普通段	20	15	37.5	
	复杂段	24	15	45	
底模		12	6	9	可和其他工序交叉作业
合计				94.1	

(2)底模、外模、内模的支立、拆卸和搬运均用丝杠、吊车、台车、卷扬机等进行操作,实现了模板机械化施工,改善了工人劳动条件。

(3)预制的箱梁外形尺寸准确,表面光滑,各部尺寸误差能达到设计要求。

(4)箱梁断面型式复杂,箱内断面形状有10种以上。内模采用普通模板和异形模板的变换方法,使一套模板全桥通用。

2)主要缺点

(1)在模板设计中,因一些参数不完善,为安全考虑,使内外模支架及丝杠等尺寸偏大。每套模板(4a)的钢材用量较大(如表11-4所示)。平均每平方米达0.19t;模板的用量也较大。

一套模板(4a)质量及材料数量表　　表 11-4

项　目	面积(m^2)	模板总质量(t)	钢材用量(t)	木材用量(m^3)
底　模	120	18.26	16.2	3
外　模	160	38.5	37.1	2
内　模	220	39.96	37.16	4
台　车		3.5	3.5	
合　计	500	100.22	93.96	9

(2)安装内、外模下面的一道拉杆时,因腹板内钢筋和管道多,施工较困难。

(3)角模、端模和异形模板采用木模,木材用量大。如改用钢模,可节省木材,并能加快施工速度。

(六)箱梁施工

为了在厂房内展开较大的工作面,便于流水作业,箱梁预制台座分底板段和箱梁段两段进行施工。

1.底板段施工

第一段梁先在底板段预制两个单元,即 $2\times4.0625=8.125$m 的底板。在预制前,需先将导梁下弦的预埋件准确设置在底板位置中,并预拼两节下弦杆,控制下弦杆底面的平整度和标高与箱梁底面完全一致。当浇筑的底板混凝土强度达到设计强度 80%后,拆掉模板,将导梁下弦杆和箱梁底板一起顶推至箱梁段位置。至此,即完成了箱梁按周期循环预制作业的准备工作。

第一个周期循环作业时,当底板顶推就位后,即可在空出的底板段工作面进行底模顶升和调平、安装侧模、绑扎钢筋、安装预埋件和铺设管道、浇筑混凝土、养护等工作。同时在前一段梁段位置处的底板上安装箱梁外侧模、绑扎腹板钢筋、穿弯束铁皮管、安装内模、绑扎顶板钢筋、安装预埋件和管道、浇筑混凝土、养护等。即第 1 段箱梁与第 2 段底板各工序交错作业,以期达到最短的施工周期。在第一周期内应注意导梁上弦预埋件的安装。在浇筑第一段箱梁顶板混凝土以前,应把导梁组装好 10m 以上。

下面介绍底板施工的各工序。

1)顶升底模板

底模板是拼装成的一块 5.3m×10.5m 整体钢模板,用 36 个螺旋千斤顶顶升到设计标高,并精确测量,调准平直。

2)安装侧模板

外侧模板是分段的钢模板,用一排斜置的丝杠铰接于模板与台座上,用以调平侧模板的垂直度并作为外支撑。内侧模为木模板,通过三角形连杆悬挂于外模肋条上。

3)绑扎钢筋

钢筋绑扎前,需仔细放样,确定各预埋件的位置,并按设计位置将其安放好。

底板钢筋每隔 60~80cm 设一片管道定位钢筋框。该钢筋框除固定管道位置外,同时又保证上下层钢筋的位置。

4)安设预应力钢丝束管道

底板内预应力钢丝束的预留管道密集,并分为先期束与后期束两种管道,先期束均系镀锌铁皮管管道,后期束为橡胶抽拔管管道。但后期弯束仍用镀锌铁皮管管道。管道的接头缠上黑胶布,防止灰浆漏入管道内。底板端部模板,按管道位置开孔,以固定管道位置,中间每隔

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

60～80cm 安设一道管道定位钢筋框进行定位。

5)浇筑混凝土

混凝土由厂房外的拌和站用平车通过地道送入厂房,然后由桁车吊运至底板段。振捣器是以底板下的附着式振捣器为主,以插入式和平板式振捣器为辅。底板混凝土约 $30m^3$,在 3～4h 内浇筑完毕。

6)养护及抽拔橡胶管

混凝土浇筑后约 2h,覆盖棚布,然后通蒸汽进行养护。经过约 100～150℃h 后,即可抽拔橡胶管。然后继续养护至混凝土强度达到设计强度的 80%,才逐然降温,停止养护。

2.箱梁段施工

箱梁段的施工各工序与底板段施工的各工序交错进行。

1)安装侧模板

侧模内脚是通过一排铰固定在底座上的。外脚的下部是一排可以升降的丝杠,并通过下端的铰固定在底座上,安装或拆卸侧模时,只需将丝杠旋转,侧模即以内脚的铰为轴心,产生一个转角,就可达到装拆侧模的目的。

2)绑扎腹板钢筋和安设预应力弯钢丝束镀锌铁皮管管道

绑扎腹板钢筋和安设弯束管道与底板大致相同,仍需严格控制弯束座标,保证管道曲线圆滑、直线顺直,以减少张拉时钢丝束与管壁的摩阻力。

3)安装内模

内模是与台车配套的拼装式钢模,基本上分为顶板和两侧内模板三个单元四个节段。其内侧模又分为上下部,下部可将连接螺栓卸掉单独脱模,用台车先将其运至安装部位;然后将台车推至已卸走下部内模的顶板下方,升起台车,松动上侧内模使它沿顶板两侧的铰轴旋转,落下台车,使顶板脱离混凝土,连同上部侧模一起运至安装位置,与下侧内模连接。该道工序比较复杂,还有异型模板及附件,每一段梁并不完全一样,要参照上述模板构造和装配中的有关内容执行。内模就位后即进行调正,并与外侧模用腹板螺栓拉紧。

4)绑扎钢筋、安装预应力钢丝束管道

其施工工序基本上与底板段相同。

5)浇筑混凝土

箱梁混凝土的浇筑程序,是先浇腹板、后浇顶板;腹板混凝土的振实,主要由其内、外侧附着式振捣器振捣,下部用插入式振捣器振捣,顶板用插入式振捣器振捣并用平板振捣器找平。一次浇筑箱梁混凝土的数量约 $80m^3$,大约需要 8～10h。

6)养护及抽拔橡胶管

箱梁浇筑混凝土后的蒸汽养护及抽拔橡胶管大致与底板相同。

7)张拉先期钢丝束

当混凝土强度达到设计强度的 80%后,同时对称张拉顶板和底板的先期钢丝束。先期束是采用镦头锚具,穿心式千斤顶,详见预应力施工有关内容。

8)顶推

每段梁先期束张拉完成后,即可顶推一个梁段(16.25m),然后进入下一个施工周期。

3.箱梁预制顶推工艺流程及施工周期

1)箱梁预制顶推工艺流程

每段箱梁预制顶推工艺流程见图 11-23。

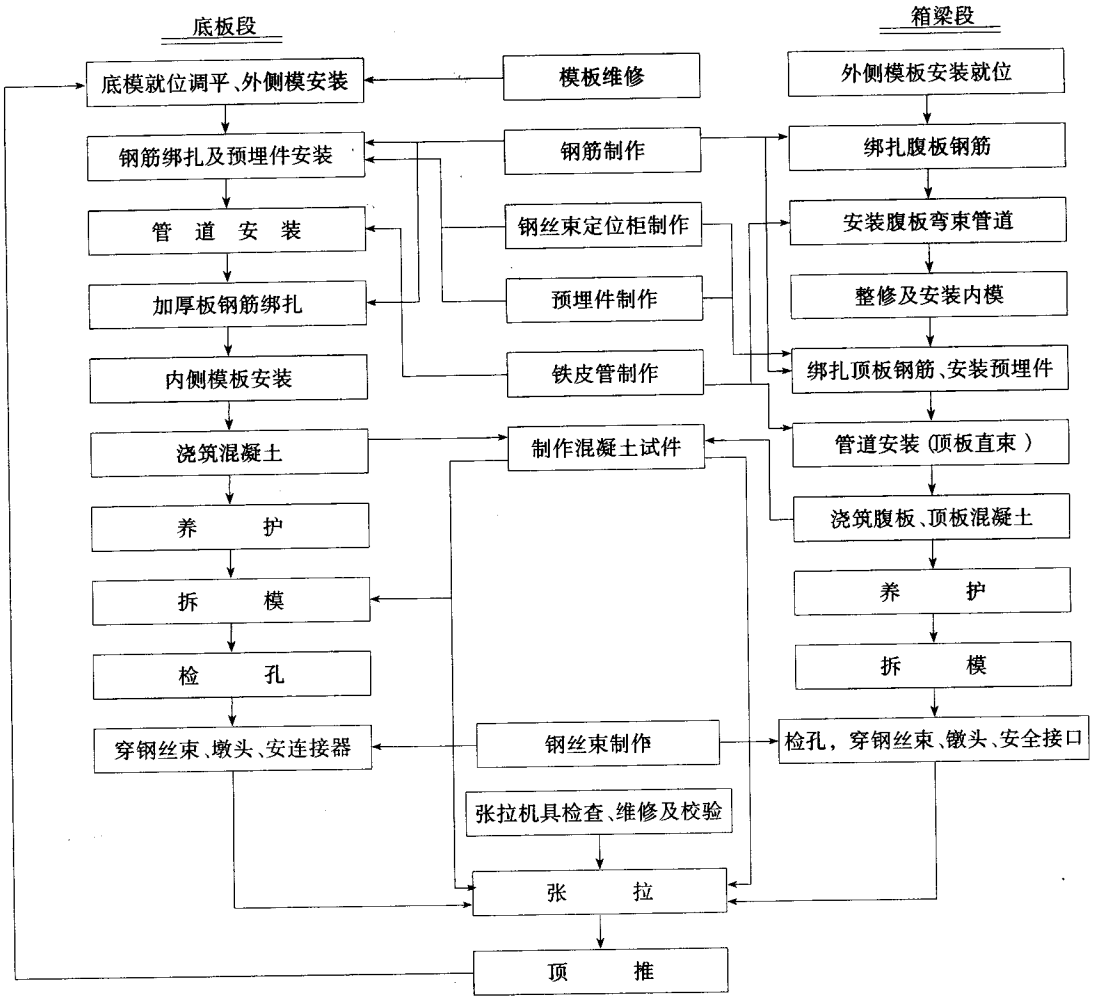


图 11-23 箱梁预制顶推工艺流程

2)每段箱梁施工周期

本桥一段箱梁施工周期，初时需要 19～20d。以后随着操作的熟练，加上实行经济责任制的措施，施工周期一般稳定在 10d 左右，也有个别周期达到 8d。每段箱梁施工周期见表 11-5。

(七)预应力施工

1.预应力配束

预应力配束分为顶推阶段配束和运营阶段配束两类。

顶推阶段配束是箱梁顶推时由于自重和各墩台不均匀下沉等原因产生的内力所需的顶板和底板的配束，这些钢丝束称为先期束。本桥的先期束顶板为 30 束 24ϕ5mm 钢丝束，底板为 20 束 24ϕ5mm 钢丝束。顶推就位后在张拉后期束的同时，有些先期束在某些部位需要全部拆除或部分拆除，拆除部分称为先期临时束，保留部分称为先期永久束。临时和永久先期束均用连接器连接，分段张拉。

运营阶段配束是箱梁顶推到位后，由先期永久束和全部后期钢丝束(包括腹板弯束)组成的配束，它是承受梁的全部恒载、车辆、人行活载、温差影响、支座不均匀沉降等外力所需的配束。本桥温差按 5℃，基础不均匀沉降按 2cm 考虑。

本桥端跨、中跨箱梁先、后期束布置如图 11-24 所示。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

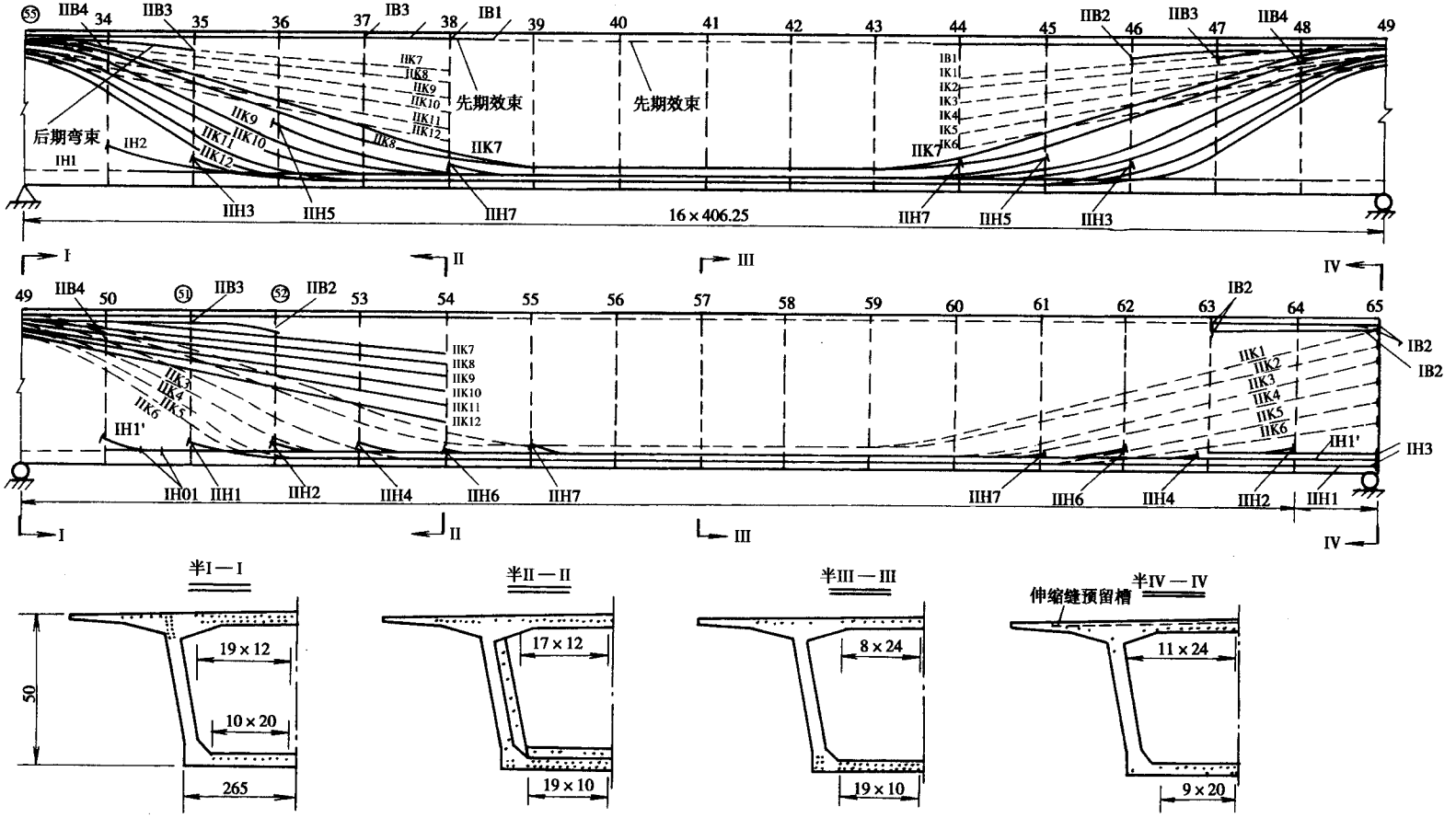


图 11-24　端跨、中跨箱梁先、后期束布置图(单位:cm)

IB、IH-先期顶板、底板直束;IIB、IIH-后期顶板、底板直束;IIK-后期腹板弯束

每段箱梁施工周期表　　表 11-5

工序 \ 进度 \ 日期		箱梁施工周期(d)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
底板段	底模安装调平，侧模安装												
	安装预埋件，绑扎钢筋												
	安装加厚板端模和锚垫板												
	安装管道												
	安装内侧模												
	浇筑混凝土												
	养生、抽拔胶管、拆模												
箱梁段	混凝土凿毛、清理模板、涂油												
	外侧模安装												
	绑扎腹板钢筋												
	安装弯束管道												
	安装内模												
	顶板安装预埋件、绑扎钢筋												
	安装顶板管道												
	浇筑混凝土												
	养生、抽拔胶管												
	拆模、检孔												
	穿束、张拉												
	顶推												

2.预应力施工基本情况

全桥使用的预应力钢丝　　320t

全桥使用预应力钢丝束　　3 202 束

预应力张拉锚具(两种)　　镦头锚、弗氏锚

制作管道(两种)　　橡胶抽拔管、镀锌铁皮管

使用千斤顶(三种)　　YC—60 型、YG—170 型、YZ—85 型

3.钢丝束制作

钢丝进场后，需进行物理和力学指标检验，各项指标合格后方可使用。

1)钢丝开盘

钢丝采用机械拉伸开盘，开盘设备包括电动卷扬机、导向滑轮、牵引钢丝绳、转盘、跑车和跑车道等。钢丝拉伸开盘布置示意，如图 11-25 所示。

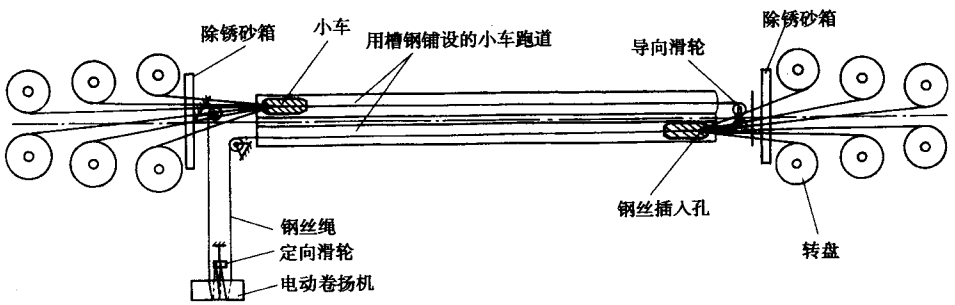


图 11-25　高强钢丝拉伸开盘布置示意图

2)下料长度的计算

(1)弗氏锚下料长度按下式计算：

$$L = x + 2a \tag{11-6}$$

式中：L——下料长度，cm；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

x——孔道长度，cm；

a——一端工作长度，采用 70cm。

(2)镦头锚下料长度按下式计算

$$L = x + t_1 + t_2 + 2b - \Delta L_1 - C \tag{11-7}$$

式中：L、x——意义同前；

t_1——锚板厚度，cm；

t_2——锚环厚度，cm；

b——一端预留镦头长度，采用 90cm；

C——为使锚环不被拉出预留孔而设的安全长度，采用 2cm；

ΔL_1——钢丝束在有管道摩擦作用下张拉至控制应力时的伸长值，cm；

$$\Delta L_1 = \frac{100\sigma_k x}{E_g(Kx + \mu\theta)[1 - e^{-(Kx+\mu\theta)}]} \tag{11-8}$$

式中：σ_k——设计控制应力，N/cm^2；

E_g——钢丝弹性模量，N/cm^2；

K——管道每米局部偏差对摩擦的影响系数；

x——从张拉端至计算截面的管道长度，m；

μ——预应力钢丝束与管道的摩擦系数；

θ——从张拉端到计算截面曲线管道部分切线的夹角之和，rad。

对于直线型布束时，上式 $\theta = 0$，则

$$\Delta L_1 = \frac{100\sigma_{kx}}{E_g K}[1 - e^{-Kx}] \tag{11-9}$$

3)成束

下料时，钢丝长度 L 误差控制在 $L/300 \sim L/8\,000$ 以内，切断后的端截面与母材垂直。沿钢丝束长度每隔 1.5m 绑扎一道 22 号铁丝。穿束时钢丝束端头用胶布包裹。镦头锚的钢丝束应预先在料场将其一端穿好锚环并镦头。成束后的钢丝束统一编号，挂牌，按类推放整齐，以备使用。

4.钢丝束张拉

1)先期束张拉

张拉先期钢丝束的锚具主要用墩头锚。当梁体混凝土强度达到设计强度 80%后，即可拆模张拉。

(1)准备工作

准备工作包括：检查锚垫板下的混凝土是否密实，不密实的要及时处理，处理方法通常是把不密实部分凿除，用环氧树脂砂浆补强；校核管道孔轴线是否与锚垫板垂直，不垂直的加楔型垫板调整垂直；检查管道是否畅通，不畅通处，予以清理，以供穿束。

(2)穿束

先期钢丝束比较短，最长的也不超过 36m，穿束时只需人工一端送入即可。穿束的内容及工作顺序如下：

钢丝束穿入→露出槽口，穿锚板、锚芯→镦头→适当退出钢丝束以便安装连接器。

(3)张拉

根据设计要求和箱梁的构造特点，箱梁顶板、底板按桥轴上游、下游对称张拉。通常 3 人

为一小组，操持1台千斤顶。其中1人专门负责开油泵和作记录，其余工人安装千斤顶，锚固等。张拉程序如下：

安装千斤顶→初拉力（10%σ_k，作标记）→超张拉（为105%σ_k，量伸长量并持荷5min）→回零→张拉至控制吨位（量伸长量）→上螺帽锚固→回零，卸下千斤顶。

2）后期束张拉

后期张拉的钢丝束采用弗氏锚。后期钢丝束共358束，其中58束为一端张拉，其余均为两端张拉。最长钢丝束为弯束，全长107.7m。

（1）张拉

根据设计要求，358束钢丝束分三批张拉，如图11-26所示。具体作法如下：

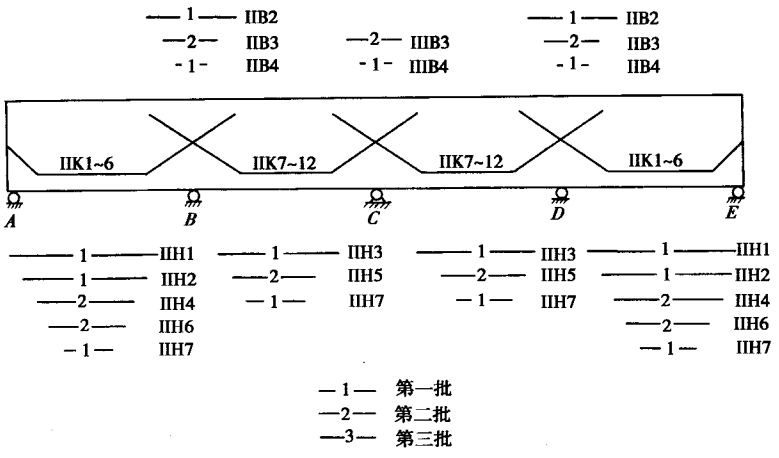


图11-26 后期钢丝束张拉顺序示意图

ⅡB-后期顶板直束；ⅡH-后期底板直束；ⅡK-后期腹板弯束

①根据设计要求拆除底板临时束，顶板每跨拆除1/3的临时束（间隔对称拆除），张拉第1批钢丝束；

②顶板再拆除1/3临时束（拆法同前），张拉第2批钢丝束；

③拆除顶板剩余临时束，张拉第3批钢丝束。

张拉第1批钢丝束时，先张拉两个中跨，后张拉端跨，且自始至终贯彻对称张拉的原则。本桥使用8台千斤顶，分成4组，每组配备3～4人进行对称张拉。张拉107.7m钢丝束时，两端用电话联系，同步张拉；顶塞时一先一后，考虑顶塞出现问题时便于处理。

（2）控制伸长值计算

①直束伸长值计算

$$\Delta L_K = \frac{\sigma_k - \sigma_c}{E_g K}[1 - e^{-Kx}] \tag{11-10}$$

式中：ΔL_K——控制伸长值，m；

σ_k——设计控制应力，N/cm^2；

σ_c——初应力，约为10%σ_k，由千斤顶标定时提供；

E_g——钢丝弹性模量，N/cm^2；

K——管道每米局部偏差对摩擦的影响系数；

x——从张拉端至计算截面的管道长度，m。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

②弯束伸长值计算

弯束线型是由直线和曲线(圆弧)间隔组成,伸长量计算可按分段进行,然后累计求得。具体计算如下:

a.直线段:$\theta=0$ 时,$\sigma_x=\sigma_0 e^{-KX}$。其应力分布如图 11-27 所示。式中 σ_0 为该段中的最大应力。

任一微分段 dx 的伸长值 $d\Delta L$ 可用虎克定律求得:即 $d\Delta L=\dfrac{\sigma_x}{E_g}dx$

直线段全长伸长量值:

$$\begin{aligned}\Delta L&=\int_0^{x_{max}}d\Delta L\\&=\int_0^{x_{max}}\frac{\sigma_x}{E_g}dx=\int_0^{x_{max}}\frac{\sigma_x}{E_g}e^{-Kx}dx\\&=\frac{\sigma_0}{E_gK}[1-e^{-Kx_{max}}]\end{aligned}\tag{11-11}$$

b.曲线段(圆弧段):其应力分布如图 11-28 所示。

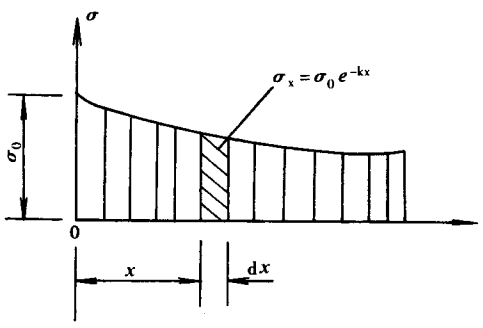


图 11-27　直线段应力分布图

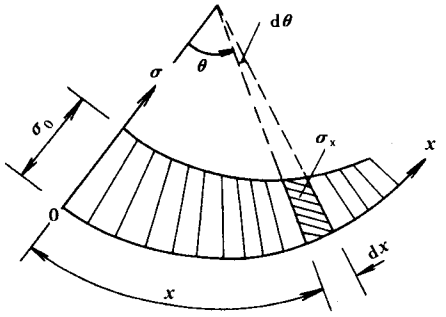


图 11-28　曲线段应力分布图

假定 $\rho=1/R$ 表示曲线的曲率,σ_0 表示该段中的最大应力。

任一微分段的伸长值:

$$d\Delta L=\frac{\sigma_x}{E_g}dx=\frac{\sigma_x}{E_g}e^{-(Kx+\mu\alpha x/R)}dx\tag{11-12}$$

弯束段全长伸长量:

$$\begin{aligned}\Delta L&=\int_0^{x_{max}}d\Delta L\\&=\int_0^{x_{max}}\frac{\sigma_0}{E_g}e^{-(Kx+\mu\rho x)}dx\\&=\frac{\sigma_0}{E_g(K+\mu\rho)}[1-e^{-(Kx_{max}+\mu\theta)}]\end{aligned}\tag{11-13}$$

将 $\rho=1/R$,由 $R=\dfrac{x}{\theta}$,得 $\rho=\dfrac{\theta}{x}$,代入上式则得:

$$\Delta L=\frac{\sigma_0 x}{E_g(Kx+\mu\theta)}[1-e^{-(Kx_{max}+\mu\theta)}]\tag{11-14}$$

c.直线曲线相间段:

按以上求得的直线段、曲线段伸长值计算公式,即可求得弯束的伸长值。

假设有一曲线、直线相间布置钢丝束，在曲线切点及直线起迄点处用分点 0、1、2、…，n 将其分成 n 段，如图 11-29 所示。

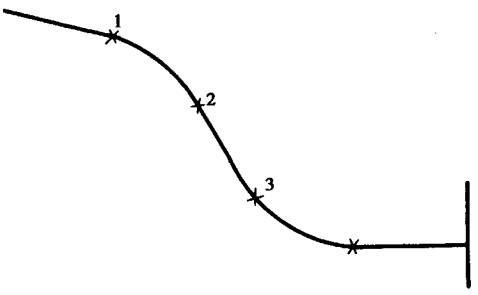


图 11-29　直线曲线相间布置示意图

对每一段用四个元素来描述，即 x_i 为 i 段长度；ρ_i 为曲线 i 段曲率，直线时 $\rho_i=0$；θ_i 为曲线 i 段所对应的偏角；σ_i 为 i 段中的最大应力，$\sigma_0=\sigma_k-\sigma_c$。

在分段计算时，前一段中的最小应力等于后一段中的最大应力，即 $\sigma_{imin}=\sigma_{(i+1)max}$；对于每一段来说，其伸长量值为：

$$\Delta L_i=\frac{\sigma_i}{E_g(K+\mu\rho_i)}[1-e^{-(Kx_i+\mu\theta_i)}]$$

$$=\frac{\sigma_k-\sigma_c}{E_g(K+\mu\rho_i)}e^{-(K\sum_{j=g}^{i=1}x_j+\mu\sum_{j=1}^{i=1}\theta_j)}[1-e^{-(Kx_i+\mu\theta_i)}] \tag{11-15}$$

全束的伸长值为：

$$\Delta L=\sum_{i=1}^{n}\Delta L_i \tag{11-16}$$

即

$$\Delta L=\frac{\sigma_k-\sigma_c}{E_g}\sum_{i=1}^{n}\frac{e^{-(K\sum_{j=1}^{i-1}x_j+\mu\sum_{j=1}^{i-1}\theta_j)}}{K+\mu\rho_i}[1-e^{-(Kx_1+\mu\theta_1)}] \tag{11-17}$$

具体计算时还可以采用列表计算。

3)张拉施工时的注意事项

(1)在张拉过程中断丝、滑丝常有发生，主要应注意以下各点：

①保证垫板平面与孔道轴线垂直，若发生不垂直的现象，应用楔形垫板予以调整；

②每束断丝或滑丝数不得多于 1 丝，每个断面断丝、滑丝之和不得超过断面钢丝总丝的 1%，超过这两项的规定时应改换钢丝束；

③安装千斤顶，要防止钢丝在分丝盘底下面交叉；

④控制顶塞压力，顶塞时进油速度要缓慢；

⑤锚具在使用前，要进行检查，特别是对锚塞硬度要逐个检验，剔除硬度过高或过低的锚塞；对锚塞虽硬度达到设计要求，但一侧偏高、一侧偏低，亦应予剔除；此外，锚具不得有油污；

⑥钢丝锚固后，要及时对管道进行压浆和封锚，防止长时间外露和意外撞击。

(2)采用张拉力和伸长值双控制。实际伸长值和理论伸长值比较，控制在 6%以内。控制张拉力除油泵司机根据给定数保证达到外，技术人员要检查压力表读数防止错看或误看。当伸长值出现异常时，应即查明原因，采取措施。

(3)及时准确地作好张拉记录，不得补记。

(4)张拉施工要特别注意安全。

①与张拉工作无关人员不得随意进入工作现场；施工现场应由专人负责指挥，高张拉力时不得随意靠近千斤顶；伸长值由专人从侧面量取，严禁从后面量取。

②已张拉完毕的钢丝束，不得敲击锚具和钢丝。

③高压油泵要经常仔细检查，防止高压油射出伤人。

4)张拉机具的管理

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

张拉机具要定人定责管理。

(1)千斤顶:凡使用期满2个月,或检修后,或标定后长时间没有使用等情况,都要重新标定。千斤顶移位时要轻拿轻放,不得摔打,以免损坏密封件或油路。

(2)油压表:新表、长期不用者、受振后或使用中发现伸长量增大、断丝增多、指针摆动幅度大、指针不回零等,均需进行检查标定,不合格者不得使用。

(八)顶推施工

本桥架设方法是采用"多联多点顶推法"。即在各墩(台)顶、临时墩顶上均设滑道,水平千斤顶及电动液压站(泵)由主控制室统一控制,各液压站同步运行,使箱梁在各墩(台)的滑道上推进,最后就位。

本桥设计为三联4跨连续箱梁,预制场地设在大桥一端路基上,每次预制长度为16.25m,除每一预制周期顶推一次(分段顶推)外,在每联全部预制完成后,即4×65m=260m,需继续顶推到安装位置(集中顶推)。

现将顶推工艺介绍如下。

1.设备

1)滑道、滑板

为了减少顶推时的摩擦力,采用21mm×200mm×400mm的聚四氟乙烯氯丁橡胶与钢板混合制成的滑板和30mm×800mm×1 250mm的钢板上面包一层3mm厚的不锈钢板的滑道,设置在各墩、台的上下游箱梁腹板的下面。

(1)滑道

为了交替喂送滑板,将滑道的进出口处加工成弧形,并要求本身平整。滑道下面的混凝土垫石应密实高强。滑道安装标高精度:相邻墩标高允许偏差不大于±2mm;同墩标高允许偏差不大于±1mm。滑道四周调平固定,然后封闭,压注强度40MPa水泥灰浆,以保证质量要求。

滑道的构造示意如图11-30所示。

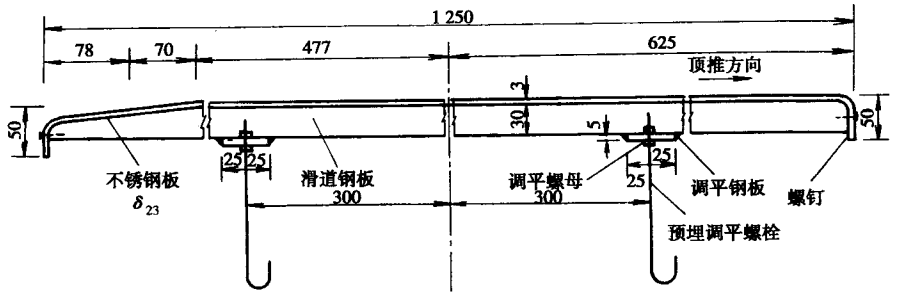


图11-30 滑道构造示意图(单位:mm)

(2)滑板

滑板是委托上海市政工程科研院研制的。其抗压强度为10MPa,耐-40℃低温。滑板的构造示意如图11-31所示。

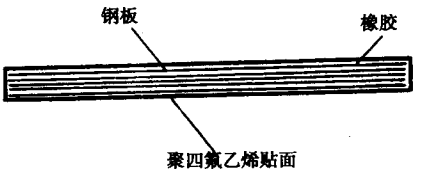


图11-31 滑板构造示意图

2)水平千斤顶

本桥顶推阶段梁体重力175kN/m,顶推跨径32.5m,每墩的垂直反力约6 500kN,滑道摩擦系数按0.1计,即每墩以650kN的拉力可以克服水平摩擦力,拖动梁体在滑道上移动。

原设计每个墩顶设2台600kN水平千斤顶，因当时缺乏这种吨位的水平千斤顶，根据上述估算的摩擦力，改用了湖南省交通厅设计院设计的HAN—40水平千斤顶。HAN—40水平千斤顶的技术参数见表11-6。

HAN—40水平千斤顶技术参数表 表11-6

活塞直径	ϕ150mm	中心直径	ϕ35mm
活塞工作面积	148.4cm^2	额定压力	30MPa
活塞回程面积	90cm^2	最大工作压力	32MPa
活塞行程	710mm	额定顶拉力	400kN
工作速度	270mm/min		

3)电动液压站

HAN—40水平千斤顶用LYB—610或ZB4500高压电动油泵驱动。LYB—610泵额定油压40MPa，可以满足顶推要求。ZB4500泵额定油压50MPa，不仅可用于顶推，还可与5000kN垂直千斤顶匹配，供起落梁时使用。

在顶推时，为了使多台水平千斤顶出力均匀，达到同步运行的目的，油泵均配置远程控制电磁阀和换向阀，以便分级调压，集中控制。

4)控制系统

本桥顶推最大规模是集中顶推。全联260m加首尾导梁共长300m，由16个液压站和1个主控制室组成动力系统。每个站均按5级调好压力，但前端第一个临时墩则按该墩在顶推中的不同位置(该墩的垂直反力由0逐然增大，故千斤顶的水平拉力也相应变化)分几次控制，由低至高，最后到反力最大时调成与其他站相同。

每个液压站在正常情况下，既可单独工作，又能由主控制室集中控制。当安(拆)拉杆时(准备或检查时)单独工作，准备就绪之后，按下按钮通知主控制室，等待顶推。

主控制室在全部各站准备就绪后(全部红色指示灯亮)，发出声信号，再起动顶推按钮，进行顶推。为防止各站水平千斤顶出力相差太多，要逐级长压；但升到4级时，要保持1～2min，以使各站都能达到规定压力，即各站都准备了一定势能，(此时千斤顶的总拉力稍低于各滑道的总摩擦力)；然后再升到5级，箱梁开始移动，随之压力有些下降(因滑道的动摩擦力低于静摩擦力)。

因为水平千斤顶的有效行程为710mm，为防止超过此值，在每台千斤顶上设有行程限位开关，16个千斤顶中有1台行程走完，触动限位开关，则全部停止。同时打开换向阀、千斤顶自动回油，准备下一个行程。

为防止各站出现故障，各个站均安有急停按钮，随时都可通过此按钮停止顶推。

液压系统原理，如图11-32所示。

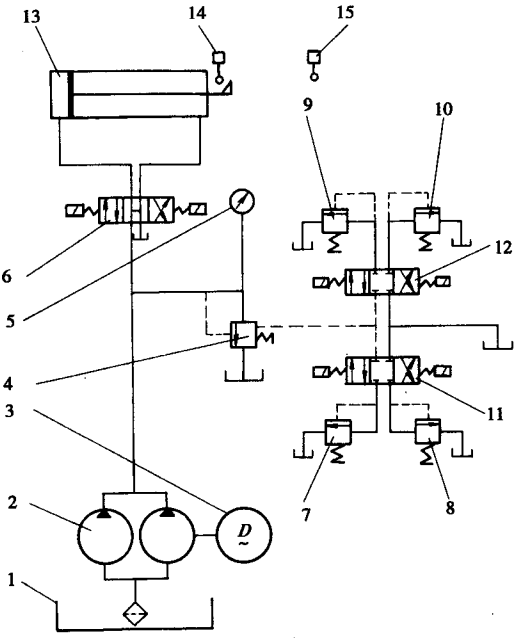


图11-32 液压系统原理图

1-油箱；2-ZB4500或LYB—610油泵；3-JO$_2$—32—4Y$_2$；4-YF—B10H$_4$—5溢流阀；5-Y—100压力表；6-340DH—B10H—7电磁换向阀；7、8、9、10-YF—BBH—5远程调压阀；11、12-34DO—B10H—T电磁换向阀；13-HAN—40水平千斤顶；14、15-X19—D01行程开关

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

5)传力系统

水平千斤顶是穿心式的,由一根 ϕ25mm60Si2V 高强螺纹钢筋作水平拉杆,其极限拉应力为 1 100MPa,一端穿过千斤顶锚固在千斤顶活塞顶端,另一端穿过拉锚器用尾套进行锚固。

拉锚器通过箱梁外侧的预锚钢板固定在箱梁上,为了装拆方便,减轻高空作业的劳动强度,把拉锚座制成插销式活动装置。

6)导向装置

在顶推过程中,为防止箱梁左右偏移,始终由一人用经纬仪定准桥轴线,随时检查箱梁中心线是否偏离,如有偏离,立即通知进行纠偏。

纠偏时用设在永久墩上的横向螺旋千斤顶,通过设在顶部的竖向轮控制箱梁方向。

顶推设备数量见表 11-7。

顶推设备数量表 表 11-7

名　　称	单位	数　　量			备　　注
		分段顶推	集中顶推	全　桥	
HAN—40 穿心式水平千斤顶	台	2 ~ 16	16	22	湖南交通厅机修厂
ZB4500 油泵或 LYB—610 油泵	台	2 ~ 16	16	22	柳州建筑机械厂 湖南交通厅机修厂
主控制室	台	1	1	2	湖南交通厅机修厂
ϕ25mm60Si2V 螺纹钢筋	t	1.5	1.5	3	
拉杆连接器	套	20	40	60	
拉锚座	套	2 ~ 16	16	24	
拉杆锚具	套	2 ~ 16	16	24	
锥形楔板	付	2 ~ 30	60	80	
不锈钢组合滑道	套			76	
200mm × 400mm 滑板	块	100	250	400	包括备用数量
横向螺旋千斤顶	个	4 ~ 10	10	20	

2.顶推施工

1)分段顶推

当第一个梁段(16.25m)预制完成并达到设计规定的施加预应力混凝土强度时,即进行顶、底板先期钢丝束的张拉,然后进行分段顶推。每一次分段顶推都要推进一个预制梁段长度 16.25m,以便空出预制台座,进行下一段梁段的预制工作。分段顶推施工示意,如图 11-33 所示。

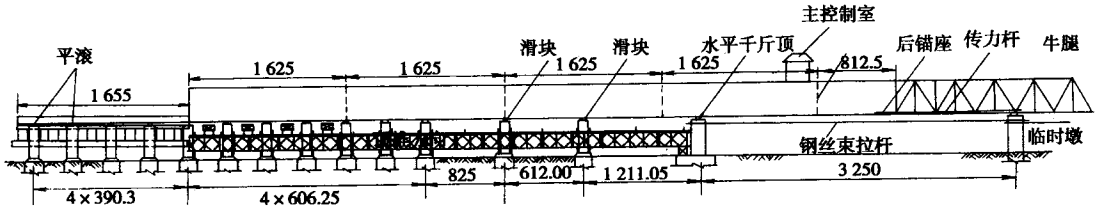


图 11-33　分段顶推施工示意图(单位:cm)

2)集中顶推

当一联梁(260m)全部预制完毕后,在厂房内安装好尾导梁,此时包括首尾梁全长共 300m,总重力约 46 000kN。本桥第一联需顶挂 560m 的距离,到北岸就位。第二联集中顶推距离

320m。日进度由 8～24m 不等。

3)顶推劳动组织

顶推劳动组织见表 11-8。

顶推劳动组织表　　表 11-8

工程项目	工作内容	人数		备注
		分段顶推	集中顶推	
总指挥		1	1	技术干部
现场技术管理		1～2	2	技术干部 1 人 机械干部 1 人
主控制室		2	2	技术干部 1 人 电工 1 人
油泵司机		4～6	16	
喂滑板	兼管拆装连接器和拉锚座	10～48	40	分段顶推时包括过渡段
纠偏		4	4	
现场值班		2～4	4	电工 2 人 修理工 2 人
中线测量		2	2	
观测	临时墩位移,箱梁、导梁挠度及电测	12～46	12～46	

(九)管道压浆

1.机具

WJ—60 型搅拌机与 HB50/15 型压浆泵配套使用,共 3 套。

2.水泥浆配合比

水泥浆配合比共有 2 种,一种是常温时使用,一种是低温时使用,分述如下。

1)常温时使用配合比

这类配合比是在 5～25℃使用。水泥浆设计强度为 40MPa。

水泥强度等级:52.5 普通硅酸盐水泥(保鲜期 3 个月以内采用)。

水灰比:0.4。

铝粉掺量:水泥质量的 0.5‰。

2)低温时使用配合比

这种配合比是在 5～ －8℃使用。水泥浆设计强度为 40MPa。

水泥强度等级:52.5 普通硅酸盐水泥(保鲜期 3 个月以内采用)。

水灰比:0.36。

铝粉掺量:水泥质量的 0.25‰。

硫酸钠掺量:水泥质量的 3%。

亚硝酸钠掺量:水泥质量的 8%。

3.拌浆及压浆

1)拌浆

拌水泥浆时加料的顺序为:①加水;②加外掺剂溶液;③加水泥及铝粉,铝粉宜先用适量的洗衣粉溶液脱脂再加少量水泥浆调匀。

水泥浆拌匀后要在 40min 内用完,拌一盘,用一盘,不可连续混存旧浆。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)压浆

管道压浆由一端压向另一端。压浆前先用高压水清洗孔道,同时通过清孔检查孔道有无串浆。清孔后从一端注入水泥浆,在另一端流出清水后,相继流出稀浆,最后流出浓浆。待放出少许浓浆后,关闭出浆阀门持压1min,再关进浆口阀门。

压浆压力一般控制在0.6~0.8MPa,随孔道长短增减压力。

压浆遇到管道不通等故障,并且在20~30min之内无法排除时,则应停止该孔的压浆工作,并做好详细记录,由专人查清堵孔部位,做好压浆嘴,再进行压浆。

每班压浆作业必须制留一组压浆试件,并当班填写压浆记录。

(十)支座安装及落梁

1.支座安装方案

在箱梁顶推到位之前,将全联10个支座分别放置在5个墩顶的中央部位,每个支座与墩顶连接的螺栓也事先放在预留的螺栓孔内。5 000kN垂直千斤顶亦事先安放在各墩顶预留位置。现以第2联连续箱梁为例,各墩计算的反力、支座种类及垂直千斤顶布置见表11-9。

各墩计算反力、支座种类及垂直千斤顶布置表 表11-9

项目 \ 部位 \ 数量	5号墩	6号墩	7号墩	8号墩	9号墩	合 计
计算反力(kN)	4 470	13 000	10 560	13 000	4 470	45 500
盆式支座	3 400kN 活动支座 2个	9 000kN 活动支座 2个	9 000kN 固定支座 2个	9 000kN 活动支座 2个	3 400kN 活动支座 2个	10个
5 000kN千斤顶	2个	4个	4个	4个	2个	16个

原拟支座安装方案:①按支座反力大小安装支座;②按支座设计标高安装支座。

开始时我们采用①方案,将全联箱梁用垂直千斤顶顶起5mm左右,通过千斤顶的油压读数,换算为各墩反力,得出:5号墩为5 760kN,6号墩为13 460kN,7号墩为11 590kN,8号墩11 820kN,9号墩为5 380kN,总反力为47 890kN。与上表计算反力比较,均偏大。经分析研究,反力偏大有以下各种原因:①垂直千斤顶的活塞摩阻力未扣除;②梁体混凝土重量系按25kN/m^3计算,可能与实际重量不一致;③梁体浇筑时有些涨模,使实际箱梁体积大于设计体积;④箱梁内外还有些砂石料及机具等施工荷载。

考虑上述因素,且事先又未作垂直千斤顶的摩阻力系数标定工作,最后还是采用②方案按支座设计标高安装支座。

2.支座就位及落梁操作

箱梁推进到预定桥跨以后,张拉后期钢丝束,此时各临时墩基本卸载。根据设计允许相邻墩高差2mm的条件,分墩顶起箱梁。顶起时上下游两千斤顶用油压表计数及千分表计数双控制同步起顶。破除滑道,推移支座就位,安装支座下盘锚固螺栓,调整支座标高,使精度达到相邻墩为±2mm、同墩为±1mm范围以内。在支座下及螺栓孔中灌注C40水泥浆,同时用C40混凝土填灌支座上盘螺栓孔,待水泥浆及混凝土达到设计强度后,分墩按上述双控制同步方法,落梁于支座上。

三、顶推法施工实例(二)

(一)工程概况

漳州西溪大桥是国道324线龙海至汾水关段，跨越福建省漳州市九龙江西溪的一座特大桥。其桥型布置简介如下。

1.上部构造

上部构造为一联15孔40m等截面预应力混凝土连续箱梁，单箱单室，斜腹板，梁高2.5m，顶宽14m，底宽5m。梁端设70cm厚横隔板，支座处设100cm厚横隔板，跨中设40cm厚横隔板，全桥横隔板共44个。桥面行车道净宽12m(机动车9m，非机动车两侧各1.5m)，两侧人行道净宽各1.5m，桥全长为608.60m。

2.下部构造

桥台采用混凝土埋置式台身，每台基础为4根ϕ1.5m钻孔灌注桩，上设2m厚承台；1～3号墩及12～14号墩为双柱式钢筋混凝土墩身，每墩基础各为4根ϕ1.5m钻孔灌注桩，上设2m厚承台，位于两岸河滩处；4～11号墩为双柱式钢筋混凝土墩身，每墩基础为2根ϕ1.5m钻孔灌注桩，柱、桩之间采用横系梁连接，不设置承台，位于主河槽处。全桥支座采用PZ系列盆式橡胶支座。1～3号及12～14号墩，每墩各设2个EX—700型活动支座；4～11号墩各设2个GD—700型固动支座，以承受由于温差、活载等造成的水平力。

全桥位于$R=40000$m的凸形竖曲线上。设计荷载为汽—20，挂—100，人群荷载3.5kN/m^2。

(二)施工特点

1.加强墩的抗推能力

本桥各墩为墩身较高的柔性墩。在顶推过程中，可能由于千斤顶发生故障，千斤顶的加力难以达到绝对同步等等的原因，不可避免地使墩承受一定的水平力和扭转力，这种不平衡水平力和扭转力，对刚度小、抗扭能力弱的柔性墩，特别是主河槽各墩将会引起一定的变形，如水平位移、扭转等，使墩的桩或柱发生开裂。因此，需要临时加强墩的抗推能力。本桥采用的加强方法是在墩与墩之间用水平拉束和斜拉束将各墩连成一体。

2.凸形竖曲线桥施工注意事项

1)各台座柱顶、过渡段柱顶与主墩台顶均应处于同一半径的竖曲线圆弧轨道上；

2)在顶推过程中，特别注意滑道标高应在同一竖曲线圆弧面内，并按位置计算和控制滑道进、出口的标高；

3)为满足导梁在竖曲线上顶推要求，导梁底分段加垫不同厚度钢板，使导梁底面亦形成相应的圆弧。

否则，会使梁体产生一强迫位移，引起梁体应力重分布，影响箱梁质量。

(三)预制台座和模板构造

1.预制台座

前述包头黄河公路大桥的预制台座是分底板段和箱梁段二部分进行浇筑混凝土，其长度较长。本桥改为在同一区段内分两次浇筑混凝土，即先浇筑底板混凝土，然后浇筑腹板、顶板混凝土。这样，预制段与厂房的长度相应减短。

预制台座由3～7号支墩支撑，在支墩桩顶上设置纵横向支撑工字钢梁。

过渡段由1号及2号支墩支撑，在支墩柱顶上分别设水平千斤顶及横向千斤顶各一对。

预制台座支墩和过渡段支墩布置，如图11-34所示。

2.模板构造

钢架外模用螺旋千斤顶连接，支撑在纵向工字钢上，从而构成可以升降的定位式底、侧模。底模表面的控制高程用千斤顶来调整。箱梁底模侧模构造，如图11-35所示。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

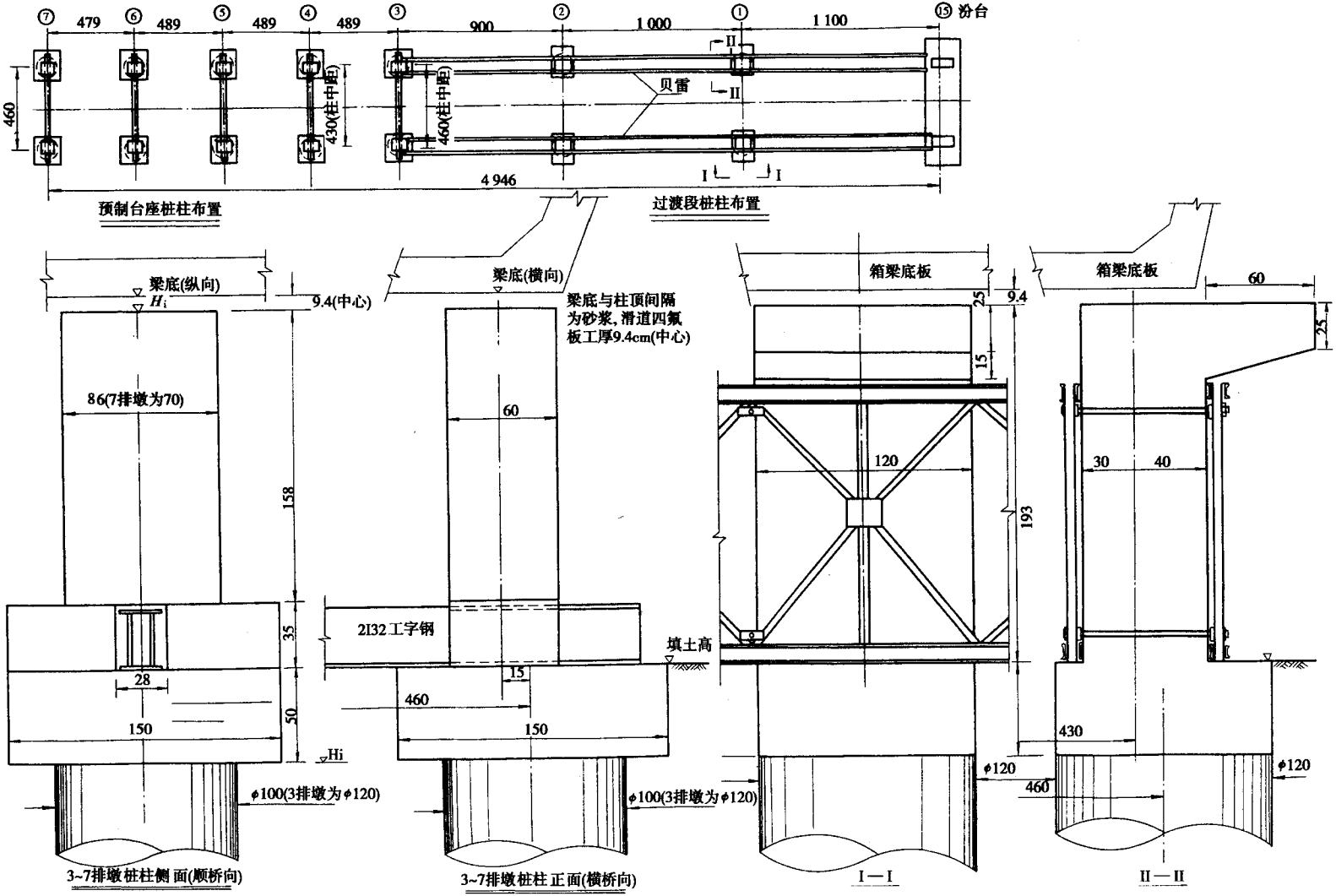


图 11-34　箱梁预制台座支墩及过渡段支墩布置图(单位:cm)

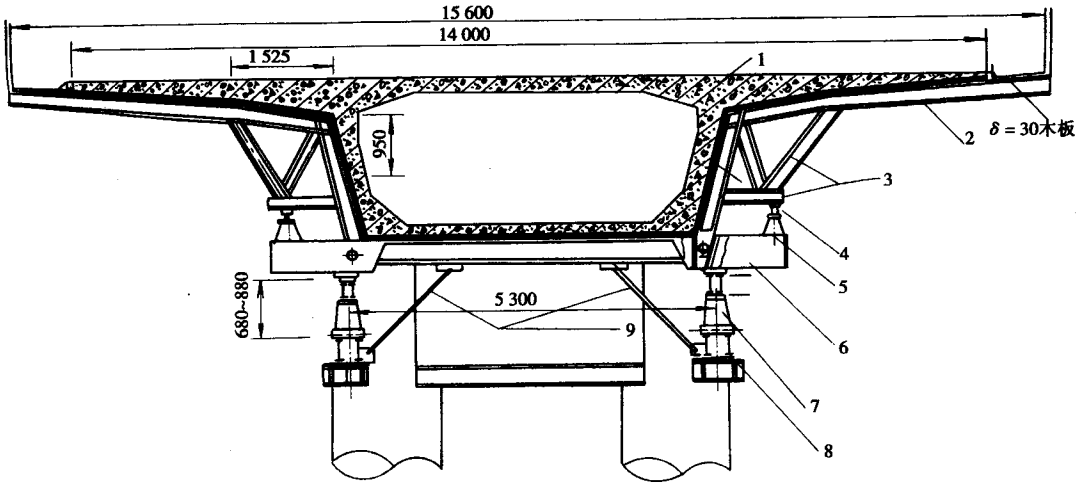


图 11-35　箱梁底模、侧模构造图(单位:mm)

1-预应力混凝土箱梁;2-I12 工字钢;3-I20 工字钢;4-δ = 40mm 木板与 12mm 防水胶合板;5-螺旋千斤顶;6-2 × 15mm 钢板;7-螺旋千斤顶;8-2 × I32 工字钢;9-T60 丝杆,无缝钢管

内模分 4 节,每节长 4.99m,采用整体钢架支承木模板而成,顶板及侧模用油压千斤顶来控制定位。安装或脱模后均可沿预先铺设的轨道进出移动。箱梁内模的构造,如图 11-36 所示。

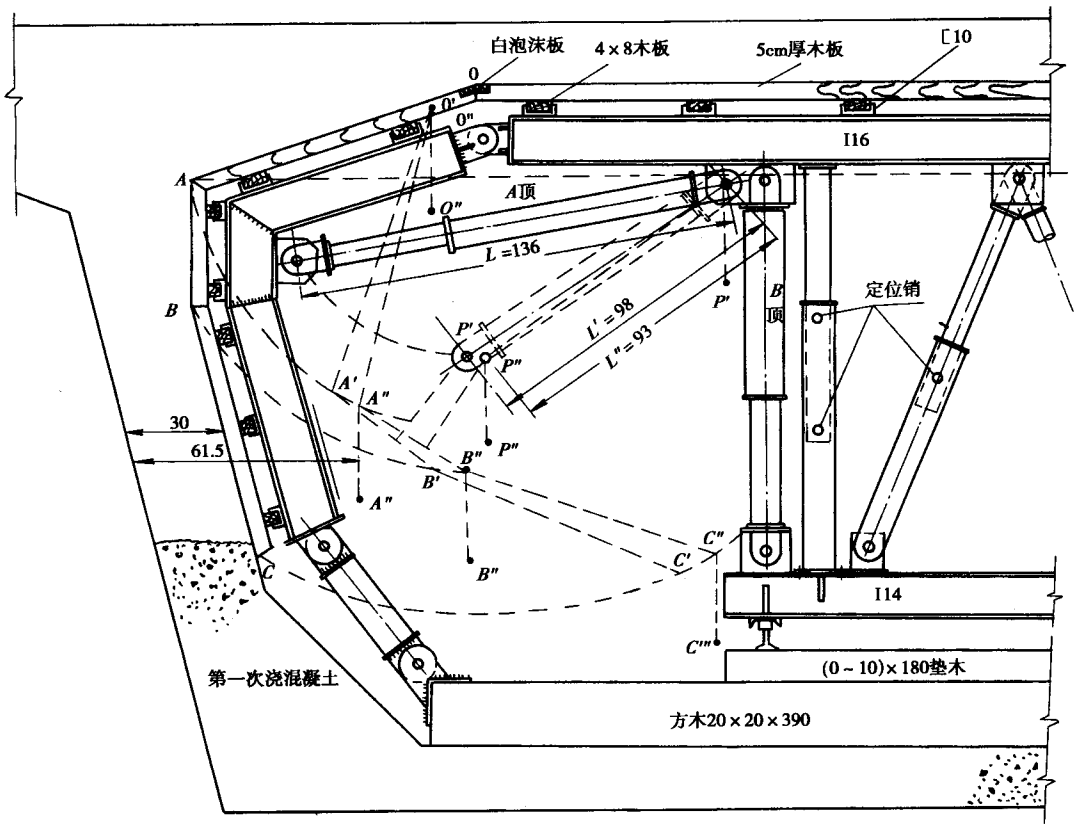


图 11-36　1/2 箱梁内模构造图(单位:cm)

注:①O、A、B、C 等各点为模板安装完成时的位置;②O'、A'、B'、C' 等各点为 A 顶收缩后各点的位置;③O''、A''、B''、C'' 等各点为 B 顶落下 30cm 后各点的位置;此时内模即可在箱梁最小净空内运出,进行下一次安装。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(四)预制厂房

漳州地处沿海,台风的风速较大。因此,厂房结构比内陆地区的长度减短外,高度亦应适当降低。

屋架采用贝雷桁架片搭设,屋顶设计成 1:10 的排水坡,并用 10cm × 10cm × 500cm 方木加密空档,上盖雨布,使预制工作不受天气影响,同时改善职工劳动环境。厂房全长 32m。

预制厂房构造图,如图 11-37 所示。

(五)箱梁预制

1.预制方案

箱梁总长为 600.68m,分为 31 段进行分段预制。分段长度为 10.34m + 29 × 20m + 10.34m。两段箱梁间新旧混凝土采用湿接头。为增强连续性,将两箱梁段的接触面凿毛并洗刷干净,用 ϕ8 ~ ϕ16mm 钢筋来加强结合面。

2.箱梁预制循环周期工序

1)前一段箱预制后,降落底模和侧模,内模原地卸松,张拉前一段箱梁先期束。

2)顶推前一段箱梁,安装底模和侧模。

3)绑扎底板钢筋和部分腹板钢筋,安装波纹管管道及钢丝束。

4)绑扎腹板钢筋,安装波纹管管道及钢丝束和底板角隅内模。

5)浇筑底板 C40 混凝土及铺设内模轨道。

6)安设内模。

7)绑扎顶板钢筋,安装波纹管管道及钢丝束。

8)浇筑腹板、顶板 C40 混凝土及混凝土养护。

9)对前一周期预制段的先期永久束压注水泥浆。

3.箱梁预制段技术要求

本桥预制梁段施工时,采用了以下的技术要求。

1)严格控制混凝土浇筑质量。配制混凝土时采用早强水泥,C40 混凝土的水泥用量为 510kg/m^3,水灰比为 0.391,坍落度为 8 ~ 10cm,外掺 0.5% UNF 早强减水剂。

2)预制梁段底面及两段梁身底板衔接处要求光洁平整。

3)严格控制钢筋、预应力筋孔道和预埋件的位置;设置波纹管管道时,每隔 60 ~ 80cm 设一片管道定位钢筋框,进行定位。

4)严格控制梁段的外形尺寸,其允许偏差(mm)如下:

(1)梁段长度:+5 和 -10,高度 ±4;

(2)底板、腹板和顶板厚度:±5;

(3)顶板宽度:+20 和 -10。

(六)导梁施工

导梁为变高度变截面板梁式钢梁,分节拼装成形。

(七)预应力施工

1.预应力钢丝束分类

由于箱梁在顶推和运营阶段中,承受交替变化的正负弯矩,因此箱梁的预应力钢丝束分为如下三类。

1)先期临时束:该束为布置于箱梁顶板和底板的直线束,在梁段顶推前先张拉,仅供顶推时使用,全梁顶推就位后,即行拆除。

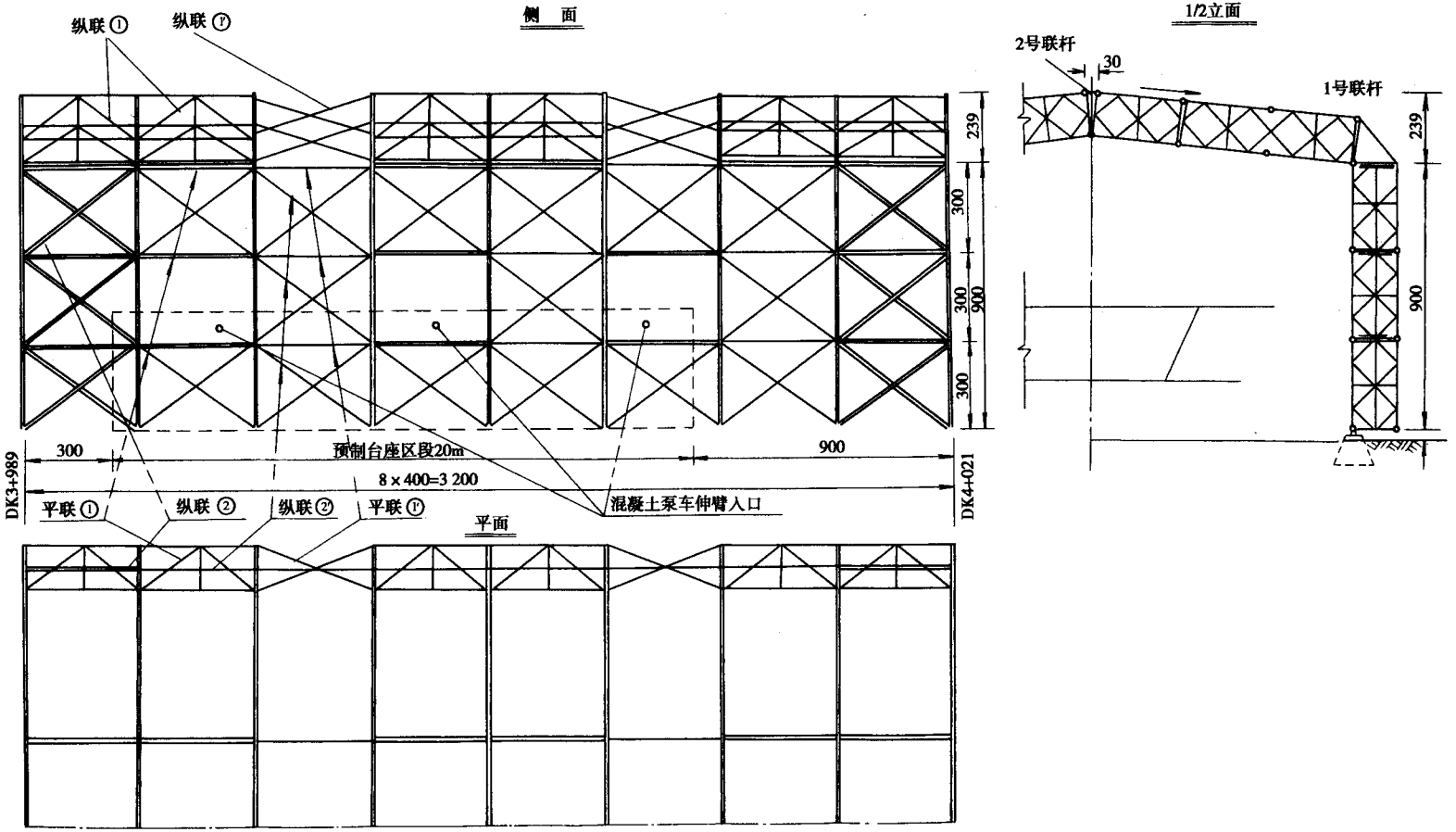


图 11-37 预制厂房构造图(单位:cm)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)先期永久束:该束亦为布置于箱梁顶板和底板的直线束,在梁段顶推前先张拉,供顶推和运营阶段使用,不予拆除。

3)后期永久束:该束仅为运营阶段使用,包括腹板的弯束,需在全梁顶推就位后方能张拉。

2.预应力钢丝束张拉

本桥采用的预应力钢丝束是由 49 根 ϕ5mm 碳素圆钢丝组成,钢丝的极限抗拉强度为 1 600MPa。预应力束的管道是用 ϕ65mm 波纹管成孔。锚具采用 XM—15—7 型,张拉设备采用 YCD—120 千斤顶。根据设计的预应力束长短,进行双向或单向张拉。张拉时采用双控,即张拉力和伸长量双控制。张拉程序如下:

$$0 \longrightarrow \text{初张拉力} \longrightarrow 105\%P_K \xrightarrow{\text{持荷 5min}} P_K(\text{锚固})。$$

其中 P_K 为控制张拉力。

(八)管道压浆

管道压浆是在箱梁推出后进行的。水泥浆强度为 40MPa,水泥为强度等级 52.5 的普通硅酸盐水泥,水灰比为 0.45,铝粉掺量为水泥质量的 0.5‰。压浆由一端压向另一端,压浆前用高压水清洗孔道,同时检查孔道有无串浆情况。清孔后从一端压入的水泥浆在另一端依次流出清水、稀浆、浓浆后,停止压浆。

所需拆除的先张临时束,锚固后不压浆,伸出锚头的钢丝头也不切割,便于拆除。

(九)顶推施工

本桥采用多点顶推法的施工,在各墩台顶上设置水平千斤顶,利用千斤顶传给墩的反力以平衡梁体滑移时在墩顶上产生的摩阻力,使墩在顶推中不承受水平力或大量减小承受水平力,以减小墩的结构设计尺寸。

1.施工设备

1)滑道与滑板

滑道采用 30mm 厚钢板上面包以 3mm 厚不锈钢板而成。其构造如图 11-38 所示。

滑板是用聚四氟乙烯贴面与橡胶板组合而成,梁段顶推时在滑板与滑道的接触面之间涂抹上硫化钼润滑剂以减少顶推摩阻力。

2)水平千斤顶

水平千斤顶是梁体移动的主要动力,本桥采用 600kN 穿心式水平千斤顶,每个主墩台及过渡段 1 号和 2 号支墩顶上设置 2 台;导向用横向螺旋千斤顶,设在主墩台顶上,在顶推梁体移动时,随时进行纠偏。

3)电动液压站

在顶推时,为了使多台水平千斤顶出力均匀,达到同步运行目的,各电动液压站油泵均配置远程控制电磁阀和换向阀,以便分级调压,集中控制。

4)传力系统

本桥顶推,传力系统设备与布置和包头黄河公路大桥相同。

2.顶推

1)箱梁顶推方向,由一岸连续顶推至对岸。顶推到位后,张拉后期永久束。

2)在顶推过程中,为了不超载使用滑板,主墩台上每滑道用 6 块滑板密排,连续替换喂入,过渡段每滑道用 4 块滑板。这样延长了滑板的使用寿命。

3)顶推时,每段箱梁尾端的就位,是顶推中控制精度的关键。就位是否准确,直接影响下

一梁段浇筑及顶推。因此，当梁段顶推工作接近完成前，必须严格控制桥纵轴线的位置及尾端在预制平面搁置的位置。

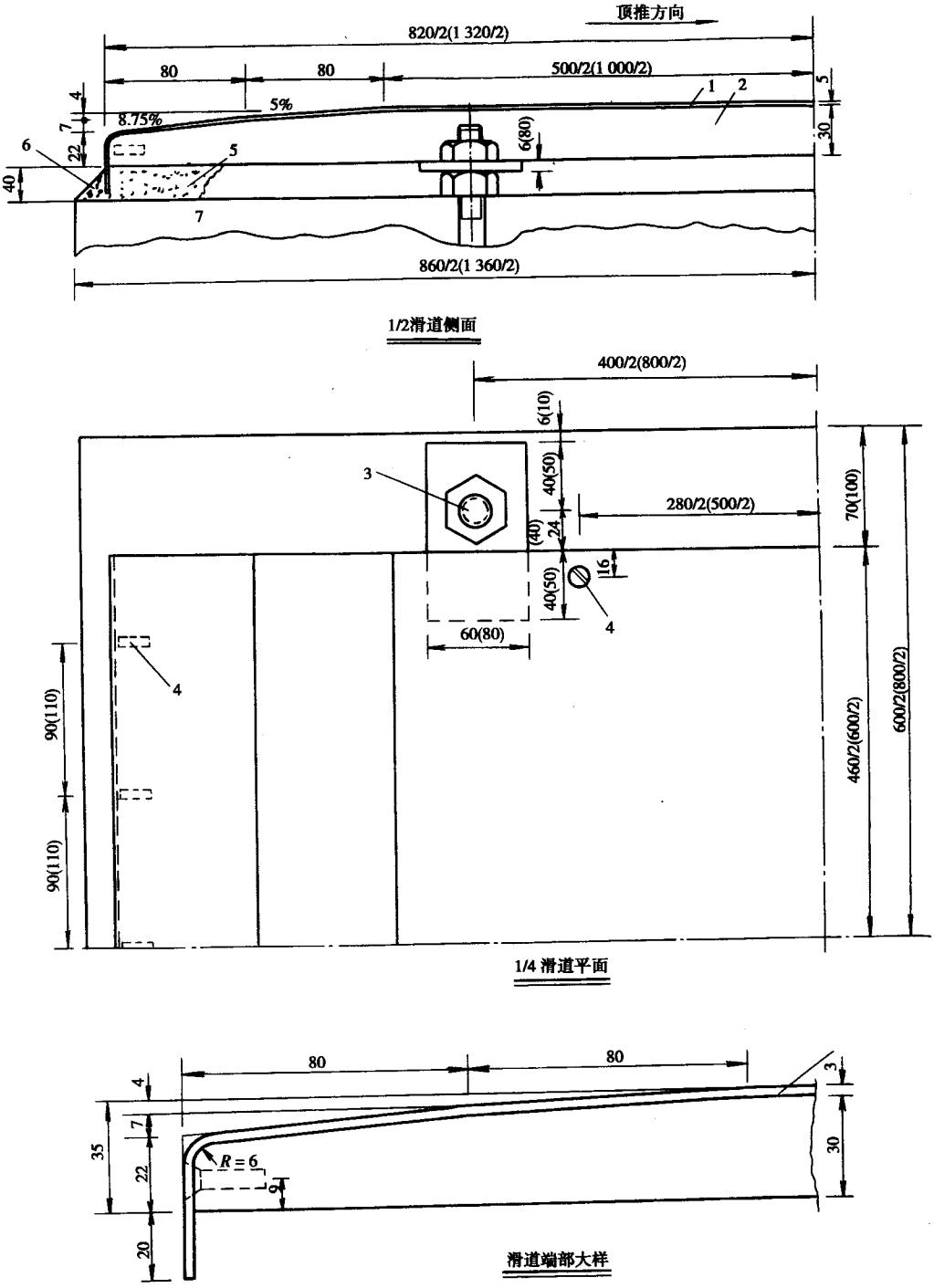


图 11-38　滑道构造图(单位：mm)

1-3mm 厚不锈钢板；2-30mm 厚钢板；3-M16 螺栓，预埋深 120mm；4-φ6mm 沉头座螺钉；5-C40 水泥浆(压注)；6-封闭水泥浆；7-混凝土方柱

注：图中括号前数字为预制场临时支墩用；括号内数为各主墩台及 1 号、2 号支墩用；数字后不带括号者为两者通用。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

4)顶推时要用经纬仪严格监测墩顶的水平位移,必须控制在允许位移的范围之内,主河槽墩尤为重要。

(十)支座安装及落梁

在箱梁顶推到位后,将各跨支座分别放置在各墩台顶的中央部位,每个支座与主墩台顶连接的螺栓也事前先放在预留的螺栓孔内,然后用5000kN垂直千斤顶将梁按设计允许相邻墩高差5mm的条件,分墩顶起箱梁。顶起时上下游两千斤顶用油压表计数及千分表计数双控制,同步起顶,破除滑道,推移支座就位,并固定。落梁时亦按上述双控制同步方法落梁于支座上。

支座安装标高控制在相邻墩为±2mm;同墩为±1mm范围以内。

落梁前对油泵的压力表及垂直千斤顶的摩阻系数均进行标定。

第十二章　预应力混凝土连续刚构桥施工

第一节　马鞍石嘉陵江大桥主梁0号块施工

一、工程概况

马鞍石嘉陵江大桥0号块高13.70m，长18m，底板宽5.95m，顶板宽11.95m，底板厚1.50m，隔墙净距8.40m，混凝土总方量774m^3。0号块为三向预应力，管道密集，为高空（墩身高达65m）、水上作业，施工工艺复杂。

二、支架设计与施工

由于支架安全系数小，为保障支架安全，必须使支架实际受力模式与计算相符。各构件位置应准确，重点保证各支点接触良好，并使之满足局部承载要求。首先对支架变形进行各阶段观测，用后处理程序进行推算各阶段各杆件受力情况，预防支架受力超载，必要时进行加固处理；其次是控制其他荷载，无关重物一律清理。

对于支架型式的选取，先后考虑了5种。考虑到充分利用现有材料及施工方便、支架合理性，最终采用墩身预埋牛腿式支撑。牛腿采用拉杆、预应力筋锚固式，其上依次是组合分配梁I、砂筒、组合分配梁II、主梁H400型钢、贝雷梁，中间为3H400型钢，墩身之间为4片贝雷，翼缘板支撑由4肢格构柱承担。

经过验算后调整牛腿、贝雷的位置，使各H400型钢、贝雷受力均衡，达到承载能力的充分发挥。先后采用了两种有限元结构计算软件以及手算方法对结构进行计算，结果相近，主要受力杆件亦即设计控制杆件H400型钢，最大应力为140MPa左右。

三、施工裂缝分析与预防

裂缝影响着0号块的施工质量，同类大桥多数0号块出现了裂缝，裂缝控制可以说是0号块的质量控制重点。

1.原因分析

0号块混凝土分三次浇筑。现就裂缝出现的原因分析如下。

1)浇筑第一级混凝土过程中，由于支架变形产生裂缝。0号块隔墙净距大，支架刚度有限，有较大的变形。马鞍石嘉陵江大桥主梁0号块支架变形最大可达20.5mm。变形的存在使得该种裂缝的出现成为可能。对另外两座大桥（黄石长江大桥、高家花园嘉陵江大桥）支架系统进行验算，发现两座大桥支架变形均达到20mm。尽管其支架刚度满足规范要求的$f < l/400$，但并不意味着不出现裂缝。但支架变形至何时出现裂缝，目前尚无定论，这里只能进行定性分析。

另外对前述两座大桥0号块第一级混凝土的浇筑进行了分析，两座大桥第一级混凝土方量大，浇筑时间长达30h以上，而混凝土未经特别处理，初凝时间仅2～5h；亦即表明在先浇混

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

凝土初凝后这段时间内完成了支架的绝大部分变形。

2)混凝土在强度增长期产生的水化热,使底板混凝土由于内外温差过大而产生裂缝。

马鞍石嘉陵江大桥水泥采用的是强度等级为 62.5 的普硅水泥,混凝土强度为 55MPa;0 号块底板厚 1.5m,属大体积混凝土,易产生裂缝。

针对马鞍石大桥 0 号块底板是否会出现温度裂缝进行了专门的验算。结果表明,在不采取任何措施的情况下,内部绝热温升在 40℃以上,混凝土内外温差超过 25℃,易产生裂缝。

3)浇筑第二级混凝土时由于自重产生的弯矩使第一级产生裂缝。

在浇筑第二级混凝土时,第一级混凝土必须具有一定的强度和抗弯刚度,这就要求第一级混凝土有较高的早期强度,有一定的浇筑高度。

对马鞍石大桥 0 号块第一级混凝土抗弯、抗剪能力进行了验算,表明当浇筑第二级混凝土时(暂定为 7d 龄期,混凝土强度达到设计标号的 70% 以上),第一级混凝土浇筑高度在 2.7m 以下时有可能产生弯拉裂缝。

对于以上分析,又查阅了大量的工程实例,发现所有出现裂缝的工程事故,至少有一条不满足上述要求。

2.预防措施

针对以上裂缝产生的原因,经过分析研究,采取预防措施如下:在满足 0 号块第一级混凝土在浇筑第二级混凝土时的抗弯、抗剪能力的前提下,尽量降低浇筑高度,以保证支架安全,减小支架的变形,减小第一级混凝土的浇筑方量,从而缩短第一级混凝土的浇筑时间;配制超缓凝混凝土,延长混凝土的初凝时间,尽量在先浇混凝土初凝以前完成混凝土的全部浇筑;0 号块底板按照大体积混凝土施工工艺施工,内设冷却水管、外覆盖保温。

0 号块施工从支架承载能力上考虑,第一级混凝土浇筑高度越小越好(第一级浇筑高度为 3m 时主要承载支架 H400 型钢受力达到 140MPa)。根据构造要求,施工缝应避免设置在 0 号块截面突变处附近,这要求浇筑高度必须大于 2.5m;同时,为在浇筑第二级混凝土时满足承载要求,第一级混凝土应有一定的截面模量和剪切面积,要求浇筑高度不低于 3m。根据验算,综合考虑,内模一套模板采用滑模施工,确定第一级、第二、第三级混凝土浇筑高度分别为 3m、4.75m、5.95m。

具体预防措施包括以下几个方面。

1)经过计算表明,0 号块第一级浇筑高度为 3m 时,其抗弯、抗剪均满足要求,支架验算通过,其支架变形能控制在 20.5mm 以内,混凝土方量较小。经论证认为 3m 是第一级混凝土的合理高度。

2)加快混凝土的浇筑速度使在初凝前完成浇筑工作。采用泵车和塔吊联合作业使浇筑速度达到 17m^3/h 以上,以满足施工要求。

3)配制超缓凝混凝土,初凝时间 15 ~ 20h,保证第一级混凝土在先浇混凝土初凝以前全部浇筑完成。

0 号块第一级混凝土的方量为 221m^3,按照平均浇筑速度 16m^3/h 计算,14h 即可浇筑完成,初凝时间在 15h 以上时,可保证在先浇混凝土初凝以前完成混凝土的全部浇筑。

在配制过程中,我们先后采用了 UNF—5H、MS—1、FDN—1、FDN—2、FDN—9000 等外加剂。经过比较,FDN—9000 初凝时间达 16h,混凝土的和易性和泵送性能较好,泌水率小,但强度偏低。最后将第一级混凝土水泥用量由 500kg 增至 520kg,7d 强度即达到 55MPa,且混凝土的和易性和泵送性能均非常好。

4)合理安排浇筑顺序,保证在混凝土浇筑速度最不利情况下,能使支架在浇筑前期完成大

部分变形。

根据项目的机械设备情况，正常情况下平均浇筑速度为 16m³/h，但由于机械设备较陈旧，有可能出现机械设备的故障或者泵管堵塞，预计最不利情况下浇筑速度为 9m³/h。由于重庆地区温差变化大，浇筑混凝土初凝时间可能缩短为 8h。根据这两个不利情况，合理安排浇筑顺序，以保证在混凝土初凝前完成浇筑工作使支架的大部分变形在这段时间完成，最大限度地防止裂缝产生。

0 号块第一级混凝土总共方量 221m³ 采用泵送入模。为安全起见，在最不利情况下，考虑平均浇筑速度为 9m³/h（实际浇筑速度应大于这个速度），这样，浇完第一级混凝土需时累计 24.6h。因此难以在混凝土初凝以前完成全部混凝土的浇筑。拟先浇筑完箱室底板混凝土，使其在混凝土初凝以前完成大部分变形，再浇筑悬臂端混凝土，使其完成悬臂部分的多数变形，最后浇筑腹板部分，如图 12-1 所示。

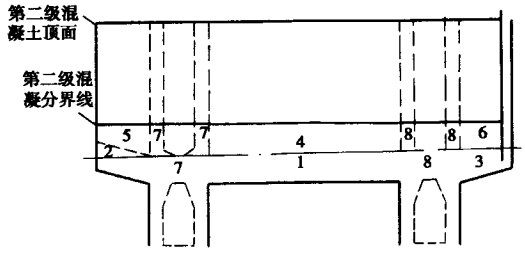


图 12-1　0 号块第一级混凝土分块浇筑示意图
1-箱室底板混凝土；2、3-悬臂端底板混凝土；4-箱室腹板混凝土；5、6-悬臂端腹板混凝土；7、8-悬臂端隔墙混凝土

箱梁底板、腹板浇筑均应对称浇筑。例如，浇筑箱室腹板时，应上下游对称浇筑，一是保证覆盖，二是使支架受力均匀。另外，浇筑隔墙时，应交错浇筑，保证混凝土的覆盖，具体浇筑时间见表 12-1。

混凝土浇筑顺序时间表　　表 12-1

分块编号	位　置	方量(m³)	浇筑时间(h)	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h	26h
①	箱室底板	71.4	7.9	■	■	■	■									
②	悬臂端底板	18.3	2.0					■								
③	悬臂端底板	18.3	2.0						■							
④	箱室腹板	24	2.7							■						
⑤	悬臂端腹板	3.6	0.4													
⑥	悬臂端腹板	3.6	0.4													
⑦、⑧	隔墙	81.8	9.1									■	■	■	■	■
合计		221	24.6													

从上表可以看出，在 7.9h 以内，箱室浇筑完成 71.4/(71.4 + 24) = 74.8%，也就是跨中变形大约完成下沉 20.5 × 74.8% = 15.3mm，即在混凝土初凝前完成大部分变形。这样在底板硬化后，浇筑箱室腹板时将继续完成剩余的变形。再看悬臂端浇筑，可以看出在 2h 以内，悬臂端浇筑完成 18.3/(18.3 + 3.6) = 83.6%，变形完成下沉 12.3 × 83.6% = 10.3mm；每侧悬臂端在 8h 以内全部浇筑完成。

采用以上浇筑方案，即使混凝土平均浇筑速度只有 9m³/h，混凝土初凝时间只有 8h，也可以较为有效地防止裂缝的产生。

5）预压砂筒，处理好支架节点，尽量消除支架的非弹性变形。

经过对砂筒预压测试，1000kN 时压缩量 24mm，因而须预先对砂筒进行预压锁定，提前消除变形。另外各支点处应清理、打磨，以减小支架的非弹性变形。

6）内设冷却水管，外覆盖保温预防温度裂缝的产生。

0 号块为 C55 混凝土，采用强度等级为 62.5 的普硅水泥，第一级混凝土每立方米水泥用量达 520kg。根据以往施工经验，若不采取有效预防措施，是有可能产生温度裂缝的。因此，采

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

取内设冷却水管,外覆盖保温等措施。冷却水管布置一层,位置在厚度的一半处,管内径为27mm,间距1m。在混凝土初凝后开始通水。底板覆盖两层润湿的土工布保温兼养护,以减小混凝土内外温差。

7)其他预防措施包括:浇筑开始10h以后至强度增至70%以上这段时间内不得转动塔吊(马鞍石嘉陵江大桥墩身高达65m,而截面为5.95m×2.8m,为柔性墩;塔吊转动时,通过附臂作用,可使墩身产生较大程度的震颤,这种震颤足以使混凝土产生裂缝),以及按照规范要求的拆模期限拆模,控制水灰比、用水量、砂石含泥量等。

四、施工方案实施效果

由于各项工作准备充分,0号块第一级混凝土浇筑速度为15m^3/h,与预想的一致。初凝时间达16h,第一级混凝土221m^3,浇筑时间15h,实现了在先浇混凝土初凝前完成全部混凝土浇筑。在浇筑过程中分阶段进行观测,观测结果显示支架跨中最大相对(支点)下沉量为15mm,计算结果为15.6mm,两结果基本相符,表明支架实际受力与计算模式相符。

拆除模板检查,悬臂端头和跨中腹板处等易出现裂缝的地方均未出现裂缝(根据以往经验,同类桥型0号块出现裂缝的地方均为悬臂端底板1/3处和跨中腹板处,裂缝宽度可达2mm),这表明0号块裂缝控制方案是成功的。

第二节　黄石长江公路大桥连续刚构箱梁施工

一、工程概况

黄石长江公路大桥主桥为长度达1 060m的连续刚构,其跨度组成为162.5+3×245+162.5=1 060m,其连续长度居亚洲第一、世界第二。

二、箱梁悬浇主要设备与施工程序

1.悬浇挂篮设备

黄石大桥采用的挂篮为为QGL—265型桁架型挂篮,该挂篮是由交通部公路一局修配厂制造的,其应用是相当成功的。挂篮结构可分为:主桁承重、底篮和模板、液压和电气三大系统。

1)主桁承重系统

(1)主桁由两片外形呈棱形的桁片同横向设置的前后横梁组成一空间桁架,前后横梁上设置上、下两层平面联结杆件,杆件间用销子连接。

(2)在前横梁下方设置分配梁,用于悬挂底篮、模板及液压升降装置。

(3)挂篮前移时,前支点采用底贴四氟板的组合滑板,后支点由锚固小车轮反扣于工字钢轨道上,由液压千斤顶顶推前移。

(4)浇筑混凝土时,挂篮的尾部锚杆与箱梁的竖向预应力筋连接并锚固。

2)底篮和模板系统

底篮和模板结构包括:底篮、底模、外模、内模、堵头模、工作平台等。

(1)底篮(模)由前后横梁、纵梁组成。模板直接铺于底篮上,前后横梁悬吊于主桁。浇筑混凝土时,后横梁设五根锚杆,固定于已浇的前段箱梁底板上。

(2)外模由模板、骨架及滑梁组成。支撑模板及骨架的滑梁前端悬吊于主桁架前横梁上,

内侧滑梁后端悬吊于已浇箱梁的翼板上，外侧滑梁后端悬吊于主桁架后横梁上，浇筑混凝土时均锚于已完箱梁翼板上。

(3)内模亦由模板、骨架、滑梁组成。支撑模板骨架的滑梁前端悬吊于主桁架前横梁上，后端悬吊于已浇箱梁顶板上。内模顶板的宽度变化由横肋的活动销实现，腹板的高度变化则通过调整立柱、模板数来解决，内模顶板底模为腹板的骨架，通过销子联结，腹板可以转动一定的角度。

(4)内外模板的联结，采用对销拉杆。

(5)在底篮的两侧、前后端及外模两侧均设置固定平台，内外模及箱梁前端设置悬吊工作平台。

3)液压和电气系统

(1)液压装置的作用：①推动挂篮的行走；②负责模板的升降、调整；③实现后锚固结和移动的转换。

(2)电气部分则是实现对各液压装置动作的操作控制。

4)挂篮的试压

挂篮拼装完毕后，为验证挂篮的可靠性和消除其非弹性变形，测出挂篮在不同荷载下的实际变形量，以便在挠度控制中修正立模标高，必须在第一次使用前对挂篮进行试压。

试压的方法有两种。常用的方法是在挂篮的前端下方，设置一组悬吊水箱，随后按设计要求逐步注水、放水，反复几次，使之达到消除非弹性变形和测出弹性变形量；但此种方法要求的注水量很大，如黄石大桥试压重为 1200kN×2，要求设置至少 4×2 个水箱，操作不安全，且试验时间长。还有一种方法是高强钢筋配合千斤顶加力法。此种方法操作方便、快速经济，经实际应用，效果良好。发现问题可以立即卸载，进行处理(如黄石大桥挂篮第一次试压时，发现前吊杆提升架焊缝开裂，立即停止试验，进行卸载，防止了事故发生)。

2.挂篮悬浇施工

1)工艺流程(如图 12-2 所示)

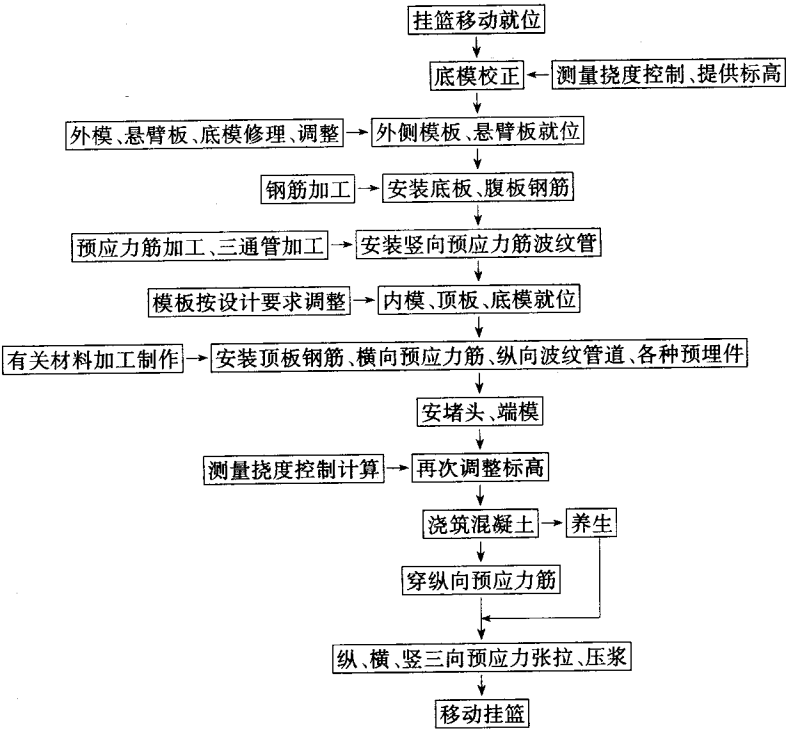


图 12-2　挂篮悬浇施工工艺流程

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)挂篮移动

(1)0 号块齐两端头安放短轨 F_4,安装锚梁 F_6 和定位梁 F_3。如图 12-3 所示。

(2)安装挂篮主桁并在后结点与箱梁蹬筋(竖向预应力筋)连接锚固,再安装底篮和侧模等有关模板。

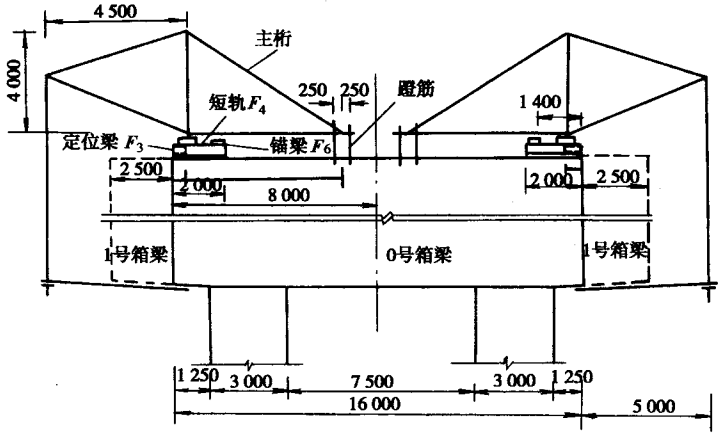


图 12-3 (单位:mm)

(3)浇筑 1 号箱梁,待预应力张拉完毕后,脱模;在挂篮前支点用千斤顶顶起挂篮后,短轨 F_4 接成长轨 F_5。如图 12-4 所示。

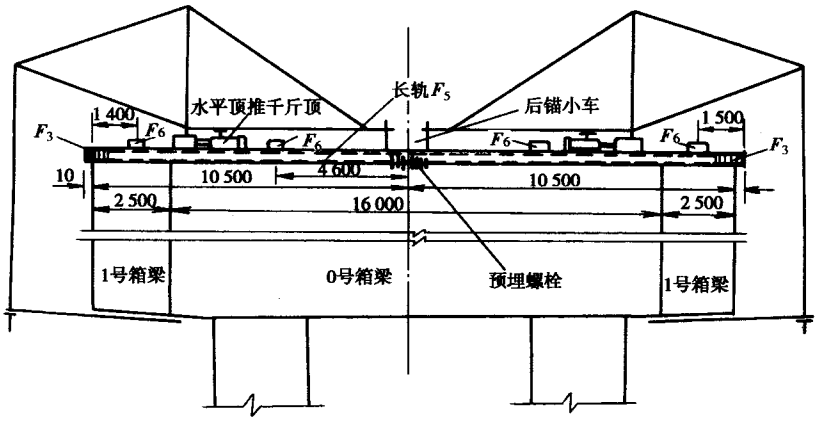


图 12-4 (单位:mm)

(4)长轨 F_5后端用预埋螺栓锚固,安装 F_3、F_6 锚固轨道,卸下千斤顶,滑船压在轨道上,安装水平顶推千斤顶。

(5)挂篮后结点进行锚固转换,将上拨力转给后锚小车,做好挂篮前移准备工作。

(6)水平顶推千斤顶,挂篮前移。

(7)挂篮就位,利用挂篮后结点千斤顶进行锚固转换,将上拔力由锚固小车传给箱梁蹬筋。如图 12-5 所示。

(8)浇筑 2 号箱梁,预应力筋张拉完毕,脱模。

(9)挂篮前支点用千斤顶托起,解除轨道锚固装置。

(10)移动轨道就位,后锚梁 F_6 对长轨 F_5 进行锚固,卸落千斤顶,挂篮落在主轨道上。

(11)挂篮后结点进行锚固转换,前移挂篮。如图 12-6 所示。

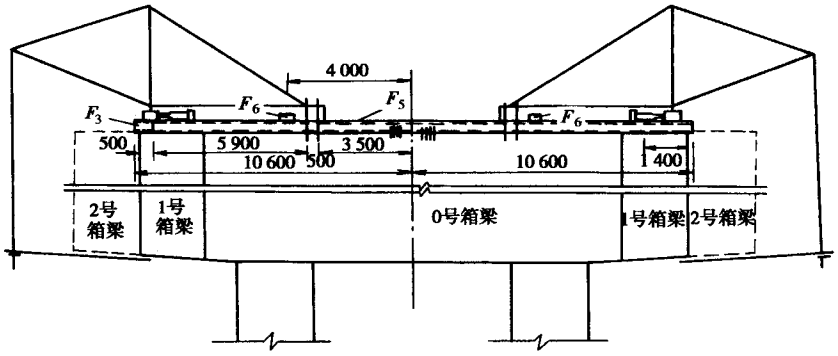


图 12-5 （单位：mm）

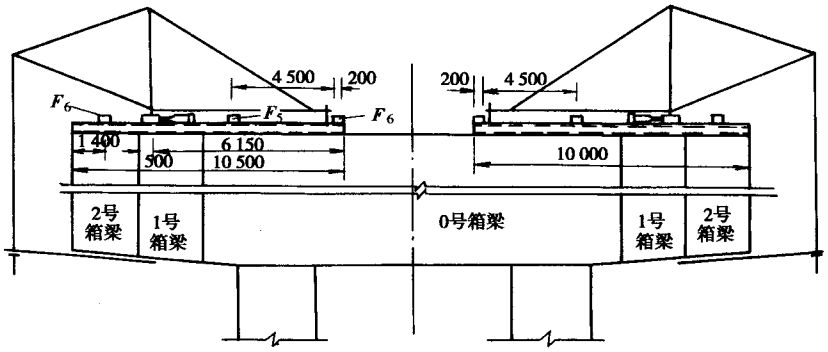


图 12-6 （单位：mm）

(12)重复步骤(7)～(11)，直至 11 号箱梁浇筑完毕。

(13)脱模后，挂篮前支点用千斤顶托起，移动长轨 F_5 与短轨 F_4，连接并就位。

(14)分别按 I、II、III 位置安装好锚梁 F_6，移动挂篮，当尾部后锚小车行走超过位置 IV 之后，在此安装锚梁 F_6；此时可将位置 I 的锚梁移到位置 V 进行锚固，拆除位置 II 的锚梁。如图 12-7 所示。

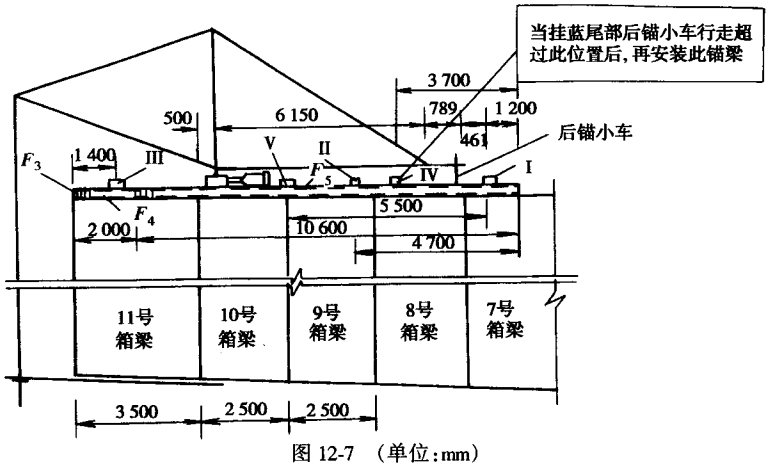


图 12-7 （单位：mm）

(15)移动挂篮就位，浇筑 12 号箱梁。如图 12-8 所示。

(16)重复上述步骤，直至 22 号箱梁浇筑完毕。

(17)同步骤(14)，仅 I、V 锚固位置不同。如图 12-9 所示。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

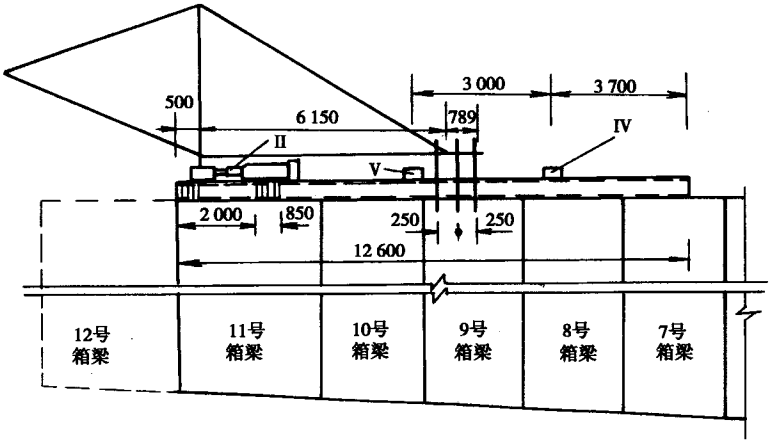


图 12-8 （单位：mm）

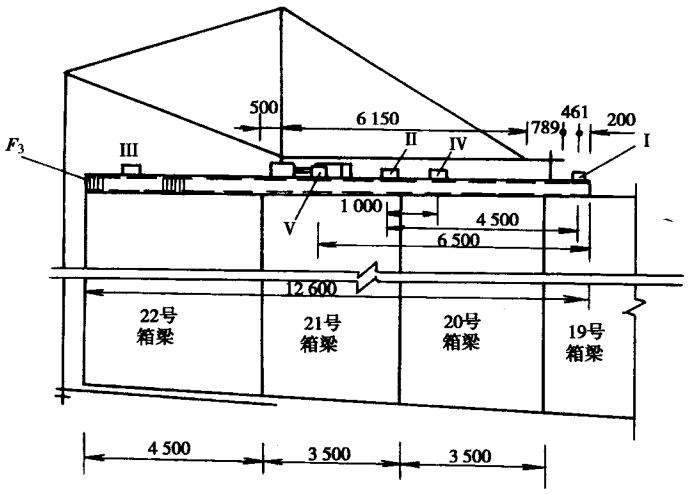


图 12-9 （单位：mm）

(18)重复上述步骤，直至 32 号箱梁浇筑完毕。如图 12-10 所示。

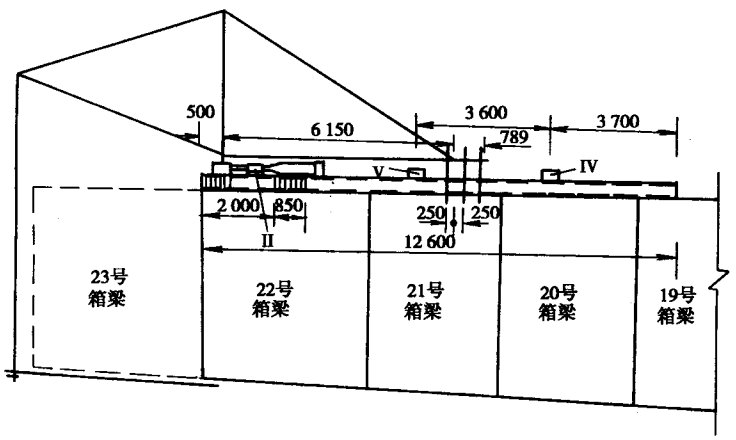


图 12-10 （单位：mm）

三、钢筋及预应力施工

1.钢筋施工

钢筋接头均为绑扎,如需焊接时,必须注意不使预应力管道受到损坏。

当钢筋和管道发生相碰时,或预埋件和管道位置相矛盾时,必须保证管道位置的正确,否则,应得到设计单位的同意,才能变动管道位置。

2.预应力束的种类

1)纵向预应力钢绞线:顶板束为 EC5—31,共 128 束,张拉力为 427.1kN;底板束为 EC5—22,边跨 56 束,中跨 48 束,张拉力为 3031kN;预备束 8 束,为 EC5—31,是为防止施工中出现意外而备用的,本桥没有使用。

2)横向预应力束:顶板横向预应力束,采用一端自锚,一端张拉,用扁平锚锚固,每束 4 根,张拉力为 551kN 或 138kN×4。

3)箱梁竖向预应力筋:采用高强精轧粗钢筋 ϕ32mm,张拉力为 542kN。

4)横向高强预应力筋:分布在 0 号块横隔墙内,型号同竖向预应力筋。

3.预应力管道

预应力管道

1)主要有四种尺寸:

(1)纵向顶板束:管道内径是 105mm;

(2)纵向底板束:管道内径是 85mm;

(3)横向预应力束:4cm×7cm 扁平管;

(4)竖向预应力筋:波纹管内径为 50mm。

2)悬臂浇筑预应力管道施工与一般预应力管道不同的地方在于以下几个方面。

(1)纵向管道。由于主梁分段决定管道每段长只有 2.5m、3.5m、4.5m,故管道接头多,接头处理必须仔细。一般情况是,先套上半截接头套管,然后再浇混凝土,而不宜采用管道直接伸出的办法。这样,在下一段施工时,如接头套管损坏则可以更换。

(2)几乎所有的接头均因拆模而变形损坏。故修理时,必须注意平顺,不得有钢带撬起。黄石大桥曾有 2~3 束,由于钢带撬起造成孔道堵塞而影响进度。

(3)为了避免纵向束进浆堵孔道,应在纵向管道内埋设外径略小于波纹管道的硬质塑料管(PC 管),PC 管长度应比分段长度长 1m 以上,它随着浇筑块的推移而移动。

(4)由于管道很长,最长的达 242m,一般要求在管道中间增设压浆三通,以便压浆时可以作为排气孔或压浆孔。理论上黄石大桥的压浆孔间距一般为 70m 左右,由墩顶向两边推移。

4.竖向管道

它用于放置预应力高强钢筋,此管道处理不好极易堵塞。东明黄河大桥在 0 号块段有近 50%的管道进浆而堵塞。黄石大桥吸取了东明大桥的教训。

1)下口的三通(压浆管)用水管制作,而不用波纹管制作,以保证三通管在焊接处不漏浆,且压浆管口必须用优质塑料管引出模板外固定。

2)下口的螺丝和钢筋垫块三通必须固结,一般可采用环氧树脂法,如径直通过,也可以用点焊把垫块和三通、螺母预先焊成一体。

3)竖向预应力筋最长为 12m,必须用接头连接,管道在接头处呈鼓形,要特别注意防止此处漏浆。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

4)竖向预应力管道的顶端在桥面板上,埋置张拉用锚杯时,必须严格按标高埋设,原则是宁低勿高(高出后,桥面施工时不好处理)。锚杯处最易进浆,故最好要让波纹管伸入锚杯内,再用棉纱堵塞。

5.横向管道

它是扁平管道,每延米布置2根。施工时,管道内预先穿入4根钢绞线,钢绞线一头压花作锚固端,一头张拉锚固。

扁平管道是用50mm波纹管压扁而成,故在采购时,必须要检查其抗渗性能,防止灰浆渗入而堵塞管道;又因其刚度很小,且布置在顶板筋内,施工时易产生变形、位移,所以施工时要注意保护。

6.预应力钢绞线的安放

竖向预应力钢筋和横向钢绞线是预先埋入波纹管内的,一般施工时注意安放位置,留出张拉的工作长度。

黄石大桥每梁段有四束预应力钢绞线,钢丝束是在混凝土浇筑完毕达到一定强度后,才穿束的。

穿束方法分以下几种情况。

1)一般用人工或穿束机穿束,为单根穿束。由于每孔钢绞线很多,穿束时要求钢绞线端部必须套上子弹形钢套或用耐磨的胶布缠绕。

2)对于较长束(50~100m左右),单根刚度小,到最后几根就很难穿进,此时最好是捆成束一起穿。

3)当长度超过100m以上时,人工穿束就很困难,此时只能用卷扬机穿束。具体方法是:

①在桥面板上,按设计下料长度加拖头长度准确地下料;

②把已下的3根钢绞线端头按锥形顺序地焊接在一起,形成拖头(如图12-11);其中,中间一根应留出和拖拉绳的接口长度,其余的端头应分成若干个断面焊接,使拖头成为可变形的柔性拖头,便于在管道变形或因漏浆局部堵塞时能穿越;否则,端部焊在一个断面,该断面就不能变形,管道稍有不畅,穿束就难进行。

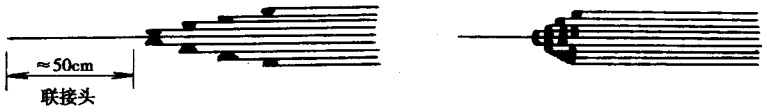


图12-11 拖头加工

③在管道内穿入一根钢绞线(或埋置波纹管时预先在管内放置铁丝),利用钢绞线把钢丝绳从另一端穿入管内,并和已加工好的钢绞线束拖头连接在一起,然后卷扬机通过滑轮慢慢地把钢绞线束引进管内,从管的一端拉向另一端;桥面上的钢束用人工慢慢地送入,钢束穿出孔后用砂轮切除拖头,完成整个穿束任务。

7.预应力张拉

1)张拉工作平台

对于纵向束,利用挂篮工作平台;对于横向束,可做成托架挂靠在挂篮上施工;对于竖向钢筋,在箱梁顶板面上施工。

2)张拉顺序

先张拉纵向束,每段4束,要对称张拉。横向束和竖向钢筋从0号段桥墩中心开始对称张

拉,交错张拉。

在临时刚性支撑支设完毕后,张拉临时束,达到临时决定的设计吨位,然后浇筑混凝土,待全桥底板束张拉完毕后再松开。纵向底板束则采用两侧对称张拉,按先张拉长束,后短束的原则进行,也可按设计要求次序张拉。

竖向钢筋和横向束预应力,可推迟几段张拉,但作为挂篮后锚的竖向筋不能推迟。

3)注意事项

由于挂篮悬浇箱梁预应力束张拉吨位很大,本桥达到4 271kN,因而,要特别注意张拉的操作顺序,严格按规定操作,特别注意安全。

四、悬浇混凝土施工

黄石大桥箱梁混凝土采用陆上拌和,水上运输,再垂直泵送至现场。混凝土现场试配达到如下要求:①强度为试配强度100%,即61.2MPa,3d标养达到75%;②混凝土的出罐坍落度在18~20cm左右,1h后仍保持在12cm以上;③水泥用量不超过550kg/m^3。

悬臂施工时,必须对称浇筑,偏差不超过10m^3。我们采取的办法是:一船两罐车,即先在一端浇筑一罐混凝土6m^3,然后再在下一端浇筑两罐混凝土,再在另一端浇筑下一船的两罐混凝土。

由于混凝土运输过程中周转环节多,难免在某一环节上出现问题,使运输时间加长。因而,当船到达地泵时混凝土坍落度损失较大,不能顺利泵送,解决的办法是:二次掺入外加剂,掺量为原掺量的30%,这样,流动度可大大提高,满足施工的要求,而其强度基本上不降低。

黄石地区夏天天气特别炎热,给混凝土施工带来了困难。由于温度高,混凝土坍落度损失大,当混凝土温度达到35~40℃时,在1h内就可出现假凝现象,不降低混凝土温度根本无法在高温下施工。我们采取的措施是:①降低水泥的温度,尽量不用新鲜水泥,水泥仓喷淋洒水降温;②采用低温水,水在最低温时放入水池,并用盖布覆盖防晒;③根据需要增加50%~100%的缓凝剂,以延长初凝时间;④当计算混凝土出仓温度大于32℃时,则采用加冰降温;⑤缩短运输时间;⑥混凝土改在夜间浇筑。

1.浇筑施工组织及所需机械设备。

1)每悬浇段的工序时间计划(实际平均值)

(1)挂篮移位就位	2h
(2)校正底模	1h
(3)外侧模就位	2h
(4)安装底板、腹板钢筋	12h
(5)安装竖向预应力筋、三通及底板波纹管	4h
(6)安装腹板内侧模、底板堵头、下承托模板	8h
(7)调整顶板底模	2~4h
(8)安装顶板钢筋、纵向波纹管、横向管道、三通及预埋件等	16h
(9)浇筑混凝土	4~8h
(10)养生、整理修正管道、穿钢束	72h
(11)纵、横、竖三向钢束张拉	4~8h
(12)拆内模、灌浆养生	4~24h
(13)落底板、顶板,做好挂篮前移的准备工作	4h

从以上可以看出,完成一段悬浇段约5~6d。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2)人员组织(每墩)

(1)工程技术人员	3人(每班1人)
(2)测量工	3人(需时执勤)
(3)试验人员	3人(拌和站2人,现场1人)
(4)起重工	4人
(5)混凝土工	6人
(6)木工	6人
(7)电工	3人(24小时值班)
(8)钢筋电焊工	6人(每班2人)
(9)机械工	2人
(10)安全工	2人
(11)张拉工	8人
(12)普工	20人左右

3)主要机械

(1)混凝土拌和机	1台
(2)混凝土输送泵	2台
(3)混凝土运输车	4台
(4)汽渡	2艘
(5)交通船	1艘
(6)趸船	(200吨)1艘
(7)千斤顶	(500吨)4台(纵向束)
(8)千斤顶YCD20	(2台(横向束)
(9)千斤顶YC60	2台(竖向束)
(10)穿束机	1台
(11)搅拌机	1台
(12)压浆机	1台
(13)切割机	2台
(14)压花机	1台
(15)塔吊	(120t)1台
(16)卷扬机	(5t、2t)各2台

2.悬浇箱梁的挠度控制

悬浇施工梁体由于受自重、温度、外荷载等因素影响会产生挠度,混凝土自身的收缩、徐变等因素也会使箱梁产生标高变化,这种变化随着跨度的加大而增加。譬如,80m跨径的泰和大桥跨中标高变化小于1cm;245m的黄石大桥在合龙前跨中昼夜标高变化为4~6cm;428m的武汉二桥跨中昼夜标高变化达20cm。为了使成桥后的桥面线形达到或接近设计曲线,必须在悬臂浇筑时进行标高控制,在施工中对已浇筑或准备浇筑的箱梁段各工序进行挠度、温度等观察,并以此随时调整悬浇段的立模标高。

1)测点的布置

在桥轴线和上、下腹板的中心轴上,组成三条纵轴线,每段的前沿和三条纵轴的交叉处设置三个测点,0号块上设置临时水准点。

2)标高观测的时间

(1)挂篮就位后。

(2)混凝土浇筑前,提供立模标高。

(3)混凝土浇筑后。

(4)张拉完成后。

(5)温度观测和应力观测按需要进行。

一般要求在太阳出来前完成观测,此时的箱梁上、下温差最小,可最大限度地消除温度影响。当每段张拉完成后,挂篮已就位建议还要作一次 24h 挠度和温度的连续观测。

3)挠度控制及计算

(1)立模标高控制值 = 箱梁顶面设计标高 + 设计施工预拱度 + 挂篮自重及浇筑混凝土后的变形值 ± 日照温差修正值。

(2)设计施工预拱值的修正:由于计算状态和实际施工状态的差异,为了达到设计的理论线型,必须通过实际测量资料的积累和实际分析,找出各阶段的挠度变化规律,以修正各项计算参数,使计算状态基本吻合实际状态。黄石大桥运用了重庆科研所开发的挠度控制软件,控制结果有一定的误差。

(3)挂篮变形值的修正:通过挂篮试压以及施工前几段产生的实际挠度数据进行修正。

(4)混凝土收缩引起的修正:根据模拟试验结果来修正。由于箱梁的横截面面积 W 与截面边界长度 L 之比 $S(W/L)$,黄石桥为 30 根据文献资料 $S > 20 \sim 25$ 时,收缩值不大;可不作尺寸、温度的修正。黄石大桥的收缩值用折合降低温度 4 ~ 5℃的方法处理。

(5)张拉值的修正:通过锚下预应力损失理论公式以及实际观测值比较后决定。

(6)日照温差引起的挠度修正:由于日照影响,顶板直接受阳光辐射,温度升高,而底板肋板仅受气温影响;这样,必然会在混凝土内产生温度梯度,温度高的部位伸长大,而温度低的部分伸长小;造成日照气温升高时,梁端下挠,日照气温降低时,梁端上挠。为消除日照影响,宜选择温度梯度较小的时候,早上 6 ~ 7 时观察。

(7)平衡力矩、施工荷载对混凝土标高的影响:由于两端荷载不一样,必然会产生一头低一头高的现象,所以在施工中力争平衡施工,消除该项的影响。

五、边跨现浇段施工

黄石大桥黄石岸边跨 162.5m,如图 12-12 所示其中 121.0m 在单 T 状态下由挂篮悬浇,37.6m采用落地框架支架一次现浇,3.0m 为边跨合龙段。现浇箱梁截面尺寸同 5 号墩 32 段,梁高 4.1m,底宽 10m,面板宽 19.6m,底板厚度由端部的 0.6m 逐渐减小到 0.32m。底板上布置纵向预应力钢束,端部腹板内还有横向和竖向预应力钢筋,顶板有横向预应力钢束。另外在合

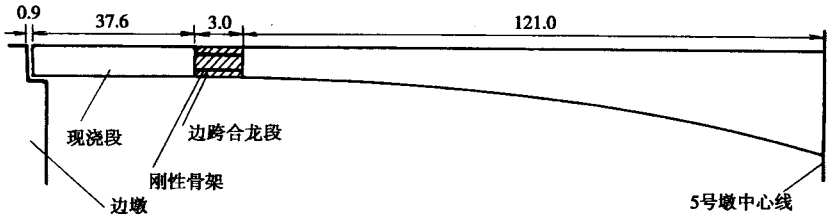


图 12-12 现浇段位置示意图(单位:m)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

龙段附近顶板还有4束临时束供合龙段使用，整个现浇段的混凝土为711.9m³，约重18 510kN。河床断面在现浇段40m范围内，高差从+6.00m变到-5.00m，土质为塑性粘土，承载力低，下层基岩处有5m左右的粉细砂层，基岩标高-15.00m。最高设计水位为23.0m，施工时应控制在+17.00m以下，冲刷水流在水位+17.00m时为1.7m/s。黄石地区基本风压为620MPa，地形地理条件系数为 $K_2=1.0$。

1.支架设计

现浇支架采用钢管桩、万能杆件、贝雷片等组成，桩基简支梁式支架如图12-13所示。支架高度(从地面起)有61m，需能承受20 000kN的重量。支架施工时进行控制十分重要，因支架施工的优劣直接关系到现浇段的质量和安全；支架工程是现浇段工程的关键，必须精心设计、精心施工。

支架由基础、型钢承台、万能杆件立柱及盖梁、贝雷纵梁等几部分组成。基础分为三类：6号墩身上的牛腿支撑结构；1号墩基础为6号墩围堰加固而成；2号、3号墩为桩基。2号、3号墩均由12根ϕ0.954m钢管桩组成，桩长约为32m。钢管桩由大型型钢组成的半刚性承台互相联成一整体，每个承台上用万能杆件拼接成三个立柱，组成一个墩身，墩的最大高度为28m。在2号和3号墩内，墩与墩、柱与柱之间每隔6~10m用万能杆件纵横联接成闭合空间框架。1号墩、6号主墩身，每隔6~10m用万能杆件纵横连接成一整体，立柱上设2m×2m由万能杆件组成的盖梁，盖梁上加H200型钢以满足集中受力的要求。纵梁由13排贝雷片组成，纵梁纵坡同设计桥面纵坡，贝雷和盖梁之间的高差由型钢来调整，贝雷纵梁与大块定型底模之间设有简易的滚动支座，以满足梁体因温度变化而产生的变形。

为增加桩基的稳定性，将钢管桩沉入基岩中并增设斜桩以抵抗横向力。

为防止因纵梁变形使浇筑混凝土的前后不同段受影响，贝雷纵梁不连续而采用间断布置。按《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)的规定，现浇梁段在浇筑合龙段前，确保支架与梁底之间能相对滑动，使边跨合龙时现浇段能随原浇筑T构自由伸缩；为避免混凝土拉应力过大，在纵梁与底模之间或纵梁与墩身之间设一些简易的滚动设施。

连续梁的支撑利用万能杆件组成框架结构。框架与钢管桩的连接用大号型钢组成的半刚性承台。整个支架的结构尺寸为高62m，宽34m。

支架工程数量见表12-2。

支架工程数量表 表12-2

项　目	分项工程	单　位	数　量	材　料	折合重量(kN)
现浇箱梁	箱　梁	m^3	712	C55混凝土	18 510
现浇段支架工程	桩基	根/m	24/32	ϕ100cm钢管(t=10mm)	1 950
	承台	个	2	C25混凝土，型钢	1 264(包括盖梁)
	立柱/墩	个	9/3	万能杆件	4 300(包括盖梁)
	盖　梁	个	3	万能杆件、型钢	已包括在承台内
	纵　梁	排/片	18/240	贝雷片、型钢	900、770

2.支架施工

1)桩基施工

在正式施工前，应选取典型的地质条件进行试桩，以便从进尺情况来比较分析沉桩的入土情况。采用专用打桩设备进行钢管桩施工。必须确保每根桩嵌入基岩一定深度；钢管桩接头必须满焊并保证焊缝质量；施工时应掌握进尺情况，及时修正设计参数。必要时做静载试验。

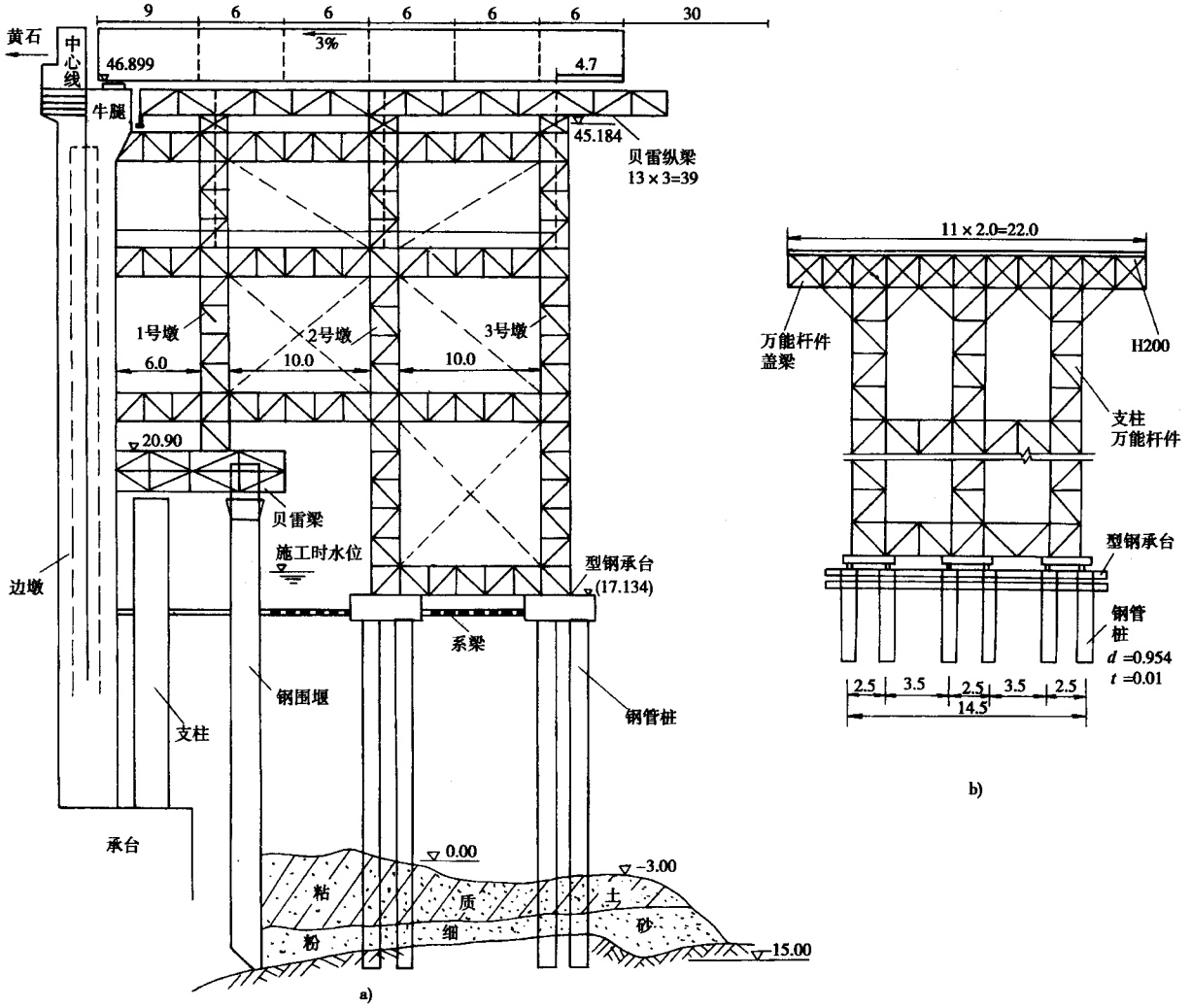


图 12-13　支架设计示意图(单位:m)
a)侧面图;b)正面图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1)施工步骤

①根据基本资料预先精心加工好每一节钢管桩,注意桩长的搭配,仔细检测各部尺寸尤其是接头的圆度(轴线偏差小于0.1%,且不大于30mm)。加工第一节钢管桩,长度 $L \geqslant$ 水位标高 - 地面标高 + 2m。

②打桩船就位锚锭,精确测定桩位及船的位置。

③用汽渡拖运第一节钢管桩到打桩船处,起吊并基本就位保持桩的垂直度。

④使管桩精确就位,达到质量要求(单桩小于5cm,倾斜度小于5‰)。

⑤打入桩使接头位于便于焊接的高度,上端固定在桩架上。打入桩时应始终注意震动锤、桩帽、桩身是否在同一轴线上。

⑥卸去桩帽,起吊第二节钢管桩,做好接头处理。

⑦检查钢管桩的垂直度和轴线,不符合要求时要进行调整,直至符合要求。

⑧焊接接头,并检查接头质量,应符合相邻管节的外径差不大于3mm,接头必须满焊,焊缝厚度不小于10mm,板边高差不小于1mm,焊缝范围内除锈良好。

⑨打入桩至桩顶接头位于便于焊接的高度,上端固定在桩架上。

⑩重复步骤⑥~⑨。

⑪从贯入度及标高确认钢管桩已嵌入基岩,移动打桩船至下一桩位。

(2)施工注意要点

①施工步骤为先上游后下游,先江中,后靠岸。

②施工过程中必须经常检查桩的施工质量,发现误差偏大时应及时纠正。

③对已完工的钢管桩应采取防撞措施,确保其不受船只的碰撞,也不允许桩作临时拴靠物和系船柱。

④打桩船的锚锭系统应经审查,方案确定后方可施工,在施工过程中应经常对锚锭系统进行检查调整。

⑤当一个墩身桩群完工后,应及时对桩进行加固并安装承台。

⑥每一基桩下沉之后测标高,全部下沉完毕之后再测量各桩标高。

⑦在沉桩中不得采用顶拉来纠偏,而应预先控制。

⑧开始沉桩时先静压再打。

⑨本项目施工时,船只由4号墩穿越。

2)型钢承台施工要点

(1)承台受力很复杂应保证焊接质量,逐条检查焊缝的厚度。

(2)必须严格控制好桩顶标高。

(3)对于各型钢接头应预先布置好。

(4)设计图中难以给出各处的加强肋板,现场应逐项逐点予以加强。

3)支架墩身施工要点

(1)根据吊装能力和操作的可能拼装好部分节段。

(2)施工中观察沉降偏差及柱与柱的间距。

(3)螺栓联接要严密,拼装时先初拧,全部完成后用电动板手终拧。

(4)1号墩与6号墩的联接焊缝长度要满足设计要求。

3.箱梁施工

1)箱梁施工要点

(1)箱梁一次浇筑,由江岸向江心推进,分层浇筑;不要破坏预应力管道、预埋件,否则要及时处理。

(2)底板纵向预应力管道由于支架变形较大,管道在接头处可能有变形,故管内必须有 PC 管。

(3)应特别注意管道是否能与悬臂端连接顺畅。

(4)在横向预应力束张拉时先张拉 50%,以保证悬臂板不起反拱而造成支架受力不均匀;在纵向力束张拉后再完成剩余力束的张拉。

(5)因为一次连续浇筑量大,施工组织工作应万无一失。

2)现浇箱梁时的观测

现浇段由于采用钢管桩,万能杆件支架变形大,应加强观测发现问题及时调整。

应特别注意在现浇段与悬臂端通过刚性骨架连接后及张拉完连续预应力束前的一段时间内,支架处于危险状态,应进行连续观测。

(1)高程观测

支架是按容许应力计算的,其弹性变形是有一定的规律的,但是非弹性变形是难以估计的。从这一点出发,要求每一道工序均应在相应的结构上留下沉降观测点,观测一次。

①在 6 号墩身上设置临时水准点,该水准点每月与永久水准点校核一次。

②在临时墩承台顶面、每一柱的上下游各设立一个观测点,全段共设置 18 个承台观测点。

③在盖梁上底板范围以外对称设置观测点,全段共 6 点。

④在已浇筑的箱梁,位于腹板的桥面上,对应墩身处设置观测点以观测混凝土的影响,共设 6 个点。

(2)观测频率

①承台施工完毕设立观测点,观测一次。

②盖梁拼装完毕,设置盖梁观测点,观测一次。

③贝雷纵梁架设后,观测一次。

④立模后,观测一次。

⑤底板浇筑后,观测一次。

⑥顶板浇筑后,观测一次。

(3)轴线观测

承台完成后,在承台上设置墩轴线、柱轴线观测点,在盖梁上设置桥轴线观测点。

观测时间如下:

①承台施工完毕;

②盖梁拼装完毕;

③每隔一星期;

④当水位变化大于 1m 时;

⑤浇筑混凝土完毕,温度变化时观测桥轴线的变位情况;

⑥当位移变化较大时缩短观测周期。

(4)其他观测

裂缝观测、焊缝观测、水位观则等,应派专人经常在现场观测,一旦出现异常,立刻处理。

4.支架强度及稳定性验算的主要内容

1)荷载取值分析

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1)梁体混凝土荷载为500kN/m,超载系数为1.02,在施工中应严格控制,不能超载。梁体横截面方向在腹板部分有较大的集中力,注意在此加强纵梁的刚度和强度。

(2)施工荷载主要指混凝土浇筑时的人员荷载,取7.5kN/m。

(3)支架重量按实际采用。

(4)风载按节点荷载考虑,可以适当考虑垂直高度上的变化,按规范取值。

(5)流水压力作用在管桩上,按施工时最高水位计。

(6)现浇段与悬臂端通过刚性骨架连接后,由于箱梁顶、底板温度差引起的内力以4℃计入;也可根据悬臂阶段的观测资料,假定最大变位为30mm,计算强迫位移产生的各点反力。

(7)连续后,预应力张拉产生的反力根据图纸计算。

(8)张拉横向预应力束会引起梁体荷载在横向上的重新分布,会使贝雷梁局部受力不良。

2)强度计算

(1)最不利荷载组合难以简单确定,可根据施工流程图逐步计算,每一步都考虑不利组合。

(2)在垂直力作用下的内力应与水平横向力(如风载、流水压力)作用下的内力叠加处理,稳定性验算也如此。

(3)在刚性骨架安装好及连续预应力束张拉完成之前,假定现浇段支架上部为连续梁,但是要考虑支架的3号墩受力不均匀系数。

(4)在现浇及养生期间,支架上部要按连续梁体系和简支体系分别计算,考虑不利组合。

(5)钢管桩的计算要考虑到基岩岩面的倾斜状态。

3)稳定计算

(1)力学图式中,根据实际情况将支架墩身和桩基分开计算。支架墩身部分认为是刚架,主要考虑到系梁的间距较小,它限制了桩基的部分位移。

(2)支架墩身部分要分别考虑桥纵向和横向的稳定性。

(3)桩基部分如计算单桩要考虑到桩轴线的偏位和流水压力使桩轴线产生一定偏位。

(4)桩基计算中要计算桩顶的局部稳定。

(5)支架墩身计算中要计算立柱组合压杆的局部稳定性。

(6)型钢承台中的桥横向型钢的压杆稳定和扭转验算。

4)立模标高的影响因素

(1)从全桥范围的分析结果得出整体预拱度。

(2)试桩测定的桩基沉降值。

(3)墩身万能杆件的弹性变形和非弹性变形。

(4)贝雷纵梁的弹性变形和非弹性变形。

六、合龙段施工

黄石长江公路大桥合龙段长度为3.0m,高为4.1m,每个合龙段重约1 162kN。全桥共有5个合龙段,编号分别为H1、H2、H3、H4、H5,其中H1、H5为边跨合龙段。

1.合龙顺序

按设计要求和施工组织设计安排,本桥合龙是先将4号、5号墩合龙,然后合龙2号、3号墩,再分别与边跨合龙,最后合龙中跨H3。

2.合龙段施工时必须考虑的几个影响因素

本桥单跨长度为245m,连续长度为1 060m,边跨现浇段为40m,正是由于这些尺寸决定了在本桥施工中以下一些因素必须在合龙时分别加以考虑。

1)合龙温度的考虑

合龙温度的选择是很重要的,在什么样的温度下合龙会影响到成桥后箱梁的内力大小。

2)日照的影响

本桥单T的悬臂实际长度为113m,在合龙前呈自由悬臂状态,由于受到日照的影响,箱梁顶面和底面的温度存在着差别,必然会引起悬臂端的变化。据实测,其变化值在4cm左右。

3)温度的影响

由于本桥的长度为1 060m,每个T构长度为242m,合龙时混凝土的温度每变化1℃将会使合龙长度产生$242\ 000 \times 0.00001 = 2.42$mm的变化。

4)混凝土的收缩、徐变

已浇单"T"的混凝土后期收缩、徐变,经计算,将会使梁产生15.3mm的变化。

合龙段本身混凝土的收缩、徐变值虽然很小,但易在老混凝土的交接处产生横向裂缝及纵向裂缝。

5)临时荷载作用

荷载将使悬臂端下挠,卸除后又会得到一定的恢复。

6)合龙段自重引起的悬臂端变化

它同临时荷载作用一样,但属永久性。

3.H2、H4合龙施工

本桥利用了原挂篮的底篮、模板系统作为合龙段施工的支架和模板,因而不用吊架而直接利用挂篮的内外滑梁、底篮系统于合龙段施工。将挂篮的模板锚固于悬臂段上,模板可不作修改而直接使用。

1)合龙温度的选择

按设计规定,合龙温度应在10~20℃,我们定为15~17℃。现场浇筑时的气温为17℃,是符合设计的。

2)合龙时的顶开量

按理论计算,当单"T"合龙成"π"构后,混凝土的后期仍要发生收缩徐变,跨径在245m的后期收缩量为15.3mm。为了消除这一影响可采取两种办法。

(1)在设计的合龙温度17℃下进行顶开施工,使悬臂端的间距加大15.3mm。

(2)利用混凝土的热膨胀性能,即已知两跨中心距为245mm,不考虑合龙段长度为242m,在不考虑墩身的影响下,温度每变化1℃伸长量为2.42mm,若要使242m缩短15.3mm,则需降低$15.3/2.42 = 6.3$℃,则可将合龙时间选在$17 - 6.3 = 10.7$℃时合龙,当温度上升到17℃时,恰好相当于顶开15.3mm。一般当混凝土温度高于或低于10.3℃时必须采取顶开或拉紧的调整步骤。

3)临时锁定结构劲性刚架的验算和临时束张拉力的确定

劲性刚架是一组固结在合龙段两侧悬臂上的型钢,它和临时束一起组成临时锁定装置。其作用是克服由于日照、温度、施工荷载、混凝土重量、合龙段混凝土早期收缩等因素,给予合龙段混凝土造成的挤压、拉伸和剪切。临时锁定是合龙的关键,是实际意义上的合龙。

按临时锁定结构的要求,劲性刚架在降温时不受拉,在升温时能保证劲性刚架稳定。因此

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

必须对劲性刚架进行验算。

(1)临时束张拉力的确定

现假定,合龙段从合龙开始到合龙段张拉完毕,混凝土的温度变化(11月份)为4~27℃。前面已经说过,设计的合龙温度为17℃,考虑到混凝土的收缩徐变,实际的合龙温度应控制在14.9℃(假定收缩徐变在合龙过程中完成剩余的1/3,即6.3/3=2.1℃)。这样,合龙段的升温可能达到27-14.9=12.1℃,合龙段的降温14.9-4=10.9℃。

又按计算可得,顶开15.3mm的距离约需1 820kN顶开力,而15.3mm的变化又相当于箱梁降低6.3℃。转化为温度与力的关系,大致可认为:温度每变化1℃,劲性刚架将承受1 820/6.43=289kN的压力。锁住劲性刚架所需加的预应力(降温时不出现拉应力)按下式计算:

$$T_{预} = 289 \times 10.9 = 3\ 150\text{kN}$$

采用顶板的两束临时束和底板的两束(29B)作临时束,每束的临时张拉力3 150/4=787.5kN。

(2)劲性刚架的稳定性(升温时不被压坏)

升温时劲性刚架承受升温压力,其值为:

$$T_{升} = 289 \times (27 - 14.9) = 3\ 500\text{kN}$$

在升温过程中,劲性刚架发生压缩变形,同时,其本身又发生因温度升高而引起的伸长,两者之差产生的内力很小,可以忽略不计。故劲性刚架在升温到最高点时承受的总压力为:

$$T_{总} = T_{预} + T_{升} = 3\ 150 + 3\ 500 = 6\ 650(\text{kN})$$

每根劲性刚架受力为:(6 650/4)×1.1=1 829kN,1.1为不均匀系数。

按设计提供的劲性刚架,其最大的允许承压力为2 170kN(大于1 830kN),故原设计不变。为提高其抗压稳定性,在原设计的劲性刚架上,增加5道加劲肋,如图12-14所示。

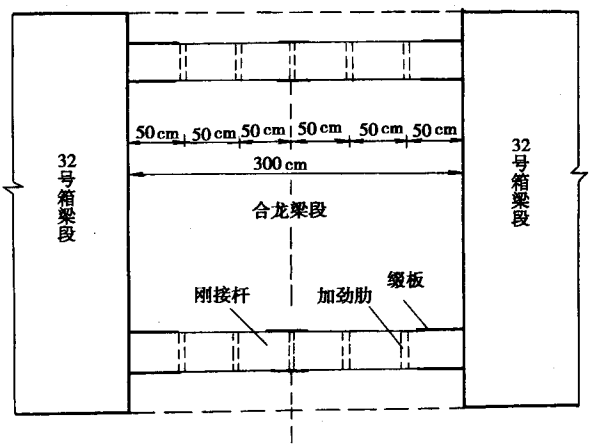


图12-14 合龙段劲性刚架加劲肋布置立面示意图

4)平衡重的配置设计

单T两悬臂端在外荷载作用下,标高会发生变化,这对合龙过程是非常不利的。因此必须保证在合龙段混凝土浇筑过程中,合龙段的两侧标高之差处在不变的状态下。

据现场条件,允许在悬臂端砌筑水池,通过注水、放水来平衡两端的荷载变化。通过计算,注水量应为合龙段混凝土重量的1/2。

5)劲性刚架和临时束的施工

(1)劲性刚架放在合龙段内,由于它既承受拉力(设计时不考虑),又承受压力,加工时,尺寸不能长也不能太短,且两悬臂端的预埋件还要求一定的精度。为此,采用的劲性刚架比合龙段长度短2cm。一端先与悬臂端预埋件焊接成一整体,在另一端的悬臂端预埋件上焊上两块截面积大于刚架的钢板,钢板和骨架的焊接长度能保证抗剪能力不小于2170kN;钢板应紧贴劲性刚架,但又必须保证刚架在钢板内自由伸缩。

(2)合龙时,根据当时的温度,用千斤顶顶开合龙段到设计长度,然后把钢板和劲性骨架在

短时间内焊成一整体，接着张拉临时束，完成临时锁定工作。

6)单T合龙段施工工艺流程(如图12-15所示)

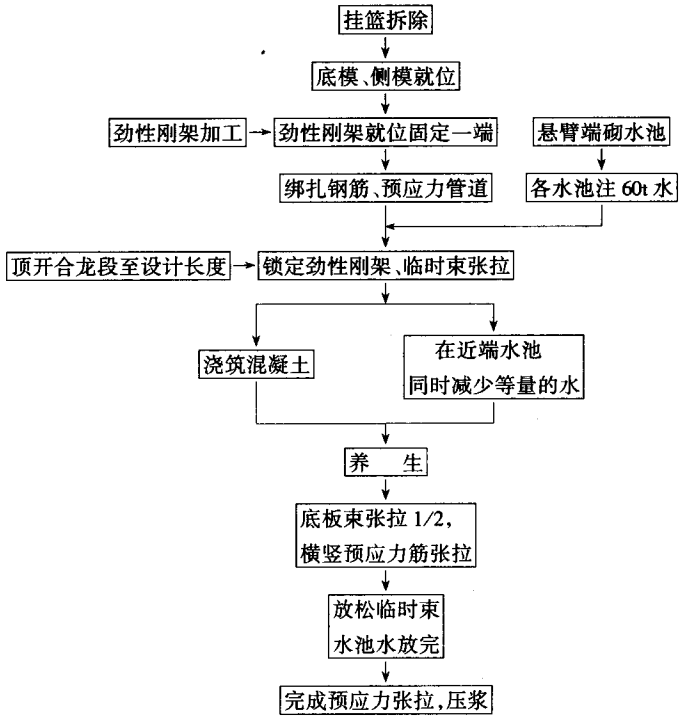


图12-15　合龙段施工工艺流程图

4.边跨合龙(H1、H5合龙段)

1)合龙段的特点

此合龙段在H2、H4合龙完成的基础上实现与现浇段的合龙。

(1)现浇段支于支架上，受日照、温度引起的标高变化可以忽略；而悬臂端将受日照影响产生标高变化，即合龙段两端的高差一直在变化，最大可达到40mm。

(2)现浇段在支架上，根据设计要求，可在支架上作一定量的位移，故合龙时不必作顶开施工，但要考虑现浇段水平位移之力对劲性刚架临时束的影响。

由以上看出，边跨合龙主要是要解决日照的影响。按挠度计算结果，悬臂端每下挠1cm，约相当于250kN外荷载的作用。实测下挠最大值为4cm，约产生4×250=1 000kN力，因而必须设置竖向锁定装置。

2)H5合龙段竖向装置的设计

竖向装置采取两种系统：①内部锁定装置：即在已设计的上下劲性刚架之间设置I36剪力撑；②外部装置：由于设计时没考虑到边跨合龙段将承受日照引起的竖向力影响，预埋件的受剪抵抗力不足，所以在外部设置了由4I56组成的锁定装置。

2组4I56安置在腹板竖向预应力筋间，并通过竖向预应力筋使合龙段两端紧密地联在一起。并假定：

(1)日平均温度时合龙，此时悬臂端下挠为2cm左右，相当于产生500kN的下挠力，到日最低温时将产生500kN的上升力；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(2)内竖向锁定装置承受 1/2 的作用力即 250kN,则每侧外部竖向锁定装置承受 125kN 的力;

(3)受日照引起的悬臂端下挠上升力,均通过悬臂端竖向预应力筋作用于 4I56 梁上;

(4)合龙段的允许变位控制在 l/600 以内,即 300/600 = 0.5cm。

现浇段的支架刚度很大时,且支架伸入到悬臂梁下,悬臂端下挠上升产生的作用力可全部由支架承受,且变形在允许范围之内,则竖向装置可不设或或简单设置。

在实际施工中,为消除日照对合龙段的影响,应在悬臂梁上部分覆盖以防晒、浇水,使梁上下的温度差趋于最小。

3)临时束预加力的考虑

合龙锁定后,除了保证劲性刚架不受拉力外,还必须保证现浇段能随着 5 号墩悬臂端的伸缩而伸缩。梁伸长时,力主要通过劲性刚架传递,而梁收缩时则通过临时束传递,因此要求临时束最好通过整个现浇段断面,且要计算现浇段和支架(滚动摩擦)和支座(滑动摩擦)之间的摩阻力。经计算,约在 2 000 ~ 3 000kN 之间,故临时束的预拉应力为每束 1 000kN。

4)施工工艺流程(如图 12-16 所示)

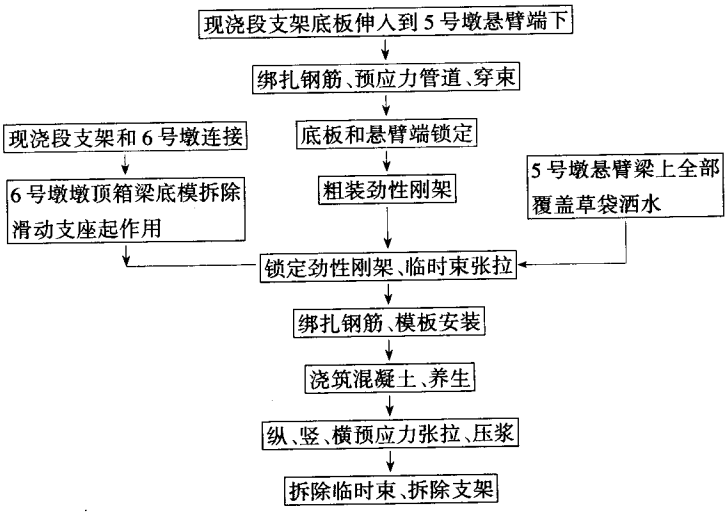


图 12-16 边跨合龙段施工工艺流程

5.中跨合龙(H3 合龙段)

中跨合龙时,因两侧均是两跨连续刚构,又是对称的,按要求仅作:①顶开梁为 10mm,顶开力为 3 000kN;②在合龙段两侧近端设置配重水池,不设置远端的水箱;③临时束张拉力为 500kN,其他均同单 T 合龙段的施工。

第十三章　桥面系施工

第一节　摩苏尔五桥桥面系施工

桥面系工程包括：桥面板、桥面加宽、铰接板的浇筑、挂块安装和现浇路缘石、伸缩缝安装。

一、桥面板施工

本桥桥面板厚20cm，宽度变化范围为10.14～31.44m。由于桥跨大部分在弯道上，桥面两侧呈弧形，而边梁外侧为直线，故桥面板的弧形部分要悬出边梁外侧，最宽达33.5cm(2号匝道)。为了让这一弧形加宽部分便于施工，桥面板钢筋完成之后，桥面板混凝土浇筑宽度到距边梁外边缘48cm为止，用铁皮网片拦截形成施工缝(可不凿毛)，剩余部分和弧形加宽部分作为桥面加宽浇筑，如图13-1所示。

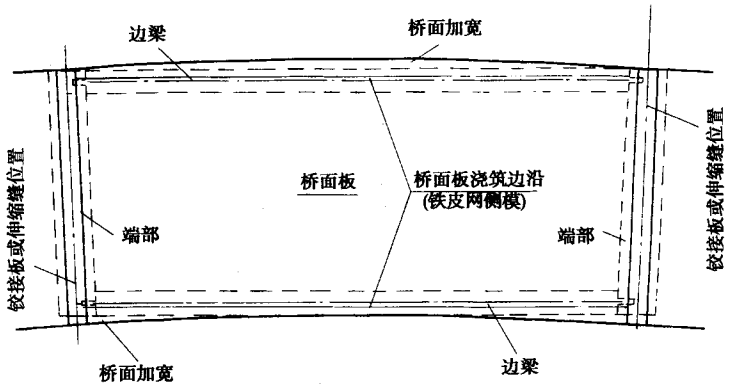


图13-1　桥面板与桥面加宽平面图

1.桥面梁间模板

行车道下的梁间缝宽变化范围为1～30cm。梁间模板采用如图13-2所示的方法铺设。缝宽为1～14cm的铺厚4cm的石棉板，板宽比缝宽大4cm；缝宽为14～30cm的铺厚10mm的混凝土预制板，板宽也大于缝宽4cm。为了防止薄板被压破，在梁间缝中设方木支撑，浇筑完混凝土之后取下重复使用。

过渡段第2、3、4孔，中央设变宽的现浇分隔带，其下的梁间桥面板宽度由30cm变到117cm的部分，梁间模板采用悬挂式钢模板，用木板条调节宽度的变化。构造如图13-3所示。

2.桥面板混凝土浇筑高程控制

由于桥跨为弯坡桥，纵、横向都处在曲线上。在过渡段，一幅桥面内有三个横坡，桥面宽度也是变化的。在桥面混凝土浇筑中高程控制（亦即坡度控制）是一个关键。

按设计要求高程允许偏差为±5mm。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

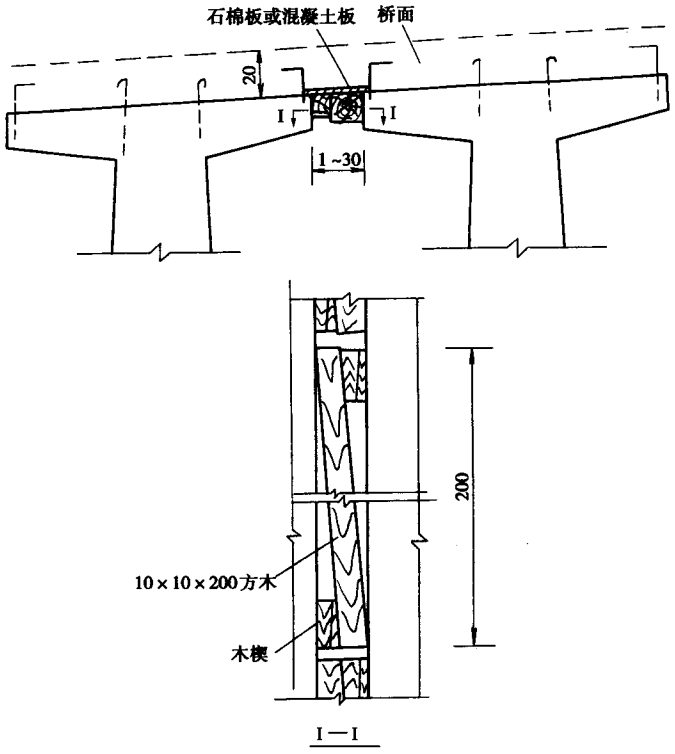


图 13-2　桥面梁间模板(单位:cm)

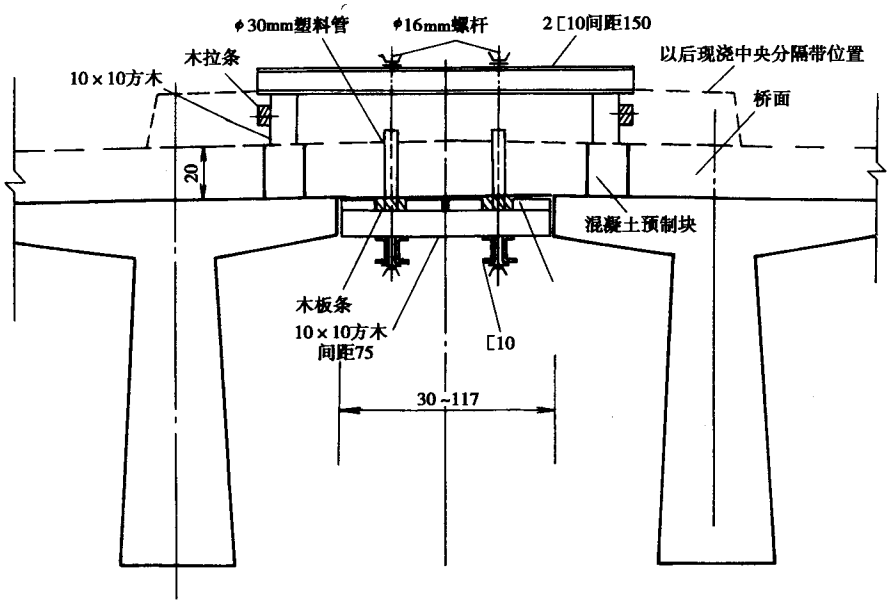


图 13-3　中央分隔带下桥面梁间模板(单位:cm)

对于高程的控制，我们采取的措施是：

1)桥面板顶面高程由浇筑时纵向行走的行夯控制。施工使用的行夯有宽 5m 的 2 台，宽 3m 的 1 台，上面各装一台附着式振捣器。

2)浇筑前，首先根据桥面浇筑宽度、横坡变化情况，在平面图上布设行夯轨道的宽度和数量。单向横坡的桥面行夯轨道宽 2～4m，数量由桥面浇筑宽度确定。有 2～3 个变化横坡的桥面，先纵向沿横坡转折点布置行夯轨道，其余的轨道由这些轨道按 2～4m 宽度推算确定位置和数量。轨道位置确定之后，按轨道距桥面纵坡中心线的距离计算出每条轨道上相隔 4m 的点的桥面板顶面高程，以此作为高程控制点的数据，并编号。

3)清理完 T 梁顶面，铺好梁间模板，在绑扎钢筋之前，将计算的高程控制点，按编号在梁顶板上放样，做出标记。桥面钢筋的高度按控制点的高程和顶面保护层厚度控制。

4)钢筋绑扎好之后，按控制点设立轨道支撑。轨道为小于保护层厚度的钢管(镀锌水管)，支撑可采用可调高度的三角架(轨道抹完成后取出较费事)，也可采用废钢筋头焊制的不同高度的三角撑架。将控制点处的桥面顶面钢筋调到控制点高程减去水管直径后的高程位置，再直接将水管绑在钢筋上面，形成轨道。同时亦需将其余地方的钢筋也支撑牢固防止施工时下落。泄水孔位置用铁皮网圈出，待安装时再浇筑周围的混凝土。

5)行夯轨道在浇筑抹面时，解开绑扎铁丝取出，抹面将留下的沟槽压平。

3.桥面板混凝土浇筑

泵车在桥下向上输送布料，纵向浇筑方向和横向浇筑顺序均由低向高行进。布料后，人工大致摊平，用振捣棒配合行夯振捣，抹面找平，待初凝前再抹压一次收浆拉毛。随即覆盖塑料布，结硬后浇水养护。

浇筑一孔桥面(宽 11m，跨径 27m)，混凝土用量为 58m^3，需安排 18 人，3h 完成。

桥面板浇筑平面布置以 1 号匝道的一孔为例，如图 13-4 所示。

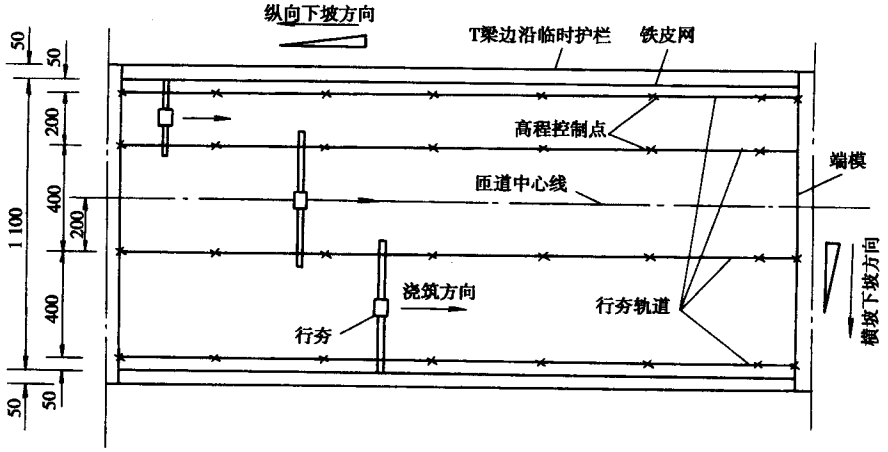


图 13-4　桥面板浇筑平面布置(1 号匝道)(单位：cm)

浇筑前的桥面如图 13-5 所示。

二、桥面加宽

每个孔跨的桥面加宽平面如图 13-6 所示，断面如图 13-7 中“桥面加宽混凝土”部分所示。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

图 13-5　浇筑前的桥面照片

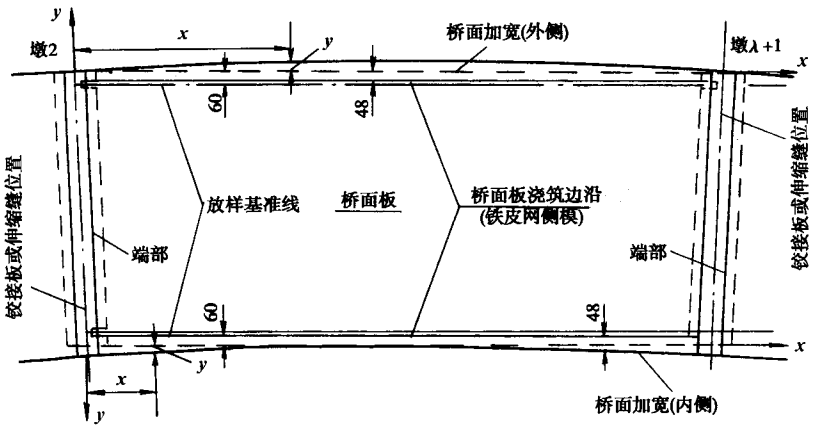


图 13-6　桥面加宽放样图示(单位:cm)

匝道桥桥面加宽部分共 168.5m^3 混凝土,如包括桥面板每侧 48cm 未浇筑的部分在内共 514m^3 混凝土,钢筋 99t。

由于加宽部分悬在 T 梁外侧,平面上边缘呈曲线型,因此选择方便、适用的模板是施工的关键。经过几个方案的比较,采用了如图 13-7 所示的模板结构。

为了适应曲线外形的需要,模板取 2m 为一单元,单元模板间,面板搭接,胶带纸贴缝。底模和侧模均用螺杆调节位置和支撑。采用压重(1.5m 长的废钢筋头)3kN 平衡每一个单元的悬出重量和施工荷载。模板安装后的情况如图 13-8 所示的照片。

安装模板之前,首先在已浇好的桥面上放出放样基准线,该线与设计给定的 x 轴(边梁外边线)平行,相距 60cm。设计图给出了每孔 x 每隔 1m 所对应的 y 值。桥面加宽侧模板的平面位置就由 x 值和相对应的($y+60$)cm 确定。安装模板之后,用螺杆调节侧模竖直并满足设计要求的平面数据,浇筑的顶面高程根据设计值经测量定出。

模板共加工了 28 个单元,总长度为 56m,每次可供一孔桥面加宽两侧使用。一孔浇筑完后,利用在桥下的吊车吊运到下一孔安装。

支拆这种模板,工人均在桥面和模板平台上操作,并且主要的内容是调节螺杆。与其他如

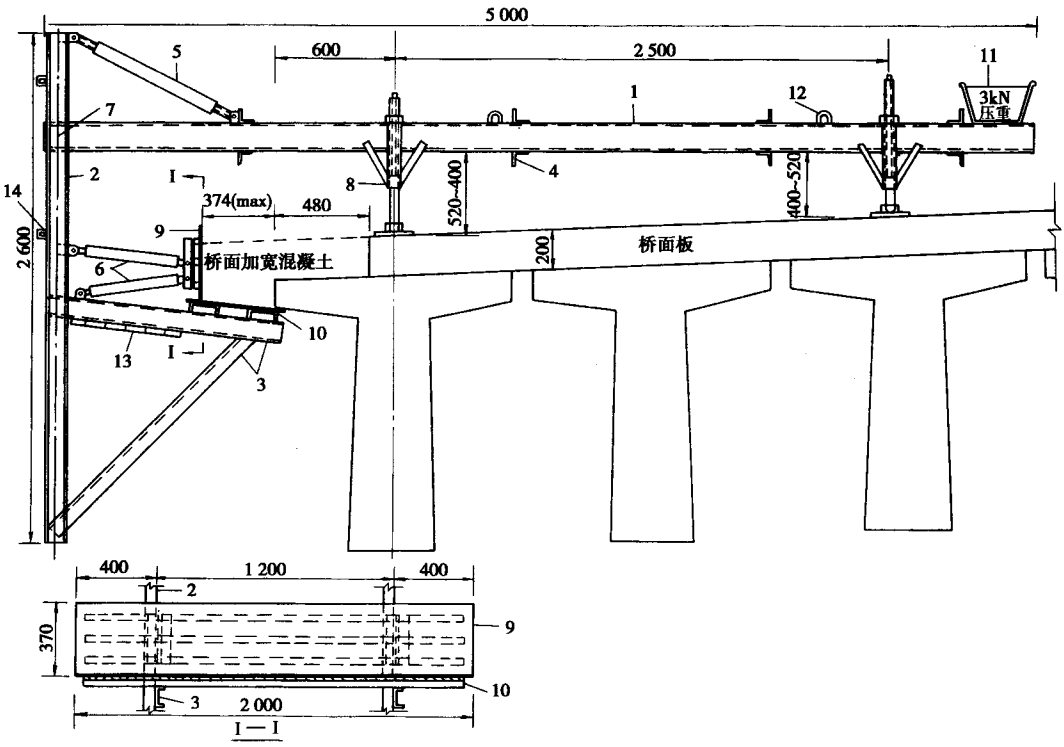


图 13-7　桥面加宽模板构造示意图(单位:mm)

1-横梁[14(间距 1.2m);2-吊杆[10(间距 1.2m);3-底模托架;4-横向连接角钢;5-底模调节螺杆;6-侧模调节螺杆;7-φ20mm 销子;8-支腿调节螺杆;9-侧模;10-底模;11-压重 3kN;12-吊环;13-平台搭板;14-护栏

图 13-8　模板安装后的照片

利用预埋螺母悬挂模板等方式比较,工人操作安全,调节迅速、准确,效率高。只是模板制作机加工量大一些。

作业小组由木工 2 人,普工 2 人,起重工 2 人,共 6 人(不包括钢筋和浇筑混凝土作业)组成。吊运模板时配吊车一台。

操作熟练之后,3d 完成一孔桥两侧的加宽混凝土浇筑。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

实施施工的平均进度为 240/72 = 3.3d/孔。

三、铰接板施工

匝道桥桥面连续，最长的为三孔一联，中间桥墩的梁缝上的桥面通过铰接板连接。铰接板断面如图 13-9 所示。全桥共 42 块铰接板。

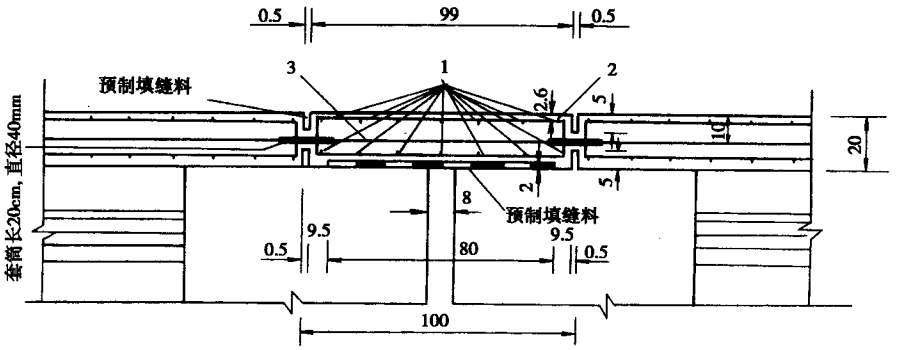


图 13-9　铰接板断面图(单位：cm)

1、2、3-为不同钢筋型号

在浇筑相邻两孔桥面时，将 1 号钢筋和塑料套管均预埋在设计位置。桥面端模内侧按图纸所示的预制成型的填料的位置固定上 5cm 宽 0.5cm 厚的纤维板(长度一直贯通加宽部分)；脱模后，纤维板就紧贴在已浇好的桥面板端部。外侧加宽部分，在桥面加宽施工时，浇混凝土到与边梁翼缘板顶面齐平即可，留出铰接板的位置。

桥面与桥面加宽完成之后，清理铰接板处横隔梁顶面，铺上 2cm 厚的泡沫塑料板，绑扎钢筋，浇筑混凝土，表面压实拉毛，覆盖养生。

四、挂块安装和现浇路缘石

由于桥梁外侧呈曲线，挂块基本块件宽度采用 99cm，缝宽 1cm。除此之外，在灯杆位置的挂块为特殊型号，在伸缩缝两侧为现浇挂块。

挂块和现浇路缘石断面如图 13-10 所示。

挂块使用钢模预制，预制时在安装位置的上表面预埋两个锥形螺母的内螺杆，供安装时旋入锥形螺母吊具。

设计图按伸缩缝间的长度对挂块进行了组合编号，根据分缝的尺寸推算挂块分缝处顶面的高程。施工时，按分块尺寸放样，分块的长度误差在伸缩缝间调整。按照推算的高程点，利用铁楔和砂浆控制安装的顶面标高。安装时要检查挂块外立面是否竖直、顺适，以便控制上表面横坡，调整好后，应再一次填实砂浆。挂块由在桥下的吊车进行安装。

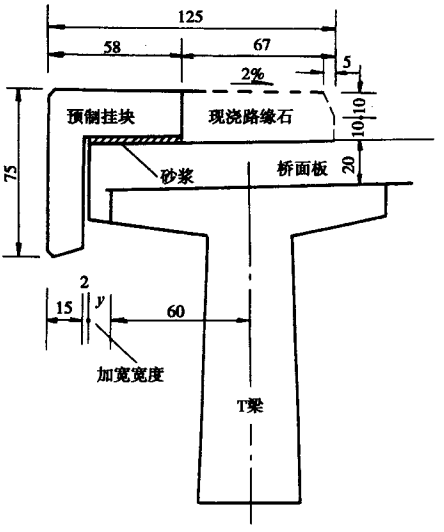


图 13-10　挂块与现浇路缘石断面(单位：cm)

挂块安装完成之后，在桥面上进行现浇路缘石的位

置放样。现浇路缘石模板用 I36 型钢制成。型钢平放，利用翼缘板加焊 5cm 倒角作为侧模。模板长度为 2m，按每隔 2m 设置的高程点调整模板顶面高程，允许偏差 ± 2mm。

现浇路缘石高程控制必须严格掌握，以便沥青路面施工时，可利用路缘石走行摊铺机控制标高的滑撬。

五、伸缩缝安装

匝道桥共 31 道伸缩缝(0 号台埋置式伸缩缝不包括在内)，为英国 EXPANDITE 产品，根据不同的伸缩量有 T400、T650、T900 三种型号。图 13-11 所示为伸缩缝断面(T650)。

伸缩缝基本块件长 1.83m，横向贯穿整个桥宽，路缘石处平面转折处长度不同，为特殊块件。路缘石处块件作成与路缘石相同的斜度，连接车行道和路缘石部分(1.25m 宽)。

伸缩缝定货时应提供给厂商有详细数据(路面横断面尺寸及平面转角)的图纸，厂商据此设计的伸缩缝布置图返回后，应再次校核数据，无误或修改后再交还厂商加工。到货后应仔细按合同规定的标准和图纸检查产品。

厂商随产品附有详细的安装手册，安装前应学习掌握。匝道桥伸缩缝根据业主的要求，在块件下面的缝两侧顶面增加了角钢，安装方法与厂商的安装手册略有不同。

1.安装工艺要点

1)伸缩缝块件下的混凝土浇筑和预埋角钢。

桥面板完成之后，在缝间支模板，绑扎钢筋(应避开伸缩缝锚固螺栓打孔位置)，采用夹具按设计的位置、高程、横坡固定预埋角钢，浇筑混凝土。有 2 个以上横坡的伸缩缝，角钢应在转折处分段，浇完混凝土之后，将角钢间接缝电焊补平，磨光。预埋角钢必需从严掌握标高，并要顺直与桥墩中线平行。

以上工作完成之后，在缝上覆盖薄钢板，即可进行沥青路面(厚 10cm)铺装。

2)在沥青路面上放样，用混凝土锯按要求的宽度锯开路面，取出缝上的钢板，清除碎屑形成凹槽，吹干净之后，复测凹槽底部的混凝土面和角钢面高程。合格之后，按伸缩缝块件拼装图，在凹槽内放样划线，然后对号吊入块件试拼，注意公母槽口对接。

3)试拼合适之后，根据实际螺孔位置划出螺孔中心线。划线工作应在大气温度 25℃ ± 4℃的范围内进行。(如气温过高或过低，应按重新计算的螺孔位置划线，安装伸缩缝块件则需借助专门的液压设备将伸缩缝块件拉伸或压缩一些，以安装锚固螺栓)。划线后取出块件。

4)在螺孔中心，用混凝土钻钻出规定直径的孔眼，至要求的孔深。用压缩空气吹净孔内灰尘。孔眼必须尽量垂直于底面，孔内保持洁净与干燥。

5)在孔内投入瓶装的螺栓锚固剂(须在无雨天进行)，再放上螺栓，用慢速钻套住螺栓顶部旋入，直至要求的深度，停转等待凝固。

6)用压缩空气吹净凹槽内尘土、碎屑，在块件的划线范围内，挤涂“Thioflex one”型底层密封料。

7)按顺序从一边到另一边将伸缩缝块件，利用吊车吊起，刷净块件拼接的公母内槽，逐一拼装。有时接口紧密才能装下整个长度内的块件，这时则应使用千斤顶将块件之间压紧。全部拼完后，在锚固螺栓上安放专用的垫片，套螺母。

8)用扭矩扳手均衡地扭紧各块件上的螺母，达到产品安装手册上要求的扭矩，伸缩缝即开始工作。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

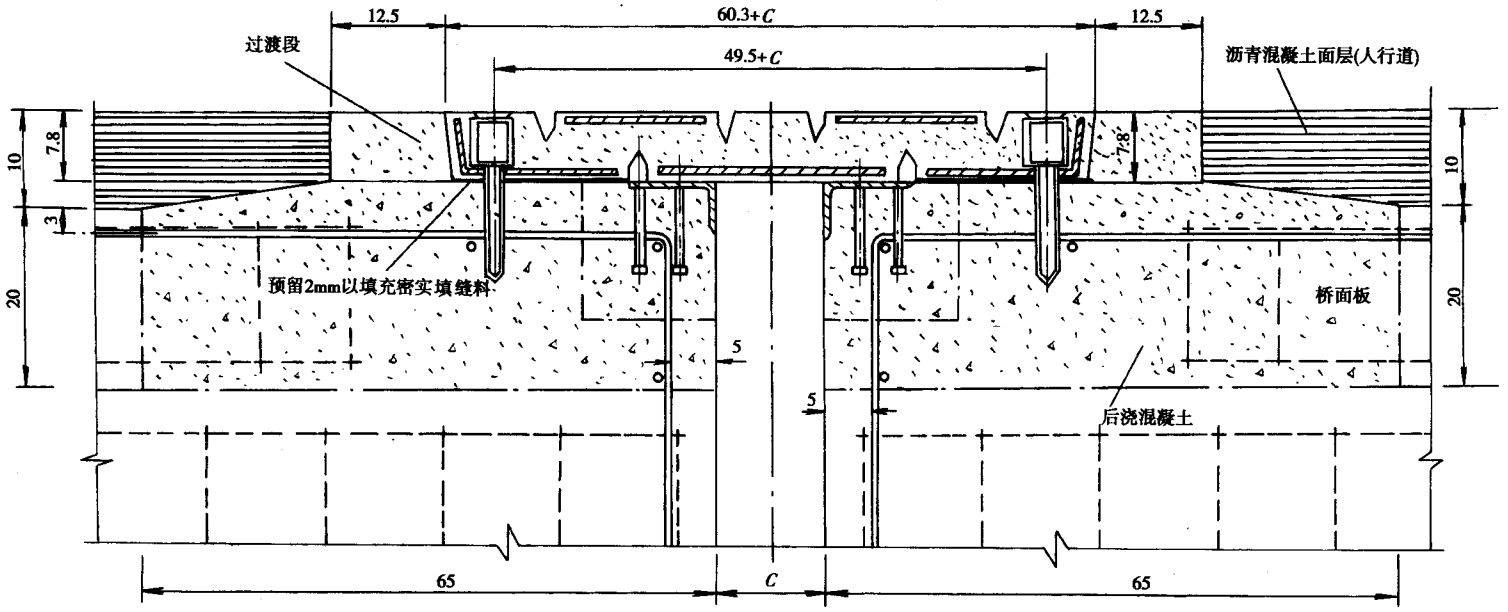


图 13-11　伸缩缝断面图(单位:cm)

9)当伸缩缝工作24h之后,由于橡胶块件被锚固螺栓压紧而有徐变发生,锚固螺栓的螺母会松动,此时应用扭矩扳手把螺母重新上紧到规定的扭矩。然后用密封料"colpor 200"填入块件的螺母孔内,填到一半高度为止,压入橡胶孔盖与块件顶面齐平,刮除从橡胶盖上的小孔口冒出的填料。

10)浇筑块件两侧与路面间的过渡带混凝土。先吹净槽内尘土和碎屑,用水湿润底面,但不得有积水,然后用"Fenaset"底层涂料涂刷槽内底面和侧壁。同时按产品说明的方法和用料配方拌制厂商提供的高聚合水泥混凝土,拌合均匀后填入涂料未干的槽内,用振捣器捣实,抹平。浇筑完成之后,用塑料薄膜和湿麻布覆盖,防止水分蒸发,养生24h。

2.注意事项

安装伸缩缝的各种辅助材料,多系易燃,易损,并且有毒。在搬运和操作时,都要注意安全,严格按操作规程办事,贮存时要放在阴凉干燥的地方,防止曝晒和受潮。搬运、操作时,要戴好手套、眼镜,并要严禁烟火,背风操作。作业完后要把手脸洗净,以防污染人体。

3.教训与改进意见

1)关于预埋角钢

根据实际施工的情况来看,预埋角钢,尽管精度较高,基本上能达到误差要求,但是沥青路面铺设之后,路面高程有误差,按规范规定也可在±4mm之内,实际铺筑中还可能稍大一些。因此锯开路面之后形成的凹槽深度并不等于伸缩缝块件的厚度,而是有深有浅,如这样就放置块件安装,伸缩缝上表面就与路面不顺适,这是不允许的,需要进行处理。

对于深度不够的凹槽,处理的办理是:偏差在4mm之内的,用电砂轮打磨角钢,凿低混凝土面,用环氧树脂砂浆重新抹平以增加深度;偏差过大的则用气焊割去角钢凿低混凝土面,用环氧树脂砂浆抹平。

对于深度过深的凹槽,则在角钢顶面覆一层薄钢板焊上。混凝土顶面用环氧树脂砂浆加高抹平。

这样处理费工、费料,延长了施工工期且还不符合业主的要求。对此需要加以改进,有以下两种方法。

(1)最好是开始设计伸缩缝时,应按厂商产品的需要,不设角钢并且在伸缩缝块件与其下的混凝土之间设12~20mm的找平层,以调整高程偏差。尽管厂商的找平层材料较贵,但从不返工,减少浪费,从保证质量的角度来看,还是划算的。

(2)如必需加角钢(如匝道桥),则应在铺筑沥青路面之前,不先预埋角钢,仅仅用薄钢板盖住缝宽,不绑扎钢筋,浇筑低标号混凝土与桥面板齐平,再铺路面。等路面铺过之后,锯开路面,凿掉这部分混凝土,取出钢板,按实际上沥青路面铺就的高程和伸缩缝块件的厚度,决定预埋角钢和混凝土面的高程。立模绑扎钢筋,使用夹具固定,预埋角钢,浇筑混凝土,再在上面安装伸缩缝,高程就与路面顺适了。我们在法鲁克立交桥的伸缩缝安装中采用上述方法,效果较好。

2)要避免锚固螺栓钻孔碰上钢筋

施工中曾遇到过钻孔碰上钢筋的问题,只得扩大孔眼去掉钢筋,再钻孔,这样做费工费时,影响质量。有条件时,应尽早落实伸缩缝型号,在浇横隔梁,预埋钢筋时和其后绑扎块件下面混凝土内的钢筋时,放出锚固螺栓的位置,设法避开。这样,安装伸缩缝时钻螺栓孔,就不困难了。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第二节　天津高架桥毛勒伸缩缝安装

一、工程概况

天津高架桥是京—津—塘高速公路上最大，也是最长的一座桥。它由 B_1 桥和 B_2 桥两部分连接而成。全桥分上行和下行，两座中间有 1m 宽的隔离带。两桥均采用 30m 预应力 T 型结构，30m 一孔，四孔一联有一道伸缩缝。全桥（包括引桥和匝道）共 91 条伸缩缝（均采用毛勒缝）。此缝长 12.5m，横向贯穿整个桥宽。内护栏和外护栏处安装工艺复杂，要求精度高。

天津高架桥原设计是利用国产的梳行板伸缩缝，由于此种缝对于高速公路路面的平整度和使用年限都不适用，故将原缝变更设计成为现在的毛勒缝。由于变更图纸来得较晚，使得已完成施工的大梁伸缩缝处预埋筋没能及时预埋，且伸缩缝处梁端混凝土宽度和标高都不符合新的设计要求，给安装工作带来很大不便，也给安装质量的控制造成很大困难。下面就安装毛勒缝的施工工艺做一下简单介绍。

施工程序如图 13-12 所示。

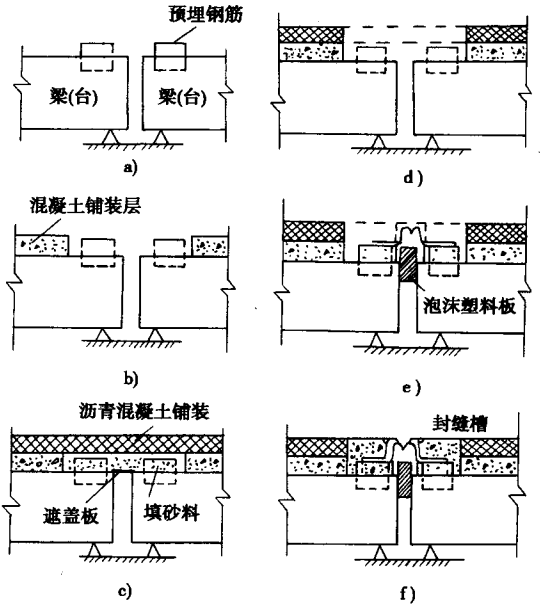


图 13-12　毛勒缝施工程序示意图

二、安装工艺及注意事项

1.安装前的准备工作

1）首先将毛勒缝与桥梁连接钢筋的尺寸、间距、位置、标高等控制好，预埋。

2）测量毛勒缝安装范围各点标高，校正桥面与毛勒缝各点标高，确保毛勒缝安装准确无误。

3）在毛勒缝预留槽底，梁与梁缝间加盖薄钢板（遮盖板），其上铺填砂石料。铺填高度至桥面沥青混凝土铺装层底标高。

4）桥面（包括毛勒缝范围内）沥青混凝土铺装应与路面沥青混凝土连续铺筑。并且严格按路面施工规范执行。其模板必须符合设计要求，且应为直线坡，来保证毛勒缝标高与沥青混凝土面层铺筑标高符合。

5）当桥面沥青混凝土与伸缩缝处沥青混凝土连续铺筑完后，立即将准备安装毛勒缝处凿开 6～8cm 宽的一条缝，并凿透露出砂石料，且把凿松散的沥青混凝土清除干净，目的是保证桥梁在毛勒缝处正常伸缩。如果不及时作如上处理，随温度的升高，桥梁伸长，伸缩缝处宽度缩小，将在毛勒缝处产生拥包现象，使得路面标高产生不同变化，也就无法保证毛勒缝与路面的连接平整。所以凿缝工作应在桥面沥青混凝土铺筑完后的 2～4h 内进行，以保证梁体正常伸缩而不至于损坏路面。

6）机具准备：混凝土切割机 1 台；吊车 1 台；电焊机 2 台；水罐车 1 辆；水平仪 1 台；3m 直尺 1 把；3mI37 型钢 6 根；2.0t 千斤顶 6 只；紧线器 24 根；手动葫芦 3 个；空压机 2 台；自制小龙门架 3 个；用于倒运毛勒缝的平车 2 辆。

7)放线、切割桥面沥青混凝土面层。铺筑完后,先用墨斗放出伸缩缝中线,再由中线向两边各放出 60cm 画出切割标线。

用切割机按标线位置切割沥青混凝土面层。要切得顺直、准确,我们采用自制轨道来控制切缝机。使其按标线位置切割,切割深度是 5~6cm 左右。

8)开槽。人工配合空压机清除切割缝范围内沥青混凝土、砂石料、松散混凝土等,为了防止开槽后槽两边沥青混凝土边角掉落,在边缘处放上角钢防护;必须将槽内杂物清除干净。

2.毛勒缝安装

1)B_1 桥毛勒缝的安装

原方案采用 5t 吊车安缝就位。因每天只安装一条,安放就位工作只需几分钟,对于自重 13kN的毛勒缝长时间专门用一台吊车很不经济。我们修改了原方案,用 5t 吊车 1d 时间将全部毛勒缝以 4 条一组分别运到桥面上相应位置处,待安装毛勒缝的切割槽清理干净后,用自制的小龙门架和吊葫芦将毛勒缝吊起放在自制小平车上,推至安装伸缩缝处,再用小龙门架上的手动葫芦将毛勒缝吊起放入槽内。调整与毛勒缝相干扰的预埋钢筋,直到伸缩缝顺利就位。

2)填塞泡沫板

天津高架桥采用的泡沫板厚度为 80mm、60mm、40mm、10mm 四种。为了填塞泡沫板,用小龙门架将毛勒缝提起高约 60~80cm 左右,将 80mm×360mm×2 000mm 的泡沫板塞入毛勒缝下面的槽内,再用长 50cm 的土工布条将毛勒缝与泡沫板捆紧。然后在梁与梁的缝间放上一根长约 1m 的土工布条,上边填塞 60mm×450mm×2 000mm 泡沫板,用布条将泡沫板兜紧,目的为了在梁收缩时不至于将泡沫板掉入梁的缝底,最后缓慢地将吊起的毛勒缝放下与路面平。

3.调整毛勒缝位置及平整度

1)用撬棍先将毛勒缝中心位置与缝槽中心位置对齐。

2)用 3m 长的 I37 型钢(工字钢必须平直,误差≤0.1mm,否则不能使用)6 根均匀放在毛勒缝上边的行车道部分。

3)在第二根和第四根工字钢上放好千斤顶和工字型小平衡支架(千斤顶放在毛勒缝中心位置),把紧线器挂在小平衡支架的四个钩上,紧线器下面勾在伸缩缝两边的钢板上。顶起千斤顶,提起毛勒缝,使毛勒缝紧贴于工字钢上,这时伸缩缝的位置也基本定好,可以撤掉小龙门架的手动葫芦。

4)将另外的四根工字钢也同样放好千斤顶挂好紧线器。由于铺筑路面的平整度不很理想,横坡并不顺直,特别是第三根和第五根工字钢处路面较低,因此这里的毛勒缝高于路面。只得采取下压,迫使它与路面相平,这时就将紧线器延长挂在毛勒缝的预埋钢筋上,然后顶起千斤顶使毛勒缝受压至与路面相平。

5)考虑浇筑毛勒缝混凝土时产生的收缩(一般在 1~2mm 左右),及考虑车辆对路面面层的磨损,将来毛勒缝必须高于路面 1~2mm,但对行车极为不利。我们采取在毛勒缝与 I37 型钢之间垫上一块 1mm 厚的铁皮,这样人为地让伸缩缝低于路面 1mm,不会影响行车平稳,实践效果良好。

4.焊接毛勒缝

毛勒缝焊接在整个毛勒缝施工中是最关键的一道工序。对于这道工序,一要掌握好温度

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

与缝宽的变化关系；二要控制好焊接质量。

毛勒缝的锁定宽度是根据设计要求的伸缩量，符合温度变化的要求。当安装温度在15℃±5℃时，不需要调整缝宽而直接焊接；当温度超过或低于15℃±5℃时，都需要对毛勒缝宽度进行调整后再焊接。

天津B_2高架桥毛勒缝的焊接时间从5月29日开始到8月中旬结束，温度最低为15℃，最高达36℃，其间能满足毛勒缝安装温度15℃±5℃的时间只有几天，大部分时间温度高于安装温度，所以必须调整缝的宽度。

在毛勒缝的位置、平整度都调整好后就将毛勒缝的一边焊好，然后用气割从一头逐渐解除锁定。然后用调缝夹具和控制缝宽的顶杆进行调整，如图13-13所示。

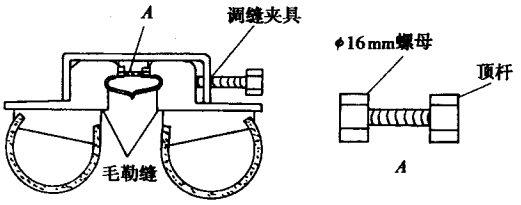


图13-13　调缝夹具及控制缝宽的顶杆示意

1)用温度计测出梁体温度b，缝宽a计算如下式：

$$a = 4 - (b - 15) \times 0.12$$

式中：a——根据当时梁体温度计算的毛勒缝宽，cm；

b——梁体温度，℃；

4——毛勒缝锁定宽度，cm；

0.12——气温每升高或降低1℃时，缝宽变化系数。

2)用游标卡尺卡出顶杆长度为a，放于毛勒缝口内，每间隔1m在顶杆之间放上夹具，用搬手紧夹具上的螺杆，使未焊接的毛勒缝另一边调到与顶杆长度a相同，再用卡尺逐段检验毛勒缝宽，直到调到a为止。焊接前还应平整，然后就可以焊接另一边，焊接时采取间隔焊法。将缝固定后去掉I37型钢及小平衡支架，再以最快速度满焊，焊接完成后半小时即可解除调整夹具和缝内顶杆。

3)用3m直尺再检查一下毛勒缝是否与路面相平，误差不得大于0.1mm，若有问题应立即用气割割开重调。

5.浇筑毛勒缝混凝土

这是毛勒缝施工的最后一道工序，它要求抹面技术很高，根据不同坍落度的混凝土，收浆时收缩高度，使浇筑混凝土标高与路面面层标高误差在0.1mm内。此道工序还包括钢筋绑扎，混凝土养生等。

1)绑扎过渡段钢筋，特别是两层网眼为10cm×10cm的ϕ8mm钢筋网要绑好。

2)用水冲洗干净槽内杂物。

3)为防止污染沥青混凝土面层，在浇筑混凝土前对伸缩缝两侧2~3m范围内用土工布覆盖保护，用胶带纸粘贴毛勒缝缝口及伸缩缝两侧沥青混凝土边角。

4)C28混凝土配合比为1:1.93:3.74:0.56。采用强度等级为52.5的普硅水泥，用量为335kg/m^3；

坍落度5~7cm；外加剂为YNH-1，用量1%；碎石比例采用(0.5~1cm):(1~2cm)=1:3。

5)采用塑料布、土工布两层覆盖洒水养生。

6.注意事项

1)毛勒缝施工，对预埋的锚筋位置、标高要求很严格，否则直接影响安装质量。

2)伸缩缝牛腿、封锚的缝宽应统一，以利于施工和保证质量。

第三节　江津长江大桥纤维网混凝土桥面铺装施工

纤维网混凝土，即在混凝土中添加适量的聚丙烯薄膜短带，通过搅拌机，并在砂、石料的冲击下，撕裂成单根纤维。由于这些单根、独立的纤维被水泥浆包上一层浆膜，不会因拌合而绞织成团。它们以三维的方式纵横交错而又均匀地分布在混凝土中。正是由于这些纤维网的存在，混凝土原有的性能才得到整体性改善，使用寿命得以大大延长。

一、纤维网的性能

纤维网绝对的惰性决定了它不与酸、碱、盐发生任何化学反应。纤维网的添加不会影响混凝土原有配合比，它们对混凝土纯属机械性的作用。

其物理及力学性能如下：

1)无吸水性；

2)相对密度为 0.91；

3)导热性低；

4)对酸碱盐的阻抗高；

5)熔点为 160～170℃；

6)燃点为 590℃；

7)纤维的长度为 12～51mm；

8)抗拉强度为 500～770MPa；

9)杨氏弹性模量为 350MPa。

二、纤维网混凝土的优点

经过大量的实验分析，纤维网混凝土优于普通混凝土表现在如下几个方面：①抵抗早期混凝土的塑性龟裂；②降低、控制裂纹发展；③防止混凝土拌和时混合料的离散，确保混凝土的均一性；④抗其有渗防锈，增强延性、韧性及冲击性等一系列作用。

混凝土的龟裂主要是由于塑性混凝土排除表面渗水引起的。当渗水运动到混凝土表面时，发展成微小的真空体，这些真空体在混凝土中又发展成细微的裂纹。当渗水连续向混凝土表面运动时，细微裂纹不断发展，一旦这些裂纹相互连接起来就发展成大的裂纹。随着混凝土中相类似的裂纹发展，最终这些大的裂纹也将相遇、连结，引起明显的收缩龟裂。

当纤维网加入混凝土中，这些细微的裂纹延伸到纤维时，它们将被阻止进一步发展。因此，这些细微的裂纹一直保持最初的状态。某些邻近第一个裂纹的地方，另一个细微裂纹的出现，也将由埋入的纤维网阻止其全面发展。这样，裂纹无法连结，深入发展成裂缝，从而大大加强了混凝土的整体性，提高了抗渗、抗折、抗弯等技术指标。

三、纤维网混凝土桥面铺装的施工工艺

按设计要求本桥面采用 C40 混凝土，厚 10cm，全引桥共计约 1 260m^3 混凝土。由于桥面属平面板系，施工中纤维网的用量采用了标准添加剂量 0.9kg/m^3，纤维长度采用标准长度 19mm，MD 包装，整体投入拌合机。下面简单介绍桥面纤维网混凝土施工工艺及个别工序的操作要点。

施工工艺流程如下：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

作为桥面的铺装工艺，无论是普通混凝土还是纤维网混凝土，都不外乎以上这几个过程，所不同的只是个别工序的操作要点上有所区别。下面仅对区别与普通混凝土施工的几个要求作些说明。

1.拌和

1)应严格遵照纤维网添加剂量的规定进行控制，过少起不到应有作用，过多降低混凝土的强度，也造成浪费。加入时间可以在搅拌之前，也可在搅拌过程中。

2)拌和机的选择。由于要达到纤维网均匀分布在混凝土中的目的，应选用强制式拌和机，且搅浆板没有严重损伤。

3)拌和时间是关系到纤维网混凝土施工质量的一个关键性问题。纤维网在混凝土中分布均匀与否，很大程度上取决于拌和时间。实践证明，拌和时间至少 5min，而且搅拌时间延长不会影响纤维网的性能及作用。

2.收平、压纹

混凝土收浆前细部精平(修整)，及精平后的表面压纹，这两项工作直接影响桥面表层混凝土的强度及质量，施工中应高度重视。就普通混凝土而言，收平时间过早，除达不到收平效果外，还会把砂浆提到表面，降低表面混凝土的强度及抗磨损能力。就纤维网而言，收浆过早(或带水作业)除产生以上后果外，还会把纤维网冲拉到混凝土表面，造成表面毛糙；这不但影响最后收平效果，还将使表面纤维网失去其原有作用。

因此，表面的最后收平、压纹是一项时间性很强的工作。由于这个时间受混凝土坍落度及铺设时气温情况的影响，很难作出准确的时间推断。根据多次的施工经验，当混凝土表面出现暗淡色泽时进行表面收平、压纹的效果最好。此时，建议采用多布点方式在有限的时间内快速地完成整平、压纹的工作，以收到既美观又保证质量的效果。

四、质量及经济效益比较

采用纤维网混凝土进行桥面铺装，可使早期混凝土的塑性龟裂降低 90% ~ 100%。由于纤维网的加入，桥面的抗磨、抗碎、抗冲击能力大大提高；随着塑性龟裂的减少和消失，混凝土的抗渗性提高 79%。钢筋的锈蚀现象亦得到了克服，从而降低了桥面后期的维修费用，延长了桥梁的使用寿命。

在进行桥面铺装方案的选择时，对几种铺装方案进行了比较，见表 13-1。

桥面铺装种类比较表 表 13-1

种类	单价 (元/m^3)	质 量 效 果	维修费用	使用寿命	施工难度
普通混凝土	476.2	差。龟裂，易渗透，锈蚀性强，表层混凝土强度低，易磨损	较高	短	一般
沥青混凝土	824.2	较差。受气温影响大，骤冷骤热，路面易拱起，碎裂	高	短	一般
钢纤维混凝土	796.2	较好。对防止龟裂及抗渗、抗折、抗弯等指标有一定提高，但易锈蚀	一般	较长	难
纤维网混凝土	624.2	好。除控制龟裂外，对抗渗、抗折、抗弯有较大提高，不锈蚀，不碎裂，不起拱	最低	长	稍难

通过以上简单比较可以看出，单就一次性投资来讲，纤维网混凝土比钢纤维混凝土低21%，比沥青混凝土低24%，且克服了钢纤维混凝土的易锈蚀及施工困难的缺点，避免了沥青混凝土路面后期维修繁琐、寿命不长的弱点。虽然纤维网混凝土比普通混凝土多投资31%，但可把使用寿命延长7～10年。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第十四章　桩的施工与设计

本章主要介绍预制混凝土桩、钢管桩及钻孔灌注桩的施工与设计要点，主要针对临时便桥、支架的桩基础的施工与设计，也可用于一般桩基的永久性桥梁。

第一节　桩的分类

桩的种类繁多，分类方法也很多，现将几种分类方法简介如下。

1.按桩身材料分类

可分为木桩、钢筋混凝土桩、预应力混凝土桩、钢桩和组合桩等。预应力混凝土桩除常用的先张法预应力混凝土方桩和管桩外，在日本还有圆形的先张离心式预应力混凝土桩(PC 桩)和先张离心式高强度预应力混凝土桩(PHC 桩)；PC 桩桩身采用 50MPa 混凝土制作，PHC 桩采用 60MPa 以上混凝土制作，其构造基本相同。PHC 桩最大直径为 120cm，桩身连接用圆形座板和圆周状补强角钢组成，其构造如图 14-1 所示。

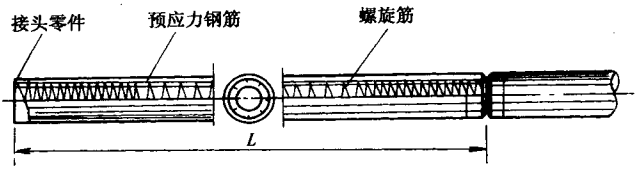


图 14-1　先张离心式高强度预应力混凝土桩(PHC 桩)示意图

钢桩包括钢管桩、H 型桩和工字型桩。钢管桩采用广泛，H 型或工字型钢桩能提供较大的表面摩擦力，挤压面较小，沉桩时有减小土面隆起或土体侧向位移的优点，其缺点是在沉桩时易产生轴向压曲。

组合桩是采用二种不同的材料组成，如钢管混凝土组合桩(SC 桩)。它是在钢管中注入混凝土采用离心法制成中空圆环形钢管混凝桩，可以减薄钢管壁厚度。该桩特点是钢管和混凝土相互作用，取长补短以改善其力学性能。当桩产生最大弯曲时，混凝土可以防止钢管的局部压屈，由于钢管的约束，混凝土不易剥落。这种桩具有很好的韧性，其构造如图 14-2 所示。

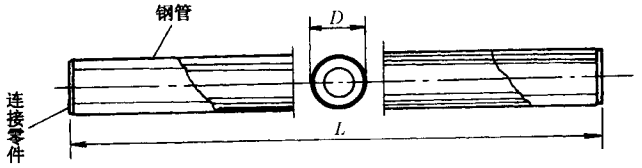


图 14-2　钢管混凝土组合桩(SC 桩)示意图

另一类的组合桩是桩身上下采用不同材料组成，如桩身下部为 H 型钢桩与上部钢筋混凝土方桩相连接的组合桩。其优点是利用 H 型钢桩贯入硬土层的能力强，钢筋混凝土方桩刚度大，使较长的桩能沉入较深的坚硬土层中，同时还增强了抗腐蚀性能。

2.按桩身截面分类

可分为方形桩、空心方形桩、多边形桩、圆形桩、管形桩、H形桩等。

3.按施工方法分类

可分为沉入桩(包括锤击沉桩、振动沉桩、射水沉桩、静力压桩等)、钻(挖)孔桩、钻埋空心桩等。

4.按桩沉入的挤土大小分类

可分为挤土桩[亦称为位移桩(displacement pile)]、低挤土桩[亦称为低位桩(low-displacement pile)]、非挤土桩[亦称为非位桩(non-displacement pile)]三类。挤土桩是桩沉入地层时,引起土体挤移,如锤击沉桩、振动沉桩等。采用这类桩时,必须充分考虑桩的下沉顺序及桩附近建筑物安全。低挤土桩是桩沉入土层时,引起土较小挤移,如用锤击、振动等方法下沉桩底开口的桩。但也需要适当考虑沉桩顺序和桩附近建筑物安全。非挤土桩是桩入土时不引起土体的挤移,如钻(挖)孔桩、钻埋空心桩等。

5.按桩承载性能状态分类

过去对桩的承载性能分类,仅划分为摩擦桩和柱桩(端承桩)两类。但在实际工程中,常见的桩很多是摩擦力和端阻力共同承担桩顶的竖向极限承载力,因此近来的有关规范和文献将桩划分为摩擦桩、端承桩、端承摩擦桩和摩擦端承桩四类。

1)摩擦桩

在极限承载力状态下,桩顶的竖向荷载由桩周围土的摩擦力承受。一般是指软土层较厚,桩只打入一定深度,没有达到较硬土层,在桩顶竖向荷载作用下,桩底承受的承载力极小,一般不超过10%;或者桩端虽达到较硬的土层,但桩的长径比很大,传到桩端的阻力仍很小,绝大部分承载力还是由桩周摩擦力承担。

2)端承桩

在极限承载力状态下,桩顶的竖向荷载由桩端阻力承受。一般是指桩身穿过软弱的土层,支撑在岩层上。或者桩的长径比很小,桩端支撑在很密实的砂砾层、卵石类土层中或微风化岩层中,由于桩的竖向变形很小,桩周摩擦力不能发挥出来,或者发生很小的摩擦力,可忽略不计,全部承载力由桩端阻力承担。

3)端承摩擦桩

在极限承载力状态下,桩顶竖向荷载主要是桩周摩擦力为主,桩端阻力为辅共同承受。一般指长径比不很大的桩,桩端进入较硬粘质土、砂土中,在桩顶竖向荷载作用下,大部分承载力由桩周摩擦力承受,小部分由桩端阻力承担。

4)摩擦端承桩

在极限承载力状态下,桩顶竖向荷载以桩端阻力为主,桩周摩擦力为辅共同承受。一般是指长径比较大的桩,桩端进入中密以上的砂土、卵石类土或中风化岩层中,在桩顶竖向荷载作用下,因桩身受压缩而产生变形,使桩周摩擦力部分发生作用,承受小部分承载力,大部分承载力由桩端阻力承担。

第二节 桩的施工

一、木桩、预制混凝土桩及钢管桩施工

(一)桩的制作

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1.木桩

1)木桩多用红松、落叶松、杉木、柏木等制成,平均直径为 20 ~ 30cm,桩身在一面内的弯曲度不应大于木桩长度的 1%,两面弯曲者不得使用。

2)原木树皮应削除,并砍去突出部分,不需刨光。划出桩中轴线,锯平桩头,使垂直于中轴线,从而划定两端平面十字轴线中心,据此可作为桩尖、桩帽、接桩划线基准。

3)按设计要求制作桩尖。

2.钢筋混凝土桩

1)钢筋混凝土方桩

钢筋混凝土方桩一般是在工地制作,其侧模可采用 4mm 钢板制成。钢模具有坚固耐用,周转次数多,整体性强,不易变形,拆装方便等优点。为节约场地面积或便于蒸汽养护可采用横向成排支模,以间隔法浇筑混凝土制桩,如图 14-3 所示。或采用竖向重叠法浇筑混凝土制桩,如图 14-4 所示。

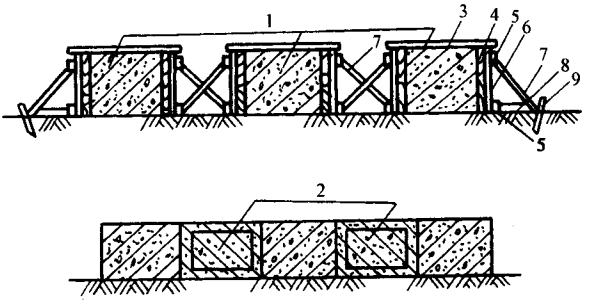


图 14-3 间隔浇筑法支模

1-第一批浇筑混凝土;2-第二批浇筑混凝土;3-顶撑;4-侧模板;5-纵肋条;6-模板肋条;7-斜撑;8-底横撑;9-锚钉

间隔浇筑法是每隔一桩位浇筑一批桩的混凝土,待强度达到设计强度的 30%后,拆除其侧模,第二批利用已浇筑桩作为侧模,并在已浇筑桩表面铺设塑料布隔离进行浇筑,待第二批浇筑的混凝土达到设计强度时,起吊移位。

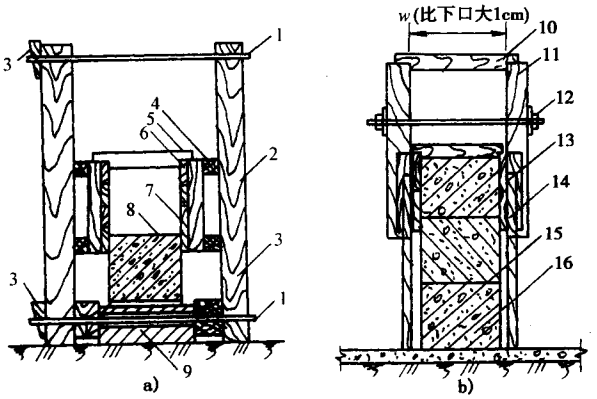


图 14-4 重叠浇筑法支模

a)长夹条支模;b)短夹条支模

1-φ12mm 钢筋箍;2-长夹条;3-硬木楔;4-横挡;5-临时撑木;6-拼条;7-侧模板;8-隔离层;9-底模座;10-临时撑木;11-短夹木;12-φ12mm 螺栓;13-侧模板;14-支脚木;15-隔离层;16-已浇混凝土桩

重叠浇筑法的层数,应根据施工地基承载力和施工条件确定,一般不超过三层。支模方法有长夹条支模和短夹条支模两种。长夹条可用木材或型钢制作,两根夹条可用钢筋箍加硬木楔紧。长夹条支模的第一层桩底模座可用混凝土浇筑,并兼作底模的横撑。短夹条支模,无需浇筑混凝土底模座,但浇筑第一层时,夹条需向上夹住支模,浇筑混凝土时应注意不使模板左右摇晃。

空心桩的内模,可采用充气胶囊、橡胶管等外包塑料布的内模。严格控制内模位置,不使其偏位。混凝土浇筑顺序宜由桩顶开始向桩尖连续浇筑,中间不得停顿。

2)钢筋混凝土管桩

钢筋混凝土管桩通常多在工厂内用离心法制成。定型钢筋混凝土管桩直径仅有 40cm 和 55cm 两种,分节制作,用法兰盘连接。桩端装有铸铁做成的桩尖,与混凝土浇筑在一起,中间留有一圆孔,以备安装射水管用。

3.预应力混凝土桩

1)预应力混凝土方桩

预应力混凝土方桩的制作，一般是采用长线台座先张法施工。如墩式台座法，利用土的抗力来承担台座的张拉反力；压桩式台座法，利用柱的抗力来承担台座的张拉力。

长线台座张拉好的预应力钢筋若不能浇筑混凝土时，应将已张拉好的钢筋放松到张拉力的70%，待能浇筑混凝土时，再张拉到100%的张拉力。应尽量减少钢筋张拉与混凝土浇筑两工序的温差，避免浇筑混凝土时由于气温升高而增加预应力的损失，或由于气温低使钢筋发生冷断事故。

浇筑混凝土时必须连续浇筑，不得中断，更不得留有施工缝。

预应力混凝土方桩不得有裂缝；表面不得有超过5mm深的蜂窝、麻面；蜂窝、麻面在每个面上所占面积的总和不得超过该面积的0.5%；沿边缘棱角破损深度不得超过5mm，每10m长边棱上只允许1处破损，桩身边棱破损总长不得超过500mm；空心桩表面不得有气孔。

2)预应力混凝土管桩

预应力混凝土管桩一般是由工厂用离心旋转法分节制作。采用混凝土的强度一般为45MPa。国内已定型生产的直径为40cm、55cm。离心旋转法制作的工艺如图14-5所示。

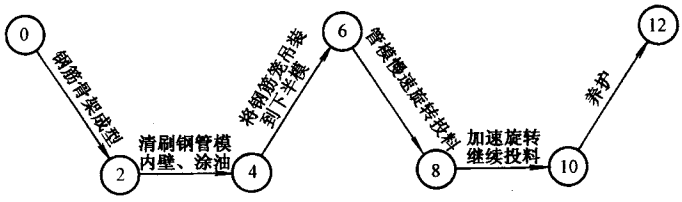


图14-5　离心旋转法制作管桩工艺

4.钢管桩

钢管桩的直径一般为25～120cm，管壁厚为8～20mm。直径25～30cm的小型钢管桩可使用无缝钢管；长大的钢管桩，可采用在工厂焊制的纵缝焊接钢管。纵向焊缝在任一横截面内宜采用一条焊缝，最多不得超过二条。若必须使用二条纵缝时，纵缝间距应大于300mm。

钢管桩的分段长度不宜大于15m，并应考虑施工条件及地质情况确定。

焊接管须用对接焊接焊缝，并达到与母材等强要求。卷管方向应与钢板压延方向一致。卷制钢管前，应根据要求将板端开好坡口。

焊接管制作的允许偏差按《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)有关规定执行。

5.桩的连接

1)钢筋混凝土方桩法兰盘连接

用于钢筋混凝土方桩(包括空心方桩)连接的法兰盘，可用不等边角钢制成。法兰盘角钢长肢与桩主筋焊接，法兰盘角钢短肢焊以钢板加劲肋加强，并用专用样板钻钻以圆孔，用连接螺栓将上下二节桩连接起来。其构造如图14-6所示。

制桩时为了保证法兰盘位置正确，并垂直于桩的纵轴线，应将法兰盘用专门样板固定在桩两端模板上，然后在模板内安装钢筋骨架，将钢筋骨架与法兰盘接触点先进行点焊，再全面施焊。上下节连接时在接头处垫2mm石棉垫，并用电焊固定螺帽与螺栓。

2)预应力混凝土管桩法兰盘连接

预应力混凝土管桩法兰盘连接的构造，如图14-7所示。

3)钢管桩斜衬圈连接

大型钢管桩的连接可采用斜口钢衬圈连接，具构造如图14-8所示。

连接方法：钢管桩成型时，将托板按规定位置焊在钢管的内壁上，待下节管桩沉入后，安装斜口钢垫圈，并将钢垫圈压平，使其位置正确后，即焊接锁口板，然后再安装上节钢管桩，用电

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

焊连接成整桩。

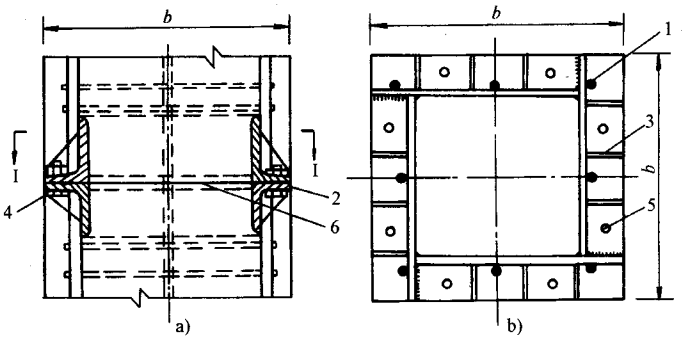


图 14-6　钢筋混凝土方桩法兰盘连接

a)纵剖面;b)I-I 剖面

1-纵向主钢筋;2-法兰盘角钢;3-法兰盘钢板加劲肋;4-连接螺栓;5-螺栓孔;6-石棉垫

4)钢管桩拼接钢板连接

钢管桩连接可采用内拼接钢板连接和外拼接钢板连接两种。

(1)内拼接钢板连接

是用一小段钢板卷管,用环形焊缝焊接在下节钢管桩顶面内部,用电焊铆钉固定上节管节,再进行上下管节对接焊,如图 14-9a)所示

(2)外拼接钢板连接

是在管节对接焊后,再在管节节头外侧焊 4~6 块拼接钢板,如图 14-9b)所示。这种拼接方法,在下沉钢管桩时,可能稍有妨碍。

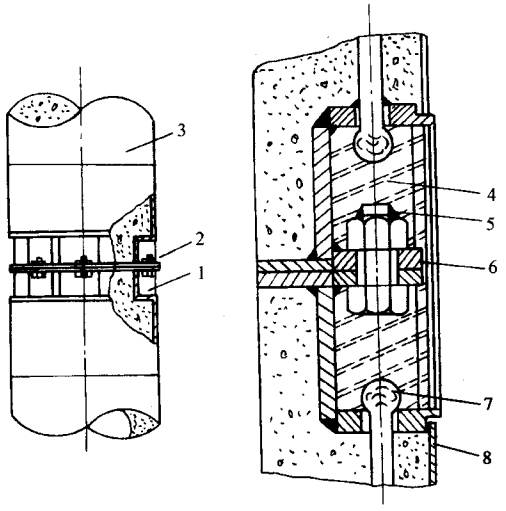


图 14-7　预应力混凝土管桩法兰盘连接

1-法兰盘;2-连接螺栓;3-管桩;4-防腐蚀填料;5-螺母与螺栓电焊焊固;6-表面包裹;7-钢筋墩粗头;8-桩包箍

6.预制混凝土桩及钢管桩的吊运和堆放

1)吊(支)点位置

通常桩的吊运和堆放多采用 2 个吊(支)点,较长的桩也可采用 3 个吊(点)点,甚至采用 4 个吊(支)点。吊(支)点的位置如图 14-10 所示。

2)预制混凝土桩的运送

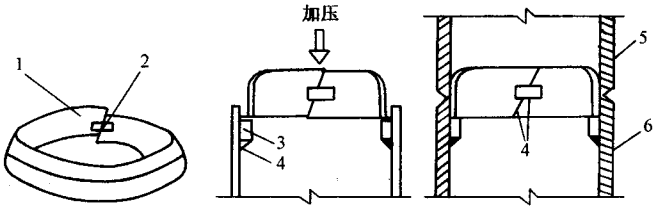


图 14-8　钢管桩斜衬圈连接

1-斜口钢衬圈;2-锁口板;3-托板;4-电焊;5-上节桩;6-下节桩

(1)托板车或轨道平板车运送

桩的运送通常采用托板车或平板车,如图 14-11 所示。托板车用硬木拼制而成,宽约 50cm,厚约 15~20cm,长约 1~1.5m,随桩长而定。托板沿运送方向呈倒梯形,以下设 3 根无缝

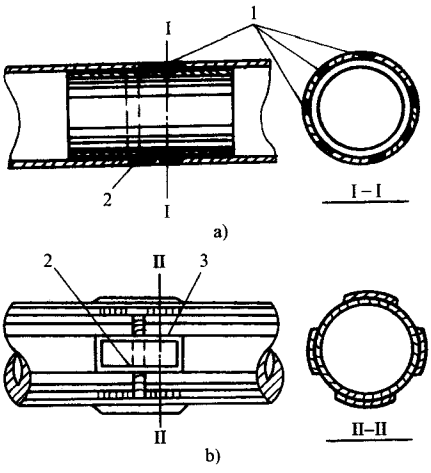


图 14-9　钢管桩拼接板连接

1-电焊铆钉;2-接头对焊;3-拼接钢板电焊

钢轨,钢管下铺木板,在卷扬机的牵引下将桩运送到施工处,如图 14-11a)所示。此法简单,但速度慢,运送中转弯较难。轨道平板车是用轨道和有转盘的平车组成,如图 14-11b)所示。使用方便,有条件时宜采用。

(2)托架拖车运送

远距离运送桩时,宜采用托架拖车。托架拖车运送桩是由卡车、拖车和托架托车组成。在前拖车上需加设活动转盘,如图 14-12 所示。桩运送时,其支点应与吊点位置相适应,偏差不得大于 20mm。若支点位置相差较大时,应检验桩身的强度。

运送时应将桩捆载牢固,使各支点同时受力。

3)桩的堆放

堆放桩的场地应靠近沉桩地点。场地应平整坚实,做好必要的防水措施,以防不均匀沉陷和湿陷。

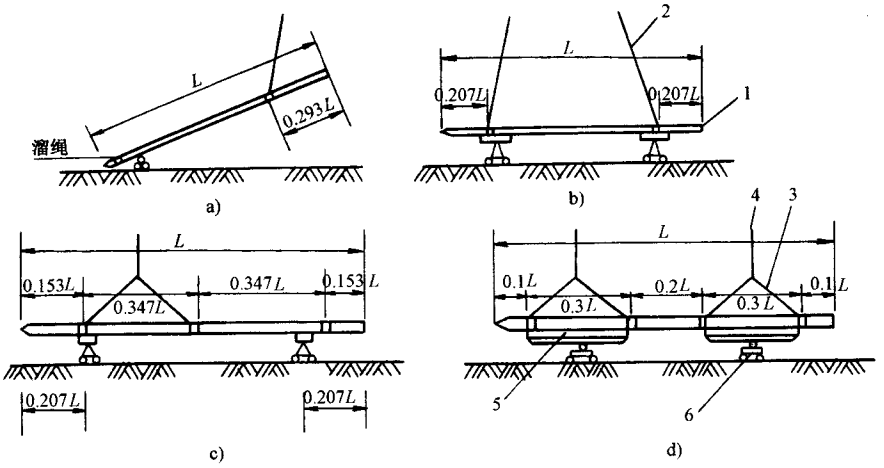


图 14-10　桩吊(支)点位置图

a)一吊(支)点;b)二吊(支)点;c)三吊(支)点;d)四吊(支)点

1-桩;2-吊索;3-下吊索;4-上吊索;5-铁架车;6-转盘

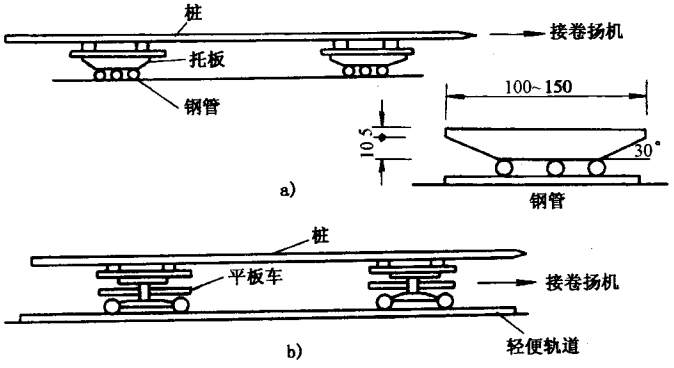


图 14-11　托板车和轨道平板车运桩示意(单位:cm)

a)托板车运桩示意;b)轨道平板车运桩示意

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

不同类型和不同尺寸的桩，应考虑使用前后顺序分别堆放。当桩需较长时间堆放时，可采用多点支垫。各支点垫木应均匀放置，各垫木顶面应在相同的水平面上，各层垫木应位于同一垂直面上。预制混凝土桩的堆放层数不宜超过4层；钢管桩的堆放层数：直径90cm及以上的不宜超过3层，直径60cm的可堆放4层，直径40cm的可堆放5层。桩的堆放如图14-13及图14-14所示。

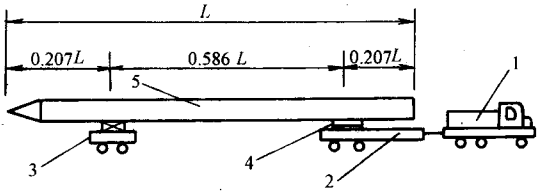


图14-12　托架拖车运桩示意图

1-卡车；2-拖车；3-托架拖车；4-活动转盘；5-桩

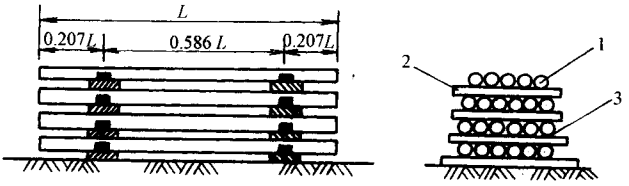


图14-13　混凝土管桩堆放图式

1-混凝土管桩；2-垫木；3-刹木

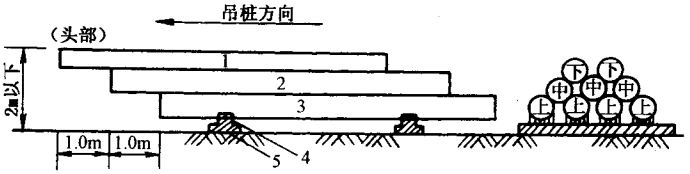


图14-14　钢管桩堆放图式

1-上桩；2-中桩；3-下桩；4-刹木；5-垫木

（二）沉桩机具

1.桩锤

1）坠锤

（1）坠锤为铸铁制成，一般为锥形。有龙门锤和穿心锤两类。锤顶有吊环，以备提升锤之用。龙门锤两侧有滑槽，卡在桩架的导杆上；穿心锤中间有一圆洞套入穿心杆，使锤只能上下滑动。龙门锤质量：轻型为500～2 000kg，重型为3 000～5 000kg，还有的达10 000kg；穿心锤质量为200kg。

操纵坠锤有二种基本方法：一种是把绳索绑在锤的吊环上，将锤拉至一定高度后放松绳索，坠锤带绳索一起落下冲击桩头；另一种是绳索一端穿有钩连装置，该装置的钩落下时能自动钩住坠锤，待坠锤拉至一定高度后，只要扯动操纵索使突起物转动，钩就会从吊钩脱出，使锤下落。

（2）坠锤使用要点。

①坠锤开始打桩时的落锤高度，不应超过0.5m；最高不得超过2m。

②锤击速度每分钟控制在不大于20次。

③注意绳索质量，防止断裂。

2）蒸汽锤

（1）蒸汽锤是以蒸汽作为动力源的冲击型打桩锤，其效率较柴油锤为低，打斜桩和水上打

桩比柴油锤优越。

蒸汽锤结构简单，工作可靠，适用于各种性质地基，操作维修也较容易。因此被列为主要沉桩设备之一。

蒸汽锤按动作方式划分，可分为自由落体单作用蒸汽锤和强制作用双作用蒸汽锤；按打击方式划分，可分为缸体打击蒸汽锤和活塞打击蒸汽锤。双作用蒸汽锤的设备笨重，移转困难，国内多采用单作用蒸汽锤。汽缸冲击式单作用蒸汽锤规格和技术性能见表 14-1；活塞冲击式单作用蒸汽锤规格和技术性能见表 14-2。

汽缸冲击式单作用蒸汽锤规格及技术性能 表 14-1

生产厂	型号	外形尺寸 (mm)			锤总质量 (kg)	冲击部分质量 (kg)	冲程 (mm)
		高	宽	厚			
国产	2.5t	2 610	725	662	2 800	2 500	600～1 300
	3t	4 180	865	730	3 100	2 400	600～1 350
	6t	4 950	1 046	830	8 674	6 000	600～1 370
	7t	5 683	1 125	887	6 600	5 400	500～1 650
	10t	5 636	1 180	1 020	8 993	6 594	500～1 400
	新 10t	5 170	1 345	1 160	11 130	9 130	500～1 300
	15t	5 425	1 320	1 240	15 630	13 500	500～1 350
英国BSP公司	2.5t	4 350	851	330	3 080		1 000～1 370
	3t	4 460	952	330	3 670		1 000～1 370
	4t	4 546	1 118	330	4 810		1 000～1 370
	5t	4 845	1 118	381	5 900		1 000～1 370
	6t	4 890	1 029	432	7 080		1 000～1 370
	8t	4 890	1 029	483	9 090		1 000～1 370
	10t	4 890	1 181	559	11 280		1 000～1 370
	12t	4 890	1 219	610	13 820		1 000～1 370
	15t	4 890	1 270	660	16 780		1 000～1 370
德国MENCK公司	MRB-500	4 235	845	475	7 100	5 000	1 250
	MRB-600	4 250	970	550	7 100	6 750	1 250
	MRB-600A	4 515	970	650	9 600	6 750	1 250
	MRB-1 000	4 750	1 130	700	15 000	10 000	1 250
	MRB-1 000A	4 093	1 120	700	15 250	10 000	1 250
	MRB-1 500	5 230	1 340	900	23 000	15 000	1 250
	MRB-1 500A	5 485	1 340	900	23 500	15 000	1 250
	MRB-2 000A	5 864	1 610	900	33 500	20 000	1 250

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

生产厂	型　号	冲击频率（次/min）	冲击能量（kJ）	额定蒸汽压力（MPa）	蒸汽消耗量（kg/h）	蒸汽管道直径（mm）
国产	2.5t	15～25	28.0	0.7		
	3t	60～90	32.4	0.7～0.8	300～650	50
	6t	约50	82.1	0.7～1.0	1 100	75
	7t	24～30	89.0	0.7～1.0	650～1 400	65
	10t	60～70	92.3	0.7～1.0		70
	新10t	7.5～40	118.6	0.7～1.3	3 300～4 500	75
	15t	35～40	182.5	0.7～1.3	3 300～4 500	75
英国BSP公司	2.5t	30～50	31.8	0.62	426～960	65
	3t	30～50	40.3	0.62	558～1 230	65
	4t	30～50	44.9	0.62	687～1 540	75
	5t	30～50	67.1	0.62	999～2 150	75
	6t	30～50	86.6	0.62	1 134～2 230	2×65
	8t	30～50	107.4	0.62	1 374～3 085	2×65
	10t	30～50	134.3	0.62	1 656～3 760	2×65
	12t	30～50	161.1	0.62	1 944～4 445	2×65
	15t	30～50	201.4	0.62	2 304～5 345	2×65
德国MENCK公司	MRB-500	50	61.3	1.1	800	
	MRB-600	45	82.7	1.1	1 350	
	MRB-600A	35～40	82.7	1.0	1 500	
	MRB-1 000	45	122.5	1.1	2 000	
	MRB-1 000A	35～45	122.5	1.0	2 300	
	MRB-1 500	35～40	183.8	1.0	4 200	
	MRB-1 500A	35～40	183.8	1.0	4 200	
	MRB-2 000A	35～40	245.0	1.2	4 800	

注：①锤的总质量不含配套配汽阀；

②蒸汽消耗量是指蒸汽锤连续工作时每小时所消耗蒸汽量，实际上蒸汽不会连续工作，故表中数据仅供配套锅炉选型时参考；

③BSP公司和MENCK公司锤（除MRB—2000A）也可用压缩空气；

④MENCK公司产品型号尾字带“A”者，均为该公司与日本石川岛建机株式会社合作产品。

活塞冲击式单作用蒸汽锤规格及技术性能

表 14-2

生产厂	型号	外形尺寸(mm)			锤总质量(kg)	冲击部分质量(kg)	冲程(mm)	冲击频率(次/min)	冲击能量(kJ)	额定蒸汽压力(MPa)		蒸汽消耗量(kg/h)
		高	宽	厚						正常	最大	
英国BSP公司	HD—7	4 725	711	508	1 754	520	1 480	150	7.60	0.62～0.76	1.03	7 110～8 130
	HD—10	4 826	610	508	3 000	750	1 300	160	9.80	0.62～0.76	1.03	1 0160～12200
	HD—15	5 436	610	559	4 580	750	940	120	16.20	0.62～0.76	1.03	15 240～18 300
美国VULCAN公司	2型	3 510	480		3 039	1 360	740	70	9.702	0.55		766
	1型	3 860	510		4 400	2 300	910	60	19.992	0.50		1 267
	06型	3 860	510		5 080	3 000	910	60	26.26	0.69		1 465
	重106型	3 850	510		5 080	3 000	910	60	26.26	0.69		1 465
	轻106型	3 850	510		4 400	2 300	910	60	19.99	0.55		1 267
	08型	4 500	660		7 598	3 600	910	50	35.02	0.57		1 988
	010型	4 500	660		8 505	4 500	910	50	43.78	0.73		2 468
	014型	4 220	810		12 471	6 350	910	60	56.58	0.76		3 139
	016型	4 220	810		13 721	7 400	910	60	65.66	0.82		3 135
	020型	4 720	940		18 902	9 000	910	60	80.81	0.82		3 402
	030型	4 950	940		24 231	13 500	910	55	121.27	1.03		3 878
	300型	5630	1270		39768	18000	910	60	161.63	0.82		8367
国产	6.5t	4 833	975	827	6 500	3 357	200～1200	50		9.50	0.70～1.0	

注:本锤可采用蒸汽或压缩空汽为动力。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(2)蒸汽锤使用要点

①蒸汽锤起动前,必须对配汽阀及锤等先行润滑。

②打桩前可先行试打几锤,并调好冲程,开始时冲程不得大于800mm,然后视桩的贯入度大小进行调整。

③打桩时应经常检查吊锤用制动环、钢丝绳,两个制动环上下时应保持同步。

④配汽阀与锤体连接的弹簧组中弹簧损坏超过3根以上时,应停锤更换。

⑤打桩过程中,配汽阀与蒸汽胶管连接法兰盘、汽缸盖与活塞导杆、汽缸盖与汽缸之间不得漏汽。

⑥每桩打完后,必须将蒸汽管路内的余汽放完。

⑦当最终贯入度小于2mm/击时,应停止锤击,或更换大功能桩锤。

3)柴油锤

(1)柴油锤是由锤体、汽缸、供油泵、起落架和附件组成,实际上是起内燃机作用。利用柴油在汽缸内被压缩、发热并点燃而爆炸,将汽缸沿导向杆升起,让吊锤升至一定高度后脱钩坠落达到冲击桩的目的。

柴油锤按构造型式划分,可分为杆式和筒式。杆式冲击能量小,耐磨性能差,但构造简单,适用于下沉小型桩。按锤的功能划分,可分为直打型和斜打型。直打型也可打倾斜15°~20°的桩。按锤冷却方式划分,可分为水冷式和风冷式。国产杆式柴油锤规格及技术性能见表14-3;国产筒式柴油锤规格及技术性能见表14-4;日本筒式柴油锤规格及技术性能见表14-5。

国产杆式柴油锤技术规格 表14-3

项目		单位	型号		
			600型	1 200型	1 800型
锤总质量		kg	1 250	2 310	3 100
冲击部分质量		kg	600	1 200	1 800
冲击动能		kJ	9.30	21.48	37.80
冲程		mm	375	480	540
锤击频率		次/min	50~60	50~60	50~60
锤最大提升高度		m	1.55	1.79	2.10
带桩架外廓尺寸	高	mm	11 375	12 300	17 360
	宽	mm	3 910	4 150	5 560
	长	mm	3 575	5 390	7 330
总质量(包括桩架)		t	5.5	8.5	12.0
能打桩的最大直径		mm	200~250	250~300	300~400

国产筒式柴油锤技术规格

表 14-4

项目		单位	型号								
			D—12	BDH—15	D—18	BDH—20	D—25	BDH—35A	D—40	BDH—$\frac{35}{45}$	BDH—45
上活塞质量		kg	1 200	1 500	1 800	2 000	2 500	3 500	4 000	4 500	4 500
上活塞行程		mm	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500
冲击频率		次/min	42～60	40～60	40～60	40～60	40～60	40～60	40～60	42～54	40～60
冲击能量		kJ	30.0	37.50	46.0	50.5	62.50	87.50	100.0	112.50	112.50
下活塞行程		mm	270	250	270	250	370	350	280	250	250
燃油消耗量		L/h	6.5	6.8～7.9	13	9～10.8	18.5	12～16	24	16～60	19.4～22.7
极限贯入度		mm	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	1
外形尺寸	高	mm	3 830	4 540	3 950	4 500	4 870	4 744	4 780		4 945
	宽	mm	500	915	620	915	825	1040	885		1 110
	长	mm	660	740	785	740	900	885	1 065		930
总锤质量		kg	2 750	4 550	4 210	5 050	6 490	7 820	9 250	10 000	10 000
制造厂名			上海工程机械制造厂	大桥局桥机厂	浦源机械厂	大桥局桥机厂	上海工程机械制造厂	大桥局桥机厂	上海工程机械制造厂	大桥局桥机厂	大桥局桥机厂

注：BDH—$\frac{35}{45}$型筒式柴油锤既可用 3.5t 的锤芯，亦可用 4.5t 的锤芯；表中所列数值系锤芯为 4.5t 的参数，使用 3.5t 锤芯时的技术参数与 BDH—35A 型锤相同。

日本筒式柴油锤技术规格

表 14-5

锤型 / 项目	单位	MH22B	MB70	K45	MB40	K35	K25	M23	IDH45	IDH35	KB60
外形尺寸	mm	φ1 520×5 905	φ1 960×5 950	φ1 009×4 825	φ970×5 640	φ889×4 550	φ789×4 550	φ745×4 060	φ985×4 698	φ845×4 613	φ1 400×5 770
总质量	t	18.36	21.10	10.50	10.90	7.5	5.20	5.10	11.0	7.80	15.0
锤芯质量	t	7.20	7.20	4.50	4.10	3.50	2.50	2.30	4.50	3.50	6.0
冲击频率	次/min	42～60	38～60	35～55	38～60	35～55	35～55	42～60	42～60	42～60	35～55
最大冲击能量	kJ	216.0	195.0	135.0	110.0	105.0	75.0	62.0	135.0	105.0	160.0
爆炸压力	kN		2 000	1 910	1 270	1 500	1 080	720	1 910	1 050	2 460
燃油消耗量	L/h	25～37	25～37	17～21	15～22	12～16	9～12	9～14	18～25	14～20	24～30
润滑油消耗量	L/h	5～6	5～6	2.5	3～4	2.0	1.5	1.8	2.0	1.8	4
燃油槽容量	L	158	175	65	90	48	40	58	62	50	130
润滑油槽容量	L	44	25	13.5	18	9.5	7	7.50	10	7.6	25
冷却水箱容量	L	435	450	170	170	140	80	90	175	150	350

注：①以上锤型均已在我国先后使用；

②英文字母意义：K—神户制钢所；M—三菱重工业株式会社；I—石川岛播磨重工业；B—倾斜；H—锤。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(2)柴油锤使用要点

①锤、桩帽、桩要在同一轴线上。

②初打时,应关闭供油泵的油门,使锤冷打。当桩的贯入度小于 10cm/击时,方能逐渐开启油门。

③应有专人负责拉好控制绳,如出现意外情况时,可紧急停锤。

④注意上活塞的润滑油是否从油孔中泄出。下活塞润滑油应每隔 15min 注入一次。如每桩打入时间超过 15min,则必须等桩打完后立即注润滑油,最长不应超过 30min。

⑤上活塞起吊高度严禁超过 2.5m。

⑥最后贯入度若小于 2mm/击时,应立即停锤。

⑦经长期使用后的柴油锤,其导向板会不断磨损,当超过一定值时,可能会导致柴油锤倒下,应经常检查,按说明书要求进行修补或更换。

4)振动锤

(1)振动锤是由电动机、振动器、吸振器、冲击块、冲击座、夹桩器、操纵仪等基本结构组成。各种振动锤的结构基本相似,但形式上有所差别。

振动锤按其驱动力的大小,可分为轻型、重型、超重型;按振动频率大小可分为单频率、双频率,也可分为低频(300 ~ 700r/min)、中频(700 ~ 1 500r/min)、高频(2 300 ~ 2 500r/min)、超高频(约 6 000r/min)。

低频振动锤是使用强迫振动频率与土体共振,共振时振幅值很大,能破坏桩与土体之间的粘结力和弹性力,使桩借自重力下沉。一般振幅在 7 ~ 25mm 之间。低频振动有利于克服桩尖处土的阻力,可用于下沉大口径钢管桩、混凝土管桩。中频振动锤是通过高频来提高激振力,增加振动加速度,但振幅较小,通常为 3 ~ 8mm 左右。在粘土中常会显得能量不足,仅适用于松散的冲积层、松散和中密的砂层,可用于钻孔桩或钢板桩。高频振动锤是使用强迫振动频率与桩体共振,利用桩产生的弹性波对土体产生高速冲击,由于冲击能量较大,将会显著减小土体对桩体的贯入阻力,因而沉桩速度较快,在硬土层中下沉大截面桩会产生较好的效果。超高频振动锤是一高速微振动锤,它的振幅极小,是一般振动锤的 1/3 ~ 1/4,但振动频率极高,而对周围土体的振动影响范围极小,并通过增加锤质量和振动速度来增加冲击动能,常用于对噪声和振害限制较严的桩基施工中。

振动锤规格及技术性能见表 14-6。

(2)振动锤使用要点。

①操作前必须检查各种螺栓、螺母及销的连接有无松动,电器设备是否完好;起动后检查电动器转向是否正确。

②起吊用钢丝绳应无严重磨损。

③悬挂振动锤的起重机吊钩要有保险装置。

④电操纵盘和电动机外壳必须接地。

⑤起动前电压应比额定电压高 10% ~ 15%。

⑥必须控制沉桩速度,以防电流过大引起振动机损坏。

⑦沉桩至规定标高时,应先停主机,待其完全停止后,才能拆除。

⑧检修和调整振动锤时要切断电流。

5)液压锤

(1)液压锤的一般构造是由桩锤、液压系统、操作控制屏等构成。桩锤可分为锤塞驱动装

振动锤技术规格

表 14-6

序号	项目		单位	17.5型(BII—1)	108型	中30型	42型(BII—1Y2)	42.5型(BII—3)	90型(BII—4)		147型(BII—5)	160型(BII—YA)			420型(BII—YB)				中250型		
									单频率	双频率	双频率	I	II	III	I	II	III	IV	I	II	III
1	静力矩		kN·m	100.00	30.00	97.52	100.00	236.00	354.00	266.30	329.46	352.00	352.00	352.00	518.00/283.00	518.00/283.00	518.00/283.00	518.00/283.00	550.00	550.00	550.00
2	负荷轴转数		r/min	420	800	423~597	650	403	430	480/960	508/1.106	404/808	449/898	505/1 010	860	737	680	582	700	637	570
3	振动力		kN	175	212	195~390	420	425	900	900	1470	1 000	1 250	1 600	4 200/2 400	3 100/1 780	2 650/1 500	1 950/1 100	3 000	2 500	2 000
4	负荷轴根数		根	4	2	4	4	4	6	6	8	8	8	8	2	2	2	2	4	4	4
5	偏心锤个数		个	26	4	26	26	10	15	15	20	20	20	20	6	6	6	6	18	18	18
6	偏心矩		cm	10.8	12.7	10.5	10.8	16.2	16.2	16.2/11	16.7/11.2	12.84/6.15	12.84/6.15	12.84/6.15	24.8/13.7	24.8/13.7	24.8/13.7	24.8/13.7	18.15	18.15	18.15
7	偏心锤总质量		kg	940	236		940	1 824	2 815	2 308	2 740	3 340	3 340	3 340	2 478	2 478	2 478	2 478	2 585.6	2 585.6	2 585.6
8	电动机功率		kW	60	28	80	88	115	155	155	155	155	155	155	2×225	2×225	2×225	2×225	280	280	280
9	电动机转数		r/min	576	695	725	1 450	735	735	735	1 420	735	735	735	1 475	1 475	1 475	1 475	985	985	985
10	振动锤外廓尺寸	长	mm	1 128	960	1 905	1 128	1 560	1 800	1 800	1 900	1 630	1 630	1 630	2 050	2 050	2 050	2 050	2 095	2 095	2 095
		宽	mm	875	1 200	1 096	875	1 540	1 650	1 650	1 550	1 200	1 200	1 200	2 450	2 450	2 450	2 450	1 520	1 520	1 520
		高	mm	1 975	1 470	1 774	1 975	2 600	3 837	3 837	3 837	3 100	3 100	3 100	1 970	1 9770	1 970	1 970	2 840	2 840	2 840
11	振动锤质量(包括电动机)		t	4.5	1.75	4.3	4.5	7.5	12.9	12.5	13.0	13.34	13.34	13.34					13.0	13.0	13.0

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

置和冲击驱动装置两大部分。冲击头与液压缸的活塞杠相连。压力油由液压装置供给油缸，经液压阀切换油路，驱动冲击头升降，冲击桩下沉。由于采取了相应措施，液压回路的摩阻损失很小，冲击头的落下近似自由落体，且落下高度可以实施无级调节。冲击头驱动装置由冲击头、液压缸、液压泵等构成。

冲击力传递装置由缓冲垫、锤砧、桩垫和桩帽构成。由于具有缓冲垫，冲击头同锤砧不直接接触，故可防止噪声。此外，液压锤不像柴油锤那样有排气声，因此它的噪声比柴油锤低，且不会污染空气。

液压锤规格及技术性能见表 14-7。

液压锤技术规格 表 14-7

项　目	单位	(英国)BSP 公司			日本车辆制造株式会社			
		HH3	HH5	HH7	NH20	NH40	NH70	NH100
1.锤体系统								
冲击块质量	kg	3 000	5 000	7 000	2 000	4 000	7 000	10 000
锤体总质量	kg	5 200	7 600	9 700	5 200	9 800	14 300	22 500
最大冲程	mm	1 200	1 200	1 200	1 600	1 520	1 280	1 440
最大冲击能量	kJ	36	60	84	32	60.8	89.6	144
冲击频率	次/min	46	40	38	30	28	25	20
噪声值(30m 处)	dB(A)		70～78					
2.液压系统								
额定工作压力	MPa	16	21	24	18.5	18.5	18.5	21.0
额定流量	L/min	152	180	162	130	218	218	242
动力功率	kW	111.8	111.8	111.8	81	106	106	114
3.外形尺寸								
高	mm	4 950	5 520	6 090	4 280	5 500	5 610	5 950
宽	mm	740	740	740	830	1 050	1 250	1 350
长	mm	820	820	820	830	1 050	1 250	1 350
导向板中心至锤中心距离	mm	491	491	491	570	655	750	800
导向板间距×直径	mm	330×70	330×70	330×70	330×70	330×70	330×70	600×101.6

(2)液压锤使用要点。

①沉桩前桩帽内须安放缓冲材料，在沉桩中若发现损坏，应立即更换。

②运输后重新使用桩锤时，每次启动前，应对溢流阀卸载压力进行调试，以确保锤的正常运行。

③将锤控制箱各种油管及导线与动力装置连接好。

④如进行连续作业，须将“提升”和“停止”控制装置调整到所要求的位置，并把“输出”开关拨到“自动控制”位置。用手动控制方法进行启动，按下手动控制按钮，使冲击块至少提起300mm，然后放松按钮，锤即进行连续自动冲击。

6)各种锤型适用范围及优缺点(见表 14-8)

各种锤型适用范围及优缺点参考表　　表 14-8

锤　型	适　用　范　围	优　缺　点
坠锤	1.适用于沉木桩和小型钢筋混凝土桩； 2.在一般粘性土、砂土、含有少量砾石土的桩均可使用	优点：设备简单、使用方便，能随意调整落距； 缺点：锤击速度慢，每分钟约 6～20 次，效率低
蒸汽锤	1.适用于沉各种桩； 2.适宜于沉管灌注桩	优点：适用于各种土层，桩头不易打坏，能打斜桩，也可用于拔桩，双动汽锤可在水中沉桩，操作维修方便； 缺点：沉桩设备多，落距不易调节，效率一般
柴油锤	1.杆式柴油锤宜沉小型桩及钢板桩； 2.筒式柴油锤，适用于沉钢管桩及各种混凝土桩，也可沉斜桩，是使用最广的一种锤	优点：质量轻、结构简单、冲击力大，施工性能好，单位时间冲击次数多，桩顶不易打坏，燃料消耗少； 缺点：振动大、噪音高，在软土中沉桩效率低
振动锤	1.适用于沉各种桩和沉管灌注桩； 2.适用于打砂粘土、松软土、黄土和软土中的桩； 3.在卵石夹砂及紧密粘土中下沉桩的效果较差	优点：沉桩速度快、费用低、噪音低、维修保养方便，可兼作沉桩、拔桩作业； 缺点：不适宜打斜桩，在硬质土层中沉桩，有时不易贯入。需要大量电力
液压锤	1.适用于打混凝土桩、钢管桩等； 2.适用于打粘性土、含少量砾石砂土的桩，适用范围基本与筒式柴油锤相同	优点：无烟汽污染，噪音低，软土地区施工起动性能好，打击峰值小，桩顶不易破坏，沉斜桩角度大，可用于水下沉桩； 缺点：结构复杂，保养、维修工作量大，价格高，冲击频率小，效率比筒式柴油锤低

2.桩架

桩架因施工对象和使用锤型不同，基本上可分为自行移动式桩架和非自行移动式桩架两类。

1)自行移动式桩架

(1)三点支撑型桩架

三点支撑型桩架的主体结构由主机和机架两大部分组成。主机的回转平台尾部，增设一箱形结构调整支架，作为安装导杆的后支撑用。

机架由顶梁、导杆、后支撑和导杆底座组成。顶梁是沉桩起重部分的定滑轮支架。导杆是机架的主体部分，也称为主柱或桅杆。单导杆只适用于筒式柴油锤和液压锤，双导杆同时适用柴油锤、液压锤及钻孔钻锥。后支撑是导杆的定位杆件，用于控制导杆的自由长度和调节导杆的斜度。导杆底座是导杆与回转平台的连接座，其前部通过主轴与导杆连接，后部用 4 根销轴固定在主机的回转平台上。在沉桩过程中，底座承受整个导杆、桩锤和桩的质量。其构造如图 14-15 所示。

三点支撑型桩架的优点：①垂直精度调节灵活；②稳定性好；③可以施打后仰 20°范围内的

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

斜桩;④同类型的主机可以配备几种类型的导杆,并可使用各种类型柴油锤;⑤不需增加任何外部动力源就能沉桩;⑥桩架装拆方便,转移迅速。

三点支撑型桩架,一般采用全液压传动力,是近来较先进的一种桩架。

(2)导向架型桩架

导向架为矩形截面,旋臂与导向架采用螺栓连接,旋臂与履带式起重机连接,采用套筒式支撑,导向架底端装有调整设备,可以用人工或液压来调整其前后、高低,使其向前或向后成一定倾斜,以适应斜桩的斜度。导向架分为几种不同长度的标准段,可以相互使用,拼成各种需要长度。其构造如图 14-16 所示。

(3)悬索型桩架

悬索型桩架是利用履带式起重机的悬臂杆以钢丝绳悬挂短的导杆和桩锤。桩头配以桩套,与桩锤连接。施工时,适当控制钢丝绳吊索的松紧,使导杆随着桩沉入土层而下降。此种桩架适合于深基坑中或脚手平台上沉桩之用。

悬索型桩架是用起重机的悬臂杆悬挂双作用汽锤,并利用锤脚的固定装置,固定在桩头上,进行下沉木桩或钢板桩。

桩架的构造如图 14-17 所示。

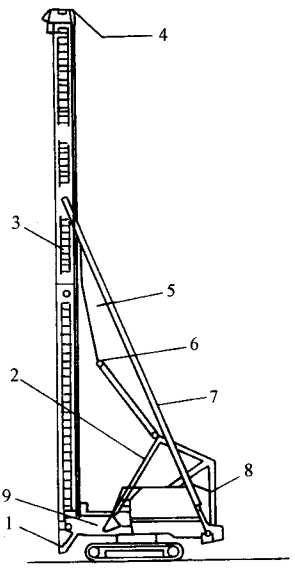


图 14-15 三点支撑型桩架
1-导杆底座;2-辅助机架;3-导杆;4-顶梁;5-吊绳;6-中间滑轮;7-后支撑;8-调整支架;9-回转平台连接座

2)非自行移动式桩架

(1)简易木桩架

简易木桩架为三角架、人字架等,如图 14-18 及图 14-19 所示。这类木桩架适用于穿心锤,用来下沉木桩和小型钢管桩等。

(2)木龙门桩架

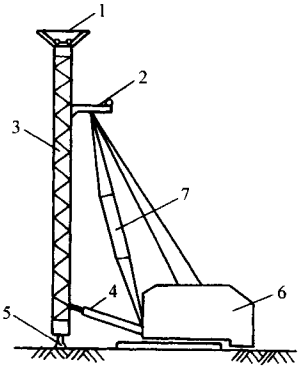


图 14-16 导向架型桩架
1-帽头;2-旋臂;3-导向架;4-套筒式支撑;5-可调整导向架脚;6-履带式起重机;7-悬臂杆

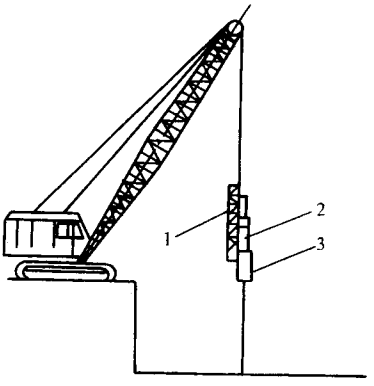


图 14-17 悬索型桩架
1-短导杆;2-桩架;3-桩套

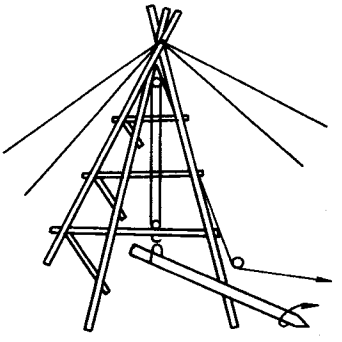


图 14-18 三角架

木龙门桩架主要由底盘、撑架、龙门(又称导杆)和起吊装置(包括滑轮、铰车及动力设备)等几部分组成,适用于坠锤、轻型蒸汽锤。其高度约 6 ~ 20m。木龙门桩架构造及桩架风缆设置,如图 14-20 所示。

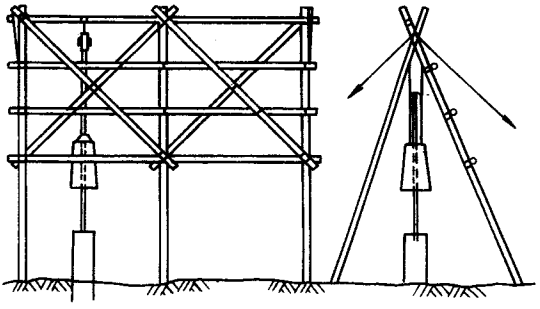


图 14-19　人字架

在施工期间，桩架顶端应设 2～4 根风缆，锚固在风缆锚桩上，以防桩架向前倾斜。风缆应左右对称，松紧均匀。桩架导杆宜用角钢包边，增强刚度。

桩架底部设置托板，在移动路线地面上，铺设垫木，托架与垫木间放 2～3 根无缝钢管，利用卷扬机牵引就位。

3.桩帽与送桩

1)桩帽

(1)锤击混凝土方桩桩帽

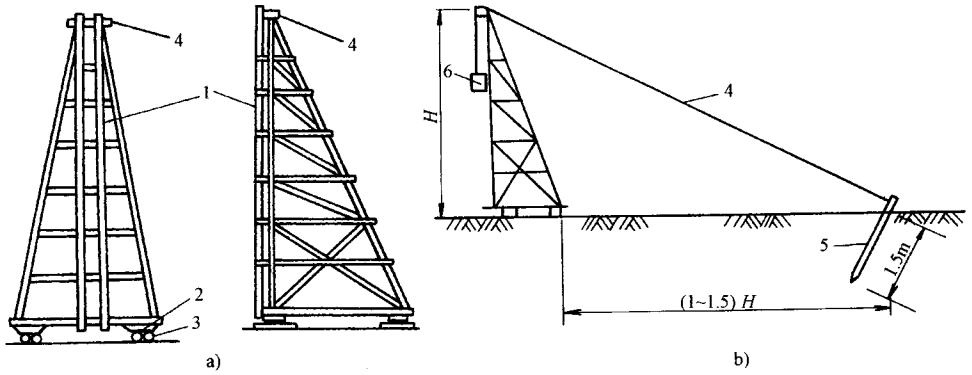


图 14-20　木龙门桩架构造及桩架风缆装置

a)木龙门架构造；b)桩架风缆装置

1-龙门(导杆)；2-托板；3-钢轨；4-风缆；5-风缆锚桩；6-桩锤

桩帽设有凹槽，在锤与桩帽之间的凹槽内安放锤垫，在桩帽与桩头之间的凹槽内安放桩垫。桩帽的构造如图 14-21 所示。

(2)振动锤钢筋混凝土方桩桩帽

振动锤钢筋混凝土方桩桩帽的构造，如图 14-22 所示。

(3)锤击预应力混凝土管桩桩帽

此桩帽可适用单作用蒸汽锤下沉预应力混凝土管桩，其构造如图 14-23 所示。

(4)振动锤混凝土管桩桩帽

振动锤混凝土管桩桩帽构造如图 14-24 所示。

(5)柴油锤钢管桩桩帽

柴油锤钢管桩桩帽构造，如图 14-25 所示。其中 14-25a)为吊钟式桩帽，适用于大直径钢管桩；图 14-25b)为锅盖式桩帽，适用于小直径钢管桩。

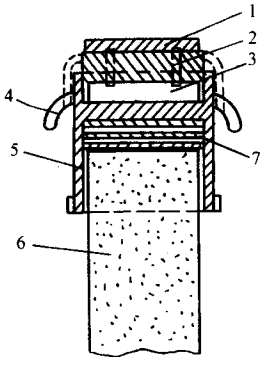


图 14-21　锤击混凝土方桩桩帽

1-钢板锤垫；2-塑料锤垫；3-硬木锤垫；4-耳环；5-桩帽；6-预制混凝土桩；7-桩垫

2)送桩

桩头低于桩架导杆而仍需继续下沉时，一般多使用送桩。送桩大多用钢制成，其长度应为桩锤可能达到的最低标高与桩顶沉入标高之差，再加上适当的富余量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

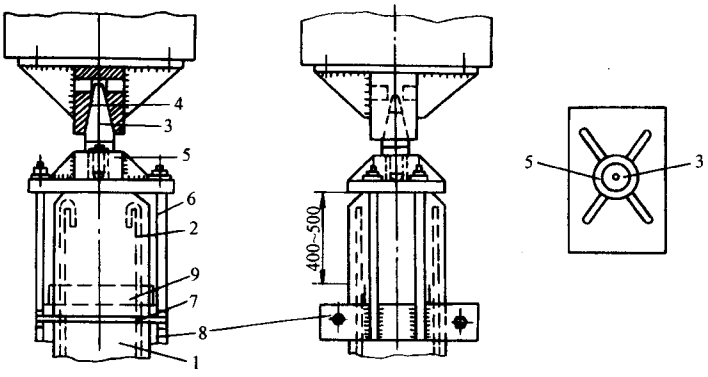


图 14-22　振动锤钢筋混凝土方桩桩帽(单位:mm)

1-钢筋混凝土方桩;2-桩的主筋;3-锥体;4-锥套;5-支座;6-拉杆;7-拉紧夹板用螺栓;8-夹板;9-预埋在桩内的钢桩,焊牢在主筋上

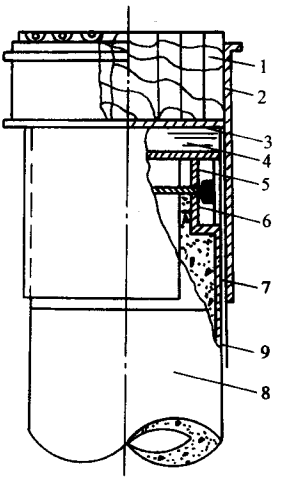


图 14-23　锤击预应力混凝土管桩桩帽

1-木块(竖放);2-钢围箍;3-平钢板;4-软垫层(10cm);5-工具法兰盘;6-桩头法兰盘;7-桩头套箍;8-预应力混凝土管桩;9-间隙(0.5~1.0cm)

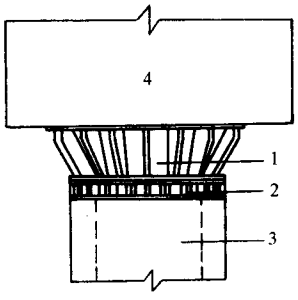


图 14-24　振动锤混凝土管桩桩帽

1-桩帽;2-法兰盘;3-混凝土管桩;4-振动锤

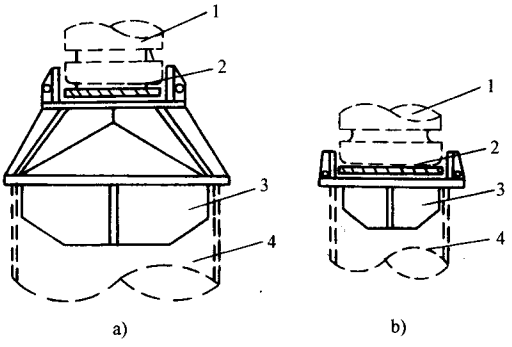


图 14-25　柴油锤钢管桩桩帽

a)吊钟式桩帽;b)锅盖式桩帽

1-桩锤;2-锤垫;3-导向板;4-钢管桩

(1)套筒式钢送桩

套筒式钢送桩的构造,如图 14-26 所示。适用于 ϕ55cm 混凝土管桩。用作混凝土方桩时需适当改制。

(2)钢管桩用钢送桩

钢管桩用钢送桩有两种结构形式,如图 14-27 所示。适用于下沉大于 ϕ90cm 钢管桩。为了能在送桩上插入射水管,需在送桩体上留有宽 30cm,高 100~200cm 的槽口。

焊制的钢送桩,应进行热处理增强其强度,且须高于桩身的强度。

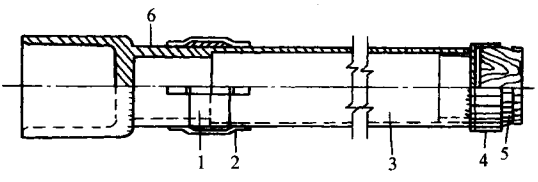


图 14-26　套筒式钢送桩

1-接头钢箍;2-加固钢板;3-厚壁钢管;4-桩帽;5-垫木;6-铸钢套筒

安装钢送桩时，应使送桩与桩的中轴线相吻合，在下沉斜桩时，更应注意。

钢送桩使用一定时期后，须检查其垂直度，若偏心斜度大于1:350时应立即修理。作为送桩使用的桩，不能再作正式基桩。

(三)沉桩施工

1.水上沉桩桩架设置、沉桩顺序及吊插桩

1)水上沉桩桩架设置

在水中修建便桥、支架基桩时，除使用专业打桩船外，常需在水上设置沉桩桩架，其设置方法大致有以下几种。

(1)桩架设置在浮箱上

这种方法适用于水浅流缓，用轻锤沉小型桩者。其方法是用两只高2m、宽3m、长6m的钢浮箱拼成浮式平台。平台四角安装4台手动卷扬机，牵动锚固于河岸或河滩上的4根缆绳，用来固定和移动浮箱平台。平台上设一台轻型打桩机，其本身可在轨道上前后移动。桩架为钢管制成的三角架，焊固在平台上。打桩机两侧安放沉入桩，平台尾部加压平衡重(或在浮箱尾部隔舱内灌水压重)平衡前部重力。吊立桩时，通过平台四角的卷扬机松紧4根缆绳来调整。打桩机上的扣环和三角架作为桩的两个支点。打桩机的小范围移动和转动，能使这两个支点相对位置发生变化，从而对桩的垂直度及位置作微量调整，达到设计的要求。

(2)桩架设置在木筏上

该方法是将桩架设置在木筏中部上，木筏桩架导杆前的一块木板应能拆除，以便沉桩。桩是一排排进行下沉。其构造如图14-28所示。

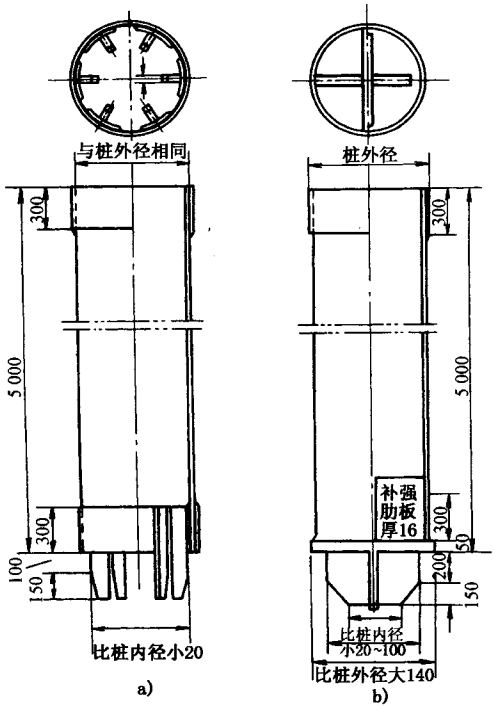


图14-27 钢管桩用钢送桩(单位:mm)
a)钢送桩(一)型;b)钢送桩(二)型

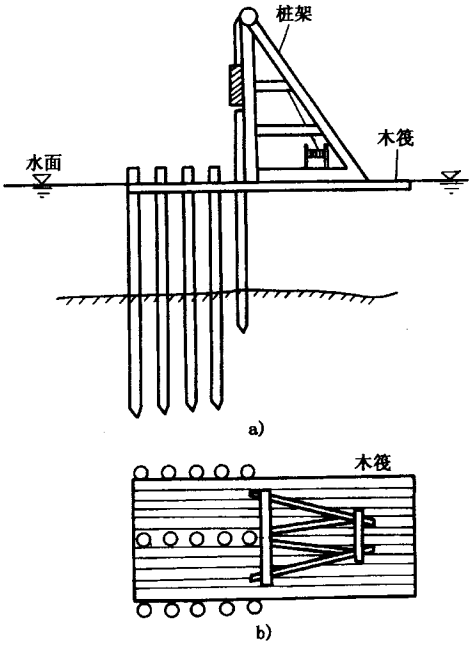


图14-28 桩架设置在木筏上
a)立面图;b)平面图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(3)桩架设置在驳船上

这是在较大河流中沉桩采用的方法。

①单驳单锤:是把桩架设置在驳船船头或船尾部分,相应的在驳船船尾或船头部分加压平衡重,使船体受力平衡。

②双驳单锤:是将两只驳船拼装成整体,将重型桩架和桩锤安装在拼驳船的船头部分,并在船尾部分加压平衡重,如图 14-29 所示。

(4)桩架设置在脚手架上

在水深较浅的河流中,便桥的打桩工作可以通过桩架设置在脚手架上进行。脚手架的大小应使桩架能安置于被打的任一桩近旁。脚手架可架在木马上或架在用手锤或小型机械锤打好的桩上。桩架设置在脚手架上的布置如图 14-30 所示。

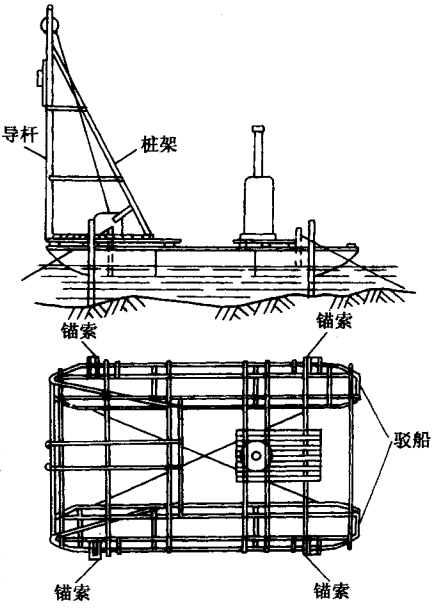


图 14-29　桩架设置在双驳船上

2)沉桩顺序

在一个基础中沉入较多桩时,会把基底以下的土挤密和隆起(对于相对密度初始很低的非粘性土一般要下沉)。如果采用从基础四周向内沉桩的办法,则桩愈往中间沉,基底以下的土就要愈挤愈密,同时土的隆起愈挤愈高,而中间部分的桩愈不易沉入。使桩未达到设计标高时,而桩的贯入度已达到要求。

上述隆起现象,在桩沉入后一个时期内,仍还继续上隆。在土的隆起过程中桩也相对地变动其位置。根据资料介绍,此种现象在砂质土中约为 3d 以内;在粘土质砂中约为 8 ~ 10d;在粘土中约为 15d 左右。如忽略桩基中土的

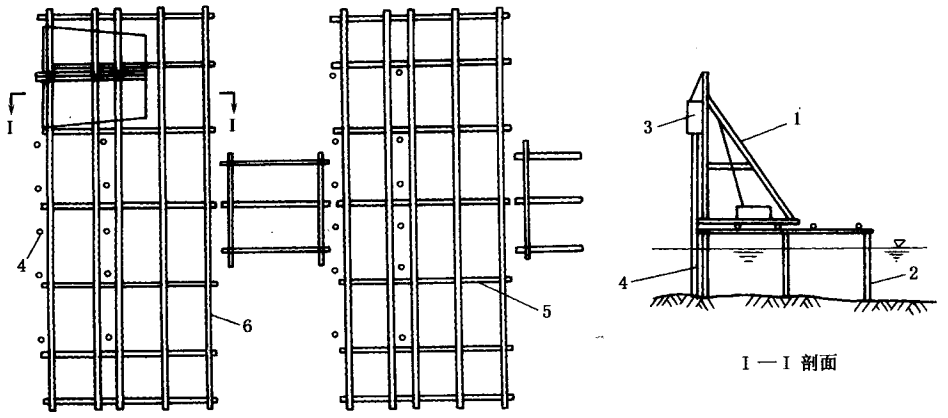


图 14-30　桩架设置在脚手架上

1-桩架;2-脚手架;3-桩锤;4-桩;5-帽木;6-纵梁

注:桩架上滚轴表示出。

这种现象,将会造成对结构的意外损坏。

沉桩时,必须注意沉桩顺序,一般可按下列规定执行。

(1)桩数较少,桩距较大时,可从中间开始分向两边或周边对称进行沉桩。

(2)桩数较多,桩距较小时,将基础分为数段,而后在各段范围内分别进行沉桩。

(3)桩距超过桩径4倍时,主要考虑桩架移动次数少,沉桩方便,一般不考虑沉桩顺序。

(4)在靠近斜坡沉桩时,会使土体产生侧移,影响斜坡的稳定性。一般最靠近斜坡的桩先下沉,距斜坡最远的桩最后沉,使先下沉的桩在土中起加筋作用,以减小土向斜坡方向侧移。对于灵敏度很高的土,由于沉桩引起土的重塑,而使土的抗剪强度减小,则不宜由靠近斜坡的桩先下沉。灵敏度是指未扰动粘土的无侧限抗压强度与重塑粘土无侧限抗压强度之比。

3)吊插桩

吊点应符合设计要求不得任意改变。桩架对位前应对桩架本身水平及龙门梃的正直情况进行详细检查校正。在松软土中插桩时,桩位易向前走动,应向后移动一些插入。在斜坡上插桩,如斜桩与斜坡方向相同时,应向坡上方移动一些。在群桩基础土中插桩,因先沉的桩已将土挤实,继续插桩时应略移向先沉入桩插入。在深水急流中,插桩宜向逆水方向移动一些。

2.锤击沉桩

1)桩锤选择

锤击沉桩使用的坠锤、蒸汽锤、柴油锤,可按下列规定选择、比较确定。

(1)按锤的冲击能选择

根据单桩设计荷载,估算锤需要的冲击能,可按式(14-1)计算:

$$E \geqslant 25\rho \tag{14-1}$$

式中:E——锤的一次冲击动能,kJ;

ρ——单桩设计荷载,kN。

估算锤需要的冲击能后,再按式(14-2)验算其适用系数是否符合要求:

$$K = \frac{Q + q}{E} \tag{14-2}$$

式中:K——锤的适用系数;

Q——锤的总重力,kN;

q——桩的重力(包括桩帽及送桩),kN;

E——锤的一次冲击动能,kJ。

算出的 K 值不宜大于下列数值:

坠锤	2.5
单作用蒸汽锤	3.5
双作用蒸汽锤和柴油锤	5.0

凡使用锤击法沉桩,原则上是重锤低击。为了充分发挥锤的效率,在选用单作用蒸汽锤或坠锤时,其质量最好为桩质量的1.5~2.0倍。如超过两倍时,可调整落锤高度。

(2)单作用蒸汽锤和筒式柴油锤选择

单作用蒸汽锤或筒式柴油锤可参考表14-9选择。

2)施工要点

(1)沉锤开始时将锤提升到桩架顶部,待插好桩后将桩帽、桩锤轻落在桩顶上,再检查桩帽、桩锤与桩的中轴线是否一致,如有偏差应纠正。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

单作用蒸汽锤或柴油锤选锤参考表 表 14-9

项目 \ 常用锤型			65kN 单作用蒸汽锤	100kN 单作用蒸汽锤	MB—40 柴油锤	MB—70 柴油锤
锤型资料	锤芯重力(kN) / 锤总重力(kN)		35~45 / 65	66 / 90	41 / 109	72 / 211
	常用冲程(m)		0.4~0.6	0.4~0.6	1.8~2.3	1.8~2.3
与锤型相适应的桩断面尺寸(宽度)(cm)			40~50	45~55	50~60	55~60
可贯穿中密状砂夹层的厚度(m)			1.5~2.5	2.0~4.0	3.5~5.5	5.0~7.0
锤击沉桩时桩可打入硬土层的能力	硬粘土	可打入深度(m)	2.5~4.0	4.0~6.0	5.0~8.0	7.0~10.0
	硬塑状重粘土和中密至密实状的砂	桩尖能达到的硬土层 N 值	20~30 击	30~40 击	40~45 击	50 击左右
		可打入的深度(m)	0.5~1.0	1.0~2.0	1.5~2.5	2.5~3.5
	砾砂或极密砂	可打入的深度(m)	难打入	难打入	0~0.5	0.5~1.0
	风化岩	桩尖所能达到的风化岩 N 值	25~30 击	30~40 击	40~50 击	—
		可打入的深度(m)	0~0.5	0~1.0	1.0~2.0	—
所用锤击可能达到的极限承载力(kN)			1 500~3 000	2 500~4 000	3 000~5 000	4 000~6 000
锤的控制贯入度(cm/击)			0.1~0.5	0.2~1.0	0.3~1.0	0.5~1.5

注:①本表仅供选锤参考,不得用作控制贯入度和确定承载力的依据;

②标准贯入击数 N 值为未经修正的数值;

③D—25 柴油锤可参照 65kN 单作用蒸汽锤使用。

(2)一般开锤时,坠锤落锤高度不宜超过 0.5m。单作用蒸汽锤冲程不宜大于 0.8m,双作用蒸汽锤应降低汽压,减少每分钟的锤击数。柴油锤应控制供油量,减小锤击动能;以后视桩的入土情况,逐渐加大冲击动能。开始正常沉桩时,应一次沉至设计标高,不得中途停顿,以免土恢复后将难以下沉。

(3)沉桩完成时停锤标准:原则上要求桩的入土深度和贯入度均应符合设计规定(即"双控"标准),若达到"双控"标准确有困难时,可采用下列方法进行处理。

①设计桩尖标高处为一般粘性土层时,由于桩的贯入度变化不大,难以利用贯入度变化判断桩尖是否进入设计土层,可采用桩尖标高为控制。沉桩后桩顶标高允许偏差为 ± 10cm。

②设计桩尖标高处为硬塑性状态粘土层时,沉桩贯入度与一般粘性土层有明显不同,当桩尖已达到设计标高,贯入度较大,且设计贯入度又有要求时,应继续锤击,使桩尖贯入度接近设计贯入度,以保证桩尖已进入硬土层,但继续下沉的深度一般不超过 1m。当桩尖距设计标高较大而贯入度较小,且沉桩困难时,采用贯入度控制为主,标高作为校核。

③设计桩尖标高处为中密或密实砂土层、风化岩层时,因硬层起伏不一,施工中无法单独用标高控制,则以贯入度控制为主,标高作为校核。当贯入度已达控制贯入度,桩尖标高未达到设计标高时,应继续锤击 10cm,其平均贯入度不大于控制贯入度,且桩尖距设计标高不超过 1~2m;

④沉桩不能满足上述要求时,应与有关单位研究处理。

(4)沉好一根桩后,应立即进行检查,确认桩身无问题后,才移动桩架。

3)施工注意问题

(1)锤击时宜“重锤低击”。锤重、落距低可以延长锤击接触时间,从而降低锤的冲击应力,而且重锤低击比轻锤高速冲击效率也高。

(2)锤与桩帽、桩帽与桩之间的垫层(即锤垫与桩垫)要仔细安放,要有适宜厚度。根据上海、天津等地经验,桩垫采用 12cm 厚水泥袋纸或 7.5 ~ 10cm 厚的松木比较适宜。在锤击过程中须及时修理锤垫更换桩垫,避免桩头引起很大的压应力。桩帽不应紧密固定在桩头上,以免引起桩弯矩和扭矩的传递。

(3)不得采用大能量的锤击施工,特别是桩尖进入硬层,贯入度变小时容易造成桩头和桩身损伤。

(4)锤击沉桩下沉过程中,当桩穿过软土层后突然进入硬土层时,要发生大的压应力(岩石更甚);当桩穿过硬土层后突然进入软土层时,会产生大的拉应力。须注意观察,严格操作,否则会打坏桩。

(5)锤击时要注意桩顶的压应力、桩身的拉应力以及钢管桩桩身的压曲,其计算方法见第三节桩的设计。

(6)锤击时要注意桩的疲劳。当锤击次数越多、锤击频率越高,桩的强度降低越大,损伤的可能性也越大。因此需要控制桩的锤击次数。锤击控制次数,可参考表 14-10。

锤击控制次数 表 14-10

桩的类型 / 锤击次数	钢筋混凝土桩	预应力混凝土桩	说　明
总锤击次数	1 000	2 000	锤击控制次数与桩的种类、土质等有关,本表供参考
最后 10m 锤击次数	500	800	

4)沉桩复打

对发生“假极限”、“吸入”现象的桩和射水沉桩都应进行复打。

“假极限”是指桩在饱和的细、中、粗砂中连续锤击下沉时,使流动的砂紧密夹实于桩的周围,妨碍土中水分沿桩上升,在桩尖下形成水压很大的“水垫”,使桩产生暂时的极大贯入阻力;在休止一定时间后阻力就下降。“吸入”是指桩在粘土中连续锤击时,由于土的渗透系数小,桩周围的土不能渗透扩散,而沿桩身向上挤出,形成周围的润滑套,使桩周围的摩擦力大为减少;在休止一定时间后,桩周土摩擦力恢复而增大。射水沉桩由于射水的冲刷,减少了桩周土的摩擦力。因此对上述的几种情况,在休止一定时间后均须进行复打,确定其实际承载力。休止时间按土质不同而异,可由试验确定,若无试验资料时,可按《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)附录 B.2 确定。

5)适用范围

上述的施工要点和施工注意问题也适用等钢管桩的施工。对于 H 型钢桩施工,锤质量不宜大于 4.5t(柴油锤),且在锤击过程中,桩架前应有横向约束装置,防止横向失稳。在持力层较硬时,H 型钢桩不宜采用送桩。

3.振动沉桩

低频率振动锤可以下沉重型混凝土桩或大直径钢管桩。在软塑性粘土或饱和砂类土土层中仅用振动锤沉桩可下沉至 15m;在饱和砂土中,用 17.5 型振动锤配合强烈的射水,下沉 ϕ55cm 混凝土管桩,可下沉至 25m。

1)振动锤选择

(1)振动锤的振动力 F_v 应能克服桩在振动下沉中土的摩擦力 F_R,即

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$F_v > F_R \tag{14-3}$$

(2)土的摩擦力 F_R 可按式(14-4)计算：

$$F_R = \tau UL \tag{14-4}$$

式中：F_R——土的摩擦力，kN；

L——桩的入土深度，m；

U——桩的周长，m；

τ——土单位面积的动摩擦力，kN/m²；可按表 14-11 采用。

土单位面积的动摩擦力 τ 表 14-11

砂性土		粘性土	
标准贯入击数	τ(kN/m²)	标准贯入击数	τ(kN/m²)
0～4	10	0～2	10
4～10	15	2～4	15
10～30	20	4～8	20
30～50	25	8～15	25
>50	40	15～30	40
		>30	50

(3)振动锤振动力 F_v 按式(14-5)计算：

$$F_v = 0.04n^2M \tag{14-5}$$

式中：F_v——振动锤振动力，kN；

n——振动锤转速，r/s；

M——振动锤偏心力矩，N·m。

(4)偏心矩 M 尚应满足

$$M = A\omega \tag{14-6}$$

式中：A——振幅，m；在软土地基中，$A \geqslant 0.07$m；在其他地基中，$A \geqslant 0.011$m；

ω——桩和锤的总重力，N。

2)施工要点

以振动配合射水下沉混凝土管桩为例，其施工要点包括五个方面。

(1)沉桩开始时，可仅由射水和桩的自重使桩下沉。

(2)振动锤和桩帽(机座)与桩顶法兰盘要连接牢固，不得有间隙和松动，否则振动力不能充分利地向下传递，影响桩的下沉，且接头也容易损坏。

(3)在射水下沉缓慢或不能下沉时，开动振动锤并同时射水使桩下沉；振动持续一段时间后，当桩下沉又趋缓慢或桩顶大量涌水时，即停止振动，只用射水冲刷，经过相当时间后，再进行振动下沉；如此交替下沉，沉至接桩高度时，拆去振动锤及输水管，然后接长输水管、接高管桩、安装振动锤再继续下沉。

(4)桩沉至距设计标高小于 2m 时，应提高水管，使射水嘴缩入桩内，停止射水，立即进行干振，将桩沉至设计标高。且最后下沉速度不大于试桩速度，振幅符合规定时，即可停振。

(5)每根桩下沉应一气呵成，不得中途有较长时间间歇。在整个基础桩沉完后，再复振一次，使之达到合格要求。

3)施工注意问题

(1)振动持续时间。每次振动时间过短，则土的结构未破坏，过长则振动锤部件易遭损坏。

振动的持续时间长短应根据不同机械和不同土质通过试验决定，一般不超过 10～15min。

使用射水时，振动持续时间可以缩短。一般当下沉速度由小逐渐变大时，可以继续振动；由大变小时，如下沉速度小于 5cm/min 或桩头冒水时应即停振。当振幅超过 14～16mm 而桩不下沉时，表示桩尖土坚实或桩的拉头已振松，应即停振继续射水，另作处理。

(2)基底土层中含有大量卵石或碎石时，如采用高压射水振动沉桩尚难下沉时，可采用开口桩靴的管桩，并在桩内用吸泥机吸泥，效果较好。

4.射水沉桩

射水沉桩的射水，多与锤击或振动相辅使用。在砂夹卵砾石层或硬土层中沉桩，一般应以射水为主，锤击、振动为辅；在砂土或粘土中沉桩，不宜采用射水，如必须使用时，应以锤击或振动为主，射水为辅，并需严格控制水压和水量。

1)射水设备

(1)高压水泵

常用于沉桩的水泵有往复式高压水泵或多节离心式高压水泵，按要求的水压、水量来选用。其动力有蒸汽、电力、内燃机等。蒸汽往复式高压水泵适用于水量要求不大，压力差高的地方，其出水量是近乎一常数，与水压关系很小，对射水沉桩来说是比较合适；但保养困难，造价高，动力易受限制。多节离心式高压水泵的水压与出水量之间有一定的关系，如水压要高，出水量就要减少，如水压变小，出水量就要增大。一般来说，沉桩时会因土质的不同，水压就要有变化，如用离心式高压水泵，则在使用时会感到不尽合适。离心式水泵虽有上述的缺点，但其使用简单，排水均匀，质量轻，驱动方法多。目前在射水沉桩施工中多采用 DA 型电动多级离心式高压水泵。如单台水泵的性能不能满足水压的要求时，可将几台水泵串联使用；不满足水量要求时，可将几台水泵并联使用。

(2)输水管

输水管及其配件尺寸尽量与水泵出口管径相同，固定的节段用无缝钢管，活动的节段用胶管。与射水管连接的一段胶管比用固定管路细一些的胶管，但其内径不得小于射水管。

无缝钢管的管壁厚度，可按式(14-7)确定：

$$t = \frac{PD}{2R} \tag{14-7}$$

式中：t——钢管壁厚度，mm；

P——最大工作水压，MPa；

D——钢管内直径，mm；

R——钢管容许应力，MPa；碳素钢钢管可采用抗拉极限强度的 50%～55%；对于化学成分及机械性能不明的钢管，可采用 100MPa。

(3)射水管

射水管一般比输水管小，要坚固耐用，便于起吊和拼接，射水管内径不大于 76mm，宜采用无缝钢管制作。连接的法兰盘接头的结构，应能承受水压。

射水管射水嘴的形状和尺寸如图 14-31 所示。

图 a)所示为侧壁有 6 或 8 个斜孔，适用于土摩擦力较大深桩；图 b)所示为侧壁无孔，适用于冲刷桩尖处有硬的土层；图 c)所示为侧壁有 3～4 个平孔或斜孔，适用于一般沉桩。

射水管的位置有内部射水管布置，外部两侧射水管对称布置，外部四侧射水管对称布置等几种，其构造及布置如图 14-32 所示。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

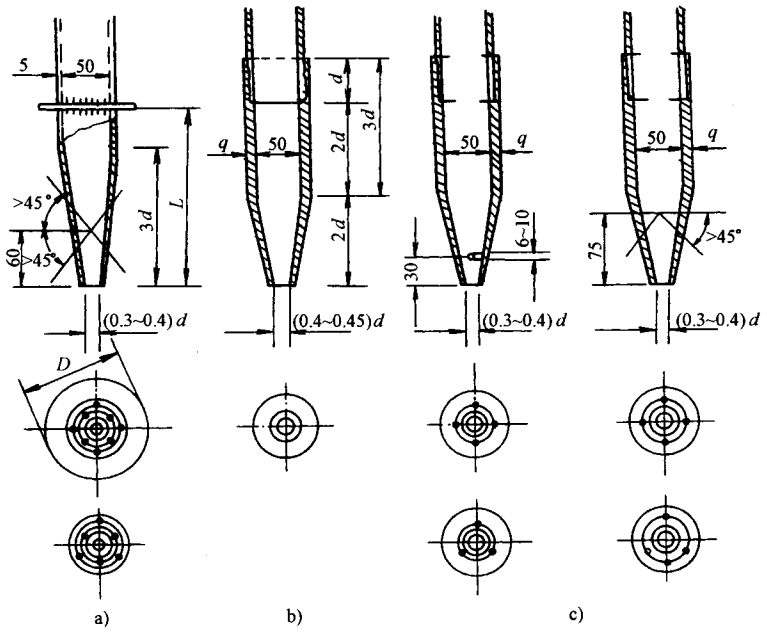


图 14-31　射水嘴形状和尺寸(单位:mm)

2)施工要点

以内射水配合锤击下沉混凝土管桩为例,其施工要点包括以下五个方面。

(1)安装好射水管、弯管、输水胶管,并接通输水管后进行通水试验。

(2)管桩插正立稳后,压上桩帽及桩锤。不拆除吊桩钢丝绳,开启水阀冲刷桩尖下土,使桩靠自重下沉。下沉初期应控制不使下沉过快,以免阻塞射水嘴。

(3)桩身射水自沉渐趋缓慢时,可开锤轻击,但仍继续射水。如下沉转快时可暂停锤击。待桩身入土深度能保持稳定时,可拆除钢丝绳,然后加大水压和锤击能量。

(4)在接桩和接长射水管时,为了防止停水造成泥浆冲入桩内堵塞射水嘴,要求停水时间愈短愈好,一般不超过 10min。射水时射水阀不可突然开得很大,以免射水水压突然降低,使泥砂涌入,堵塞射水嘴。在预定停水之前应逐渐减压。

(5)桩下沉至距设计标高小于 2m 时,应停止射水,进行锤击,使桩下沉至设计标高。

3)施工注意问题

(1)桩在正常下沉情况下,突然变为不易下沉,且桩身有颤动现象,桩锤有回弹声,这可能是桩尖遇有障碍物或坚硬土层,可加强射水,继续锤击;若仍无效时,应研究处理措施,切勿猛烈锤击。若桩下沉缓慢,除桩身有颤动现象外,无其他现象时,这可能是桩周土摩擦力过大,应加大水压和水量,必要时增加外射水或改用动能较大的锤,但

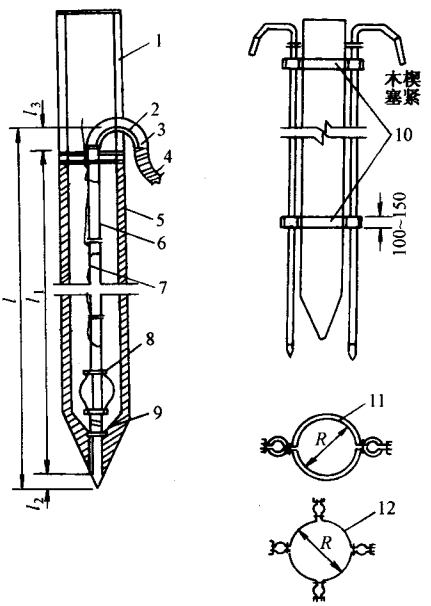


图 14-32　射水管构造及布置(单位:mm)
1-钢送桩;2-电焊圆钢加强;3-弯管;4-胶管;5-管桩;6-射水管;7-保险绳;8-导向环;9-挡砂板;10-夹箍;11-两侧射水管夹箍;12-四侧射水管夹箍

不宜猛烈锤击。

(2)每下沉 10cm 的锤击次数不太多,而桩的下沉量是均匀时,仍可继续锤击;如下沉 10cm 的锤击次数增多,则表明水的冲力不足;若锤击次数增加甚多时,为避免桩锤损坏,可停锤单独射水数分钟后再行锤击;如每下沉 10cm 的锤击次数减少甚速,为避免桩下沉过快,应停止锤击使桩下沉。

(3)采用外射水时,除对称地布置射水管外并应注意各射水管的射水水压与水量应均匀,防止桩下沉时产生倾斜。

(4)在严寒地区施工时,应防止射水管路冻结,须采取防冻措施。

二、钻孔桩施工

本节所述的钻孔桩施工方法,有正循环回转钻机成孔法、反循环回转钻机成孔法、冲击式打井钻机(瞌头机)成孔法和简易冲击钻机成孔法等。

(一)正循环回转钻机成孔法

1.机具设备

正循环回转钻机主要部件包括转盘、动力机、卷扬机、钻杆、钻架、泥浆泵、提引水龙头及锥头等。

桥梁钻孔用的正循环回转钻机性能,见表 14-12。可根据钻孔直径、钻孔深度等条件,进行选用。

新型国产正循环回转钻机性能 表 14-12

钻机型号	钻孔直径(mm)	钻孔深度(m)	转盘扭矩(kN·m)	提升能力(kN)		驱动动力功率(kW)	钻机质量(kg)	生产厂
				主卷扬机	副卷扬机			
GPS—10	400~1 200	50	8.0	29.4	19.6	37	8 400	上海探机厂
SPJ—300	500	300	7.0	29.4	19.6	60	6 500	上海探机厂
SPC—500	500	500	13.0	49.0	9.8	75	26 000	上海探机厂
SPC—300H	500	300		30	20	6 135 柴油机	1 5000	天津探机厂
SPC—600	500	600	11.5			75	23 900	天津探机厂
GJC—40H	500~1 500	40	13.9	30	20	6 135 柴油机	15 000	天津探机厂
(0.8~1.5m)/50m	800~1 500	50	14.7	60.0		100		石家庄煤机厂
(1~2.5m)/60m	1000~2 500	60	20.6	60.0				石家庄煤机厂
GQ—80	600~800	40	5.5	30.0		22	2 500	重庆探机厂
XY—5G	800~1 200	40	25.0	40.0		45	8 000	张家口探机厂
ZJ—150	1 500~2 000	70~100	20			55		郑州勘机厂
红星—400	650	400	13.2					郑州勘机厂
BRM—08	600~1 200	40~60	7.8	30		22	13 600	铁道部大桥局桥梁机械制造厂
BRM—1	800~1 500	40~60	12	30		22	9 200	
BRM—2	800~1 500	40~60	28	30		28	1 300	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)转盘

转盘是钻机的主要部件,它是动力机驱动的直径很大的一个齿轮,其中心装有可拆卸的方套。方钻杆被方套夹住,随着钻孔的加深,方钻杆可在方套中逐渐下降,当方钻杆上端下降至转盘顶面时,提升方钻杆加接圆钻杆继续钻进,直至设计深度。

2)卷扬机

主卷扬机用于提吊钻杆,调节钻杆压力,升降钻具和安装钻架。副卷扬机用于拖拉机具或钻架,作近距离转移。

3)钻杆

有方形和圆形两种。方钻杆也称主钻杆,每台钻机一般只配一节方钻杆,长约 5 ~ 9m 为宜。圆钻杆的直径和壁厚,根据钻机的动力、转速、钻孔直径和深度等通过计算确定。

4)钻架

一般为八字型钢塔架。有些钻架是由施工单位自制。

5)泥浆泵

多为卧式活塞双缸泥浆泵,如图 14-33 所示。

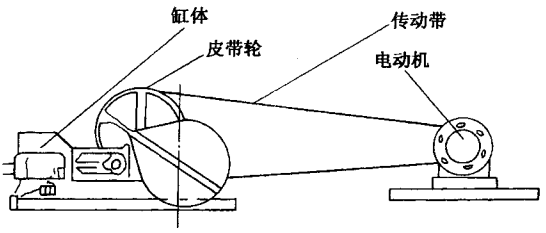


图 14-33 泥浆泵

6)提引水龙头

也称"摇头"。它的功用是:钻进时承受钻杆和锥头重力;钻孔时吊住锥头,保证竖直钻进,并使起吊系统和输泥浆胶皮管不随钻杆一起回转,保证泥浆连续输向孔底。

提引水龙头的构造如图 14-34 所示,由和方钻杆一起回转的活动部分、连接输浆胶皮管的不回转部和回转部分的轴承、吊环组成。使用时应保证这三个部分不互相牵动并不得漏浆。

7)锥头

常用于正循环回转钻机的锥头有鱼尾锥和双腰带笼式锥等。

(1)鱼尾锥

适用粘土、粉砂土、中粗砂和细砂,在砂卵石或风化岩中钻进效果比较好。但它的导向性能比较差,钻进时要注意防止出现梯级倾斜。其构造如图 14-35 所示。

(2)双腰带笼式锥

适用于各种土层。其构造在上下部各有一道导问圈,导向性能好,扩孔率少,是在一般土层中采用较多的锥型。如图 14-36 所示。

2.钻机成孔施工原理及施工要点

1)钻机成孔施工原理

正循环方式钻进时,采用泥浆护壁,排渣进行。泥浆由泥浆泵输入钻杆内腔,经锥头出浆口射出,带动钻渣沿钻孔上升到孔口溢进泥浆流槽,返回泥浆池中净化后再供使用。其施工原理如图 14-37 所示。

2)施工要点

钻机就位后,安装好锥头和钻杆,在方钻杆上端接装提引水龙头,连接输浆胶管与泥浆泵后,把提引水龙头吊环挂在起吊系统的滑轮吊钩上。取走转盘中心的方形套,启动卷扬机吊起钻杆,穿过转盘与锥头牢固连接,用方形套夹住方钻杆,准备钻进。

初钻时先启动泥浆泵和转盘,使进行空转,待泥浆输进钻孔后,开始钻进。在接长钻杆时

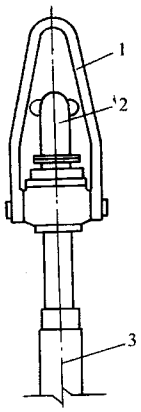


图 14-34　提引水龙头
1-吊环；2-胶管接头；3-钻杆接头

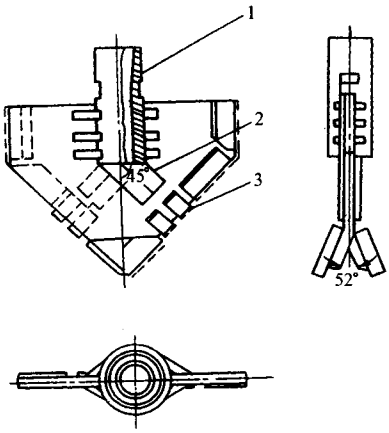


图 14-35　鱼尾锥
1-接头；2-出浆孔；3-刀刃

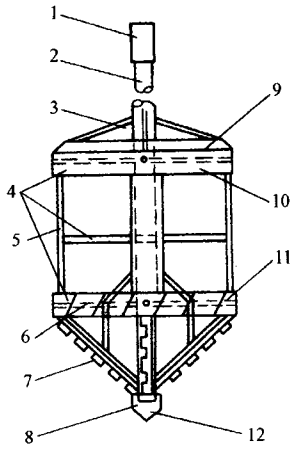


图 14-36　双腰带笼式锥
1-锁接头；2-中心管；3-斜撑；4-平撑；5-连接；6-下导圈；7-刮板；8-出浆口；9-斜挡板；10-上导圈；11-焊耐磨合金；12-鱼尾锥(起前锥)

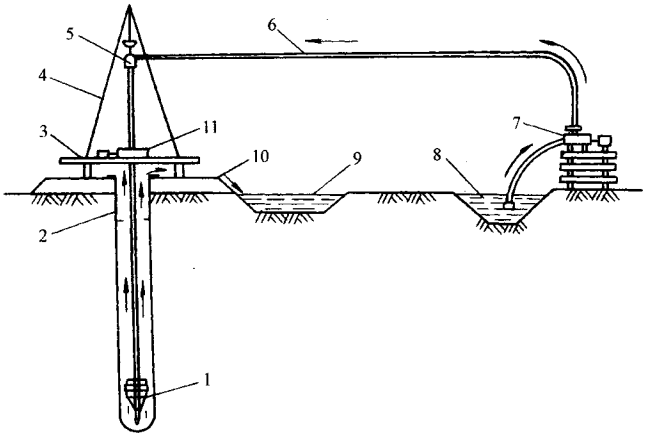


图 14-37　正循环回转钻机成孔施工示意
1-钻锥；2-护筒；3-工作平台；4-钻架；5-提引水龙头；6-高压胶管；7-泥浆泵；8-储浆池；9-沉淀池；10-土台；11-磨盘钻机

先卸去方形套，提升方钻杆达到钻头与钻杆相接处露出转盘为止，用钻杆夹持器卡住锥头，支撑在转盘上；然后卸去方钻杆，换上一节圆钻杆与锥头连接，卸去夹持器，下放圆钻杆与锥头进入钻孔；当圆钻杆上端接近转盘时，再用夹持器支持圆钻杆，并将方钻杆与圆钻杆连接，取去夹持器，继续钻进。

初钻时应稍提起钻杆，不可使钻进太快，并经常检查钻杆的垂直度，防止钻孔偏斜。钻进时根据具体情况，添加泥浆。

根据某些施工实践，在相同的地质条件下，采用正循环施工法所获得桩的承载力比反循环法较小，应予注意。

(二)反循环回转钻机成孔法

1.机具设备

反循环回转钻机主要部件大部分与正循环钻机大致相同，但一般不需要泥浆泵。按照吸

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

升泥渣和钻渣混合方法不同，另配真空泵、吸泥泵（称泵吸式法）或空气吸泥泵（称气举法）及水力吸泥机（称水力喷射法）等。

反循环钻桩的主要部件为转盘、动力机、卷扬机、真空泵、吸泥泵（泥石泵）、空气吸泥机、水力吸泥机、钻架、钻杆和提引水龙头。

桥梁钻孔用的国产反循环回转钻机性能，见表 14-13。可根据钻孔直径、桩深、土质情况，供应条件选择采用。

国产反循环转钻机 表 14-13

钻机型号	钻孔方式	钻孔直径（cm）	钻孔深度（cm）	转盘扭矩（kN·m）	转盘转速（r/min）	钻杆内径（mm）	加压给进方式	驱动动力功率（kW）	质量（kg）	外形尺寸（m）			生产厂
										长度	宽度	高度	
KP3500	气举或泵吸反循环	350～800	80 120	210	0～24 无级变速		自重或加压	4×30	46 706	7.1	6.4	8.7	郑州勘机厂
KP200	正、反循环	200～300	100	43.8、14.6、10.2、7.0	10、30、43、63			45	12 000				郑州勘机厂
KP1500	正、反循环	150～200	100	23.5、9.0、6.5、4.5	15、39、54、78			37	11 000				郑州勘机厂
QJ1250—1	正、反循环气举或泵吸	300～600	100	117.6	7.8、12.7、26	200	自重	95	17 000				郑州勘机厂
ZJ150—1	正、反循环	150	70～100	3.5、4.9、7.2、19.6	22、59、86、120		自重	55	10 000				郑州勘机厂
红星—400	正、反循环	65	400	2.5、3.5、5.0、13.2	22、59、86、120		自重	40	970				郑州勘机厂
S600	正、反循环	65	600	13.65、5.1、3.5、2.4	22、59、86、126								郑州勘机厂
XF—3	正、反循环	150	50	40.0	12		自重	40	7 000				
SPC—300H	正、反循环冲击钻进	50 70	200～300 80		52、78、123			118	15 000	10.9	2.5	3.6	天津探机厂
GJC—40HF	正、反循环	100～150	40	14.0	20、30、47	150		118	15 000	10.9	2.5	3.6	天津探机厂
GJC—40H	正、反循环冲击钻进	50～150 70	300～40 80	98.0	正 40～123 反 32～40			118	15 000	10.9	2.5	3.6	天津探机厂
ZWY—550	泵吸反循环	80			50	118			7 000				乾安机械厂
QZ—200	泵吸反循环	40～150	200		20、40、60	147		55	9 500	6.5	3.0	10.8	乾安机械厂
SZ—50	正、反循环	60～120	50		28			17	13 000	6.7	3.5	7.4	双城钻机厂
GPS—25	泵吸反循环	250	80	30	6.11、20			37	28 800	6.7	4.0	9.5	上海探机厂
HTL—300	气举反循环	120～300	40～120	54、35、20、11.5	5.94、11.65、18.46、31.93、44.35				75 000	8.1	3.3	12.98	湖南路桥公司河南耐磨材料公司

续上表

钻机型号	钻孔方式	钻孔直径(cm)	钻孔深度(cm)	转盘扭矩(kN·m)	转盘转速(r/min)	钻杆内径(mm)	加压给进方式	驱动动力功率(kW)	质量(kg)	外形尺寸(m)			生产厂
										长度	宽度	高度	
KPY—400	气举反循环	400	120	220	3、9			375	42 500				湖南路桥公司武汉内河港机厂
QZY—300	气举反循环	150～300	100	100	8、16			210	140 000	10.2	5.2	13.8	洛阳矿机厂
GPS—20	泵吸反循环	200	80	30	8.14、18.26、32.56			37	10 000	5.67	2.4	9.35	上海探机厂
GPS—15	泵吸反循环	80～150	50	17.7	13、23、42	150		30	15 000	4.7	2.2	8.3	上海探机厂
SPJT—300	正、反循环	50	300		40、70、128			40	11 000	11.7	2.5	3.7	上海探机厂
G—4	正、反循环	100	50	20.0	10、40、80			20					无锡探机厂
BRM—08	正、反循环	120	40～60	4.2～8.7	15～41		配重	22	6 000				武汉桥机厂
BRM—1	正、反循环	125	40～60	3.3～12.1	9～52	120	配重	22	9 200				武汉桥机厂
BRM—2	正、反循环	150	40～60	7.0～28.0	5～34	156	配重	28	13 000				武汉桥机厂
BRM—4	正、反循环	300	40～100	15.0～80.0	6～35		配重	75	32 000				武汉桥机厂
BRM—4A	气举反循环	150～300	40～80	15、20、30、40、55、80	6、9、13、17、25、35	241	配重	75	61 877	7.9	4.5	13.3	武汉桥机厂
GJD—1500	正、反循环冲击钻进	150～200	50	39.2	6.3、14.4、30.6	150		63	20 500	5.1	2.4	6.38	张家口探机厂
KPG 300	气举反循环	150～300	130	100、80	3.5、7、14			10	166 000	7.6	4.5	14	武汉桥机厂

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)钻架

很多钻机是根据自身的工作特点,配有专用的钻架,也有些钻机是施工单位根据施工要求自制,如图 14-38 所示。

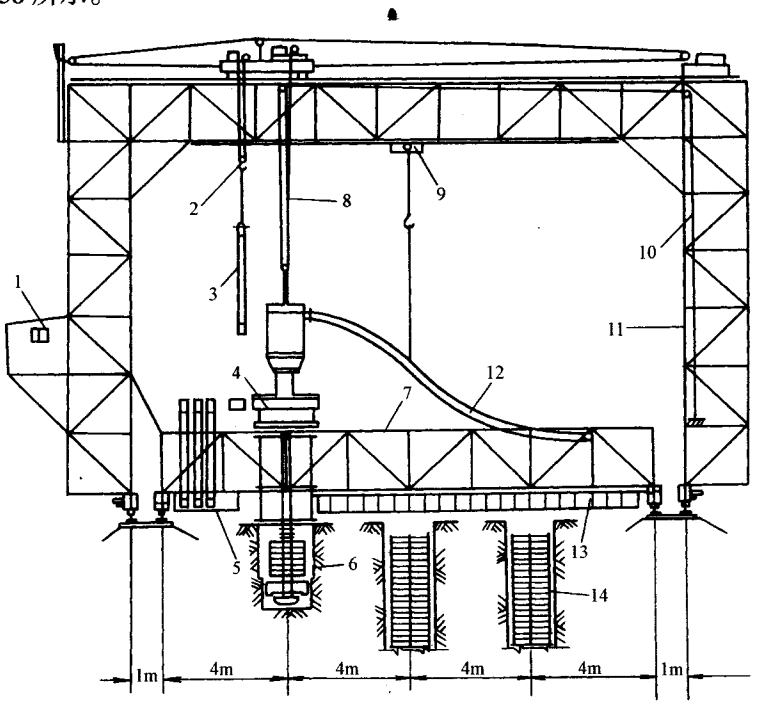


图 14-38　龙门式钻架

1-操纵室;2-小吊架(200kN);3-待接钻杆;4-钻机;5-钻杆吊篮;6-钢护筒;7-钻机平台;8-吊钩;9-电动滑车;10-传杆器(用电线与操纵室的电子秤接通);11-大吊钩钢丝绳固定端;12-反循环出浆胶管(ϕ250mm);13-反循环进浆钢槽;14-已灌注混凝土的钻孔

2)真空泵、吸泥泵(泥石泵)及空压机

真空泵和吸泥泵最大吸力约为 10MPa 或 10m 水高。由于钻杆内摩擦力的因素,使用时实际吸程约为 7 ~ 8m,所以使用泵吸式反循环钻机钻孔深度不能太深。真空泵和吸泥泵的泵量与钻杆内泥浆钻渣上升的流速与钻孔速度关系很大,钻杆内泥浆流速小,就不能将较粗的钻渣吸上,影响钻进的速度。一般钻孔内泥浆上升速度要求达到 3 ~ 4m/s,才能顺利钻进。

气举式反循环回转钻机用空压机所需压力和风量与钻孔深度和钻杆内径有关。一般钻杆内径为 150mm、200mm、250mm 时所需风量分别为 $7m^3/min$、$10m^3/min$、$20m^3/min$;风压可按钻孔深度增加 2 ~ 4m 考虑,转化为以 MPa 表示,则除以 101.94。

有些类型的钻机如去掉充水用的真空泵,改用两个三通旋塞阀门,并用流量大的砂石泵代替泥石泵,则可成为正反双向循环钻机。

3)钻锥

(1)三翼钻锥

适用于较松软的粘土、细砂和中粗砂。其构造如图 14-39 所示。

它的切削能力比鱼尾锥大,在增加对孔底的压力情况下,有比较高的钻进效果。钻进时孔较圆,很少出现钻孔偏斜和弯孔情况。

(2)牙轮锥

适用于砂类土、粘性土、卵石类土层和风化岩中。其构造如图 14-40 所示。

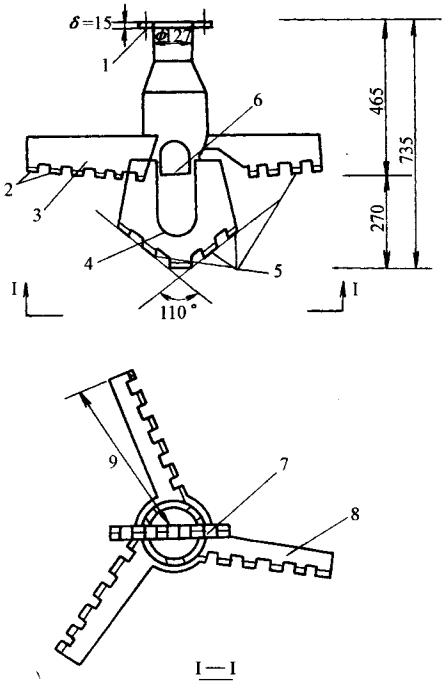


图 14-39　三翼钻锥(单位:mm)
1-法兰接头;2-合金钢刃头;3-翼板(δ = 30mm);4-剑尖(δ = 30mm);5-合金钢刃尖;6-排渣孔;7-剑尖;8-翼板;9-孔径(R = 12 ~ 15mm)

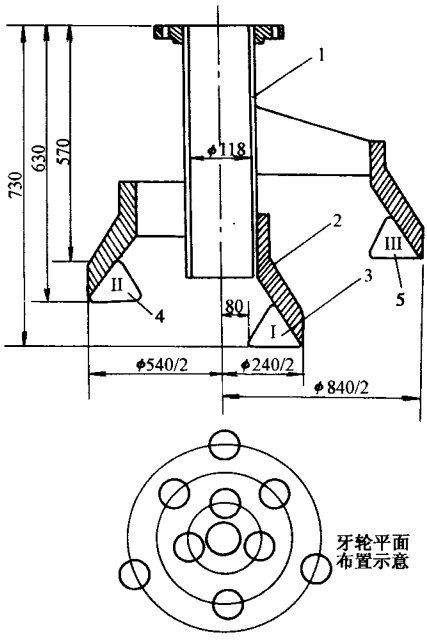


图 14-40　牙轮锥(单位:mm)
1-无缝钢管;2-牙轮架;3-I 级牙轮;4-II 级牙轮;5-III 级牙轮

在 φ127mm 无缝钢管的不同位置上,焊设牙轮架,然后把 φ160mm 的 9 个锥形牙轮分三层安装于牙轮架的滚柱轴上。设在底层的 3 个 I 级牙轮,是焊接在锥头中无缝钢管上。牙轮末端同钻头的纵轴距离为 120mm。在 I 级牙轮上方 100mm 的中层为 3 个 II 级牙轮,牙轮末端同钻头的纵轴线线距离 270mm,I 级牙轮上方 160mm 的 III 级牙轮末端同锥头纵轴线距离 420mm,每层的 3 个牙轮在平面上方位均相隔 120°。

2.钻机成孔施工原理及施工要点

1)钻机成孔施工原理

反循环方式施工是将泥浆由储浆池流入或注入到孔底同钻渣混合,在真孔泵与吸泥泵配合或在空气吸泥机、水力喷射泵的吸力作用下,混合物进入钻锥的进渣口,由钻杆内腔吸上,再从出水控制阀经胶管排吸到沉淀池,净化后进入储浆池循环使用。泵吸式反循环回转钻机成孔施工示意,如图 14-41 所示。

2)施工要点

(1)钻机就位基本与正循环相同。开钻时应将钻头提高距孔底约 20 ~ 30mm。将真空泵加足清水,关紧出水控制阀和沉淀池放水阀,使管路封闭,打开真空管路阀门使气水畅通,然后启动真空泵,抽出管路内气体,产生负压,把水引到吸泥泵,通过沉淀池的观察窗见泥浆泵充满水时,关闭直空泵,开启泥浆泵。当泥浆泵出口真空压力达到 0.2MPa 以上时,打开出水控制阀,把管路中泥水混合物排到沉淀池,形成反循环后,启动钻机,慢速开始钻进。

(2)当第一节钻杆钻完后,接长钻杆继续钻进。钻进速度在硬粘土中用一档转速;在高液限粘土、含砂低液限粘土用二、三档转速;在砂类土或含大量卵石土中用一、二档转速,并控制

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

钻进速度。

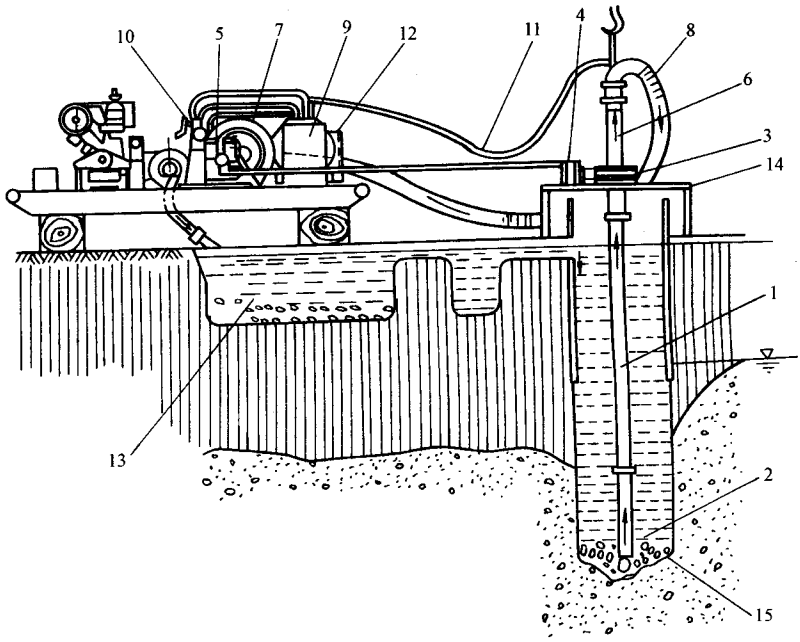


图 14-41　泵吸式反循环回转钻机成孔施工示意

1-钻杆；2-钻锥；3-转盘；4-液压电动机；5-油压泵；6-方形传动杆；7-泥石泵；8-吸泥胶管；9-真空罐；10-真空泵；11-真空胶管；12-冷却水槽；13-泥浆沉淀池；14-井盖；15-井底

(3)气举式反循环回转钻机一般用于深孔施工。其施工要点参见有关文献。

(三)瞌头机冲击成孔法

瞌头机是冲击式打井机的俗称。其结构简单，操作方便，全套机具总质量仅为 3000kg，无泥浆池等附属设备，现已广泛地用于钻孔桩。其缺点是钻进速度稍慢。

瞌头机的主要技术性能见表 14-14。

瞌头机主要技术性能　　表 14-14

部　件	项　目	单　位	数　量	说　明
主机	冲击频率	r/min	38～40	原机采用 ϕ1.91
	冲程	mm	630～890	
	工具卷筒提升能力	kN	13	
	工具卷筒提升速度	m/s	0.65～1.10	
	钢丝绳规格	cm	ϕ2.22～ϕ2.54	
	主机质量	kg	1 300～1 500	
桅杆	工作高度	m	约 7	
	桅杆质量	kg	约 350	
	承载能力	kN	100	
筒式锥具	锥具直径	mm	ϕ450	随机出厂直径
	扩孔锥具直径	mm	ϕ750、ϕ1 000、ϕ1 200、ϕ1 300	
动力	电动机功率	kW	17～22	原电动机 10～14

1.瞌头机构造及工作原理

瞌头机主要由主轴冲击齿轮、曲轴链杆、工具卷筒、冲击梁、机架、摩擦离合器、牙嵌离合器、桅杆、钻具等主要部件组成。其构造如图 14-42 所示。

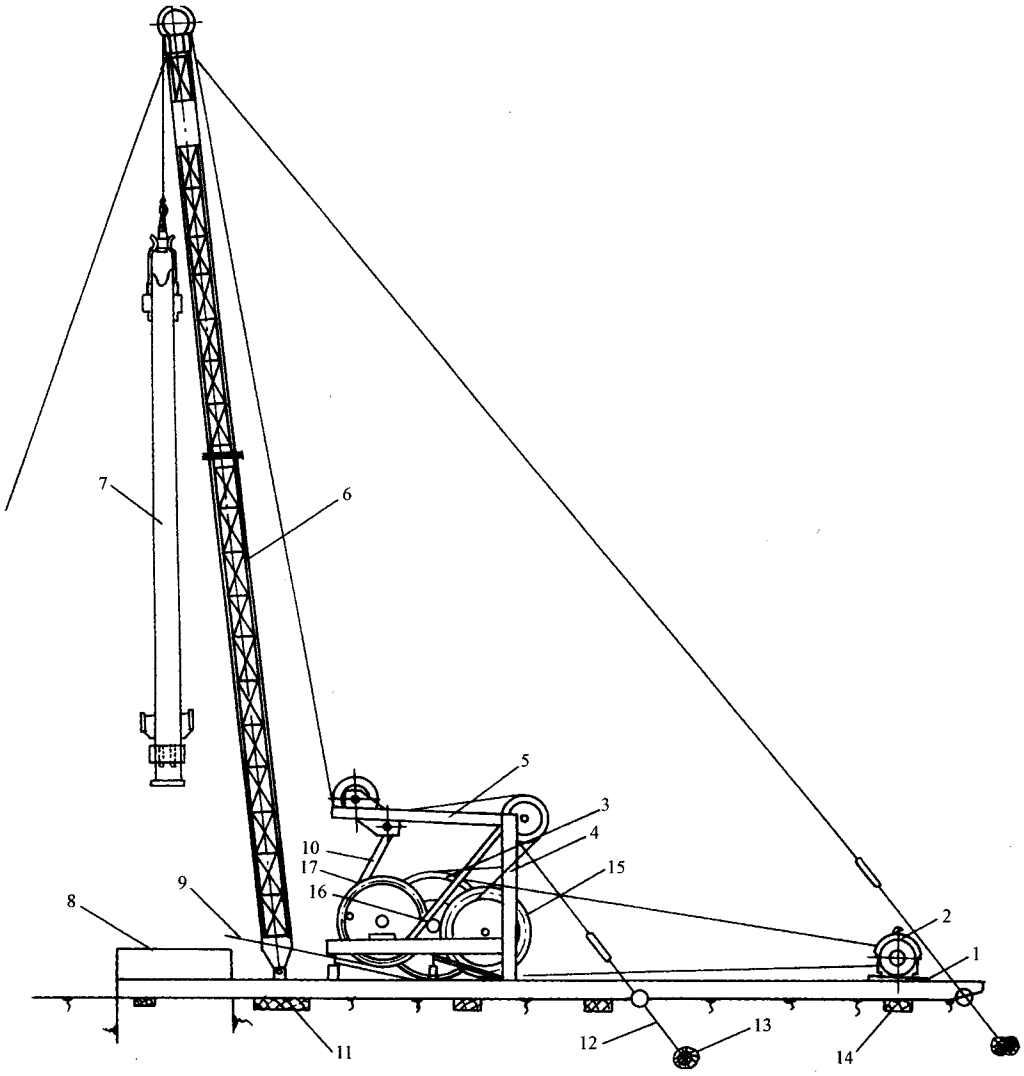


图 14-42　瞌头机构造示意图

1-基台木;2-电动机;3-大皮带轮;4-机架;5-冲击梁;6-桅杆;7-筒式锥具;8-护筒;9-操作手把;10-曲柄链杆;11-桅杆鞍座;12-地锚;13-锚桩;14-枕木;15-工具卷筒;16-主轴;摩擦离合器、牙嵌离合器;17-冲击齿轮

工作时电动机动力经过皮带传给大皮带轮,经摩擦离合器控制主轴的传动和停止,经牙嵌离合器控制工具卷筒或冲击齿轮运转,将主轴的旋转通过冲击齿轮和曲轴链杆,使冲击梁摆动,引起筒式锥具作往复冲击运动。

筒式锥具实际上是一个带刃齿的掏渣筒,筒底设有阀门,如图 14-43 所示。当锥具向下冲击时,主刃向下切进并将土块冲碎,扩孔刃切削井壁,筒底阀门开启,泥浆及土渣混合物进入筒内,锥具上提时活门闭合,往复冲击,筒内泥渣混合物满后提出井孔,打开活门出渣。

2.施工要点

1)埋设好护筒开始钻进时,先用 ϕ500mm 锥头钻进,再依次用 ϕ750mm、ϕ1 000mm、

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

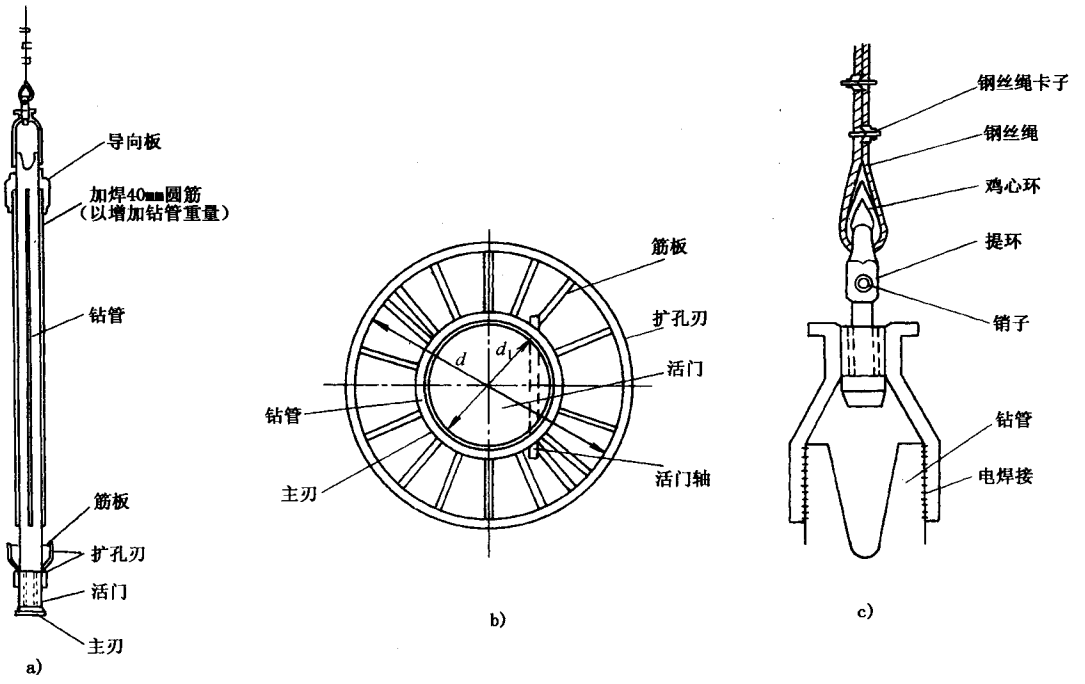


图 14-43　筒式锥具及吊具

a)筒式锥具示意；b)筒式锥具底平面；c)吊具大样

注：钻头直径 d 有 5 种规格：500mm、750m、1 000mm、1 200mm、1 300mm；$d_1 = 250$mm

ϕ1 200mm及 ϕ1 300mm 锥头扩孔，先钻成 ϕ1 300mm 孔（护筒直径）至一定深度后，用锥具冲击或加压护筒下沉至较坚实土层以下，再依次用各型锥一次锥至设计标高。

2)钻进时应注意以下各点：

(1)勤出渣，避免孔底泥渣堆积过多或泥浆相对密度过大，影响钻进效果；

(2)保持孔内水位适当深度，太低孔内静水压力不足，易造成坍孔，太高孔内静水压力过大，有可能造成护筒底穿孔；保持孔内水位方法，可采用电动水泵在提锥出渣期间向孔内注水；

(3)发现孔内护筒底漏水（对有潮汐影响的河流更应注意）时，应停止钻孔，用锥具冲击或加压法使护筒下沉，截断漏水通道后再继续施工；

(4)经常用吊线法检查筒式锥具钢丝绳位置是否在桩中轴线上，特别是最后一次扩孔更为重要；

(5)终孔后应用大锥从上到下往返扫孔数次，直至锥具通行通顺，钢丝绳无晃动为止。

(四)简易冲击钻机成孔法

冲击钻机适用于粘性土、砂性土和砂砾等各种土，在卵石和基岩中冲孔比其他成孔法优越。国产冲击钻有 CZ—30 型、CZ—22 型等，前苏联的有 YKC—30 型、YKC—22 型等，可参阅有关资料。本文介绍的简易冲击钻机，是用卷扬机带动冲击锥头进行上下反复冲击。其优点是：设备简单，操作方便，经过短期训练的工人就能掌握，冲孔速度：当冲锤重力为 25kN、成孔直径为 120cm 时，在一般土层中每台班有效进尺为 4 ~ 6m；砂砾卵石层为 1 ~ 2m；岩石层为 0.5 ~ 1.0m。在公路桥梁施工时常被采用。

1.简易冲击钻机构造和设备

简易冲击钻机是由卷扬机、钻架、冲锥、转向装置、滑轮、钢丝绳组成。其构造如图 14-44

所示。

1)卷扬机

一般采用 30～50kN 带离合器双筒卷扬机，平均转速为 30m/min，轴承最好为滚筒轴承，使之灵活耐用，操作省力，耗电量少。

2)钻架

常用的钻架采用三根圆木绑扎而成(也可用钢管组装)。圆木中径不小于 25cm，长 9m 左右，要求平直少节，无伤痕。对钻架除要求有足够强度外，还需要有足够刚度承受反复冲击荷载。

3)冲锥

由锥身和刃脚两部分组成。锥身提供重力和冲击动能，刃脚位于冲锥底部，是直接冲击破碎土石的部件。

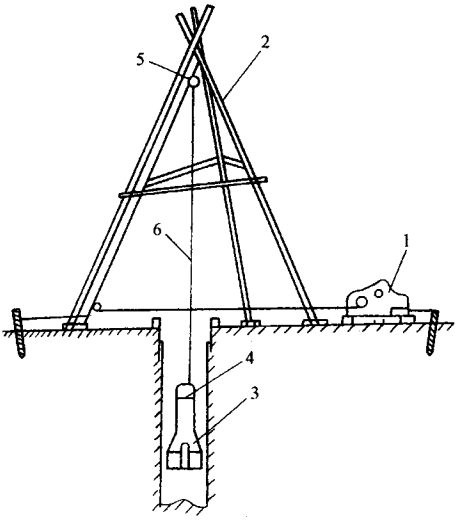


图 14-44　简易冲击钻机构造示意图

1-卷扬机;2-钻架;3-冲锥;4-转向装置;5-滑轮;6-钢丝绳

目前冲锥大部分为带圆弧的十字形冲锥，其构造如图 14-45 所示。冲锥高度 H 一般为 $1.5\sim2.5D$(D 为锥底部直径)，锥顶直径 d 约为 $1/4\sim1/8D$，$h=30\sim50$cm。刃脚的刀口角度(冲击角)α、β 应视土层种类而变化，用以提高冲击进度。弧形刃外壁的倾角 γ，用以避免冲击时卡锥。底刃中心略高形成 φ 角，A 约为 $1/3d$，B 约为 $1/8D$。α、β、γ、φ 值，根据过去实践经验得出的资料见表 14-15，可供参考。

带圆弧十字形冲锥刃角参考表　　表 14-15

地　　质	α	β	γ	φ
粘土、细砂	70°	40°	12°	160°
堆积土、砂卵石	80°	50°	15°	170°
坚硬漂石、卵石	90°	60°	15°	170°

冲锥可用铸钢铸成，也可用钢板铆合制成。锥头刃口由硬度高的低合金焊接。

4)转向装置

转向装置设置在冲锥的顶部，其目的是使冲锥在冲击过程中，每冲击一次转动一个角度，从而获得一良好的圆形冲孔。转向装置的构造方式很多，较简单而常用的转向装置如图 14-46 所示。

5)掏渣筒

掏渣筒是掏取孔内钻渣的工具，如图 14-47 所示。其构造一般用 5mm 厚钢板卷制而成，直径为钻孔直径 0.6～0.7 倍，高 1.5～2.0m，上面用 $\phi30\sim\phi50$mm 圆钢制成的吊环，底设碗形阀门，阀门脚高约 50cm。碗形阀门与掏渣筒接触面要密合，不漏浆，自动装卸泥渣混合物。

2.施工要点

1)开孔时要掌握低冲程(一般不超过 50cm)、稠泥浆、缓进尺及反复冲砸的原则，使形成较坚固的泥浆护壁。

2)正常冲进以冲击→掏渣→冲击反复进行，并掌握好及时补水、加粘土等各个环节。

冲击时，对于砂层、粘土层及严重风化岩层，冲程宜控制在 1～1.5m 高度；在轻微风化及破碎岩层宜控制在 2～3m；在砂砾石或砂卵石层宜控制在 2～4m；在坚硬岩层或大漂石层时，冲程高度要适当控制，不宜高锤猛击，以免冲锥振裂。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

3)及时向孔内补水,保持孔内水头高度。及时向孔内投放散碎粘土,保持孔底一定高度内的泥浆相对密度为 1.4～1.6 左右,以利形成一个良好的泥浆护壁和悬浮泥浆的能力。

4)冲孔过程中,锥的刃口将不断磨损,要及时补焊。当进尺到一定深度时,要进行掏渣,否则孔底泥渣过稠,引起阻力过大,妨碍冲进速度。

5)经常要检测冲孔有无偏孔现象。一般在土层变化、更换冲锥或冲进 5～8m 时检测一次,如检孔器不能沉至原冲孔深度或主绳拉紧时的位置偏离孔口中心位置,则可能发生偏孔。不严重时可调整钻架位置继续冲孔纠正,否则应立即停止冲击,抛石回填至卡检孔器的位置 1m 以上左右,重新进行冲孔。

检孔器是用钢筋焊制而成的钢筋笼,其外径等于桩的设计直径,长度为桩径的 4～6 倍。

(五)护筒构造及埋设

护筒的作用是固定桩位,引导钻锥钻孔方向,隔离水流流入孔内,保护孔口不坍孔,并保证孔内水位(泥浆)高出施工水位一定高度,形成向外静水压力,以免孔壁坍孔。

1.护筒构造

护筒内径应比桩的设计直径稍大,一般约增大 20～30cm。常用护筒构造,大致有以下几种。

1)木护筒

木护筒一般用 3cm 厚木板制作,在外围加三道 5cm 厚弧形肋木。为便于拆卸将肋木做成两个半圆,用螺栓夹木板连接,如图 14-48 所示。

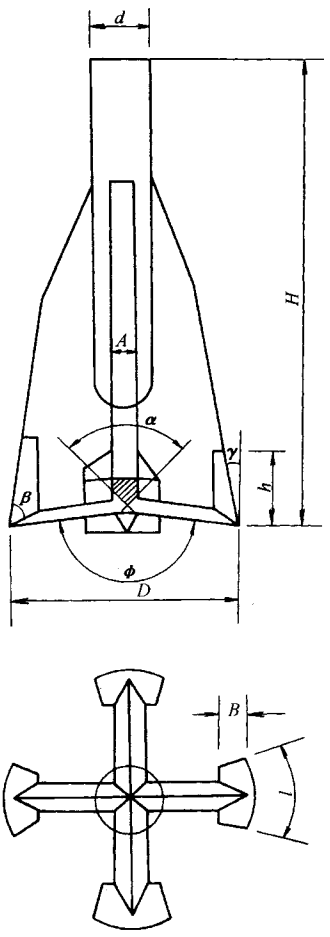


图 14-45　带圆弧十字形冲锥构造示意

2)钢护筒

钢护筒一般用 3～5mm 厚钢板制作。为增加其刚度,可在护筒上、下端的外侧各焊一道加劲肋。有必要时可在中部增设一道加劲肋。须接高护筒时,可在上下两端改用角钢制作法兰盘。钢护筒构造如图 14-49 所示。

钢护筒可以制成整体的也可制成两半圆。两半圆钢护筒在竖向和水平向均设有用角钢制成的法兰,竖向法兰用螺栓互相连接成整圆,水平向法兰用螺栓互相连接后可以逐节接高。

3)钢筋混凝土护筒

其防水性能强,能靠自重或用锤击或振动下沉入土中,是适用于深水的护筒。

图 14-50 所示的钢筋混凝土护筒,内径为 1 500mm,壁厚为 115mm,每节长 2 000mm,重力为 30kN,护筒两端预留 ϕ50mm 深 200mm 孔 6 个,在护筒接高前一端的 ϕ25mm 钢筋插入预留孔中,并灌入硫磺胶泥锚固,用 425kN 振动力下沉。

2.护筒埋设

1)护筒埋设方法

在旱地、浅水及深水处埋设护筒的方法,一般采用挖埋法、筑岛法、平台下沉法几种。

(1)挖埋法适用于旱地护筒埋设。在砂土砂砾等河床埋设护筒时,先在桩位处挖出比护筒外径大 80～100cm 的圆坑,然后在坑底填筑 50cm 左右粘土,分层夯实后埋设护筒;在粘性土河

床埋设护筒时，开挖的圆坑直径与上同，但须坑底整平后再埋设护筒。护筒顶面的高度，应高出地面不小于30cm。

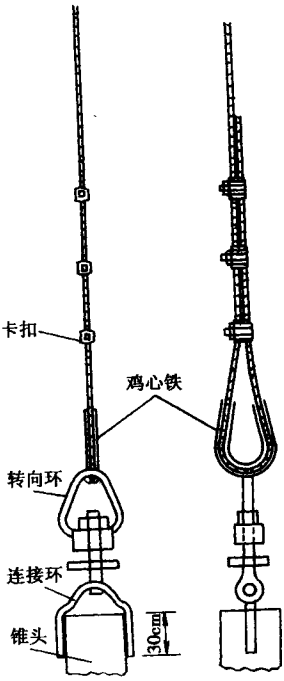


图 14-46　转向装置

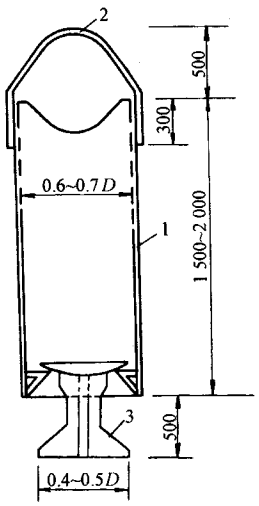


图 14-47　淘渣筒(单位：mm)
1-淘渣筒；2-吊环；3-碗型阀门
注：D 为桩孔直径

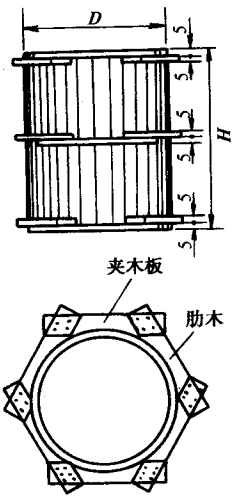


图 14-48　木护筒
(单位：cm)

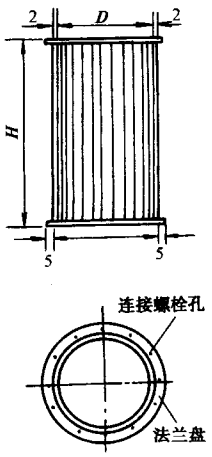


图 14-49　钢护筒
(单位：cm)

(2)筑岛法适用于浅水处护筒埋设。筑岛岛面宜高出水面一般为1.5～2.0m，但亦可加护筒顶面标高，以减少筑岛填土体积。而后可按挖埋法施工。

(3)平台法适用于深水河床护筒埋设。是在搭设的支架平台上下沉护筒，进行施工。

支架平台构造如图14-51所示。

支架平台是由∠100mm × 100mm × 8mm 及∠75mm × 75mm × 5mm 角钢拼焊成7 600mm

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

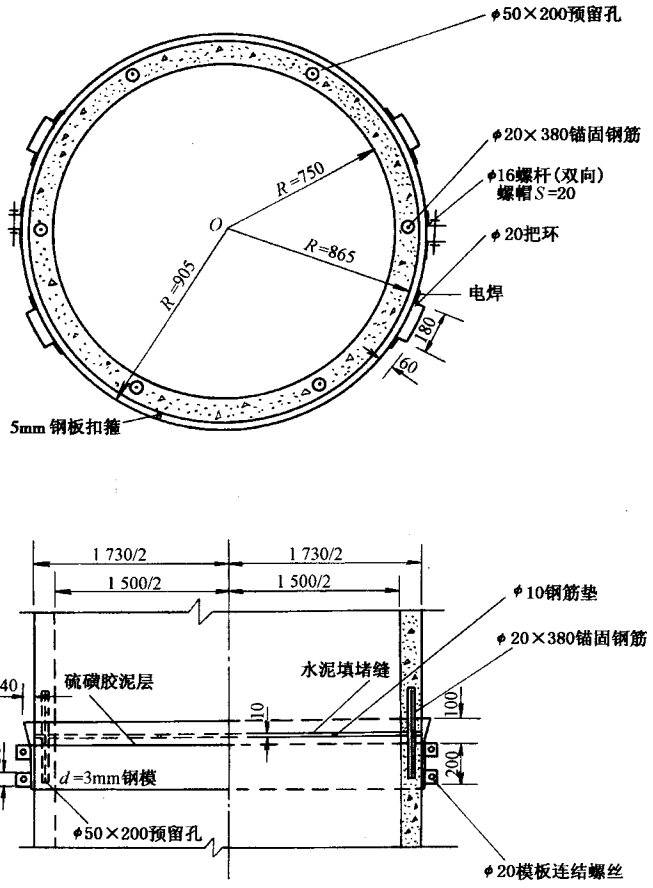


图 14-50　钢筋混凝土护筒构造示意(单位:mm)

3 100mm×2 800mm 的框架及 8 根 ϕ159mm×9 000mm×6mm 钢管制作的活动支腿组成,支腿下部设有 ϕ150mm 的托盘以扩大支撑平面,提高支腿的支撑能力。其总重力为 36.6kN。转移支架平台时,先拔除支腿上部的插销,利用浮吊将框架吊走,然后旋转支腿上部的推杆和锤将支腿拔出。这种支架平台,先作护筒导向架下沉护筒后,再铺上脚手木料用作钻孔的操作平台,效果良好。也可采用木船组拼成工作平台下沉护筒及钻孔。

2)护筒底埋设深度

(1)旱地或浅水处,粘性土的护筒埋置深度为其直径的 1.0~1.5 倍,且不得小于 1.0m;砂土中埋设,可将护筒周围 0.5~1.0m 范围内的砂土挖除,夯填粘土至护筒底以下大于 0.5m;软土、淤泥较厚的河床,应尽可能沉至不透水层;河床内无粘土层,应沉至大砾石、卵石层内 0.5~1.0m。

(2)深水河床及淤泥、砂土河床,护筒底埋设深度 L(见图 14-52)可按式(14-8)确定。

$$L=\frac{(h+H)\gamma-H\gamma_w}{\gamma_d-\gamma} \tag{14-8}$$

式中:L——护筒埋设深度,m;

H——施工水位至河床标高深度,m;

h——护筒内水头,即护筒内水位与施工水位之差,m;

γ——护筒内泥浆密度,kN/m^3;

γ_w——水的密度,kg/m^3;

床埋设护筒时，开挖的圆坑直径与上同，但须坑底整平后再埋设护筒。护筒顶面的高度，应高出地面不小于 30cm。

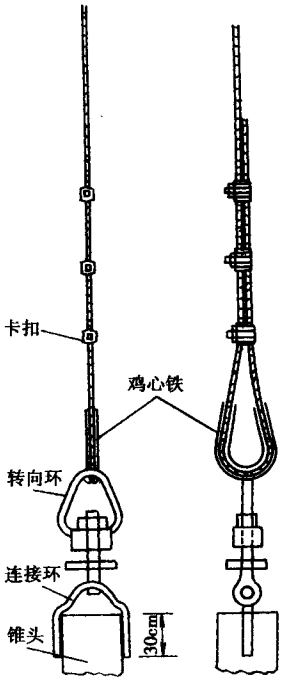


图 14-46　转向装置

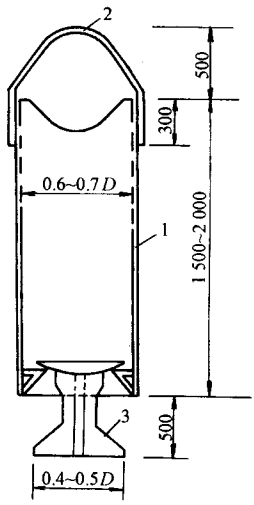


图 14-47　淘渣筒（单位：mm）
1-掏渣筒；2-吊环；3-碗型阀门
注：D 为桩孔直径

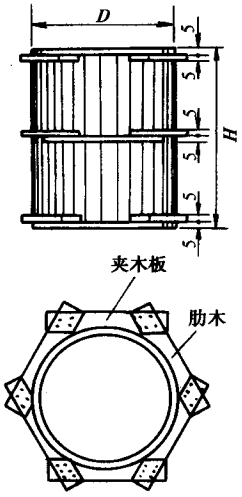


图 14-48　木护筒
（单位：cm）

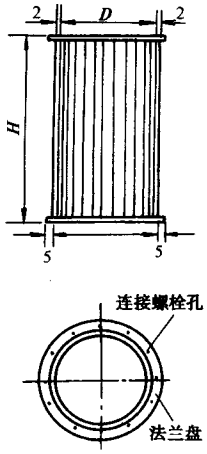


图 14-49　钢护筒
（单位：cm）

（2）筑岛法适用于浅水处护筒埋设。筑岛岛面宜高出水面一般为 1.5～2.0m，但亦可加高护筒顶面标高，以减少筑岛填土体积。而后可按挖埋法施工。

（3）平台法适用于深水河床护筒埋设。是在搭设的支架平台上下沉护筒，进行施工。

支架平台构造如图 14-51 所示。

支架平台是由∠100mm × 100mm × 8mm 及∠75mm × 75mm × 5mm 角钢拼焊成 7 600mm ×

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

γ_d——护筒外河床土的饱和密度，kg/m^3；

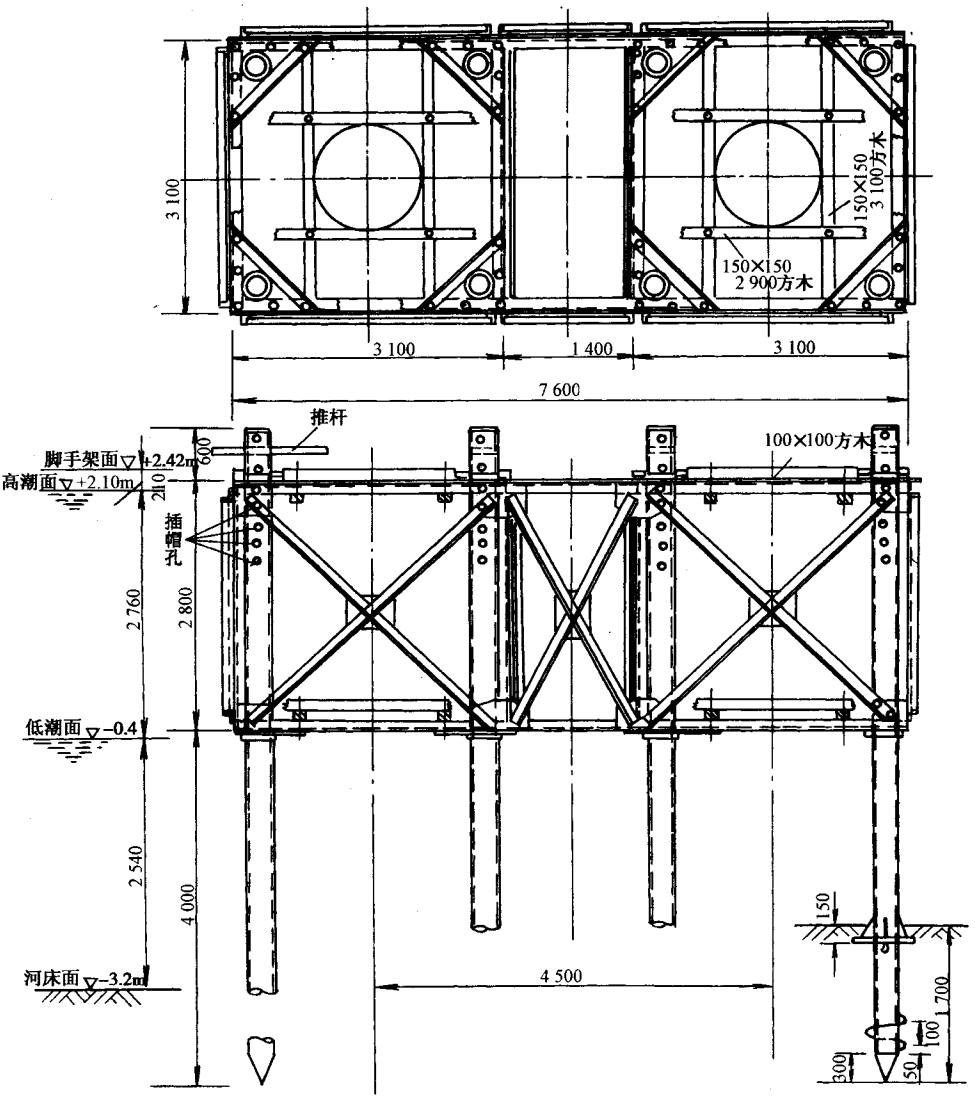


图 14-51　支架平台构造示意(单位：mm)

$$\gamma_d = \frac{\Delta + e}{1 + e} \cdot \gamma_w \qquad (14\text{-}8a)$$

式中：Δ——土的相对密度，砂土平均取 2.65，粘性土平均取 2.70；

e——饱和土的孔隙比，砂土为 0.33 ~ 1.0；粘性土为 0.17 ~ 0.43；软土为 1 ~ 2.3。

当护筒穿过几种不同土时，护筒外河床土的饱和密度平均值按下式计算。

$$\gamma_d = \frac{\sum \gamma_{id} l_i}{\sum l_i} \qquad (14\text{-}8b)$$

式中：γ_d——几种不同土的平均饱和密度，kg/m^3；

γ_{id}——每种不同土的饱和密度，kg/m^3；

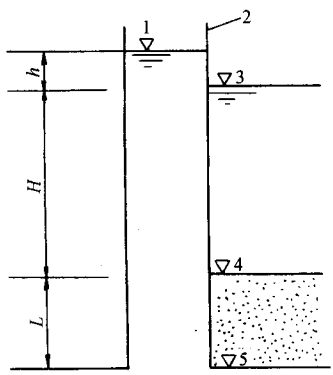


图 14-52　护筒埋设
1-护筒内水(泥浆)位；2-护筒；3-护筒外施工水位；4-河床标高；5-护筒底标高

l_i——每种不同土土层厚度，m。

按式(14-8)计算的 L 值小于 3m 时，采用 3m。为防止河床不均匀土质引起渗透，按式(14-8)计算的 L 值应乘以 1.5～2.0 的安全系数，即实际护筒的埋设深度 $L_s=(1.5\sim2.0)L$。

第三节　桩的设计

一、桩的构造

1.预制混凝土桩

1)钢筋混凝土方桩

钢筋混凝土方桩包括实心桩和空心桩两类，其构造如图 14-53 所示。

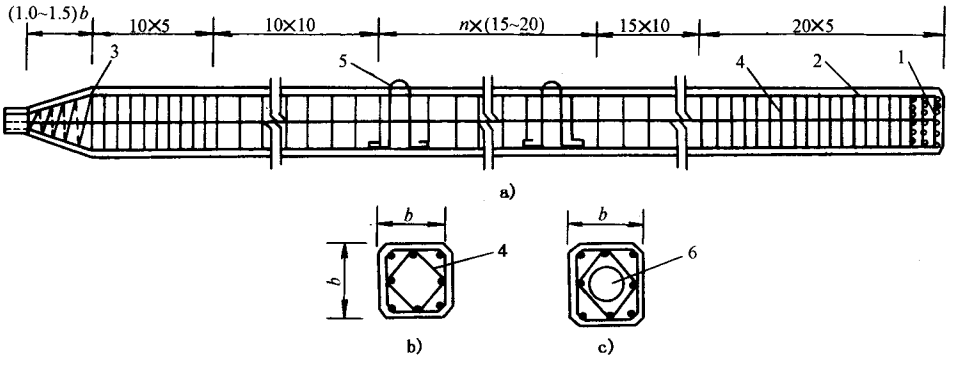


图 14-53　预制钢混凝土方桩构造(单位：cm)

a)桩纵剖面；b)实心桩横截面；c)空心桩横截面

1-桩头钢筋网；2-主钢筋；3-φ6mm 螺旋筋；4-φ6mm 箍筋；5-吊环(一般可不设)；6-桩的空心；n-箍筋间距数

钢筋混凝土方桩桩长在 10m 以内时，桩横截面尺寸小于 35cm×35cm；桩长大于 10m 时，桩横截面尺寸不小于 40cm×40cm；一般空心截面方桩桩长不大于 12m，桩长超过 15m 时，桩的截面应按强度要求确定。

空心方桩截面尺寸为 45cm×45cm 时，其空心直径为 240mm，距桩头 $4b$(b 为方桩边长)、桩底 $3b$(不计桩尖长度)范围内，应做成实心段(预应力混凝土空心方桩相同)。

钢筋混凝土方桩纵筋数量，一般是受桩起吊时所承受的弯曲力矩控制。为了减少纵筋的数量，对于较长的桩，宜采用分节预制，在沉桩时接长。横向箍筋的直径一般为 6mm，其间距大致如图 14-53 所示。桩顶设置 3～4 层钢筋网，钢筋网间距约 5～6cm，并与纵筋相连。桩身混凝土强度不宜低于 25MPa。

2)预应力混凝土方桩

预应力混凝土方桩包括实心桩和空心桩两类，长度为 10～38m，其构造如图 14-54 所示。

预应力混凝土钢筋一般采用 III 级、IV 级冷拉钢筋，其直径为 16mm、20mm、22mm。预应力桩的箍筋间距可以适当加大，一般为 40～50cm，桩头与桩尖部分不宜增大。对于承受较大锤击压应力的桩，箍筋间距宜适当缩小。

预应力混凝土方桩桩身可采用 C40 混凝土。

预应力桩的主要优点是用钢量少，抗裂性高，但需注意正确选定桩的预应力值，防止沉桩过程中发生裂纹或折断的危险。

3)钢筋混凝土管桩

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

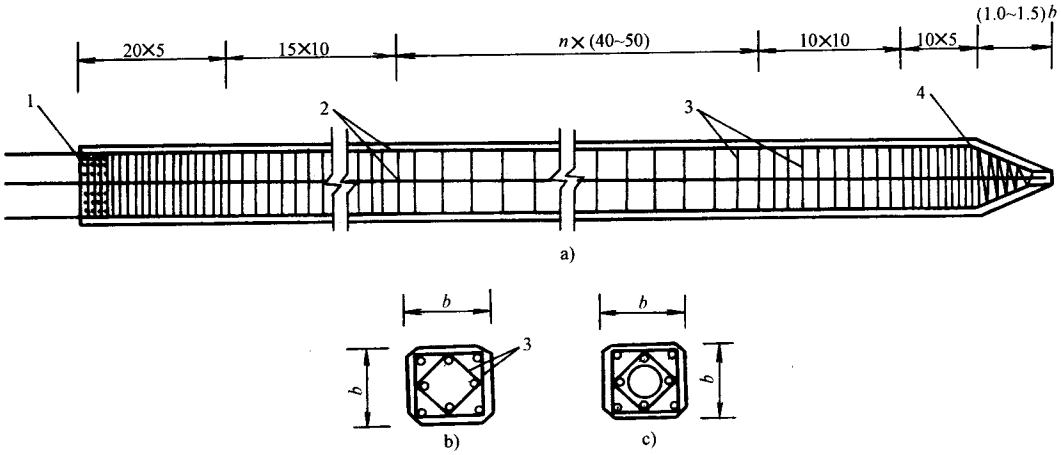


图 14-54　预应力混凝土方桩构造(单位:cm)
a)桩纵截面;b)实心桩横截面;c)空心桩横截面
1-桩头钢筋;2-预应力钢筋;3-ϕ6mm 箍筋;4-ϕ6mm 螺旋筋;n-箍筋间距数

钢筋混凝土管桩的直径一般为 400mm、550mm,纵筋直径为 ϕ22 ~ ϕ24mm,螺旋筋直径为 ϕ6mm,间距为 50mm,桩身混凝土强度不低于 25MPa,每节长约 8 ~ 10m。钢筋混凝土管桩管节构造如图 14-55 所示。

4)预应力混凝土管桩

预应力混凝土管桩直径一般为 400mm 和 550mm,管壁厚度 80 ~ 90mm。预应力主筋为Ⅳ级 ϕ12mm 冷拉钢筋,螺旋筋直径为 ϕ5mm,间距为 50mm,混凝土强度不小于 45MPa。预应力混凝土管桩管节的构造如图 14-56 所示。

2.钢管桩构造

钢管桩的直径一般为 250 ~ 1 200mm,管壁厚为 8 ~ 20mm,长度可达 46m;ϕ250 ~ ϕ300mm 小型钢管桩可采用无缝钢管,长大钢管桩可采用纵缝焊制的焊接钢管;直径小于 450mm 者可用锥形桩靴,较大者可用开口钢靴。

钢管桩的桩靴形状如图 14-57 所示。

钢管桩的质量可近似地按式(14-9)计算。

$$m = 0.02466t(D - t) \tag{14-9}$$

式中:D——外径,mm;

t——管壁厚度,mm;

m——每米质量,kg。

钢管桩分段长度不宜大于 15m,并考虑施工及地质条件等确定。

二、桩的承载力计算

1.锤击沉桩动力公式

计算桩承载力的动力公式甚多,其中在国内广泛采用的有前苏联格尔谢万诺夫(H.M.ГеРсевaНов)公式及英国希利(Hiley)公式。希利公式是在 1930 年提出的,其他有些动力公式也是由此式改变而得。现将希利公式列出,供使用。

$$[P] = \frac{f_1}{m} \times \frac{f_2 E}{e + c/2} \tag{14-10}$$

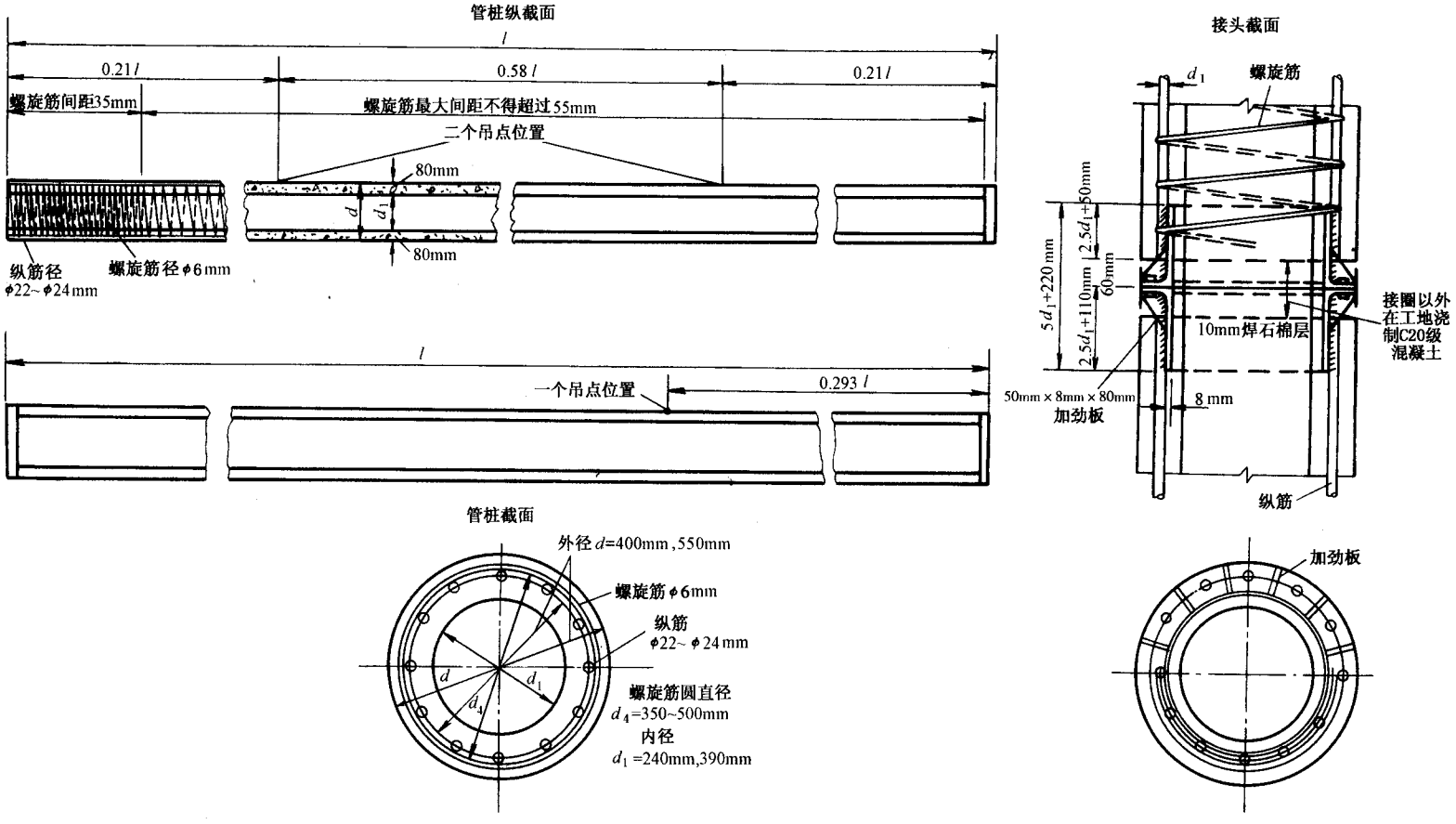


图 14-55　钢筋混凝土管桩管节构造

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中：[P]——桩的容许承载力，kN；

m——安全系数，一般采用3；

E——一次冲击能，kJ；查桩锤产品说明书，如无资料时，可按下列规定采用：

坠锤、单作用汽锤　　$E = QH$；

双作用汽锤　　$E = (AP + Q)H$；

筒式柴油锤　　$E = 2QH$；

Q——锤的冲击部分重力，kN；

H——锤的冲击部分落高，m；

A——气缸面积，m^2；

P——气体压力，kPa；

e——最终贯入度，坠锤、单作用汽锤最终锤击平均下沉量，m/击；柴油锤、双作用汽锤，m/min；

c——桩、土和桩帽三者弹性压缩量之和，cm；$c = c_1 + c_2 + c_3$；c_1(桩的弹性压缩量)、c_2(土的弹性压缩量)均用现场实测值，测量方法见图14-58；c_3(桩帽的弹性压缩量)也用实测值，如无资料时，可按表14-16选用；

f_1——锤的机械效率，筒式柴油锤为0.7；双作用汽锤为0.9；坠锤为0.5；

f_2——锤击效率，$f_2 = (Q + k^2 q)/(Q + q)$；

q——桩、桩帽及锤的非冲击部分重力，kN；

k——恢复系数，按下列情况取值：

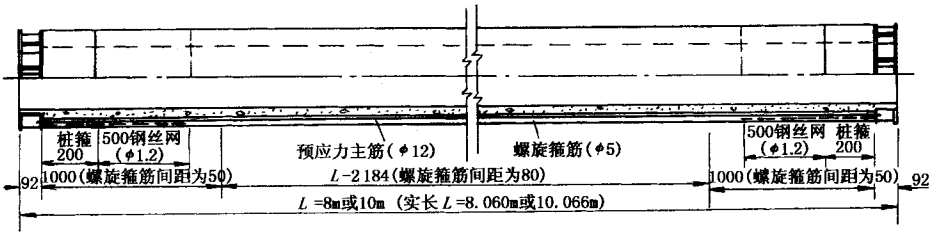
直接锤击钢桩，$k = 1.00$；

桩头上有钢垫层，$k = 0.55$；

桩头上有钢垫层及硬木垫层，$k = 0.40$；

混凝土桩上有木垫层，$k = 0.25$；

极软垫层(完全非弹性)，$k = 0$。



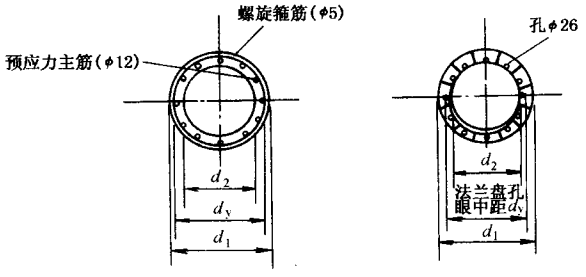


图14-56　预应力混凝土管桩管节构造图(单位：mm)

d_1-管桩外径；d_2-管桩内径；d_y-管桩中心线圆周直径

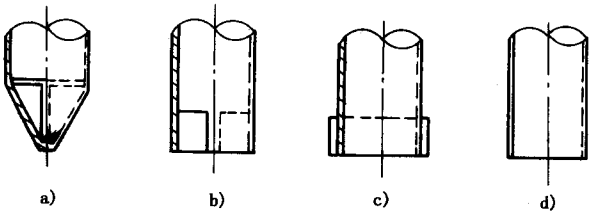


图 14-57　钢管桩桩靴形状

a)圆锥型;b)十字板补强型;c)补强圈型;d)平面端型

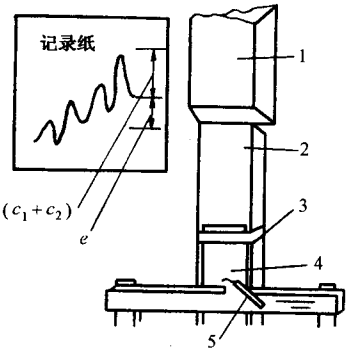


图 14-58　c_1、c_2 值实测示意

1-锤;2-桩;3-固定记录纸的纸带;4-硬面光滑纸;5-走笔

桩帽的弹性压缩量 c_3　　表 14-16

桩类型	锤击沉桩时桩帽的压应力 (kPa) / 桩帽的弹性压缩量 (cm) / 桩帽情况	易沉的 3 500	一般的 7 000	难沉 10 500	极难沉 14 000
钢筋混凝土桩及预应力混凝土桩	有 8～10cm 厚木质锤垫	0.13	0.25	0.38	0.50
	有 8～10cm 厚木质桩垫	0.18	0.38	0.56	0.76
	有 1.3～2.5cm 厚桩衬垫	0.06	0.13	0.19	0.25
钢桩	有钢皮包着的木质垫层	0.10	0.20	0.30	0.40
	直接冲击桩顶	0	0	0	0
木桩	直接冲击桩顶	0.13	0.25	0.38	0.50

注:同时使用锤垫和桩垫者,表列两值须叠加。

各种锤击沉桩动力公式都有一定的局限性,往往一种公式仅适用于某一地区、某一类型的桩和某一沉桩方法,如果选定的使用公式在指定的地质条件下按静载试验的结果验证或调整公式中的参数后,则该动力公式对该种地质的使用应该是合理可靠的。

2.振动沉桩动力公式

振动沉桩动力公式计算桩的承载力,目前尚缺乏完善的方法。现将前苏联 Б·П·塔尔尼可夫建议公式列出,供参考。

$$[P]=\frac{1}{m}\left[\frac{\alpha(N_0-N_a)}{1+\beta v}\right]+Q \tag{14-11}$$

式中:$[P]$——桩的容许承载力,kN;

m——安全系数,永久性结构一般不小 2;临时性结构一般不小于 1.5;对于超静定结构酌情适当增加;

N_0——沉桩将达到规定标高前,下沉速度为 0～5cm/min 时所需的有效功率,kW;

即 $N_0=\dfrac{60\bar{n}}{t}\eta$;

$\bar{n}$——电表读数,kW·h;

t——测定时间,min;

η——电动机有效系数;

N_a——振动沉桩机无负荷时电动机功率,kW;

v——沉桩最后下沉速度,cm/min;

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

Q——振动体系重力，它包括、桩帽、振动沉桩机、机座及其他附加重力，kN；

α——土性质影响系数，由振动沉桩机类型及桩的结构不同而异；

β——沉桩速度影响系数。

α、β 系数应根据试验资料确定，即需经过两根以上的试桩，测记上式中的其他数值，列出以 α、β 为未知数的联立方程式求解得出。用 17.5t 型振动沉桩机下沉 35cm × 35cm、40cm × 40cm 的钢筋混凝土方桩求得 α、β 值，见表 14-17。

α、β 系数值 表 14-17

土的类别	α	β
饱和砂	57	0.15
略具塑性粘土	20	0.17
略具塑性砂质粘土	25	0.15
塑性砂质粘土	46	0.15

3.按土的阻力计算单桩容许承载力

1)锤击、振动沉桩单桩容许承载力

$$[P]=\frac{1}{2}(U\sum\alpha_i l_i\tau_i+\alpha A\sigma_R) \tag{14-12}$$

式中：$[P]$——单桩轴向受压容许承载力，当荷载组合 II、III、IV、V 时，提高 25%；

U、A——分别为桩的周长，m；桩底面积，m^2；

l_i——承台底面或局部冲刷线以下各层土的厚度，m；

τ_i——与 l_i 对应的各层土与桩壁的极限摩擦力，kPa；可按表 14-18 采用；

σ_R——桩尖土的极限承载力，kPa；可按表 14-19 采用；

α_i、α——分别为振动沉桩时各土层摩擦力和桩底承压力的影响系数，按表 14-20 采用；锤击沉桩时 α_i、α 均采用 1.0。

沉桩桩周土的极限摩阻力 τ_i 值 表 14-18

土类	状态	极限摩阻力 τ_i(kPa)
粘性土	$1.5\geqslant I_L\geqslant 1$	15 ~ 30
	$1\geqslant I_L\geqslant 0.75$	30 ~ 45
	$0.75\geqslant I_L\geqslant 0.5$	45 ~ 60
	$0.5> I_L\geqslant 0.25$	60 ~ 75
	$0.25> I_L\geqslant 0$	75 ~ 85
	$0> I_L$	85 ~ 95
粉细砂	稍松	20 ~ 35
	中密	35 ~ 65
	密实	65 ~ 80
中砂	中密	55 ~ 75
	密实	75 ~ 90
粗砂	中密	70 ~ 90
	密实	90 ~ 105

注：表中 I_L 为土的液性指数，系按 76g 平衡锥测定的数值；

沉桩桩尖处土的极限承载力 σ_R 值　　表 14-19

土　类	状　态	桩尖进入持力层的相对深度		
		$\frac{h'}{d}<1$	$4>\frac{h'}{d}\geqslant 1$	$\frac{h'}{d}\geqslant 4$
粘性土	$I_L\geqslant 1$	1 000		
	$I>I_L\geqslant 0.65$	1 600		
	$0.65>I_L\geqslant 0.35$	2 200		
	$0.35>I_L$	3 000		
粉　砂	中　密	2 500	3 000	3 500
	密　实	5 000	6 000	7 000
细　砂	中　密	3 000	3 500	4 000
	密　实	5 500	6 500	7 500
中、粗砂	中　密	3 500	4 000	4 500
	密　实	6 000	7 000	8 000
圆砾石	中　密	4 000	4 500	5 000
	密　实	7 000	8 000	9 000

注：表中 h' 为桩尖进入持力层的深度(不包括桩靴)；d 为桩的直径或边长。

系数 α_i、α 值　　表 14-20

α_i、α 土类 / 桩径或边长 d(m)	粘土	砂粘土	粘砂土	砂土
$0.8\geqslant d$	0.6	0.7	0.9	1.1
$2.0\geqslant d>0.8$	0.6	0.7	0.9	1.0
$d>2.0$	0.5	0.8	0.7	0.9

2)钻孔桩单桩容许承载力

$$[P]=\frac{1}{2}(Ul\tau_p+A\sigma_R) \tag{14-13}$$

式中：$[P]$——单桩轴向受压容许承载力，kN；当按表 14-21 中的 τ_i 值计算时，在局部冲刷线以下桩身重力的 1/2 作为外力考虑；当荷载组合 II、III、IV、V 时可提高 25%；

U——桩的周长，m；按成孔直径计算；

l——局部冲刷线以下桩的有效长度，m；

A——桩底面积，m^2；按设计直径计算；

τ_p——桩壁土平均极限摩擦力，kPa；可按下式计算：

$$\tau_p=\frac{1}{l}\sum_{i=1}^{n}\tau_i l_i \tag{14-14}$$

式中：n——土的层数；

l_i——承台底面或局部冲刷线以下各土层的厚度，m；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

τ_i——与 l_i 对应的各层土与桩壁的极限摩擦力，kPa；按表 14-21 采用；

σ_R——桩底处土的极限承载力，kPa；按下式计算：

$$\sigma_R = 2m_0\lambda\{[\sigma_0] + k\gamma(h' - 3)\} \tag{14-15}$$

式中：$[\sigma_0]$——桩底处土的容许承载力，kPa；

h'——桩底埋设深度，m；有冲刷时由一般冲刷线计起，无冲刷时由天然地面算起，h' 值超过 40m 时按 40m 计算；

k——土承载力的修正系数，可按表 14-22 采用；

γ——桩底土容重，kN/m^3；

λ——修正系数，见表 14-23；

m_0——清底系数，可按表 12-24 采用。

钻孔桩桩周土的极限摩阻力 τ_i 值 表 14-21

土　　类	极限摩阻力 τ_i(kPa)
回填的中密炉渣、粉煤灰	40～60
流塑粘土、亚粘土、亚砂土	20～30
软塑粘土	30～50
硬塑粘土	50～80
硬 粘 土	80～120
软塑亚粘土、亚砂土	35～55
硬塑亚粘土、亚砂土	55～85
粉砂、细砂	35～55
中　　砂	40～60
粗砂、砾砂	60～140
砾石(圆砾、角砾)	120～180
碎石、卵石	160～400

注：①漂石、块石(含量占 40%～50%，粒径一般为 300～400mm)可按 600kPa 采用；

②砂土可根据密实度选用其大值或小值；

③圆砾、角砾、碎石和卵石可根据密实度和填充料选用其大值或小值；

④挖孔桩的极限摩阻力可参照本表采用。

土的容许承载力深度修正系数 表 14-22

土的类别 / 系数	粘性土		砂　土								碎石土			
	I_L	I_L	粉砂		细砂		中砂		砾砂、粗砂		碎石、砾石		卵石	
	≥0.5	<0.5	中密	密实	中密	密实	中密	密实	中密	密实	中密	密实	中密	密实
k	1.5	2.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.0	5.5	5.0	6.0	5.0	6.0	6.0	10.0

λ 值 表 14-23

桩底土 / h/d	4～20	20～25	>25
透水性土	0.70	0.70～0.85	0.85
不透水性土	0.65	0.65～0.72	0.72

注：h——桩入土深度，m；

d——桩径，m。

清底系数 m_0 值　　表 14-24

t/d	0.6～0.3	0.3～0.1
m_0	0.25～0.70	0.70～1.0

注：①$t/d \leqslant 0.4$，不得已时才可采用 $0.4 < \frac{t}{d} \leqslant 0.6$；

②t、d 为桩底泥浆沉淀厚度和桩的直径。

4.按静力触探试验计算单桩容许承载力

$$[P] = \frac{1}{2}(U\sum \alpha_i l_i \tau_i' + \alpha A \sigma_R') \tag{14-16}$$

采用静力触探试验值时，式(14-16)的 τ_i' 和 σ_R' 按下式计算：

$$\tau_i' = \beta_1 \bar{\tau}_i \tag{14-17a}$$

$$\sigma_R' = \beta \bar{\sigma}_R \tag{14-17b}$$

式中：$\bar{\tau}_i$——桩侧第 i 层的静力触探测得的平均局部侧摩擦力，kPa；当 $\bar{\tau}_i$ 小于 5kPa 时，采用 5kPa；

$\bar{\sigma}_R$——桩尖(不包括桩靴)标高以上和以下各 $4d$(d 为直径或边长)范围内静力触探端阻的平均值，kPa；若桩尖标高以上 $4d$ 范围内的端阻平均值大于桩尖以下 $4d$ 的端阻平均值时，则 $\bar{\sigma}_R$ 取桩尖以下 $4d$ 的端阻平均值；

β_1、β——分别为侧摩擦和端阻的综合修正系数，其值按下列判别标准选用相应的计算公式：

当土层的 $\bar{\sigma}_R$ 大于 2 000kPa，且 $\bar{\sigma}_i/\bar{\sigma}_R$ 等于或小于 0.014 时：

$$\beta_1 = 5.067(\bar{\tau}_i)^{-0.45} \tag{14-18a}$$

$$\beta = 3.975(\bar{\sigma}_R)^{-0.25} \tag{14-18b}$$

如不满足上述 $\bar{\sigma}_R$ 和 $\bar{\tau}_i/\bar{\sigma}_R$ 条件时，则

$$\beta_1 = 10.45(\bar{\tau}_i)^{-0.55} \tag{14-18c}$$

$$\beta = 12.064(\bar{\sigma}_R)^{-0.35} \tag{14-18d}$$

式(14-16)中其余符号的意义与式(14-12)相同。

5.按动测法检测桩的承载力

动测法可分为高应变和低应变两种方法，主要是根据作用于桩顶的能量能否较好地激发土的强度而划定。

1)高应变法作用于桩顶的能量较大，能接近或达到桩的实际应力强度，使桩周和桩尖土的强度得到较大的发展。因此，采用较合理的计算模式和精确测定桩—土系统响应信号，可以较准确地测得单桩的承载力。其理论依据比较充足。采用高应变法测定单桩极限承载力方法如锤击贯入法、PID 法等。

锤击贯入法是用重锤按规定的落高对桩顶施加冲击力，通过桩顶的传感器及动态应变仪，最后由光线示波器测得桩顶锤击力，同时用百分表量测桩在锤击作用下所发生的贯入度。通过上述测得的数据，经计算整理，模仿静载试验采用 $P-S$ 曲线一样，得出桩的极限承载力。

PID 法是瑞典打桩技术发展公司发明的，其主要功能除检测桩的完整性和估算桩的承载力外，还可以测定打桩时桩身的锤击应力。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

常用的高应变动测法确定单桩承载力方法有锤击贯入法、重锤动荷载法、TNO 法、PDA 法、PIO 法等，具体内容参见有关资料。

2)低应变法作用于桩顶的能量较小，不能克服桩底土的阻力产生贯入度，即不能充分激发土的强度，但检测桩身完整性是较好的方法。目前用低应变动测法确定单桩的容许承载力，主要通过下列两种方法。

(1)用动刚度参数计算单桩容许承载力，公式如下：

$$[P] = \frac{E_D}{\eta} S_a \tag{14-19}$$

式中：$[P]$——单桩容许承载力；

E_D——桩的动刚度；

η——静动刚度对比系数，其值在 0.9～2.0 之间；

S_a——单桩承载力对应的沉降量，其变化范围较大，与桩型、桩的细长比、土质情况和端、测阻比例等因素有关。

采用的刚度参数确定单桩容许承载力的方法如桩基阻抗法等。

(2)由桩顶实测振动参数如振幅、动力等，然后和承载力进行相关分析获得单桩承载力的经验公式，如水电效应法等。

现常用的低应变动测法确定单桩容许承载力的方法有桩基参数法、机械阻抗法、水电效应法等，具体内容参见有关资料。

3)根据目前比较一致的看法，认为低应变动测法用来检测桩的缺陷是比较可靠的。高应变动测法能获得桩的极限承载力，而低应变只能测得桩的容许承载力或临界承载力。

三、桩的内力和变位计算

(一)单桩和单排桩

1.基本假定

1)将土视为弹性变形介质，假定地基系数在地面或局部冲刷线处为零，然后随深度成正比例增大。即 $c = my$，其中 c 为地基系数；m 为土的比例系数；y 为深度。

2)计算公式的推导不考虑桩与土之间的粘结力和摩擦力。

3)桩的刚度按弹性桩考虑，即要求 $h > \frac{2.5}{\alpha}$（h 为桩入土深度；α 为桩的变形系数），并且不考虑桩端地基竖向抗力的作用，若桩端支立于岩面上时，则要求桩的入土深度 $h \geqslant \frac{3.5}{\alpha}$。

2.桩身内力和变位计算

1)桩的计算宽度

单桩或与作用外力相垂直的单排桩，基构造及桩的计算宽度如图 14-59 所示。

桩的计算宽度 b_1 可按下列规定计算。

(1)当单桩直径 d 或宽度 $b \geqslant 1.0$m 时：

圆形桩计算宽度 $b_1 = 0.9(d + 1)$；

方形桩计算宽度 $b_1 = b + 1$。

(2)当单桩直径 d 或宽度 $b < 1.0$m 时：

圆形桩计算宽度 $b_1 = 0.9(1.5d + 0.5)$；

方形桩计算宽度 $b_1 = 1.5b + 0.5$。

(3)与作用力相垂直的同一平面内由 n 根桩组成的单排桩时,其计算宽度等于 n 乘上述(1)、(2)各计算宽度,但不得大于 $B+1\text{m}$,其中 B 如图 14-59b)所示。

2)桩身内力和变位计算

地面或局部冲刷线以下任一深度处桩身内力弯矩 M_y、剪力 Q_y 和桩身变位水平位移 X_y、转角 φ_y 可按下列各式计算:

$$M_y = \frac{Q_0}{\alpha}A_M + M_0 B_M \tag{14-20}$$

$$Q_y = Q_0 A_Q + \alpha M_0 B_Q \tag{14-21}$$

$$X_y = \frac{Q_0}{\alpha^3 EI}A_X + \frac{M_0}{\alpha^2 EI}B_X \tag{14-22}$$

$$\varphi_y = \frac{Q_0}{\alpha^2 EI}A_\varphi + \frac{M_0}{\alpha EI}B_\varphi \tag{14-23}$$

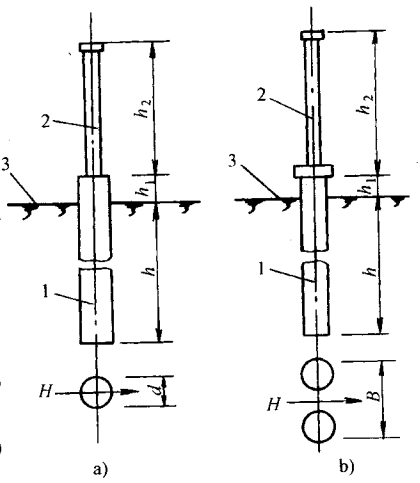


图 14-59 单桩、单排桩构造及桩计算宽度示意

a)单桩;b)单排桩

1-桩;2-桩柱;3-地面或局部冲刷线

式中:Q_0、M_0——作用于地面或局部冲刷线处桩身截面的剪力和弯矩;

α——桩的变形系数;

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_1}{EI}} \tag{14-24}$$

其中:b_1——桩的计算宽度;

m——非岩石类土的比例系数,见表 14-25;

EI——桩身弹性模量和桩截面惯性矩乘积(抗弯刚度),一般 EI 可采用 $0.8E_hI$,E_h 为混凝土受压弹性模量。

非岩石类土的比例系数 m 和 m_0 值 表 14-25

序号	土类	m、m_0(kN/m^4)
1	流塑粘性土 $I_L \geqslant 1$,淤泥	3 000 ~ 5 000
2	软塑粘性土 $1 > I_L \geqslant 0.5$,粉砂	5 000 ~ 10 000
3	硬塑粘性土 $0.5 > I_L \geqslant 0$,细砂、中砂	10 000 ~ 20 000
4	坚硬、半坚硬粘性土、粗砂	20 000 ~ 30 000
5	砾砂、角砾、圆砾、碎石、卵石	30 000 ~ 80 000
6	密实卵石夹粗砂、密实漂卵石	80 000 ~ 120 000

注:①本表可用于结构在地面处位移最大值不超过 6mm 时的情况;当位移较大时,应适当降低;

②当桩侧面为数种土层时,应将地面或局部冲刷线以下 $h_m = 2(d+1)$ 深度内的各层土按下列公式换算成一个 m 值,作为整个深度的 m 值;式中 d 为桩直径。

当 h_m 深度内有两层不同土时:

$$m = \frac{m_1 h_1^2 + m_2(2h_1 + h_2)h_2}{h_m^2}$$

当 h_m 深度内有三层不同土时:

$$m = \frac{m_1 h_1^2 + m_2(2h_1 + h_2)h_2 + m_3(2h_1 + 2h_2 + h3)h_3}{h_m^2}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

A_M、B_M、A_Q、B_Q、A_X、B_X、A_φ、B_φ 均为 $\bar{h}(\bar{h}=\alpha y)$、$\alpha h$ 的函数，h 为桩的入土深度，当 $\alpha h>4$ 时按 $\alpha h=4$ 计算。以上各系数，可相应地查表 14-26～表 14-29。

3)墩顶水平位移计算

墩顶水平位移计算图式如图 14-60 所示。

墩顶水平位移 Δ 可按下式计算：

$$\Delta = X_0 - \varphi_0(h_1+h_2) + \Delta_0 \tag{14-25}$$

式中：X_0——地面或局部冲刷线处桩的水平位移，可根据式(14-22)计算；

φ_0——地面或局部冲刷线处桩的转角；以顺时针方向为负，反时针方向为正；可根据式(14-23)计算；

h_1——地面或局部冲刷以上桩的高度；

h_2——桩顶至墩高度；

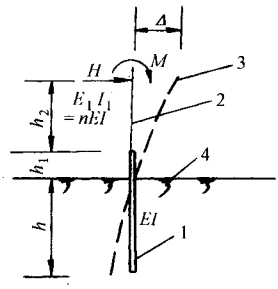


图 14-60 墩顶水平位移计算图式

1-桩；2-桩柱；3-变位后桩和桩柱轴线；4-地面或局部冲刷线；H、M-墩顶水平力、弯矩

Δ_0——地面或局部冲刷线以上桩和桩柱部分由弹性挠曲引起的墩顶水平位移；

$$\Delta_0 = \frac{H}{E_1I_1}\left[\frac{1}{3}(nh_1^3+h_2^3)+nh_2h_1(h_1+h_2)\right] + \frac{M}{2E_1I_1}\left[h_2^2+nh_2(2h_2+h_1)\right] \tag{14-26}$$

式中：E_1I_1——桩柱抗弯刚度；

n——桩柱与桩抗弯刚度比，$n=E_1I_1/EI$。

系数 A_M、B_M 值 表 14-26

换算深度 $\bar{h}=\alpha y$	A_M						B_M					
	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$
0.0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0.1	0.100	0.100	0.100	0.100	0.099	0.099	1	1	1	1	1	1
0.2	0.197	0.197	0.197	0.196	0.196	0.196	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
0.3	0.290	0.290	0.289	0.288	0.287	0.286	0.994	0.994	0.993	0.993	0.992	0.991
0.4	0.377	0.377	0.375	0.373	0.371	0.367	0.986	0.986	0.985	0.984	0.982	0.980
0.5	0.458	0.456	0.452	0.449	0.445	0.439	0.975	0.974	0.972	0.970	0.967	0.962
0.6	0.529	0.527	0.521	0.515	0.508	0.498	0.959	0.958	0.954	0.951	0.946	0.939
0.7	0.592	0.589	0.579	0.571	0.560	0.544	0.938	0.937	0.932	0.927	0.919	0.907
0.8	0.646	0.641	0.626	0.614	0.599	0.577	0.913	0.912	0.904	0.897	0.886	0.869
0.9	0.689	0.683	0.662	0.646	0.625	0.596	0.884	0.882	0.871	0.861	0.847	0.824
1.0	0.723	0.715	0.687	0.666	0.638	0.601	0.851	0.848	0.834	0.821	0.802	0.773
1.1	0.747	0.736	0.700	0.675	0.639	0.593	0.814	0.811	0.792	0.776	0.751	0.716
1.2	0.762	0.748	0.703	0.671	0.628	0.572	0.774	0.770	0.747	0.727	0.697	0.654

续上表

换算深度 $\bar{h}=\alpha y$	A_M						B_M					
	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$
1.3	0.768	0.750	0.696	0.657	0.606	0.539	0.732	0.726	0.698	0.674	0.638	0.587
1.4	0.765	0.743	0.678	0.633	0.573	0.497	0.687	0.680	0.646	0.618	0.576	0.518
1.5	0.755	0.729	0.652	0.600	0.531	0.445	0.641	0.633	0.593	0.560	0.512	0.447
1.6	0.737	0.707	0.618	0.558	0.481	0.387	0.594	0.584	0.538	0.501	0.447	0.375
1.7	0.714	0.638	0.577	0.510	0.426	0.325	0.546	0.535	0.483	0.441	0.382	0.305
1.8	0.685	0.644	0.530	0.456	0.365	0.260	0.499	0.486	0.427	0.381	0.318	0.237
1.9	0.651	0.604	0.478	0.399	0.303	0.196	0.452	0.437	0.372	0.322	0.256	0.174
2.0	0.614	0.561	0.423	0.339	0.240	0.136	0.407	0.390	0.319	0.266	0.198	0.118
2.2	0.532	0.466	0.308	0.218	0.123	0.039	0.320	0.300	0.218	0.163	0.097	0.033
2.4	0.443	0.365	0.195	0.110	0.035	0	0.243	0.218	0.131	0.078	0.027	0
2.6	0.355	0.266	0.097	0.031	0		0.176	0.148	0.062	0.021	0	
2.8	0.270	0.174	0.027	0			0.120	0.090	0.016	0		
3.0	0.193	0.095	0				0.076	0.046	0			
3.5	0.051	0					0.014	0				
4.0	0						0					

注：表中 h 为桩的入土全长，当 $\alpha h>4.0$ 时，按 $\alpha h=4.0$ 计算。

系数 A_Q、B_Q 值 表 14-27

换算深度 $\bar{h}=\alpha y$	A_Q						B_Q					
	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$
0.0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0.1	0.988	0.988	0.987	0.986	0.985	0.983	-0.008	-0.008	-0.008	-0.009	-0.010	-0.011
0.2	0.956	0.954	0.950	0.947	0.942	0.936	-0.028	-0.028	-0.031	-0.033	-0.036	-0.041
0.3	0.905	0.902	0.893	0.886	0.876	0.862	-0.058	-0.059	-0.064	-0.068	-0.075	-0.086
0.4	0.839	0.835	0.819	0.807	0.790	0.767	-0.096	-0.097	-0.105	-0.112	-0.124	-0.142
0.5	0.761	0.755	0.731	0.714	0.689	0.655	-0.137	-0.140	-0.152	-0.163	-0.180	-0.206
0.6	0.675	0.665	0.633	0.609	0.576	0.530	-0.182	-0.185	-0.202	-0.217	-0.240	-0.275
0.7	0.582	0.569	0.528	0.497	0.454	0.397	-0.227	-0.231	-0.252	-0.272	-0.301	-0.345
0.8	0.485	0.469	0.417	0.379	0.327	0.259	-0.271	-0.276	-0.303	-0.327	-0.363	-0.415
0.9	0.387	0.367	0.304	0.259	0.199	0.119	-0.312	-0.319	-0.351	-0.379	-0.422	-0.482

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

换算深度 $\bar{h}=\alpha y$	A_Q						B_Q					
	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$
1.0	0.289	0.265	0.192	0.140	0.071	-0.017	-0.351	-0.358	-0.396	-0.429	-0.476	-0.544
1.1	0.193	0.165	0.081	0.023	-0.053	-0.148	-0.384	-0.393	-0.437	-0.473	-0.526	-0.599
1.2	0.102	0.069	-0.025	-0.088	-0.170	-0.270	-0.413	-0.424	-0.472	-0.512	-0.568	-0.645
1.3	0.015	-0.022	-0.125	-0.193	-0.278	-0.379	-0.437	-0.449	-0.502	-0.544	-0.603	-0.681
1.4	-0.066	-0.107	-0.218	-0.289	-0.376	-0.474	-0.455	-0.468	-0.525	-0.570	-0.630	-0.704
1.5	-0.140	-0.185	-0.303	-0.375	-0.460	-0.550	-0.467	-0.482	-0.542	-0.588	-0.646	-0.715
1.6	-0.206	-0.255	-0.378	-0.450	-0.530	-0.607	-0.474	-0.489	-0.553	-0.597	-0.653	-0.711
1.7	-0.264	-0.317	-0.442	-0.11	-0.582	-0.640	-0.475	-0.492	-0.556	-0.599	-0.648	-0.692
1.8	-0.313	-0.370	-0.496	-0.559	-0.616	-0.647	-0.471	-0.489	-0.553	-0.592	-0.632	-0.655
1.9	-0.355	-0.415	-0.537	-0.591	-0.630	-0.626	-0.462	-0.481	-0.543	-0.577	-0.603	-0.600
2.0	-0.388	-0.450	-0.565	-0.607	-0.621	-0.574	-0.449	-0.468	-0.526	-0.553	-0.562	-0.526
2.2	-0.432	-0.495	-0.581	-0.584	-0.531	-0.366	-0.412	-0.431	-0.474	-0.476	-0.438	-0.311
2.4	-0.447	-0.506	-0.538	-0.483	-0.329	0	-0.363	-0.381	-0.395	-0.361	-0.253	0
2.6	-0.437	-0.484	-0.431	-0.292	0		-0.307	-0.321	-0.291	-0.203		
2.8	-0.406	-0.431	-0.255	0			-0.249	-0.255	-0.160	0		
3.0	-0.361	-0.347	0				-0.191	-0.184	0			
3.5	-0.200	0					-0.067	0				
4.0	0						0					

注：表中 h 为桩的入土全长，当 $\alpha h>4.0$ 时，按 $\alpha h=4.0$ 计算。

系数 A_X、B_X 值 表 14-28

换算深度 $\bar{h}=\alpha y$	A_Q						B_Q					
	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$
0.0	2.441	2.502	2.727	2.905	3.163	3.526	1.621	1.641	1.758	1.869	2.048	2.327
0.1	2.279	2.338	2.551	2.718	2.958	3.293	1.451	1.470	1.581	1.686	1.852	2.109
0.2	2.118	2.175	2.376	2.533	2.754	3.062	1.291	1.309	1.414	1.512	1.666	1.901
0.3	1.959	2.014	2.204	2.349	2.553	2.832	1.141	1.159	1.257	1.348	1.489	1.704
0.4	1.803	1.856	2.034	2.168	2.354	2.605	1.001	1.018	1.110	1.194	1.323	1.516
0.5	1.650	1.702	1.868	1.991	2.159	2.382	0.870	0.887	0.973	1.050	1.166	1.338
0.6	1.503	1.552	1.707	1.818	1.968	2.164	0.750	0.766	0.846	0.915	1.019	1.169

续上表

换算深度 $\bar{h}=\alpha y$	A_Q						B_Q					
	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$
0.7	1.360	1.407	1.550	1.650	1.782	1.950	0.639	0.654	0.728	0.790	0.882	1.010
0.8	1.224	1.269	1.400	1.488	1.602	1.742	0.537	0.552	0.619	0.675	0.754	0.860
0.9	1.094	1.137	1.255	1.333	1.428	1.539	0.445	0.458	0.520	0.568	0.634	0.719
1.0	0.970	1.011	1.118	1.183	1.260	1.342	0.361	0.374	0.429	0.470	0.523	0.586
1.1	0.854	0.893	0.987	1.041	1.099	1.152	0.286	0.298	0.346	0.380	0.420	0.461
1.2	0.746	0.782	0.863	0.905	0.944	0.967	0.219	0.230	0.272	0.298	0.325	0.343
1.3	0.645	0.679	0.746	0.776	0.795	0.788	0.160	0.170	0.205	0.223	0.236	0.231
1.4	0.552	0.583	0.637	0.653	0.652	0.615	0.108	0.118	0.145	0.155	0.154	0.125
1.5	0.466	0.494	0.533	0.537	0.515	0.446	0.063	0.072	0.091	0.093	0.078	0.024
1.6	0.388	0.413	0.437	0.426	0.383	0.282	0.024	0.032	0.043	0.037	0.007	−0.071
1.7	0.317	0.339	0.347	0.322	0.257	0.122	−0.008	−0.002	−0.101	−0.015	−0.060	−0.164
1.8	0.254	0.272	0.262	0.222	0.134	−0.035	−0.036	−0.030	−0.036	−0.062	−0.123	−0.253
1.9	0.197	0.211	0.183	0.127	0.015	−0.190	−0.058	−0.054	−0.070	−0.105	−0.183	−0.340
2.0	0.147	0.156	−0.108	−0.036	−0.101	−0.342	−0.076	−0.073	−0.099	−0.145	−0.240	−0.425
2.2	0.065	0.063	−0.029	−0.137	−0.326	−0.644	−0.099	−0.101	−0.149	−0.217	−0.349	−0.593
2.4	0.003	−0.012	−0.153	−0.301	−0.547	−0.943	−0.110	−0.116	−0.190	−0.283	−0.454	−0.758
2.6	−0.040	−0.073	−0.270	−0.460	−0.766		−0.111	−0.122	−0.226	−0.345	−0.557	
2.8	−0.069	−0.122	−0.383	−0.618			−0.105	−0.123	−0.259	−0.407		
3.0	−0.087	−0.165	−0.494				−0.095	−0.120	−0.292			
3.5	−0.105	−0.259					−0.057	−0.106				
4.0	−0.108						−0.015					

注：表中 h 为桩的入土全长，当 $\alpha h>4.0$ 时，按 $\alpha h=4.0$ 计算。

系数 A_φ、B_φ 值 表 14-29

换算深度 $\bar{h}=\alpha y$	A_φ						B_φ					
	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$
0.0	−1.621	−1.641	−1.758	−1.869	−2.048	−2.327	−1.751	−1.757	−1.818	−1.889	−2.013	−2.227
0.1	−1.616	−1.636	−1.753	−1.864	−2.043	−2.322	−1.651	−1.657	−1.718	−1.789	−1.913	−2.127
0.2	−1.601	−1.621	−1.738	−1.850	−2.028	−2.307	−1.551	−1.557	−1.619	−1.689	−1.813	−2.027
0.3	−1.577	−1.597	−1.713	−1.825	−2.004	−2.283	−1.451	−1.458	−1.519	−1.589	−1.714	−1.928

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

换算深度 $\bar{h}=\alpha y$	A_φ						B_φ					
	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$	$\alpha h=4.0$	$\alpha h=3.5$	$\alpha h=3.0$	$\alpha h=2.8$	$\alpha h=2.6$	$\alpha h=2.4$
0.4	-1.543	-1.563	-1.680	-1.792	-1.971	-2.250	-1.352	-1.359	-1.420	-1.490	-1.615	-1.829
0.5	-1.502	-1.521	-1.639	-1.751	-1.930	-2.210	-1.254	-1.261	-1.322	-1.392	-1.517	-1.732
0.6	-1.452	-1.472	-1.590	-1.703	-1.883	-2.163	-1.157	-1.164	-1.226	-1.296	-1.422	-1.637
0.7	-1.396	-1.416	-1.535	-1.648	-1.829	-2.111	-1.062	-1.069	-1.131	-1.202	-1.328	-1.544
0.8	-1.334	-1.355	-1.475	-1.589	-1.771	-2.054	-0.970	-0.977	-1.040	-1.111	-1.238	-1.456
0.9	-1.267	-1.288	-1.410	-1.526	-1.710	-1.996	-0.880	-0.887	-0.951	-1.023	-1.151	-1.371
1.0	-1.196	-1.218	-1.343	-1.460	-1.647	-1.936	-0.793	-0.801	-0.866	-0.939	-1.069	-1.291
1.1	-1.123	-1.146	-1.273	-1.393	-1.583	-1.876	-0.710	-0.718	-0.784	-0.859	-0.991	-1.216
1.2	-1.047	-1.072	-1.203	-1.326	-1.519	-1.818	-0.630	-0.639	-0.707	-0.784	-0.919	-1.148
1.3	-0.971	-0.997	-1.133	-1.259	-1.457	-1.762	-0.555	-0.564	-0.635	-0.714	-0.852	-1.085
1.4	-0.894	-0.922	-1.064	-1.194	-1.398	-1.710	-0.484	-0.493	-0.568	-0.649	-0.791	-1.031
1.5	-0.818	-0.848	-0.997	-1.133	-1.343	-1.663	-0.418	-0.428	-0.506	-0.590	-0.737	-0.982
1.6	-0.743	-0.776	-0.934	-1.075	-1.292	-1.621	-0.356	-0.369	-0.449	-0.537	-0.689	-0.941
1.7	-0.671	-0.707	-0.874	-1.021	-1.247	-1.586	-0.299	-0.311	-0.398	-0.490	-0.647	-0.907
1.8	-0.601	-0.641	-0.819	-0.973	-1.207	-1.556	-0.247	-0.260	-0.353	-0.450	-0.612	-0.880
1.9	-0.534	-0.578	-0.768	-0.930	-1.174	-1.533	-0.199	-0.214	-0.313	-0.414	-0.584	-0.860
2.0	-0.471	-0.520	-0.723	-0.893	-1.147	-1.517	-0.156	-0.172	-0.278	-0.385	-0.561	-0.845
2.2	-0.356	-0.417	-0.650	-0.838	-1.111	-1.500	-0.084	-0.104	-0.224	-0.342	-0.532	-0.831
2.4	-0.258	-0.334	-0.600	-0.805	-1.096	-1.497	-0.028	-0.052	-0.190	-0.318	-0.520	-0.828
2.6	-0.178	-0.271	-0.571	-0.792	-1.093		0.014	-0.016	-0.171	-0.309	-0.528	
2.8	-0.116	-0.227	-0.559	-0.789			0.044	0.008	-0.163	-0.307		
3.0	-0.070	-0.201	-0.557				0.063	0.022	-0.162			
3.5	-0.012	-0.184					0.083	0.029				
4.0	-0.003						0.085					

注：表中 h 为桩的入土全长，当 $\alpha h>4.0$ 时，按 $\alpha h=4.0$ 计算。

3.算例

某简支梁桥下部构造为单排双柱墩。采用 ϕ1.6m 钻孔桩，ϕ1.5m 钢筋混凝土墩柱；桩、柱混凝土均为 C20，混凝土容重为 24.5kN/m^3，地基土 $m=2.6\times10^7$kN/m^4，桩壁摩擦力 $\tau_p=87$kPa，桩底土容许承载力$[\sigma_0]=400$kPa，土浮容重 $\gamma=11.6$kN/m^3。双柱墩的计算图如图 14-61 所示。

1)确定桩的入土深度

每根墩柱荷载：两跨恒载 $P_1=1\ 350$kN，盖梁 $P_2=252$kN，系梁 $P_3=75$kN，墩柱重力 $P_4=111$kN，基桩重力(考虑浮力)为$\frac{3.14\times1.65^2}{4}\times(24.5-10)=31$kN，两跨活载 $P_5/2=273$kN。

假定桩底埋入局部冲刷线以下深度为 h，按式(14-13)计算单桩容许承载力$[P]$。

$$[P]=\frac{1}{2}(Ul\tau_P+A\sigma_R)$$

(1)桩周长 $U=\pi\times1.65=5.18$m(按冲击钻成孔考虑);

(2)桩底截面积 $A=\frac{\pi}{4}\times1.6^2=2.0$m^2;

(3)由式(14-15)

$$\sigma_R=2m_0\lambda\{[\sigma_0]+kr(h'-3)\}$$

假设沉淀土厚度 $t=0.6$m, $t/d=\frac{0.6}{1.6}=0.375$,查表(14-23)得 $m_0=0.65$,估计 h'/d 在4~20之间,对于透水性土,采用 $\lambda=0.7$;由表14-21,采用 $k=5$, $[\sigma_0]=400$kN/m^2, $\gamma=11.6$kN/m^3, h'为桩尖埋入深度至一般冲刷的距离,即 $h'=l+(32.3-30.66)=l+1.64$。

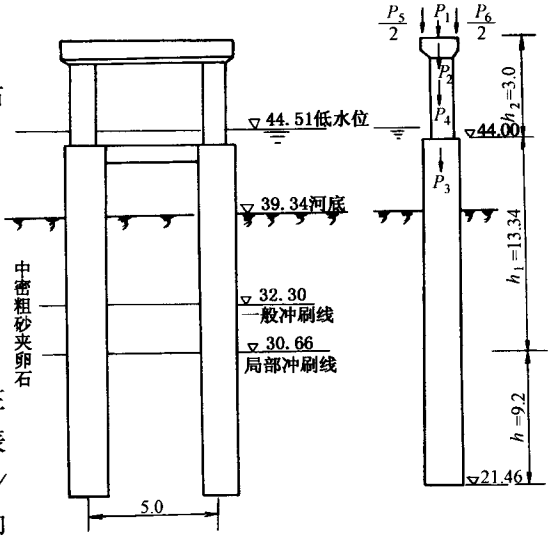


图 14-61 双柱墩计算图(单位:m)

$$\sigma_R=2\times0.65\times0.7\times[400+5\times11.6(l+1.64-3)]$$
$$=52.8l+292.2$$

(4)已知 $\tau_P=87$kPa,得:

$$[P]=\frac{1}{2}[5.18l\times80+2\times(52.8l+292.2)]=260l+292.2$$

$$\sum P=1\,350+252+75+111+273+\left(13.34+\frac{1}{2}l\right)\times31$$
$$=2\,474.5+15.5l$$

由 $[P]=\sum P$,即 $2\,474.5+15.5l=260l+292.2$

所以,桩的入土深度 $l=\frac{2\,182.3}{244.5}=9.0$m

2)桩的计算宽度 b_1 和变形系数 α

$$b_1=0.9(d+1)=0.9\times(1.6+1)=2.34\text{m}$$

$$I=\frac{\pi}{64}\times1.6^4=0.321\text{m}^4$$

$$E_h=2.6\times10^4\text{MPa}=2.6\times10^7\text{kN/m}^2$$

$$m=2.6\times10^4\text{kN/m}^4$$

$$\alpha=\sqrt[5]{\frac{mb_1}{EI}}=\sqrt[5]{\frac{mb_1}{0.8E_hI}}=\sqrt[5]{\frac{2.6\times10^4\times2.34}{0.8\times2.6\times10^7\times0.321}}=0.391$$

$\alpha h=\alpha l=0.391\times9.2=3.6>2.5$,按弹性桩计算。

3)桩在局部冲刷线以下不同深度处桩身的弯矩 M_y

(1)局部冲刷线处 Q_0 及 M_0

该项计算是按一跨荷载考虑,此时一跨活载 $P_6/2=198$kN, $M=142$kN·m, $H=38$kN。

$$Q_0=H=38\text{kN}$$

$$M_0=M+H\times(h_1+h_2)=142+38\times(13.34+3.0)=762.9\text{kN·m}$$

(2)局部冲刷线以下不同深度 M_y

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$M_y = \frac{Q_0}{\alpha}A_M + M_0 B_M = \frac{38}{0.391}A_M + 762.9B_M = 97.2A_M + 762.9B_M$$

M_y 的计算见表 14-30。

M_y 计 算 表 表 14-30

$\bar{h} = \alpha y$	$y = \frac{\bar{h}}{\alpha}$(m)	A_M	B_M	$97.2A_M$ (kN·m)	$762.9B_M$ (kN·m)	M_y(kN·m)
0	0	0	1	0	762.9	762.9
0.2	0.51	0.197	0.998	19.1	761.4	780.5
0.3	0.77	0.290	0.994	28.2	758.3	786.5
0.4	1.02	0.377	0.986	36.6	752.2	788.8
0.5	1.28	0.456	0.974	44.3	743.1	787.4
0.7	1.94	0.589	0.937	57.3	714.8	772.1
1.0	2.55	0.715	0.848	69.5	646.9	716.4
1.5	3.83	0.729	0.633	70.6	482.9	553.5
2.0	5.10	0.561	0.390	54.5	297.5	352.0
2.4	6.12	0.365	0.218	35.5	166.3	201.8

由表列值求得在局部冲刷线深度 $y = 1.02$m 时，$M_{max} = 788.8$kN·m 为最大。

4)计算墩顶水平位移

(1)计算局部冲刷线处水平位移及转角

由式(14-22)及式(14-23)得：

$$X_y = \frac{Q_0}{\alpha^3 EI}A_X + \frac{M_0}{\alpha^2 EI}B_X, \quad \varphi_y = \frac{Q_0}{\alpha^2 EI}A_\varphi + \frac{M_0}{\alpha EI}B_\varphi$$

$$\alpha EI = \alpha(0.8E_h I) = 0.392 \times 0.8 \times 2.6 \times 10^7 \times 0.321 = 2.62 \times 10^6$$

$$\alpha^2 EI = 0.392^2 \times 0.668 \times 10^7 = 1.03 \times 10^6$$

$$\alpha^3 EI = 0.392^3 \times 0.668 \times 10^7 = 4.63 \times 10^5$$

查表 14-27 及表 14-28 得：

$$A_X = 2.502, B_X = 1.641, A_\varphi = -1.641, B_\varphi = -1.757$$

$$X_0 = \frac{38}{4.03 \times 10^5} \times 2.502 + \frac{762.9}{1.03 \times 10^6} \times 1.641 = 0.00024 + 0.0012 = 0.0015$$

$$\varphi_0 = \frac{38}{1.03 \times 10^6} \times (-1.641) + \frac{762.9}{2.62 \times 10^6} \times (-1.757) = -0.00006 - 0.0005 = -0.0006$$

由式(14-26)得：$\Delta_0 = \frac{H}{E_1 I_1}\left[\frac{1}{3}(nh_1^3 + h_2^3) + nh_2 h_1(h_1 + h_2)\right]$

$$+ \frac{M}{2E_1 I_1}\left[h_2^2 + nh_1(2h_2 + h_1)\right]$$

$$E_1 I_1 = 0.8 \times E_h I_1 = 0.8 \times 2.6 \times 10^7 \times \frac{\pi}{64} \times 1.5^4 = 5.17 \times 10^6 \text{(桩柱 C20)}$$

$$EI = 0.8 \times E_h I = 0.8 \times 2.6 \times 10^7 \times \frac{\pi}{64} \times 1.6^4 = 6.69 \times 10^6 \text{(桩 C20)}$$

$$n = \frac{E_1 I_1}{EI} = \frac{5.17 \times 10^6}{6.69 \times 10^6} = 0.773$$

$$h_1 = 13.34\text{m}, h_2 = 3.0\text{m}$$

$$\Delta_0 = \frac{38}{5.17\times10^6}\left[\frac{1}{3}(0.773\times13.34^3+3.0^3)+0.773\times3\times13.34\times(13.34+3.0)\right]$$

$$+\frac{142}{2\times5.17\times10^6}[3.0^2+0.733\times13.34(2\times3.0+13.34)]$$

$$=0.083+0.0029=0.0112$$

$$\Delta = X_0-\varphi_0(h_1+h_2)+\Delta_0$$

$$=0.0015+0.006(13.34+3.0)+0.0112=0.023\text{m}=2.3\text{cm}$$

根据《公路桥涵设计规范》规定，墩顶水平位移不得大于 $0.5\sqrt{L}$。其中 L 为相邻墩台间的最小跨径长度(单位以 m 计)，跨径小于 25m 时仍按 25m 计；$0.5\sqrt{L}$单位以 cm 计。

(二)多排桩高桩承台

1.基本假定

(1)多排桩(包括顺横桥向力作用的单排桩)高桩承台，假定承台的刚度为无限大，承台与桩的连接为刚性连接。

(2)承台底面位于地面或局部冲刷线以上。

(3)基桩刚度按弹性桩考虑，其入土深 $h>\frac{2.5}{\alpha}$(α 为桩的变形系数)，若桩端支撑在岩面上时，则要求桩的入土深度 $h\geqslant\frac{3.5}{\alpha}$。

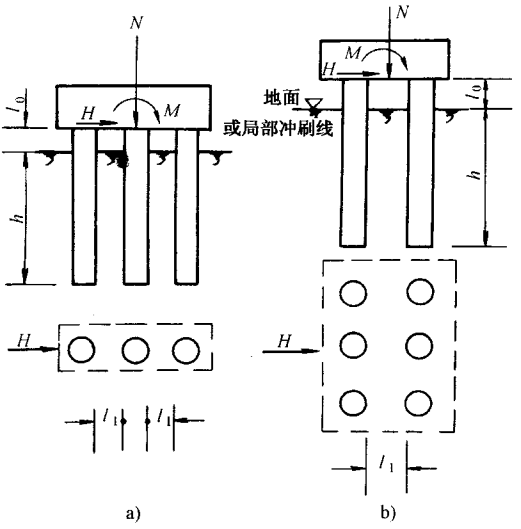


图 14-62 多排桩或顺横向作用力单排桩高桩承台及桩计算宽度示意图

a)多排桩；b)顺横向作用力单排桩

2.基桩内力计算

多排桩或顺横向作用力单排桩高桩承台的构造及桩计算宽度 b_1，如图 14-62 所示。

1)桩的计算宽度

对于圆桩：$b_1=0.9k(d+1)$ (14-27a)

对于方桩：$b_1=k(b+1)$ (14-27b)

式中：b_1——桩的计算宽度，m；

k——各桩间的相互影响系数；

当 $l_1\geqslant0.6h_1$ 时，$k=1.0$

当 $l_1<0.6h_1$ 时，$k=b'+\frac{1-b'}{0.6}\cdot\frac{l_1}{h_1}$

其中：h_1——桩埋入地面或局部冲刷线以下的计算深度，m；$h_1=3(d+1)$；对于钻孔桩，d 为成孔直径；对于打入桩，d 为圆桩直径或方桩边宽 b；

b'——随桩数 n 而异的系数；当 $n=1$ 时，$b'=1.0$；$n=2$ 时，$b'=0.6$；$n=3$ 时，$b'=0.5$；$n\geqslant4$ 时，$b'=0.45$；

l_1——与外力作用方向平行的一排桩的净距，见图 14-62。

2)桩顶位移受力计算

承台底面位于地面或局部冲刷线以下，基桩垂直时，如图 14-63 所示。当基桩对称时，坐标原点 O 设于基桩的对称轴上；当基桩非对称时，坐标原点 O 设于桩群的重心上。

(1)桩顶单位力作用时，桩顶产生位移按下式计算：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$\delta_1 = \frac{l_0^3}{3EI} + \frac{1}{\alpha^3 EI}A + \frac{2l_0}{\alpha^2 EI}B + \frac{l_0^2}{\alpha EI} \tag{14-28}$$

$$\delta_2 = \frac{l_0}{EI} + \frac{1}{\alpha EI}C \tag{14-29}$$

$$\delta_3 = \frac{l_0^2}{2EI} + \frac{1}{\alpha^2 EI}B + \frac{l_0}{\alpha EI}C \tag{14-30}$$

式中：δ_1、δ_3——桩顶单位水平力 $H=1$ 作用时，桩顶产生水平位移 δ_1 和转角 δ_3，如图 14-64a）所示；

δ_3、δ_2——桩顶单位弯矩 $M=1$ 作用时，桩顶产生水平位移 δ_3 和转角 δ_2，如图 14-64b）所示；

A、B、C——系数；查表 14-31，由 $\bar{h}=\alpha h$ 查得：当 $\alpha h>4.0$ 时，采用 $\alpha h=4$ 查用；当桩尖支撑于岩石面上时，桩的入土深度 h 必须大于或等于 $\frac{3.5}{\alpha}$ 时，才可采用以上各式。

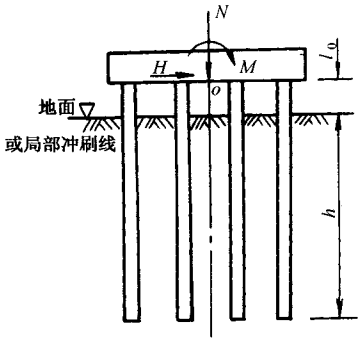


图 14-63　高桩承台基桩布置示意图

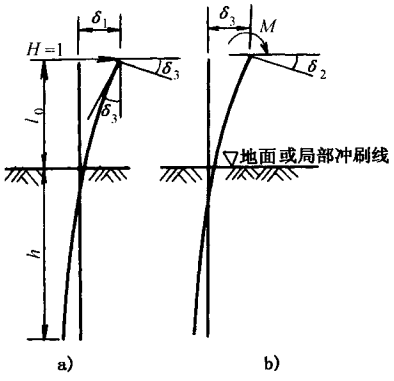


图 14-64　桩顶单位水平力 H 及单位弯矩 M 作用时产生水平位移及转角示意图

系数 A、B、C 值　　表 14-31

换算深度 $\bar{h}=\alpha h$	A	B	C
0	∞	∞	∞
0.1	3 770.490	64 098.400	819 672.000
0.2	424.771	2 807.280	21 028.600
0.3	196.135	869.565	4 347.970
0.4	111.936	372.930	1 399.070
0.5	72.102	192.214	576.825
0.6	50.012	111.179	878.134
0.7	36.740	70.001	150.236
0.8	28.108	46.884	88.179
0.9	22.245	33.009	55.312
1.0	18.028	24.102	36.480
1.1	14.915	18.160	25.122

续上表

换算深度 $\bar{h}=\alpha h$	A	B	C
1.2	12.550	14.039	17.941
1.3	10.716	11.102	13.235
1.4	9.265	8.952	10.049
1.5	8.101	7.349	7.838
1.6	7.154	6.129	6.268
1.7	6.375	5.189	5.133
1.8	5.730	4.456	4.300
1.9	5.190	3.878	3.680
2.0	4.737	3.418	3.213
2.2	4.032	2.756	2.591
2.4	3.526	2.327	2.227
2.6	3.161	2.048	2.013
2.8	2.905	1.869	1.889
3.0	2.727	1.758	1.818
3.5	2.502	1.641	1.757
4.0	2.441	1.625	1.751

(2)桩顶单位位移时,桩顶产生作用力按下式计算

$$\rho_1=\frac{1}{\frac{l_0+\xi h}{EA}+\frac{1}{C_0A_0}} \tag{14-31}$$

式中:ρ_1——桩顶发生单位垂直位移时,桩顶产生的轴向力;

l_0——地面或局部冲刷线以上至承台底面的距离;

h——桩的入土长度;

ξ——系数;摩擦桩:锤击或振动沉桩,$\xi=2/3$;钻孔桩,$\xi=1/2$;端承桩,$\xi=1$;

C_0——桩端处地基系数,$C=m_0h$,m_0 可由表 14-25 查用;

A——桩身横截面;

A_0——摩擦桩为桩周自地面或局部冲刷线向下按 $\varphi/4$(φ 为土的内摩擦角)扩散到桩底处面积,但不得超过桩底面相邻桩中心距离算得的面积,超过时则采用以桩中心距离算得的面积;对端承桩则为柱底的截面积;

E——桩身混凝土弹性模量。

$$\rho_2=\frac{\delta_2}{\delta_1\delta_2-\delta_3^2} \tag{14-32}$$

$$\rho_3=\frac{\delta_3}{\delta_1\delta_2-\delta_3^2} \tag{14-33}$$

$$\rho_4=\frac{\delta_1}{\delta_1\delta_2-\delta_3^2} \tag{14-34}$$

$$T'=\frac{\rho_2\rho_4-\rho_3^2}{\rho_2}\cdot\frac{n}{\rho_1} \tag{14-35}$$

式中:ρ_2——桩顶发生单位水平位移时,桩顶产生的剪力;

ρ_3——桩顶发生单位水平位移时,桩顶产生的弯矩;或顺桩顶弯矩方向发生单位转角时,

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

桩顶产生的剪力；

ρ_4——顺桩顶弯矩方向发生单位转角时，桩顶产生的弯矩；ρ_2、ρ_3、ρ_4 又可称为桩顶刚度系数，如图 14-65 所示；

T'——系数；

n——桩的根数；

其他符号意义与式(14-31)同。

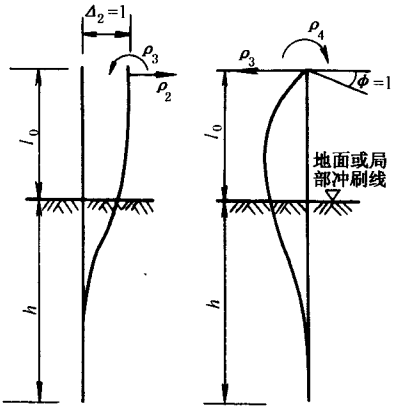


图 14-65　桩顶刚度系数

3)桩顶轴向力、弯矩、剪力计算任一桩桩顶轴向力 N_i：

$$N_i=\frac{N}{n}+\frac{MX_i}{\sum X_i^2+T'}+\frac{HX_i}{(\sum X_i^2+T')(\rho_2/\rho_3)} \tag{14-36}$$

任一桩桩顶弯矩 M_i：

$$M_i=-\frac{H}{(\sum X_i^2+T')}\cdot\frac{\sum X_i^2}{n}\cdot\frac{\rho_3}{\rho_2}+\frac{MT'}{(\sum X_i^2+T')n} \tag{14-37}$$

任一桩桩顶剪力 Q_i：

$$Q_i=\frac{H}{n} \tag{14-38}$$

上述式中：N、M、H——承台底面中心垂直力、弯矩、水平力；

X_i——任一桩中心至坐标原点 O 的距离；

n——桩数；

其他符号意义同前。

求得 N_i、M_i 和 H_i 值后，即可按式(14-21)、式(14-22)计算地面或局部冲刷线以下任一深度处的桩身弯矩 M_y 和剪力 Q_y 值。

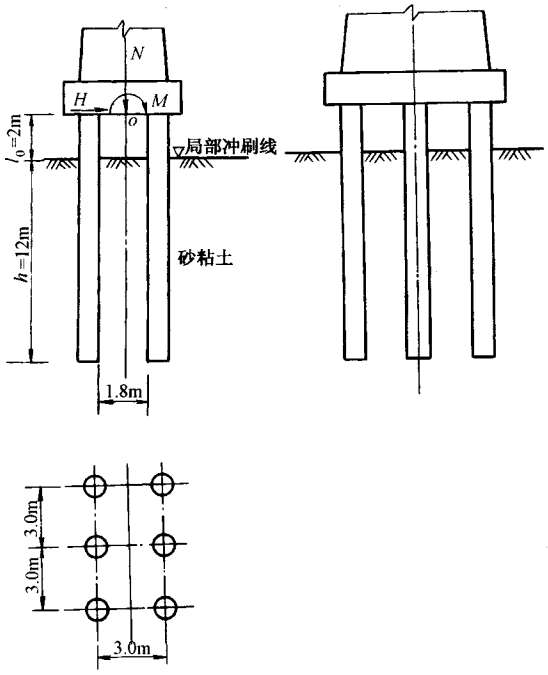


图 14-66　高桩承台计算图式

3.算例

某一高桩承台的桥墩，基桩为 6 根 ϕ1.2m 竖直钻孔桩；墩身为 C25 混凝土；控制设计荷载：轴向力 $N=9\ 000$kN，顺桥向水平力 $H=200$kN，弯矩 $M=2\ 500$kN·m。地基土为粘砂土。其计算图式如图 14-66 所示。

1)计算桩的计算宽度 b_1 和变形系数 α

(1)桩的计算宽度

$$b_1=0.9(d+1)\left(b'+\frac{1-b'}{0.6}\right)\times\frac{l_1}{h_1}$$

d 为钻孔桩直径 1.2m；由每排桩数 $n=2$，得 $b'=0.6$；每排净距 $l_1=1.8$m；桩埋入深度 $h_1=3\times(d+1)=3\times(1.2+1)=6.6$m。

所以，$b_1=0.9(1.2+1)\left(0.6+\frac{1-0.6}{0.6}\right)\times\frac{1.8}{6.6}=1.55$m。

(2)桩的变形系数

$$\alpha=\sqrt[5]{\frac{mb_1}{EI}}$$

地基土 $m=10\ 000\text{kN/m}^4$，$EI=0.8E_hI=0.8\times29\times10^6\times\frac{\pi}{64}\times1.2^4=2.41\times10^6\text{kN/m}^2$（混凝土 C25）。

所以，
$$\alpha=\sqrt[5]{\frac{10\ 000\times1.55}{2.41\times10^6}}=0.362\text{m}^{-1}$$

2）桩顶单位力作用时，桩顶产生位移计算

桩的换算深度 $\bar{h}=\alpha h=0.362\times12=4.34>4$，采用 $\alpha h=4$。然后由表 14-31 查得 $A=2.441$，$B=1.625$，$C=1.751$。由公式(14-28)～式(14-30)得：

$$\delta_1=\frac{l_0^3}{3EI}+\frac{1}{\alpha^3EI}A+\frac{2l_0}{\alpha^2EI}B+\frac{l_0^2}{\alpha EI}C=\frac{1}{EI}\left(\frac{l_0}{3}+\frac{A}{\alpha^3}+\frac{2l_0}{\alpha^2}B+\frac{l_0^2}{\alpha}C\right)$$

$$=\frac{1}{2.41\times10^6}\left(\frac{2^3}{3}+\frac{2.441}{(0.362)^3}+\frac{2\times2}{(0.362)^2}\times1.625+\frac{2^2}{0.362}\times1.751\right)$$

$$=0.5116\times10^{-4}$$

$$\delta_2=\frac{l_0}{EI}+\frac{1}{\alpha EI}C=\frac{1}{EI}\left(l_0+\frac{1}{\alpha}\times1.751\right)$$

$$=\frac{1}{2.41\times10^6}\left(2.0+\frac{1}{0.362}\times1.751\right)=0.0284\times10^{-4}$$

$$\delta_3=\frac{l_0^2}{2EI}+\frac{1}{\alpha^2EI}B+\frac{l_0}{\alpha EI}C=\frac{1}{EI}\left(\frac{l^0}{2}+\frac{1}{\alpha^2}B+\frac{l_0}{\alpha}C\right)$$

$$=\frac{1}{2.41\times10^6}\left(\frac{2^2}{2}+\frac{1}{(0.362)^2}\times1.625+\frac{2}{0.362}\times1.751\right)=0.10\times10^{-4}$$

3）桩顶刚度系数计算

$$\rho_1=\frac{1}{\frac{l_0+\varepsilon h}{EA}+\frac{1}{C_0A_0}}$$

$E=29\times10^6\text{kN/m}^2$，$l_0=2\text{m}$，$\varepsilon=0.5$，$A=\frac{\pi}{4}\times1.2^2=1.13\text{m}^2$，桩埋入局部冲刷线以下深度 $h=12\text{m}$，土内摩擦角 $\varphi=24°$，$h\tan\frac{24°}{4}=12\times0.105=1.26\text{m}>\frac{1.8}{2}\text{m}$，所以 $A_0=\frac{\pi}{4}\times3.0^2=7.07\text{m}^2$，桩底处地基系数 $C_0=m_0h$，由表 14-25 查得 $m_0=37\ 000$，所以 $C_0=37\ 000\times12=444\ 000\text{kN/m}^3$。

$$\rho_1=\frac{1}{(2+0.5\times12)/(29\times10^6\times1.13)+1/(444\ 000\times7.07)}=186\times10^{-4}(\text{kN/m})$$

$$\rho_2=\frac{\delta_2}{\delta_1\delta_2+\delta_3^2}=\frac{0.0284\times10^{-4}}{0.5116\times10^4\times0.0284\times10^{-4}+(0.1\times10^{-4})^2}=6.32\times10^3$$

$$\rho_3=\frac{\delta_3}{\delta_1\delta_2+\delta_3^2}=\frac{0.1\times10^{-4}}{0.5116\times10^4\times0.0284\times10^{-4}+(0.1\times10^{-4})^2}=2.22\times10^4$$

$$\rho_4=\frac{\delta_1}{\delta_1\delta_2+\delta_3^2}=\frac{0.5116\times10^{-4}}{0.5116\times10^4\times0.0284\times10^{-4}+(0.1\times10^{-4})^2}=11.4\times10^4$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$T=\frac{\rho_2\rho_4-\rho_3^2}{4}\frac{n}{\rho_1}=\frac{6.32\times10^3\times11.4\times10^4-(2.22\times10^4)^2}{4}$$

$$\times\frac{6}{18.6\times10^4}=1.16$$

4)桩顶轴向力 N_i、弯矩 M_i、剪力 Q_i 计算

(1)轴向力 N_i 由式(14-36)得:

$$N_i=\frac{N}{n}+\frac{M_x}{\sum X_i^2+T}+\frac{HX}{(\sum X_i^2+T)\rho_2/\rho_3}$$

$N=9\ 000\text{kN}$, $M=2\ 500\text{kN}\cdot\text{m}$, $H=200\text{kN}$, $X_i=1.5\text{m}$, $\sum X_i^2=6\times1.5^2=13.5$, $n=6$, $T=1.16$。

$$N_i=\frac{9\ 000}{6}+\frac{2\ 500\times1.5}{13.5+1.16}+\frac{200\times1.5}{(113.5+1.16)\left(\frac{6.32\times10^3}{2.22\times10^4}\right)}=1\ 828\text{kN}$$

(2)弯矩 M_i 由式(14-37)得:

$$M_i=-\frac{H}{(\sum X_i^2+T)}\left(\frac{\sum X_i^2}{n}\right)\frac{\rho_3}{\rho_2}+\frac{MT}{(X_i^2+T)n}$$

$$=-\frac{200}{13.5+1.16}\left(\frac{13.5}{6}\right)\frac{2.22\times10^4}{6.32\times10^3}+\frac{2\ 500\times1.16}{(13.5+1.16)\times6}=-74.8\text{kN}\cdot\text{m}$$

(3)剪力 Q_i 由式(14-38)得:

$$Q_i=\frac{H}{n}=\frac{200}{6}=33.3\text{kN}$$

5)在局部冲刷线以下任一深度处的桩身弯矩 M_y 及剪力 Q_y 计算

根据式(14-20)及式(14-21)进行计算。本题计算从略。

四、桩的稳定和偏心受压计算

(一)木桩

当木桩同时承受轴向力 N 和弯矩 M 时,按偏心受压计算。

$$\sigma_a=\frac{N}{\varphi A}+\frac{M[\sigma_a]}{W[\sigma_W]}\leqslant[\sigma_a] \tag{14-39}$$

式中:σ_a——计算压应力;

$[\sigma_a]$——木材容许顺纹压应力;

$[\sigma_W]$——木材容许顺纹受弯应力;

W——桩的截面模量;

φ——桩的纵向屈曲系数,按下列计算:

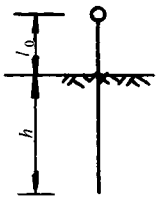
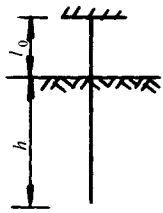
当 $\lambda\leqslant80$ 时,$\varphi=1.02-0.55\left(\frac{\lambda+20}{100}\right)^2$;

当 $\lambda>80$ 时,$\varphi=\frac{3\ 000}{\lambda^2}$;

其中:λ——桩的长细比,$\lambda=\frac{l_0}{r}$;r 为桩的截面回转半径;l_0 为桩的计算长度,可按表 14-32 采用。

木桩按偏心受压计算时,可不再按稳定计算。

纵向屈曲长度 l_0 表 14-32

单桩或位于与外力作用面相垂直面内单排桩		多 排 桩	
桩尖支于非岩石土中(置于岩石土上时,αh 须$\geqslant 3.5$)		桩尖支于非岩石土中(置于岩石土上时 αh 须$\geqslant 3.5$)	
$h<\frac{4.0}{\alpha}$	$h\geqslant\frac{4.0}{\alpha}$	$h<\frac{4.0}{\alpha}$	$h\geqslant\frac{4.0}{\alpha}$
			
$l_0=1.0(l_0+h)$	$l_0=0.7\left(l_0+\frac{4.0}{\alpha}\right)$	$l_0=0.7(l_0+h)$	$l_0=0.5\left(l_0+\frac{4.0}{\alpha}\right)$

注:表中 $\alpha=\sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}}$。

(二)预制钢筋混凝土方桩

桩同时承受轴向力 N 和弯矩 M 作用时,应分别按稳定和偏心受压计算。

1.稳定计算

1)混凝土压应力

$$\sigma_h=\frac{N}{\varphi[A_h+(m-1)A_g]}\leqslant[\sigma_a] \qquad (14\text{-}40)$$

式中:A_h——桩身混凝土截面积(包括钢筋);

A_g——钢筋截面积;

$[\sigma_a]$——混凝土轴心受压容许应力;

m——钢筋屈服强度与混凝土立方体强度之比,见表 14-33;

φ——桩纵向屈曲系数;按图 14-67 查用;当 $\frac{l_0}{b}\leqslant 8$ 时,$\varphi=1.0$;b 为桩的宽度,l_0 为桩的纵向屈曲计算长度,查表 14-32。

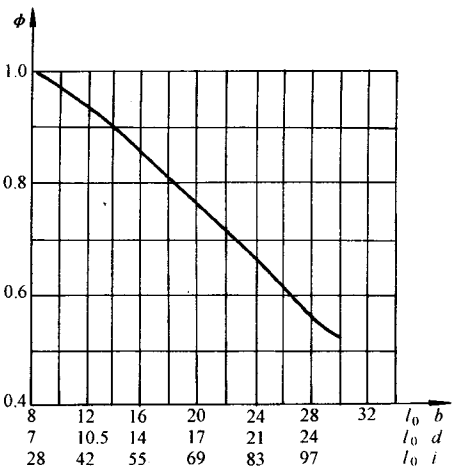


图 14-67 纵向屈曲系数 φ 曲线图

m 值 表 14-33

钢筋种类	混凝土强度等级				
	C40	C30	C25	C20	C15
A3 钢筋	9.3	12.4	14.9	18.6	24.8
A5 钢筋	11.1	14.8	17.7	22.1	29.5
16Mn 钢筋	12.9	17.1	20.6	25.7	34.3

2)钢筋应力

$$\sigma_g=m\sigma_h\leqslant[\sigma_g] \qquad (14\text{-}41)$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中：$[\sigma_g]$——钢筋容许应力。

2.偏心受压计算

1)小偏心受压和大偏心受压的判别

法向力不超出截面核心以外，全截面均为受压，称为小编心受压；法向力超过截面核心以外，截面部分受压部分受拉，称为大偏心受压。根据技术规范的规定，受拉混凝土的作用，不予考虑。

截面核心边界距离 K(对称配筋)按下式计算：

$$K = \frac{W_0}{A_0} = \frac{I_0}{UA_0} \tag{14-42}$$

式中：U——截面重心位置，$U = \frac{d}{2}$；d 为桩截面高度；

A_0——换算截面积，$A_0 = bd + 2nA_g$；b 为桩截面宽度；A_g 为桩截面的上缘、下缘钢筋截面积；n 为钢筋弹性模量与混凝土弹性模量比，见表 14-34；

W_0——桩截面换算模量，$W_0 = \frac{bd^2}{6} + \frac{4nA_g}{d}\left(\frac{d}{2} - a\right)^2$；

I_0——桩截面换算惯性矩，$I_0 = \frac{bd^3}{12} + 2nA_g\left(\frac{d}{2} - a\right)$。

***n* 值 表** 表 14-34

混凝土强度等级	C16～C20	C25～C30
n	15	10

当作用力偏心矩 $e = \frac{M}{N}\eta < k$ 时为小偏心受压；当 $e > k$ 时为大偏心受压。其中 η 为桩身弯矩增大系数，见式(14-44)。

2)小偏心受压计算

混凝土最大压应力 σ_n 和最小压应力 σ'_n

$$\frac{\sigma_n}{\sigma'_n} = \frac{N}{A_0} \pm \frac{M\eta}{W_0} \leqslant [\sigma_W] \tag{14-43}$$

式中：A_0——桩截面换算截面积；

W_0——桩截面换算截面模量；

N——法向力；

M——弯矩；

η——桩身弯矩增大系数；按下式计算：

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{kN}{\alpha \frac{\pi^2 E_h I_0}{l_0^2}}} \tag{14-44}$$

式中：k——安全系数，主力时采用 2.0，主力加附加力时采用 1.6；

E_h——混凝土受压弹性模量；

I_0——桩全截面换算惯性矩；

l_0——桩屈曲长度；

α——系数，$\alpha=\dfrac{0.1}{0.2+e_0/b}+0.16$，

$e_0=M/N$，b 为桩的边宽；

$[\sigma_W]$——混凝土弯曲受压容许应力。

3)大偏心受压计算

大偏心受压计算图式如图 14-68 所示。

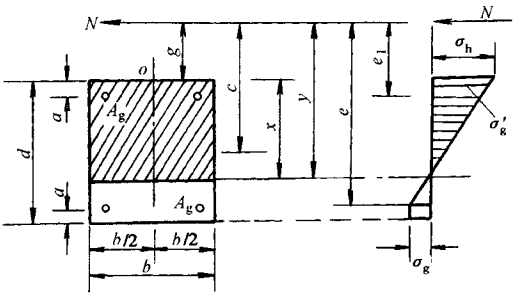


图 14-68　大偏心受压计算图式

(1)计算公式

从中性轴到力 N 的距离 y 按下式求解：

$$y^3+3y\left[\frac{2n}{b}A_g(e+e_1)-g^2\right]+2\left[-\frac{3n}{b}A_g(e^2+e_1^2)+g^3\right]=0 \tag{14-45a}$$

令 $p=\dfrac{2n}{b}A_g(e+e_1)-g^2$；$q=-\dfrac{3n}{b}A_g(e^2+e_1^2)+g^3$，由上式改为：

$$y^3+3py+2q=0 \tag{14-45b}$$

求得 y 值后，混凝土截面中性轴位置 $x=y-q$。

混凝土压应力 σ_h：

$$\sigma_h=\frac{NC}{\dfrac{bx}{2}\left(\dfrac{b}{2}-\dfrac{x}{3}\right)+\dfrac{nA_g}{x}(d-2a)\left(\dfrac{d}{2}-a\right)}\leqslant[\sigma_a] \tag{14-46}$$

钢筋拉应力 σ_g：

$$\sigma_g=h\sigma_n\frac{d-a-x}{x}\leqslant[\sigma_g] \tag{14-47}$$

以上各式中：N——桩轴向力；

C——作用力偏心矩；$C=\dfrac{Mn}{N}$，n 为弯矩增大系数；

b、d——桩截面宽度、高度；

a——钢筋至截面上、下缘距离；

A_g——桩截面上、下边钢筋截面积；

x——桩截面中性轴至上缘距离；

n——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量比，查表 14-34。

其余符号意义见图 14-68。

(2)公式推导

所有力对 N 力施力点 O 的力矩：

$$\frac{\sigma_n}{2}(y-g)b\left(g+\frac{y-g}{3}\right)+nA_g\sigma'_ge_1-nA_g\sigma_ge=0$$

$\sigma_g=n\sigma_n\dfrac{e-y}{y-g}$，$\sigma'_g=n\sigma_h\dfrac{y-e_1}{y-g}$，式中 σ_g 和 σ'_g 相应为桩截面下边和上边的钢筋计算应力，将其代入上式并消去混凝土应力 σ_h 得：

$$\frac{1}{6}(y-g)(2g+y)b+nA_ge_1\frac{y-e}{y-g}-nA_ge\frac{e-y}{y-g}=0$$

整理后得：

$$y^3+3y\left[\frac{2n}{b}(A_ge+A_ge_1)+g^2\right]+2\left[-\frac{3n}{b}(A_ge^2+A_ge_1^2)+g^3\right]$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$= y^3 + 3y\left[\frac{2n}{b}A_g(e + e_1) - g^2\right] + 2\left[-\frac{3n}{b}A_g(e^2 + e_1^2) + g^3\right] = 0$$

求得 y 值后，则 $x = y - g$。

利用各力对混凝土截面对称轴的力矩方程式，即可求得混凝土的压应力 σ_h。即

$$\frac{b}{2}\sigma_h x\left(\frac{d}{2} - \frac{x}{3}\right) + \frac{nA_g}{x}(x - a)\left(\frac{d}{2} - a\right) + \frac{nA_g}{x}(d - x - a)\left(\frac{d}{2} - a\right)$$

$$= NC$$

由上式得：$\sigma_h = \dfrac{NC}{\dfrac{b}{2x}\left(\dfrac{d}{2} - \dfrac{x}{3}\right) + \dfrac{nA_g}{x}(d - 2)\left(\dfrac{d}{2} - a\right)}$

钢筋拉应力 $\sigma_g = n\sigma_h \dfrac{d - a - x}{x}$

对于每周边布置 3 根钢筋的混凝土方形截面桩，亦可按本公式推导方法，求解混凝土及钢筋应力。

(三)钢筋混凝土实心和空心圆形桩

桩同时承受轴向压力 N 和弯矩 M 作用。

1.稳定计算

混凝土压应力 σ_h：

$$\sigma_h = \frac{N}{\varphi(A_h + (m - 1)A_g)} \leqslant [\sigma_a] \tag{14-48}$$

式中：φ——桩纵向屈曲系数；当 $\dfrac{l_0}{i} \leqslant 28$ 时，$\varphi \approx 1$，i 为桩截面回转半径，$i = \dfrac{1}{2}\sqrt{r^2 + r_0^2}$，$r$ 为桩截面外半径，r_0 为桩截面空心半径，l_0 = 为屈曲长度；当实心圆形桩(包括管桩填心)时，$l_0/d \leqslant 7$，$\varphi \approx 1$，$l_0/d > 7$ 时按图 14-67 查用，此处 d 为桩直径；

其余符合意义与前同。

2.偏心受压计算

1)小偏心受压与大偏心受压的判别

当 $e \leqslant \dfrac{r[1 + (\frac{r_0}{r})^2 + 2(n - 1)P(\frac{r'}{r})^2]}{4[1 + (n - 1)\rho]}$ 时，为小偏心受压；

当 $e > \dfrac{r[1 + (\frac{r_0}{r})^2 + 2(n - 1)P(\frac{r'}{r})^2]}{4[1 + (n - 1)\rho]}$ 时，为大偏心受压。

其中：r——圆空心桩或实心桩的半径；

r'——钢筋中心至圆截面中心半径；

r_0——桩空心部分的半径；

e——外压力 N 的偏心距，$e = \dfrac{M}{N}\eta$，M 为弯矩，η 为桩弯矩增大系数，$\eta = \dfrac{1}{1 - \dfrac{kN}{\alpha\dfrac{\pi E_h I_0}{l_0^2}}}$ 见式(14-44)；

其中：α——系数，$\alpha = \dfrac{0.1}{0.2 + \dfrac{e_0}{d}} + 0.16$，$d$ 为桩外径，$e_0 = \dfrac{M}{N}$；

I_0——圆形桩全截面换算惯性矩；

$$I_0=\frac{\pi(r^2-r_0^2)}{4}[(r^2+r_0^2)+2(n-1)\rho r'^2]$$

ρ——圆形柱中截面含筋率，$\rho=\frac{A_g}{\pi(r^2-r_0^2)}$，$A_g$ 为钢筋面积；

n——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量比见表 14-34。

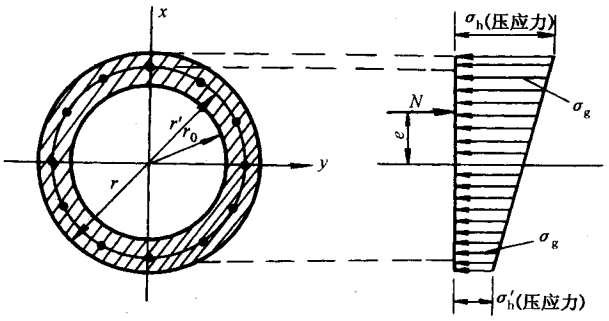


图 14-69　小偏心受压计算图式

2)小偏心受压计算(见图 14-69)

混凝土最大压应力 σ_h 和最小压应力 σ'_h：

$$\frac{\sigma_h}{\sigma'_h}=\frac{N}{\pi(r^2-r_0^2)}\left(T\pm\frac{e}{r}S\right) \tag{14-49}$$

钢筋的最大压应力 σ_g 和最小压应力 σ'_g：

$$\frac{\sigma_g}{\sigma'_g}=n\frac{N}{\pi(r^2-r_0^2)}\left(T\pm\frac{er'}{r}S\right) \tag{14-50}$$

其中：

$$T=\frac{1}{1+(n-1)p}$$

$$S=\frac{}{\left(1+\frac{r_0^2}{r^2}\right)+2(n-1)p\left(\frac{r'}{r}\right)^2}$$

$$e=\frac{M}{N}\eta$$

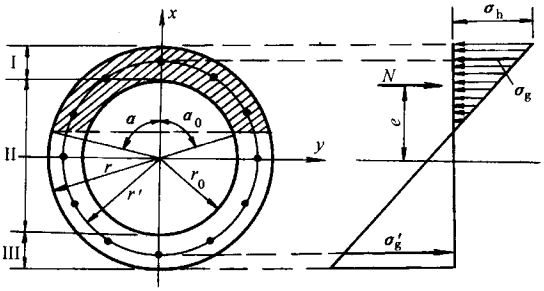


图 14-70　大偏心受压计算图式

式中符号意义除注明者外，其余均与前面相同。

3)大偏心受压计算(见图 14-70)

先假定 α 值，由表 14-35 查得 V、W 值，按 $\alpha_0=\cos^{-1}\left(\frac{r}{r_0}\cos\alpha\right)$ 求出 α_0。由表 14-35 查得 V_0、W_0 值，代入下列各式的右边，若该式两边不相等，则另假定 α 值，重新计算，直至两边相等为止。

当 $\alpha<90°$，且 $\alpha\leqslant\cos^{-1}\left(\frac{r_0}{r}\right)$ 时(中性轴位于图 14-70 中 I 区段内)：

$$e=\frac{1}{16}\cdot\frac{r\left[W+24n\pi p\left(\frac{r'}{r}\right)^2\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)\right]}{V-3n\pi p\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)\cos\alpha} \tag{14-51}$$

当 $\cos^{-1}\left(\frac{r_0}{r}\right)<\alpha<\cos^{-1}\left(-\frac{r_0}{r}\right)$ 时(中性轴位于图 14-70 中 II 区段内)：

$$e=\frac{1}{16}\cdot\frac{r\left[W-\left(\frac{r_0}{r}\right)^4W_0+24n\pi p\left(\frac{r'}{r}\right)^2\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)\right]}{V-\left(\frac{r_0}{r}\right)^3V_0-3n\pi p\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)\cos\alpha} \tag{14-52}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

K、K_0、V、V_0、W、W_0 值表

表 14-35

α / α_0(°)	$\cos\alpha$ / $\cos\alpha_0$	K、K_0	V、V_0	W、W_0	α / α_0(°)	$\cos\alpha$ / $\cos\alpha_0$	K、K_0	V、V_0	W、W_0	α / α_0(°)	$\cos\alpha$ / $\cos\alpha_0$	K、K_0	V、V_0	W、W_0
0	1.000	0	0	0	45	0.707	0.147	0.102	1.425	63	0.454	0.273	0.468	5.771
10	0.985	0.008	0	0.001	46	0.695	0.153	0.112	1.572	64	0.438	0.281	0.501	6.132
20	0.940	0.030	0	0.031	47	0.682	0.159	0.119	1.724	65	0.423	0.289	0.536	6.500
30	0.866	0.067	0.014	0.222	48	0.669	0.166	0.137	1.892	66	0.407	0.297	0.573	6.884
31	0.857	0.072	0.017	0.259	49	0.656	0.172	0.151	2.066	67	0.391	0.305	0.611	7.278
32	0.848	0.076	0.020	0.303	50	0.643	0.179	0.166	2.252	68	0.375	0.313	0.651	7.686
33	0.839	0.081	0.022	0.349	51	0.629	0.186	0.181	2.453	69	0.358	0.321	0.692	8.103
34	0.829	0.086	0.027	0.400	52	0.616	0.192	0.198	2.659	70	0.342	0.329	0.736	8.534
35	0.819	0.091	0.031	0.454	53	0.602	0.199	0.216	2.882	71	0.326	0.337	0.782	8.973
36	0.809	0.096	0.035	0.521	54	0.588	0.206	0.230	3.116	72	0.309	0.346	0.828	9.426
37	0.799	0.101	0.040	0.592	55	0.574	0.213	0.256	3.359	73	0.292	0.354	0.877	9.890
38	0.788	0.106	0.046	0.665	56	0.559	0.221	0.277	3.619	74	0.276	0.362	0.928	10.300
39	0.777	0.112	0.052	0.750	57	0.545	0.228	0.301	3.886	75	0.259	0.371	0.980	10.843
40	0.766	0.117	0.059	0.840	58	0.530	0.235	0.325	4.169	76	0.242	0.349	1.035	11.332
41	0.755	0.123	0.066	0.940	59	0.515	0.243	0.351	4.463	77	0.225	0.388	1.091	11.833
42	0.743	0.129	0.073	1.050	60	0.500	0.250	0.378	4.770	78	0.208	0.396	1.150	12.338
43	0.731	0.135	0.082	1.164	61	0.485	0.258	0.406	5.093	79	0.191	0.405	1.210	12.856
44	0.719	0.141	0.092	1.290	62	0.469	0.266	0.437	5.424	80	0.174	0.413	1.272	13.374

续上表

α α_0(°)	$\cos\alpha$ $\cos\alpha_0$	K、K_0	V、V_0	W、W_0	α α_0(°)	$\cos\alpha$ $\cos\alpha_0$	K、K_0	V、V_0	W、W_0	α α_0(°)	$\cos\alpha$ $\cos\alpha_0$	K、K_0	V、V_0	W、W_0
81	0.156	0.422	1.336	13.911	99	-0.156	0.578	2.809	23.793	117	-0.454	0.727	4.746	31.942
82	0.139	0.431	1.402	14.437	100	-0.174	0.587	2.909	24.320	118	-0.470	0.735	4.862	32.278
83	0.122	0.439	1.470	14.982	101	-0.191	0.596	3.008	24.836	119	-0.485	0.743	4.975	32.606
84	0.105	0.448	1.541	15.521	102	-0.208	0.604	3.109	25.358	120	-0.500	0.750	5.080	32.927
85	0.087	0.457	1.612	16.074	103	-0.225	0.613	3.212	25.872	125	-0.574	0.787	5.662	34.345
86	0.070	0.465	1.687	16.622	104	-0.245	0.621	3.317	26.368	130	-0.643	0.822	6.224	35.446
87	0.052	0.474	1.762	17.172	105	-0.259	0.630	3.420	26.857	135	-0.707	0.854	6.768	36.274
88	0.035	0.483	1.839	17.735	106	-0. 276	0.638	3.518	27.336	140	-0.766	0.883	7.278	36.857
89	0.017	0.492	1.920	18.287	107	-0.292	0.646	3.603	27.822	145	-0.879	0.910	7.751	37.244
90	0	0.500	2.000	18.850	108	-0.309	0.655	3.738	28.270	150	-0.866	0.933	8.177	37.478
91	-0.017	0.509	2.084	19.405	109	-0.326	0.663	3.849	28.717	155	-0.906	0.953	8.547	37.607
92	-0.035	0.518	2.168	19.969	110	-0.342	0.671	3.960	29.169	160	-0.940	0.970	8.858	37.668
93	-0.052	0.526	2.255	20.521	111	-0.358	0.678	4.069	29.596	165	-0.966	0.983	9.104	37.691
94	-0.070	0.535	2.344	21.070	112	-0.375	0.688	4.179	30.004	170	-0.985	0.993	9.282	37.697
95	-0.087	0.544	2.434	21.618	113	-0.391	0.696	4.294	30.418	175	-0.996	0.998	9.389	37.700
96	-0.105	0.553	2.526	22.171	114	-0.407	0.704	4.406	30.827	180	-1.000	1.000	9.425	37.700
97	-0.122	0.561	2.619	22.711	115	-0.423	0.712	4.519	31.191					
98	-0.139	0.570	2.714	23.256	116	-0.438	0.719	4.632	31.562					

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

当 $\alpha>90°$，且 $\alpha\geqslant\cos^{-1}\left(-\frac{r_0}{r}\right)$ 时（中性轴位于图 14-70 中 III 区段内）：

$$e=\frac{1}{16}\cdot\frac{r\left[W+24n\pi p\left(\frac{r'}{r}\right)^2\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)-12\pi\left(\frac{V_0}{r}\right)^2\right]}{V-3n\pi p\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)\cos\alpha-3\left(\frac{r_0}{r^2}\right)^2(2K-1)\pi} \tag{14-53}$$

按下列各式计算混凝土的最大压应 σ_h。

当 $\alpha<90°$，且 $\alpha\leqslant\cos^{-1}\left(\frac{r_0}{r}\right)$ 时（中性轴位于图 14-70 中区段 I 内）：

$$\sigma_h=\frac{96KM\eta}{r^3\left[W+24n\pi p\left(\frac{r'}{r}\right)^2\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)\right]}\leqslant[\sigma_W] \tag{14-54}$$

当 $\cos^{-1}\left(\frac{r_0}{r}\right)<\alpha<\cos^{-1}\left(-\frac{r_0}{r}\right)$ 时（中性轴位于图 14-70 中区段 II 内）：

$$\sigma_h=\frac{96KM\eta}{r^3\left[W-\left(\frac{r_0}{r}\right)^4W_0+24n\pi p\left(\frac{r'}{r}\right)^2\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)\right]}\leqslant[\sigma_W] \tag{14-55}$$

当 $\alpha>90°$，且 $\alpha\geqslant\cos^{-1}\left(-\frac{r_0}{r}\right)$ 时（中性轴位于图 14-70 中区段 III 内）：

$$\sigma_h=\frac{96KM\eta}{r^3\left[W+24n\pi p\left(\frac{r'}{r}\right)^2\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)^2-12\pi\left(\frac{r_0}{r}\right)^4\right]}\leqslant[\sigma_W] \tag{14-56}$$

钢筋的最大压应力 σ_g：

$$\sigma_g=\frac{r(1-2K)+r'}{2rK}n\sigma_h \tag{14-57}$$

钢筋的最大拉应力 σ_g：

$$\sigma_g=\frac{r(2K-1)+r'}{2rK}n\sigma_h \tag{14-58}$$

其中：$K=\frac{1-\cos\alpha}{2}$；

$K_0=\frac{1-\cos\alpha_0}{2}$；

$V=2\sin^3\alpha+3\cos(\cos\alpha\sin\alpha-\alpha)$；

$V_0=2\sin^3\alpha_0+3\cos\alpha_0(\cos\alpha_0\sin\alpha_0-\alpha_0)$；

$W=12\alpha-3\sin4\alpha-32\cos\alpha\sin^3\alpha$；

$W_0=12\alpha_0-3\sin4\alpha_0-32\cos\alpha_0\sin^3\alpha_0$；

外力 N 的偏心距 $e=\frac{M\eta}{N}$；$[\sigma_W]$为混凝土弯曲受压容许压应力。

上列公式适用于空心圆形桩，也可以适用实心圆形桩。用于实心圆形桩时，令各式中的 $r_0=0$。

五、预制混凝土桩在吊运、存放、吊立时的计算

（一）吊（支）点位置、反力及桩身弯矩的确定

预制混凝土桩的纵向主筋都是沿全长均匀布置，其吊（支）点位置一般是采用两种方法推

求：①是以支点处的负弯矩与支点间的最大正弯矩绝对值相等求得；②是以各支点反力均相等条件求得。

1.根据正负弯矩绝对值相等条件推求支点位置、反力及弯矩

1)单吊点支立

单吊点支立位置、反力及弯矩计算图式，如图14-71所示。

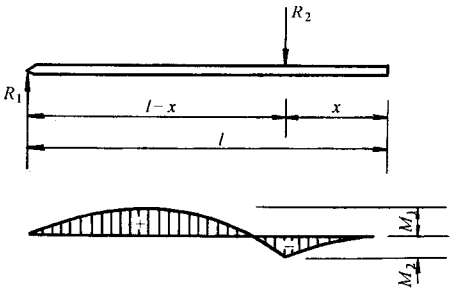


图14-71 单吊点支立位置反力及弯矩计算图式

设单位桩长的重力为 q，桩长为 l，反力为 R。

吊点处负弯矩：
$$M_2 = -\frac{1}{2}qx^2$$

支点处反力：
$$R_2 = \frac{ql(l-2x)}{2(l-x)}$$

支点与吊点间的最大正弯矩：

$$M_1 = \frac{ql(l-2x)}{2(l-x)}Z - \frac{1}{2}qZ^2$$

$$\frac{dM_1}{dZ} = 0,\ \frac{ql(l-2x)}{2(l-x)} - qZ = 0$$

则
$$Z = \frac{l(l-x)}{2(l-x)}$$

$$M_1 = \frac{1}{2}ql\left(\frac{l-2x}{l-x}\right)\cdot\frac{l}{2}\left(\frac{l-2x}{l-x}\right) - \frac{1}{4}q\cdot\frac{l^2}{4}\left(\frac{l-2x}{l-x}\right)^2$$

$$= \frac{1}{8}ql^2\left(\frac{l-2x}{l-x}\right)^2$$

令
$$m_1 = m_2$$

$$\frac{1}{2}qx^2 = \frac{1}{8}ql^2\left(\frac{l-2x}{l-x}\right)^2$$

得：

$$x = 0.293l \tag{14-59}$$

$$M_1 = 0.0429ql^2 \tag{14-60}$$

$$M_2 = -0.0429ql^2 \tag{14-61}$$

$$R_2 = \frac{1}{2}ql\left(\frac{l-0.586l}{l-0.293l}\right) = 0.2939l \tag{14-62}$$

$$R_1 = ql - 0.2939l = 0.707ql \tag{14-63}$$

2)二吊(支)点吊运、存放

二吊(支)点吊运、存放支点位置及弯矩计算图式如图14-72所示。

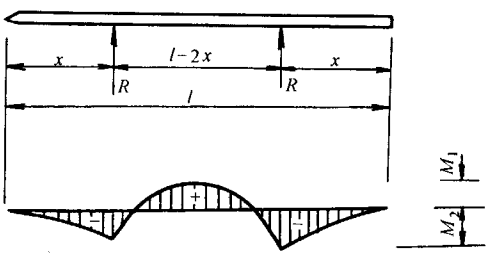


图14-72 二吊(支)点吊运、存放支点位置及弯矩计算图式

设单位桩长重力为 q，桩长为 l，反力为 R。

支点应力：$R = R_1 = R_2 = \frac{1}{2}ql$

中央处正弯矩：$M_1 = \frac{1}{2}ql\left(\frac{l-2x}{2}\right) - \frac{1}{2}ql\,\frac{1}{4}$

$$= \frac{1}{8}ql^2\left(1 - \frac{4x}{l}\right)$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

支点处负弯矩：　　$M_2 = -\frac{1}{2}qx^2$

令 $M_1 = M_2$，则得：

$$\frac{1}{8}ql^2\left(1-\frac{4x}{l}\right)=\frac{1}{2}qx^2$$

简化：

$$4x^2+4xl-l^2=0,$$

得：

$$x=0.207l \tag{14-64}$$

$$M_1=0.0214ql^2 \tag{14-65}$$

$$M_2=-0.0214ql^2 \tag{14-66}$$

2.根据各吊(支)点反力相等条件推求支点位置、反力及弯矩

四吊(支)点吊运、存放支点位置及弯矩计算图式如图 14-73 所示。

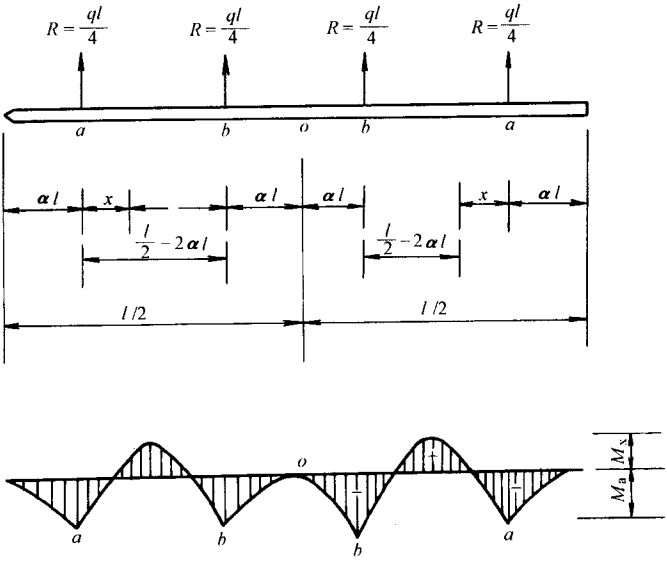


图 14-73　四吊(支)点吊运、存放支点位置及弯矩计算图式

设单位桩长重力为 q，桩长为 l，反力为 R。

吊点垂直反力：　　$R_1=R_2=R_3=R_4=R=\frac{1}{4}ql$

外吊点弯矩：　　$M_a=-\frac{1}{2}q(\alpha l)^2$

内吊点弯矩：　　$M_b=\frac{1}{4}ql\left(\frac{l}{2}-2\alpha l\right)-\left(\frac{l}{2}-\alpha l\right)q\times\frac{1}{2}\left(\frac{l}{2}-\alpha l\right)=-\frac{1}{2}q(\alpha l)^2$

跨中截面弯矩：　　$M_0=\frac{1}{4}ql\left[\left(\frac{l}{2}-\alpha l\right)+\alpha l\right]-\frac{1}{2}q\left(\frac{l}{2}\right)^2=0$

在 a、b 点间任一截面弯矩：

$$M_x=\frac{1}{4}qlx-\frac{1}{2}q(\alpha l+x)^2=\frac{q}{2}\left[\frac{lx}{2}-(\alpha l+x)^2\right]$$

最大弯矩：

$$\frac{dMx}{dx}=\frac{q}{2}\left[\frac{l}{2}+2(\alpha l+x)\right]=0$$

$$x=\frac{l}{4}-\alpha l$$

$$M_{max}=\frac{q}{2}\left[\frac{l}{2}\left(\frac{l}{4}-\alpha l\right)-\left(\alpha l+\frac{l}{4}-\alpha l\right)^2\right]=\frac{ql^2}{2}\left(\frac{1}{16}-\frac{\alpha}{2}\right)$$

令 $M_a=M_{max}$，得：

$$\alpha^2=\frac{1}{16}-\frac{\alpha}{2}，即\ 16\alpha^2+8\alpha-1=0$$

$$\alpha=\frac{-8\pm\sqrt{64+64}}{32}=0.104(负值舍去)$$

$$x=\frac{l}{4}-\alpha l=\frac{l}{4}-0.104l=0.146l \tag{14-67}$$

a 点弯矩：
$$M_a=-\frac{ql^2}{2}\times0.104^2=-0.0054ql \tag{14-68}$$

a、b 间最大弯矩：
$$M_x=\frac{ql}{4}\times0.146-\frac{ql^2}{2}(0.104+0.146)^2$$
$$=0.0054ql^2 \tag{14-69}$$

b 点弯矩：
$$M_b=\frac{ql}{4}\left(\frac{l}{2}-2\times0.104l\right)-\frac{q}{2}\left(\frac{l}{2}-0.104l\right)^2=-0.0054ql^2 \tag{14-70}$$

(二)桩身挠曲强度计算

1.钢筋混凝土方桩

混凝土方桩吊运、存放、吊立的桩身挠曲计算图式如图 14-74 所示。

令 A'_g 为截面上边 3 根钢筋的截面积，A_g 为截面下边 3 根钢筋的截面积，$A_g=A'_g$；A''_g 为截面中心轴处 2 根钢筋的截面积。

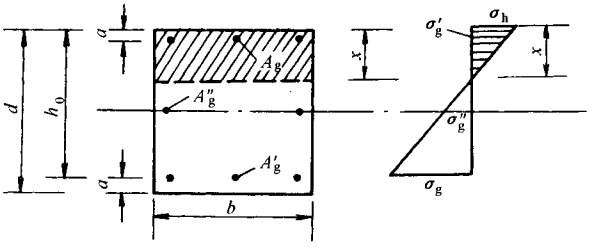


图 14-74　混凝土方桩吊运、存放、吊立的桩身挠曲计算

受压部分换算静力矩：

$$S=\frac{bx^2}{2}+nA'_g(x-a)$$

受拉部分换算静力矩：

$$S_g=nA_g(h_0-x)+nA''_g\left[\frac{1}{2}(h_0+a)-x\right]$$

由 $S=S_g$，得：

$$\frac{bx^2}{2}+nA'_g(x-a)-\left\{nA_g(h_0-x)+nA''_g\left[\frac{1}{2}(h_0+a)-x\right]\right\}=0$$

$$\frac{bx^2}{2}+nA'_gx-nA'_ga-nA_gh_0+nA_gx-\frac{n}{2}A''_gh_0-\frac{n}{2}A''_ga+nA''_gx=0$$

因为 $A_g=A'_g$，简化整理后得：

$$x^2+\frac{2n}{b}(2A_g+A''_g)x-\frac{2n}{b}(A_g+A''_g)(h_0+a)=0$$

令
$$p=\frac{n(2A_g+A''_g)}{b},\ q=\frac{n(A_g+A''_g)(h_0+a)}{b}$$

代入上式得：
$$x^2+2px-2q=0$$

则得截面上缘至中性轴距离：

$$x=\frac{-2p+\sqrt{4p^2+8q}}{2}=p\left(-1+\sqrt{1+\frac{2q}{p^2}}\right) \tag{14-71}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

截面的换算惯性矩：

$$I_0 = \frac{bx^3}{3} + nA_g(x-a)^2 + nA_g(h_0-x)^2 + nA''_g\left(\frac{h_0+a}{2}-x\right)^2 \tag{14-72}$$

混凝土最大压应力：

$$\sigma_h = \frac{M}{I_0}x \leqslant [\sigma_w] \tag{14-73}$$

钢筋压应力：

$$\sigma'_g = n\frac{x-a}{x}\sigma_h \tag{14-74}$$

钢筋最大拉应力：

$$\sigma_g = n\frac{h_0-x}{x}\sigma_h \leqslant [\sigma_g] \tag{14-75}$$

钢筋拉应力

$$\sigma''_g = n\frac{h_0+a-2x}{2x}\sigma_h \leqslant [\sigma_g] \tag{14-76}$$

以上各式中：n——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比，由表 14-34 查得；

$[\sigma_w]$——混凝土弯曲受压容许压应力；

$[\sigma_g]$——钢筋容许拉应力；

M——弯矩，应乘以动力系数 1.3；

其余符号意义详见图示。

2.钢筋混凝土管桩(圆形空心桩)

钢筋混凝土管桩及空心圆形桩，可以采用图 14-75 进行计算。

其计算步骤如下。

1)假定中性轴位置 f_h，从图 14-75 中根据$\frac{f_h}{r}$值查得相应的$\frac{S_h}{r^3}$，根据$\frac{f_0}{r_0}$值查得相应的$\frac{S_0}{r_0^3}$值，根据$\frac{f_g}{r_1}$值查得相应的$\frac{S_g}{r_1^2}$值(其中 f_0、f_g、r、r_1、r_0、S_h、S_0、S_g 的意义详见图 14-75)。

因为 r、r_0 及 r_1 均为已知值，可以求得圆截面对 y-y 轴的静力矩 S_h、S_0 及钢筋环对 y-y 轴静力矩 S_g，则整个截面对中性轴静力矩 S：

$$S = S_h - S_0 - S_g \tag{14-77}$$

根据中性轴的意义，截面受压部分对中性轴的换算静力矩应等于截面受拉部分的静力矩，即 $S = S_h - S_0 - S_g = 0$。若计算结果 $S \neq 0$ 时，需另行假定 f_h 值，并另行计算 S 值，直至 $S = 0$ 为止。

2)根据求得的中性轴位置 f_h，从图 14-75，根据$\frac{f_g}{r_1}$值查得相应的$\frac{I_h}{r_4}$值，根据$\frac{f_0}{r_0}$值查得相应的$\frac{I_0}{r_1^4}$，根据$\frac{f_g}{r_1}$值，查得相应的$\frac{I_g}{r_1^3}$值，(其中 I_h、I_0、I_g 符号意义详见图 14-75)即可求得总截面对中性轴的总换算惯性矩 I：

$$I = I_h - I_0 + I_g \tag{14-78}$$

3)求截面应力。

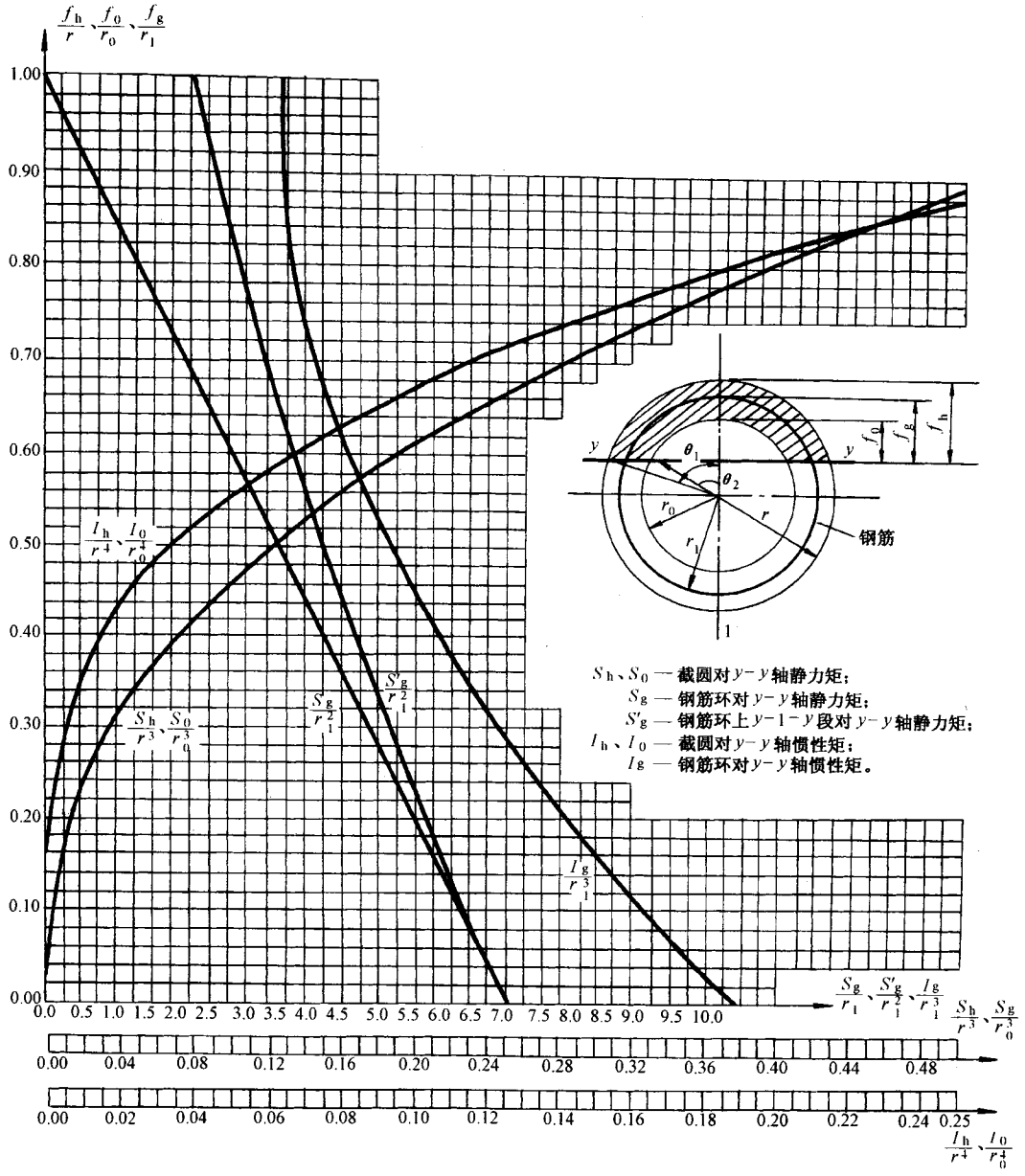


图 14-75　钢筋混凝土管桩、圆形空心桩挠曲强度计算图

混凝土最大压应力：

$$\sigma_h = \frac{Mf_h}{I} \leqslant [\sigma_w] \tag{14-79}$$

钢筋最大拉应力：

$$\sigma_g = n\frac{M}{I}(r + r_1 + f_h) \leqslant [\sigma_g] \tag{14-80}$$

式中：f_h——截面中性轴至上缘距离；

n——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比，由表 14-34 查得；

M——弯矩，应乘以动力系数 1.3；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$[\sigma_w]$——混凝土弯曲受压容许压应力；

$[\sigma_g]$——钢筋容许拉应力；

其余符号详见图 14-75。

六、锤击沉桩抗裂及压曲计算

(一)锤击沉桩时桩顶压应力及桩身拉应力计算

1.锤击沉桩桩顶压应力计算

锤击桩顶压应力的计算方法包括锤击能量方法和冲击波动能量方法两类。后者的计算结果与实测情况接近。冲击波动能量公式如下：

$$\sigma_p = \frac{a\sqrt{2eE_p r_p H_p}}{\left[1+\frac{A_c}{A_h}\sqrt{\frac{E_c r_c}{E_h r_h}}\right]\left[1+\frac{A}{A_c}\sqrt{\frac{E_p r_p}{E_c r_c}}\right]} \tag{14-81}$$

式中：σ_p——桩顶锤击动态压应力，kN/cm^2；

a——锤型系数，柴油锤 $a=\sqrt{2}$；坠锤 $a=1$；

H_p——锤的冲程(一般 200cm 左右)，cm；

e——锤的效率，柴油锤 $e\approx 0.8$；坠锤 $e=0.6$；

A——桩截面积，cm^2；

E——弹性模量，kN/cm^2；

γ——桩的重度，kN/cm^3；

c、h、p——分别表示桩垫、锤、桩身。

按式（14-81）算得的锤击压应力，对钢筋混凝土桩应不大于混凝土抗压强度的 70%；预应力混凝土桩应不大于混凝土抗压强度的 75%；对于钢桩应不大于钢材屈服强度的 80%。

2.锤击沉桩桩身拉应力计算

1)遇有下列情况时，应进行锤击拉应力验算：

(1)锤击时桩需穿过软弱土层；

(2)桩入土深度超过 20m 以上。

2)锤击拉应力验算内容：

(1)在锤击作用下，沿桩身轴向的最大拉应力；

(2)在锤击作用下，与最大锤击压力相应的某一横截面的拉应力；对于圆形或环形截面的桩为环向拉应力；对于方形截面的桩为侧向拉应力。

3)若无实测资料时，锤击拉应力可参照下式估算：

(1)桩轴向拉应力

混凝土及预应力混凝土桩：

$$\sigma_t = (0.25\sim 0.33)\sigma_p \tag{14-82}$$

钢管桩：

$$\sigma_t = (0.33\sim 0.5)\sigma_p \tag{14-83}$$

式中：σ_t——拉应力；

σ_p——最大锤击压应力，按式(14-81)计算。

轴向拉应力出现条件及部位：

①桩刚穿过软土层时；

②距桩尖(0.5～0.7)l 处，l 为桩入土深度。

(2)桩截面环向拉应力

钢管桩：

$$\sigma_t = 0.25\sigma_p \tag{14-84}$$

(3)桩截面侧向拉应力

混凝土及预应力混凝土桩：

$$\sigma_t' = (0.22 \sim 0.25)\sigma_p \tag{14-85}$$

按上列估算的拉应力应小于桩身材料抗拉强度设计值。

(二)锤击下沉钢管桩桩身压曲验算

锤击沉入钢管桩时，应按下列规定验算桩身压曲。

1)钢管外径 $d \leqslant 600\text{mm}$，$t/d = 1/50 \sim 1/80$ 时，锤击压应力小于钢材屈服强度时，可不进行压曲验算。其中 t 为钢管桩管壁厚度。

2)当 $d > 600\text{mm}$ 时，可按下式验算：

$$0.388E\frac{t}{d} \leqslant f_y \tag{14-86}$$

式中：E——钢材的弹性模量；

f_y——钢材屈服强度计算值。

3)当 $d \geqslant 900\text{mm}$ 时，除按式(14-86)验算外，还应按下式验算：

$$14.5E\left(\frac{t}{d}\right)^2 \leqslant f_y \tag{14-87}$$

式中符号意义与上式同。

第四节　静压试验

一、概　述

静压试验是确定单桩承载力的最可靠的方法。如静力触探、动测法等的成果，都必须与静压试验相比较，才能确定其准确性。国内外规范一致规定对重要工程都应通过静压试验。但静压试验的缺点是设备笨重、费用高、时间长。

二、加载装置

加载装置一般是采用锚桩承载梁反力装置和压重平台反力装置两类。

1.锚桩承载梁反力装置(如图 14-76 所示)。

锚桩和承载梁的强度应按预计最大试验荷载的 1.3～1.5 倍进行设计；锚桩的受拉容许承载力可按下式计算：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

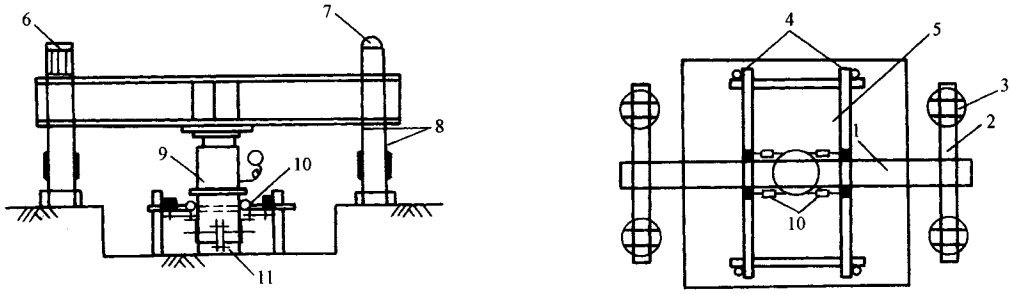


图 14-76　锚桩承载梁反力装置

1-主梁;2-次梁;3-锚桩;4-基准桩;5-基准梁;6-厚钢板;7-硬木包钢筋;8-锚筋;9-千斤顶;10-百分表;11-试桩

$$[p_1] = 0.3Ul\tau_p + G \tag{14-88}$$

式中：$[p_1]$——锚桩的受拉容许承载力，kN；

U——锚桩的周长，m；

l——锚桩的入土深度，m；

τ_p——锚桩壁土的平均极限摩擦力，kPa；

G——锚桩重力，kN。

2.压重平台反力装置(如图 14-77 所示)。

平台用型钢构成，平台的支撑部件采用枕木、混凝土、砌石等。压重不小于预计最大试验荷载的 1.2 倍。压重应在试验开始前加上，并应均匀稳定地设置在平台上。

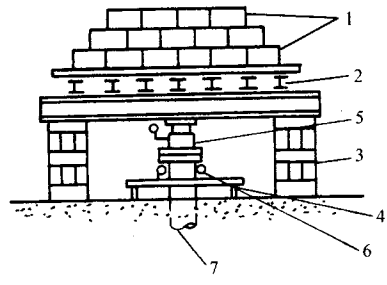


图 14-77　压重平台反力装置

1-压重;2-平台;3-平台支撑;4-基准架;5-千斤顶;6-百分表;7-试桩

3.加载装置的构造要求

1)试桩与锚桩间中心距离

当 $d \leqslant 80$cm，不小于 $5d$；$d > 80$cm 时，不小于 4m。d 为试桩或锚桩的直径或边长，取其大者。

2)试桩中心与压重平台支撑边缘间距离

当试桩直径 $d \leqslant 80$cm 时，不小于 $4d$，并不得小 2m；试桩直径 $d > 80$cm 时，不小于 $3d$，并不得小于 4m。

3)基准桩中心与试桩、锚桩中心及压重平台支撑边缘距离(见表 14-36)。

基准桩中心与试桩、锚桩中心及压重平台支撑边缘间距离　　表 14-36

反力系统	基准桩与试桩	基准桩与锚桩或压重平台支撑边缘
锚桩承载梁反力装置	$\geqslant 4d_1$	$\geqslant 4d_2$
压重平台反力装置	$\leqslant 2.0$m	$\leqslant 2.0$m

注：d_1 为试桩直径或边长，d_2 为锚桩直径；若 d_1 或 d_2 大于 80cm 时，表列值改为 $3d_1$ 或 $3d_2$，且不小于 4m。

三、试验方法

试验方法有慢速维持荷载法和快速维持荷载法。慢速维持荷载法，要求每级荷载加载后达到规定稳定标准时，方可施加下一级荷载。稳定标准规定：每小时沉降量不超过0.1mm，对

于砂土、坚硬粘质土半小时沉降量不超过0.1mm。快速维持荷载法，每级加载以相等的间隔时间继续施加外荷载，并读取其相应的沉降量，不考虑每级施加荷载稳定的要求。若静载试验仅为了检验桩的承载力，亦可采用快速维持荷载法以加快试验速度。此外，静载试验还有等贯入速率法（简称CRP—constont Rate of Penetration）和循环加载卸载法等，参见有关资料。

慢速维持荷载法的加载分级、沉降观测、稳定标准、加载终止及卸载和回弹观测，按《公路桥涵施工技术规范》（JTJ 041—2000）附录B执行。

四、极限荷载的确定

桩的极限荷载（极限承载力）的取值，在某些情况下，常有一定的困难，会产生一些人为因素的误差。现将几种确定极限荷载的方法介绍如下，供相互比较研究确定。

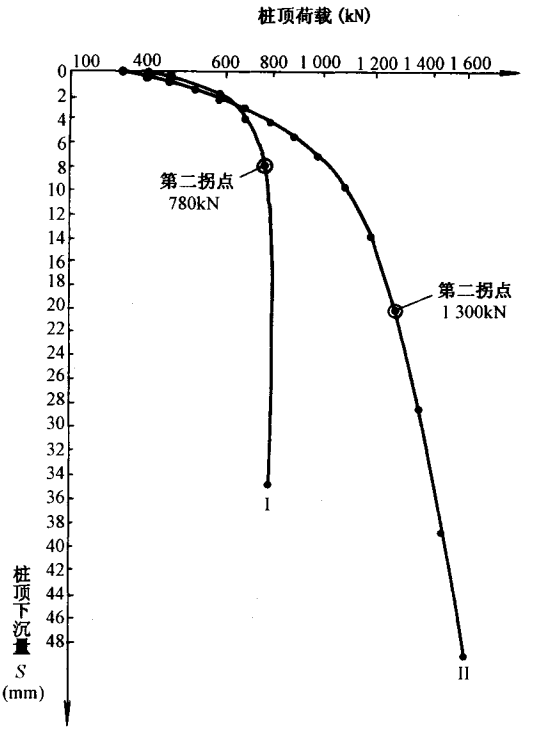


图14-78　P—S曲线第二拐点法

1. P—S曲线第二拐点法

本法以P—S曲线上的明显转折点处的荷载作为桩的极限荷载，如图14-78所示。图中第二拐点处的荷载，即为极限荷载。

图中曲线I为桩尖处土质差或桩入土较浅的摩擦桩产生情况；曲线II为桩尖处土质较好或桩入土较深的摩擦桩产生的情况。本法要准确定出曲线第二拐点的位置比较困难，人为因素影响较大。

2. S—lg$P$曲线法：

本法取S—lg$P$曲线出现陡降直线段的起点处的荷载作为桩的极限荷载，如图14-79所示。

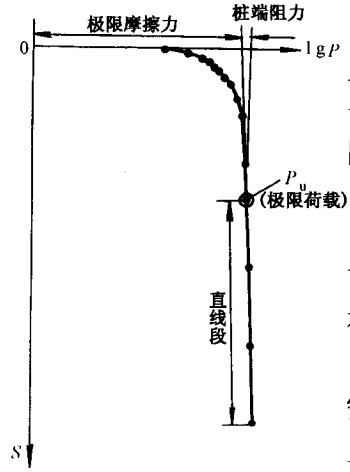


图14-79　S—lgP曲线法

本法的拐点比P—S曲线明显，易于判定。且能将桩侧摩擦力与桩端阻力分开。具体作法是：将以极限荷载为起点的直线延长与横座标相交，其交点与坐标原点之间的荷载值即为桩侧的极限摩擦力，其余部分为桩端的阻力。

3. S—lg$t$曲线法

对于桩端阻力很小的摩擦桩，取S—lg$t$曲线尾部出现明显下凹或坡度陡增时的一级荷载为破坏荷载，其前一级荷载为极限荷载，如图14-80所示。

对于桩端阻力大的摩擦桩，除考虑曲线尾部转折条件外，尚需结合曲线间距离的变化和桩沉降条件，取S—lg$t$曲线间距明显变大的前一级荷载为极限荷载。

4. S—lg$t\left(1-\frac{P}{P_{max}}\right)$曲线法

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

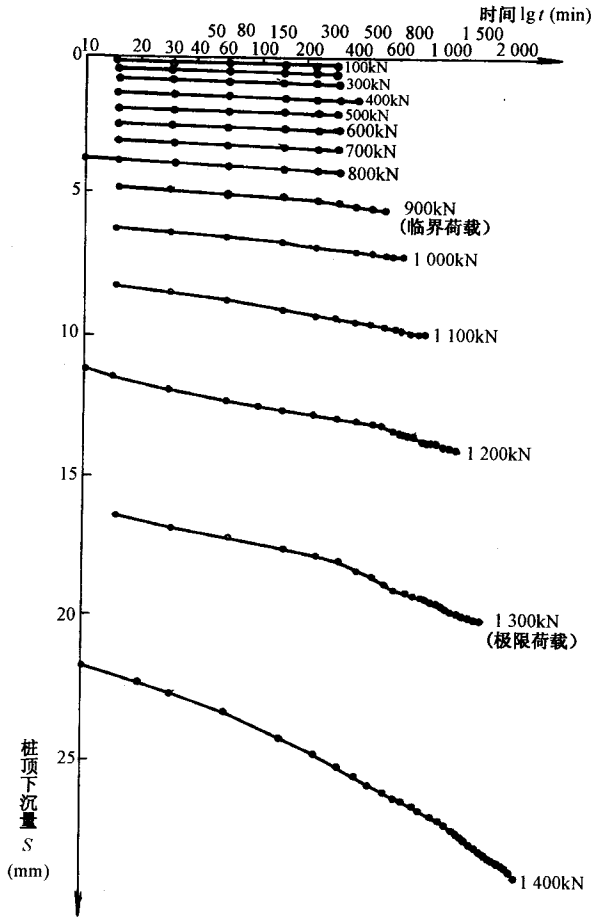


图 14-80　S—lgP 曲线法

具体作法是：根据试验的荷载—沉降资料，任意假设一个 P_{max} 值得到一组曲线，依次假设不同的 P_{max}，便得到一条曲线；若假设的 P_{max} 偏小，曲线上凸，反之则下凹，在两组反向曲线的过渡区中可以找到一根近似的直线，以该级 P_{max} 定为破坏荷载，其前一级定为极限荷载，如图 14-81 所示。

5.容许承载力的取值

容许承载力为极限荷载除以安全系数 K 来确定。对于简支静定体系的结构，K 一般采用 2；对外部超静定结构如连续梁等可根据对基桩沉降的特殊要求而决定。

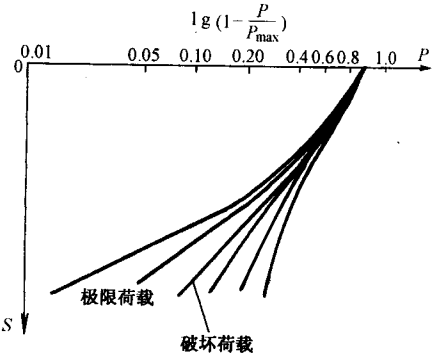


图 14-81　$S—\lg t\left(1-\frac{P}{P_{max}}\right)$ 曲线法

第十五章　临时便桥及支架施工

第一节　概　　述

本章叙述的临时便桥用于配合正桥施工，要求施工快速，拆除方便，绝大部分部件能回收再行使用。在公路桥梁施工中采用的临时便桥大致有以下几种。

1.装配式公路钢桥

采用16Mn钢制造，每桁节长3m，用特制钢销连接，按各排层不同组合，构成不同长度的单孔跨度。该桥的最大优点是部件轻巧，拆装方便，用简单的工具和人力就能迅速建成。

2.墩架梁式桥

其结构简单，桥墩多为排架式。墩基为预制混凝土桩、钢管桩、木桩、垫木及埋置式或垫木混凝土等；排架多为圆木或万能杆件、装配式公路钢桥桁架片组拼；纵梁多为圆木、型钢、钢轨束等；桥面为木板；桥台采用桩式、座梁式、木垛式等。

3.浮桥

浮桥适用于水深、河底土质差的情况，修建桩式基础困难时宜采用。浮桥上部纵梁可采用公路钢桥桁架片、万能杆件组拼或使用工字钢、木梁等；浮墩采用平底船、浮箱或用民舟加固。

4.索桥

在水深流急的河流中，修建其他便桥困难时采用。

5.填土路堤与墩架梁式桥接合

在浅水河流中，采用这种形式的便桥，施工简易，有些情况还能有利于正桥基桩的施工。

本章叙述的支架，是指就地浇筑梁、拱混凝土使用的支架，不包括悬浇、悬拼、顶推、滑移等使用的有关支架。该类支架大致有下列几种。

1)满堂支架

满堂支架主要适用于跨度与高度不大，工程量小的引桥、立交桥。高度大于6m，跨度大于20m，桥位处水深的桥梁，很少采用。满堂木支架现逐渐被钢支架(如碗扣式钢支架等)所替代，但在我国南方山区的桥梁施工中，尚有采用。

2)钢木混合支架

主要是采用钢梁，为了增大支架跨度，减少木排架数量，节约木材用量。

3)钢支架

盖梁及立柱、斜撑等全部采用型钢(包括WDJ碗扣式支架等)组成。适用于河床土质差、跨径大的支架，下部基础可采用钻孔桩、沉入桩，基础以上支柱及上构纵梁可采用万能杆件、装配式公路钢桥桁架片或六四军用梁组拼，支架盖梁采用工字钢组装。

4)拱架

拱架有木拱架、少支架拱架等。后者采用型钢、万能杆件、“321”钢桥或贝雷桁架片等组拼而成，可以节约木材的用量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第二节　临时便桥、支架的主要常用部件设备

一、装配式公路钢桥桁节

(一)概述

装配式公路钢桥桁节包括“321”钢桥桁节、贝雷钢桥桁节以及近期由中交公路规划设计院设计开发的 HD200 型钢桥桁节。“321”钢桥桁节外型尺寸为 150cm × 300cm，贝雷钢桥桁节为 154.94cm × 304.8cm，HD200 型钢桥桁节高度为 213.4cm。HD200 型钢桥桁节在强度、刚度及稳定方面均优于“321”钢桥桁节。HD200 型钢桥的主要优点：具有单车道和双车道行驶性能；为便于安装，取消双层结构增加单层四排；钢桁架的加强弦杆设计了轻型和重型两种，并可在桁架上下弦杆的顶面或底面与桁架接头错开布置，减小销孔间隙引起的竖向变形；为了充分利用桁架的抗弯和抗剪能力，将桥跨两端的一、二节桁节设计为高剪力桁节，以使抗弯与抗剪能力能够同时得到满足。

下面，主要介绍利用钢桁节作为便桥、支架使用时所需的计算数据及力学性能。

(二)桁节构件设计应力

1.“321”钢桥桁节构件

桁节构件为 16Mn 钢，销子为 30 铬锰钛钢，插销为弹簧钢，用 T505X 型焊条焊接制成。设计时采用的容许应力为：

1)16Mn 钢拉应力、压应力及弯曲应力为 1.3 × 210 = 273MPa，剪应力为 1.3 × 120 = 156MPa。其中 1.3 为基本容许应力的提高系数；

2)30 铬锰钛钢拉应力、压应力及弯曲应力为 0.85 × 1 300 = 1 105MPa，剪应力为 0.45 × 1 300 = 585MPa。其中 0.8、0.45 为基本容许应力的折减系数。

2.英制贝雷桁节构件

现使用的英制贝雷桁节都是在 20 世纪 40 年代制作的，钢材的屈服强度为 351MPa，容许应力可按 0.7 × 351 = 245MPa 考虑。销子容许应力可按与“321”钢桥桁架的销子相同考虑。

(三)桁架片力学性能及其他构件容许荷载

1.“321”钢桥和贝雷钢桥桁架片力学性能

“321”及贝雷钢桥桁架片力学性能见表 15-1。

“321”钢桥和贝雷钢桥桁架片力学性能　　表 15-1

类型	高 × 长 (cm)	弦杆截面积 A (cm^2)	弦杆惯性矩 I_x (cm^4)	弦杆截面模量 W_x (cm^3)	桁架节惯性矩 I_0 (cm^4)	桁架节截面模量 W_0 (cm^3)
“321”	150 × 300	25.48	396.6	79.4	250 500	3 570
贝雷	154.94 × 304.8 (61 × 120in)	27.48	382.9	75.2	283 000 (6 800in^4)	3 910 (238.6in^3)

续上表

类型	桁架节容许弯矩 M_0 (kN·m)	桁架节容许剪力 Q_0 (kN)	弦杆回转半径 $r=\sqrt{\frac{I_x}{A}}$ (cm)	自由长度 l_0 (cm)	长细比 $\lambda=l_0/r$	纵向弯曲系数 φ	弦杆纵向容许受压荷载 (kN)
"321"	788	245	3.94	75	19.0	0.953	663
贝雷	709	220	3.72	76.2	20.5	0.948	638

注：①"321"钢桁片容许弯矩系单排单层的数值，各由其容许应力计算得出，如规定的容许应力与前述不同时，则应另行计算；

②三排单层贝雷的容许弯矩可按单排单层的乘以3，再乘以不均匀折减系数0.9；双排双层的可按单排单层的乘以4，再乘0.9；三排三层的可按单排单层的乘以6，再乘以0.8；

③表列末项弦杆纵向容许受压荷载，是在桁架片竖立组成墩架、塔架时采用。

2.HD200型桁架片力学性能

HD200型桁架片的惯性矩为580 967.2cm^4；单排单层的容许弯矩1 047.8kN·m；单排单层的剪力为223.6kN，为了满足桥梁施工架设的需要，设计增加了高剪力、超高剪力和特高剪力三种。高剪力为320.7kN、超高剪力为384.6kN，特高剪力为448.8kN。当梁跨的抗弯能力满足而抗剪能力不足时，只要在梁跨两端各安一节或两节高剪力桁架节就可使梁跨的抗弯、抗剪能力同时得到满足。其他的力学性能，参见有关资料。

3.其他构件容许荷载

1)贝雷桁架

(1)桁架销子双剪时容许剪力为550kN。

(2)弦杆螺栓容许剪力为150kN；容许拉力为80kN。

(3)摇滚容许荷载为210kN。

2)"321"钢桥桁架

(1)摇滚容许荷载为250kN。

(2)平滚每个滚子容许荷载为60kN。

其余参考贝雷的数值。

(四)钢桁架垂度和挠度计算

垂度是指桁架节连接的销子和销孔之间的空隙使桁架产生的下垂量。

挠度是指加载时桁架产生的弹性变形量。

1.垂度计算

1)桁架跨度具有单数桁架节的节数时，其中央垂度可按下式计算：

(1)"321"钢桥：

$$f_{垂1}=0.5\alpha(n^2-1) \tag{15-1a}$$

(2)贝雷钢桥：

$$f_{垂1}=0.125\alpha_1(n^2-1) \tag{15-1b}$$

式中：n——桁架跨度桁架节的节数；

α——常数，单层桁梁时，$\alpha=0.1524$cm；

α_1——常数，单层桁梁时，$\alpha_1=0.356$cm；双层桁梁时，$\alpha_1=0.172$cm。

2)桁架跨度具有双数桁架节的节数时，其中央垂度可按下式计算：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1)“321”钢桥：

$$f_{垂2} = 0.5\alpha n^2 \tag{15-2a}$$

(2)贝雷钢桥：

$$f_{垂2} = 0.125\alpha_1 n^2 \tag{15-2b}$$

式中：n、α、α_1——意义与上式相同。

2.弹性挠度计算

贝雷桁片和“321”桁片的作用和刚性板几乎完全相似，计算时可采用一般的弹性挠度公式。

1)均布荷载作用下，跨中弹性挠度可按下式计算：

$$f_{挠1} = \frac{5}{384EI_0}ql^4 \tag{15-3}$$

2)跨中集中荷载作用下，跨中弹性挠度可按下式计算：

$$f_{挠2} = \frac{1}{48EI_0}pl^3 \tag{15-4}$$

式中：q——均布荷载；

p——集中荷载；

l——跨度；

E——钢弹性模量；

I_0——贝雷或“321”桁架片惯性矩，可由表 15-1 查用。

二、六四军用梁

(一)概述

六四军用梁(俗称三角架)是全焊构架、销接组装、单层或双层多片装配式上承钢桁梁。它既适用于跨长 4m 倍数的桥跨，也适用于按 0.5m 变换跨长的桥跨。此种构件轮廓尺寸小，装拆较方便，可使用于公路桥梁现浇混凝土的支架、临时便桥等。

(二)构件、配件分类和构造

1.构件

六四军用梁构件共有十一种，分为基本构件、辅助端构架构件及低支点端构架构件三类。

1)基本构件

基本构件共有七种，其构造如图 15-1 所示。

(1)标准三角构架

见图 15-1a)。质量 455kg，单层式、双层式梁均采用。

(2)端构架

见图 15-1b)。质量 412kg，单层式、双层式梁均采用，主要拼成铁路桥梁标准跨径。

(3)标准弦杆

见图 15-1c)。质量 231kg，单层式梁用。

(4)端弦杆

见图 15-1d)。质量 177kg，加强型、非加强型单层式梁用。

(5)斜弦杆

见图 15-1e)。质量 139kg，加强型、非加强型、双层式梁用。

(6)撑杆

见图 15-1f)。质量 137kg,加强型、非加强型双层式梁用。

(7)加强弦杆

见图 15-1g)。质量 240kg,加强型单层式梁用。

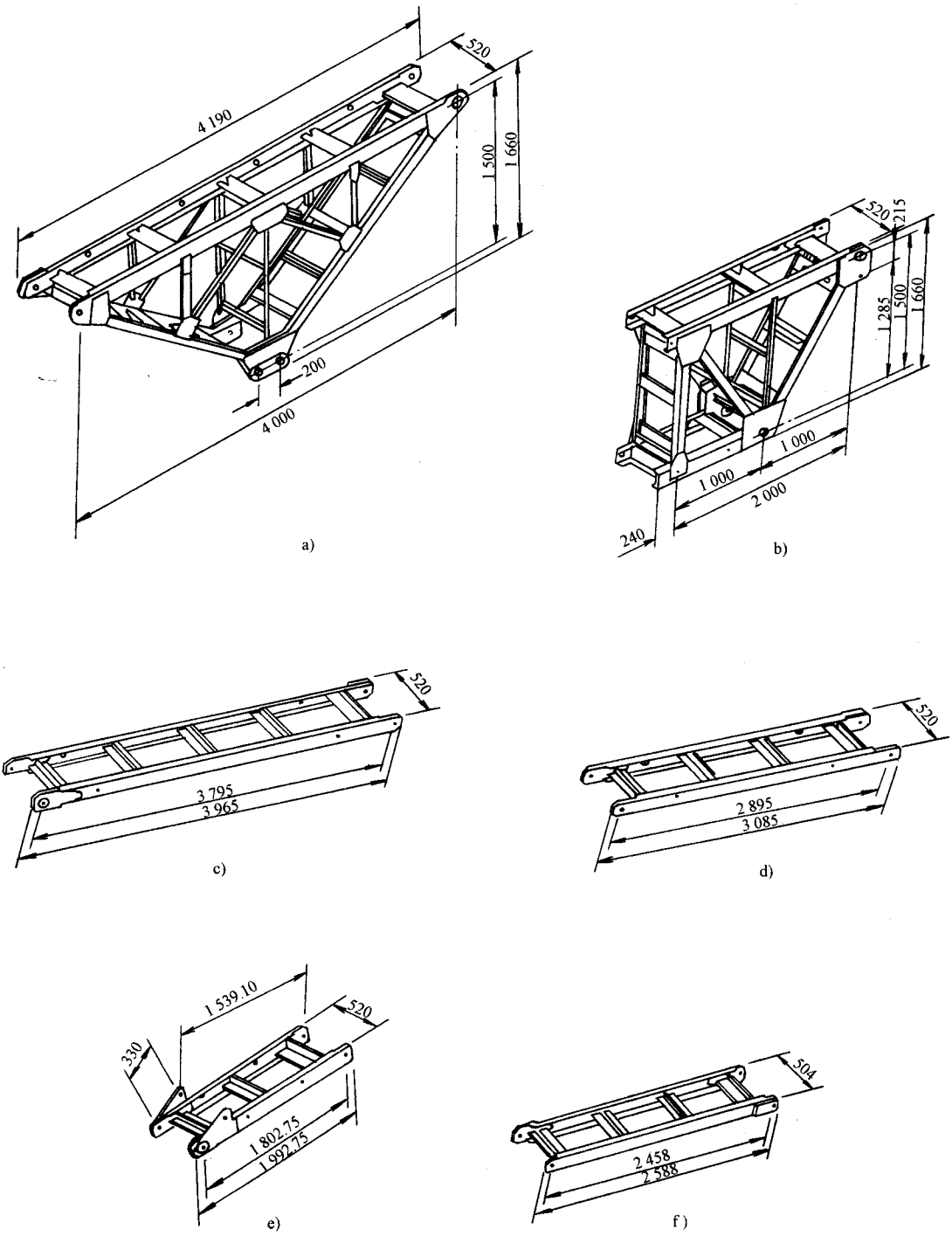
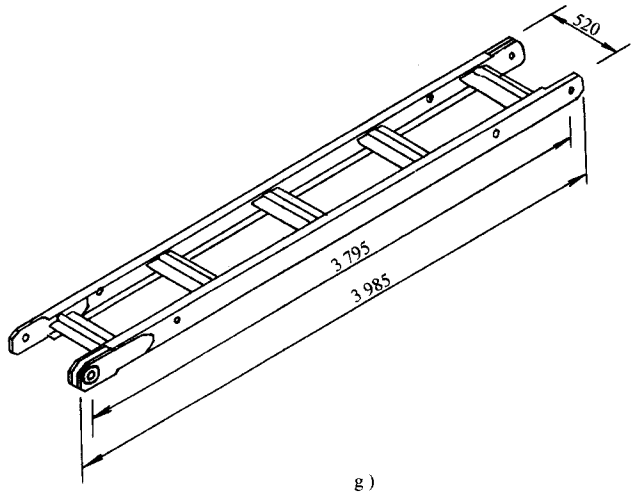


图 15-1

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载



g)

图 15-1　基本构件构造图(单位:mm)

以上七种基本构件的尺寸,主要适用于铁路桥梁的标准跨度,用此七种基本构件及其他配件组成的成套部件,称为“标准套”。

2)辅助端构架构件

辅助端构架构件共有 1.5m、2.5m、3.0m 三种不同的长度,其构造如图 15-2 所示。

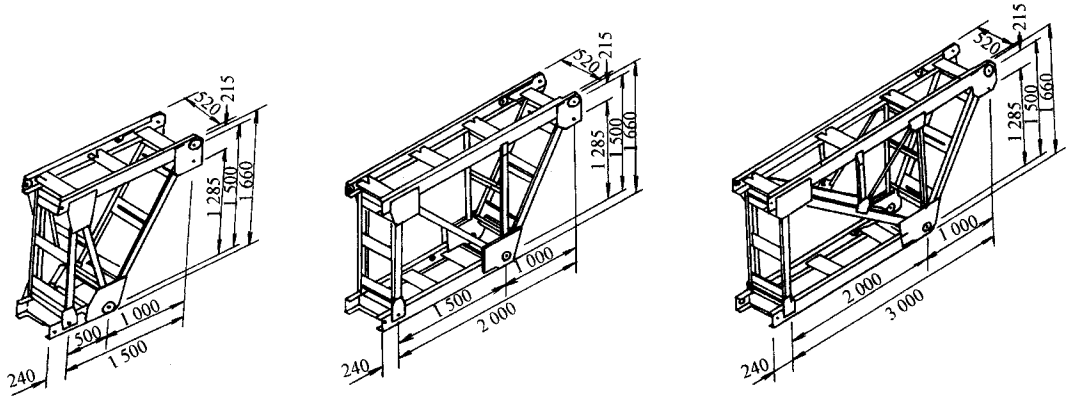


图 15-2　辅助端构架构件构造图(单位:mm)

(1)1.5m 辅助端构架

见图 15-2a)。质量 354kg,加强型,非加强型单层式或双层式梁用。

(2)2.5m 辅助端构架

见图 15-2b)。质量 495kg,加强型、非加强型单层式或双层式梁用。

(3)3.0m 辅助端构架

见图 15-2c)。质量 562kg,加强型、非加强型单层式或双层式梁用。

以上三种不同长度的端构架,是用来代替、配合标准套中的端构架,适应于铁路桥梁的非标准跨度。

3)低支点端构架构件

低支点端构架构件共有 2m、3m 两种不同的长度，其构造如图 15-3 所示。

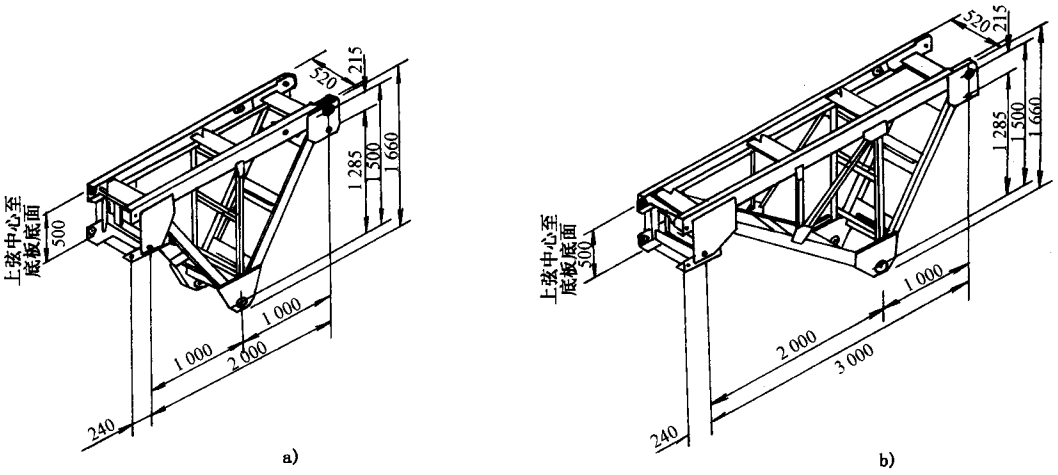


图 15-3　低支点端构架构造图(单位：mm)

(1)2m 低支点端构架

见图 15-3a)。质量 367kg，加强型、非加强型单层式或双层式梁用。

(2)3m 低支点端构架

见图 15-3b)。质量 469kg，加强型、非加强型单层式或双层式梁用。

以上 2m、3m 不同长度低支点端构架，主要用于抢修铁路桥梁，适应按 1m 调整跨度之用。

2.配件

六四军用梁配件共有 11 种，按用途分为四类。

1)主桁构件连接配件包括钢销和撑杆销栓 2 种。

2)连接系配件包括套管螺栓、连接系槽钢、2 号 U 型螺栓、3 号 U 型螺栓 4 种。

3)桥面系配件包括钢枕、1 号 U 型螺栓、压轨板、压轨螺栓 4 种。

4)支座每套包括枕木 2 根、定位角钢 8 只、连接螺栓 25 套。

各配件构造如图 15-4 所示。

(三)构件组装

六四军用梁的组装，可按下列规定执行。

1.主桁架

用基本构件和钢销按图式组拼成片。若采用低支点端构架组装时，应增加撑杆及销子。

2.连接系

1)每片主桁梁连接是在靠近节点处的上、下弦杆，每个节间各安装横联套管螺栓 2 只。但上弦的横联套管螺栓按整片标准三角架数量计算：若为双数时，在两个标准三角架的上弦安装；若为单数时，在跨中一个标准三角架上弦安装。在每个节间内应安装 4 只套管螺栓。

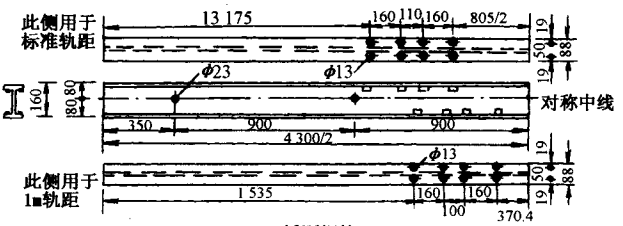
2)上弦平面不设连接系，用桥面钢枕代替。

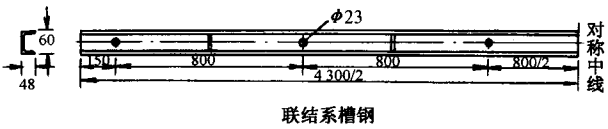
3)下弦平面在靠近钢销节点处，每个节间内布置两根连接系槽钢，用 2 号 U 型螺栓和下弦杆的各肢连接。

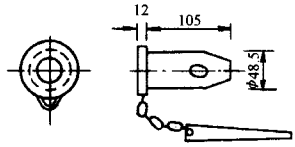
4)腹杆截面连接系槽钢的设置。

(1)单层式桁梁，在端构架的端竖杆靠近上、下节点处，平放两根连接系槽钢，用 3 号 U 型螺栓与各根端竖杆的各肢连接。

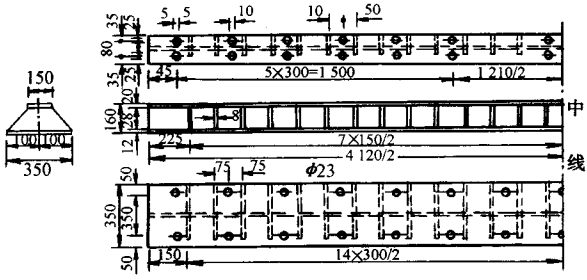
标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载



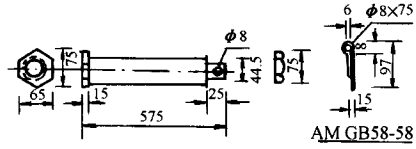
桥面钢枕

联结系槽钢



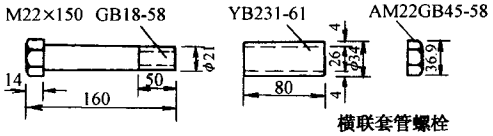
钢销



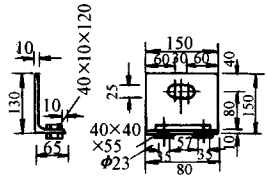
垫枕



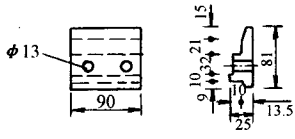
撑杆销栓



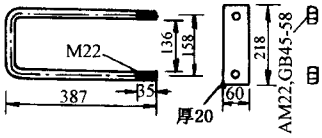
横联套管螺栓



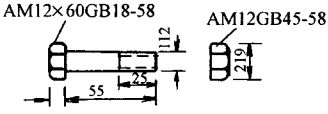
定位角钢



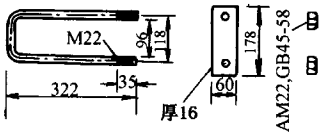
压轨钣



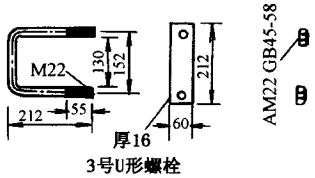
1号U形螺栓



压轨钣螺栓



2号U形螺栓



3号U形螺栓

图 15-4　配件构造图(单位:mm)

(2)双层式桁梁,连接系槽钢的安设位置如下:

①端构架的端竖杆处规定与(1)相同;

②斜弦杆上立放一根连接系槽钢,用2号U形螺栓与各根斜杆的各肢连接;

③标准三角架主斜杆中间十字交叉点附近,各平放一根连接系槽钢,用3号U形螺栓与各根斜杆各肢连接;

④撑杆平面正反交叉立放连接系槽钢各一根,用2号U形螺栓与撑杆各肢相连接,并至少与每根撑杆的一肢有连接。

3.桥面

1)桥面钢枕基本上按每隔0.45m间距设置一根,用1号U形螺栓与每片主桁梁的上弦杆各肢连接。

2)当主桁梁为4片或5片桁架组成时,在桥面钢枕两侧,应铺设纵向钢枕,以增加侧向刚度。

六四军用梁连接系构造如图15-5所示。

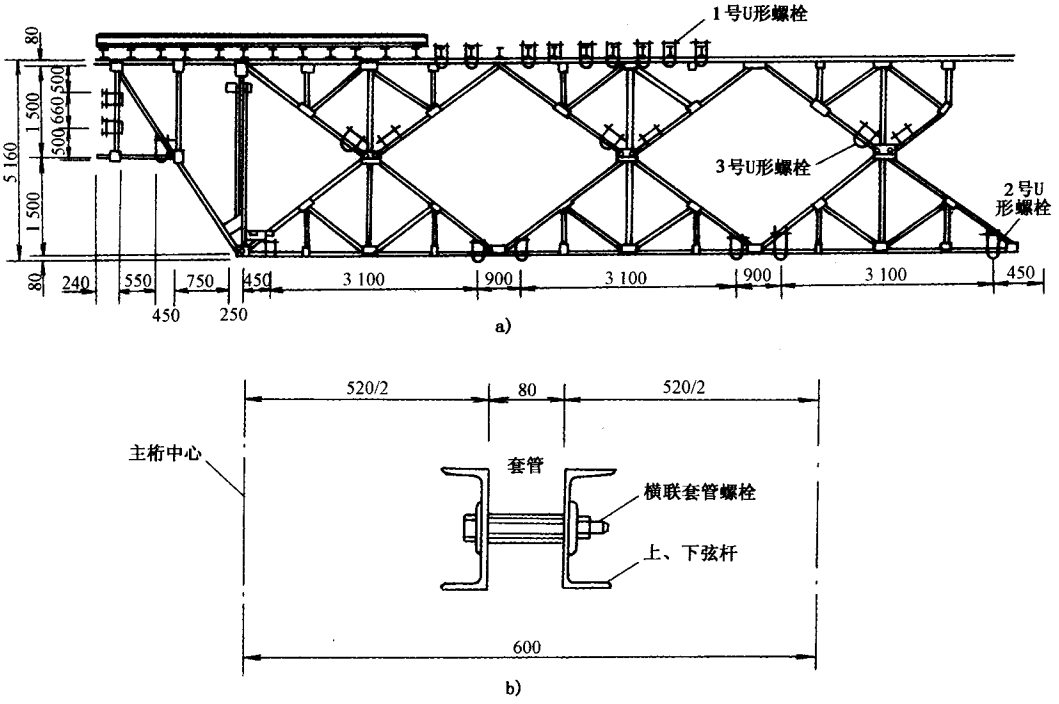


图15-5 六四军用梁连接系构造(单位:mm)

a)直线桥桥面与连接系构造;b)主桁梁片与片间连接

(四)六四军用梁承载性能

六四军用梁每片梁都是双片式平面桁架,断面全高166cm,宽52cm,部件所使用的钢材为16Mn(桥),强度高。其缺点是单元块件的自重力较大,一个"标准三角构架"重力为4.55kN,人力拼装困难,需用吊车等配合。

六四军用梁主要构件的杆件截面性能和容许承载力见表15-2。

六四军用梁跨度承载性能见表15-3。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

主要构件的杆件截面性能和容许承载力

表 15-2

构件和杆件名称				钢材材质	截面性能			杆件容许承载力(kN/片)	
					截面	截面面积(cm^2)	纵向弯曲系数 ϕ	验算军用梁时用	验算轻便架桥机时用
标准三角构架	弦杆	轴向力		16锰(桥)	2[16b	50.3	0.833	±1 000	-1 000
		偏心受压	7片梁时				0.752	-910	—
			6片梁时				0.737	-890	—
			5片梁时				0.718	-870	—
			4片梁时				0.690	-830	—
	斜腹杆				2[8	20.48	0.867	±420	±450
	中竖杆				2∠50×50×5	9.6	0.594	-100	-150
加强三角构架		轴向力		15锰钒氮 16锰(桥)	2[16b	50.3	0.833	±1 400	—
		偏心受压	7片梁时				0.775	-1 330	—
			6片梁时				0.766	-1 310	—
			5片梁时				0.754	-1 290	—
			4片梁时				0.733	-1 260	—
	斜腹杆				2[8	20.48	0.867	±420	—
	中竖杆				2∠50×50×5	9.6	0.591	-100	—
端构架	端压杆			16锰(桥)	2[10	25.48	0.881	-540	—
	斜拉杆				2[10	25.48	—	+550	—
	斜压杆				2[8	20.48	0.832	-410	-440
标准弦杆				16锰(桥)	2[16b	50.3	—	+1 000	+1 310
加强弦杆				15锰钒氮 16锰(桥)	2[16b	50.3	—	+1 400	—
端弦杆				16锰(桥)	2[16a	43.9	—	+10 000	+1 140
斜弦杆				16锰(桥)	2[16a	43.9	—	+1 000	—
撑杆				16锰(桥)	2[16a	43.9	0.844	-450	—

注:拉力为"+",压力为"-"。

六四军用梁跨度承载性能　　表 15-3

跨径 L (m)	六四军用梁			加强型六四军用梁		
	最大承载力 q_{max}(kN/m)	最大跨中挠度 f_{max}(mm)	单片梁自重 G(kN)	最大承载力 q_{max}(kN/m)	最大跨中挠度 f_{max}(mm)	单片梁自重 G(kN)
8	217.5	9.9	16.45	262.5	12.0	16.72
9	171.8	12.5	18.11	207.4	15.1	18.38
10	139.2	15.5	19.45	168.0	18.7	19.72
11	115.0	18.7	22.21	138.8	22.6	22.84
12	96.7	22.3	23.37	116.7	26.9	24.00
13	82.4	26.2	25.03	99.4	31.6	25.66
14	71.0	30.3	26.37	85.7	36.6	27.00
15	61.9	34.8	29.13	74.7	42.0	30.12
16	54.4	39.6	30.29	65.6	47.8	31.28
17	48.2	44.7	31.95	58.1	54.0	32.94
18	43.0	50.1	33.29	51.9	60.5	34.28
19	38.6	55.9	36.05	46.5	67.4	37.40
20	34.8	61.9	37.21	42.0	74.7	38.56
22	28.8	74.9	40.21	34.7	90.4	41.56
24	24.2	89.1	44.13	29.2	107.6	45.84
26	20.6	104.6	47.13	24.9	126.3	48.84
28	17.8	121.3	51.05	21.4	146.4	53.12
30	15.5	139.3	54.05	18.7	168.1	56.12
32	13.6	158.5	57.97	16.4	191.3	60.40

注:①最大承载力 q_{max}包括桁梁自重力;

②最大跨中挠度 f_{max}(即 $Q = Q_{max}$时跨中挠度)。

三、万能杆件

(一)概述

万能杆件可以组拼成桁架、塔架或龙门架等,并常用作临时桥梁及支架的墩台和桁梁。

万能杆件拆装容易、运输方便,利用率高,可以节省辅助结构所需用的木料,适用范围很广。

(二)杆件构造

万能杆件的类型有铁道部生产的甲型(又称 M 型)、乙型(又称 N 型)和西安筑路机械厂生产的西乙型。三者在结构、拼装型式上基本相同,仅弦杆角钢尺寸、部分缀板的大小和螺栓直径稍有差异。现将西乙型的构造和有关资料介绍如下。

西乙型万能杆共有 24 种。其中杆件及拼接用角钢零件 9 种,编号为①、②、③、④、⑤、⑥、⑦、⑦A、⑯;节点板 9 种,编号⑧、⑪、⑬、⑰、⑱、㉒、㉒A、㉓、㉘;缀板 2 种,编号⑲、⑳;填板 1 种,编号⑮;支撑靴 1 种,编号㉑A;螺栓 2 种,编号㉔、㉕。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

各种杆件、角钢、节点板等的构造如图 15-6 所示。

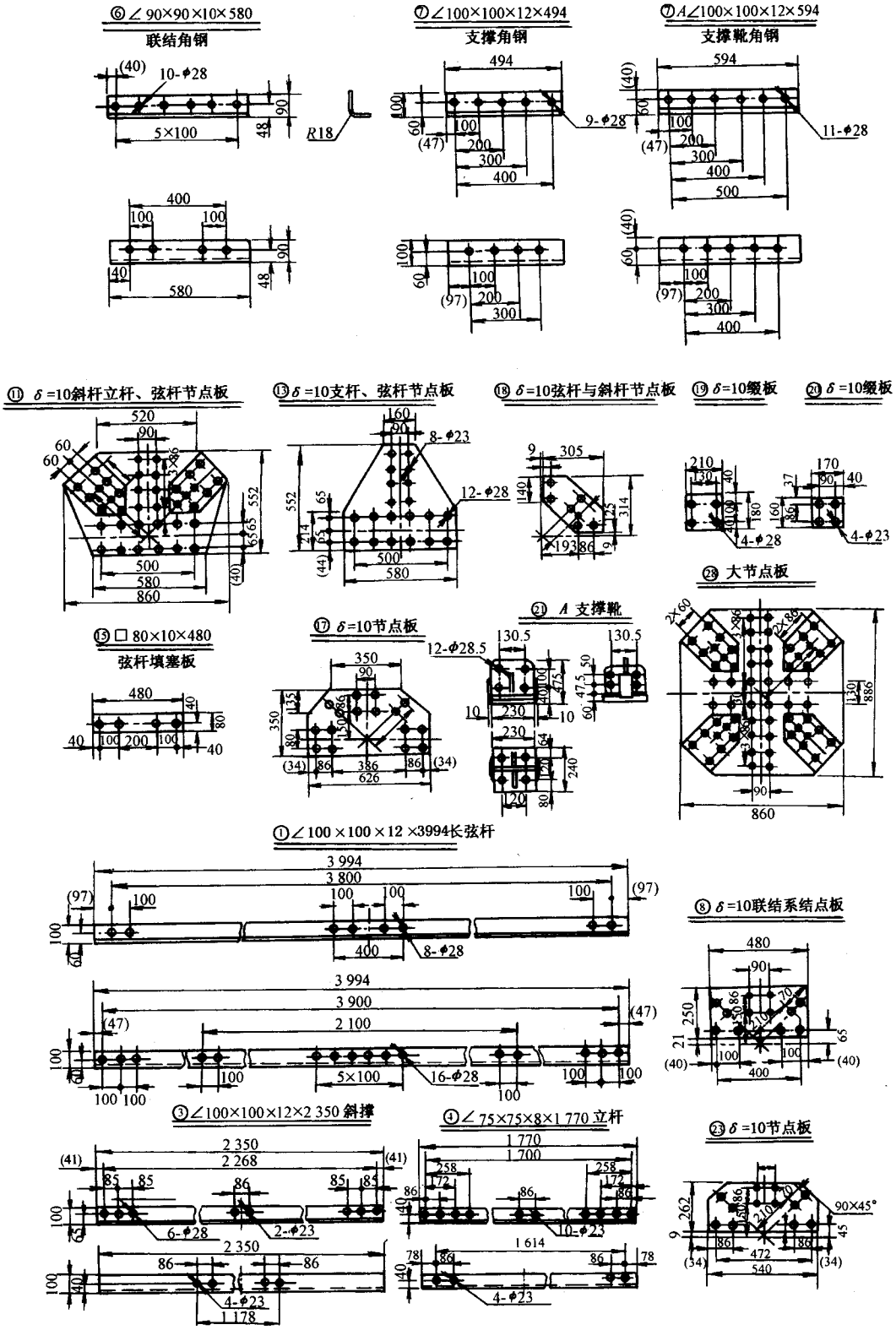


图 15-6

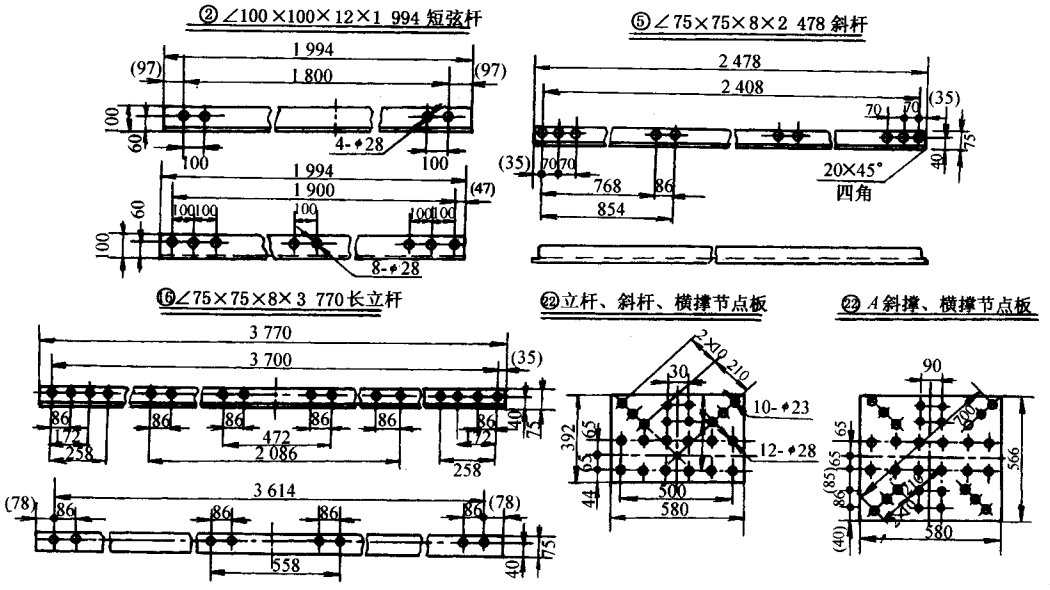


图 15-6　西乙型万能杆件构造图(单位:mm)

(三)西乙型万能杆件规格及质量

西乙型万能杆件规格尺寸及质量见表 15-4。

西乙型万能杆件规格尺寸及质量　　表 15-4

编号	名　称	规　格　(mm)	单位质量(kg)	附　注
①	长弦杆	∠100×100×12×3 994	71.49	
②	短弦杆	∠100×100×12×1 994	35.69	
③	斜杆	∠100×100×12×2 350	42.07	
④	立杆	∠75×75×8×1 770	15.98	
⑤	斜撑	∠75×75×8×2 478	22.38	
⑥	联结角钢	∠90×90×10×580	8.20	用于①或②
⑦	支撑角钢	∠100×100×12×494	8.84	用于①或②
⑦A	支撑靴角钢	∠100×100×12×594	10.63	用于①或②
⑧	节点板	□250×280×10	9.42	①②与④⑤相连
⑪	节点板	□860×552×10 $A=33.89cm^2$	35.88	①②与③④相连
⑬	节点板	□580×552×10 $A=2\ 492cm^2$	19.56	①②与④⑯相连
⑮	弦杆填塞板	□8×480×10	3.01	用于①或②

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

编号	名　称	规　格　(mm)	单位质量(kg)	附　注
⑯	长立杆	∠75×75×8×3 770	34.04	
⑰	节点板	□626×350×10　A=2 005cm²	15.74	④⑯与④⑤相连
⑱	节点板	□305×314×10　A=606cm²	4.76	④⑯与④⑤水平相连
⑲	缀板	▭210×180×10	2.97	用于①或②
⑳	缀板	▭170×160×10	2.14	用于③④⑤⑯
㉑A	支撑靴		24.01	
㉒	节点板	□580×392×10	17.85	①②与④⑤相连
㉒A	节点板	▭580×566×10	25.77	①②与④⑤相连
㉓	节点板	□540×262×10　A=1 334cm²	10.47	④⑯与④⑤相连
㉔	普通螺栓	φ22×(40、50、60)		
㉕	普通螺栓	φ27×(40、50、60、70、80)		
㉖	大节点板	□860×886×10 A=7 042cm²	73.84	①②与③④相连

注：①各种杆件除⑲⑳用 A3 钢制作外，其余均用 16 锰钢制作；

②表中 A 为节点板面积。

西乙型与 N 型万能杆件的不同点：N 型的③为∠100mm×75mm×10mm×2 350mm；多⑨联结角钢∠75mm×75mm×8mm×630mm；⑩横撑角钢∠75mm×75mm×8mm×5 770mm；㉕螺栓直径为 φ28mm；以及各种节点板与支撑靴尺寸稍有不同；无㉖大节点板。

M 型万能杆件是早期产品，①、②、⑦杆件角钢为∠120mm×120mm×10mm，⑥为∠100mm×100mm×10mm×580mm；㉕螺栓直径为 φ27mm；其余杆件与 N 型万能杆件基本相同。

(四)西乙型万能杆件的截面面积及力学性能

西乙型万能杆件截面积及力学性能见表 15-5。

西乙型万能杆件截面积及力学性能　　表 15-5

构件名称	截面形式	截面组成规格 (mm)	全截面面积 A (cm²)	螺栓孔减少面积 A_H (cm²)	回转半径 $r=\sqrt{I/A}$ (cm)	自由长度 l_p (cm)	长细比 $\lambda=\frac{l_p}{r}$	纵向弯曲系数 φ	容许外力(kN) 受拉 S_P	受压 S_C	连接 S_{hP}	连接控制因数
弦杆成柱	⌐L	2∠100×100×12	45.6	6.72	4.56	200 400	43.9 87.7	0.857 0.540	778 778	782 493	687 687	单剪： $d=27$ $n=10$
①或②	⌐L ⌐L	4∠100×100×12	91.2	13.44	4.56	200 400	43.9 87.7	0.857 0.549	1 555 1 555	1 563 1 001	1 374 1 374	双剪： $d=27$ $n=10$ $\delta=20$

续上表

构件名称	截面形式	截面组成规格（mm）	全截面面积 A（cm^2）	螺栓孔减少面积 A_H（cm^2）	回转半径 $r=\sqrt{I/A}$（cm）	自由长度 l_p（cm）	长细比 $\lambda=\frac{l_p}{r}$	纵向弯曲系数 φ	容许外力(kN) 受拉 S_P	容许外力(kN) 受压 S_C	容许外力(kN) 连接 S_{hP}	连接控制因数
斜杆③		2∠100×100×12 4∠100×100×12	45.6 91.2	6.72 13.44	4.56 4.56	283	62.1	0.751	778 1 555	685 1 370	412 824	单剪：$d=27$ $n=6$ 双剪：$d=27$ $n=6$、$\delta=20$
横撑④⑤⑯		2∠75×75×8	23.0	3.68	3.49	200 400 600	57.3 114.6 171.9	0.782 0.362 0.159	3 860 3 860 3 860	360 167 73	365	单剪： $d=22$ $n=8$
		4∠75×75×8	46.0	7.36	3.49	200 400 600	57.3 114.6 171.9	0.782 0.364 0.159	773 773 773	719 335 146	352	孔壁承压： $d=22$ $n=8$ $\delta=10$
横撑④⑤⑯		2∠75×75×8	23.0	3.68	3.49	200 400 600	57.3 114.6 171.9	0.782 0.364 0.159	386	360 167 73	182	单剪： $d=22$ $n=4$
斜撑		1∠75×75×8	11.5	1.84	2.28	283 566 849	124.1 248.2 372.4	0.316 – –	193	73 – –	91	单剪： $d=22$ $n=2$
⑤		2∠75×75×8	23.0	3.68	2.28	283 566 849	124.1 248.2 372.4	0.316 – –	386	145 – –	88/132 88/132 88/132	孔壁承压： $d=22$ $n=3$

注：①16Mn 钢容许应力[σ]按 200MPa 计算；

②容许外力 $S_P=20(A-A_H)$；$S_C=20A\varphi$。

③连接容许外力：剪切控制的 $S_{np}=nn_j[\tau]\frac{\pi}{4}d^2$；承压控制的 $S_{np}=n[c]d\Sigma t$；

式中：n 为螺栓个数；n_j 为螺栓受剪面数；d 为螺栓直径；t 为钢板厚度；$[\tau]$为螺栓容许剪应力，16Mn 钢为 120MPa；$[c]$为螺栓连接容许压应力，16Mn 钢为 200MPa；

④万能杆件作为临时拼装结构使用，表列容许外力可乘以系数 1.3；如构件采用其他钢材制作，容许外力应另行计算。

（五）万能杆件组拼原则

万能杆件可组拼成桁梁、墩架及塔架等，其高度为 2m 的倍数。对于桁梁，当高度为 2m 时，腹杆采用三角形；当高度和宽度为 4m 时，腹杆为棱型（如图 15-7 所示）。对于墩架和塔架，其柱与柱的距离和桁架相同，为 2m 倍数。

万能杆件组拼的构件，按结构力学进行分析。杆件的组拼截面、力学性能及连接螺栓控制因素，见表 15-5。各杆件的容许外力不得超过表值的规定。

四、WDJ 碗扣式支架构件

（一）概述

WDJ 碗扣式多功能支架是一种承插式钢管脚手架，已广泛应用于交通、建筑各个领域。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

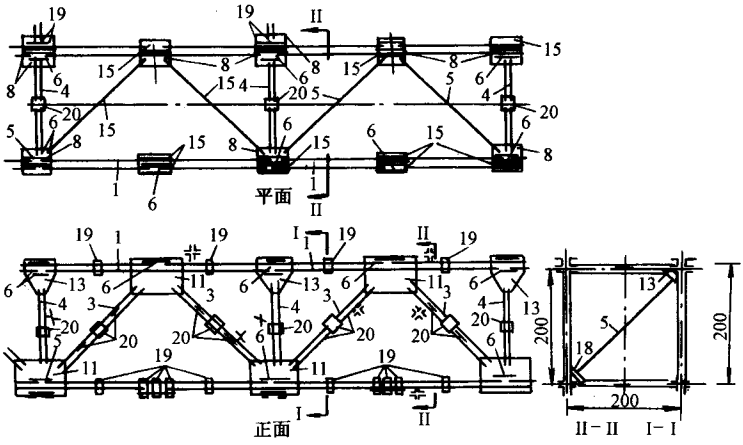


图 15-7　万能杆件组拼桁架示意图(单位:cm)

这种支架的优点是:

1)多功能,能组成单排、双排脚手架以及模板支撑架、支撑柱等;

2)高效率,避免螺栓作业,拼拆快速省力;

3)承载力大,杆件轴线交于一点,节点在框架平面内,接头具有可靠的抗弯、抗剪、抗扭力学性能,自锁能力强,稳固可靠。

(二)碗扣式支架接头

碗扣接头在立杆上每隔 0.6m 设置一副,每个接头同时能连接四根横杆,可以垂直或偏转一个角度。碗扣接头构造如图 15-8 所示。

碗扣接头的力学性能如下:

1)下碗扣轴向抗剪极限强度为 170kN;

2)上碗扣偏心抗拉极限强度为 43kN;

3)横杆接头抗弯能力在悬臂端集中荷载作用为 6～9kN·m。

支架立杆连接方式很简便,并有良好的垂直受力条件,其构造如图 15-9 所示。

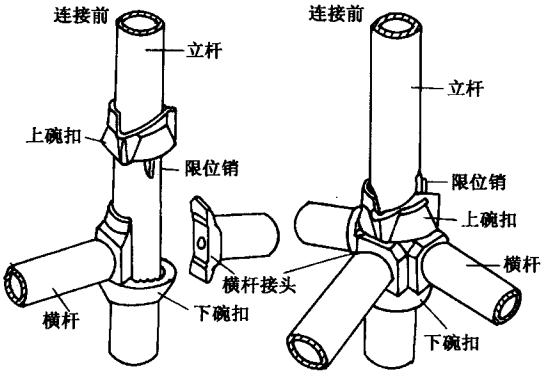


图 15-8　碗扣接头构造

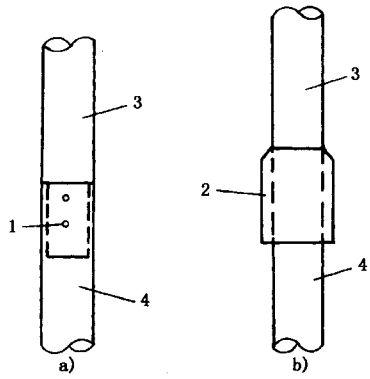


图 15-9　支架立杆连接示意

a)插入式;b)套入式

1-上节插头;2-上节套管;3-上节;4-下节

(三)碗扣式支架构件规格及设计荷载

1.碗扣式支架构件规格(见表 15-6)

碗扣式支架构件规格 表 15-6

构杆名称	型　号	A(mm)	B(mm)	理论质量(kg/m)	备　注
立杆	LG.120	1 200		7.41	
	LG.180	1 800		10.67	
	LG.240	2 400		14.02	
	LG.300	3 000		17.31	
专用立杆	ZG.200	2 000	10.45		
	ZG.240	2 400	11.22		
横杆	HG.30	300		1.67	
	HG.60	600		2.82	
	HG.90	900		3.97	
	HG.120	1 200		5.12	
	HG.150	1 500		6.28	
	HG.180	1 800		7.43	
	HG.240	2 400		9.73	
	HG.65	650		3.02	
	HG.95	950		4.17	
	HG.125	1 250		5.32	
	HG.155	1 550		6.48	
	HG.185	1 850		7.63	
间横杆	JHG.120	1 200	0	6.43	
	HG.120 + 30	1 200	300	7.74	
	HG.120 + 60	1 200	600	9.69	
单排横杆	DHG.190	1 900		9.45	
斜杆	XG.150	1 500		7.11	用于 900mm × 1 200mm 框架
	XG.170	1 700		7.87	用于 1 200mm × 1 200mm 框架
	XG.216	2 160		9.66	用于 1 200mm × 1 800mm 框架
	XG.234	2 340		10.34	用于 1 500mm × 1 800mm 框架
	XG.255	2 550		11.13	用于 1 800mm × 1 800mm 框架
	XG.300	3 000		12.87	用于 2 400mm × 1 800mm 框架
立杆可调底座	KTZ.30	可调范围 0 ~ 300		5.24	
	KTZ.50	0 ~ 500		6.75	
	KTZ.60	0 ~ 600		7.50	
立杆可调托撑	KTC.30	可调范围 0 ~ 300		4.95	
	KTC.50	0 ~ 500		6.45	
	KTC.60	0 ~ 600		7.20	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2.碗扣式支架构件设计荷载

1)立杆

(1)横杆步距为0.6m时,每根立杆荷载40kN。

(2)横杆步距为1.2m时,每根立杆荷载30kN。

(3)横杆步距为1.8m时,每根立杆荷载25kN。

(4)横杆步距为2.4m时,每根立杆荷载20kN。

2)横杆

(1)0.9m横杆跨中最大集中荷载 $P_{max}=6.77kN$;最大均布总荷载 $Q_{max}=14.81kN$。

(2)1.2m横杆跨中最大集中荷载 $P_{max}=5.08kN$;最大均布总荷载 $Q_{max}=11.11kN$。

(3)1.5m横杆跨中最大集中荷载 $P_{max}=4.06kN$;最大均布总荷载 $Q_{max}=8.80kN$。

(4)1.8m横杆跨中最大集中荷载 $P_{max}=3.39kN$;最大均布总荷载 $Q_{max}=7.40kN$。

3)支撑柱

(1)支撑高度 $H\leqslant 5m$ 时,荷载为180kN。

(2)支撑高度 $5m<H\leqslant 10m$ 时,荷载为150kN。

(3)支撑高度 $10m<H\leqslant 15m$ 时,荷载为100kN。

五、浮　箱

(一)概述

浮箱是一种用型钢为骨架,钢板为覆面焊接成封闭式的长方形金属箱。箱首节和尾节的底部制成圆弧形,以减少航行的阻力。

浮箱甲板上设有可严密封闭的检查孔,以备检查、清扫及修理浮箱内部结构之用。有些浮箱在甲板、船舷及底板上各设有两个直径8cm可严密封闭的孔眼,作为浮箱充水、压缩空气排水的通道。

(二)规格

浮箱规格有多种,见表15-7。

浮箱规格　　表15-7

类型		KC—Y	KC—3	T_6	T_7	VTC909	VTC909B	中—60
外形	长(m)	7.2	7.2	2.13 (7′-0″)	2.13 (7′-0″)	4.20	4.20	6.0
	宽(m)	3.6	3.6	1.54 (5′-1/2″)	1.54 (5′-1/2″)	2.10	2.10	3.0
	高(m)	1.8	1.8	1.54 (5′-1/2″)	1.54 (5′-1/2″)	1.60	0.7~1.60	2.0
每个质量		7 214	5 907	9 07 2 000	1 474 3 250	3 000	2 500	厚3mm 厚4mm 5 073　5 321
全部排水量(m^3)		45	45	5.05		14.0		36.0
由于自重下沉(m)		0.3	0.25	0.28	0.28	0.38	0.39	0.28

续上表

类　　型		KC—Y	KC—3	T_6	T_7	VTC909	VTC909B	中—60
露出水面0.5m时荷载(kN)		260	270	23.7		67		220
外壳厚度	周边(mm)	4	4	4.76 (3/6″)	4.76	两端6 舷侧5	两端6 舷侧5	4
	甲板(mm)	4	3	4.76 (3/16″)	4.76 (3/16″)	6	6	3~4
	底板(mm)	4	3	4.76 (3/16″)	4.76 (3/16″)	5	5	3~4

注:①KC—Y、KC—3型是铁路部门制造的;T6、T7型是美制的,T7型底部是弧形,T6型船首船尾用;VTC909是交通部船舶设计院设计的,其中VTC909B型作船首船尾用;中—60是铁路部门设计制造的新型号,中—60型有船首船尾箱,长为4m,底长2m,端高1m,其余尺寸同中节箱;

②浮箱在使用前应进行水密性检验,当浮箱注满水时在0.2MPa的压力下持续5min后不得有漏水现象。

第三节　临时便桥

一、装配式公路钢桥

装配式公路钢桥有三种类型:①装配式公路钢桥简称"321"钢桥;②贝雷钢桥;③HD200型钢桥(参见本章第二节)。

"321"钢桥与贝雷钢桥除外型尺寸及制作钢材稍有不同外,其余基本相同。"321"钢桥构造及架设,请参见《公路施工手册　桥涵》第二十章相关内容。

二、墩架梁式桥

墩架梁式桥结构简单、造价低、便于修建和拆除,一般临时便桥多予采用。现按基础、墩台和上部构造分述于下。

(一)基础

1.桩基础

水深、土质差的河流,一般都采用桩基,其施工及设计详见本书第十四章。

2.垫木基础

垫木基础适用于旱桥或因地质不适于打桩的桥梁上。若流速不大或浅滩上也可采用。

1)垫木基础构造

垫木基础包括在原地面铺设垫木或在开挖基坑后铺设垫木两种。在原地面铺设垫木时,应先将地面整平和夯实;开挖基坑铺设垫木时,在挖坑后将基坑底部夯填约20cm厚的碎石或砾石等,在上面铺设上下面削平的圆木或方木为垫木。

垫木尺寸的大小、长度及根数,根据土的承载力及垫木的强度确定,可以采用间铺垫木或密铺垫木,如图15-10所示。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

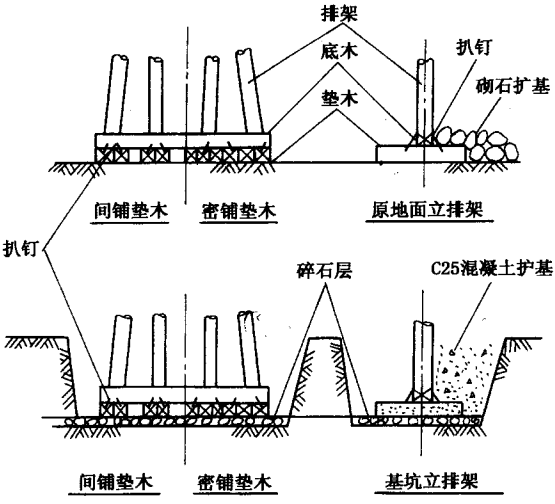


图 15-10　排架垫木基础

受小量水流冲刷的垫木基础，须考虑防冲刷措施，一般可在垫木周围干砌片石护基。

2)垫木基础计算

假设排架柱每柱承受的最大压力 $P = 104.6\text{kN}$，土的容许承压应力 $[\sigma] = 0.02\text{kN/cm}^2$，底木直径 $d = 24\text{cm}$，排架柱间距 180cm，如图 15-11 所示。

底木与地基土接触面积：$A = 24 \times 180 = 4\ 320\text{cm}^2$

土受到压应力：$\sigma = \dfrac{P}{A} = \dfrac{104.6}{4\ 320} = 0.0243\text{kN/cm}^2$

在每根柱底木下假设为 3 根 ϕ20cm 半圆垫木，长度为 100cm。

$$A = 100 \times 20 \times 3 = 6\ 000\text{cm}^2$$

$$\sigma = \frac{104.6}{6\ 000} = 0.0175\text{kN/cm}^2 < [\sigma] = 0.02\text{kN/cm}^2$$

3)垫木强度计算

垫木中承受的弯矩：

$$M = \sigma \times 20 \times 50 \times 25 = 0.0175 \times 20 \times 50 \times 25$$
$$= 437.5\text{kN} \cdot \text{cm}$$

垫木为 ϕ20cm 半圆木，断面模量：$W = 190\text{cm}^3$

挠曲压应力：

$$\sigma_W = \frac{437.5}{190} = 2.30\text{kN/cm}^2 > [\sigma_W] = 1.2\text{kN/cm}^2\text{(松木)}$$

改用 ϕ20cm 圆木，两面削平各宽 10cm 的垫木，则得：$W = 729\text{cm}^3$

$$\sigma = \frac{437.5}{729} = 0.60\text{kN/cm}^2 < 1.2\text{kN/cm}^2$$

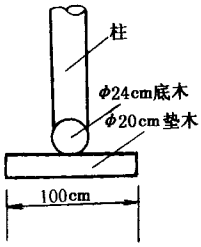


图 15-11　柱与底木和垫木连接图式

3.埋置式混凝土基础

适用于砂石河床浅滩处，其埋置深度需考虑一般冲刷。

根据河床地基土的容许承压应力，确定基础的尺寸。开挖基坑并整平坑底后，预埋排架底木的锚固钢板，浇筑 C15 混凝土基础，安装底木和排架，底木周围用干砌片石围护，防止冲刷，如图 15-12 所示。

4.垫木混凝土基础

适用于砂石河床，其埋置深度需考虑一般冲刷。

根据河床地基土的容许承压应力，确定基础尺寸，整平坑底，铺设垫木和底木，上立排架。底木与垫木、底木与排架用扒钉固定。待架梁压实后浇筑 C15 混凝土，上部周围用干砌片石或片石铁丝笼围护，防止冲刷，如图 15-13 所示。

(二)墩台

1.桩式木排架墩

桩式木排架墩适用于各种水深、流速较大的河流，对一般土质的河床均可使用。

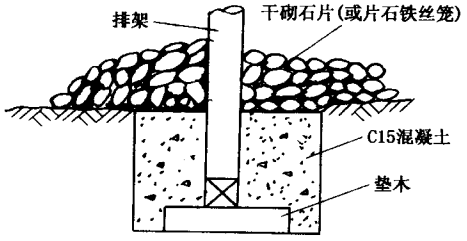


图 15-12　埋置式混凝土基础

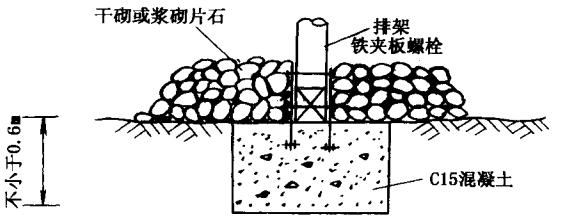


图 15-13　垫木混凝土基础

根据排架的高度，可分为下列 4 种型式：

(1)当高度 $H < 2.5 \sim 3.0$m 时，可以不设任何横向连接，如图 15-14a)；

(2)当高度 $H = 3 \sim 4$m 时，为保证其横向刚度，须设横向缀木，如图 15-14b)；

(3)当高度 $H > 4$m 时，须设横缀木和斜缀木，这些缀木将桩木连接在一起，如图 15-14c)；

(4)当 $H > 5 \sim 6$m 时，在桥受到水平荷载作用的情况下，为了加强桥梁横向的刚度，除了横缀木及斜缀木连接桩木外，还须设置斜撑木，其底端支撑在附加边桩上，如图 15-14d)。

缀木一般是由半圆木制成，半圆木嵌入桩木，并用扒钉或螺栓固定在桩木上。

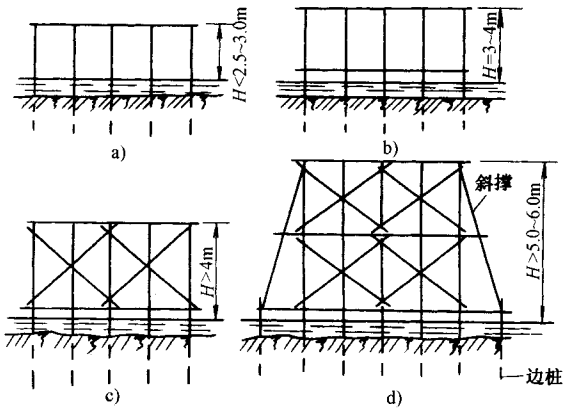


图 15-14　各种高度排架式墩台构造示意图

在多跨梁式桥中，桥长超过 30m，高度大于 4m 时，为了保证桥梁承受制动力时有足够的纵向刚度，每隔 4 ~ 5 跨设一制动墩，如图15-15所示。制动墩构造如图 15-16 所示。

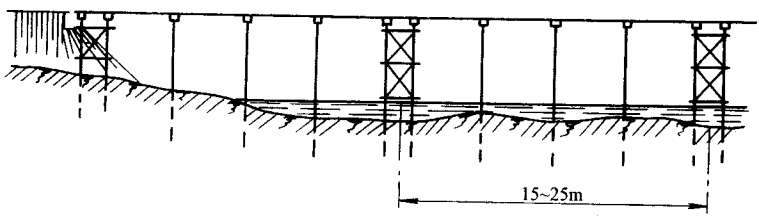


图 15-15　多跨排架墩台梁式桥制动墩布置示意

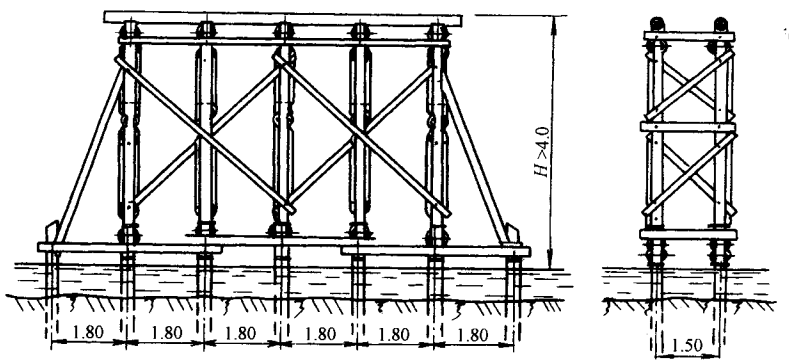


图 15-16　制动墩构造图(单位：m)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2.底木式排架墩

底木式排架墩由底木、立柱、斜缀木及帽木组成。立柱与底木、斜缀木、帽木的连接分别使用扒钉、螺栓或销钉予以固定。单排架墩的立柱数目、间距视桥梁的荷载和行车道的宽度而定，如图 15-17 所示。

底木排架的构造连接，如图 15-18 所示。

高度大于 4m 的单车道底木排架和高度大于 5m 的双车道底木排架，还需设置斜柱以增强横向的稳定性，如图 15-19 所示。斜柱可使用圆木，其斜度一般为 3:1～4:1。

斜度为 3:1 的斜柱上端与立柱作抵承接合；斜度陡于 3:1 的斜柱，则在帽木的下面用倒刺钉连接，此时所钉上的斜撑木亦可将斜缀木一并连接。斜柱的下端与底木榫槽相接，并用扒钉连接。

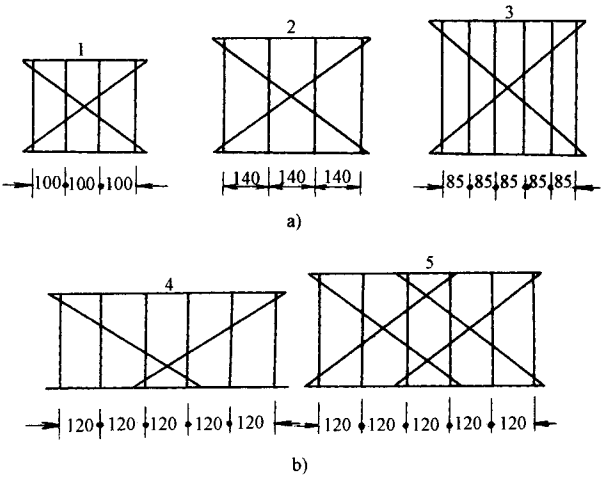


图 15-17　底木单排架墩布置(单位：cm)

a)单车道单排架墩；b)双车道单排架墩

1-荷载 200kN；2-荷载 400kN；3-荷载 600kN；4-排架高 2.5 以下；5-排架高 2.5～5m

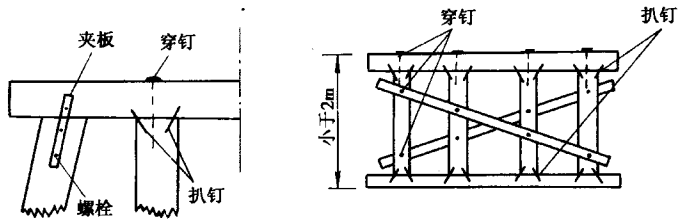


图 15-18　底木排架的连接

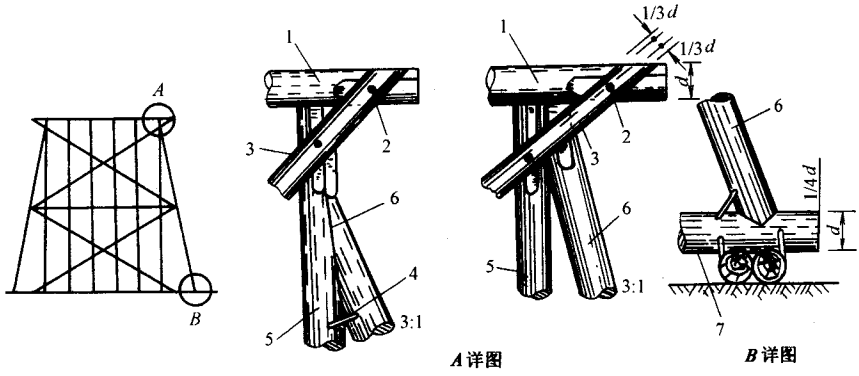


图 15-19　有斜柱的底木排架构造

1-帽木；2-倒刺钉；3-斜撑；4-扒钉；5-立柱；6-斜柱；7-底木

3.木排架安装

1)人力安装

先制作两个不同高度的木马，将排架搁置在木马上，排架底木与盖桩木(或垫木)相接，排架顶端以人力或绞车牵引，后面设风缆防护，如图 15-20 所示。

2)扒杆扳立安装

将扒杆水平搁置，一端置于木马上，另一端靠在盖桩木(或垫木)上，在排架底木上竖立人字扒杆，用扒钉及绳索捆绑固定，再用滑轮组穿入牵引绳将扒杆反向扳成水平，排架即竖立在盖桩木(或垫木)上，如图 15-21 所示。

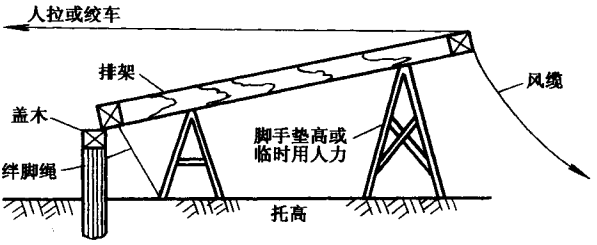


图 15-20　人力安装排架

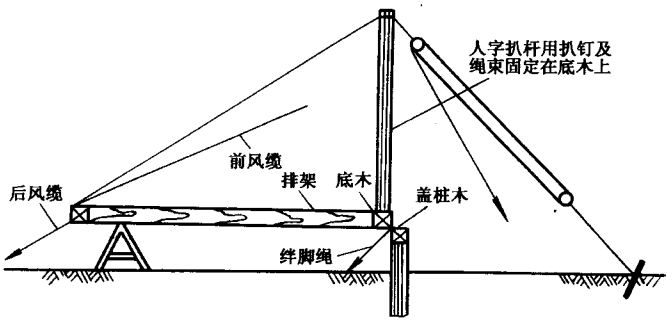


图 15-21　扒杆扳立安装排架

3)扒杆吊立安装

在基桩旁竖立人字扒杆，在排架另一边的河床上水平搁置排架。扒杆顶两边用风缆固定。扒杆上部设一定滑轮，下部设一转向滑轮，排架上也设一滑轮，牵引绳穿过 3 个滑车至绞车，排架上部设置风缆用卷扬机牵引排架提升至盖桩木上，如图 15-22 所示。

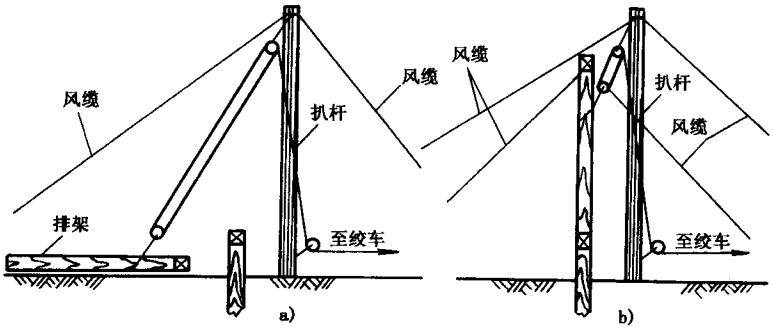


图 15-22　扒杆吊立安装排架
a)扒杆、排架布置；b)排架吊立安装在基桩上

4.座梁式桥台

座梁式桥台用于土质坚实，桥头引道填土高度不超过 50～70cm 处，如图 15-23 所示。

座梁为 ϕ25～ϕ30cm 圆木，将上下两面削平后，设置在圆木做的垫木上。座梁与一根垫木用两只反向扒钉固定，并用 4～6 对直径为 8～10cm 木橛夹住，木橛打在座梁两侧和两端处。

大梁和座梁用反向扒钉固定。各大梁两端应截到同样长度，并由 ϕ14～ϕ16cm 木桩顶住。在木桩的后侧，横钉一排直径为 16cm 的半圆木，做成挡土墙。

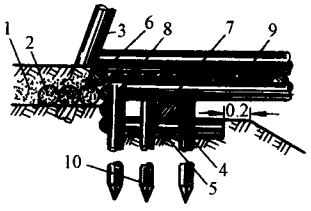


图 15-23　座梁式桥台(单位：m)
1-填土；2-柴束；3-抵撑桩(斜桩)；4-座梁；5-垫木；6-缓冲圆木；7-大梁；8-半圆木；9-上层木板面层；10-桩木

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

桥岸的连接结构用 $\phi 20 \sim \phi 25$cm 柴束埋置于桥头引道填土之下，其上再填厚度为 15cm 以上的泥土。

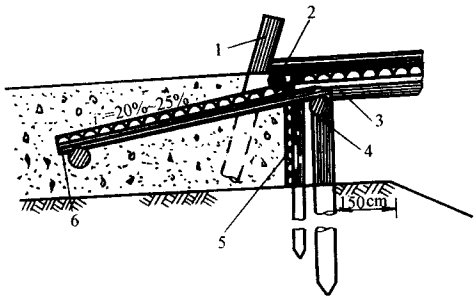


图 15-24　桩式桥台

1-抵撑桩；2-缓冲圆木；3-大梁；4-桩木；5-挡土板；6-接引圆木

5.桩式桥台

桩式桥台适用于土质软弱处，桥头引道填土较高时亦可采用。但从地面到大梁底的高度不得小于0.4m，如图 15-24 所示。

6.木排架墩台设计原则

1)底木式排架墩台埋入土中的深度，根据土质及土的冻结深度而定，一般为 1.75m，并不得小于 1.0m。

2)桩式排架墩台的底木底面至河床的高度一般为 0.5～1.5m。木桩入土深度或冲刷线以下深度不得小于 4m。

3)计算排架柱竖向压力，是把荷载作用到纵梁上的支撑压力乘以横向分布系数求得。横向分布系数根据在帽木上的纵梁压力的影响线得出。

4)计算长期浸水部分的立柱与底横木承压应力时，须考虑水的浮力。

5)在横向水平力作用下，计算斜柱的轴向力时，假定立柱为竖直梁，上端为自由，下端为铰接，如图 15-25 所示。斜柱轴向力按下式计算：

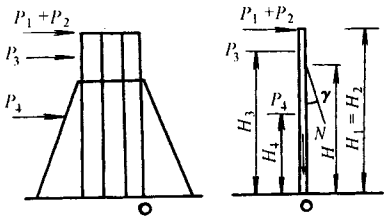


图 15-25　斜柱轴向力计算图式

水平分力

$$P = \frac{\Sigma P_i H_i}{H} \tag{15-5}$$

轴向力

$$N = \frac{P}{\sin\gamma} \tag{15-6}$$

式中：P_i——作用于排架上的各水平力；

H_i——各水平力到铰接点 O 的距离；

γ——斜柱与立柱轴线的夹角。

6)计算制动力和横向风力产生的各立柱顶竖直力时(见图 15-26)，按下式计算：

(1)制动力对帽木顶面引起的力矩 M_T：

$$M_T = P_T H_1 \tag{15-7}$$

式中：P_T——制动力(图 15-26 中 P_1)；

H_1——从桥面至帽木顶面的距离。

(2)各立柱顶产生的竖直力：

$$R'_{al} = \frac{P_T H_1 b}{\Sigma I} = \frac{P_T H_1 b}{2(a_1^2 + b_1^2)} \tag{15-8}$$

$$R'_{bl} = \frac{P_T H_1 a}{\Sigma I} = \frac{P_T H_1 a}{2(a_1^2 + b_1^2)} \tag{15-9}$$

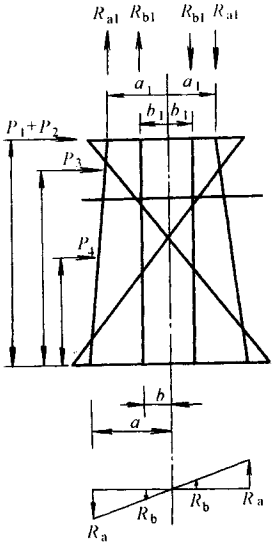


图 15-26　制动力和横向风力产生的各立柱顶竖直力计算图式

(3)横向风力对帽木顶面引起的力矩 M_W：

$$M_W = P_W H_Z \tag{15-10}$$

式中：P_W——帽木以上各部分风力(图 15-26 中 P_2)；

H_Z——帽木以上各部分风力作用点至帽木顶面的距离。

(4)各立柱产生竖直力：

$$R''_{a1} = \frac{P_W H_2 a_1}{\Sigma I} = \frac{P_W H_2 a_1}{2(a_1^2 + b_1^2)} \tag{15-11}$$

$$R''_{b1} = \frac{P_W H_2 a_1}{\Sigma I} = \frac{P_W H_2 b_1}{2(a_1^2 + b_1^2)} \tag{15-12}$$

(5)桩顶竖直力总和：

$$R_{a1} = R'_{a1} + R''_{a1} \tag{15-13}$$

$$R_{b1} = R'_{b1} + R''_{b1} \tag{15-14}$$

7)木排架桥台计算与桥墩相同。桥台所受到的土压力为各排架所受土压力之和。在推求土压力时，由于各排架处于锥体填土的不同高度之中(如图 15-27 所示)，因此，位于锥体斜坡内的排架所受到的土压力按下式计算：

$$P = \frac{\gamma}{2} h^2 \mu b \tag{15-15}$$

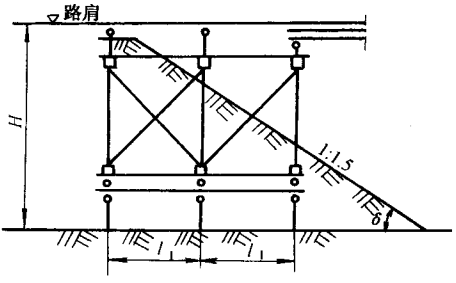


图 15-27　桥台排架土压力计算图式

式中：γ——土的容重，kN/m³；

h——填土高度，m；

b——桩受土压的计算宽度，按桩径 2 倍计算，m；

μ——土压力系数，

$$\mu = \frac{1}{\tan(\omega + \varphi)} \cdot \frac{\tan\omega}{(1 - \tan\delta\tan\omega)}; \tag{15-16}$$

式中：φ——土内摩擦角；

δ——斜坡线与水平线夹角；

ω——危险破裂面与垂直面的夹角(如图 15-28 所示)，可按下式计算：

$$\tan\omega = \frac{-\tan\varphi + \sqrt{1 + \tan^2\varphi - \dfrac{2\tan\delta}{\sin 2\varphi}}}{1 - \dfrac{2\tan\delta}{\sin 2\varphi}} \tag{15-17}$$

8)为了保证桥台纵向斜撑(图 15-27)受力安全，须验算斜撑的应力。验算方法按下列原则进行：即一孔纵向斜杆的容许承压力及斜向拉杆与立柱连接的总支撑力之和应大于台后土压力、破坏棱体上活载引起水平力和制动力之和。

(三)上部构造

1.木纵梁

木纵梁用圆木或方木制成，一般跨径在 8～10m 以下，其构造可分为单梁和叠梁两种。

1)单梁

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

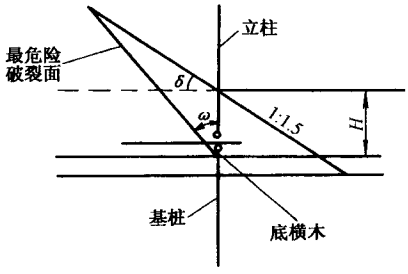


图 15-28　危险破裂面与垂直面的夹角 ω 计算图式

单梁可采用圆木或方木。使用圆木时，其顶面约 1/3 直径的宽度须削平，底面两端各约长 50 ~ 60cm 段以不同深度的削平。粗端削得深些，使纵梁两端搁置在帽木上时能获得相同的建筑高度。

2)叠梁

叠梁是用两根圆木或方木叠置，用螺栓或钢夹箍连接而成（通常采用螺栓）。使用圆木时，各梁圆木的粗细端应相互错置。螺栓的直径和相互间距应根据跨径和荷载计算确定。

木纵梁与帽木的连接，一般采用反向扒钉。纵梁的设置数量和截面尺寸根据桥梁的跨径和荷载而定。当纵梁数量多时，若在帽木上排列不下时，可将搭接处的两根纵梁侧面各削去一部分，但削去宽度不得大于其直径的 1/4，如仍排不下去时，可先设置托梁木，在托梁上对接木纵梁，如图 15-29 所示。

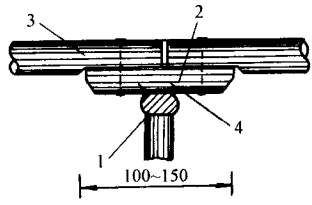


图 15-29　托梁上纵梁接头(cm)
1-反向扒钉;2-托梁;3-纵梁;4-马钉

2.型钢梁

型钢梁一般采用单根工字钢或多根工字钢、槽钢组合梁。适用于 12m 以下的跨径。型钢梁的布置，对于单车道常布置在车道板下；双车道常采用等距离布置。

工字钢或槽钢组合梁的组合方式，如图 15-30 所示。组合梁之间的空隙，在靠近支座处和沿长度方向每隔 1.5 ~ 2.0m 处均用长 50cm 的圆形或方形的填心木填紧。工字钢组合梁须在两外侧设两纵夹木夹住，用螺栓拧紧。

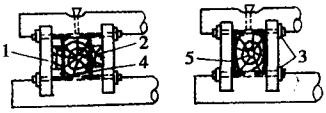


图 15-30　型钢梁组合结构
1-夹木;2-侧撑木;3-螺栓;4-工字钢;5-槽钢

型钢梁接头一般设在双排架墩上。两梁端间留 5cm 宽的伸缩缝。组合梁与帽木的连接，可用销钉穿过填心木进行连接；采用单根型钢梁时，可用道钉将其锚固在帽木上。

型钢梁在单排支座上接头，仅适用荷载 200kN 的桥梁。

当采用单排工字钢梁时，需在纵梁下每隔 1.5 ~ 2.0m 设置横向辅助圆木，以保证其横向稳定。

3.轨束梁

1)构造

用于临时便桥的轨束梁分为单层和双层两种。单层式的轨束梁中需用钢轨 4 根以上时，一般将轨顶上下交错布置，以减少轨束梁宽度。上下层钢轨面须在同一平面上。双层式轨束梁中所用钢轨数为 12 ~ 14 根。

轨束梁的结合型式有两种：一种是将轨束梁彼此排列靠紧后，在上下用横夹木夹住，用螺栓拧紧，如图 15-31 所示；另一种是用结合螺栓穿过钢轨腰部连接，如图 15-32 所示。

对于施工采用的临时便桥轨束梁，为了便于快速施工，也可采用 ϕ4 ~ ϕ5mm 的铁丝，每隔 50 ~ 100cm 捆扎一道，将轨束捆紧。各钢轨之间用木块填塞。

2)轨束梁设计原则

(1)轨束梁桥的跨径一般不宜超过 6m。一般钢轨的长度约为 10 ~ 12m，可用一根钢轨作为 2 跨连续梁，不必截断。计算时近似地按简支梁考虑。

(2)轨束梁的总断面模量和惯性矩可假定为各单根钢轨的断面模量和惯性矩之和。

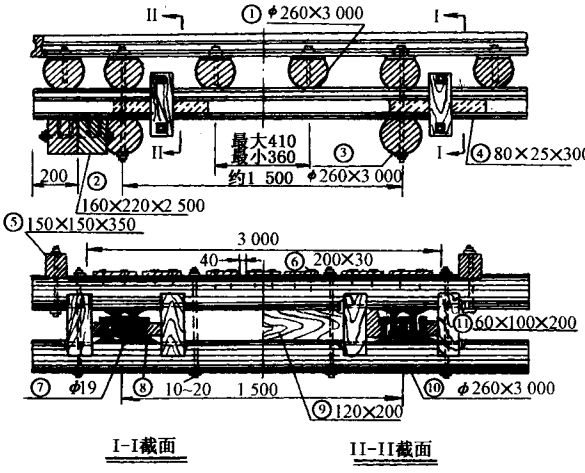


图 15-31 轨束梁用上下夹木与螺栓夹紧(单位:mm)
①-枕木;②-座木;③、⑩-横向拉木;④-木垫块;⑤-护木;⑥-桥面板;⑦-水平螺栓;⑧-刻槽;⑨-木顶撑;⑪-夹木

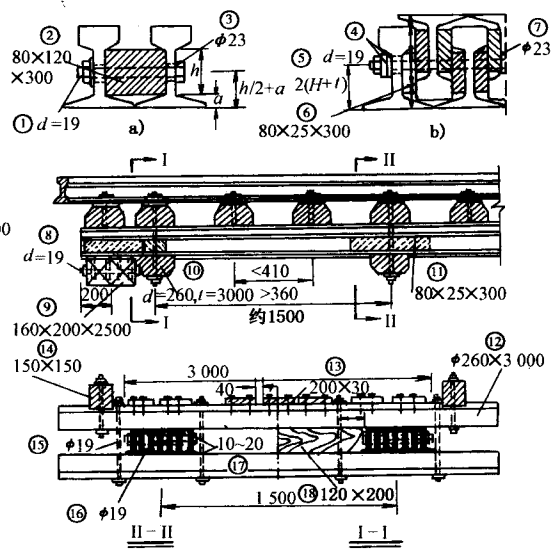


图 15-32 轨束梁用结合螺栓穿过腰部连接(单位:mm)
a)2~4 根钢轨;b)5~9 根钢轨
①、⑤、⑯-结合螺栓;②、⑥、⑪-木垫块;③、⑦-孔;④-特定垫圈;⑧-座木螺栓;⑨-座木;⑩-横向拉木;⑫-枕木;⑬-桥面板;⑭-护木;⑮-垂直螺栓;⑰-刻槽;⑱-木顶撑

(3)轨束梁的最大挠度不得超过 $L/200$(L 为跨径)。

(4)承受汽车荷载时,可将汽车后轴重力布置在轨束梁的最不利位置。

(5)轨束梁承受荷载后的弯曲应力,不得超过 170MPa。

4.纵梁安装

1)用导梁推移木纵梁就位

当跨径较大时,可以在纵梁一端搭接小木导梁,利用滚木将纵梁推过桥孔就位,如图 15-33 所示。纵梁与导梁接长后的整个长度,应至少为桥梁净跨的 1.75 倍。

2)用摇摆支架推移木纵梁就位

此法用于水深不大,土质坚实的河床。支架用小圆木或木板搭成,推移方法如图 15-34 所示。

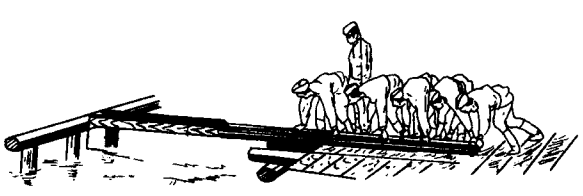


图 15-33 利用导梁推移木纵梁就位

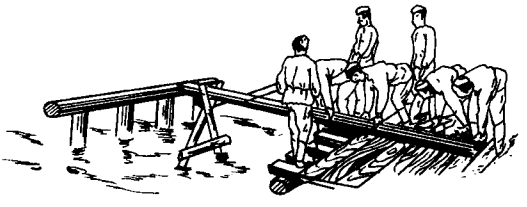


图 15-34 利用摇摆式支架推移木纵梁就位

3)用木扒杆吊拖纵梁就位

在两墩上各设立竖直独脚扒杆,用风缆进行固定。扒杆顶部系滑轮穿以钢丝索,绳一端绕于卷扬机或绞车上,另一端套在纵梁端,一端的卷扬机或绞车收紧,另一端的卷扬机或绞车逐渐放松,即可将纵梁安装在跨径位置上。

4)用简易浮吊吊装纵梁

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1)简易浮吊构造

简易浮吊可用2只民用的木船组装成门船,用木料加固底舱,船面上用型钢组装成底板构架,上铺木板,其上安装人字扒杆。起重动力使用双筒电动卷扬机1台,安装在门船后部中线上。人字扒杆采用2根圆木或钢管在其顶部用钢丝绳捆扎而成,并用两根钢丝绳分别固定在门船后部两侧船舷悬出的构件上。

在门船上另配绞车、钢丝绳、铁锚用以固定或移动浮吊平面位置之用。

起重能力200kN简易浮吊构造示意,如图15-35所示。

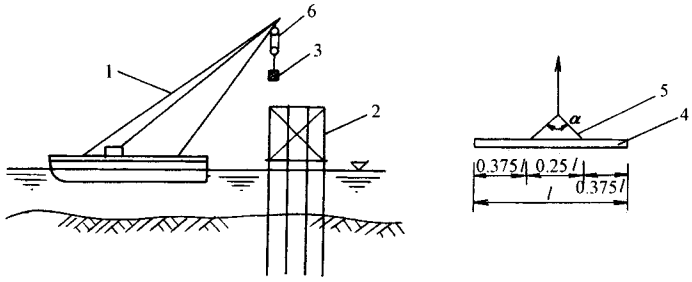


图15-35 简易浮吊安装纵梁布置示意图

1-简易浮吊;2-排架墩;3、4-纵梁;5-吊索;6-滑车组

门船总排水量(2只民船)宜为设计起吊荷载的10倍,且宜选用平底船。

2只民船的组装,是在民船前后用型钢横梁连系成一体。前连系钢横梁还负担两根扒杆支座的竖向压力传递给下面纵向钢梁,再由钢纵梁传给船体。后连系钢横梁在其悬出船舷两侧的悬臂上固定扒杆的拉缆。并在该横梁中段上面加设了均匀的压重,由其下面的钢纵梁传递给船体,平衡船体前端的压力。

扒杆支座引起的纵轴向水平推力,由前后横梁间的支撑杆传递给后横梁与扒杆的拉缆水平分力平衡。

前后连系横梁与船体系固定,可采用钢丝绳兜底缠绕,或在船底加设两根木横梁与型钢横梁用螺栓将船体夹固。2连系钢横梁亦须与船面上组装的底板构架进行固定。

(2)纵梁安装

用简易浮吊安装纵梁时,其布置如图15-35所示。

安装纵梁时,浮吊应位于安装跨两墩间中线前或后的适当位置处,并进行锚定。起吊纵梁应采用双吊点,吊点纵距一般可采用$l/4$(l为纵梁长度),2吊索的夹角α不宜大于60°,以免起吊时引起吊索的拉力过大。

5)简易浮吊计算

简易浮吊设计一般应进行下列的计算:船体荷载能力和稳定性计算;船体加固计算及起重部分的扒杆、起重绳、拉绳等计算。下面仅对船体荷载能力和稳定性进行计算,举例如下。

假定浮吊用2只平底木民船拼装而成。2船重力共120kN,纵横梁加固等重力共100kN,设计起吊重力为200kN,滑车吊钩重力为10kN,人字扒杆重力为30kN,起吊时动力系数采用1.2,起吊计算重力为$1.2\times200+10=250$kN。浮吊计算图式如图15-36所示。

(1)船舱压重和船体吃水深度计算

①船舱后部压重计算

为使扒杆起吊重物时,浮吊前端露出水面高度不小于50cm,后端船底不升出水面而承受

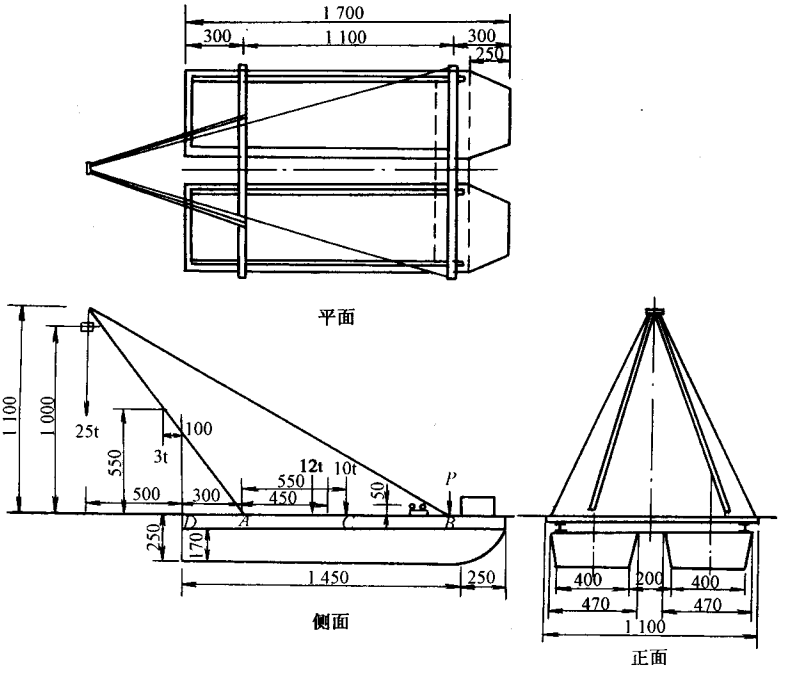


图 15-36　简易浮吊计算图式(单位:cm)

反弯矩,应在船体后舱 B 点附近加压重力 P。此时浮吊的总排水量 V 近似地按以下计算。

$$\gamma V = \frac{1}{2}\left\{(1.7-0.5)\times\left[8+\frac{0.35}{1.7}\times(1.7-0.5)\times 4+8\right]\times\frac{1}{2}\times 14.5+0\right\}\times 10$$

$$\approx 720\text{kN}, V = \frac{720}{10} = 72\text{m}^3$$

式中:γ——水的容重,其值为 10kN/m^3。

$$\text{压重 } P = 720-(250+30+220) = 220\text{kN}$$

②当 B 点加压 220kN 压力后,没有起吊任何荷载时,纵向重心轴位置:

$$\text{总荷载} = 10+30+100+120+220 = 480\text{kN}$$

设重心轴距 D 端为 x_0(m),从图 15-37 得:

$$x_0 = \frac{10\times 5-30\times 1-120\times 7.6-100\times 8.5-220\times 13}{480} = -9.5\text{m}$$

则距后面平底处的距离 $= 14.5-9.5 = 5.0\text{m} > \frac{1}{3}\times 14.5 = 4.83\text{m}$,即 B 点加压 220kN 后的重心轴仍在 2/3 船底长度内,D 端船底不会露出水面。

③当 B 点加压 220kN 压力后,起吊设计荷载时,纵向重心轴位置:

设重心轴距 D 点为 x,从图 15-37 得:

$$x = \frac{250\times 5+30\times 1-120\times 7.6-100\times 8.5-220\times 13}{720}$$

$$= 5.3\text{m} > \frac{1}{3}\times 14.5 = 4.83\text{m}$$

即重心轴仍在 2/3 船底长度内,B 端船底不会露出水面。

④起吊设计荷载时船底前后端吃水深度

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

船的总荷载为720kN，若荷载重心在船的原重心处，船的均衡吃水深 h，可按下列计算：

$$720 = 14.5h(8 + 0.4h)\gamma = 1\,160h + 58h^2$$

即：$$58h^2 + 1160h - 720 = 0$$

解之得：$$h = 0.6\text{m}$$

如图15-37所示，设 $ADBC$ 为船体，$W-W$ 为水平面，则荷载重心移到距 D 点5.3m处时，设 D 端吃水深为 h_2，B 端吃水深为 h_1。

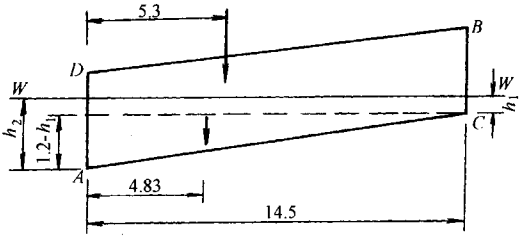


图15-37　浮吊起吊荷载时，前后端吃水深度计算图式（单位：m）

由 $$h_2 + h_1 = 1.2$$

则得 $$h_2 = 1.2 - h_1$$

$$5.3 = \frac{h_1 \times 14.5 \times 7.25 + 14.5 \times (h_2 - h_1) \times 4.83}{0.6 \times 14.5}$$

由以上两式解得

$$h_1 = 0.116\text{m}, h_2 = 1.2 - 0.116 = 1.084\text{m}$$

(2)浮吊稳定性计算

①浮吊起吊设计荷载时，重心高出舱面高度

$$\frac{250 \times 10 + 30 \times 5.5 + 220 \times 0.5 + 100 \times 0.4 - 120 \times 1.65}{720} = 3.65\text{m}$$

②浮心在舱面之下尺寸：$\frac{1.084}{3} + 0.8 = 1.16\text{m}$

③浮心到重心的竖向距离：$a = 3.65 + 1.16 = 4.81\text{m}$

④浮吊纵向稳定性：

$$I_0 = 2 \times \frac{1}{12} \times 4 \times 14.5^3 = 2\,032.4\text{m}^4$$

定倾半径 $\rho = \frac{I_0}{V} = \frac{2\,032.4}{72} = 29.6\text{m}$

$\rho - a = 29.6 - 4.81 = 24.8\text{m}$，为正值，所以安全。

⑤浮吊横向稳定性：

$$I_0 = 2\left[\frac{1}{12} \times 14.5 \times 4^3 + 14.5 \times 4 \times 5.35^2\right] = 3\,474.9\text{m}^4$$

$$\rho = \frac{I_0}{V} = \frac{3\,474.9}{72} = 48.3\text{m}$$

$\rho - a = 48.3 - 4.81 = 43.49\text{m}$，为正值，所以安全。

⑥浮吊受风力影响时引起倾斜角和干舷高度：

设浮吊扒杆透风系数取0.6，风压力按0.25kPa，风力对浮心的倾覆力矩（侧向风力）：

$$M = \frac{1}{2} \times 11 \times 11 \times 0.6 \times 0.25 \times (5.5 + 1.16) = 60.5\text{kN}\cdot\text{m}$$

风力冲击系数采用1.5，船体引起侧向倾角：

$$\theta = \tan^{-1}\frac{1.5M}{(\rho - a)\gamma V}$$

$$= \tan^{-1}\frac{1.5 \times 60.5}{24.8 \times 10 \times 72} = 0.0051$$

船体增加吃水深度为：$14.5 \times \frac{0.0051}{2} = 0.037\text{m}$

则船端水深为：$1.084 + 0.037 = 1.12\text{m}$

干船舷高度 $H = 1.7 - 1.12 = 0.58\text{m} > 0.5\text{m}$。

三、浮　桥

(一)浮桥构造

浮桥由上部构造和浮船组成。军用舟桥系成套装配式浮桥。临时公路浮桥，所用浮船是利用内河航运的各类船、驳加固而成。其上部构造利用装配式公路钢桥桁架片、万能杆件拼装的桁梁以及工字钢梁或木梁等组成。

通行汽车的浮桥，是由进出口、栈桥、浮游部分组成，如图 15-38 所示。

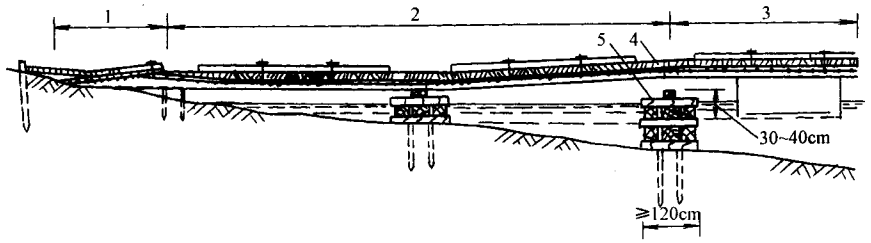


图 15-38　浮桥布置图

1-进出口；2-栈桥；3-浮游部分；4-铰；5-木垫层

进出口是河岸与栈桥连接部分，类似于路堤的引道；栈桥是变换行车坡度的连接部分；浮游部分是上部构造支撑在浮墩上的水上部分(即浮桥的主体结构)。

施工用浮桥，可将浮游部分直接靠岸，只修建进出口，若岸边水浅，浅滩较长，可就地取材修建栈桥与浮游部分相连。

现将浮桥的主体结构上部构造和浮墩介绍如下。

1.上部构造

浮桥的上部构造支撑体系分为分离式、连续式、悬臂铰接式三种。其支撑方式分为中心支撑和偏心支撑两种，如图 15-39 所示。

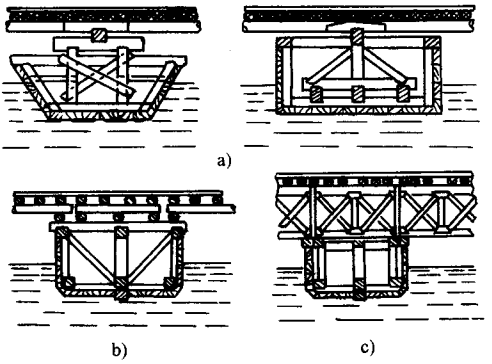


图 15-39　浮桥上部构造支撑体系及支撑方式

中心支撑方式如图 15-39a)，偏心支撑方式如图 15-39b)、c)所示。

在任何上部构造桁梁体系，中心支撑方式可用于分离式、连续式和悬臂铰式。图 15-39b)所示的偏心支撑，只用于分离式体系。图 15-39c)所示的刚性支撑，适用于连续式和悬臂铰式桁梁。

施工用浮桥，上部构造若采用装配式公路钢桥桁架片、万能杆件组拼的连续桁梁，宜采用中心支撑。中心支撑的优点：在外荷作用下，船墩基本均匀受力，发生偏斜量很少。若采用工字钢梁、木梁等宜采用偏心支撑，以增长其跨度。

2.浮墩

1)浮船的尺寸要求

浮墩使用浮船，可采用平底船、浮箱，也可采用民船加固。浮船的长度与宽度、宽度与船舷

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

高度、宽度与浮桥总高度有如下的关系：

$$L = (5 \sim 6)b \tag{15-18}$$

$$b = (3 \sim 5)h \tag{15-19}$$

$$b = (2 \sim 3)H \tag{15-20}$$

式中：L——浮船的长度；

b——浮船的宽度；

h——船舷的高度；

H——船底至行车部分顶面的高度。

2)浮墩承载力

浮墩的承载力应符合下列条件：

$$\gamma \Sigma V \geqslant K_1 \Sigma Q \tag{15-21}$$

式中：γ——水的容重，采用 10kN/m^3；

ΣV——全部浮船的容许排水体积，m^3；按船舷高出水面不小于 0.5m 时的体积求得；

K_1——安全系数，一般不小于 1.1；

ΣQ——作用于浮船上的全部竖直荷载(包括最大的运行车辆的荷载)。

如浮船的船弦不是直边，则在浮船的吃水深度有改变时，水线面积也随之改变，而排水体积可按下式计算。

$$V = \int_0^t A_y d_y \tag{15-22}$$

式中：t——浮船的吃水深度；

A_y——水线面积。

关于浮墩的稳定性验算，可参考本节简易浮吊的稳定性验算，此处从略。

3)民船有关资料及加固实例

(1)常用民船的资料，见表 15-8。

民船资料表 表 15-8

项目	单位	船体等级			
		200kN	300kN	400kN	600kN
总长	m	17.30	18.45	19.55	20.95
设计水线长	m	15.50	15.95	17.25	18.50
型宽	m	3.40	3.95	4.35	4.40
型深	m	1.22	1.38	1.40	1.70
设计吃水深	m	0.92	1.05	1.10	1.25
设计排水量	m^3	33.0	45.80	58.0	83.1
载重	kN	200	300	400	600
方型系数		0.680	0.693	0.743	0.836
计算水线面积	m^2	35.90	43.70	52.70	66.50
计算定船吃水深	m	0.362	0.314	0.341	0.347

注：①表列船体包括木船：200kN 级(200 ~ 250kN)，300kN 级(300 ~ 350kN)，400kN 级(400 ~ 450kN)，600kN 级(600 ~ 650kN)；钢丝网水泥船 200kN、300kN、400kN、600kN；钢质船 600kN；

②选用船的水线面积不得小于表列的计算水线面积。

(2)400kN 级木船的加固方法,如图 15-40 所示。

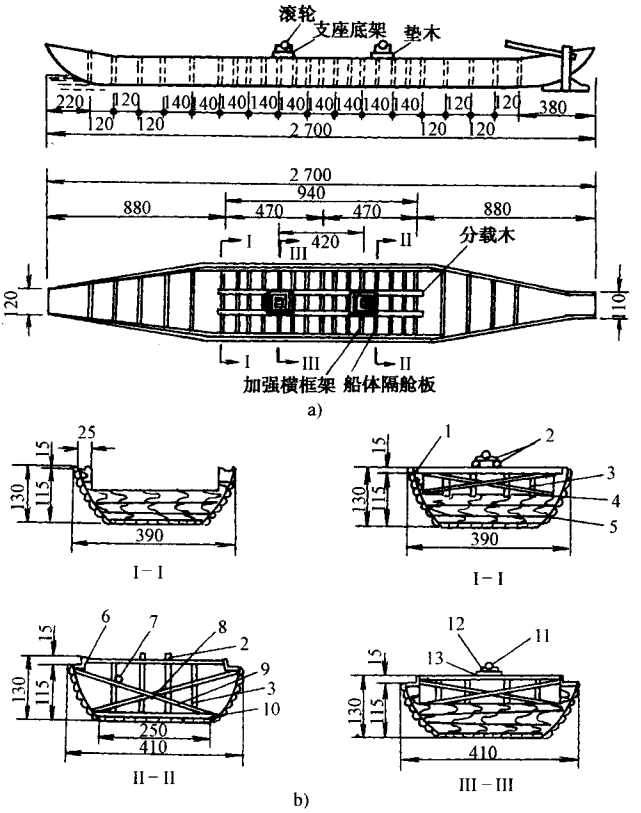


图 15-40 400kN 木船加固图(单位:cm)
a)侧面平面图;b)横剖面图

1-横梁(16cm × 12cm × 360cm);2-分载木(14cm × 16cm × 470cm);3-支承(10cm × 10cm × 60cm);4-系木(8cm × 6cm × 310cm);5-隔舱板;6-横梁(10cm × 12cm × 330cm);7-纵系木(φ8cm 圆木);8-圆钉;9-系木(8cm × 6cm × 370cm);10-垫木(250cm × 15cm × 12cm);11-滚轮;12-支座底架;13-滚轮架垫木(10cm × 12cm × 100cm)

(二)浮桥架设

浮桥架设方法有多种,最常用的是先在岸边组合好门桥,将门桥依次引入桥轴线,再把门桥彼此连接起来。现将浮桥的架设工序和方法说明如下。

1.标定桥轴线和投锚线

桥轴线应与主要流向直交,以减少浮桥的阻水面积,增加浮桥的稳定性。

2.设置中央锚定门桥

要求位置准确,固定牢固。图 15-41 所示,为中央锚定门桥的定位测量及锚定示意。

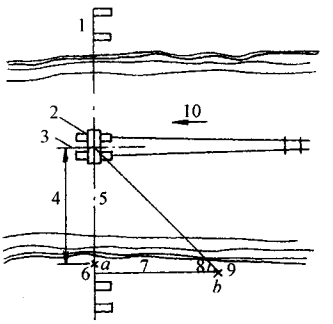


图 15-41 中央锚定门桥的定位及锚定
1-白旗;2-中央锚定门桥;3-锚定门桥横轴线;4-设计距离;5-锚定门桥轴线;6-三角点 a;7-基线;8-夹角 θ;9-三角点 b;10-水流方向

3.浮游部分架设

1)一岸架设法

门桥在一岸结合好后,逐次将其进入桥轴线,并连接起来,如图 15-42 所示。

2)两岸架设法

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

门桥在两岸结合好后，逐次将其进入桥轴线，向中央连接起来，如图 15-43 所示。

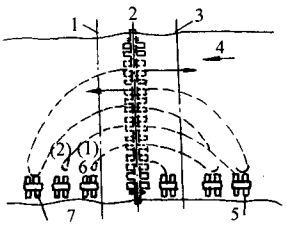


图 15-42　一岸加设法示意
1-下游投锚线；2-桥轴线；3-上游投锚线；4-水流方向；5-船首向岸；6-汽艇；7-船尾向岸

4.浮桥固定

浮桥受流速、风力、车辆冲击等作用，产生纵、横方向的位移。为了防止位移，保证其固定，应对浮桥进行纵向和横向的固定。纵向固定除了门桥的结合和相互的连接要牢固外，必要时可设纵向控制钢丝绳。

横向固定可采用投锚、张网、锚定门桥(船)等方法，也可将三种方法混合使用。

1)投锚固定法

如图 15-44 所示。

2)张网固定法

包括横张网绳和斜张网绳，通常在河面窄、流速大、河床土质不宜锚定，且不通航的情况下采用，如图 15-45 所示。

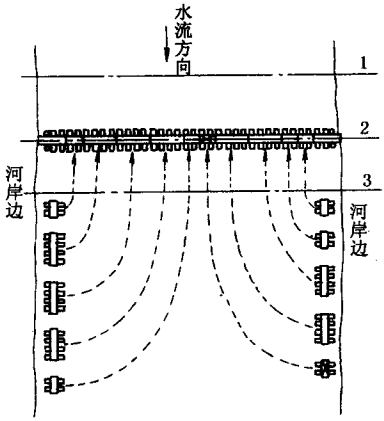


图 15-43　两岸架设法示意
1-上游投锚线；2-桥轴线；3-下游投锚线

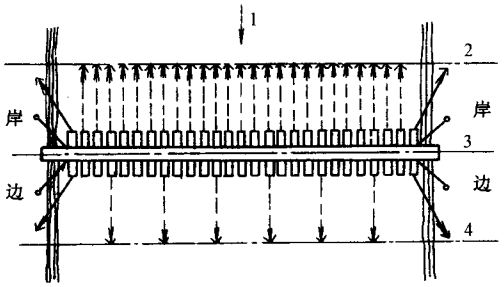


图 15-44　投锚固定法示意
1-水流方向；2-上游投锚线；3-桥轴线；4-下游投锚线

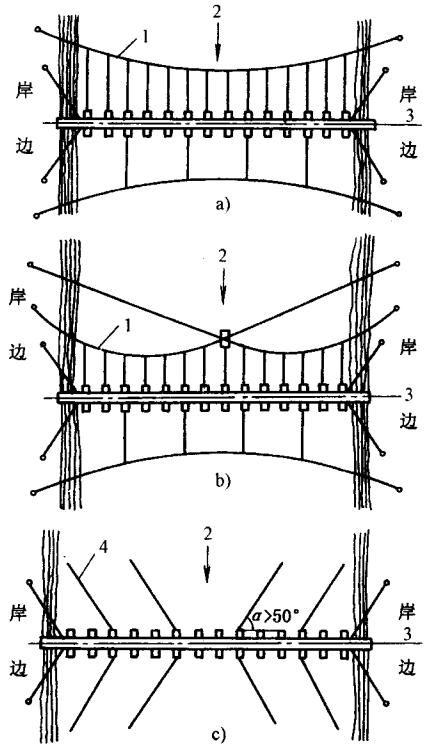


图 15-45　张网固定法示意
a)横张一根钢索；b)横张两根钢索；c)斜张钢索
1-横张钢索；2-水流方向；3-桥轴线；4-控制钢索

3)锚定门桥(船)固定法

在浮桥上游投铁锚或其他重锚，用于固定“锚定门桥(船)”，再用锚网将 30～60m 桥段系固于锚定门桥(船)的固定装置上，用以固定浮桥，如图 15-46 所示。这种固定方法，通常使用于

河宽、水深、流速大、河底松软易受冲刷的河流处。

四、索　桥

(一)索桥桥型

索桥类型较多,便于修建且适于施工使用的为简易单孔索桥。

简易单孔索桥,桥面全部设在悬索上,不需设置索塔,装拆快速。其布置如图 15-47 所示。

简易单孔索桥跨径为 20 ~ 80m,荷载为 1 辆 80kN 或(107 + 48)kN 汽车。索桥的主索布置,如图 15-48 所示。

简易单孔索桥的参考资料,见表 15-9 和表 15-10。

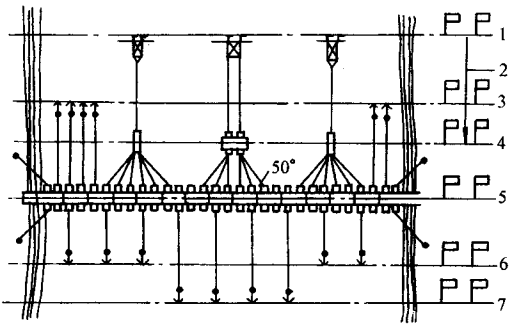


图 15-46　锚定门桥(船)固定法

1-上游第二号投锚线;2-最大水深的 7 ~ 10 倍;3-上游第一号投锚线;4-定位门桥(船)轴线;5-桥轴线;6-下游第一号投锚线;7-下游第二号投锚线

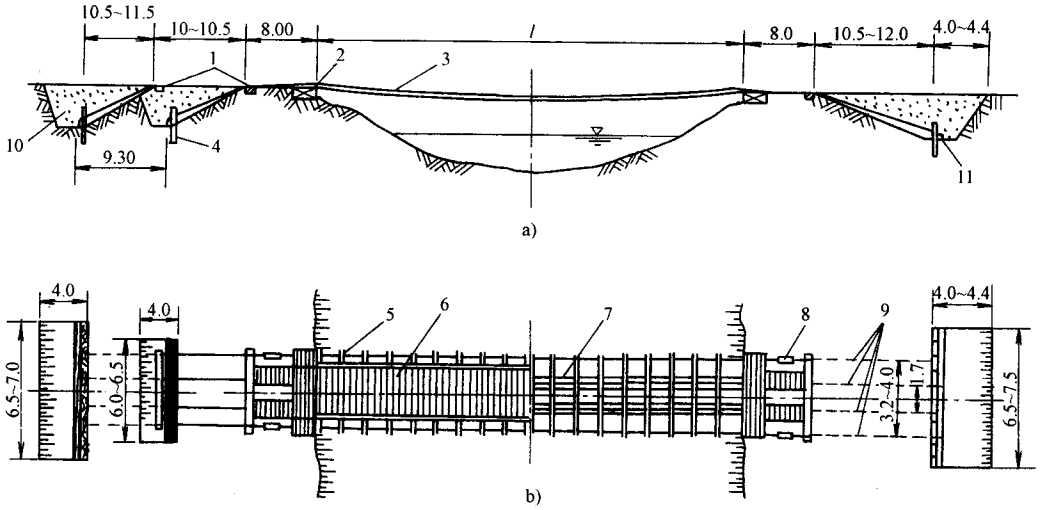


图 15-47　简易单孔索桥布置图(单位:m)

a)立面;b)平面

1-枕木;2-桥头枕木垛;3-主索;4-桩式地垄;5-横梁;6-桥面板;7-纵梁;8-松紧器;9-第一、二、三、四钢索组;10-双地垄地锚;11-单地垄地锚

简易单孔索桥参考表(一)　　表 15-9

载　重		80kN														
采用主索直径(mm)		22					30					32				
设计跨径(m)		20	30	40	50	60	40	50	60	70	80	40	50	60	70	80
设计矢度	空索时(m)	0.025	0.035	0.05	0.07	0.11	0.06	0.09	0.14	0.20	0.25	0.07	0.09	0.13	0.20	0.25
	挂有桥面时(m)			0.45	0.60	0.80	0.50	0.65	0.80	1.10	1.20	0.50	0.60	0.80	1.10	1.20
钢索	布置根数	8	10	16	18	20	10	12	14	14	16	8	10	10	12	14
	总长(m)	600	850	1 520	1 980	2 400	950	1 320	1 680	1 900	2 650	760	1 100	1 200	1 620	2 300
	总质量(t)	1.02	1.45	2.6	2.88	4.1	2.95	4.1	5.2	5.9	7.9	2.9	4.15	4.5	6.1	8.7

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续上表

载　重		80kN														
采用主索直径(mm)		22					30					32				
设计跨径(m)		20	30	40	50	60	40	50	60	70	80	40	50	60	70	80
索束附件	松紧器(个)	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	滑车(个)	4	6	12	14	16	6	8	10	10	12	4	6	6	8	10
	钢索圈(个)	12	14	24	26	28	14	16	20	22	24	12	14	14	16	22
	连接铁板(副)	4	6	12	14	16	6	8	10	10	12	4	6	6	8	10
	松紧器连接板(副)	8	8	8	8	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	钢索卡子(个)	120	140	240	260	280	140	160	180	180	240	120	140	140	160	180
桥面系	[120 横梁(m)	75	105	140	175	220	140	175				140	175	220		
	[140a 横梁(m)								224	260	295				260	295
	I 100 纵梁(m)	120	180	240	300	360	240	300	360	420	480	240	300	360	420	480
	桥面板 280cm × 20cm × 5cm(m^3)	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	4.8	6.0	7.2	8.4	9.6	4.8	6.0	7.2	8.4	9.6
	护木 150cm × 10cm × 10cm(m^3)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
锚碇系	锁索器(个)	8+8	8+8	8+8	8+8	8+8	8+8	8+8	8+8	8+8	8+4+4	8+8	8+8	8+8	8+8	8+4+4
	桥头枕木 180cm × 22cm × 14cm(m^3)	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	地垄木 ϕ40 ~ ϕ45cm(m^3)	4.5	6.8	9	11	11	9	11	11	12	17	9	11	11	12	17
	如用束轨 25kg/m(根)	—	—	5	7	7	5	7	7	7	a5、b5	5	7	7	7	a5b5
	地垄拉力(kN)	—	—	1 150	1 380	1 380	1 150	1 380	1 380	1 660	a1 150 b920	1 150	1 380	1 380	1 660	a1 150 b920
	地垄上拉力(kN)			239	287	287	239	287	287	345	a239 b191	239	287	287	345	a239 b191

简易单孔索桥参考表(二)　　表 15-10

载　重		(107 + 48)kN												
采用主索直径(mm)		30						32						
设计跨径(m)		20	30	40	50	60	70	20	30	40	50	60	70	80
设计矢度	设计空索时(m)	0.02	0.04	0.08	0.13	0.16	0.22	0.025	0.045	0.08	0.11	0.15	0.20	0.30
	矢高挂有桥面时(m)	—	—	0.50	0.70	0.90	1.10	—	—	0.50	0.70	0.90	1.10	1.40

续上表

载　重		(107 + 48)kN												
采用主索直径(mm)		30						32						
设计跨径(m)		20	30	40	50	60	70	20	30	40	50	60	70	80
钢索	布置根数	—	—	14	16	18	20	—	—	12	12	14	16	18
	总长(m)	—	—	1 540	1 920	2 520	3 000	—	—	1 320	1 440	1 980	2 400	2 900
	总质量(t)	—	—	5.1	6.35	8.3	9.9	—	—	5.05	5.5	7.55	9.2	11.10
索束附件	松紧器(个)	4	4	4	6	6	6	4	4	4	4	4	6	6
	滑车(个)	6	8	10	12	14	16	4	6	8	10	12	14	—
	钢索圈(个)	14	16	22	24	26	28	12	14	16	16	22	24	26
	连接铁板(副)	6	8	10	12	14	16	4	6	8	8	10	12	14
	松紧器连接板(副)	8	8	8	12	12	12	8	8	8	8	8	12	12
桥面系	钢索卡子(个)	140	160	220	240	260	280	120	140	160	160	220	240	260
	[160a 横梁(m)	78	117	156	194	—	—	78	117	156	194	—	—	—
	[180a 横梁(m)	—	—	—	—	260	303	—	—	—	—	260	303	346
	I 120 纵梁(m)	120	180	240	300	360	420	120	180	240	300	360	420	480
	桥面板 280cm × 20cm × 5cm(m^3)	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	8.4	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	8.4	9.6
	护木 150cm × 10cm × 10cm(m^3)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6

(二)主索

1.主索直径

索桥的主索直径,当荷载、跨径、矢度符合表 15-9 和表 15-10 时,可选用该表中所列直径规格的钢丝绳,如缺乏表列直径规格时,宜按计算确定。

2.主索切割长度

每根主索计算的总长度 S,应等于跨间弧长与两岸锚索计算长度之和。跨间弧长,可按一般的悬索计算公式计算,两岸锚索的长度,可按设计图纸计算的长度。

主索的切割长度 $S_{切}$,可按下式计算:

$$S_{切} = S - \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 \tag{15-23}$$

式中:ΔS_1——主索在恒载作用下延伸量,即总长度 S 乘以延伸率;若主索采用预拉时,可不考虑;

ΔS_2——切割损耗量,如用剁切或截断,其损耗量均较小,可以不计;如用氧割,切割损耗量每端约 5cm;

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

ΔS_3——钢芯钢丝绳收缩量，每端约 2～5cm。

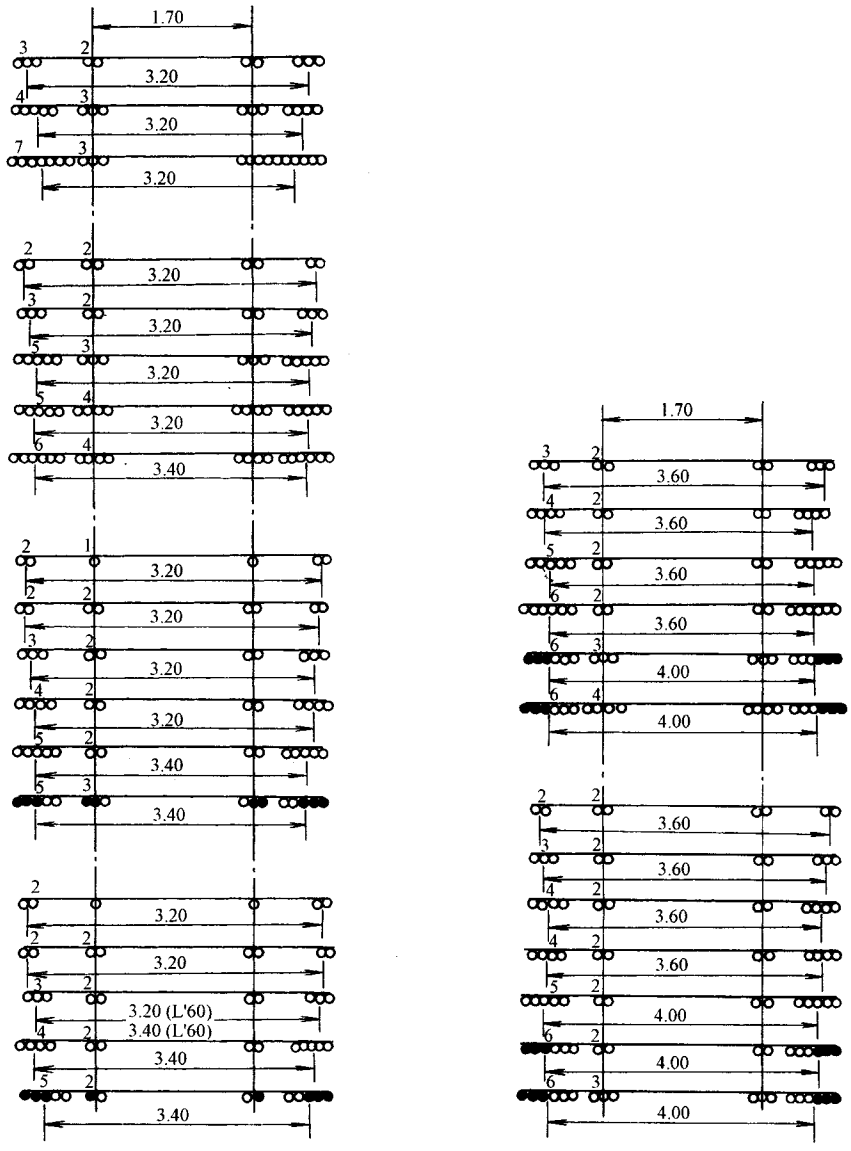


图 15-48　索桥主索布置(单位:m)

注:图中"•"表示以钢索锚固在双地垄的较远地垄中;

"○"表示以钢索锚固在较近地垄中。

3.主索制作

主索宜采用钢芯的钢丝绳。选用钢丝绳的破断拉力，必须符合设计要求。

1)主索丈量和预拉

(1)选择稍长于主索、宽度为 3m 的平坦场地，分别在跨中、桥头枕木垛、桩式地垄切割位置处浇筑长宽各 1m、厚 30cm，高出地面 10cm 的混凝土墩。在混凝土墩顶面划出十字线，纵向为丈量主索的中心线，横向为跨中、桥头枕木垛及地垄锚碇切割位置，如图 15-49 所示。各十字线位置应采用标准钢尺以规定的拉力丈量。按照设计温度与实际温度的差异加以修正，反复丈量 3～4 次。

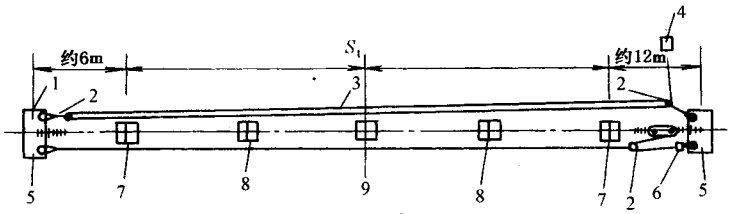


图 15-49　主索丈量布置

1-锚固桩;2-转向滑车;3-返牵引索;4-双筒卷扬机;5-张拉地锚坑;6-50kN 卷扬机;7-锚碇;8-桥头枕木垛;9-跨中

(2)用双筒卷扬机将主索牵引到另一端,摊开在场地一边。然后把主索移到张拉中心线,用卡子将主索固定在锚固索上。开动 50kN 卷扬机将主索拉直,并把主索端头作好标记。

(3)继续将主索张拉到静载拉力,并测出当时的温度与标准温度的差值,将各部位的长度加以温度修正,然后把修正后的位置移到主索上,并作出标记。

(4)松开卷扬机使主索回松到起拉点的拉力,量出主索受力后产生的回弹性延伸值。然后把卷扬机松脱,卸掉卡子,把量好的主索切割断移到旁边待运。

2)主索切割

主索切割一般采用人工切割和乙炔焊切割。乙炔焊切割较为省力,但切割处有一段钢丝束要产生退火影响,必要时可在切割处适当地多留些长度。

4.主索安装

主索安装前,应对地垄锚碇、枕木、枕木垛的中线、标高和距离进行全面复核检查。

主索牵引过河,对不通航的河流,可在两岸设临时扒杆,先将 ϕ16mm 的牵引索运送过河,挂在扒杆顶端滑轮上,再将主索与牵引索用卡子暂时连接,通过两岸绞车由一岸牵引,另一岸逐步放松,将主索牵引过河。主索过河后,按设计要求将主索放置在桥头枕木垛上。

5.主索调整

主索的垂度随着恒载(如桥面)的增加,主索垂度愈来愈大,最后达到设计垂度。这种安装初期的垂度,称为施工垂度。施工垂度 $f_{施}$ 对于简易单跨索桥的主索,可近似地按式(15-24)计算。

$$f_{施} = f_{设} - \Delta f \tag{15-24}$$

式中:$f_{设}$——设计垂度(即竣工垂度);

Δf——主索因恒载减小引起主索长度比竣工时长度的缩短量,假定主索中跨的缩短长度为 ΔS 时,则所产生跨中垂度减小值可按下式计算:

$$\Delta f = \frac{15\Delta S}{16n(5 - 24n^2)} \tag{15-25}$$

式中:n——矢跨比(f/l);

f——主索悬挂后未加恒载的矢度;

ΔS——主索中跨缩短长度;$\Delta S = \sigma S / E_c$;$\sigma$ 为主索相应阶段与 $f_{设}$ 时的平均应力差;S 为中跨主索的长度;E_c 为主索的弹性模量。

由施工垂度推算出主索最低点标高,再用水平仪直接量测进行调整。

主索调整要两岸同时进行,使两岸松紧器调整的幅度相等。

主索在调整前,须进行主索的理顺工作。理顺工作应从跨中开始,向两岸进行。每距 5 ~

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

7m 用 20 号铁丝绑扎一道，使主索成型。

（三）桥面

1.桥面系构造

桥面系按纵向分为若干节，每节 2m，由 2 根横梁、6 根纵梁和桥面板组成。纵梁宜用工字钢和槽钢制作，亦可采用方木，桥面板用 5cm 厚、20cm 宽木板制成。其构造如图 15-50 所示。

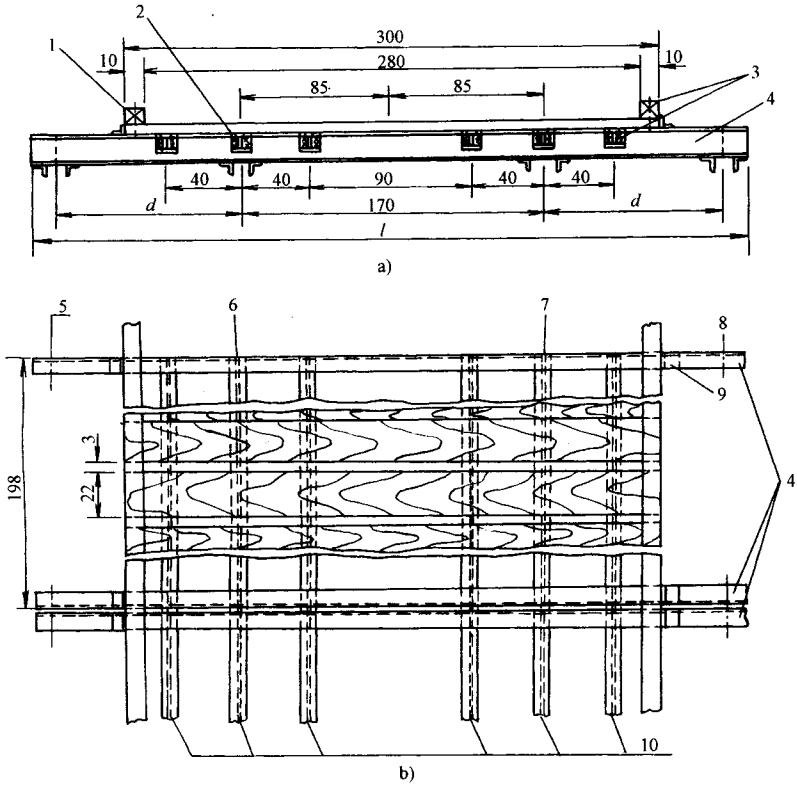


图 15-50　桥面系构造（单位：cm）

a）剖面；b）平面

1-护木（10cm×10cm）；2-木板（厚 5cm）；3-螺栓；4-[型横梁；5、6、7、8-第一、二、三、四索组中心；9-控制桥面角钢；10-I 型纵梁（198cm）

横梁和纵梁采用螺栓连接，如图 15-51 所示。在横梁上面焊有两根角钢，桥面板安装在角钢间，通过护木用螺栓与横梁固定。

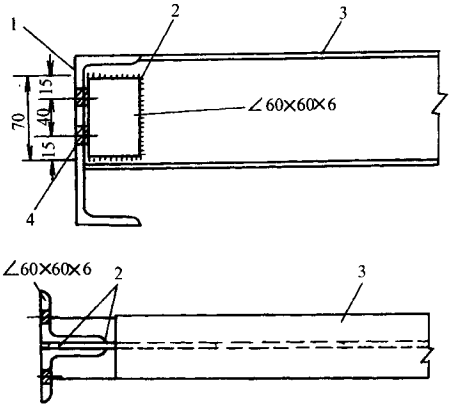


图 15-51　桥面横梁和纵梁连接（单位：mm）

1-I 型横梁；2-电焊厚（6mm）；3-I 型纵梁；4-螺栓孔（φ17mm）

2.桥面安装

桥面安装由桥两岸同时进行。首先将横梁放在钢索上，使各组角钢夹套住各索组，然后安装纵梁和桥面板，用拉索从两岸向桥孔中拉，拆除桥面的顺序与此相反。

若桥面主索为 6 索时，则可不用横、纵梁，直接在主索上铺装横向、纵向桥面板。

简易单孔索桥，可不设抗风拉杆。

（四）支座

支座可采用枕木垛或混凝土块。使用枕木垛时其布置如图 15-52 所示。

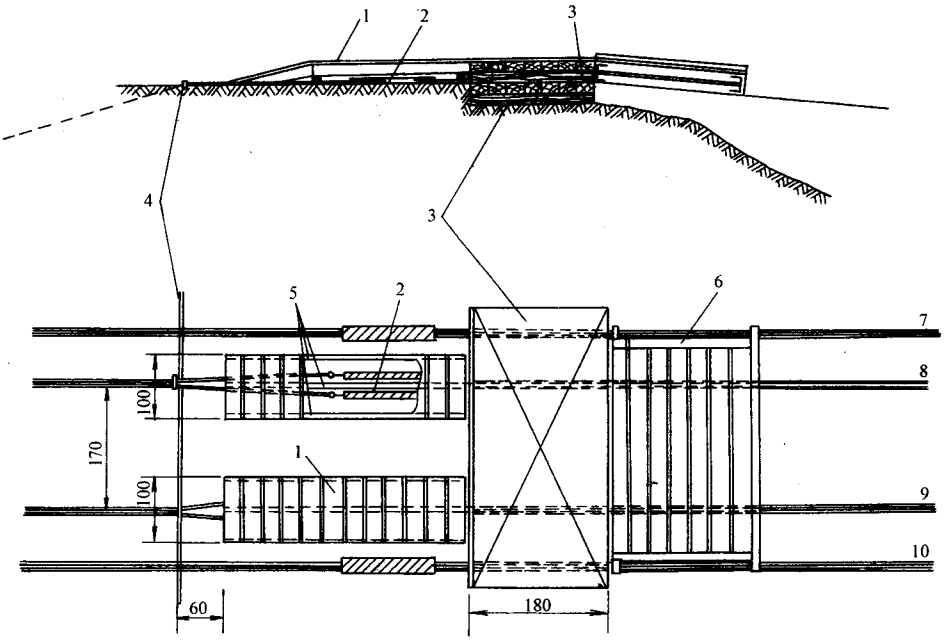


图 15-52　桥面枕木垛(单位:cm)

1-活动面板;2-松紧器;3-桥头枕木(14cm×22cm×480cm);4-地垄枕木;5-桥头短梁(14cm×22cm×210cm);6-桥面;7、8、9、10-第一、二、三、四钢索组

(五)调整系统

调整系统采用松紧器,设置在地垄与桥头枕木垛之间,如图 15-53 所示。

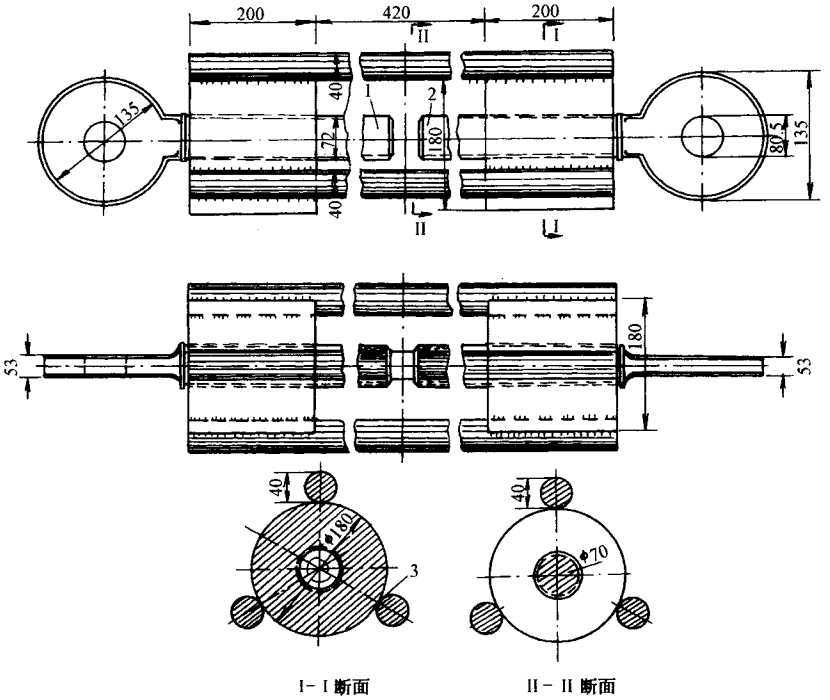


图 15-53　松紧器(单位:mm)

1-顺螺纹;2-反螺纹;3-焊缝(厚 15mm)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(六)锚碇系统

1.构造

锚碇系统采用钢、木地垄。钢、木单地垄构造如图 15-54 所示。双地垄两个锚坑距离 9.3m,其构造与单地垄相同。单、双地垄适用范围可查表 15-9 和表 15-10。

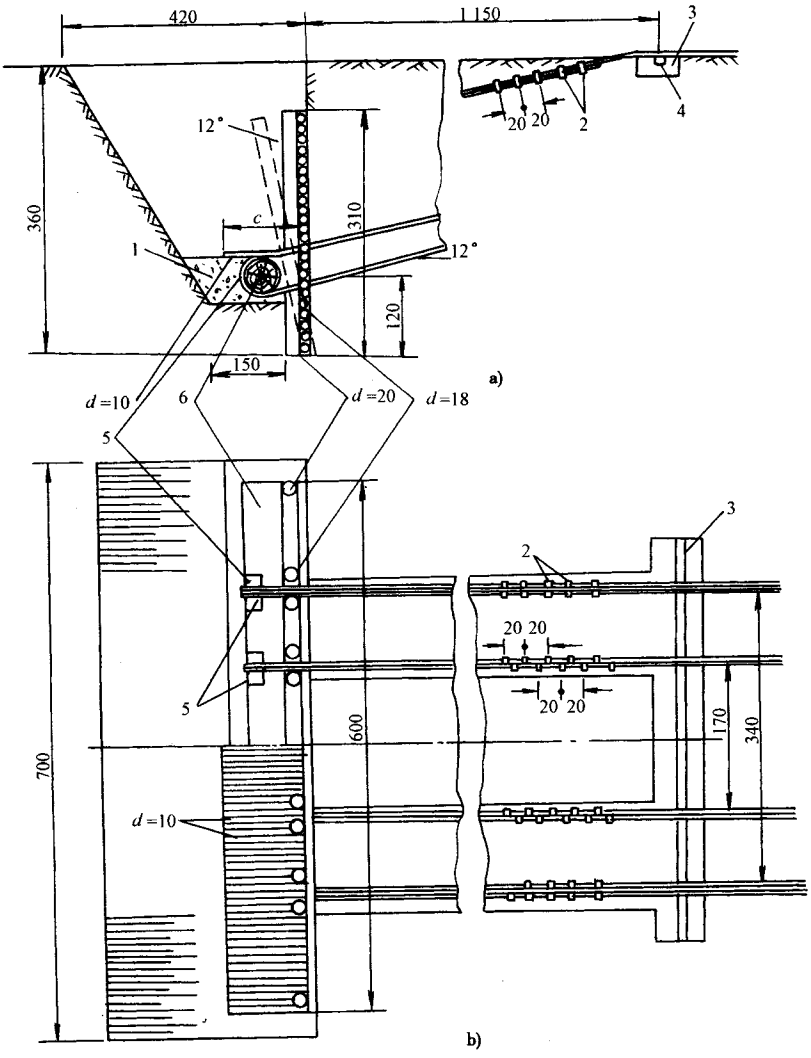


图 15-54 钢、木单地垄构造(单位:cm)

a)纵断面;b)平面

1-密实砂卵石;2-钢索卡子;3-碎石垫层;4-地枕枕木;5-钢制靠垫[6cm×(300~500)cm×(550~710)cm];6-地垄木(ϕ40~ϕ45cm)

2.施工注意事项

1)地垄坑须按规定尺寸开挖,施工时要注意避免地垄坑和锚索穿入的分沟交接处发生坍塌。若遇雨时应遮盖,不使水流入坑内。

2)地垄挖好后应加速施工,捆扎钢索,安装地垄木,回填地垄坑。

3)地垄回填前需检查钢索布置是否正确,并在钢索和铁件上涂刷防锈油。回填土应分层夯实。

第四节　支　　架

一、满堂支架

满堂支架的排架可设置在垫木或桩基上。图 15-55 所示的为最简单的梁式体系满堂支架示意图。

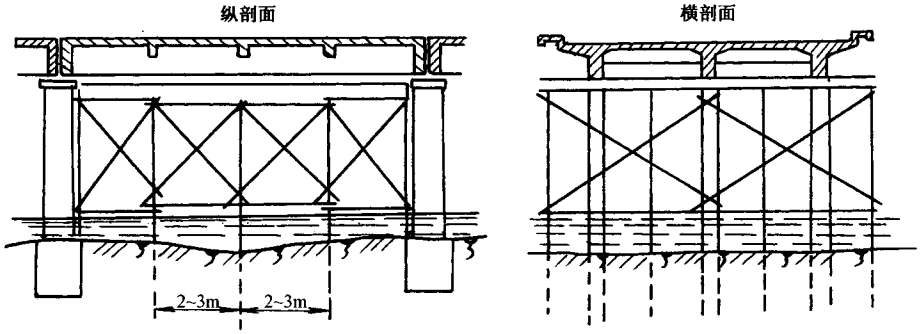


图 15-55　最简单的梁式体系满堂支架

短跨简支梁式上部构造浇筑混凝土所用支架，可以不设卸架设备；跨径大于 12m 的梁桥，可采用木楔、木马卸落设备；木楔、木马可以直接布置在支架大梁下，也可以布置在立柱下面与桩支撑的地方。当跨径较大时，可采用砂箱。

二、钢木混合支架

1. 型钢纵梁框架式支架

为加大支架跨度，减少排架数量，支架的纵梁可采用工字钢。跨度较大、较高的支架，一般多改用木框架结构，以加强支架的承载力和稳定性。这类钢木混合支架的构造，如图 15-56 所示。

2. 无中间支撑的撑架式支架

当建筑高桥时，由于受地区条件的限制（如通航条件限制，修建基础困难等），采用跨中无支撑的结构比较适宜。这种支架的结构，如图 15-57 所示。

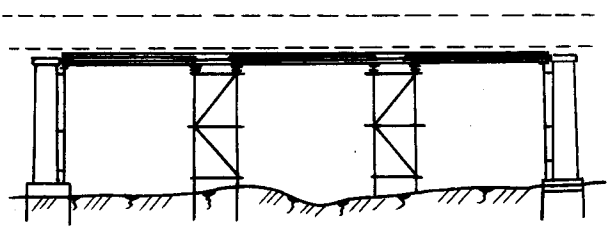


图 15-56　型钢纵梁框架式支架

支架的木撑柱安装在墩台身凸出的钢筋混凝土支撑部分，顶部的水平拉杆采用钢锚杆，锚固在墩台身顶部，支架中间部分为工字型钢梁，用托架加强，斜柱顶与墩、台顶之间为木梁。卸落设备安置在工字梁两端之下墩、台处，置于木梁之下。

当支架的跨径小时，可不采用托架。

三、钢　支　架

钢支架的构造示例，如图 15-58 所示。支架所用材料全部采用钢材。其主要组成部件为

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

立柱、盖梁、纵梁、连接斜撑和支撑模板的横梁等。立柱由 2 根 I36 工字钢组合焊接而成，安装于承台混凝土基础上；为了充分利用贝雷钢桥桁架片，盖梁采用双排单层贝雷桁架片安置在立柱顶上；纵梁亦使用贝雷桁架片置于盖梁之上；纵梁间用型钢作斜撑进行连接；纵梁上铺设槽钢作横梁，支撑模板。

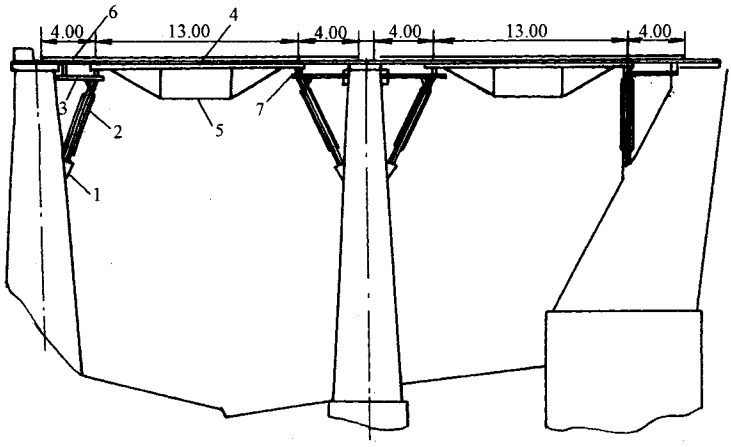


图 15-57　无中间支撑的斜撑式支架(单位：m)

1-墩(台)身凸出混凝土；2-木撑柱；3-水平拉杆；4-工字钢梁；5-托架；6-木梁；7-卸落设备

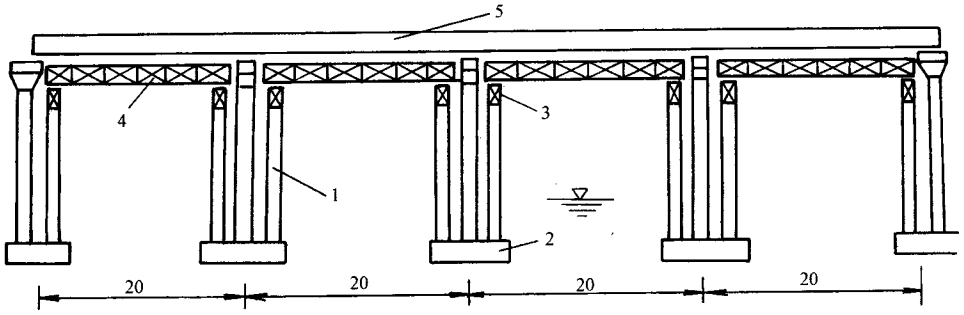


图 15-58　钢支架构造示意图(单位：m)

1-2I36 组合柱；2-承台或混凝土基础；3-双排单层贝雷桁架片盖梁；4-贝雷桁架片纵梁；5-钢筋混凝土空心板

注：型钢斜撑、槽钢横梁未示出。

用装配式公路钢桥桁架片组拼的支架纵梁，在荷载作用下的变形较大，应验算其垂度及挠度。垂度、挠度的计算可参照本章第二节。必要时应对支架进行预压。

四、万能杆件拼装支架

万能杆件拼装成各种跨度和高度的支架，其跨度与高度均须与杆件的长度成倍数。

用万能杆件拼装桁梁时，其高度须为 2m、4m、6m 或 6m 以上。当高度为 2m 时，腰杆可拼成三角形；高度为 4m 时，腹杆可拼成菱形；高度为 6m 及 6m 以上时，腹杆可拼成多斜杆形式。

用万能杆件拼装墩架时，柱与柱之间的距离应与桁梁之间的距离相同。柱高除柱头及柱脚外，应为 2m 的倍数。

万能杆件的规格及力学性能，参见本章第二节。

五、拱　架

(一)木拱架

1.木拱架构造

拱宽为8.3m,拱架安装分成8组,间距各1.2m,每组由上部(拱架本身)和下部(支架)组成。为了简化安装,拱架、支架跨度方向用柱撑系;拱架结点分别用立柱或成对斜撑支撑。下弦拉杆设在拱端的水平面上。支架基础为木桩,桩柱为圆木。拱架支架构造如图15-59。

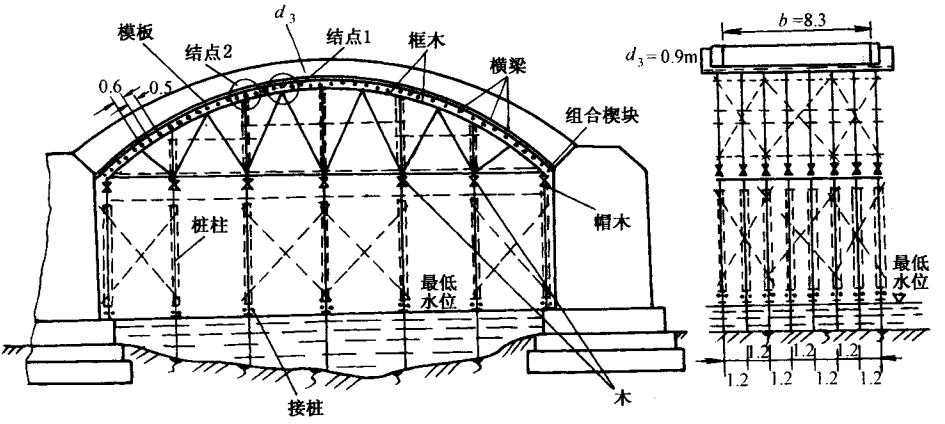


图15-59　拱架支架布置图(单位:m)

为了制作方便,所用框木采用相同尺寸。拱圈下部曲线长度 S,按圆弧近似计算:

$$S=\sqrt{l_0^2+\frac{16}{3}f_0^2} \tag{15-26}$$

式中:l_0——拱圈净跨径;

f_0——拱圈净高。

拱圈分为12节,每节长度为$\frac{S}{12}$。框木上边曲线应切合拱圈下面曲线,框木互相顶紧,全部杆件交会在结点上,用5mm厚铁板和ϕ19mm螺栓连接。其构造如图15-60所示。

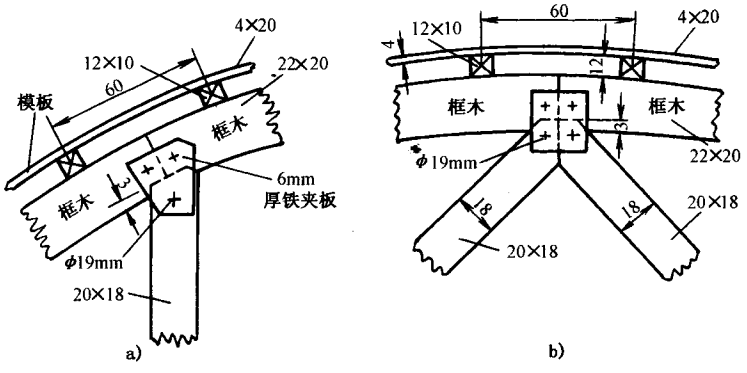


图15-60　拱架结点连接图(单位:cm)

a)结点2;b)结点1

在拱架下结点与支架帽木之间安装木马,在拱端处采用组合木楔装置,便于下落拱架。

2.木拱架施工设计

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1)拱架、支架的结构计算，参见木结构的有关资料，不作阐述。

2)拱架建筑加高量计算

(1)拱圈本身重力所产生的弹性下弯量 δ_1

$$\delta_1 = \frac{H_g l}{E d_1}\left(\eta_a + \frac{f}{l}\right) \tag{15-27}$$

式中：H_g——不计弹性压缩的恒载推力；

l——计算跨径；

d_1——拱顶厚度；

E——混凝土弹性模量；

f——计算矢高；

η_a——推力影响线跨径中心坐标；

$$\eta_a = K\frac{1}{(1+\mu_1)} \tag{15-28}$$

其中：K——系数；在 0.28～0.30 之间，可采用平均值 0.25；

μ_1——系数；

$$\mu_1 = \frac{1}{12 V_1 g} \times \frac{d_1^2}{f^2} \tag{15-29}$$

V_1——恒载弹性压缩附加推力，见表 15-11；

g——弹性量二次矩，见表 15-12。

V_1 值 表 15-11

n \ f/l	0.10	0.14	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.38
0.20	1.19	1.18	1.16	1.13	1.11	1.08	1.06	1.04
0.30	1.15	1.14	1.12	1.09	1.07	1.04	1.02	1.00
0.40	1.12	1.10	1.08	1.06	1.04	1.01	0.99	0.96
0.50	1.09	1.07	1.05	1.03	1.01	0.99	0.96	0.94
0.60	1.06	1.05	1.03	1.01	0.98	0.96	0.94	0.91
0.80	1.02	1.01	0.99	0.96	0.94	0.92	0.90	0.87
1.00	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.86	0.84

注：表中 n 为拱圈厚度系数，在公路桥中，一般采用 $n=0.50$ 或 0.60；若为平拱或梁式上部建筑混凝土拱采用 $n=0.4$ 或 0.3。

10 000g 值 表 15-12

m	拱厚系数 n								
	1.00	0.80	0.60	0.50	0.40	0.30	0.25	0.20	0.15
1.000	889	775	653	588	520	448	410	370	329
1.347	875	761	640	577	509	437	400	361	320
1.756	863	750	629	566	498	428	390	352	312
2.240	847	736	616	553	486	417	380	342	302
2.814	834	722	604	541	475	407	370	332	294

续上表

m	拱厚系数 n								
	1.00	0.80	0.60	0.50	0.40	0.30	0.25	0.20	0.15
3.500	821	710	593	530	466	396	361	323	285
4.324	807	697	531	519	455	386	351	314	276
5.321	793	684	568	507	443	376	341	305	267
6.536	779	671	556	496	432	366	331	295	258
8.031	766	658	544	484	422	356	322	286	250
4.889	750	644	532	472	411	346	312	277	241

注：表中 m 为拱圈曲线系数，等于拱端处单位长度恒载重力与拱顶处单位长度恒载重力之比。

(2)温度变化所产生的拱圈下弯量 δ_2

$$\delta_2 = \frac{1}{4} \times \frac{\alpha l^2 t}{f(1+\mu_1)} \tag{15-30}$$

式中：α——混凝土膨胀系数；

t——温度变化绝对值；

其他符号意义与上式相同。

(3)墩、台水平位移所产生的拱圈下弯量 δ_{cm}

$$\delta_{cm} = \frac{1}{4}\Delta l \times \frac{l}{f(1+\mu_1)} \tag{15-31}$$

式中：Δl——墩、台水平位移量；若预期时间内不会产生位移，可不作计算；

其他符号意义与上式相同。

(4)拱架、支架弹性压缩下沉量 δ_3

$$\delta_3 = \delta'_3 + \delta''_3 + \delta'''_3 \tag{15-32}$$

结点下杆件的压缩量：

$$\delta'_3 = \frac{\sigma l_1}{E} \tag{15-33}$$

式中：σ——拱架中柱压应力；

l_1——拱架中柱长；

E——木材的弹性模量；

支架柱弹性压缩量：

$$\delta''_3 = \frac{\sigma_1 l_2}{E} \tag{15-34}$$

式中：σ_1——支架柱压应力；

l_2——支架柱长度；

E——木材柱弹性压缩量；

拱架与支架中承受横纹压力的弹性压陷量：

$$\delta'''_3 = n\Delta \tag{15-35}$$

式中：Δ——横纹受压杆件的弹性压陷量，有模板横梁、框木、拱架下弦、卸落设备、帽木等，若压力在 200～300N/cm^2 时，Δ 可平均采用 1.5mm；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

n——承受横纹压力的杆件数。

(5)拱架、支架非弹性下沉量 δ_4

$$\delta_4 = 3K_1 + 2K_2 + 2K_3 \tag{15-36}$$

式中：K_1——木料横纹相接缝数，每缝 3mm；

K_2——木料顺纹相接缝数，每缝 2mm；

K_3——钢板和木料相接缝数，每缝 2mm。

(6)支架基础非弹性下沉量 δ_5

①混凝土、垫木基础

在砂土上为 5～10mm，粘土上为 10～20mm。

②木桩

在载荷限度内：砂土中为 5mm 左右，粘土中为 10mm 左右；不到载荷限度：均采用 5mm。

(7)总拱架加高量 δ

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5 + \delta_{cm} \tag{15-37}$$

3)拱架加高曲线图

加高曲线按抛物线计算，如图 15-61 所示。其最大加高量为 δ。

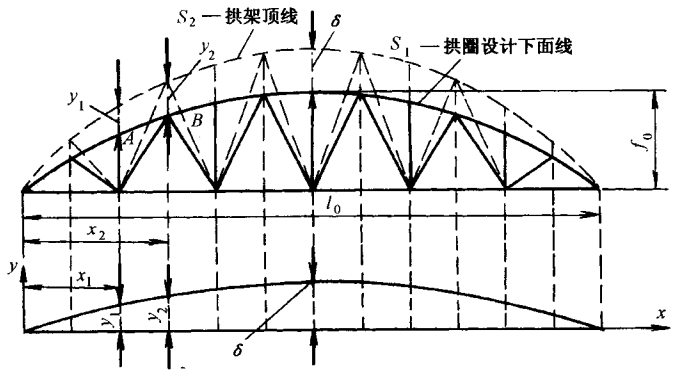


图 15-61　抛物线形建筑加高图

例如：结点 A 的加高量 y_1，可按下式计算：

$$y_1 = \frac{4\delta}{l_0} x_1 (l_0 - x_1) \tag{15-38}$$

式中：各符号意义参见图 15-61。

拱架顶曲线 S_2，应按拱圈下面坐标再加上各点加高量确定。

4)拱架卸落

(1)拱顶处拱架拆卸时的卸落量 δ 包括：

①拱圈重力所产生的拱圈弹性下弯量 δ_1；

②拱架和支架的弹性压缩下弯量 δ_3；

③墩台水平移动所产生的拱圈下弯量 δ_{cm}。

拱顶处拱架卸落量：

$$\delta = \delta_1 + \delta_3 + \delta_{cm} \tag{15-39}$$

(2)拱端处拱架拆卸时的卸落量。

在拱端处(见图 15-59),拱架用立柱支撑;立柱用底横木支撑;底横木安置在基础上。

①在拱端处模板上每平方米压力的正交压力 N(见图 15-62)按下式计算:

$$N = \gamma d_e \cos\varphi_e \tag{15-40}$$

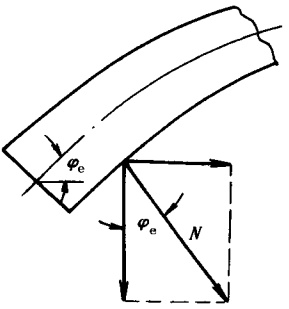


图 15-62 拱端处每平方米正交压力计算图式

式中:γ——混凝土容重,kN/m³;

d_e——拱端处拱圈厚度,m;

φ_e——拱端处拱轴线与水平线夹角,°。

垂直分为:

$$V = N\cos\varphi_e$$

水平分(由拱架下弦承受)为:

$$T = N\sin\varphi_e$$

②立柱承受压力 V_0 按下式计算:

$$V_0 = V\frac{l_1}{2}l_2 \tag{15-41}$$

式中:V——垂直分力;

l_1——拱架每节长度;

l_2——拱架横向间距。

③立柱压应力 σ 按下式计算:

$$\sigma = \frac{V_0}{\varphi A} \tag{15-42}$$

式中:A——立柱截面积;

φ——立柱的纵向弯曲系数,按下式计算:

$$\left.\begin{aligned} &\lambda \leqslant 80\text{ 时},\quad \varphi = 1.02 - 0.55\left(\frac{\lambda + 20}{100}\right)^2 \\ &\lambda > 80\text{ 时},\quad \varphi = \frac{3\,000}{\lambda^2} \end{aligned}\right\} \tag{15-43}$$

λ——立柱长细比;

r——计算截面回转半径;

$$r = \frac{I_m}{A_m} \tag{15-44}$$

I_m——立柱毛截面对其重心轴的惯性矩;

A_m——立柱截面积。

④立柱的弹性压缩 δ'_0 按下式计算:

$$\delta'_0 = \frac{\sigma l}{E} \tag{15-45}$$

式中:l——立柱长度;

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

E——木料的弹性模量。

⑤帽木的横纹承压应力 σ_{cm} 按下式计算：

$$\sigma_{cm} = \frac{V_0}{A_0} \tag{15-46}$$

式中：V_0——立柱压力；

A_0——帽木承压面积。

⑥在拱端结点下，拱架和支架中受横纹压力的杆件有模板、横梁、框木、下弦、卸拱装置、帽木、立柱、底横木等，各件承压应力都不超 50N/cm²，每件横纹受压弹性压陷量 Δ 可采用 0.5mm。弹性压陷量按下式计算：

$$\delta''_0 = n\Delta \tag{15-47}$$

式中：n——承受横纹压力的杆件数。

⑦拱端处拱架卸落量 δ_0 按下式计算：

$$\delta_0 = \delta'_0 + \delta''_0 \tag{15-48}$$

5)拱架卸落图

拱顶卸落量按式(15-39)所得 δ 值，拱端卸落量按式(15-48)所得 δ_0 值绘制，其他节点处卸落量按直线比例确定。例如：

结点 c：$\delta_1 = \delta_0 + \frac{x_1}{x}(\delta - \delta_0)$

结点 b：$\delta_2 = \delta_0 + \frac{x_2}{x}(\delta - \delta_0)$

拱架卸落量如图 15-63a)所示。拱架卸落时应分多次进行，一般在拱顶和结点 b 处分三次卸落；结点 c 分二次卸落，拱端一次卸落。拱架卸落量及卸落次序如图 15-63 所示。

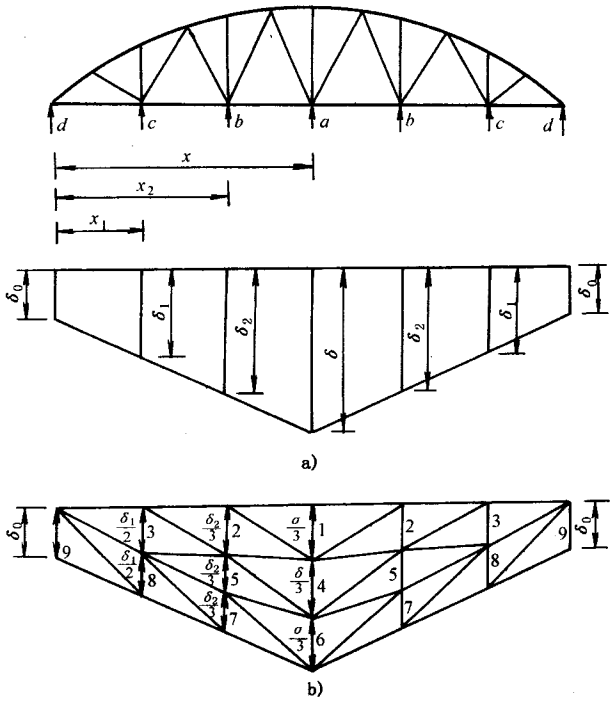


图 15-63 拱架卸落量及卸落次序图

a)卸落量；b)卸落次序

(二)少支架拱架

为了节省支架用材或在不便于设置多支架的情况下，宜采用少支架施工。图 15-64 所示为钢管桩支撑装配式公路钢桥桁梁(贝雷桁梁或“321”桁梁)支架、竹木拱架构造示意图。

1.支架主要构造

在距墩顶悬臂墩帽边 17m、35m 及 53m 处用振动沉桩机下沉钢管桩 3 排，每排为 4 根。在钢管桩顶部用预埋螺栓与钢塔架柱连接，柱顶安装 2 根 I45 工字钢梁组合柱帽。在柱帽上顺桥向安装 6 组用贝雷片桁架(每组两排)组成的连续钢桁梁，桁梁两端支撑在墩顶悬臂墩帽上。钢管桩顶与塔架柱间用槽钢横联，塔架柱与塔架柱间安装角钢水平撑及剪刀撑。

2.拱架主要构造

在连续钢桁梁上用 I25 工字钢和方木拼装成抛物线形框帽，用木材、毛竹、高竹为竖杆、水平杆及斜杆组成拱架。

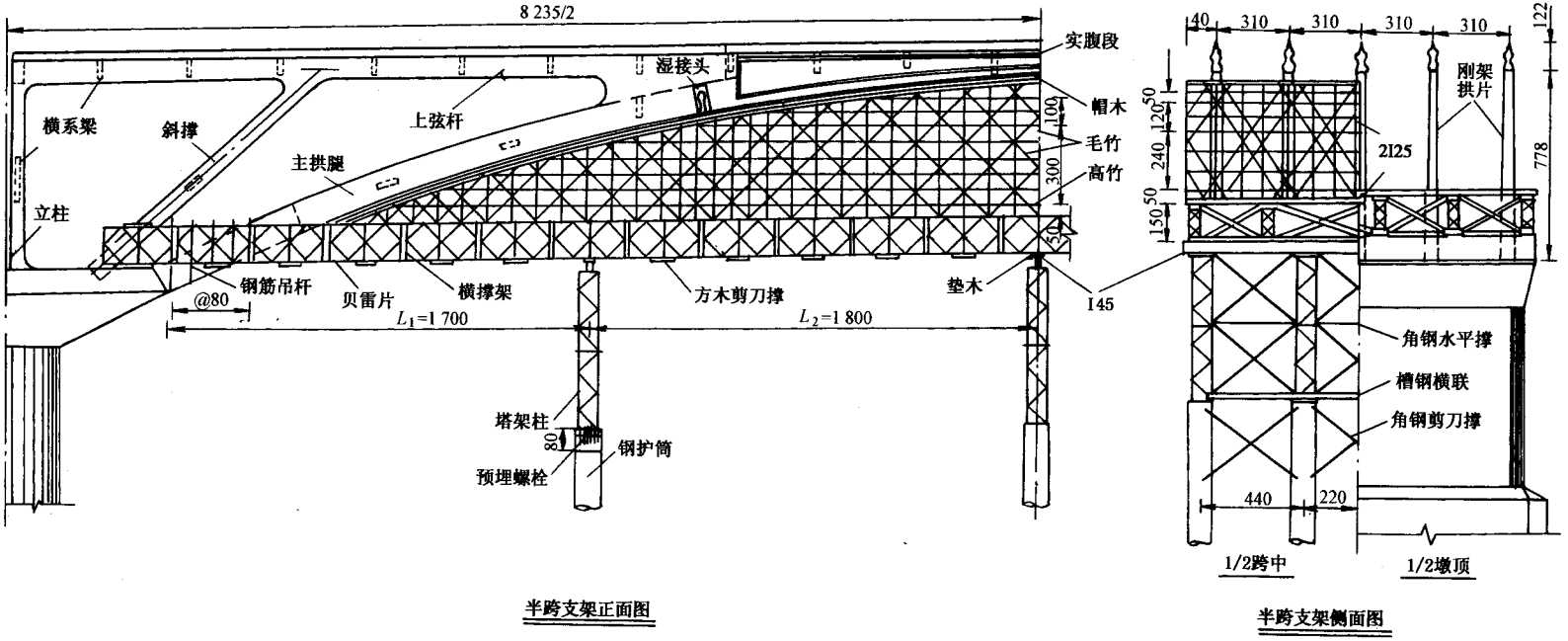


图 15-64　钢管桩支撑贝雷桁梁支架、竹木拱架构造示意(单位:cm)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

在拱架上安装模板，对称浇筑主拱肋的混凝土。

第五节　支架设计与施工实例

交通部公路一局对现浇支架及临时便桥的施工数量较多，如黄石长江大桥现浇段施工设计、嘉陵江大桥重庆岸现浇支架设计与施工、海南三亚临春桥箱梁现浇支架设计施工、永定河大桥与天津高架桥门式支架施工，以及伊拉克摩苏尔五桥型钢便桥、漳州西溪大桥贝雷支架便桥等等。在现浇支架的设计施工中，有些支架高度很高、水深流急、结构复杂，计算难度大，如黄石长江大桥主桥现浇段支架施工设计等。现将嘉陵江大桥重庆岸现浇段支架设计与施工、海南三亚临春桥箱梁现浇支架设计施工简介如下，供参考。

一、嘉陵江大桥重庆岸现浇段支架设计与施工

(一)工程概况

嘉陵江大桥主桥为 140m + 240m + 140m 三跨一联预应力混凝土连续刚构桥，全长 520m。上部构造为三向预应力混凝土箱梁，纵向、横向采用高强度低松弛钢绞线，竖向采用精轧螺纹钢筋。重庆岸边跨为 132.225m，其中悬浇段 111.5m 采用悬臂挂篮浇筑，现浇段 18.735m 和合龙段 2m 采用落地支架浇筑，如图 15-65 所示。

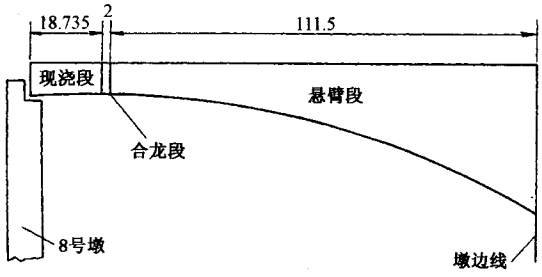


图 15-65　现浇段示意图(单位:m)

现浇段箱梁尺寸为：梁高 3.6m，顶宽 15.36m，底板厚由端部 0.6m 线性变化至 0.32m，腹板厚 0.4m(端部 5.735m 厚 0.6m)。端部设置横隔墙，隔墙内设有横向预应力筋。现浇段与合龙段混凝土数量约 300m^3，总重力 7 800kN。

现浇段位于河床漫滩处，基岩埋置较浅，有的甚至裸露。地基表层约 2m 厚卵石类土，以下为砂质泥岩。嘉陵江洪水期是 6～10 月；枯水期浸滩，地势平坦，可作为施工场地。

(二)支架设计

根据地质特点和现有材料，现浇段支架基础采用分离式方形圬工基础，钢管墩柱，型钢盖梁，贝雷桁架片纵梁。支架纵剖面图、横剖面图及基础布置图如图 15-66～图 15-68 所示。

支架高达 61m，支承重力约 1 000kN，设计难度很大。

1.设计构思

1)本桥支架高达 61m。根据国内施工经验，对高度大的支架，大多采用万能杆件、装配式公路钢桥桁梁、碗扣式或门架式满堂支架等，用钢量大，且后二者的承载效果和稳定性能也不很理想。因此，结合现有材料，采用黄石长江大桥用作摩擦端承桩的钢管(φ960mm、壁厚 10mm)作为墩柱。同截面积的钢管与型钢相比，具有刚度大、抗压性能好，且承受风力、水流冲击力均为优越。在钢管墩柱顶部设置落梁砂箱和 ZH400 型钢盖梁。为使传力线路明确，在型钢上加设重型钢轨一根，支撑贝雷纵梁，同时也增大了型钢的承载能力。

根据施工要求的程序，先施工上游半幅箱梁，后施工下游半幅箱梁。所以支架设计大胆构思了整体移动支架的方案，即先在上游搭设好半幅支架，下游施工时不再搭设支架，整体移动至下游。这对支架的整体性设计、轨道设计是一大难题，重心高达 30m 的三维框架要整体移

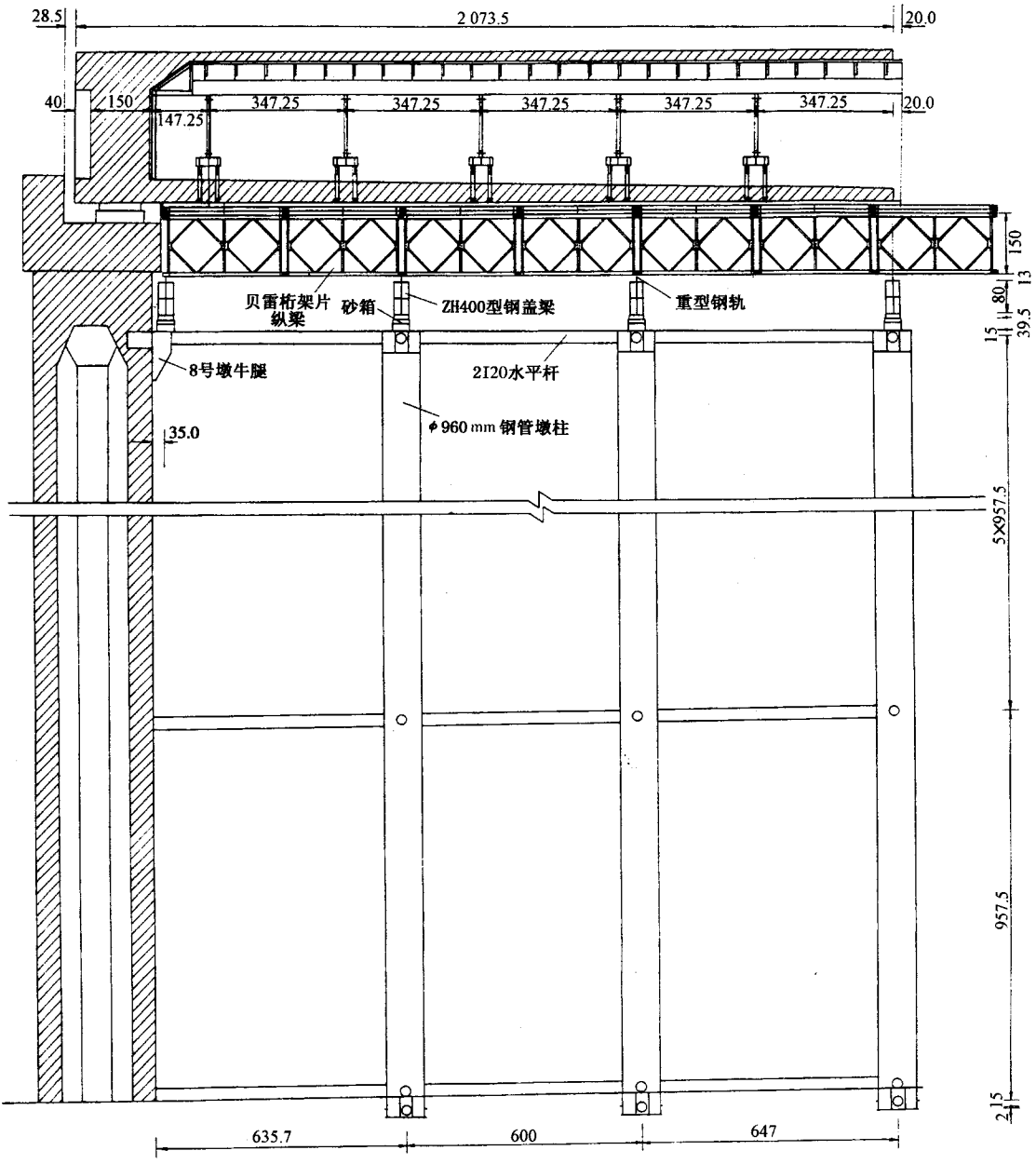


图 15-66　现浇支架纵剖面图(单位:cm)

动,首先须考虑结构力求轻巧坚固,否则会给施工增加极大的困难。

2)支架工程设计分为:基础工程、钢管平面桁架工程、水平杆连接工程、盖梁和纵梁工程五部分。基础工程考虑到地基为砂质泥岩,承载能力较大,采用 M7.5 浆砌片石分离式方形基础,平面尺寸定为 2.0m×2.0m,砌体顶面浇筑 50cm 厚 C30 混凝土,用以分布墩柱底压力和埋设移动支架的轨道。钢管平面桁架 3 片与 8 号墩牛腿形成 4 个支点,间距为 6.00m+6.00m+6.52m,且每片均用 2I20 工字钢焊成的方钢,与墩柱身预埋的钢板连接成三维框架。纵梁采用 18 排(3+12+3)贝雷梁,中间 12 排支撑箱梁底板、腹板、顶板部分,两边各 3 排支撑翼板部分,其工程数量见表 15-13。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

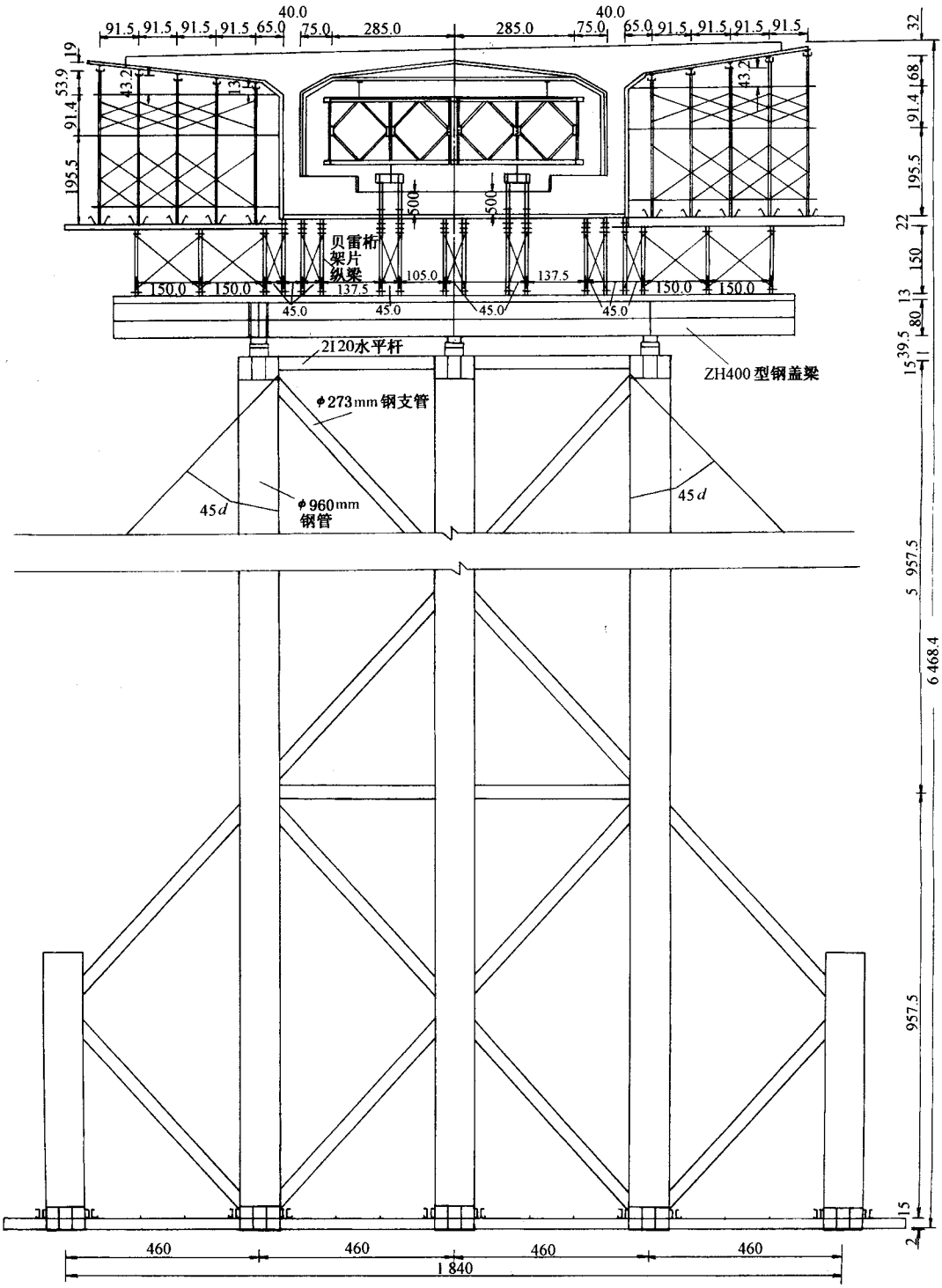


图 15-67　现浇支架横剖面图(单位:cm)

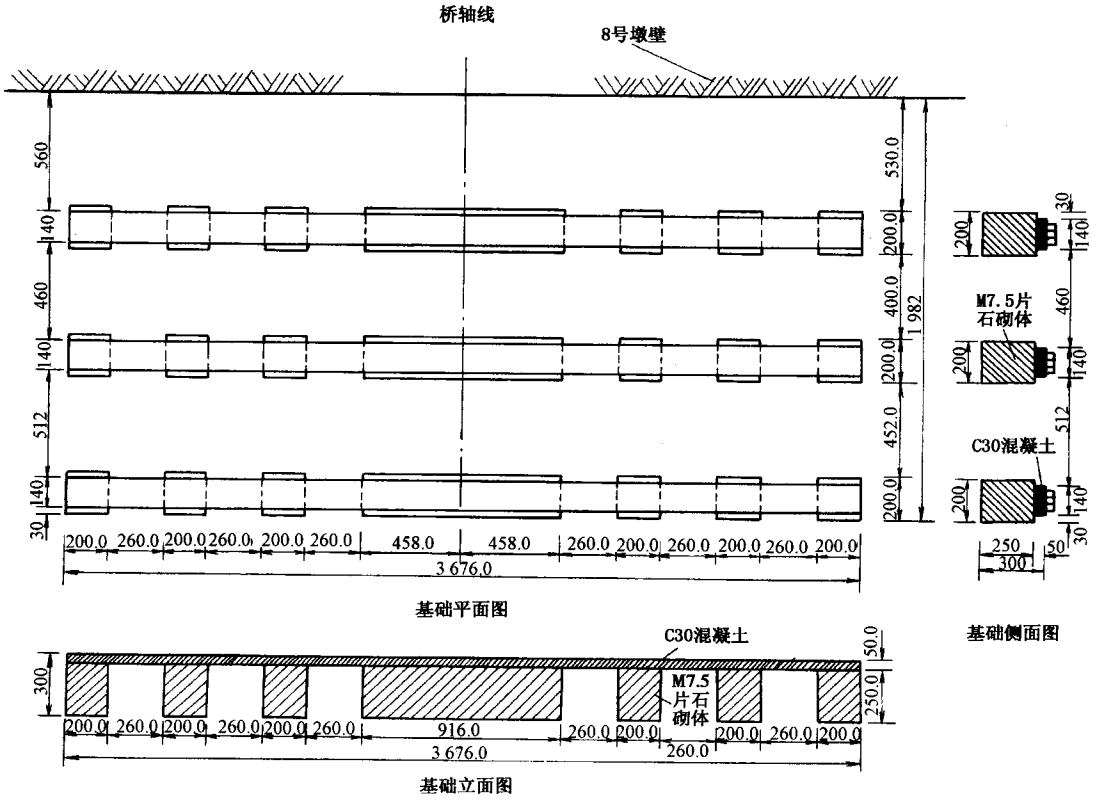


图 15-68　现浇支架基础布置图(单位:cm)

支架工程数量表　　表 15-13

支架工程	材料组成	单位	数量	质量 (kg)
基础	M7.5 浆砌片石	m^3	214	—
	C30 混凝土		29.4	
钢管桁架	主管:ϕ960mm t = 10mm	片	3	165
	支管:ϕ273mm t = 6mm			
水平杆	2I20	根	63	15
盖梁	ZH400 型钢	m	128	16
纵梁	贝雷片 (3.0m × 1.5m)	片	126	37.8

2.设计荷载取值

1)由于最不利荷载的难确定性,为偏于安全考虑,每一步验算均取最不利荷载进行叠加。

2)浇筑混凝土容重为 26kN/m^3,超载系数取用 1.05。

3)施工荷载(包括振捣荷载)为 5kN/m^2。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

4)模板、支架按实际质量取值。

5)风荷载、水流压力按本桥设计提供资料最大风速 17m/s、流速 3.2m/s 进行取值,计算水位按经验水位取值,并按下列公式计算。

(1)风压 W:

$$W = 1.4K_1K_2W_0 \tag{15-49}$$

式中:K_1——风压高度变化系数;

K_2——地理、地形条件系数,取 1.2;

W_0——基本风压。

(2)水流压力 P:

$$P = K\gamma v^2/2g \tag{15-50}$$

式中:K——墩台形状系数,圆形取 0.8;

γ——水的容重,kN/m^3;取 10kN/m^3;

v——设计水速,m/s;取 3.2m/s;

g——重力加速度,m/s^2。

3.强度和稳定性计算要点

1)根据传力线路,设计自上而下进行。翼板部分通过门架以集中力形式传给贝雷纵梁;顶板部分通过箱梁内支架以集中力形式传给贝雷纵梁;腹板、底板部分在箱梁横截面上按连续梁分配给贝雷纵梁作均布荷载计算。

2)贝雷纵梁按 3 孔简支梁设计计算,主要考虑贝雷桁梁的抗弯能力强,抗剪能力稍弱的原因;若采用按连续梁设计,则梁在支点处的剪力增大,对桁梁不利。

3)主要对以梁形式出现的截面中的应力进行强度校核,包括正应力、剪应力、组合应力。

4)稳定性校核,包括钢管平面桁架压杆的平面内和平面外稳定验算,以及整体稳定验算。

5)局部稳定校核,是在型钢盖梁支撑点和贝雷纵梁支撑点及集中力作用处进行验算。

4.设计难点处理

1)结构体系布置。用水平连系杆将主管平面桁架连接成三维框架,在承受风力、水流压力的水平荷载时,增加其侧向抗弯刚度。计算时按平面桁架考虑。

2)平面桁架主管间距的拟定。主管间的间距,应能使主管与基础的强度满足设计要求,并便于施工。同时须考虑型钢盖梁两端处伸悬臂梁的强度能满足要求。

3)支管管材的选取。支管直径 d_s 与主管直径 d 之比 $\beta(\beta = d_s/d)$和支管壁厚 t_s 与主管壁厚 t 之比 $\alpha(\alpha = t_s/t)$均应满足钢结构设计规范的要求,使充分发挥节点承载力,避免主管的冲剪破坏。

4)平面桁架节间的拟定。由于支架高达 61m,同时受风力、水力的作用,主管和支管均为高压力的压弯杆件,其自由长度不能太大。计算中采用 SAP80 有限单元分析程序进行电算试调,选用合理的节间和支管的布置形式。同时考虑施工简便,选取等间距的节间布置。

5)电算荷载。计算模型的确定,柱顶承受的上部结构恒载以结点集中力考虑;上部构造的风力以节点集中力作用于柱顶;由于风力是随高度变化而变化,简化计算时,风力在桁架节间内以均布荷载作用于柱身;水流压力以均布荷载作用于柱身。电算中输入支座信息、节点信息、单元信息即可。

6)节点、支座的确定。节点按刚接、铰接选取其不利组合计算。支座按铰接考虑。

7)框架安装误差、管柱失圆的计算。考虑框架安装产生的偏心,管柱的失圆从而增加了框

架的水平荷载,计算中偏于安全地假定柱顶增加竖向荷载 1/100 的水平附加力,进行计算。

8)上部箱梁合龙时,由于悬浇段温差产生的水平力和垂直力予以考虑,计算中将该荷载叠加。

5.设计细节处理

1)柱头、柱脚处理。柱头、柱脚采用相同型式,并分别设置封顶、封底钢板与管内井字架焊接,将集中力均匀传递给柱身、基础。

2)柱脚与基础连接。在基础中埋置锚杆,采用压梁将其压住,使符合铰接受力状态。

3)桁架节点处理。采用结点局部加厚主管管壁,并在管内设置"+"型槽钢加固。

6.立模标高、轴线调整

1)按计算设置纵向压缩预拱。

2)计算模型为侧移刚架,按计算取侧移值一半进行调整,使符合规范要求。

(三)支架施工

1.基础施工

1)放样后用机械开挖至岩面,经验收(包括基底应力、基底处理)合格后进行砌筑 M7.5 浆砌片石基础。

2)基础片石砌体砌筑,每一工作层的水平缝应大致找平,各工作层竖缝应相互错开,砂浆强度应满足要求。

3)砌体顶面浇筑混凝土,进行预埋件、行走轨道的埋设。

2.钢管平面桁架制作

高达 61m 的钢管桁架制作,包括主管对接(主管平均长 6m),主管与支管相贯焊接,柱头、柱脚的制作,全部属于焊接工程。如果按常规进行每节高空施工制作,很难保证其施工质量。因此,本桥采用地面制作,旋转扳起新方法施工,获得了很好的效果。钢管平面桁架的制作要点如下。

1)主管对接采用 V 形坡口对焊。施工中严格检查坡口和焊缝焊接质量及钢管的顺直度。对接主管的长度,考虑起吊能力和运行方便,采用 20m 左右。

2)搭设桁架制作平台。精确放样,定出钢管轴线及焊接定位装置。用 400kN 履带起重机将对接管放在指定位置,进行第二次对接焊接,达到设计长度。

3)主管、支管焊接采用角焊缝焊接。由于主管、支管内力的传递全由焊缝承担,因此焊缝质量极为重要。施工中必须对每道焊缝的焊接尺寸、焊缝高度进行检查。

4)节点质量保证。主管、支管相贯节点需加劲处,预先在主管内焊接"+"型加劲槽钢。为使主、支管轴交点通过主轴心,避免偏心对节点承载力的影响,支点焊接位置均经详细检查。对于支管相贯线平面展开图必须认真模拟实物直至满足规定以后,方可成批下支管材料。

5)柱头、柱脚封底。应检查加劲节点是否加劲后方可进行。

6)安全措施实施。设立主管侧焊接人行爬梯、护笼,柱顶焊接施工平台。

3.钢管平面桁架旋转扳起

钢管平面桁架地面制作,旋转扳起,这是对高层支架安装的一个典范参考,这也是本支架设计与施工相结合的成功实例。因为它大量节约了人力、物力、财力,特别是解决了高而重的起重难题。

本次旋转扳起是利用基础设置转动铰,利用 8 号墩盖梁设置锚点,进行竖向转体施工的新方法。主要是采用滑车组、卷扬机进行牵引。

1)柱脚转动铰设置

考虑在转动过程中,柱脚将产生很大的水平推力,会导致预埋钢板挤压和弯曲引起破坏。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

因此，柱脚转动铰布置，是在3根主管上各设2个转动铰。由于基础砌体与50cm厚混凝土之间抗剪能力不足，在基础上设置抗剪钢筋用以抵抗水平推力，保证基础混凝土面层不被破坏。其构造如图15-69所示。

施工时应注意转动轴线与管轴线垂直，同时3个轴心应同心，否则旋转时会产生受力不均，引起破坏。

2)钢管吊点设置

钢管平面桁架要有足够的刚度，是采用旋转扳起施工的保证。为使钢管在其重力作用下，不产生不能恢复的塑性变形和较大的弹性变形，采用两点吊立起吊。为了保证在旋转过程中使两吊点均匀承受拉力，采用循环绳与柱身连接，随着立起角度的变化，自动调整绳的张角。吊点确定以后，便可确定扳起绳的规格和数量。实用时考虑一定的安全储备，采用7门滑车组。其计算模型、穿绳俯视图、穿绳侧视图如图15-70～图15-72所示。

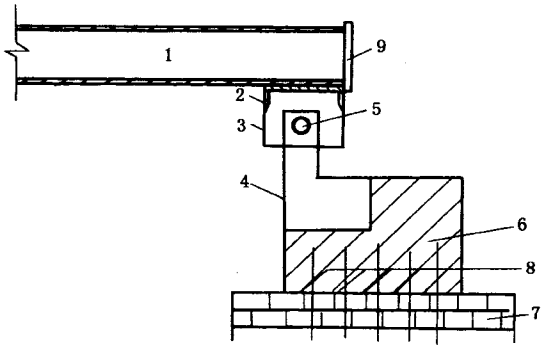


图15-69　柱脚转动铰构造

1-主管；2-主管连接槽钢；3-转动钢板；4-基础预埋钢板；5-转轴；6-基础混凝土；7-砌体；8-抗剪钢筋；9-封底钢板

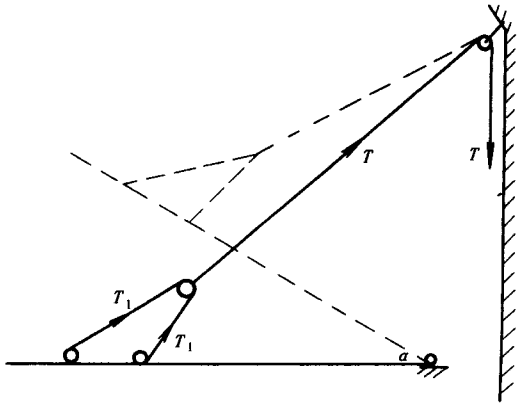


图15-70　钢管吊绳计算模型

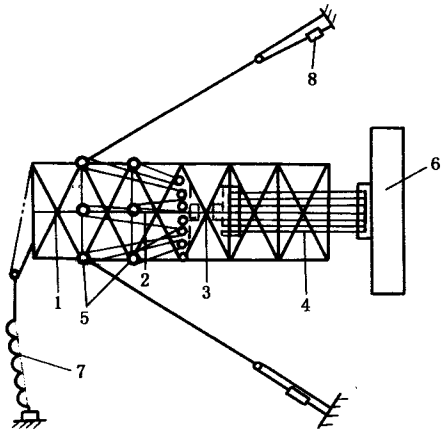


图15-71　穿绳俯视图

1-桁架；2-六门滑车组吊点；3-卡环连接；4-7门滑车组；5-吊点；6-8号高墩；7-溜放滑车组；8-手拉葫芦

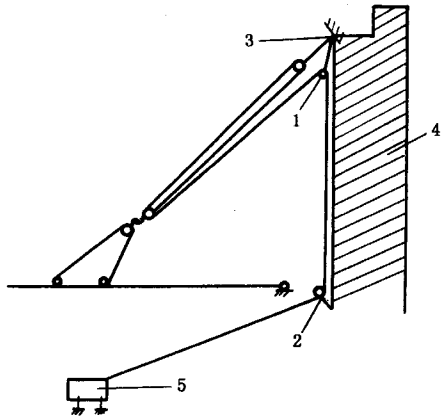


图15-72　穿绳侧视图

1、2-单门导向滑车；3-盖梁锚点；4-8号高墩；5-卷扬机

考虑到主管直立时,7门滑车组绳用尽,主管不能直立到位。因此时所需拉力很小,可在中间主管顶部设一个3门滑车组,将主管扶正;为防止主管将到位时,发生突然前倾,在主管后部设置溜放绳滑车,进行就位调整;在主管两侧利用风缆作为侧拉绳,用以调整旋转扳起过程中桁架的扭曲。

考虑旋转扳起时,会使8号墩墩身产生过大的弯矩,对墩身进行了加固措施。

3)旋转扳起操作要点和注意事项

(1)在钢管桁架焊接完毕以后,仔细检查焊接质量和柱长、柱身及转动铰连接情况。

(2)认真保养旋转扳起使用的所有滑车,使其良好润滑。

(3)注意对滑车组的穿绳方法、吊点和管身的连接、钢丝绳质量的检查。吊点采用滑车组用捆绑绳固定。

(4)对关键部位,盖梁固定的滑车锚点、转动铰,进行专人看守。对于大型起重工作,设有总指挥1人,进行统一指挥。

(5)旋转扳起钢管桁架的施工,须经过7门滑车组近1 200m钢丝绳通过卷扬机收绳起吊,扶正钢管柱卷扬机滑车组更换,溜放卷扬机进行溜放等过程。使钢管桁架一步步到位,完成整个旋转扳起就位工作需约7d。就位后,立即进行水平连系杆焊接,将钢管平面桁架与墩身连接起来,然后拆除滑车组。

(6)利用第一片钢管桁架顶再设滑车锚点,重复以上步骤依次扳起第二片、第三片,最后进行水平连系杆的连接。至此,整个支架旋转扳起施工全部完成。

二、海南三亚临春桥箱梁现浇支架设计与施工

(一)工程概况

临春大桥是海南省三亚市市内一座跨河桥梁,桥型为五跨变截面预应力混凝土连续箱梁,分上下双幅,每幅为单箱单室,跨径为27.4m+3×38.4m+27.4m,总长170m。单箱结构尺寸如图15-73所示。

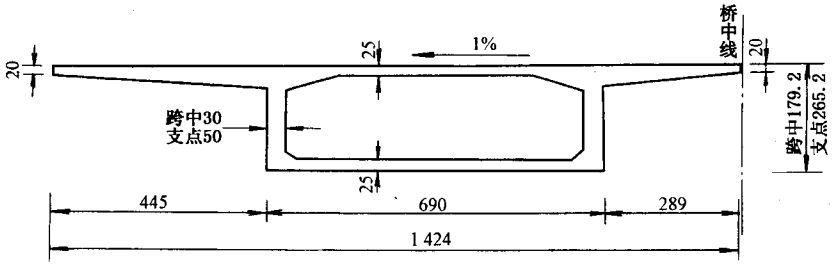


图15-73 单箱结构尺寸图(单位:cm)

箱梁施工方案设计为逐段现浇,每段有一超过墩身8m的长度,末段浇筑长度为27.4-8=19.4m。

(二)支架设计施工

1.支架纵梁

现浇支架纵梁采用六四军用梁。六四军用梁有非加强型六四军用梁(本文简称"六四桁梁")和加强型六四军用梁两种,主要用于抢修铁路桥梁。其特点是拼装简捷、拼装零件少,有

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

标准三角构架、端构架、弦杆、钢销等即可拼装一片桁梁，每片桁梁都是双片式平面桁架结构，断面全高 166cm、宽 52cm，单片稳定性能较好；用配有辅助的成套结构，可以拼成 7m + n × 0.5m（n = 0、1、2、3…）的各种跨径，也可拼成双层式的桁梁。其缺点是单元块件质量较大，人工拼装困难，需配有吊车等起重设备。六四军用梁的详细资料，参见本章第二节。

1）纵桁梁纵向分跨设计

根据施工荷载的大小，计算六四桁梁的承载能力及抗弯刚度。为控制六四桁梁不致发生过大的跨中挠度，纵向跨径不能选择过大，一般为 20m 左右为宜。

根据箱梁设计分段浇筑每段超过墩身 8m 长度的要求，在布置六四桁梁时，将超过墩身部分承重桁梁跨径选择为 8.5m，这样既能满足设计要求，又能与箱梁底面线型相适应。即将六四桁梁的纵向分跨长度定为：边跨 14.5m + 8.5m；中跨 8.5m + 18m + 8.5m，如图 15-74 所示。

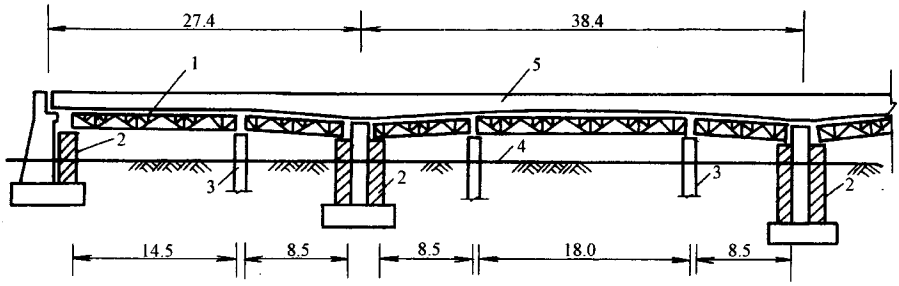


图 15-74　六四桁梁纵向分跨布置（单位：m）

1-六四桁梁纵梁；2-圬工砌体临时支柱；3-支架桩；4-筑岛岛面；5-预应力混凝土箱梁

2）纵桁梁横向片数及间距设计

六四桁梁配套的工字钢横梁 I16 长 4.3m，为了充分利用配套产品，考虑横梁的抗弯刚度，六四桁梁横向间距不宜超过 4m；由于配套的工字钢横梁数量不足，市场上供应的 I16 定尺为 9m，为了充分利用 9m 的工字钢梁，六四桁梁的间距按 3 × 3m 布置。由于单箱箱梁全宽为 14.24m，因此，横向共布置 5 片六四桁梁。

五片六四桁梁作为纵桁梁布置在箱梁之下，相当于 5 个弹性支撑。为使箱梁浇筑的预拱度协调，应尽可能使 5 个弹性支撑能同步、均匀下挠，即要求布置的弹性支撑中心与箱梁截面的形心相重合，使支撑反力大致均等。由于箱梁截面的变化，而使截面形心的位置也随之变化，为了加强对较大变形的准确控制，选择跨中截面为控制截面，以其截面形心位置确定 5 片桁梁的弹性支撑中心，从而定出六四桁梁的横向布置位置，如图 15-75 所示。

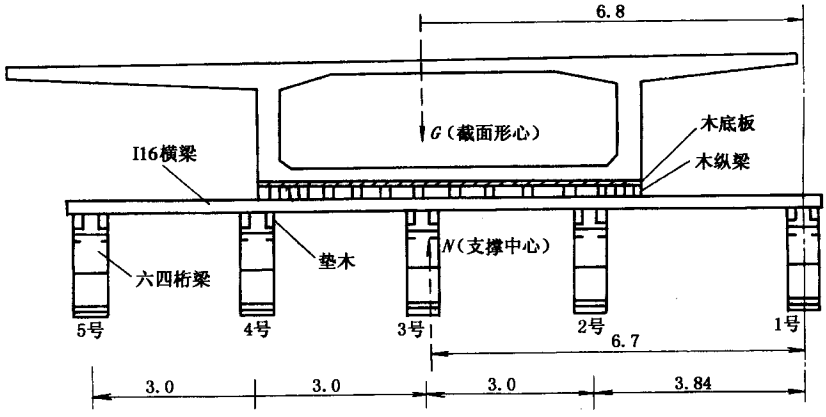


图 15-75　六四桁梁横向布置图式（单位：m）

2.卸落设备

考虑六四桁梁为双片式,宽52cm,卸落设备选用长方形砂箱,排砂卸架。砂箱采用钢木组合结构,如图15-76所示。

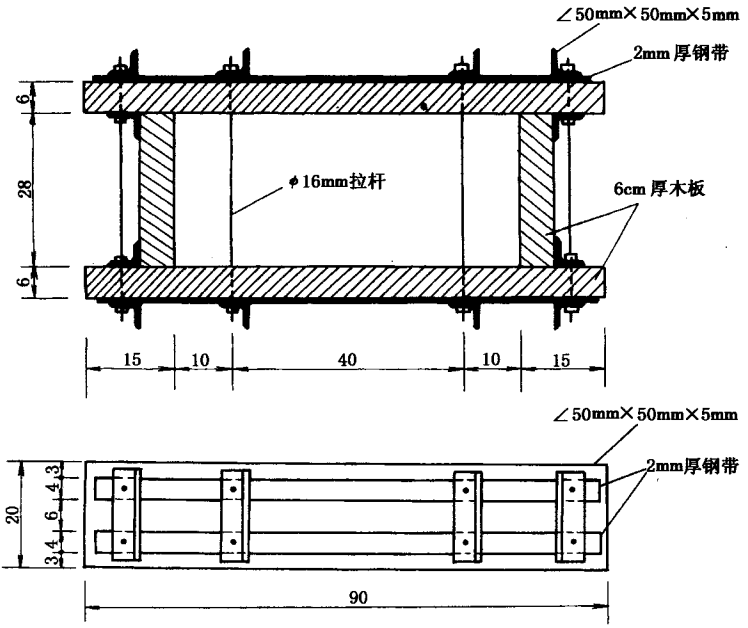


图15-76 砂箱构造示意图(单位:cm)

砂箱的拉杆螺栓紧固后,平置于支点处,将干燥中砂用塑料薄膜封闭装入砂箱内,以防混凝土养生或雨水浸入箱内浸湿干砂。砂箱上放置几层垫木,垫木座落在砂上,不得搁置在箱壁上,垫木上安置六四桁梁。卸落时,逐渐放松拉杆螺栓,砂从砂箱松开的缝中缓缓排出,支架即逐渐卸落。

3.底板铺设

箱梁底板的曲线形成,是由工字钢横梁来调整。即在工字钢横梁与六四桁梁的上弦杆之间设置不同高度的垫木,使各节点连线形成所需的曲线形状。为使多段木纵梁形成的折线能更好地接近箱梁底面曲线,木纵梁长度以2~2.5m为宜。木纵梁上铺设纤维板,形成浇筑箱梁混凝土的底模板,如图15-75所示。

4.预拱度设计

预拱度的设计,考虑了下列三项内容。

1)节点压缩量

每一工字钢横梁处作为一个节点,每一节点处都有几道材料接合缝,如工字钢横梁与下面垫木之间,工字钢与木纵梁之间,垫木之间(因垫木有 n 层)。跨中部分垫木较高,支点处垫木较低或没有。所有这些接缝间的挤密压缩及材料自身的压缩总计构成节点压缩量,跨中处较大,采用10mm;支点处较小,采用6mm;跨中到支点各点的压缩量按二次抛物线分配。

2)支点压缩及支架桩沉降量

支点处砂箱中砂的挤密压缩量采用4mm,垫木间接缝挤密压缩量采用3mm,垫木自身压缩采用2mm,共计挤密压缩量采用9mm。

支架桩的沉降,根据竖向荷载大小,分别计算结果约在7~9mm之间。考虑理论计算有许

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

多偏安全因素，如荷载估计偏大，地基上筑岛填土预压后地基条件有所改善等，桩顶竖向位移采用 5mm。

总计支点处压缩和沉降量为：9 + 5 = 14mm。

3)六四桁梁弹性挠度

该项计算由于箱梁截面的变化，使得荷载计算很复杂。因箱梁分两次浇筑，第一次浇筑底板和腹板，第二次浇筑顶板和翼缘板。第一次浇筑形成的槽形截面为钢筋混凝土变截面(简称槽梁)，与六四桁梁共同承担第二次浇筑的荷载。二次浇筑荷载要在这种承重梁间合理分配是很复杂的。本文近似地按下列一些假定进行简化计算。

(1)第一次浇筑混凝土时弹性挠度计算

第一次浇筑荷载中，模板、支架荷载约占一期总荷载的 20%左右，该项荷载可以看作全跨的均布荷载，以荷载集度 q 表示，由 3 片六四桁梁平均承担，即每片桁梁的荷载集度 $q_i = \frac{q}{3}$，对桁梁产生的跨中弯矩 $M'_i = \frac{q_i l^2}{8}$（l 为桁梁的计算跨径）。

浇筑混凝土的荷载按分段计算，在截面的突变处为一分段点，每段荷载集度近似地以线性变化考虑，形成几段呈梯形的分段荷载。纵向荷载计算完毕后，考虑荷载的横向分布。其计算方法，在六四桁梁的跨中附近选择一个较有代表性的混凝土浇筑截面，该截面的荷载由工字钢横梁传递到 2 号、3 号、4 号六四桁梁上；以此计算出各片桁梁分配到的荷载，从而得出各片桁梁的荷载横向分布系数 η_i；近似地认为 η_i 代表桁梁全跨内的荷载横向分布系数，分别与混凝土纵向分布荷载图相乘，即得六四桁梁的分布荷载作用图(仍为多段梯形分布荷载)；依次计算出各片桁梁由混凝土荷载产生的跨中弯矩 M''_i。

总的第一次浇筑混凝土时桁梁跨中弯矩：

$$M_i = M'_i + M''_i \tag{15-51}$$

桁梁跨中挠度 f_i 近似地采用：

$$f_i \approx \frac{M_i l^2}{10EI} \tag{15-52}$$

式中：l——六四桁梁的跨度；

EI——六四桁梁的抗弯刚度，经计算 $EI = 1.71 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$。

(2)第二次浇筑混凝土时弹性挠度计算

第二次浇筑为顶板和翼缘板，如图 15-77 虚线所示部分。

除翼缘板荷载中的 G_1 部分由 1 号、5 号六四桁梁承担外，剩余的荷载 G_2 部分由槽梁和 2 号、3 号、4 号六四桁梁共同承担。1 号桁梁承担的 G_1 荷载，近似地认为由 1 号、2 号桁梁中线以后 3.84/2m 范围承担；5 号桁梁承担的 G_1 荷载，近似地认为由 4 号、5 号桁梁中线以左 2.91m 范围承担。由于翼缘板截面沿纵向无变化，1 号、5 号桁梁承担的荷载可按均布荷载 q_i 考虑，由简支梁跨中挠度

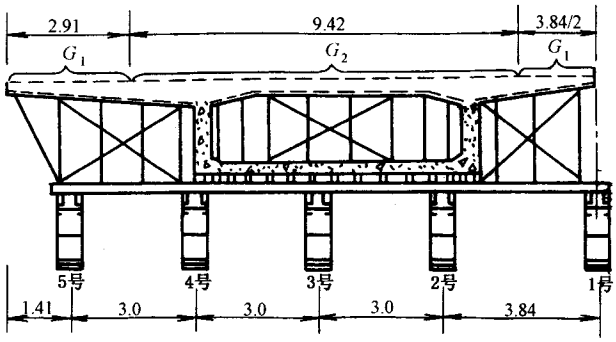


图 15-77　第二次浇筑顶板和翼缘板混凝土荷载示意图(单位：m)

计算公式 $f_i=\frac{5q_il^2}{384EI}$，计算出1号、5号桁梁的挠度。

G_2 荷载由槽梁和2号、3号、4号3片六四桁梁分配承担，分配比例取决于二者的抗弯刚度比。根据变形协调条件，槽梁与六四桁梁具有相同的挠度，即 $f_1=f_2$。对于槽梁，考虑其为变截面连续梁，跨中挠度近似地按公式 $f_1=\frac{M_1l^2}{10E_1I_1}=\frac{q_1l^2}{80E_1I_1}$ 计算；六四桁梁为简支梁，跨中挠度按 $f_2=\frac{5q_2l^4}{384E_2I_2}$ 计算，则得 $\frac{q_1l^4}{80E_1I_1}=\frac{5q_2l^4}{384E_2I_2}$，则得荷载比：

$$\frac{q_1}{q_2}=\frac{400E_1I_1}{384E_2I_2} \tag{15-53}$$

式中：E_1I_1——槽梁抗弯刚度；

E_2I_2——六四桁梁抗弯刚度。

由于槽梁截面是变化的，其抗弯刚度 E_1I_1 不是常数。为了能对跨中部分的变形控制得更准确些，计算惯性矩的截面与该段槽梁的平均截面更接近些，尽量缩小以等截面梁代替变截面梁对跨中挠度的影响。计算槽形截面抗弯刚度 E_1I_1 时，对混凝土的弹性模量，不能采用与混凝土的设计强度相对应的 E_h 值。根据本桥施工的经验，箱梁两次浇筑混凝土的间隔时间，最快时只有5d，因此，混凝土的强度等级，按设计强度等级的80%考虑。混凝土的受弯弹性模量 E_1 采用 $0.67E_h$（E_h 为相应于第二次浇筑时槽梁混凝土的弹性模量）。

六四桁梁的抗弯刚度为3片桁梁的总和，即 $E_2I_2=3E_sI_s$（E_sI_s 为一片桁梁抗弯刚度）。则六四桁梁承担二次浇筑荷载 G_2 的比例：

$$\xi=\frac{q_1}{q_1+q_2}=\frac{384E_2I_2}{400E_1I_1+384E_2I_2}=\frac{384\times3E_sI_s}{400\times0.67E_1I_1+384E_sI_s} \tag{15-54}$$

式中各符合意义同前。

经计算，8.5m跨桁梁：$\xi=15\%$；14.5m跨桁梁：$\xi=31\%$；18m跨桁梁：$\xi=39\%$。

2号、3号、4号桁梁共同承担的荷载为 ξG_2。同上，计算各片桁梁的荷载横向分布系数 n_i。则得：

2号、3号、4号桁梁承担二次浇筑荷载：

$$q_i=n_i\xi G_2 \tag{15-55}$$

2号、3号、4号桁梁二次浇筑跨中挠度：

$$f_i=\frac{5q_il^4}{384E_sI_s} \tag{15-56}$$

式中各符号意义同前。

将两次荷载的计算挠度[式(15-51)、式(15-55)]叠加起来，即得各片桁梁总的跨中挠度。再按二次抛物线的公式计算出其他各节点处的弹性挠度。

将上述节点压缩、支点压缩及支架桩沉降量、六四桁梁弹性挠度叠加起来，作为本桥的预拱度设计值加到桁梁的设计标高上，即得放样时支架顶面的高程。

一般情况下，预拱度设计还需考虑：预应力筋张拉时引起箱梁向上反向挠度 f_y；卸架后箱梁自重荷载作用下产生向下挠度 f_g；在本桥设计时已提供 $|f_y+f_g|\leqslant0.2$mm，故在预拱度设计中未另作计算。

六四桁梁销钉与销钉孔间的空隙挤压密实后引起的垂度，在六四桁梁产品设计中已考虑

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

了这一影响，即在每4m节间内，下弦的销钉孔距比上弦的销钉孔距短5mm，拼出的桁架已略向上反拱，在上、下弦的销钉孔间隙挤密后，梁体能基本保持平直，故在预拱度计算时，不再考虑。

4)预拱度计算值与实测值比较

本桥在施工过程中已做了相应的挠度观测试验。在箱梁底模板上设置了吊点，观测一部分跨中的总下沉量(包括节点压缩、支点下沉、结构挠度)。由于受场地限制，在施工过程中观测点受到干扰，失去了一些观测数值。各种跨径的理论计算值和实测值见表15-14～表15-16，二者基本相近。

8.5m跨跨中预拱度实测值与理论计算值对照表 表15-14

项目 / 桁梁号	实测值(mm)			理论计算值(mm)	误差(mm)
	第一次浇筑	第二次浇筑	总计		
2号	17	丢失		26	
3号	18	6	24	26	+2
4号	13	9	22	26	+4

14.5m跨跨中预拱度实测值与理论计算值对照表 表15-15

项目 / 桁梁号	实测值(mm)			理论计算值(mm)	误差(mm)
	第一次浇筑	第二次浇筑	总计		
2号	29	15	44	48	+4
3号	28	17	45	42	-3
4号	28	20	48	46	-2

18m跨跨中预拱度实测值与理论计算值对照表 表15-16

项目 / 桁梁号	实测值(mm)			理论计算值(mm)	误差(mm)
	第一次浇筑	第二次浇筑	总计		
2号	45	23	68	69	+1
3号	39	丢失		62	
4号	38	23	61	64	+3

参考文献

1 交通部第一公路工程总公司主编.公路施工手册——桥涵.北京:人民交通出版社,2000

2 中华人民共和国行业标准.公路桥涵施工技术规范(JTJ 041—2000).北京:人民交通出版社,2000.11

3 公路桥涵地基与基础设计规范(JTJ 024—85).北京:人民交通出版社,1985

4 公路桥涵钢结构及木结构设计规范(JTJ 025—86).北京:人民交通出版社,1986

5 中华人民共和国行业标准.公路路面基层施工技术规范(JTJ 034—2000).北京:人民交通出版社,2000

6 中华人民共和国行业标准.公路沥青路面施工技术规范(JTJ 032—94).北京:人民交通出版社,1994

7 中华人民共和国标准.水泥混凝土路面施工及验收规范(GBJ 97—87).北京:人民交通出版社,1987

8 沙庆林.高等级公路半刚性基层沥青路面.北京:人民交通出版社,1998

9 傅智.水泥混凝土路面滑模施工技术.北京:人民交通出版社,2000

10 沈金安.改性沥青与 SMA 路面.北京:人民交通出版社,1999

11 中华人民共和国行业标准.建筑桩基技术规范(JGJ 94—94).北京:中国建筑工业出版社,1995

12 胡人礼编著.桥梁桩基设计.北京:人民铁道出版社,1976

13 杨克己,韩理安编著.桩基工程.北京:人民交通出版社,1992

14 《桩基工程手册编写委员会》编.桩基手册.北京:中国建筑工业出版社,1995

15 王经羲编.土力学地基与基础.北京:人民交通出版社,1988

16 李大展.桩基工程动测技术综述.施工技术,1994(2)

17 毛公正译.预制混凝土桩的种类和构造.日本:土木技术,1989

18 交通部第一公路工程总公司.包头黄河公路大桥施工技术总结.1984

19 交通部第一公路工程总公司.厦门高集海峡大桥施工技术总结.1992

20 喻忠权,沈惠荣.HD200 型装配式公路钢桥.公路,2000(11)

21 苏善根.公路钢桥设计回顾.公路,2000(2)

22 林元红.马鞍石嘉陵江大桥主梁 0 号块施工技术总结.公路与桥梁,2000(1)

23 于清.西溪大桥竖曲线顶推施工.公路与桥梁,1993(1)

24 辛志军.金河特大桥高墩、盖梁施工的几点体会.公路与桥梁,2000(1)

25 于得水.天津高架桥"毛勒"缝安装工艺.公路与桥梁,1994(2)

26 郭子嵩.聚丙烯纤维网混凝土在工程中的应用.公路与桥梁,1997(1)

27 交通部第一公路工程总公司.总公司企业级工法汇编

28 于本信.沥青混凝土配合比设计指南

29 于本信.沥青混凝土施工细则

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

30 交通部第一公路工程总公司.卢旺达基鲁公路路面工程技术总结
31 交通部第一公路工程总公司.南也门谢富公路施工总结
32 交通部第一公路工程总公司.布隆迪泥布公路技术总结
33 交通部第一公路工程总公司.布隆迪卡基公路技术总结
34 交通部第一公路工程总公司.天津疏港路公路基路面施工总结
35 交通部第一公路工程总公司.摩苏尔五桥项目工程总结,1988
36 交通部第一公路工程总公司.施工技术设计集锦,1999
37 赖德金.大沙河桥水中系梁的施工.公路与桥梁,2000(2)