

# 序

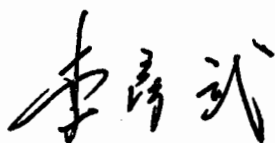
工程试验检测贯穿于设计、施工、监理、验收、养护、维修等各个环节,已成为控制和评判工程质量的重要基础,对保证工程质量起着举足轻重的作用。工程试验检测对专业性、技术性、实际操作性要求高,而检测人员素质的高低直接影响到试验检测结果的准确性。特别是近年来,许多新技术、新材料在工程上的广泛应用,检测岗位更需要高素质的复合型人才。因此,为保证试验检测数据的公正、准确、可靠、有效,就必须有行之有效的制度来加强对试验检测从业人员的管理,不断提高试验检测从业人员水平。

交通运输部历来对工程试验检测工作十分重视。1998年,颁布了《公路水运工程试验检测人员资质管理暂行办法》等一系列规章制度,强化对试验检测人员的管理。2003年,印发了《关于公布已取消和改变管理方式的交通部行政审批项目后续监管措施的通知》,明确要求对公路水运工程试验检测人员实施从业标准管理。2005年,颁布了《公路水运工程试验检测管理办法》,再次明确自2007年11月31日起,试验检测从业人员需通过业务考试方能上岗,随后部质监总站印发了《公路水运工程试验检测人员考试办法(试行)》,并以省为单位组织公路水运工程试验检测人员业务考试。2009年以来,部质监总站会同交通专业人员资格评价中心,在全国范围内先后组织了两次公路水运工程试验检测人员过渡考试。截至2009年底,全国共有约40万人次参加了公路水运工程试验检测人员考试。

试验检测从业人员的素质,决定着试验检测工作的能力和水平。组织实施试验检测从业人员的考试和继续教育,是提高试验检测人员业务能力和水平的有效途径。为此,我站委托交通专业人员资格评价中心组织编写了《公路水运工程试验检测人员考试用书》。该套用书结合当前我国公路水运建设技术水平和国家、行业有关标准、规范的发展情况,紧扣2010年新版试验检测考试大纲要求,全面系统地介绍了公路水运工程试验检测基础理论和实用技术,可作为公路水运工程试验检测人员考试的复习指导用书,同时也适用于广大试验检测人员业务学习和继续教育,具有较强的实用性和可操作性,基本能满足公路水运工程试验检测工作的实际需要。

在该套用书的编写过程中,交通专业人员资格评价中心精心组织,克服时间紧、任务重的困难,按时完成了编写任务;人民交通出版社为编写工作的完成提供了有力的保证;有关专家认真审查、严格把关,提出了很好的意见和建议。在此向他们表示衷心的感谢!

交通运输部基本建设质量监督总站

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '李' (Li), '梁' (Liang), and '武' (Wu), written in a cursive style.

2010年5月

# 出版说明

质量是工程的生命,试验检测是工程质量管理的重要手段。客观、准确、及时的试验检测数据,是工程实践的真实记录,是指导、控制和评定工程质量的科学依据。加强公路水运工程试验检测,充分发挥其在质量控制、评定中的重要作用,已成为公路水运工程质量管理的重要手段。

随着我国公路水运工程建设标准、规范体系的不断完善和试验检测技术的日益发展,对试验检测人员的职业能力和水平提出了更新、更高的要求。原交通部1998年以来陆续颁布了《公路水运工程试验检测人员资质管理暂行办法》、《公路水运工程试验检测管理办法》和《公路水运工程试验检测人员考试办法(试行)》等一系列规章制度,启动了公路水运工程试验检测人员从业资格管理。2007年,原交通部基本建设质量监督总站以省为单位组织了公路水运工程试验检测人员业务考试;2009年以来,交通运输部基本建设质量监督总站会同交通专业人员资格评价中心,在全国范围内先后组织了两次公路水运工程试验检测人员过渡考试。

为满足试验检测行业发展需求,为试验检测人员考试提供复习参考,交通运输部基本建设质量监督总站委托交通专业人员资格评价中心组织编写了《公路水运工程试验检测人员考试用书》。本套考试用书内容丰富、系统、涵盖面广,每本用书内容相对独立、完整、自成体系,结合当前我国公路水运工程建设技术水平和国家、交通运输部有关标准、规范的发展情况,收录了当前公路水运工程试验检测的前沿理论和新技术。整套考试用书有理论,有基本操作讲解、有实例,全面系统地介绍了公路水运工程试验检测理论和实用技术。作为公路水运工程试验检测人员考试的复习指导用书,本套考试用书在编写时,紧密结合考试大纲要求,适用于广大试验检测人员全面系统地学习和掌握公路水运工程试验检测技术,具有较强的实用性和可操作性,基本能够满足公路水运工程试验检测工作的实际需要。

本套考试用书包括《公共基础》、《公路工程试验检测人员考试用书》、《水运工程试验检测人员考试用书》,共9册。

《公共基础》由解先荣主编,主要介绍公路水运工程试验检测发展概况、公路水运工程试验检测管理有关法律法规、试验检测基础知识等。

《公路工程试验检测人员考试用书》包括《材料》、《公路》、《桥梁》、《隧道》、《交通安全设施及机电工程》5册。《材料》由李福普、李闯民主编,内容包括土工试验、集料、水泥和水泥混凝土、沥青和沥青混合料、钢材以及土工合成材料等的试验检测。《公路》

由和松主编,主要介绍公路工程质量检验评定和路基路面现场测试等。《桥梁》由何玉珊、章关永主编,主要介绍桥梁工程质量等级评定、桥梁工程结构常用仪器设备的性能和使用、桥梁静动力荷载试验等。《隧道》由陈建勋主编,主要介绍超前支护与围岩施工质量检查、开挖质量检测、施工监控量测、混凝土衬砌质量检测等内容。《交通安全设施及机电工程》由韩文元、包左军主编,主要介绍交通工程试验检测基础知识,交通管理设施、监控设施、通信设施、收费设施等的试验检测等。

《水运工程试验检测人员考试用书》包括《材料》、《地基与基础》和《结构》3册。《材料》由谭华主编,主要从所用的工程部位、组批原则、取样方法、检验项目、试验设备、试验步骤、试验结果分析等环节详细阐述了水运工程常用材料的试验检测。《地基与基础》由徐满意、周福田主编,主要介绍土工基础知识、常用的土工试验方法、主要的原位测试方法、主要的地基处理方法和复合地基桩身质量检测等。《结构》由朱光裕主编,主要介绍混凝土结构基本力学性能试验及现场检测、结构与构件的静动力试验,桩的承载能力试验及桩身质量检测,海洋钢结构防腐检测技术等。

本套考试用书以国家和交通运输部颁发的有关法规及标准规范为依据,虽经全面审查和补充修改,但其中仍难免有不足之处,诚挚希望广大读者在学习使用过程中及时将发现的问题函告我们,以便进一步修改和补充。该套考试用书在编写过程中得到人民交通出版社和有关专家的大力支持,在此一并致谢。

交通运输部基本建设质量监督总站  
交通专业人员资格评价中心  
2010年5月



# 前 言

交通运输部基本建设质量监督总站和交通专业人员资格评价中心于2010年4月编制出版了《公路水运工程试验检测人员过渡考试大纲》(2010年版)。大纲对各专业考试科目的划分和要求掌握的内容范围作出了明确规定和说明,其中水运专业的考试范围包括水运工程质量检验评定、原材料检测、结构与桩基检测等方面的内容。为指导参加过渡考试人员结合大纲学习与掌握相关知识,交通运输部基本建设质量监督总站和交通专业人员资格评价中心组织有关专家编写了《水运工程试验检测人员考试用书》,该系列考试用书同时也可作为各单位从事试验检测管理与操作的人员及大专院校在实际工作和教学中的参考用书。

水运材料专业用书为上述系列丛书之一,本书的编写强调结合部颁现行标准和规程相应条款和有关规定,既对涉及工程质量和试验检测结果的关键指标和评定要求作出释义说明,更着重对试验方法中基本原理和测试操作步骤的要点进行详细解释。因此,本书本着严谨和实用的原则,务求加深使用者对标准规定的理解和加强实际操作能力,最终达到提高工程质量评定和试验检测能力的目的。

全书共分十六章,着重介绍水运工程中所用的各类原材料,按照现行的国家及行业标准,从材料所用的工程部位、组批原则、取样方法、检测项目、试验设备、试验步骤、试验结果分析等环节对检测工作做了较为详细的说明。本书所涵盖的原材料,主要是根据水运工程质量检验标准(JTS 257-2008)中附录C《主要材料试验和现场检测抽样组批原则及检测项目》所涉及的原材料来选定,同时还增加了水运工程混凝土结构和钢结构防腐蚀方面的材料。

全书由谭华主编,参加编写的包括周庆华、任铮铎等;同时,还要在此感谢王瑜等审稿专家。由于时间仓促及编者水平和经验有限,书中难免缺陷或疏漏之处,恳请专家和本书使用者提出宝贵意见,以便以后的修订和完善。

编 者  
2010年5月



# 目 录

第一章 总论	1
第一节 我国水运工程发展概况	1
第二节 水运工程用材料试验检测的主要内容	5
第三节 水运工程试验检测相关规范的汇总	9
第二章 水泥的质量检验	14
第一节 概述	14
第二节 通用硅酸盐水泥主要技术指标要求及结果判定	18
第三节 水泥品种的选择与检测	20
第四节 检验项目的检验方法	21
第三章 集料和块石的质量检验	38
第一节 细集料	38
第二节 粗集料	56
第三节 块石	70
第四章 混凝土拌和用水的质量检验	72
第一节 概述	72
第二节 检验项目及组批规则	73
第三节 检验方法	75
第五章 混凝土外加剂的质量检验	83
第一节 概述	83
第二节 常用外加剂	85
第三节 混凝土外加剂的质量检验	88
第六章 掺合料和石灰的质量检验	109
第一节 掺合料的定义和主要技术标准	109
第二节 掺合料在水运工程中的应用规定	112
第三节 检测项目、取样原则及判定规则	114
第四节 检验方法	116
第五节 石灰的质量检测	127
第七章 建筑钢材及钢筋接头的质量检验	137
第一节 概述	137
第二节 主要技术性能	140
第三节 检测项目、取样规则及判定规则	152
第四节 检验方法	165
第八章 钢结构连接	178
第一节 定义及主要技术标准	178

第二节	主要技术指标	179
第三节	检测项目及取样原则	181
第四节	检验方法	182
<b>第九章</b>	<b>预应力锚具、夹具和连接器的质量检验</b>	186
第一节	定义及主要技术标准	186
第二节	主要技术指标	188
第三节	检测项目、组批原则及判定规则	189
第四节	检验方法	191
<b>第十章</b>	<b>土工合成材料及塑料排水板的质量检验</b>	197
第一节	概述	197
第二节	土工合成材料和塑料排水板检验项目及组批原则	200
第三节	检验方法	203
<b>第十一章</b>	<b>沥青和粘结材料的质量检验</b>	224
第一节	沥青的检验	224
第二节	粘结修补材料	231
<b>第十二章</b>	<b>砖及混凝土路面砖的质量检验</b>	240
第一节	定义、种类及主要技术标准	240
第二节	主要技术指标	240
第三节	检测项目、取样原则及判定规则	242
第四节	检验方法	243
<b>第十三章</b>	<b>混凝土的质量检验</b>	248
第一节	概述	248
第二节	混凝土的质量要求	249
第三节	水运工程不同施工工艺对混凝土材料及配比的特殊要求	252
第四节	高性能混凝土	254
第五节	混凝土施工控制及质量检验	256
第六节	混凝土拌和物技术性质及检验方法	263
第七节	混凝土力学性质及检验方法	270
第八节	混凝土耐久性及检验方法	278
第九节	混凝土变形性能及检验方法	285
第十节	混凝土配合比设计	287
<b>第十四章</b>	<b>砂浆的质量检验</b>	293
第一节	概述	293
第二节	砂浆拌和物技术性质及检验方法	294
第三节	砂浆力学性质、耐久性及其检验方法	297
第四节	砂浆的配合比设计	298
<b>第十五章</b>	<b>混凝土结构及钢结构防腐</b>	303
第一节	概述	303
第二节	水运海港工程防腐蚀措施及技术要求	307

第三节	混凝土及钢结构特殊防腐蚀措施的试验检测·····	318
<b>第十六章</b>	<b>结构混凝土强度及缺陷现场检测·····</b>	<b>334</b>
第一节	回弹法检测混凝土强度·····	335
第二节	超声一回弹综合法检测混凝土强度·····	338
第三节	钻芯法检测混凝土强度·····	340
第四节	混凝土强度的合格判定·····	343
第五节	超声法检测混凝土缺陷·····	344



# 第一章 总 论

## 第一节 我国水运工程发展概况

水运是现代交通运输系统中一个十分重要的子系统,它在国民经济和社会发展以及对外开放中占有先行的重要地位。搞好水运工程建设,发展水运事业,对我国的现代化建设,具有极其重要的意义。

技术水平等方面得到了全面的发展,改变了新中国成立初期极为落后的面貌。到 1995 年底,我国已拥有深水泊位 410 余个,总吞吐能力超过 7 亿吨,内河千吨级以上航到达 5600 余公里。到 2000 年底,深水泊位达 650 个,港口吞吐能力达到 12.5 亿吨,内河千吨级以上航到达 8 000km。

在水运工程建设迅速发展的同时,许多新技术、新工艺、新结构、新材料得到了广泛的推广和应用,取得了丰硕的成果。真空预压加固软土地基技术先后成功地应用于天津塘沽新港、济南遥墙机场、汕头港、珠海电厂等多项工程,加固面积近达 300 万平方米,在加固面积和加固效果方面处于世界领先水平。大直径预应力钢筋混凝土管桩研制成功和推广应用,对港口建设是一次重大的技术突破。深层水泥拌和法(CDM)在天津塘沽新港和烟台港得到了成功的应用,为在软基上建设重力式码头开辟了新的途径。水下爆炸处理软基技术在连石港应用成功,取得明显的经济效益,水下爆炸排淤填石法属国内首创,达到了国际先进水平。格型钢板桩结构在黄埔港得到了首次应用。

随着水运工程建设的飞速发展,以及改革开放的不断深入,水运工程试验检测工作也得到了相应的加强和发展,质量试验检测不仅是工程施工企业进行工程质量自控的重要手段,而且已成为工程质量监督和工程监理的重要内容和手段。试验检测技术有了很大的发展,动力试桩技术已在水运工程桩基质量检测中较普遍地得到了成功的应用。混凝土无损检测技术、水工模型试验技术、定位测量技术等都有了较大的发展。

### 一、工程质量的意義

水运工程是为了满足预定功能而建造起来的一种综合性建筑工程,有自己特定的质量要求。工程质量不仅关系到企业的生存和发展,而且关系到国家和人民生命财产的安全,关系到工农业生产和我国的现代化事业。

工程质量好坏,是衡量一个企业的技术水平、管理水平的主要标志,提高经济效益,最根本的是提高质量,降低消耗。所以,“质量第一”、“预防为主”是我国在工程建设方面的一贯方针。

水运工程的特点是点多线长、面广量大、投资多、周期长、水上施工影响因素复杂、条件艰苦、时间性强。一个港口或一条航道的兴建与开通,其土石方工程量高达数十万至千万方,工程投资巨大,技术复杂,如果设计或施工失误,造成材料浪费或因工程质量不合格造成返工,将

造成直接和间接的经济损失。如因工程质量存在隐患,投产后影响使用寿命或造成事故,其后果不堪设想,不但造成严重的经济损失,严重的还可能殃及国家和人民的生命财产安全和造成不良政治影响。因此,必须在港口和航道工程建设中加强管理,确保工程质量,这对于加速水运事业的发展具有十分重要的意义。

## 二、质量试验检测的基本概念

### 1. 检验和试验

这是在试验检测的实际工作中最经常用到的两个术语,在不同的应用领域,它们会有不完全相同的定义。根据 GB/T 6583—1994 的定义,检验是“对实体的一个或多个特性进行的诸如测量、检查、试验或度量并将结果与规定要求进行比较以确定每项特性合格情况所进行的活动”。这里所指的实体,联系水运工程的实际,可以是工程所用的原材料(如水泥、钢筋、砂、石、外加剂等)、各种构件(如梁、板、桩等)、分项、分部和单位工程等。试验是对产品一种或多种性能进行功能实验。可见,试验和检验是既有联系又有区别的两个概念。对所检验产品的特性要有明确的规定要求,如在技术标准、规范或经批准的设计文件中有具体规定。另外,要将试验结果与规定要求进行分析比较,作出是否合格的结论。例如, JTJ 268—96《水运工程混凝土施工规范》中规定拌制混凝土用的砂,它的总含泥量应不超过重量的 3.0% (当有抗冻要求时),北方有抗冻要求的某工程混凝土使用的一批砂,经试验,它的总含泥量为 2.8%,符合规范规定不超过 3.0% 的要求,结论为该批砂的总含泥量为合格。这属于对混凝土用砂总含泥量(砂的一个特性)的检验。再如,在混凝土拌制过程中,为了控制混凝土的质量,对混凝土的用水量要进行调整,其中很主要的一项,就是要对砂的含水量经常进行试验(测定)。砂的含水量(也是砂的一个特性)要求是多少,在标准中并没有规定,不需要对砂的含水量作出是否合格的结论,它只作为调整混凝土拌制用水量的依据,因此,它显然不是检验,而是属于试验。这是从工程质量试验检测的角度出发,而检验的概念不仅局限在通过试验对工程质量作出是否合格的判断,还包括通过检查、度量等其他途径对工程的质量作出是否合格的判断。

按定义检验包括以下四项内容:

- (1) 确定工件及批的质量判定标准;
- (2) 用某种方法对工件进行检查;
- (3) 将检查结果同标准进行比较;
- (4) 作出判断。

### 2. 检验分类

工程质量的检验方法,可根据不同的检验方式分为以下几类:

- (1) 按检验手段分类:有外观检查、尺寸和几何形状检查、性能试验分析检查;
- (2) 按工艺、过程分类:有工序检查、验收检查等;
- (3) 按检查后使用分类:有破坏性检验和非破坏性检验;
- (4) 按产品受检率分类:有 100% 检验和抽样检验。

### 3. 自检和抽检(复检)

根据 GB/T 6583—1994,自检的定义为:“由工作的完成者依据规定的规则对该工作进行检验”。水运工程质量的试验检测,除了企业进行自检外,还要根据规定进行各种性质的抽



检(复检)。一是对工程中使用的属于定型产品的原材料,如水泥、钢筋等,除生产企业应进行自检,出具合格证和有关的试验检验结果外,使用前施工企业或监理单位要对它进行复检;二是在对工程质量实施监理和监督过程中,监理或监督单位对工程质量进行抽检。一般情况,抽(复)检的试验检测规则(如试验检测项目、抽样的数量等)和自检的试验检测规则是有区别的。例如,钢筋混凝土用的热轧带肋钢筋,在 GB 1499.2—2007《钢筋混凝土用钢 第一部分 热轧带肋钢筋》中规定,工厂应对每一验收批钢筋取样进行化学成分和力学性能、工艺性能的检验;而钢筋在水运工程中应用前,根据 JTJ 268—96《水运工程混凝土施工规范》的规定,应进行力学性能、工艺性能检验。而对化学成分的检验,是在钢筋加工过程中,若发现脆断、焊接性能不良或力学性能显著不正常现象时才进行。两者的检验规则是有区别的。另外,自检测是由供方(施工企业或生产企业)或委托有资质的检测单位进行的,而抽检(复检)是由需方或第三方(如监理、监督单位或有资质的检测机构)进行的。

### 三、质量试验检测的意义及特点

试验检测是水运工程质量保证体系中一个重要的因素,如果离开试验检测,就谈不上工程质量,因此,搞好试验检测工作,对确保工程质量具有非常重要的意义。

#### 1. 试验检测是控制工程质量的重要技术保证

在施工过程中,要进行过程检验和试验,其目的是避免不合格品的产出和流转到下一过程,同时可以及时纠正,避免造成更多的损失。通过施工过程的检验和试验,使工程质量受到控制,离开过程检验和试验,施工过程往往得不到控制,因此,它是控制工程质量的重要技术保证。例如,在浇注混凝土过程中,要对混凝土拌和物的坍落度等特性进行试验,检验其是否符合规定要求,经检验符合规定要求后才允许浇注成型,如不合格,应及时采取诸如调整混凝土组成材料等措施,直到符合规定要求。否则,成型硬化后的混凝土质量难以保证。

#### 2. 试验检测的结果,是对工程质量进行评定、验收的主要证据

对工程质量进行评定、验收,离不开试验检测的数据和结果,试验检测的数据和结果,是工程质量评定和验收的主要证据。如果对工程质量评定、验收发生分歧,产生纠纷时,经计量认证合格的具有公证资格的检测机构所出具的试验检测结果,根据我国计量法的规定,在解决纠纷中具有法律效力。

#### 3. 试验检测是工程质量监督和监理的重要技术手段

目前,交通运输部在工程质量管理中推行了“政府监督、社会监理、施工企业自控”的体系。试验检测不仅是施工企业对质量进行自控的主要手段,而且也是工程质量监督和监理的主要内容和手段。监理工程师除对工程使用的原材料、施工过程的试验检测数据和结果进行确认和核验外,还可以旁站施工单位的试验过程,抽查施工单位试验检测的准确性。质量监督和监理单位应配备一定的试验设备,建立试验室,还可以委托具有相应资质的试验检测机构,对工程质量进行抽检。

#### 4. 试验检测结果,是质量改进的科学依据

应用数理统计的方法,对试验检测数据进行统计分析,可以科学地了解工程的质量水平,存在的问题和如何进一步加以改进。例如,某混凝土预制场(厂)的混凝土生产质量水平,可根据统计周期内混凝土试件强度的试验资料,统计计算出混凝土强度的标准差、试件

强度不低于要求强度等级百分率等,来衡量该场(厂)混凝土生产的质量水平是属于优良、一般或差,从而提出质量改进的措施。可见,试验检测结果,是分析和改进质量不可缺少的科学依据。

试验检测还具有以下特点:

(1)科学性,一切用数据说话。试验检测要依靠科学、准确的试验检测数据来分析、评定工程质量,离开科学、准确的试验检测数据就没有发言权。如果试验检测的数据不能保证一致性、完整性,不能确保准确性,对工程质量包括施工过程的质量控制就可能作出错判、误判,给工程质量造成严重的后果。因此,如何保证试验检测数据的科学性、准确性,也就成为试验检测机构和人员的根本任务。为此目的,对试验检测的仪器设备、试验检测的环境、试验操作人员、操作技术、试验检测管理工作制度等等各个方面提出了相应的要求,作出了规定。

(2)公正性。如前所述,试验检测的结果,是工程质量评定验收的主要证据。既是证据,必然应是客观的,要具有公正性。如果试验检测丧失公正性,也就完全失去了试验检测本身的意义。对业主、施工单位、质量监督、工程监理等不同单位来说,试验检测结果应是公正、客观的,不应受某种利益的驱动或干扰,丧失公正性。为了确保试验检测的公正性,除了保证试验检测数据的科学性、准确性外,还要求从事试验检测的机构和人员具有相对的独立性,即使是施工企业本身的试验检测机构和人员,也要求具有相对的独立性,通常要求由专职的试验检测人员进行试验检测,企业的某些自检,也可以由施工人员或兼职人员来完成,但要经过必要的培训和经过授权。另外,要赋予试验检测机构和人员出具试验数据和结果等的一些权力,免受来自某些方面不良影响的干扰。对试验检测机构和人员,应明确制定确保公正性的纪律和制度。

(3)试验检测以法律、标准为依据。试验检测工作应严格以下列文件为依据:

- ①国家有关的政策、法律和法规;
- ②国家、交通运输部及有关部门、省、市(自治区)颁发的技术规范、规程、标准;
- ③经上级主管部门批准的工程设计文件;
- ④试验检测的委托单(书)或合同。

在实际工作中,有时会遇到没有国家、行业、地方颁发的技术规范、标准、规程可作依据,或者技术规程、试验方法规定的内容不够详尽,满足不了要求时,可由试验检测单位提出试验检测实施细则(或方案),经有关各方同意,必要时可邀请有关专家评审通过,作为试验检测的依据。

在国标、行标并存的情况下,优先选用行标。目前水运工程用的相关规范有些是比较陈旧的,这时我们在选用规范时就要注意了,如果业主或设计文件无特别规定,我们就要根据所检测的样品来决定是用国标还是行标来进行检测:

①对水泥、钢筋、外加剂、土工布等常用建材产品,当行标未及时更新时,应选用最新的国标来进行检测,因为在水运工程用的大部分标准规范的总则里会有这么一条类似的规定:“水运工程混凝土的质量控制除应符合本规程外,尚应符合国家现行标准的有关规定”

②对砂、石、沥青、修补材料等其他水运工程用原材料,应选用行标来进行检测,因为《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)里的技术指标还是沿用行标的试验方法(JTJ 270—98)来进行检测及判定。

(4) 试验检测本身是特殊过程。试验检测随着工程的进展,自始至终贯穿了整个过程,首先要对工程采用的原材料、预制构件等进行试验检测,在施工过程中要进行过程试验检测,工程完工即进行最终试验检测。由于工程的试验检测结果,往往难以复演,又难以用另一种方法验证是否正确,所以,工程质量试验检测本身是一个特殊过程。试验检测所用的原材料、仪器设备、人员、环境、试验操作技术、试验记录、试验检测报告等均要进行控制,以确保试验检测结果的准确性。

## 第二节 水运工程用材料试验检测的主要内容

### 一、水运工程用材料的特点

水运工程建筑物所处的环境条件与其他工业、民用建筑工程有较大的差异。水运工程材料常处于淡水或海水环境中,除受冻融等破坏外,处于海水环境中的建筑物混凝土常会由于氯离子的渗入,引起钢筋锈蚀而导致混凝土破坏,进而影响水运工程的质量安全。因此水运工程材料除满足一般工程用材料的要求外,还有防腐蚀性能方面的要求,材料的耐久性往往是控制水运工程质量的主要因素。水运工程材料的检验,根据防腐蚀的要求,增加了一些特殊的检验项目,如抗氯离子渗透、涂层防腐蚀性能等等的检验。

### 二、水运工程用材料的试验检测内容及检验频率

水运工程用材料试验检测的内容应根据材料所用的工程部位,按有关标准规范的要求来选定试验检测项目。水运工程主要材料检测的内容见表 1-1。

主要材料试验和现场检验抽样组批原则和试验内容

表 1-1

序号	名 称	试验或检验项目	抽样组批原则
1	混凝土胶凝材料	水泥	必检:安定性、凝结时间、水泥胶砂强度 其他:细度、烧失量、三氧化硫、碱含量、氯化物、氧化镁
		粉煤灰	必检:细度、烧失量、需水量比、三氧化硫 其他:28d 抗压强度比
		磨细矿渣	必检:比表面积、活性指数、含水率
		硅灰	必检:二氧化硅含量、含水率、烧失量、 细度检验
2	混凝土用骨料	砂	必检:筛析、堆积密度、含泥量、泥块含量、氯离子含量 其他:有害物质含量、坚固性、碱活性
		碎石和卵石	必检:筛析、针片状颗粒含量、含泥量、泥块含量 其他:有害物质含量、压碎指标、坚固性、碱活性
3	混凝土拌和用水	必检:pH 值、氯离子含量、硫酸盐 其他:不溶物、硫化物含量、可溶物	当采用非饮用水时,定期检验

续上表

序号	名 称	试验或检验项目	抽样组批原则
4	混凝土用外加剂	引气剂	必检:泡沫度、pH 值、密度或细度、含气量、氯离子含量、碱含量、钢筋锈蚀试验、固体含量 以同一厂家,每 5t 为一批,不足 5t 也按一批计;对于松香热聚物型引气剂每 1t 为一批,不足 1t 也按一批计
		减水剂	必检:pH 值、密度或细度、减水率、氯离子含量、碱含量、钢筋锈蚀 以同一厂家的掺量大于 1% 的同品种、同一号,每 100t 为一批,不足 100t 也按一批计;掺量小于 1% 的,每 50t 为一批,不足 50t 也按一批计
		缓凝剂	必检:固体含量、pH 值、密度或细度、混凝土凝结时间差、氯离子含量、碱含量、钢筋锈蚀试验 以同一厂家的掺量大于 1% 的同品种、同一批号,每 100t 为一批,不足 100t 也按一批计;掺量小于 1% 的,每 50t 为一批,不足 50t 也按一批计
		早强剂	必检:固体含量、密度或细度、1d、3d 抗压强度、钢筋锈蚀试验、氯离子含量、碱含量 以同一厂家、同品种、同一编号,每 60t 为一批,不足 60t 也按一批计
		速凝剂	必检:密度或细度、凝结时间差、1d 抗压强度、氯离子含量、碱含量、钢筋锈蚀试验 以同一厂家、同品种、同一编号,每 50t 为一批,不足 50t 也按一批计
		防冻剂	必检:钢筋锈蚀试验、氯离子含量、碱含量。 其他:7d、28d 抗压强度比、密度或细度、减水率、氨释放量 以同一厂家、同品种、同一编号,每 100t 为一批,不足 100t 也按一批计
		膨胀剂	必检:限制膨胀率、凝结时间、氯离子含量、碱含量 其他:水泥胶砂抗压强度比、抗折强度比、细度 以同一厂家、同品种、同一编号,每 100t 为一批,不足 100t 也按一批计
		防水剂	必检:pH 值、密度或细度、钢筋锈蚀试验、氯离子含量、碱含量 以同一厂家、同品种、同一编号,每 30t 为一批,不足 30t 也按一批计
		泵送剂	必检:pH 值、密度或细度、塌落度增加值及塌落度损失、氯离子含量、碱含量、钢筋锈蚀试验 以同一厂家、同一品种、同一编号,每 50t 为一批,不足 50t 也按一批计
5	钢材	碳素结构钢	必检:拉伸试验、弯曲试验 其他:断面收缩率、硬度、冲击、化学成分 以同一厂家、同一炉罐号、同一规格、同一交货状态,每 60t 为一批,不足 60t 也按一批计
6	钢筋、钢丝及钢绞线	热轧带肋钢筋、热轧光圆钢筋、余热处理钢筋	必检:拉伸试验、弯曲试验 其他:反向弯曲、化学成分 以同一厂家、同一炉罐号、同一规格、同一交货状态,每 60t 为一批,不足 60t 也按一批计;允许由同一牌号、同一冶炼方法、同一浇铸方法的不同炉罐号组成混合批,但各炉罐号含碳量之差不得大于 0.02%,含锰量之差不得大于 0.15%。混合批的重量不得大于 60t
		低碳钢热轧圆盘条	必检:拉伸试验、弯曲试验 其他:化学成分 以同一厂家、同一炉罐号、同一规格、同一交货状态,每 60t 为一批,不足 60t 也按一批计
		预应力用钢筋	必检:抗拉强度、伸长率、弯曲试验 其他:屈服强度松弛率 以同一牌号、同一规格、同一生产工艺的钢筋,每 60t 为一批,不足 60t 也按一批计
		预应力用中强度钢丝	必检:抗拉强度、伸长率、反复弯曲 其他:规定非比例伸长应力、松弛率 以同一牌号、同一规格、同一强度等级、同一生产工艺的钢丝,每不大于 60t 为一批

续上表

序号	名 称		试验或检验项目	抽样组批原则
6	钢筋、钢丝及钢绞线	预应力用钢绞线	必检:整根钢绞线的最大负荷、屈服负荷、伸长率、尺寸测量 其他:弹性模量、松弛率	以同一牌号、同一规格、同一生产工艺的钢绞线,每不大于 60t 为一批
		预应力用低合金钢丝	拔丝用盘条必检:抗拉强度、伸长率、冷弯钢丝必检:抗拉强度、伸长率、反复弯曲、应力松弛	(1)拔丝用盘条:见本表“低碳钢热轧圆盘条”规定; (2)钢丝:以同一牌号、同一形状、同一尺寸、同一交货状态的钢丝为一批
7	预应力用锚具与夹具		必检:硬度、静载锚固能力 其他:外观、疲劳荷载、周期荷载	以同一类产品、同一厂家、同一批原材料、同一种生产工艺,每 1 000 套为一批不足 1 000 套也按一批计;连接器每 500 套一批,不足 500 套也按一批计;非定型产品每批不超过 200 套
8	抛回填和砌筑材料	砂	固结排水和倒滤层等用,必检:筛析、含泥量、渗透系数 回填用:按设计文件要求	(1)固结、排水用:以数量不大于 5 000m <sup>3</sup> 为一批; (2)回填用:结合工程用量,以数量 10 000 ~ 30 000m <sup>3</sup> 为一批,不足 10 000m <sup>3</sup> 也按一批计
		块石、料石	必检:表面风化、规格 其他:岩石抗压强度、级配(设计有要求时)	(1)岩石强度:以每一产源为一批; (2)规格和级配:可结合工程用量,以数量 5 000 ~ 10 000m <sup>3</sup> 为一批,不足 5 000m <sup>3</sup> 也按一批计
		碎石	必检:筛析、针片状颗粒含量、含泥量	结合工程用量,以数量 2 000 ~ 3 000t 为一批,不足 2 000t 也按一批计
		粉煤灰	必检:二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁总含量、烧失量、粒径、含水量 其他:氧化钙、三氧化硫	结合工程用量,以数量 1 000 ~ 2 000t 为一批,不足 1 000t 也按一批计
		石灰	生石灰	生石灰以同一产地、同一批进厂,每 200t 为一批,不足 200t 也按一批计;生石灰粉和消石灰以同一产地、同一批进厂,每 100t 为一批,不足 100t 也按一批计
			生石灰粉	
			消石灰	
9	土工合成材料	塑料排水板	必检:纵向通水量、滤膜渗透系数、整带复合体抗拉强度、滤膜抗拉强度	以同一厂家、同一材料、同一生产工艺,每 10 ~ 20 万米为一批,不足 10 万米也按一批计
		土工织物	必检:单位面积质量、厚度、拉伸强度、撕裂强度、等效孔径、透水性能	以同一厂家、同一材料、同一规格,每 10 000m <sup>2</sup> 为一批,不足 10 000m <sup>2</sup> 也按一批计
10	沥青		必检:针入度、延度、软化点	(1)道路沥青以同一厂家、同一品种、同一标号,每 50t 为一批,不足 50t 也按一批计; (2)建筑沥青以同一厂家、同一品种、同一标号,每 20t 为一批,不足 20t 也按一批计

续上表

序号	名 称		试验或检验项目	抽样组批原则
11	混凝土强度与耐久性		必检:抗压强度、抗冻等级、抗氯离子渗透性能。 其他:抗渗等级、抗折强度、劈裂抗拉强度、弹性模量	(1)抗压、抗折强度试块留置:一次连续浇筑超过 1 000 m <sup>3</sup> 时,每 200 m <sup>3</sup> 不少于 一组;一次连续浇筑不超过 1 000 m <sup>3</sup> 时, 每 100 m <sup>3</sup> 不少于 一组;每工作班浇筑不足 100m <sup>3</sup> 时,也不少于 一组; (2)抗冻、抗渗试块留置:每一单位工程、同一抗冻、抗渗等级,不少于 三组; (3)抗氯离子渗透性能试块留置:每一配合比混凝土的取样不少于 三组
12	砂浆		必检:抗压强度、抗冻等级	抗压强度试块留置:每 250m <sup>3</sup> 砌体不少于 一组,每台班且不足 250m <sup>3</sup> 的也不少于 一组
13	钢筋接头	闪光对焊		以同一台班、同一焊工、同一级别的每 300 个接头为一批;当同一台班内焊接的接头较少时,按周累计,不足 300 个也按一批计;当工艺和焊接质量稳定时可减少抽检频率
		电弧焊		以同一级别、同一接头形式的 300 个接头为一批,不足 300 个也按一批计
		电渣压力焊	必检:抗拉强度、弯曲试验	以同一级别、同一接头形式的 300 个接头为一批,不足 300 个也按一批计
		气压焊		以同一级别、同一接头形式的 200 个接头为一批,不足 200 个也按一批计
		承重预埋件钢筋 T 型接头		以同一级别、同一接头形式的 300 个接头为一批,不足 300 个也按一批计;连续焊接时按周累计计算
		机械连接接头	必检:原材抗拉强度、单向接头抗拉强度	(1)工艺检验:同批钢筋、同种连接形式的接头试件不少于 3 件; (2)现场检验:以同一级别、同一接头形式的 500 个接头为一批,不足 500 个也按一批计
14	钢结构连接	焊接	必检:一级、二级焊缝无损检测	一级焊缝检验比例为 100%;二级焊缝检验比例为 20%。工厂制作试件,按焊缝条数百分比计,且每条检测长度不小于 200mm;现场安装时,按同一类型、同一施焊条件的焊缝条数百分比计,且每条长度不小于 200mm。当焊缝长度不足 200mm 时,对整条焊缝进行检测
		高强螺栓	必检:大六角头高强螺栓连接副扭矩系数、扭剪型高强螺栓副预拉力、连接摩擦面抗滑系数	(1)大六角头高强螺栓连接副扭矩系数和扭剪型高强螺栓连接副预拉力试验:以进入施工现场待用的同一厂家、同以规格为一批,每批随机抽取 8 套; (2)连接摩擦面抗滑系数试验:以钢构件的同以工厂制造批,每 2000t 为一批,不足 2000t 也按一批计
		普通螺栓	最小拉力载荷试验(设计要求时)	按设计要求

续上表

序号	名 称	试验或检验项目	抽样组批原则
15	混凝土路面块	必检:强度、吸水率 其他:抗冻性	以同一块形、同一强度等级,每 50000 块为一批,不足 50000 块也按一批计

注:本表摘自《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)附录 C。

### 第三节 水运工程试验检测相关规范的汇总

#### 一、相关的文件规定

2000 年 12 月,交通部质监总站下发了质监总字[2000]242 号《关于印发“水运工程试验检测目录清单”的函》,现将函文全文附上供参考:

各水运工程试验检测单位、各质量监督站:

为保证试验检测工作的正确性和有效性,方便从事水运工程试验检测的单位及时更新检测标准,现印发现行“水运工程试验检测标准目录清单”(表 1-2)。

希望各水运工程试验检测单位结合各自的实际情况,切实加强试验检测标准的动态管理,及时收集有关试验检测标准;

各质量监督站应加强对试验室标准管理的检查和指导,确保水运工程试验检测的质量。

水运工程试验检测标准目录清单(第二期)

表 1-2

标准代号	标准名称	备 注
GB 175—2007	通用硅酸盐水泥	
GB 12573—2008	水泥取样方法	
GB 1345—2005	水泥细度检验方法(筛析法)	
GB 1346—2001	水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法	
GB/T 17671—99	水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)	
GB/T 208—94	水泥密度测定方法	
GB/T 2419—2005	水泥胶砂流动度测定方法	
GB 8074—2008	水泥比表面积测定方法(勃氏法)	
GB/T 176—2008	水泥化学分析方法	
GB/T 12959—2008	水泥水化热试验方法(直接法)	
GB/T 12959—2008	水泥水化热测定方法(溶解热法)	
GB 8075—2005	混凝土外加剂的分类、命名与定义	
GB 8076—2008	混凝土外加剂	
GB 8077—2000	混凝土外加剂匀质性试验方法	
GB 50119—2003	混凝土外加剂应用技术规范	
GJ 56—84(废)	混凝土减水剂质量标准和试验方法	
JCJ 52—2006	普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准	

续上表

标准代号	标准名称	备 注
JGJ 52—2006	普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法	
JGJ 63—2006	混凝土拌和用水标准	
GB 13476—2009	先张法预应力混凝土管桩	被 GB 13476—2009 代替
GB 14902—2003	预拌混凝土	
GB 50152—92	混凝土结构试验方法标准	
GB 51164—92	混凝土质量控制标准	
JTJ 221—98(废)	港口工程质量检验评定标准	被 JTS 257—2008《水运工程质量检验标准》取代
JTJ 268—96	水运工程混凝土施工规范	
JTJ 270—98	水运工程混凝土试验规程	
JTJ 275—2000	海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范	
GB 50081—2002	普通混凝土力学性能试验方法	
GB J82—85	普通混凝土长期性能和耐久性能的试验方法	
GBJ 107—87	混凝土强度检验评定标准	
GB 50204—2002	预制混凝土构件质量检验评定标准	
JGJ/T 55—2000	普通混凝土配合比设计技术规程	
JGJ 104—97	建筑工程冬季施工规程	
GB/T 1596—2005	用于水泥和混凝土中的粉煤灰	
JTJ/T 260—97	港口工程粉煤灰填筑技术规程	
GB/T 18046—2008	用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉	
GBJ 146—90	粉煤灰混凝土应用技术规范	
JGJ 28—86	粉煤灰在混凝土和砂浆中应用技术规程	
GB/T 5101—2003	烧结普通砖	
GB 13544—2003	烧结多孔砖	
GB 13545—2003	烧结空心砖和空心砌块	
GB/T 2542—2003	砌墙砖试验方法	
GB 50203—2002	砌体工程施工及验收规范	
JGJ 70—2009	建筑砂浆基本性能试验方法	
JGJ 98—2000	砌筑砂浆配合比设计规程	
GB/T 699—1999	优质碳素结构钢	
GB 700—2006	碳素结构钢	
GB 1499.2—2007	钢筋混凝土用热轧带肋钢筋	
GB 5223.3—2005	预应力混凝土用热处理钢筋	
GB 5224—2002	预应力混凝土用钢绞线	



续上表

标 准 代 号	标 准 名 称	备 注
GB 1499.1—2008	钢筋混凝土用热轧光圆钢筋	
GB 13014—91	钢筋混凝土用余热处理钢筋	
GB 13788—2008	冷轧带肋钢筋	
GB/T 701—2008	低碳钢热轧圆盘条	
GB/T 5223—2002	预应力混凝土用钢丝	
GB/T 2975—98	钢材力学及工艺性能试验取样规定	
GB/T 17616—98	钢铁及合金牌号统一数字代号体系	
GB 2103—2008	钢丝验收、包装、标志及质量证明书的一般规定	
GB/T 228—2002	金属材料 室温拉伸试验方法	
GB/T 232—1999	金属材料弯曲试验方法	
GB/T 235—1999	金属材料反复弯曲试验方法(厚度 $\leq 3\text{mm}$ 薄板及薄带)	
GB/T 238—2002	金属线材反复弯曲试验方法	
GB/T 239—1999	金属线材扭转试验方法	
YB/T 5126—2003	钢筋平面反向弯曲试验方法	
GB 222—2006	钢的化学分析用试样取样法及成品化学成分允许偏差	
GB/T 223.69—2008	钢铁及合金化学分析方法(管式炉内燃烧后气体容量法测定碳量)	
GB/T 223.68—97	钢铁及合金化学分析方法(管式炉内燃烧后碘酸钾滴定法测定硫量)	
GB 223.61—88	钢铁及合金化学分析方法(磷钼酸铵容量法测定磷量)	
GB 223.58—87	钢铁及合金化学分析方法(亚砷酸钠亚硝酸钢滴定法测定锰量)	
GB/T 223.5—2008	钢铁及合金化学分析方法(还原型硅钼酸盐光度法测定酸溶硅含量)	
GB/T 230—2009	金属洛氏硬度试验方法	
GB/T 231.1—2009	金属布氏硬度试验方法	
GB/T 4340.1~3—1999	金属维氏硬度试验	
JGJ 18—2003	钢筋焊接及验收规程	
GB 1221—89(废)	钢筋气压焊	无代替标准
GB 2649—89	焊接接头机械性能试验取样方法	
GB 2650—2008	焊接接头冲击试验方法	
GB 2651—2008	焊接接头拉伸试验方法	
GB 2652—2008	焊缝及熔敷金属拉伸试验方法	
GB 2653—2008	焊接接头弯曲及压扁试验方法	
GB 2654—2008	焊接接头及堆焊金属硬度试验方法	

续上表

标准代号	标准名称	备注
GB 2655—89(废)	焊接接头应变时效敏感性试验方法	无代替标准
GB/T 5953.1—2009 GB/T 5953.2—2009	冷镦钢丝	
GB/T 14370—2007	预应力筋用锚具、夹具和连接器	
JTJ 329.2—1997	公路桥梁预应力钢绞线用锚具、连接器试验方法及检测规程	
JGJ 108—96	带肋钢筋套筒挤压连接技术规程	
JTJ/T 272—1999	港口工程混凝土非破损检测技术规程	
JGJ/T 23—2001	回弹法检测混凝土抗压强度技术规程	
GB/T 15970.7—2000	金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验第7部分:慢应变速率试验	
GB 50212—2002	建筑防腐蚀工程施工及验收规范	
JTS 153-3—2007	海港工程钢结构防腐蚀技术规定	
ISO 2808—2007	漆膜厚度测定法	
GB 494—98	建筑石油沥青	
GB/T 4507—1999	沥青软化点测定法(环球法)	
GB/T 4508—1999	沥青延度测定法	
GB 4509—98	石油沥青针入度测定法	
GB 260—77	石油产品水分测定法	
GB 267—88	石油产品闪点与燃点测定法(开口杯法)	
GB/T 8928—200	石油沥青比重和密度测定法	
GB/T 6328—99	胶粘剂剪切冲击强度试验方法	
JTJ/T 271—1999	港口工程混凝土粘接修补技术规程	
GB/T 50123—99	土工试验方法标准	
GB 50290—98	土工合成材料应用技术规范	
JTJ 239—2005	水运工程土工织物应用技术规范	
GB 50307—1999	地下铁路、轻轨交通岩土工程勘察规范	
JTJ 250—98	港口工程地基规范	
JTJ 254—98	港口工程桩基规范	
GB 50007—2002	建筑地基基础设计规范	
JGJ 83—91	软土地区工程地质勘察规范	
JGJ 94—2008	建筑桩基技术规范	
JGJ 106—2003	基桩高应变动力检测规程	
JGJ/T 93—95(废)	基桩低应变动力检测规程	无标准代替
GB 3100 ~ 3102—93	量和单位	

续上表

标 准 代 号	标 准 名 称	备 注
GB 8170—2008	数值修约规则	
GB/T 8170—2008	极限数值的表示方法和判定方法	
JJG 1021—90	产品质量检验机构计量认证技术考核规范	
JJG 1027—91(废)	测量误差及数据处理	

## 二、其他说明

(1) 由于 2000 年以来很多国标和行标都进行了更新,以上的标准如有更新,实际工作中应以最新版本为准。从质监总字[2000]242 号文看,水运工程试验检测除执行行业标准外,还应与国标的要求相符合,当行标的更新跟不上国标的更新时,应注意国标的要求,以保证检测工作的正确性与有效性。

(2) 2000 年以来,除上文罗列的标准规范外,交通行业还出版了其他的与试验检测相关的规范,如《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000),《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)等,检测人员在实际工作中应注意收集并正确运用,以确保检测工作的正确性与有效性。

## 第二章 水泥的质量检验

水泥是水运工程建设重要的原材料之一。水泥加水拌和后,经过物理化学反应过程能由可塑性浆体变为坚硬的石状体,它不仅能在空气中硬化,而且能更好地在水中硬化,保持并继续发展其强度,因此,水泥属于水硬性胶凝材料。用水泥制成的砂浆或混凝土,坚固耐久,广泛应用于土木建筑、水利、国防等工程。

我国的水泥品种较多,常用于水运工程中的水泥主要是硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥。

### 第一节 概 述

#### 一、分类

##### 1. 水泥按用途及性能分类

(1) 通用水泥:一般土木建筑工程通常采用的水泥。通用水泥主要是指:GB 175—2007规定的六大类水泥,即硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥。

(2) 专用水泥:专门用途的水泥。如:G级油井水泥,道路硅酸盐水泥。

(3) 特性水泥:某种性能比较突出的水泥。如:快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥。

##### 2. 水泥按其主要水硬性物质名称分类

(1) 硅酸盐水泥,即国外通称的波特兰水泥;

(2) 铝酸盐水泥;

(3) 硫铝酸盐水泥;

(4) 铁铝酸盐水泥;

(5) 氟铝酸盐水泥;

(6) 以火山灰或潜在水硬性材料及其他活性材料为主要组分的水泥。

##### 3. 水泥按主要技术特性分类

(1) 快硬性:分为快硬和特快硬两类;

(2) 水化热:分为中热和低热两类;

(3) 抗硫酸盐性:分中抗硫酸盐腐蚀和高抗硫酸盐腐蚀两类;

(4) 膨胀性:分为膨胀和自应力两类;

(5) 耐高温性:铝酸盐水泥的耐高温性以水泥中氧化铝含量分级。

## 二、定义

### 1. 通用硅酸盐水泥

2007 年 11 月 9 日颁布、2008 年 6 月 1 日实施的 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》，增加了通用硅酸盐水泥(Common Portland Cement)的定义,即以硅酸盐水泥熟料和适量的石膏,以及规定的混合材料制成的水硬性胶凝材料称为通用硅酸盐水泥。

通用硅酸盐水泥按混合材料的品种和掺量分为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥。各品种的组分和代号规定见表 2-1。

通用硅酸盐水泥的组分应符合的规定

表 2-1

品 种	代号	组分(%)				
		熟料+石膏	粒化高炉 矿渣	火山灰质 混合材料	粉煤灰	石灰石
硅酸盐水泥	PI	100				
	PII	≥95	≤5			
		≥95				≤5
普通硅酸盐水泥	PO	≥80, <95	>5, ≤20			
矿渣硅酸盐水泥	PSA	≥50, <80	>20, ≤50			
	PSB	≥30, <50	>50, ≤70			
火山灰质硅酸盐 水泥	PP	≥60, <80		>20, ≤40		
粉煤灰硅酸盐水泥	PF	≥60, <80			>20, ≤40	
复合硅酸盐水泥	PC	≥50, <80	>20, ≤50			

### 2. 硅酸盐水泥

由硅酸盐水泥熟料、0%~5%石灰石或粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为硅酸盐水泥,分 PI 和 PII,即国外通称的波特兰水泥。

### 3. 普通硅酸盐水泥

由硅酸盐水泥熟料、6%~20%混合材料,适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为普通硅酸盐水泥(简称普通水泥),代号:PO。

### 4. 矿渣硅酸盐水泥

由硅酸盐水泥熟料、粒化高炉矿渣和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为 矿渣硅酸盐水泥,代号:PS。

### 5. 火山灰质硅酸盐水泥

由硅酸盐水泥熟料、火山灰质混合材料和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料。称为火山灰质硅酸盐水泥,代号:PP。

### 6. 粉煤灰硅酸盐水泥

由硅酸盐水泥熟料、粉煤灰和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为粉煤灰硅酸盐水泥,代号:PF。

### 7. 复合硅酸盐水泥

由硅酸盐水泥熟料、两种或两种以上规定的混合材料和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为复合硅酸盐水泥(简称复合水泥),代号 PC。

### 8. 道路硅酸盐水泥

由道路硅酸盐水泥熟料,0% ~ 10% 活性混合材料和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为道路硅酸盐水泥(简称道路水泥)。

### 9. 砌筑水泥

由活性混合材料,加入适量硅酸盐水泥熟料和石膏,磨细制成主要用于砌筑砂浆的低标号水泥。

## 三、水泥的凝结硬化

### 1. 机理

水泥的凝结和硬化,是一个复杂的物理—化学过程,其根本原因在于构成水泥熟料的矿物成分本身的特性。水泥熟料矿物遇水后会发生水解或水化反应而变成水化物,由这些水化物按照一定的方式靠多种引力相互搭接和联结形成水泥石的结构,导致产生强度。

普通硅酸盐水泥熟料主要是由硅酸三钙( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )、硅酸二钙( $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )、铝酸三钙( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ )和铁铝酸四钙( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ )四种矿物组成的,它们的相对含量大致为:硅酸三钙 37% ~ 60%,硅酸二钙 15% ~ 37%,铝酸三钙 7% ~ 15%,铁铝酸四钙 10% ~ 18%。这四种矿物遇水后均能起水化反应,但由于它们本身矿物结构上的差异以及相应水化产物性质的不同,各矿物的水化速率和强度,也有很大的差异。按水化速率可排列成:铝酸三钙 > 铁铝酸四钙 > 硅酸三钙 > 硅酸二钙。按最终强度可排列成:硅酸二钙 > 硅酸三钙 > 铁铝酸四钙 > 铝酸三钙。而水泥的凝结时间,早期强度主要取决于铝酸三钙和硅酸三钙。

水泥凝结硬化的机理,按结晶理论认为水泥熟料矿物水化以后生成的晶体物质相互交错,聚结在一起从而使整个物料凝结并硬化。按胶体理论认为水化后生成大量的胶体物质,这些胶体物质由于外部干燥失水,或由于内部未水化颗粒的继续水化,于是产生“内吸作用”而失水,从而使胶体硬化。随着科学技术的发展,特别是 X 射线和电子显微技术的应用,将这两种理论统一起来,过去认为水化硅酸钙 CSH(B) 是胶体无定形的,实际上它是纤维状晶体,只不过这些晶体非常细小,处在胶体大小范围内,比面积很大罢了。所以现在比较统一的认识是:水泥水化初期生成了许多胶体大小范围的晶体(如 CSH(B))和一些大的晶体(如  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )包裹在水泥颗粒表面,它们这些细小的固相质点靠极弱的物理引力使彼此在接触点处粘结起来,而连成一空间网状结构,叫做凝聚结构。由于这种结构是靠较弱的引力在接触点进行无秩序的连结在一起而形成的,所以结构的强度很低而有明显的可塑性。以后随着水化的继续进行,水泥颗粒表面不大稳定的包裹层开始破坏而水化反应加速,从饱和的溶液中就析出新的、更稳定的水化物晶体,这些晶体不断长大,依靠多种引力使彼此粘结在一起形成紧密的结构,叫做结晶结构。这种结构比凝聚结构的强度大得多。水泥浆体就是这样获得强度而硬化的。随后,水化继续进行,从溶液中析出新的晶体和水化硅酸钙凝胶不断充满在结构的空间中,水泥浆体的强度也不断得到增长。

## 2. 影响因素

影响水泥凝结速率和硬化强度的因素很多,除了熟料矿物本身结构,它们相对含量及水泥磨粉细度等这些内因外,还与外界条件如温度、加水量以及掺有不同量的不同种类的外加剂等外因密切相关。

### 1) 内因

(1) 矿物组成:矿物组成直接影响水泥水化与凝结硬化。

(2) 水泥细度:水泥颗粒越细,与水起反应的表面积愈大,水化作用的发展就越迅速而充分,使凝结硬化的速度加快,早期强度大。但颗粒过细的水泥硬化时产生的收缩亦越大,而且磨制水泥能耗多成本高。

(3) 石膏掺量:石膏的掺入可延缓水泥的凝结硬化速率,当水泥中石膏掺入量小 1.3% 时和大于 2.5% 的,影响较少。

### 2) 外因

(1) 水灰比:水与水泥的质量比称为水灰比:为使水泥浆体具有塑性和流动性,加入的水量通常超过水泥充分水化时所需的水量,多余的水在水泥石内形成毛细孔隙, $W/C$  越大,硬化水泥石的毛细孔隙率越大,水泥石的强度降低。

(2) 温度与湿度:温度升高,水泥的水化反应加速,从而使其凝结硬化速率加快,早期强度提高,但对后期强度反而可能有所下降;相反,在较低温度下,水泥的凝结硬化速度慢,早期强度低,但因生成的水化产物较致密而可以获得较高的最终强度;负温下水结成冰时,水泥的水化将停止。水是水泥水化硬化的必要条件,在干燥环境中,水分蒸发快,易使水泥浆失水而使水化不能正常进行,影响水泥石强度的正常增长,因此用水泥拌制的砂浆和混凝土,在浇筑后应注意保水养护。

(3) 养护龄期:水泥的水化硬化是一个较长时期不断进行的过程,随着时间的增加,水泥的水化程度提高,凝胶体不断增多,毛细孔减少,水泥石强度不断增加。

## 3. 水化热

水泥与水作用放出的热,称为水化热,以焦/克( $J/g$ )表示。水化热是水泥水化作用而产生。对于尺寸较大的构筑物,由于水泥水化产生的热量不易散失,内部温度升高,与其表面温差过大,就会产生较大的温度应力而导致裂缝。因此,对于大型基础以及堤坝等大体积混凝土工程,水化热是水泥一个相当重要的性能。水泥水化放热的周期相对较长,但大部分的热量释放是发生在 3 天以内,特别是在水泥浆体发生凝结、硬化初期。水化热大小以及放热速率,首先取决于水泥的矿物组成。不同熟料矿物,其水化热大小及放热快慢不同,因此可以通过调整熟料矿物组成,来配制低热水泥。

影响水泥水化热的因素很多,包括水泥熟料矿物组成、水灰比、养护温度、水泥细度、混合材掺量与质量等,但主要是决定于熟料矿物的组成与含量。水泥主要矿物中,完全水化放出的热量,最大的是  $C_3A$ ,其次是  $C_3S$ ,再次之是  $C_4AF$ 。因此,降低  $C_3A$  含量对限制水泥的水化热是有利的。另外,加入外加剂可改变水泥的释热速率。大型基础、水坝、桥墩、厚大构件等大体积混凝土构筑物,由于水化热聚集在内部不易散发,内部温升可达  $50 \sim 60^\circ C$ ,内外温差产生的应力和温降收缩产生的应力常使混凝土产生裂缝,因此大体积混凝土工程不宜采用水化热较大、放热较快的水泥,如硅酸盐水泥,因为它含熟料最多。

## 第二节 通用硅酸盐水泥主要技术指标要求及结果判定

### 一、主要技术指标要求

通用硅酸盐水泥的主要技术指标要求分化学指标要求、碱含量要求和物理指标要求。

#### 1. 化学指标要求(表 2-2)

通用硅酸盐水泥的化学指标要求				单位: %	表 2-2	
品 种	代号	不溶物 (质量分数)	烧失量 (质量分数)	三氧化硫 (质量分数)	氧化镁 (质量分数)	氯离子 (质量分数)
硅酸盐水泥	PI	≤0.75	≤3.0	≤3.5	≤5.0 <sup>a</sup>	≤0.06 <sup>c</sup>
	PII	≤1.50	≤3.5			
普通硅酸盐水泥	PO	—	≤5.0			
矿渣硅酸盐水泥	PSA	—	—	≤4.0	≤6.0 <sup>b</sup>	
	PSB	—	—			
火山灰质硅酸盐水泥	PP	—	—	≤3.5	≤6.0 <sup>b</sup>	
粉煤灰硅酸盐水泥	PF	—	—			
复合硅酸盐水泥	PC	—	—			

a. 如果水泥压蒸试验合格,则水泥中氧化镁的含量(质量分数)允许放宽至 6.0%。

b. 如果水泥中氧化镁的含量(质量分数)大于 6.0% 时,需进行水泥压蒸安定性试验并合格。

c. 当有更低要求时,该指标由买卖双方协商确定。

#### 2. 碱含量要求(选择性指标)

水泥中碱含量按  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$  计算值表示。若使用活性骨料,用户要求提供低碱水泥时,水泥中的碱含量应不大于 0.60% 或由买卖双方协商确定。

#### 3. 物理指标要求

##### (1) 凝结时间

硅酸盐水泥初凝不小于 45min,终凝不大于 390min;

普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥初凝不小于 45min,终凝不大于 600min。

##### (2) 安定性

沸煮法合格。

##### (3) 强度

不同品种不同强度等级的通用硅酸盐水泥,其不同各龄期的强度应符合表 2-3 的规定。



单位:MPa 表 2-3

品 种	强度等级	抗 压 强 度		抗 折 强 度	
		3d	28d	3d	28d
硅酸盐水泥	42.5	$\geq 17.0$	$\geq 42.5$	$\geq 3.5$	$\geq 6.5$
	42.5R	$\geq 22.0$		$\geq 4.0$	
	52.5	$\geq 23.0$	$\geq 52.5$	$\geq 4.0$	$\geq 7.0$
	52.5R	$\geq 27.0$		$\geq 5.0$	
	62.5	$\geq 28.0$	$\geq 62.5$	$\geq 5.0$	$\geq 8.0$
	62.5R	$\geq 32.0$		$\geq 5.5$	
普通硅酸盐水泥	42.5	$\geq 17.0$	$\geq 42.5$	$\geq 3.5$	$\geq 6.5$
	42.5R	$\geq 22.0$		$\geq 4.0$	
	52.5	$\geq 23.0$	$\geq 52.5$	$\geq 4.0$	$\geq 7.0$
	52.5R	$\geq 27.0$		$\geq 5.0$	
矿渣硅酸盐水泥	32.5	$\geq 10.0$	$\geq 32.5$	$\geq 2.5$	$\geq 5.5$
	32.5R	$\geq 15.0$		$\geq 3.5$	
火山灰硅酸盐水泥	42.5	$\geq 15.0$	$\geq 42.5$	$\geq 3.5$	$\geq 6.5$
粉煤灰硅酸盐水泥	42.5R	$\geq 19.0$		$\geq 4.0$	
复合硅酸盐水泥	52.5	$\geq 21.0$	$\geq 52.5$	$\geq 4.0$	$\geq 7.0$
	52.5R	$\geq 23.0$		$\geq 4.5$	

#### 4. 细度(选择性指标)

硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥以比表面积表示,不小于  $300\text{m}^2/\text{kg}$ ;矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥以筛余表示,  $80\mu\text{m}$  方孔筛筛余不大于 10% 或  $45\mu\text{m}$  方孔筛筛余不大于 30%。

## 二、结果判定规则

(1) 当化学指标、物理指标中的安定性、凝结时间和强度指标均符合标准要求时为合格品。

(2) 当化学指标、物理指标中的安定性、凝结时间和强度中的任何一项技术要求不符合标准要求时为不合格品。

## 三、交货与验收

(1) 交货时水泥的质量验收可抽取实物试样以其检验结果为依据,也可以生产者同编号水泥的检验报告为依据。采取何种方法验收由买卖双方商定,并在合同或协议中注明。卖方有告知买方验收方法的责任。当无书面合同或协议,或未在合同、协议中注明验收方法的,卖方应在发货票上注明“以本厂同编号水泥的检验报告为验收依据”字样。

(2) 以抽取实物试样的检验结果为验收依据时,买卖双方应在发货前或交货地共同取样和签封。取样方法按 GB 12573 进行,取样数量为 20kg,缩分为二等份。一份由卖方保存 40d,一份由买方按本标准规定的项目和方法进行检验。

在 40d 以内,买方检验认为产品质量不符合本标准要求,而卖方又有异议时,则双方应将卖方保存的另一份试样送省级或省级以上国家认可的水泥质量监督检验机构进行仲裁检验。水泥安定性仲裁检验时,应在取样之日起 10d 以内完成。

(3)以生产者同编号水泥的检验报告为验收依据时,在发货前或交货时买方在同编号水泥中取样,双方共同签封后由卖方保存 90d,或认可卖方自行取样、签封并保存 90d 的同编号水泥的封存样。

在 90d 内,买方对水泥质量有疑问时,则买卖双方应将共同认可的试样送省级或省级以上国家认可的水泥质量监督检验机构进行仲裁检验。

### 第三节 水泥品种的选择与检测

#### 一、水运工程中不同工程部位水泥品种的选择

1)在水运工程中,常用的水泥品种有硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥,必要时可以采用其他品种的水泥;

2)当采用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥时其熟料中的铝酸三钙( $C_3A$ )含量宜在 6% ~ 12% 范围内。

由于海水中含有大量氯离子,水泥中的铝酸三钙的水化物与渗入混凝土中的氯离子结合生成氯铝酸钙,推迟了钢筋周围水泥在孔隙中氯离子的浓度达到活化钢筋的临界浓度。因此硅酸盐水泥熟料中铝酸三钙含量适当增大,对保护钢筋防止锈蚀是有利的,此外与海水中硫酸盐反应生成的水化硫铝酸钙少了,使混凝土在海水中不会发生硫酸盐型的化学腐蚀。对于混凝土抗冻性来说主要的影响因素是含水量、水灰比及掺合料等。经试验采用熟料铝酸三钙含水量稍高(6% ~ 12%)的水泥对混凝土的抗冻性无影响。

3)结构混凝土所用水泥的标号,不得低于 425 号(相当于强度等级 32.5)。

4)在水运工程中,应根据不同地区、不同部位、不同气温条件来选用适当的水泥品种。

(1)有抗冻要求的混凝土,宜采用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,不宜采用火山灰质硅酸盐水泥;

(2)不受冻地区海水环境浪溅区部位混凝土,宜采用矿渣硅酸盐水泥,特别是大掺量矿渣硅酸盐水泥;

(3)立窑水泥和烧粘土质的火山灰质硅酸盐水泥,在各种环境中的水运工程中均不得使用;

(4)与其他侵蚀性水接触的混凝土所用的水泥,应按有关规定选用;

(5)当采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥时,宜同时掺加减水剂或高效减水剂;

(6)冷天施工时,应优先选用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,标号不应低于 42.5 号,若使用矿渣硅酸盐水泥,宜优先考虑用蒸气养护,使用其他品种水泥,应注意其他掺和料对混凝土抗冻、抗渗性能的影响,掺防冻剂的混凝土严禁使用高铝水泥。

(7)对高性能混凝土,宜选用标准稠度低、强度等级不低于 42.5 的中热硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥,不宜采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥;

(8) 预应力孔道灌浆材料应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制的水泥浆。

## 二、检验项目及组批原则

《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269—96)中的规定:水泥进厂(场)时,应附有水泥生产厂的质量证明书,并应对其品种、标号、包装(或散装仓号)、包重、出厂日期等检查验收。并按国家现行有关标准对其质量进行复验。

《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)中规定,对水泥,在保管正常的情况下,三个月至少检查一次,对于库存超过三个月,快硬硅酸盐水泥超过一个月、有结潮现象的水泥,使用前必须经过复验,对水泥质量有怀疑时,随时进行检查。

《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)中规定,水泥的组批原则是同一厂家同期出厂的同品种、同强度等级、同一出厂编号的水泥为一批。但一批的总量:袋装水泥不超过 200t,散装水泥不超过 500t。必检项目有:安定性、凝结时间、水泥胶砂强度;其他检验项目有:细度、烧失量、三氧化硫、碱含量、氯化物、氧化镁。

## 三、取样方法

取样根据 GB 12573 进行。

(1) 散装水泥,对同一水泥厂生产的同期出厂的水泥品种,以一次进厂(场)的同一出厂编号的水泥为一批,且一批总重量不超过 500t。随机从不少于三个车罐中采取等量水泥,经混拌均匀后称取不少于 12kg。

(2) 袋装水泥,对同一水泥厂生产的同期出厂的同品种、同标号的水泥,以一次进厂(场)的同一出厂编号为一批,且一批总重量不超过 200t。取样应有代表性,可连续取,亦可从 20 个以上不同部位取等量样品,总量不得小于 12kg。

(3) 按照标准规定进行检测时,将水泥试验等分成两份,一份用于检验,一份密封保存,以备有疑问时用于复验(密封保存不得超过 3 个月)。

## 第四节 检验项目的检验方法

### 一、必检项目的试验检测方法

#### (一) 安定性

水泥体积安定性是指水泥在凝结硬化过程中,体积变化的均匀性。安定性是反映水泥浆在硬化后因体积膨胀不均匀而变形的情况,是评定水泥质量的重要指标之一。

安定性的试验方法有标准法和代用法,当有争议时,以标准法为准。标准法又称雷氏法,是观测由两个试针的相对位移所指示的水泥标准稠度净浆体积膨胀的程度。代用法又称试饼法,是观测水泥标准稠度净浆试饼的外形变化程度。

##### 1. 标准法

##### 1) 测定前的准备工作

每个试样需成型两个试件,每个雷氏夹需配备质量约 75~85g 的玻璃板两块,凡与水泥净浆接触的玻璃板和雷氏夹内表面都要稍稍涂上一层油。

雷氏夹由铜质材料制成,使用前应检查雷氏夹是否合格。即检查当一根指针的根部先悬挂在一根金属丝或尼龙丝上,另一根指针的根部再挂上 300g 质量的砝码时,两根指针的针尖距离应在  $17.5\text{mm} \pm 25\text{mm}$  范围以内,即  $2X = 17.5\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ ,当去掉砝码后针尖的距离能恢复至挂砝码前的状态。

### 2) 雷氏夹试件的成型

将预先准备好的雷氏夹放在已稍擦油的玻璃板上,并立即将已制好的标准稠度净浆一次装满雷氏夹,装浆时一只手轻轻扶持雷氏夹,另一只手用宽约 10mm 的小刀插捣数次,然后抹平,盖上稍涂油的玻璃板,接着立即将试件移至湿气养护箱内养护  $24 \pm 2\text{h}$ 。

### 3) 煮沸

(1) 调整好煮沸箱内的水位,使能保证在整个煮沸过程中都超过试件,不需中途添补试验用水,同时又能保证在  $30 \pm 5\text{min}$  内升至沸腾。

(2) 脱去玻璃板取下试件,先测量雷氏夹指针尖端间的距离(A),精确到 0.5mm,接着将试件放入煮沸箱水中的试件架上,指针朝上,然后在  $30 \pm 5\text{min}$  内加热至沸并恒沸  $180 \pm 5\text{min}$ 。

### 4) 结果判别

煮沸结束后,立即放掉煮沸箱中的热水,打开箱盖,待箱体冷却至室温,取出试件进行判别。测量雷氏夹指针尖端的距离(C),准确至 0.5mm,当两个试件煮后增加距离(C-A)的平均值不大于 5.0mm 时,即认为该水泥安定性合格,当两个试件的 C-A 值相差超过 4.0mm 时,应用同一样品立即重做一次试验。再如此,则认为该水泥为安定性不合格。

## 2. 代用法

### 1) 测定前的准备工作

每个样品需准备两块约  $100\text{mm} \times 100\text{mm}$  的玻璃板,凡与水泥净浆接触的玻璃板都要稍稍涂上一层油。

### 2) 试饼的成型方法

将制好的标准稠度净浆取出一部分分成两等份,使之成球形,放在预先准备好的玻璃板上,轻轻振动玻璃板并用湿布擦过的小刀由边缘向中央抹,做成直径 70 ~ 80mm、中心厚约 10mm、边缘渐薄、表面光滑的试饼,接着将试饼放入湿气养护箱内养护  $24 \pm 2\text{h}$ 。

### 3) 煮沸

(1) 调整好煮沸箱内的水位,使能保证在整个煮沸过程中都超过试件,不需中途添补试验用水,同时又能保证在  $30 \pm 5\text{min}$  内升至沸腾。

(2) 脱去玻璃板取下试饼,在试饼无缺陷的情况下将试饼放在煮沸箱水中的篦板上,然后在  $30 \pm 5\text{min}$  内加热至沸并恒沸  $180 \pm 5\text{min}$ 。

### 4) 结果判别:

煮沸结束后,立即放掉煮沸箱中的热水,打开箱盖,待箱体冷却至室温,取出试件进行判别。目测试饼未发现裂缝,用钢直尺检查也没有弯曲(使钢直尺和试饼底部紧靠,以两者间不透光为不弯曲)的试饼为安定性合格,反之为不合格。当两个试饼判别结果有矛盾时,该水泥的安定性为不合格。

## (二) 标准稠度用水量和凝结时间

### 1. 概念

#### 1) 标准稠度用水量

测定水泥的标准稠度用水量不仅可直接了解水泥需水性,还可使凝结时间及安定性等其他性能测试准确可比。由于加水量的多少,对水泥的一些技术性质(如凝结时间等)的测定值影响很大,故测定这些性质时,必须在一个规定的稠度下进行。这个规定的稠度,称为标准稠度。水泥净浆达到标准稠度时,所需的拌和水量(以占水泥重量的百分率表示),称为标准稠度用水量。硅酸盐水泥的标准稠度用水量,一般在24%~30%之间。水泥熟料矿物成分不同时,其标准稠度用水量亦有差别。磨得越细的水泥,标准稠度用水量越大。

## 2) 凝结时间

水泥凝结时间是指水泥从加水到水泥浆失去可塑性所需的时间。凝结时间分为初凝时间和终凝时间。初凝时间是指从水泥加水到水泥浆开始失去塑性的时间,终凝时间是指从水泥加水到水泥浆完全失去塑性的时间。

水泥加水后,发后水化作用,水化凝结硬化过程一般来说分为四个阶段:起始期、诱导期、加速期、衰退期(包括反应随时间下降阶段、反应速度很低阶段)。当水泥水化反应进入诱导期末时,胶体状的水化产物在某些点接触构成比较疏松的网状结构,使水泥浆体失去流动性和部分塑性,这时为初凝。从水泥加水拌和起到水泥初凝所经过的时间称为初凝时间。当水泥水化反应进入加速期生成较多量的C—S—H凝胶与氢氧化钙等水化产物,它们互相接触质点间不但有分子间力和静电引力,而且还有不断增大的化学键力,到一定程度水泥浆体完全失去可塑性,建立起充满全部间隙的紧密网状结构。并在网状结构内部不断充实水化产物,这时约处于加速期初。从水泥加水拌和起到水泥浆完全失去可塑性所经历的时间称为终凝时间。在施工时,水泥砂浆或混凝土的搅拌、运输和浇筑等工序都必须在水泥初凝前完成,水泥凝结快慢直接影响施工进度,掌握凝结时间对于施工具有很重大的意义。

## 2. 检验方法

### 1) 试验条件和材料

试验室温度为 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度应不低于50%;水泥试样、拌和水、仪器和用具的温度应与试验室一致。湿气养护箱的温度为 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不低于90%。试验用水必须是洁净的饮用水,如有争议时应以蒸馏水为准。

### 2) 试杆法测标准稠度用水量(标准法)

#### (1) 试验前必须做到

- ①维卡仪的金属棒能自由滑动;
- ②调整至试杆接触玻璃板时指针对准零点;
- ③搅拌机运行正常。

#### (2) 水泥净浆的拌制

用水泥净浆搅拌机搅拌,搅拌锅和搅拌叶片先用湿布擦过,将拌和水倒入搅拌锅内,然后在5~10s内小心将称好的500g水泥加入水中,防止水和水泥溅出;拌和时,先将锅放在搅拌机的锅座上,升至搅拌位置,启动搅拌机,低速搅拌120s,停15s,同时将叶片和锅壁上的水泥浆刮入锅中间,接着高速搅拌120s停机。

#### (3) 标准稠度用水量的测定步骤

拌和结束后,立即将拌制好的水泥净浆装入已置于玻璃底板上的试模中,用小刀插捣,轻轻振动数次,刮去多余的净浆;抹平后迅速将试模和底板移到维卡仪上,并将其中心定在试杆下,降低试杆直至与水泥净浆表面接触,拧紧螺钉1~2s后,突然放松,使试杆垂直自由地沉入

水泥净浆中。在试杆停止沉入或释放试杆 30s 时记录试杆距底板之间的距离,升起试杆后,立即擦净;整个操作应在搅拌后 1.5min 内完成。以试杆沉入净浆并距底板  $6 \pm 1\text{mm}$  的水泥净浆为标准稠度净浆。其拌和水量为该水泥的标准稠度用水量( $P$ ),按水泥质量的百分比计。

### 3) 凝结时间的测定

#### (1) 测定前准备工作

调整凝结时间测定仪的试针接触玻璃板时,指针对准零点。

#### (2) 试件的制备

以标准稠度用水量制备标准稠度净浆一次装满试模,振动数次刮平,立即放入湿气养护箱中。记录水泥全部加入水中的时间作为凝结时间的起始时间。

#### (3) 初凝时间的测定

试件在湿气养护箱中养护至加水后 30min 时进行第一次测定。测定时,从湿气养护箱中取出试模放到试针下,降低试针与水泥净浆表面接触。拧紧螺钉 1~2s 后,突然放松,试针垂直自由地沉入水泥净浆。观察试针停止下沉或释放试针 30s 时指针的读数。当试针沉至距底板  $4 \pm 1\text{mm}$  时,为水泥达到初凝状态;由水泥全部加入水中至初凝状态的时间为水泥的初凝时间,单位用 min 表示。

#### (4) 终凝时间的测定

为了准确观测试针沉入的状况,在终凝针上安装了一个环形附件。在完成初凝时间测定后,立即将试模连同浆体以平移的方式从玻璃板取下,翻转  $180^\circ$  直径大端向上,小端向下放在玻璃板上,再放入湿气养护箱中继续养护,临近终凝时间时每隔 15min 测定一次,当试针沉入试体 0.5mm 时,即环形附件开始不能在试体上留下痕迹时,为水泥达到终凝状态,由水泥全部加入水中至终凝状态的时间为水泥的终凝时间,单位用 min 表示。

#### (5) 测定时的注意事项

注意在最初测定的操作时应轻轻扶持金属柱,使其徐徐下降,以防试针撞弯,但结果以自由下落为准。在整个测试过程中试针沉入的位置至少要距试模内壁 10mm。临近初凝时,每隔 5min 测定一次,临近终凝时每隔 15min 测定一次。到达初凝或终凝时应立即重复测一次,当两次结论相同时才能定为到达初凝或终凝状态。每次测定不能让试针落入原针孔,每次测试完毕须将试针擦净并将试模放回湿气养护箱内,整个测试过程要防止试模受振。

### (三) 水泥胶砂强度

水泥的强度是评定其质量的重要指标,是划分水泥强度等级的依据。水泥的强度包括抗压强度与抗折强度,必须同时满足标准要求缺一不可。水泥的强度主要取决于水泥熟料矿物成分的相对含量和水泥的细度。水泥的强度受到温度、湿度、龄期、加水量、试件尺寸、试验方法等许多因素的影响。为了使试验结果更接近水泥在现浇混凝土和预制混凝土中的状态,国家统一规定采用水泥胶砂强度检验方法(ISO 679)GB/T 17671—1999,以规定龄期的抗压强度和抗折强度确定水泥强度等级。

#### 1. 方法概要

##### 1) 适用范围

本方法适用于硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥及石灰石硅酸盐水泥的抗压强度和抗折强度检验。其他品种水泥采用 GB/T 17671—1999 时必须研究 GB/T 17671 规定的适用范围。

## 2) 方法概述

本方法为  $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$  棱柱试体的水泥抗压强度和抗折强度测定。

试体是由按质量计的一份水泥、三份中国 ISO 标准砂,用 0.5 的水灰比拌制的一组塑性胶砂制成。但火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥和掺火山灰质混合材料的普通硅酸盐水泥在进行胶砂强度检验时,其用水量按 0.50 水灰比和胶砂流动度不小于 180mm 来确定。当流动度小于 180mm 时,须以 0.01 的整倍数递增的方法将水灰比调整至胶砂流动度小于 180mm。

中国 ISO 标准砂的水泥抗压强度结果必须与 ISO 基准砂的相一致。

胶砂用行星搅拌机搅拌,在振实台上成型。也可使用频率 2 800 ~ 3 000 次/min,振幅 0.75mm 振动台成型。

试体连模一起在湿气中养护 24h,然后脱模在水中养护至强度试验。

到试验龄期时将试体从水中取出,先进行抗折强度试验,折断后每截再进行抗压强度试验。

## 2. 试验室和设备

### 1) 试验室

试体成型试验室的温度应保持在  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度应不低于 50%。

试体带模养护的养护箱或雾室温度保持在  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不低于 90%。

试体养护池水温度应在  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  范围内。

试验室空气温度和相对湿度及养护池水温在工作期间每天至少记录一次。

养护箱或雾室的温度与相对湿度至少每 4h 记录一次,在自动控制的情况下记录次数可以酌减至一天记录二次。在温度给定范围内,控制所设定的温度应为此范围中值。

### 2) 设备

#### (1) 试验筛

#### (2) 搅拌机

搅拌机属行星式,应符合 JC/T681 要求。

用多台搅拌机工作时,搅拌锅和搅拌叶片应保持配对使用。叶片与锅之间的间隙,是指叶片与锅壁最近的距离,应每月检查一次。

#### (3) 试模

试模由三个水平的模槽组成,可同时成型三条截面为  $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ ,长 160mm 的棱形试体,其材质和制造尺寸应符合 JC/T 726 要求。

当试模的任何一个公差超过规定的要求时,就应更换。在组装备用的干净模型时,应用黄干油等密封材料涂覆模型的外接缝。试模的内表面应涂上一薄层模型油或机油。

成型操作时,应在试模上面加有一个壁高 20mm 的金属模套,当从上往下看时,模套壁与模型内壁应该重叠,超出内壁不应大于 1mm。

为了控制料层厚度和刮平胶砂,应备有二个播料器和一金属刮平直尺。

#### (4) 振实台

振实台应符合 JC/T 682 要求。振实台应安装在高度约 400mm 的混凝土基座上。混凝土体积约为  $0.25\text{m}^3$ ,重约 600kg。需防外部振动影响振实效果时,可在整个混凝土基座下放一层厚约 5mm 天然橡胶弹性衬垫。将仪器用地脚螺栓固定在基座上,安装后设备成水平状态,仪器底座与基座之间要铺一层砂浆以保证它们的完全接触。

### (5) 抗折强度试验机

抗折强度试验机应符合 JC/T 724 的要求。

通过三根圆柱轴的三个竖向平面应该平行,并在试验时继续保持平行和等距离垂直试体的方向,其中一根支撑圆柱和加荷圆柱能轻微地倾斜使圆柱与试体完全接触,以便荷载沿试体宽度方向均匀分布,同时不产生任何扭转应力。

抗折强度也可用抗压强度试验机来测定,此时应使用符合上述规定的夹具(图 2-1)。

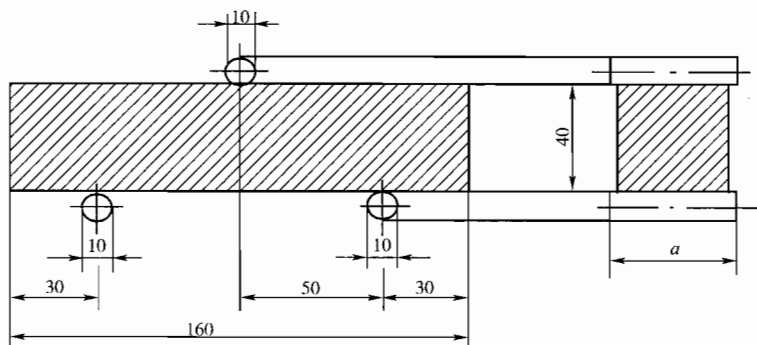


图 2-1 抗折强度测定加荷图

### (6) 抗压强度试验机

抗压强度试验机,在较大的五分之四量程范围内使用时记录的荷载应有  $\pm 1\%$  精度,并具有按  $2400 \pm 200 \text{ N/s}$  速率的加荷能力,应有一个能指示试件破坏时荷载并把它保持到试验机卸荷以后的指示器,可以用表盘里的峰值指针或显示器来达到。人工操纵的试验机应配有一个速度动态装置以便于控制荷载增加。

压力机的活塞竖向轴应与压力机的竖向轴重合,在加荷时也不例外,而且活塞作用的合力要通过试件中心。压力机的下压板表面应与该机的轴线垂直并在加荷过程中一直保持不变。

压力机上压板球座中心应在该机竖向轴线上与上压板下表面相交点上,其公差为  $\pm 1 \text{ mm}$ 。上压板在与试体接触时能自动调整,但在加荷期间上下压板的位置应固定不变。

试验机压板应由维氏硬度不低于 HV600 硬质钢制成,最好为碳化钨,厚度不小于 10mm,宽为  $40 \pm 0.1 \text{ mm}$ ,长不小于 40mm。压板和试件接触的表面平面度公差应为 0.01mm,表面粗糙度 ( $R_a$ ) 应在 0.1 ~ 0.8 之间。

当试验机没有球座,或球座已不灵活或直径大于 120mm 时,应采用标准规定的夹具。

### (7) 抗压强度试验机用夹具

当需要使用夹具时,应把它放在压力机的上下压板之间并与压力机处于同一轴线,以便将压力机的荷载传递至胶砂试件表面。夹具应符合 JC/T 683 的要求,受压面积为  $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 。夹具要保持清洁,球座应能转动以使其上压板能从一开始就适应试体的形状并在试验中保持不变(图 2-2)。

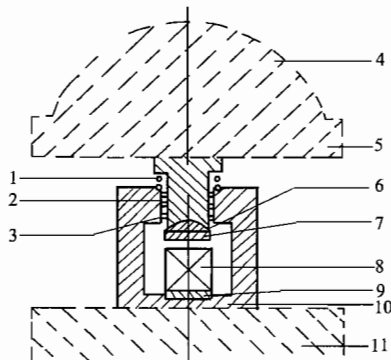


图 2-2 典型的抗压强度试验夹具

1-滚珠轴承;2-滑板;3-复位弹簧;4-压力机球座;5-压力机球座上压板;6-夹具球座;7-夹具上压板;8-试体;9-底板;10-夹具下垫板;11-压力机下压板



### 3. 胶砂组成

#### 1) 砂

中国 ISO 标准砂,其质量控制同 ISO 基准砂的要求。

(1)由含量不低于 98% 的天然的圆形硅质砂组成,其颗粒分布在表 2-4 规定的范围内。

ISO 基准砂粒分布

表 2-4

方孔边长(mm)	累计筛余(%)	方孔边长(mm)	累计筛余(%)
2.0	0	0.5	67 ± 5
1.6	7 ± 5	0.16	87 ± 5
1.0	33 ± 5	0.08	99 ± 1

(2)砂的湿含量是在 100 ~ 110℃ 下用代表性砂样烘 2h 的质量损失来测定,以干砂的质量百分数表示,应小于 0.2%。

中国 ISO 标准砂可以单级分包装,也可以各级预配合以  $1350 \pm 5\text{g}$  量的塑料袋混合包装,但所用塑料袋材料不得影响强度试验结果。

#### 2) 水泥

当试验水泥从取样至试验要保持 24h 以上时,应把它贮存在基本装满和气密的容器里,这个容器应不与水泥起反应。所取水泥均应通过 0.9mm 方孔筛后再按相关标准进行试验。

#### 3) 水

仲裁试验或其他重要试验用蒸馏水,其他试验可用饮用水。

### 4. 胶砂的制备

#### 1) 配合比

胶砂的质量配合比应为一份水泥三份标准砂和半份水(水灰比为 0.5)。一锅胶砂成三条试体,每锅材料需要量见表 2-5。

每锅胶砂的材料数量

表 2-5

材料量水泥品种	水泥(g)	标准砂(g)	水(g)
硅酸盐水泥	450 ± 2	1350 ± 5	225 ± 1
普通硅酸盐水泥			
矿渣硅酸盐水泥			
粉煤灰硅酸盐水泥			
复合硅酸盐水泥			
石灰石硅酸盐水泥			

但火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥和掺火山灰质混合材料的普通硅酸盐水泥在进行胶砂强度检验时,其用水量按 0.50 水灰比和胶砂流动度不小于 180mm 来确定。当流动度小于 180mm 时,须以 0.01 的整倍数递增的方法将水灰比调整至胶砂流动度小于 180mm。

#### 2) 配料

水泥、砂、水和试验用具的温度与试验室相同,称量用的天平精度应为  $\pm 1\text{g}$ 。当用自动滴

管加 225mL 水时,滴管精度应达到  $\pm 1\text{mL}$ 。

### 3) 搅拌

每锅胶砂用搅拌机进行机械搅拌。先使搅拌机处于待工作状态,然后按以下的程序进行操作:把水加入锅里,再加入水泥,把锅放在固定架上,上升至固定位置:然后立即开动机器,低速搅拌 30s 后,在第二个 30s 开始的同时均匀地将砂子加入。当各级砂是分装时,从最粗料级开始,依次将所需的每级砂量加完。把机器转至高速再拌 30s。停拌 90s,在第 1 个 15s 内用一胶皮刮具将叶片和锅壁上的胶砂,刮入锅中间。在高速下继续搅拌 60s。各个搅拌阶段,时间误差应在  $\pm 1\text{s}$  以内。

## 5. 试件的制备

胶砂制备后立即进行成型。将空试模和模套固定在振实台上,用一个适当勺子直接从搅拌锅里将胶砂分二层装入试模,装第一层时,每个槽里约放 300g 胶砂,用大播料器垂直架在模套顶部沿每个模槽来回一次将料层播平,接着振实 60 次。再装入第二层胶砂,用小播料器播平,再振实 60 次。移走模套,从振实台上取下试模,用一金属直尺以近似  $90^\circ$  的角度架在试模模顶的一端,然后沿试模长度方向以横向锯割动作慢慢向另一端移动,一次将超过试模部分的胶砂刮去,并用同一直尺以近乎水平的情况下将试体表面抹平。

在试模上作标记或加字条标明试件编号和试件相对于振实台的位置。

## 6. 试件的养护

### 1) 脱模前的处理和养护

去掉留在模子四周的胶砂。立即将作好标记的试模放入雾室或湿箱的水平架子上养护,湿空气应能与试模各边接触。养护时不应将试模放在其他试模上。一直养护到规定的脱模时间时取出脱模。脱模前,用防水墨汁或颜料笔对试体进行编号和做其他标记。二个龄期以上的试体,在编号时应将同一试模中的三条试体分在二个以上龄期内。

### 2) 脱模

脱模应非常小心<sup>①</sup>。对于 24h 龄期的,应在破型试验前 20min 内脱模<sup>②</sup>。对于 24h 以上龄期的,应在成型后 20 ~ 24h 之间脱模<sup>②</sup>。

注:①如经 24h 养护,会因脱模对强度造成损害时,可以延迟到 24h 以后脱模,但在试验报告中应予说明。

②已确定作为 24h 龄期试验(或其他不下水直接做试验)的已脱模试体,应用湿布覆盖至做试验时为止。

### 3) 水中养护

将做好标记的试件立即水平或竖直放在  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  水中养护,水平放置时刮平面应朝上。

试件放在不易腐烂的篦子上,并彼此间保持一定间距,以让水与试件的六个面接触。养护期间试件之间间隔或试体上表面的水深不得小于 5mm。

注:不宜用木篦子。

每个养护池只养护同类型的水泥试件。

最初用自来水装满养护池(或容器),随后随时加水保持适当的恒定水位,不允许在养护期间全部换水。

除 24h 龄期或延迟至 48h 脱模的试体外,任何到龄期的试体应在试验(破型)前 15min 从水中取出。揩去试体表面沉积物,并用湿布覆盖至试验为止。

### 4) 强度试验试体的龄期

试体龄期是从水泥加水搅拌开始试验时算起。不同龄期强度试验在下列时间里进行。

- 24h ± 5min;
- 48h ± 30min;
- 72h ± 45min;
- 7d ± 2h;
- >28d ± 8h。

### 7. 试验程序

用规定的设备以中心加荷法测定抗折强度。在折断后的棱柱体上进行抗压试验,受压面是试体成型时的两个侧面,面积为 40mm × 40mm。当不需要抗折强度数值时,抗折强度试验可以省去。但抗压强度试验应在不使试件受有害应力情况下折断的两截棱柱体上进行。

#### 1) 抗折强度测定和数据处理

每个龄期取出三条试件先做抗折强度试验。试验前须擦去试件表面附着的水分和砂粒,清除夹具上及圆柱表面粘着的杂物,试件放入抗折夹具内,应使侧面与圆柱接触。

将试体的一个侧面放在试验机支撑圆柱上,试体长轴垂直于支撑圆柱,通过加荷圆柱以 50 ± 10N/s 的速率均匀地将荷载垂直地加在棱柱体相对侧面上,直至折断。

保持两个半截棱柱体处于潮湿状态直至抗压试验。

抗折强度  $R_f$  以牛顿每平方毫米 (MPa) 表示,按式(2-1)进行计算:

$$R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3} \quad (2-1)$$

式中: $R_f$ ——折断时施加于棱柱体中部的荷载,N;

$L$ ——支撑圆柱之间的距离,mm;

$b^3$ ——棱柱体正方形截面的边长,mm。

以一组三个棱柱体抗折结果的平均值作为试验结果。当三个强度值中有超出平均值 ± 10% 时,应剔除后再取平均值作为抗折强度试验结果。各试体的抗折强度记录精确至 0.1MPa,抗折强度试验结果计算至 0.1MPa。

#### 2) 抗压强度测定

抗压强度试验通过规定的仪器,在半截棱柱体的侧面上进行。半截棱柱体中心与压力机压板受压中心差应在 ± 0.5mm 内,棱柱体露在压板外的部分约有 10mm。在整个加荷过程中以 2400 ± 200N/s 的速率均匀地加荷直至破坏。抗压强度  $R_c$  以牛顿每平方毫米 (MPa) 为单位,按下式进行计算:

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

式中: $F_c$ ——破坏时的最大荷载,N;

$A$ ——受压部分面积,mm<sup>2</sup> (40mm × 40mm = 1 600mm<sup>2</sup>)。

以一组三个棱柱体上得到的六个抗压强度测定值的算术平均值为试验结果。如六个测定值中有一个超出六个平均值的 ± 10%,就剔除这个结果,而以剩下五个的平均数为结果。如果五个测定值中再有超过它们平均数 ± 10% 的,则此组结果作废。各个半棱柱体得到的单个抗压强度结果计算至 0.1MPa,按规定计算平均值,计算精确至 0.1MPa。

## 8. 试验报告

报告应包括所有各单个强度结果(包括按规定舍去的试验结果)和计算出的平均值。

## 9. 检验方法的精确性

检验方法的精确性通过其重复性和再现性来测量。

合格检验方法的精确性是通过它的再现性来测量的。

验收检验方法和以生产控制为目的检验方法的精确性是通过它的重复性来测量的。

### 1) 再现性

抗压强度测量方法的再现性,是同一个水泥样品在不同试验室工作的不同操作人员,在不同的时间,用不同来源的标准砂和不同套设备所获得试验结果误差的定量表达。

对于 28d 抗压强度的测定,在合格试验室之间的再现性,用变异系数表示,可要求不超过 6%。这意味着不同试验室之间获得的两个相应试验结果的差可要求(概率 95%)小于约 15%。

### 2) 重复性

抗压强度试验方法的重复性是由同 1 个试验室在基本相同的情况下(相同的操作人员,相同设备,相同的标准砂,较短时间间隔内等)用同一水泥样品所得试验结果的误差来定量表达。

对于 28d 抗压强度的测定,一个合格的试验室在上述条件下的重复性以变异系数表示,可要求在 1%~3% 之间。

## 二、其他检测项目的检验方法

### (一) 细度

细度是指水泥颗粒的粗细程度。细度在《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)中作为选择性指标来要求。对硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,以比表面积表示细度,要求不小于  $300\text{m}^2/\text{kg}$ ;对矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥,以筛余表示细度,  $80\mu\text{m}$  方孔筛筛余不大于 10% 或  $45\mu\text{m}$  方孔筛筛余不大于 30%。

#### 1. 水泥比表面积测定方法(勃氏法)

##### 1) 适用范围及方法原理

本标准适用于测定水泥的比表面积及适合采用本标准方法的、比表面积在  $2\,000\text{cm}^2/\text{g}$  到  $6\,000\text{cm}^2/\text{g}$  范围的其他各种粉状物料,不适用于测定多孔材料及超细粉状物料。

本方法主要是根据一定量的空气通过具有一定空隙率和固定厚度的水泥层时,所受阻力不同而引起流速的变化来测定水泥的比表面积。在一定空隙率的水泥层中,空隙的大小和数量是颗粒尺寸的函数,同时也决定了通过料层的气流速度。

##### 2) 术语和定义

水泥比表面积:单位质量的水泥粉末所具有的总表面积,以平方厘米每克( $\text{cm}^2/\text{g}$ )或平方米每千克( $\text{m}^2/\text{kg}$ )来表示。

空隙率:试料层中颗粒间空隙的容积与试料层总的容积之比,以  $e$  表示。

##### 3) 主要试验设备及条件

###### (1) 设备

透气仪:勃氏比表面积透气仪,分手动和自动两种,均应符合 JC/T 956 的要求。

烘干箱:控制温度灵敏度  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

分析天平:分度值为  $0.001\text{g}$ 。

秒表:精确至  $0.5\text{s}$ 。

(2) 水泥样品:

水泥样品按 GB 12573 进行取样,先通过  $0.9\text{mm}$  方孔筛,再在  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  下烘干  $1\text{h}$ ,并在干燥器中冷却至室温。

(3) 试验室条件:相对湿度不大于  $50\%$ 。

4) 操作步骤

(1) 测定水泥密度:按 GB/T 208 测定水泥密度。

(2) 漏气检查

将透气圆筒上口用橡皮塞塞紧,接到压力计上。用抽气装置从压力计一臂中抽出部分气体,然后关闭阀门,观察是否漏气。如发现漏气,可用活塞油脂加以密封。

(3) 空隙率( $e$ )的确定

PI、PII型水泥的空隙率采用  $0.500 \pm 0.005$ ,其他水泥或粉料的空隙率选用  $0.530 \pm 0.005$ 。

当按上述空隙率不能将试样压至第(5)条规定的位置时,则允许改变空隙率。

空隙率的调整以  $2000\text{g}$  砝码(5等砝码)将试样压实至第(5)规定的位置为准。

(4) 确定试样量

试样量按下式计算:

$$m = \rho V(1 - e)$$

式中: $m$ ——需要的试样量,  $\text{g}$ ;

$\rho$ ——试样密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$V$ ——试料层体积,按 JC/T 956 测定,  $\text{cm}^3$ ;

$e$ ——试料层空隙率。

(5) 试料层制备

①将穿孔板放入透气圆筒的突缘上,用捣棒把一片滤纸放到穿孔板上,边缘放平并压紧。称取按第 7.4 条确定的试样量,精确到  $0.001\text{g}$ ,倒入圆筒。轻敲圆筒的边,使水泥层表面平坦。再放入一片滤纸,用捣器均匀捣实试料直至捣器的支持环与圆筒顶边接触,并旋转  $1 \sim 2$  圈,慢慢取出捣器。

②穿孔板上的滤纸为  $12.7\text{mm}$  边缘光滑的圆形滤纸片。每次测定需用新的滤纸片。

(6) 透气试验

①把装有试料层的透气圆筒下锥面涂一薄层活塞油脂,然后把它插入压力计顶端锥型磨口处,旋转  $1 \sim 2$  圈。要保证紧密连接不致漏气,并不振动所制备的试料层。

②打开微型电磁泵慢慢从压力计一臂中抽出空气,直到压力计内液面上升到扩大部下端时关闭阀门。当压力计内液体的凹月面下降到第一条刻线时开始计时,当液体的凹月面下降到第二条刻线时停止计时,记录液面从第一条刻度线到第二条刻度线所需的时间。以秒记录,并记录下试验时的温度( $^{\circ}\text{C}$ )。每次透气试验,应重新制备试料层。

(7) 计算

①当被测试样的密度、试料层中空隙率与标准样品相同,试验时的温度与校准温度之差  $\leq 3^{\circ}\text{C}$  时,可按式(2-2)计算:

$$S = \frac{\sqrt{T}}{\sqrt{T_s}} \quad (2-2)$$

如试验时的温度与校准温度之差  $> 3^{\circ}\text{C}$  时,则按式(2-3)计算:

$$S = \frac{S_s \sqrt{\eta_s} \sqrt{T}}{\sqrt{\eta} \sqrt{T_s}} \quad (2-3)$$

式中:  $S$ ——被测试样的比表面积,  $\text{cm}^2/\text{g}$ ;

$S_s$ ——标准样品的比表面积,  $\text{cm}^2/\text{g}$ ;

$T$ ——被测试样试验时,压力计中液面降落测得的时间,  $\text{s}$ ;

$T_s$ ——标准样品试验时,压力计中液面降落测得的时间,  $\text{s}$ ;

$\eta$ ——被测试样试验温度下的空气粘度,  $\text{MPa} \cdot \text{s}$ ;

$\eta_s$ ——标准样品试验温度下的空气粘度,  $\text{MPa} \cdot \text{s}$ 。

②当被测试样的试料层中空隙率与标准样品试料层中空隙率不同,试验时的温度与校准温度之差  $\leq 3^{\circ}\text{C}$  时,当被测试样的密度和空隙率均与标准样品不同,试验时的温度与校准温度之差  $\leq 3^{\circ}\text{C}$  时,或试验时的温度与校准温度之差大于  $3^{\circ}\text{C}$  时,查看规范的规定进行计算

③结果处理:水泥比表面积应由二次透气试验结果的平均值确定。如二次试验结果相差 2% 以上时,应重新试验。计算结果保留至  $10\text{cm}^2/\text{g}$ 。

当同一水泥用手动勃氏透气仪测定的结果与自动勃氏透气仪测定的结果有争议时,以手动勃氏透气仪测定结果为准。

## 2. 水泥细度检验方法(筛析法)

### 1) 适用范围和方法原理

本标准适用于硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥以及指定采用本标准的其他品种水泥和粉状物料。

本法是采用  $45\mu\text{m}$  方孔筛和  $80\mu\text{m}$  方孔筛对水泥试样进行筛析试验,用筛上筛余物的质量百分数来表示水泥样品的细度。为保持筛孔的标准度,在用的试验筛应用已知筛余的标准样品来标定。

### 2) 术语和定义

(1) 负压筛析法:用负压筛析仪,通过负压源产生的恒定气流,在规定筛析时间内使试验筛内的水泥达到筛分。

(2) 水筛法:将试验筛放在水筛座上,用规定压力的水流,在规定时间内使试验筛内的水泥达到筛分。

(3) 手工筛析法:将试验筛放在接料盘(底盘)上,用手工按照规定的拍打速度和转动角度,对水泥进行筛析试验。

### 3) 设备和条件

(1) 负压筛析仪:筛座由转速为  $30 \pm 2 \text{ r/min}$  的喷气嘴、负压表、控制板、微电机及壳体构成,筛析仪的负压可调范围为  $4\,000 \sim 6\,000\text{Pa}$ 。负压源和收尘器,由功率  $\geq 600\text{W}$  的工业吸尘器和小型旋风收尘筒组成或用其他具有相当功能的设备。

(2) 试验筛:分负压筛、水筛和手工筛三种。

(3) 天平:最小分度值不大于  $0.01\text{g}$ 。

## 4) 样品要求

水泥样品应有代表性,并先过 0.9mm 方孔筛。

## 5) 操作步骤

## (1) 试验准备

试验前所用试验筛应保持清洁,负压筛和手工筛应保持干燥。试验时,80 $\mu$ m 筛析试验称取试样 25g,45 $\mu$ m 筛析试验称取试样 10g。

## (2) 负压筛析法

①筛析试验前应把负压筛放在筛座上,盖上筛盖,接通电源,检查控制系统,调节负压至 4 000 ~ 6 000 Pa 范围内。

②称取试样精确至 0.01 g,置于洁净的负压筛中,放在筛座上,盖上筛盖,接通电源,开动筛析仪连续筛析 2 min,在此期间如有试样附着在筛盖上,可轻轻地敲击筛盖使试样落下。筛毕,用天平称量全部筛余物。

## (3) 水筛法

①筛析试验前,应检查水中无泥砂,调整好水压及水筛架的位置,使其能正常运转,并控制喷头底面和筛网之间距离为 35 ~ 75 mm。

②称取试样精确至 0.01g,置于洁净的水筛中,立即用淡水冲洗至大部分细粉通过后,放在水筛架上,用水压为 0.05 MPa  $\pm$  0.02 MPa 的喷头连续冲洗 3min。筛毕,用少量水把筛余物冲至蒸发皿中,等水泥颗粒全部沉淀后,小心倒出清水,烘干并用天平称量全部筛余物。

## (4) 手工筛析法

①称取水泥试样精确至 0.01g,倒入手工筛内。

②用一只手持筛往复摇动,另一只手轻轻拍打,往复摇动和拍打过程应保持近于水平。拍打速度每分钟约 120 次,每 40 次向同一方向转动 60°,使试样均匀分布在筛网上,直至每分钟通过的试样量不超过 0.03g 为止。称量全部筛余物。

## (5) 结果计算及处理

## ① 计算

水泥试样筛余百分数按下式计算:

$$F = \frac{R_1}{W} \times 100$$

式中:  $F$ ——水泥试样的筛余百分数, %;

$R_1$ ——水泥筛余物的质量, g;

$W$ ——水泥试样的质量, g。

结果计算至 0.1%。

## ② 筛余结果的修正

试验筛的筛网会在试验中磨损,因此筛析结果应进行修正。修正的方法是将上式的结果乘以该试验筛按标定方法标定后得到的有效修正系数,即为最终结果。

例如:用 A 号试验筛对某水泥样的筛余值为 5.0%,而 A 号试验筛的修正系数为 1.10,则该水泥样的最终结果为:5.0%  $\times$  1.10 = 5.5%。

③合格评定时,每个样品应称取两个试样分别筛析,取筛余平均值为筛析结果。若两次筛余结果绝对误差大于 0.5% 时(筛余值大于 5.0% 时可放至 1.0%)应再做一次试验,取两次相

近结果的算术平均值,作为最终结果。

#### (6) 仲裁

负压筛析法、水筛法和手工筛析法测定的结果发生争议时,以负压筛析法为准。

### 6) 水泥试验筛的日常保养及标定方法

#### 1) 日常保养

试验筛必须经常保持洁净,筛孔通畅,使用 10 次后要进行清洗。金属框筛、铜丝网筛清洗时应用专门的清洗剂,不可用弱酸浸泡。试验筛每使用 100 次后需重新标定。

#### 2) 标定

(1) 标定原理:用标准样品在试验筛上的测定值,与标准样品的标准值的比值来反映试验筛筛孔的准确度。

#### (2) 试验条件

水泥细度标准样品:符合 GSB 14—1511 要求,或相同等级的标准样品。有争议时以 GSB 14—1511 标准样品为准。

被标定试验筛:被标定试验筛应事先经过清洗,去污,干燥(水筛除外)并和标定试验室温度一致。

#### (3) 标定步骤

将标准样装入干燥洁净的密闭广口瓶中,盖上盖子摇动 2min,消除结块。静置 2min 后,用一根干燥洁净的搅拌棒搅匀样品。按照称量标准样品精确至 0.01 g,将标准样品倒进被标定试验筛,中途不得有任何损失。接着进行筛析试验操作。每个试验筛的标定应称取二个标准样品连续进行,中间不得插做其他样品试验。

#### (4) 标定结果

二个样品结果的算术平均值为最终值,但当二个样品筛余结果相差大于 0.3% 时应称第三个样品进行试验,并取接近的两个结果进行平均作为最终结果。

#### 3) 修正系数计算

修正系数按下式计算:

$$C = F_s / F_t$$

式中:  $C$ ——试验筛修正系数;

$F_s$ ——标准样品的筛余标准值,单位为质量百分数,%;

$F_t$ ——标准样品在试验筛上的筛余值,单位为质量百分数,%,计算至 0.01。

#### 4) 合格判定

(1) 当  $C$  值在 0.80 ~ 1.20 范围内时,试验筛可继续使用, $C$  可作为结果修正系数。

(2) 当  $C$  值超出 0.80 ~ 1.20 范围时,试验筛应予以淘汰。

### (二) 水泥胶砂流动度测定方法

#### 1. 方法原理

通过测量一定配比的水泥胶砂在规定振动状态下的扩展范围来衡量其流动性。

#### 2. 主要仪器和设备

(1) 水泥胶砂流动度测定仪(简称跳桌)

(2) 水泥胶砂搅拌机

(3) 试模:



由截锥圆模和模套组成。金属材料制成,内表面加工光滑。圆模尺寸为:

高度  $60 \pm 0.5\text{mm}$ ;上口内径  $70 \pm 0.5\text{mm}$ ;下口内径  $100 \pm 0.5\text{mm}$ ;下口外径  $120\text{mm}$ ;模壁厚大于  $5\text{mm}$ 。

(4) 卡尺:量程不小于  $300\text{mm}$ ,分度值不大于  $0.5\text{mm}$ 。

(5) 天平:量程不小于  $1\,000\text{g}$ ,分度值不大于  $1\text{g}$ 。

### 3. 试验方法

(1) 如跳桌在  $24\text{h}$  内未被使用,先空跳一个周期  $25$  次。

(2) 胶砂制备按规定进行。在制备胶砂的同时,用潮湿棉布擦拭跳桌台面、试模内壁、捣棒以及和胶砂接触的用具,将试模放在跳桌台面中央并用潮湿棉布覆盖。

(3) 将拌好的胶砂分两层迅速装入试模,第一层装至截锥圆模高度约三分之二处,用小刀在相互垂直两个方向各划  $5$  次,用捣棒由边缘至中心均匀捣压  $15$  次(图 2-3);随后,装第二层胶砂,装至高出截锥圆模约  $20\text{mm}$ ,用小刀在相互垂直两个方向各划  $5$  次,再用捣棒由边缘至中心均匀捣压  $10$  次(图 2-4)。捣压后胶砂应略高于试模。捣压深度,第一层捣至胶砂高度的二分之一,第二层捣实不超过已捣实底层表面。装胶砂和捣压时,用手扶稳试模,不要使其移动。

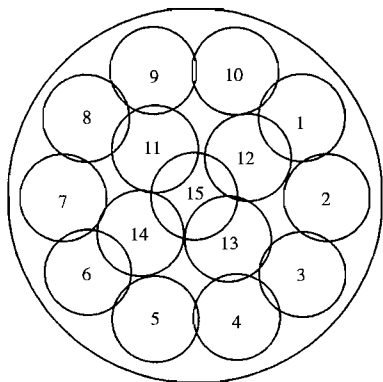


图 2-3 第一层捣压位置示意图

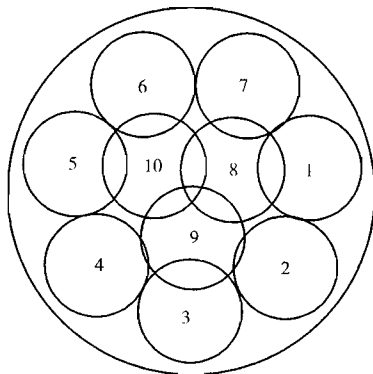


图 2-4 第二层捣压位置示意图

(4) 捣压完毕,取下模套,将小刀倾斜,从中间向边缘分两次以近水平的角度抹去高出截锥圆模的胶砂,并擦去落在桌面上的胶砂。将截锥圆模垂直向上轻轻提起。立刻开动跳桌,以每秒钟一次的频率,在  $25 \pm 1\text{s}$  内完成  $25$  次跳动。

(5) 流动度试验,从胶砂加水开始到测量扩散直径结束,应在  $6\text{min}$  内完成。

### 4. 结果与计算

跳动完毕,用卡尺测量胶砂底面互相垂直的两个方向直径,计算平均值,取整数,单位为毫米。该平均值即为该水量的水泥胶砂流动度。

### (三) 烧失量的测定(灼烧差减法)

#### 1. 方法提要

试样在  $950 \pm 25^\circ\text{C}$  的高温炉中灼烧,驱除二氧化碳和水分,同时将存在的易氧化的元素氧化。通常矿渣硅酸盐水泥应对由硫化物的氧化引起的烧失量的误差进行校正,而其他元素的氧化引起的误差一般可忽略不计。试验次数规定为两次,用两次试验结果的平均值表示测定结果。

## 2. 操作步骤

称取约 1g 试样( $m_7$ ),精确至 0.000 1g,放入已灼烧恒量的瓷坩埚中,将盖斜置于坩埚上,放在高温炉内,从低温开始逐渐升高温度,在  $950 \pm 25^\circ\text{C}$  下灼烧 15 ~ 20min,取出坩埚置于干燥器中,冷却至室温,称量。反复灼烧,直至恒量( $m_8$ )。

恒重是指经第一次灼烧、冷却、称重后,通过连续对每次 15min 的灼烧、然后冷却、称量的方法来检查恒定质量,当连续两次称量之差小于 0.0005g 时,即达到恒重。

## 3. 结果的计算与表示

### (1) 烧失量的计算

烧失量的质量分数  $w_{\text{LOI}}$  按式(2-4)计算:

$$w_{\text{LOI}} = \frac{m_7 - m_8}{m_7} \times 100 \quad (2-4)$$

式中: $w_{\text{LOI}}$ ——烧失量的质量分数,%;

$m_7$ ——试料的质量,g;

$m_8$ ——灼烧后试料的质量,g。

### (2) 矿渣硅酸盐水泥和掺入大量矿渣的其他水泥烧失量的校正

称取两份试样,一份用来直接测定其中的三氧化硫含量;另一份则按测定烧失量的条件于  $950 \pm 25^\circ\text{C}$  下灼烧 15 ~ 20min,然后测定灼烧后的试料中的三氧化硫含量。

根据灼烧前后三氧化硫含量的变化,矿渣硅酸盐水泥在灼烧过程中由于硫化物氧化引起烧失量的误差可按式(2-5)进行校正:

$$w'_{\text{LOI}} = w_{\text{LOI}} + 0.8 \times (\omega_{\text{后}} - \omega_{\text{前}}) \quad (2-5)$$

式中: $w'_{\text{LOI}}$ ——校正后烧失量的质量分数,%;

$w_{\text{LOI}}$ ——实际测定的烧失量的质量分数,%;

$\omega_{\text{前}}$ ——灼烧前试料中三氧化硫的质量分数,%;

$\omega_{\text{后}}$ ——灼烧后试料中三氧化硫的质量分数,%;

0.8—— $\text{S}^{2-}$ 氧化为  $\text{SO}_4^{2-}$  时增加的氧与  $\text{SO}_3$  的摩尔质量比,即  $(4 \times 16)/80 = 0.8$ 。

## (四) 硫酸钡重量法测三氧化硫含量(基准法)

### 1. 方法提要

在酸性溶液中,用氯化钡溶液沉淀硫酸盐,经过滤灼烧后,以硫酸钡形式称量。测定结果以三氧化硫计。试验次数规定为两次,用两次试验结果的平均值表示测定结果。

### 2. 分析步骤

称取约 0.5g 试样( $m_1$ ),精确至 0.000 1g,置于 200mL 烧杯中,加入约 40mL 水,搅拌使试样完全分散,在搅拌下加入 10mL 盐酸(1+1),用平头玻璃棒压碎块状物,加热煮沸并保持微沸  $5 \pm 0.5\text{min}$ 。用中速滤纸过滤,用热水洗涤 10 ~ 12 次,滤液及洗液收集于 400mL 烧杯中。加水稀释至约 250mL,玻璃棒底部压一小片定量滤纸,盖上表面皿,加热煮沸,在微沸下从杯口缓慢逐滴加入 10mL 热的氯化钡溶液,继续微沸 3min 以上使沉淀良好地形成,然后在常温下静置 12 ~ 24h 或温热处静置至少 4 h(仲裁分析应在常温下静置 12 ~ 24h),此时溶液体积应保持在约 200mL。用慢速定量滤纸过滤,以温水洗涤,直至检验无氯离子为止。

氯离子检查用硝酸银检验法:按规定洗涤沉淀数次后,用数滴水淋洗漏斗的下端,用数毫升水洗滤纸和沉淀,将滤液收集在试管中,加几滴硝酸银溶液,观察试管中溶液是否浑浊,如

果浑浊,继续洗涤并检验,直到用硝酸银检验不再浑浊为止。

将沉淀及滤纸一并移入已灼烧恒量的瓷坩埚中,灰化完全后,放入 800 ~ 950℃ 的高温炉内灼烧 30min,取出坩埚,置于干燥器中冷却至室温,称量。反复灼烧,直至恒量。

### 3. 结果的计算与表示

试样中三氧化硫的质量分数  $\omega_{\text{SO}_3}$  按式(2-6)计算:

$$\omega_{\text{SO}_3} = \frac{m_{12} \times 0.343}{m_{11}} \times 100 \quad (2-6)$$

式中:  $\omega_{\text{SO}_3}$  ——三氧化硫的质量分数, %;

$m_{12}$  ——灼烧后沉淀的质量, g;

$m_{11}$  ——试料的质量, g;

0.343 ——硫酸钡对三氧化硫的换算系数。

### (五) 碱含量

碱含量是选择性指标。水泥中的碱含量是按  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$  的重量百分率来表示。碱会和集料中的活性物质反应,生成膨胀性的碱硅酸盐凝胶,导致混凝土开裂破坏。碱集料反应和碱含量、集料的活性物质含量及使用环境有关。为防止碱集料反应,即使在使用相同活性集料的情况下,不同的混凝土配合比、使用环境对水泥的碱含量要求也不一样,因此,标准中将碱含量定为选择性要求,当用户要求时,由供需双方协商,但指定低碱水泥时,标准规定碱含量不得大于 0.6%。氧化钾和氧化钠的测定采用火焰光度法(基准法)进行测定。

试样经氢氟酸—硫酸蒸发处理除去硅,用热水浸取残渣,以氨水和碳酸铵分离铁、铝、钙、镁。滤液中的钾、钠用火焰光度计进行测定。

### (六) 氯化物

采用 JC/T 420 标准检验,即磷酸蒸馏—汞盐滴定法测定水泥原料中氯离子的化学分析方法,分析步骤及计算具体见相关规范。

### (七) 氧化镁

氧化镁的测定采用原子吸收光谱法(基准法)进行,其方法提要是以氢氟酸—高氯酸分解或氢氧化钠熔融—盐酸分解试样的方法制备溶液,分取一定量的溶液,用锆盐消除硅、铝、钛等对镁的干扰,在空气—乙炔火焰中,于波长 285.2nm 处测定溶液的吸光度。分析步骤及计算具体见相关规范。

## 第三章 集料和块石的质量检验

集料也称骨料,是混凝土的主要组成材料之一,在混凝土中起骨架和填充作用,集料按颗粒大小分为粗集料和细集料。粒径在  $0.16 \sim 5\text{mm}$  者称为细集料;粒径大于  $5\text{mm}$  者称为粗集料。

普通混凝土常用粗集料有碎石和卵石(统称为石子),由天然岩石或卵石经破碎、筛分得到的。按岩石地质成因分类可分为:火成岩、沉积岩和变质岩。细集料一般为天然砂,它是岩石风化所形成的的大小不等、由不同矿物颗粒组成的混合物。此外随着天然砂矿的枯竭,人工砂及混合砂也逐渐被用于各类工程中。

集料的质量对所制成混凝土的性能(工作性、强度、耐久性和变形性能)影响很大。其中如粗、细集料的级配不良会使混凝土拌和物的和易性下降,水泥用量显著增加;粗集料中针、片状颗粒含量过多同样会影响混凝土拌和物的和易性,并导致高标号混凝土强度降低;集料含泥过高会使混凝土的强度、抗冻及抗渗性能明显下降;海砂中的氯盐含量过多会引起混凝土中钢筋锈蚀。因此,集料的质量检验是水运工程材料检测重要一环。使用前除要求对上述指标检验外,其他如碱—集料反应、坚固性、有机质及有害物质含量、强度等也应按需要进行检验。

集料的使用量很大,尤其是制作普通混凝土用的砂、石,全世界每年耗用数十亿立方米,不少地区的集料已经面临资源枯竭。因此,开发各种新的天然集料资源,研制各种人造集料和寻找合适的代用材料,已成为目前混凝土集料发展的重要任务。其中,如海砂及海卵石、工业废渣、二次集料等的应用,已取得较好效果。

水运工程中,块石常被用于抛石基床、大体积混凝土填充料,抗压强度指标是评价其质量优劣的重要参数。

### 第一节 细 集 料

#### 一、细集料的分类

土木工程中常用的水泥混凝土细集料主要有天然砂和人工砂。天然砂是由天然岩石经长期风化、水流搬运和分选等自然条件作用而形成的粒径在  $5\text{mm}$  以下的岩石颗粒,但不包括软质岩、风化岩石的颗粒。按其产源不同可分为河砂、湖砂、海砂及山砂。对于河砂、湖砂和海砂,由于长期受水流的冲刷作用,颗粒表面比较圆滑、洁净,且产源较广;海砂中常含有碎贝壳及可溶盐等有害杂质而不利于混凝土结构,海砂可用于配制素混凝土,但氯离子含量高容易导致钢筋锈蚀不能直接用于配制钢筋混凝土。山砂是岩体风化后在山涧堆积下来的岩石碎屑,其颗粒多具棱角,表面粗糙,砂中含泥量及有机杂质等有害杂质较多,可用于一般工程混凝土结构,当用于重要结构物时,必须通过坚固性试验和碱活性试验。在天然砂中河砂的综合性质最好,是土木工程中用量最多的细集料。

根据制作方式的不同,人工砂可以分为机制砂、混合砂、陶砂三种。机制砂是将天然岩石用机械轧碎、筛分后制成的颗粒,其颗粒富有棱角,比较洁净,但砂中片状颗粒及细粉含量较多,且成本较高。混合砂是由机制砂和天然砂混合而成,其技术性能应满足人工砂的要求。当仅靠天然砂不能满足用量需求时,可采用混合砂。陶砂是以粘土、亚粘土、粉煤灰、页岩等为主原料,经加工制粒、烧胀而成的。其粒径在 5mm 以上的轻粗骨料称为陶粒;粒径小于 5mm 的轻细骨料称为陶砂。

质量状态不同的砂子适合用于配制性能要求不同的水泥混凝土。依据《建筑用砂》(GB/T 14684—2001)的规定,根据混凝土用砂的质量状态不同可分为 I 类、II 类、III 类三种类别的砂。其中, I 类砂适合配制各种混凝土,包括强度为 60MPa 以上的高强度混凝土; II 类砂适合配制强度在 60MPa 以下的混凝土以及有抗冻、抗渗或其他耐久性要求的混凝土; III 类砂通常只适合配制强度低于 30MPa 的混凝土或建筑砂浆。

## 二、细集料的质量要求

细骨料的主要质量指标有颗粒级配、有害杂质含量、颗粒形状及表面特征、坚固性、粗细程度与砂的含水状态等。

### (一) 相关规范对细集料的质量要求

按《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)、《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269—96)、《建筑用砂》(GB/T 14684—2001)中的规定,对普通混凝土用细骨料,主要应控制颗粒级配、杂质或有害物含量、坚固性及碱含量等指标。

#### 1. 颗粒级配

砂颗粒级配的优劣、粒度的粗细既影响混凝土的技术性能,也影响水泥用量,是评定混凝土质量的一个重量指标。砂的粗细程度是指不同粒径的砂粒混合体平均粒径大小,用细度模数( $M_x$ )表示。砂的颗粒级配是指不同粒径的砂粒搭配比例。良好的级配指粗颗粒的空隙恰好由中颗粒填充,中颗粒的空隙恰好由细颗粒填充,如此逐级填充使砂形成最密致的堆积状态,空隙率达到最小值,堆积密度达最大值。这样可达到节约水泥,提高混凝土综合性能的目标。因此,砂颗粒级配反映空隙率大小。

为达到节约水泥和提高强度的目的,应尽量减小砂粒之间的空隙。要想减小砂粒间的空隙,必须用大小不同的砂粒进行搭配。砂的粒度的粗细,是指不同粒径的砂粒,混合在一起后的总体的粗细程度,通常有粗砂、中砂与细砂之分。在相同重量条件下,细砂的总表面积较大,而粗砂的总表面积较小。在混凝土中,砂子的表面需要由水泥浆包裹,砂子的总表面积愈大,则需要包裹砂粒表面的水泥浆愈多。拌制混凝土时,砂的颗粒级配与粗细程度应同时考虑。当砂中含有较多粗粒径砂,并以适当的中粒径砂及少量细粒径填充其空隙,则可达到空隙率和总表面积均较小,这样的砂比较理想,不仅水泥浆用量较少,而且还可提高混凝土的密实性与强度。可见控制砂的颗粒级配与粗细程度有很大的经济意义,因而它们是评定砂质量的重要指标。

砂的粗细程度常用细度模数( $M_x$ )来表示,它是指不同粒径的砂粒混在一起后的平均粗细程度。细度模数  $M_x$  越大,表示砂越粗, $M_x$  越小,则砂比表面积越大。

细度模数( $M_x$ )按下式计算:

$$M_x = [(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1] / [100 - A_1]$$

式中:  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_5$ 、 $A_6$ ——5.0mm、2.5mm、1.25mm、0.63mm、0.315mm、0.16mm 各筛上累计筛余百分率。

按细度模数的大小,可将砂分为粗砂、中砂、细砂、特细砂。

细度模数为 3.7~3.1 的是粗砂,3.0~2.3 的是中砂,2.2~1.6 的是细砂,细度模数为 1.5~0.7 的是特细砂。

砂的级配常用各筛上累计筛余百分率来表示。对于细度模数为 3.7~1.6 的砂,按 0.63mm 筛孔的筛上累计筛余百分率分为三个区间。I 区:砂粒较粗,混凝土拌和物保水性差;II 区:为一般常用砂,粗细程度适中;III 区:砂粒较细,混凝土拌和物保水性好,但干缩较大。

级配较好的砂,各筛上累计筛余百分率应处于同一区间之内(除 5.00mm 及 0.63mm 筛号外,允许稍有超出界限,但各筛超出的总量不应大于 5%)。

## 2. 杂质或有害物含量

细骨料中的有害杂质主要包括两方面:①粘土和云母。它们粘附于砂表面或夹杂其中,严重降低水泥与砂的粘结强度,从而降低混凝土的强度、抗渗性和抗冻性,增大混凝土的收缩。②有机质、硫化物及硫酸盐。它们对水泥有腐蚀作用,从而影响混凝土的性能。因此对有害杂质含量必须加以限制。

在《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269—96)中规定:“细骨料不宜采用海砂,不得不采用海砂时,海砂带入浪溅区或水位变动区混凝土的氯离子的含量,对于钢筋混凝土,不宜大于水泥重量的 0.07%;对于预应力混凝土:不宜大于 0.03%”。因海砂带入的氯离子量过大时,会引起混凝土中钢筋锈蚀,影响结构的使用寿命,因此经试验及参考国外有关标准制订了砂中氯离子含量限值。我国的海砂分布很广,蕴藏量很大,一般属于中砂,其质地坚硬,级配好,含泥量少,但采用时必须符合规定,当氯离子超量时,应通过淋洗,使其含量降低至限值以下;如果淋洗确有困难,可在浇筑混凝土结构时,其混凝土拌和中掺入占水泥重量 0.6%~1% 的亚硝酸钠或其他经论证的缓蚀剂。

### (1) 云母和轻物质含量

砂中的云母和轻物质对混凝土拌和物的和易性,硬化混凝土的抗冻性及抗渗性都有一定影响,因此在《普通混凝土用砂质量标准及检验方法》(JGJ 52—92)及《水运工程中混凝土施工规范》(JTJ 268—96)中均作规定,考虑港口混凝土中抗冻性及抗渗性要求较高,云母含量按有无抗冻性分别作了规定,为 1% 及 2%。

### (2) 含泥量和泥块含量

含泥量是指粒径小于 0.08mm 的尘屑、淤泥和粒土的总含量。泥包裹在骨料表面,将妨碍骨料与水泥的粘结,影响混凝土的强度及耐久性。若泥是以松散颗粒存在,其较细、表面积较大会增加混凝土的需水量,特别是粘土,体积不稳定,干燥时收缩、潮湿时膨胀,对混凝土有很大破坏性,对高标号混凝土的影响更显著。

泥块含量是指砂中粒径大于 1.25 mm,经水洗、手捏后变成小于 0.63mm 颗粒的含量。有资料介绍,不同的泥块含量对水泥砂浆的强度的影响,由表 3-1 可见随着泥块含量的增加,砂浆强度大幅度降低。因此《水运工程施工规范》根据混凝土的标号及性能要求,对含泥量和泥块含量的含量限值作出了规定。

泥块含量对砂浆强度的影响

表 3-1

砂中泥块含量(%)	抗压强度(MPa)	百分数(%)	降低(%)
0	43.0	100	0
0.5	41.0	95	5
1.0	32.2	75	25
2.0	31.8	74	26
2.5	29.7	69	31

### (3) 有机物、硫化物和硫酸盐含量

有机物、硫化物和硫酸盐等对混凝土拌和物的和易性及硬化混凝土的耐久性都有一定的影响,故对其含量进行限制。

### 3. 坚固性

天然砂由天然岩石经自然风化作用而成,机制砂也会含大量风化岩体,在冻融或干湿循环作用下有可能继续风化,因此对某些重要工程或特殊环境下工作的混凝土用砂,应做坚固性检验。如严寒地区室外工程,并处于潮湿或干湿交替状态下的混凝土,有腐蚀介质存在或处于水位升降区的混凝土等等。砂的坚固性是检验砂在气候、环境变化或其他物理因素作用下,抵抗碎裂的能力。引起骨料发生大的或永久性体积变化的物理原因,主要是由于冻融、热变及干湿交替变化,因此坚固性并不完全等于抗冻性,经有关部门调查,我国绝大部分河砂、海砂的坚固性均能符合标准要求,因此在《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)中表 3.2.1 的注①中规定:“对有抗冻性要求和强度大于等于 C30 混凝土,如对所用砂的坚固性有怀疑时,应用硫酸钠溶液法进行检验,经浸烘 5 次循环的失重率不应大于 8%”。

### 4. 碱含量

水泥(混凝土)中的碱与混凝土中某些骨料发生化学反应,引起混凝土开裂甚至破坏,被称之为碱—骨料反应,含有这种碱活性的骨料称为碱活性骨料或碱骨料。由于碱骨料反应引起混凝土开裂破坏,往往难以阻止其继续发展,而且难以补救,通常当所用的量料检验具有活性时,采用低碱水泥或限制混凝土中的碱总含量来防止碱—骨料反应发生,但对于海港工程结构混凝土经常处于饱和水或干湿交替状态,有利于反应物产生较大的体积膨胀,即使采取措施限制水泥的碱含量小于 0.6%,但海水还可不断提供新的碱来源,很难保证不会发生碱—骨料反应。因此为保证海港工程结构的耐久性,在 JTJ 268—96 中规定“海水环境工程中严禁采用活性细骨料,淡水环境工程中所用细骨料,经验证若具有活性时,应使用碱含量小于 0.6% 的水泥”。

检验细骨料活性方法目前采用“化学方法”、“砂浆长度方法”。“化学方法”是一种比较迅速的检验方法,但当骨料中含有碳酸盐或三氧化二铝等可溶于碱的组份时,检验结果将受到干扰。“砂浆长度方法”比较直观,但龄期较长。

### (二) 相关规范的具体要求

#### 1. 《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)对细集料的质量要求

##### (1) 杂质含量的要求

拌制混凝土应采用质地坚固、粒径在 5mm 以下的岩石颗粒(砂)作为细骨料,其杂质含量限值应符合表 3-2 的规定。

细骨料中杂质含量限值

表 3-2

项 次	项 目	有抗冻性要求	无抗冻性要求	
			≥C30	< C30
1	总含泥量(以重量%计)	≤3.0	≤3.0	≤5.0
	其中泥块含量(以重量%计)	<0.5	≤1.0	<2.0
2	云母含量(以重量%计)	<1.0	≤2.0	
3	轻物质(以重量%计)	≤1.0	≤1.0	
4	硫化物及硫酸盐含量 (以 SO <sub>3</sub> 重量计)	≤1.0	≤1.0	
5	有机物含量(用比色法)	颜色不应深于标准色,当深于标准色时,应进行砂浆强度 (按水泥胶砂方法)对比试验,相对抗压强度不应低于 95%		

注:①对有抗冻性要求和强度大于等于 C30 的混凝土,如对所用砂的坚固性有怀疑时,应用硫酸钠溶液法进行检验,经浸烘 5 次循环的失重率不应大于 8%;  
 ②对于惯用的砂源,可不进行表中 2、4、5 项检验;  
 ③轻物质指表观密度小于 2000kg/m<sup>3</sup>,如煤、贝壳等物质。

(2)碱含量的要求

海水环境工程中严禁采用活性细骨料,淡水环境工程中所用细骨料。经验证若具有活性时,应使用碱含量小于 0.6% 的水泥。

(3)级配的要求

细骨料的粗细度和级配分区宜符合下列规定:

①按细度模数  $M_x$  分为:

- 粗砂—— $M_x$  为 3.7 ~ 3.1;
- 中砂—— $M_x$  为 3.0 ~ 2.3;
- 细砂—— $M_x$  为 2.2 ~ 1.6;
- 特细砂—— $M_x$  为 1.5 ~ 0.7。

②级配分区应符合表 3-3 的要求。

细集料的颗粒级配区

表 3-3

筛孔尺寸(mm)	级 配 区		
	I 区	II 区	III 区
	累计筛余(%)		
5.00	15 ~ 0	15 ~ 0	15 ~ 0
2.50	35 ~ 5	25 ~ 0	15 ~ 0
1.25	65 ~ 35	50 ~ 10	25 ~ 0
0.63	85 ~ 71	70 ~ 41	40 ~ 16
0.315	95 ~ 80	92 ~ 70	85 ~ 55
0.16	100 ~ 90	100 ~ 90	100 ~ 90

注:①砂的实际颗粒级配与表中所列的累计筛余百分率相比,除 5.00mm 和 0.63mm 筛号外,允许稍有超出分界线,但其总量不宜大于 5%;  
 ②当使用 I 区砂,特别是当级配接近上限时,宜适当提高混凝土的砂率确保混凝土不离析;当使用 III 区砂时,应适当降低混凝土的砂率或掺入减水剂,提高拌和物的和易性并便于振实;  
 ③当砂的细度模数小于或等于 1.5 时,可参照有关规定执行;  
 ④I 区砂宜配低流动性混凝土,II 区砂宜配不同强度等级混凝土,III 区砂宜降低砂率。配不同强度等级的混凝土。当砂颗粒级配不合格时,经试验证明能确保工程质量时,方允许使用。



## (4) 使用海砂时,海砂含盐量的要求

①浪溅区、水位变动区的钢筋混凝土,海砂中的氯离子含量不宜超过 0.07% (占水泥重量的百分比计,下同)。当含量超过限值时,应通过淋洗,使降至此限值以下,如淋洗确有困难,可在所拌制的混凝土中掺入占水泥重量 0.6% ~ 1.0% 的亚硝酸钠或其他经论证的缓蚀剂。

注:如拌和用水和外加剂中,氯离子含量低于规定值时,砂的含盐限量可适当放宽。但应满足混凝土拌和物中氯离子最高限值的规定。

②采用碳素钢丝、钢绞线及钢筋永存应力大于 400MPa 的预应力混凝土不宜采用海砂,如受条件限制不得不采用海砂时,海砂中氯离子含量不宜超过 0.03% (占水泥重量的百分比计)

2.《海港工程混凝土结构防腐蚀规范》(JTJ 275—2000)和《水运工程质量控制标准》(JTJ 269—1996)对细集料的要求

(1)骨料应选用质地坚固耐久,具有良好级配的天然河砂、碎石或卵石。

(2)骨料的质量应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》的有关规定。

(3)细骨料不宜采用海砂。当受条件限制不得不采用海砂时,海砂带入浪溅区或水位变动区混凝土的氯离子量,对钢筋混凝土,不宜大于水泥质量的 0.07%;对预应力混凝土,不宜大于 0.03%。当超过上述限值时,应通过淋洗降低到小于此限值;当淋洗确有困难时,可在拌制的混凝土中掺入适量亚硝酸钙或其他经论证的阻锈剂。当拌和用水的氯离子含量不大于 200mg/L,外加剂的氯离子含量不大于水泥质量的 0.02% 时,细骨料的氯离子含量允许适当提高,但应满足混凝土拌和物中氯离子最高限值的规定。

(4)不得采用可能发生碱—骨料反应的活性骨料。

## 3.《建筑用砂》(GB/T 14684—2001)的要求

由于目前的《水运工程混凝土施工规范》较为陈旧,一些工程项目在建设过程中也采用较新的国际《建筑用砂》(GB/T 14684—2001)对砂子进行质量控制,本书也一并介绍该规范对砂子的质量要求。

## (1) 颗粒级配

砂的颗粒级配应符合表 3-4 的规定。

颗 粒 级 配

表 3-4

级配区 累计筛余 方筛孔	1	2	3
9.50mm	0	0	0
4.75mm	10 ~ 0	10 ~ 0	10 ~ 0
2.36mm	35 ~ 5	25 ~ 0	15 ~ 0
1.18mm	65 ~ 35	50 ~ 10	25 ~ 0
600 $\mu$ m	85 ~ 71	70 ~ 41	40 ~ 16
300 $\mu$ m	95 ~ 80	92 ~ 70	85 ~ 55
150 $\mu$ m	100 ~ 90	100 ~ 90	100 ~ 90

续上表

级配区 累计筛余 方筛孔	1	2	3
(1)砂的实际颗粒级配与表中所列数字相比,除4.75 mm和600 $\mu$ m筛档外,可以略有超出。但超出总量应小于5%。 (2)1区人工砂中150 $\mu$ m筛孔的累计筛余可以放宽到100~85,2区人工砂中150 $\mu$ m筛孔的累计筛余可以放宽到100~80,3区人工砂中150 $\mu$ m筛孔的累计筛余可以放宽到100~75。			

## (2)含泥量、石粉含量和泥块含量

天然砂的含泥量和泥块含量应符合表3-5的规定。

含泥量和泥块含量

表3-5

项 目	指 标		
	I类	II类	III类
含泥量(按质量计),%	<1.0	<3.0	<5.0
泥块含量(按质量计),%	0	<1.0	<2.0

人工砂的石粉含量和泥块含量应符合表3-6的规定。

石 粉 含 量

表3-6

项    目				指    标		
				I 类	Ⅱ类	Ⅲ类
1	亚 甲 蓝 试 验	MB 值<1.40 或合格	石粉含量 (按质量计),%	<3.0	<5.0	<7.01
2			泥块含量 (按质量计),%	0	<1.0	<2.0
3		MB 值≥1.40 或不合格	石粉含量 (按质量计),%	<1.0	<3.0	<5.0
4			泥块含量 (按质量计),%	0	<1.0	<2.0
根据使用地区和用途,在试验验证的基础上,可由供需双方协商确定。						

## (3)有害物质

砂不应混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣等杂物。砂中如含有云母、轻物质、有机物、硫化物及硫酸盐、氯盐等,其含量应符合表3-7的规定。

有 害 物 质 含 量

表3-7

项 目	指 标		
	I类	II类	III类
云母(按质量计),%	1.0	2.0	2.0
轻物质(按质量计),%	1.0	1.0	1.0
有机物(比色法)	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐(按SO <sub>3</sub> 质量计),%	0.5	0.5	0.5
氯化物(以氯离子质量计),%,<	0.01	0.02	0.06

## (4) 坚固性

天然砂采用硫酸钠溶液法进行试验,砂样经 5 次循环后其质量损失应符合表 3-8 的规定。

坚固性指标

表 3-8

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
质量损失, <	8	8	10

人工砂采用压碎指标法进行试验,压碎指标值应小于表 3-9 的规定。

压 碎 指 标

表 3-9

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
单级最大压碎指标%, <	20	25	30

## (5) 表观密度、堆积密度、空隙率

砂表观密度、堆积密度、空隙率应符合如下规定:表观密度大于  $2500 \text{ kg/m}^3$ ;松散堆积密度大于  $1350 \text{ kg/m}^3$ ;空隙率小于 47%。

## (6) 碱集料反应

经碱集料反应试验后,由砂制备的试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象,在规定的试验龄期膨胀率应小于 0.10%。

## 三、细集料的检验项目

## 1. 《水运工程混凝土施工规范》的规定

原材料进场后应按有关要求复验检查。

## 2. 《水运工程混凝土质量控制标准》的规定

骨料质量的复验应按下列规定进行:

(1) 来自采集场(生产厂)的骨料应附有质量证明书,根据需要按批检验其颗粒级配、含泥量及粗骨料的针片状颗粒含量。

(2) 对无质量证明书或其他来源的骨料,应按批检验其颗粒级配、含泥量及粗骨料的针、片状颗粒含量、压碎指标。必要时还应检验其他质量指标。

(3) 对海砂,还应按批检验其氯离子含量。

(4) 对已检验合格并堆放于厂(场)内或搅拌楼料仓内的骨料,可根据情况对其颗粒级配、含泥量和针、片状颗粒含量进行复验。

(5) 骨料质量检验结果不符合本标准规定的指标时,应采取措施,并经试验证明能确保工程质量时,方可使用。

## 3. 《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000) 的规定

所用的材料应有证明书或检验报告单,使用时应按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 进行检验,并按现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269) 进行质量控制,其质量应符合国家现行有关标准的规定,并满足设计要求。

## 4. 《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008) 规定

混凝土用细集料的必检项目有:颗粒级配、堆积密度、含泥量、泥块含量、氯离子含量。其

他检测项目有:有害物质含量、坚固性、碱活性。

抛回填和砌筑材料用砂的必检项目是:筛分、含泥量、渗透系数

四、细集料检验组批原则及取样方法

1. 组批原则

(1)《水运工程混凝土施工规范》规定:砂子每批或每周检查一次;

(2)《水运工程质量检验标准》规定:以同一产地、同一规格,每 400m<sup>3</sup> 或 600t 为一批,不足 400m<sup>3</sup> 或 600t 也按一批计;当质量比较稳定进料数量较大时,可定期检验。

2. 取样方法

1)《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270—98)的规定

(1)在料堆上取样时,取样部位应均匀分布。取样前先将取样部位表层铲除,然后从不同部位抽取大致等量的砂 8 份,组成一组样品。

(2)从皮带运输机上取样时,应用接料器在皮带运输机机尾的出料处定时抽取大致等量的砂 4 份,组成一组样品。

(3)从火车、汽车、货船上取样时,从不同部位和深度抽取大致等量的砂 8 份,组成一组样品。

(4)若检验不合格,应重新取样,对不合格项,进行加倍复验,若仍有一个试样不能满足要求,应按不合格品处理。

(5)每组样品的取样数量:对每一单项试验,应不小于表 3-10 的要求,须做几项试验时,如能保证样品经一项试验后不致影响另一项试验的结果,可用同一组样品进行几项不同的试验。

每一试验所需的最少取样数量 表 3-10

序 号	试 验 项 目	最少取样数量(g)
1	筛分析	4 400
2	表观密度	2 600
3	吸水率	4 000
4	堆积密度与空隙率	5 000
5	含水率	1 000
6	含泥量	4 400
7	泥块含量	10 000
8	有机物含量	2 000
9	云母含量	600
10	轻物质含量	3 200
11	坚固性	各粒径各 100
12	硫化物与硫酸盐含量	50
13	氯离子含量	2 000
14	碱活性	7 500

(6)样品的缩分:可选择分料器法或人工四分法。

用分料器法:将样品在潮湿状态下拌和均匀,然后通过分料器,取接料斗中的其中一份再次通过分料器。重复上述过程,直至把样品缩分到试验所需量为止。

人工四分法:将所取样品置于平板上,在潮湿状态下拌和均匀,并堆成厚度约为 20mm 的圆饼,然后沿互相垂直的两条直径把圆饼分成大致相等的四份,取其中对角线的两份重新拌匀,再堆成圆饼。重复上述过程,直至把样品缩分到试验所需量为止。

(7)堆积密度、人工砂坚固性检验所用试样可不经缩分,在拌匀后直接进行试验。

2)《建筑用砂》的取样规定

取样方法、样品处理等规定与《水运工程混凝土试验规程》同,只有试样数量上有些差别,见表 3-11。

单项试验取样数量
 表 3-11

序 号	试 验 项 目		最少取样数量(kg)
1	颗粒级配		4.4
2	含泥量		4.4
3	石粉含量		6.0
4	泥块含量		20.0
5	云母含量		0.6
6	轻物质含量		3.2
7	有机物含量		2.0
8	硫化物与硫酸盐含量		0.6
9	氯化物含量		4.4
10	坚固性	天然砂	8.0
		人工砂	20.0
11	表观密度	2.6	
12	堆积密度与空隙率	5.0	
13	碱集料反应	20.0	

### 五、细集料的质量检验方法

选择性质优良和合格的细集料是保证水运混凝土具有良好的耐久性和强度的重要条件,其质量检验方法应符合规范《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的要求。

1. 砂的筛分析实验

砂的筛分析试验又称筛分实验,是称取一定数量的砂样,在规定的标准套筛上进行筛分,分别测出砂样在各个筛上的存留质量,然后计算颗粒级配和细度模数。砂的细度模数是评价砂料粗细程度的重要指标,砂料的粗细程度对混凝土工作性影响很大,同时也是混凝土配合比调整的重要参数。砂的颗粒级配好,可以在水泥浆不变的情况下增大混凝土的流动性,换句话说,也可以在流动不变的情况下,减少水泥用量。

1) 试验仪器设备

试验筛:孔径为 10.0、5.00、2.50mm 的圆孔筛和孔径为 1.25、0.635、0.315、0.16 的方孔

筛,以及筛的底盘和盖各一只,筛框为 300mm 或 200mm。其产品质量要求应符合现行国家标准《试验筛》的规定。

其他设备包括:天平(称量 1000g,感量 1g)、摇筛机、烘箱( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ )以及浅盘和硬、软毛刷等。

## 2) 试样制备

用于筛分析的试样,其颗粒的公称粒径不应大于 10.0mm。试验前应先将来样通过公称直径 10.0mm 的筛,并计算筛余。称取经缩分后样品不少于 550g 两份,分别装入两个浅盘,在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的温度下烘干至恒重。冷却至室温备用。

## 3) 试验步骤

准确称取烘干试样 500g,置于按筛孔大小顺序排序(大孔在上、小孔在下)顺序排列的套筛的最上一只筛(即 5.00mm 筛孔)上;将套筛装入摇筛机内固紧,筛分 10min 左右,然后取出套筛,再按筛孔大小顺序,在清洁的浅盘上逐个进行手筛,直至每分钟的筛出量不超过试样总量的 0.1% 时为止;通过的颗粒并入下一只筛子,并和下一只筛子中的试样一起过筛,按这样顺序依次进行,直至所有的筛子全部筛完为止。

称取各筛筛余试样的质量(精确至 1g),所有各筛的分计筛余量和底盘中的剩余量之和与筛分前的试样总量相比,其相差不得超过 1%。

## 4) 筛分析试验结果的计算步骤

(1) 计算分计筛余(各筛上的筛余量除以试样总量的百分率),精确至 0.1%;

(2) 计算累计筛余百分率(该筛上的分计筛余百分率与大于该筛的各筛上的分计筛余百分率之和),精确至 0.1%;

(3) 根据各筛的累计筛余百分率评定该试样的颗粒级配分布情况。

(4) 砂的细度模数应按下式计算,精确至 0.01:

$$\mu_f = \frac{(\beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 + \beta_6) - 5\beta_1}{100 - \beta_1} \quad (3-1)$$

式中: $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ ——公称直径 5.00、2.50、1.25、0.630、0.315、0.160mm 各筛上的累计筛余百分率。

(5) 筛分试验应采用两个试样平行试验。细度模数以两次试验结果的算术平均值为测定值(精确至 0.1)。如两次试验所得的细度模数之差大于 0.20 时,应重新取试样进行试验。

## 2. 砂的表观密度测定

砂料的表观密度大小取决于组成的矿物密度和内部孔隙的多少,多数天然砂的表观密度为  $2600 \sim 2700 \text{ kg/m}^3$ 。密度大则说明颗粒坚硬致密,可配置高强度混凝土。表观密度也是采用绝对体积法计算每立方米混凝土材料用量的基本数据。

### 1) 试样制备应符合的规定

经缩分后不应少于 650g 的样品装入浅盘,在温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  烘箱中烘干至恒重,并在干燥器内冷却至室温。

### 2) 标准法表观密度试验的步骤

(1) 称取烘干的试样 300g( $m_0$ ),装入盛有半瓶冷开水的容量瓶中。

(2) 摇转容器瓶,使试样在水中充分搅动以排除气泡,塞紧瓶塞,静置 24h。然后用滴管添水,使水面与瓶颈刻度线平齐,再塞紧瓶塞,擦干瓶外水分,称其质量( $m_1$ )。

(3) 倒出瓶中的水和试样,将瓶的内外表面洗净,再向瓶内注入与水温相差不超过  $2^\circ\text{C}$  的

冷水至瓶颈刻度线。塞紧瓶塞,擦干容量瓶外水分,称质量( $m_2$ )。

(4)在砂的表观密度实验过程中应测量并控制水的温度,试验的各项称量可以在 15 ~ 25℃ 的温度范围内进行。从试样加水静置的最后 2h 起直至实验结束,其温度相差不应超过 2℃。

#### 4) 实验结果整理

表观密度  $\rho$  应按下式计算(精确至  $10\text{kg/m}^3$ ):

$$\rho = \left( \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1} - \alpha_1 \right) \times 1\,000 \quad (3-2)$$

式中: $\rho$ ——表观密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$m_0$ ——烘干试样的质量, g;

$m_1$ ——试样,水及容量瓶的总质量, g;

$m_2$ ——水及容量瓶总质量, g;

$\alpha_1$ ——考虑称量时的水温对表观密度影响的修正系数。

以两次实验结果的算术平均值作为测定值。如两次结果之差大于  $20\text{kg/m}^3$  时,应重新取样进行试验。

### 3. 砂的堆积密度

#### (1) 试样制备

用浅盘装样品约 3L,在温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  烘箱中烘干至恒重,取出并冷却至室温,再用 5mm 孔径的筛子过筛,分成大致相等的两份备用。试样烘干后如有结块,应在试验前先予捏碎。

#### (2) 实验步骤

取试样一份,用漏斗或铝制料勺,将它徐徐装入容量筒(漏斗出料口或料勺距容量筒筒口不应超过 50mm)直至试样装满并超出容量筒筒口。然后用直尺将多余的试样沿筒口中心线向相反方向刮平,称其质量( $m_2$ )。

(3) 试验结果计算应符合下列规定:

$$\rho_1 = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1\,000 \quad (3-3)$$

式中: $\rho_1$ ——堆积密度或紧密密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$m_1$ ——容量筒质量, kg;

$m_2$ ——容量筒和试样总质量, kg;

$V$ ——容量筒的容积, L。

计算结果精确至  $10\text{kg/m}^3$ ,两次实验结果的算术平均值作为测定值。

### 4. 砂的含水率

砂的含水率是工地现场、实验室进行配合比设计和施工配合比计算的重要参数,含水率检验的准确与否直接关系到所配制混凝土的强度、工作性等指标能否达到目标值。

砂的含水状态有 4 种,如图 3-1 所示。

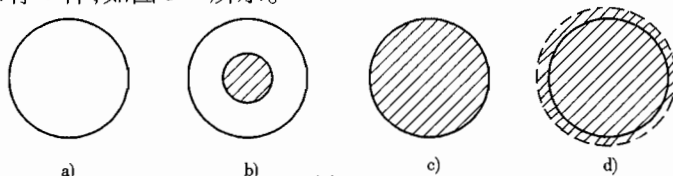


图 3-1

a) 绝干状态; b) 气干状态; c) 饱和面干状态; d) 湿润状态

绝干状态:砂粒内外不含任何水,通常在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  条件下烘干而得。

气干状态:砂粒表面干燥,内部孔隙中部分含水。指室内或室外(天晴)空气平衡的含水状态,其含水量的大小与空气相对湿度和温度密切相关。

饱和面干状态:砂粒表面干燥内部孔隙全部吸水饱和。水利工程上通常采用饱和面干状态计量砂用量。

湿润状态:砂粒内部吸水饱和,表面还含有部分表面水。施工现场,特别是雨后常出现此种状况,搅拌混凝土中计量砂用量时,要扣除砂中的含水量;同样,计量水用量时,要扣除砂中带入的水量。

绝干状态下砂的含水率试验如下:

称取试样 500g,分别放入已知质量( $m_1$ )的干燥容器中,记下每盘试样与容器的总质量( $m_2$ ),将容器连同试样放入  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重,并在干燥器中冷却至室温后,称取试样与容器的总质量( $m_3$ )。

吸水率  $\omega_{wc}$  应按下式计算(精确至 0.1%):

$$\omega_{wc} = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100\% \quad (3-4)$$

式中: $m_1$ ——容器质量,g;

$m_2$ ——未烘干的试样与容器总质量,g;

$m_3$ ——烘干后的试样与容器总质量,g。

计算结果精确至  $10\text{kg/m}^3$ ,两次实验结果的算术平均值作为测定值。

## 5. 含泥量

砂的含泥量一般指砂中粒径小于  $0.080\text{mm}$  颗粒的含量。砂中所含的泥附着在集料表面,不利于集料与水泥的粘结,将影响混凝土强度及耐久性;若砂的含泥量超过标准要求时,对混凝土的强度、干缩、徐变、抗冻及抗冲磨等性能均会产生不利的影响。因此为提高混凝土质量应尽量减少砂的含泥量。

### 1) 试样制备

将样品在潮湿状态下用四分法缩分至  $1\ 100\text{g}$ ,置于温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重,冷却至室温后,立即称取约  $400\text{g}$ ( $m_0$ )的试样两份备用。

### 2) 试验步骤

(1)取烘干的试样一份置于容器中,并注入饮用水,使水面高出砂面约  $150\text{mm}$  充分拌混均匀后,浸泡 2h,然后,用手在水中淘洗试样,使尘屑、淤泥和粘土与砂粒分离,并使之悬浮水中,缓缓地将浑浊液倒入  $1.25\text{mm}$  及  $0.080\text{mm}$  的套筛( $1.25\text{mm}$  筛放置上面)上,滤去小于  $0.080\text{mm}$  的套筛( $1.25\text{mm}$  筛放置上面)上,滤去小于  $0.080\text{mm}$  的颗粒,试验前筛子的两面应先用水湿润,在整个试验过程中应注意避免砂粒丢失。

(2)再次加水于筒中,重复上述过程,直至筒内洗出的水清澈为止。

(3)用水冲洗剩留在筛上的细粒,并将  $0.080\text{mm}$  筛放在水中(使水面略高于筛中砂粒的上表面)来回摇动,以充分洗除小于  $0.080\text{mm}$  的颗粒。然后将两只筛上剩留的颗粒和筒中已经洗净的试样一并装入浅盘,置于温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重。取出冷却至室温后,称试样的质量( $m_1$ )。

### 3) 结果整理



砂中含泥量应按下式计算(精确至 0.1%):

$$\omega_e = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (3-5)$$

式中:  $m_0$ ——试验前的烘干试样质量, g;

$m_1$ ——试验后的烘干试样质量, g。

以两个试样试验结果的算术平均值作为测定值。两次结果的差值超过 0.5% 时, 应重新取样进行试验。

#### 6. 砂中泥块含量试验

泥块含量是指砂中粒径大于 1.25mm, 经水洗、手捏后变成小于 0.63mm 颗粒的含量。砂中的泥块的危害比附着在表面的泥的危害更大。因泥块有湿胀干缩的特点, 在混凝土拌和水过程中会吸收大量的水分, 体积膨胀, 当混凝土中的水分慢慢蒸发后, 泥块会发生干缩, 形成混凝土中的空洞, 而且泥块本身没有粘接能力, 会进一步造成混凝土的强度、耐久性能下降。因此为提高混凝土质量应尽量减少砂中的泥块含量。

##### 1) 试样制备

将样品在潮湿状态下用四分法缩分至约 3000g, 置于温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重, 冷却至室温后, 用 1.25mm 筛筛分, 取筛上的砂 400g 分为两份备用。

##### 2) 泥块含量试验的步骤

(1) 称取试样 200g( $m_1$ ) 置于容器中, 并注入饮用水, 使水面高出砂面约 150mm。充分拌混均匀后, 浸泡 24h, 然后用手在水中碾碎泥块, 再把试样放在 0.630mm 筛上, 用水淘洗, 直至水清澈为止。

(2) 保留下来的试样应小心地从筛里取出, 装入浅盘后, 置于温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  烘箱中烘干至恒重, 冷却后称重( $m_2$ )。

##### 3) 试验结果整理

砂中泥块含量, 应按下式计算(精确至 0.1%):

$$\omega_{\text{CL}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (3-6)$$

式中:  $\omega_{\text{CL}}$ ——泥块含量(%);

$m_1$ ——实验前的干燥试样质量, g;

$m_2$ ——实验后的干燥试样质量, g。

以两个试样试验结果的算术平均值作为测定值。两次结果的差值超过 0.4% 时, 应重新取样进行试验。

#### 7. 砂中有机物含量试验

砂中有机物主要来自于腐化变质的动植物分解物, 有机物含量高的砂一般来自于离岸边较近的河道或停放较长时间的沙场。砂中有机物含量试验一般采用比色法。该方法适用于近似地测定天然砂中的有机物含量是否达到影响混凝土质量的程度。

##### 1) 试验步骤

(1) 筛去样品中的 5mm 以上颗粒, 用四分法缩分至约 500g, 风干备用。

(2) 向 250mL 量筒中倒入试样至 130mL 刻度处。再注入浓度为 3% 氢氧化钠溶液至 200mL, 刻度处, 剧烈摇动后静置 24h。

(3) 比较试样上部溶液和新配制标准溶液的颜色。盛装标准溶液的盛有试样的筒容积应一致。

## 2) 结果评定

(1) 若试样上部的溶液颜色浅于标准溶液颜色时,则表示试样有机物含量鉴定合格;

(2) 当两种溶液的颜色接近,应把试样连同上部溶液一起倒入烧杯中,放在 60 ~ 70℃ 的水浴中,加热 2 ~ 3h,然后再与标准溶液比较。

(3) 当溶液颜色深于标准色时,以按下法进一步试验:

取试样一份,用 3% 的氢氧化钠溶液洗除有机杂质,再用清水淘洗干净,直至试样上部溶液浅于标准溶液的颜色,然后用洗除有机质和未洗除的试样分别按现行标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 中的规定,配制两种水泥砂浆,测定 28d 的抗压强度,当已经洗除有机杂质的砂的砂浆强度与经洗除有机物后的砂的砂浆不低于 0.95 时,则此砂可以采用,否则不可采用。

## 8. 砂中轻物质含量试验

砂中的轻物质是指砂中相对密度小于 2 000kg/m<sup>3</sup> 的物质,如煤、褐煤和木材等。这些杂质是不安定的,对混凝土强度造成不利影响,煤还可能膨胀而引起混凝土的破裂,它如以细颗粒形式大量地存在,会妨碍水泥净浆的硬化过程。下列方法适用于测定砂中轻物质的近似含量。

### 1) 实验步骤

(1) 配置(密度为 1.95 ~ 2.00kg/L)的重液:向 1 000mL 量杯中加水至 600mL 刻度处,再加入 1 500g 氯化锌,用玻璃棒搅拌使氯化锌全部溶解,等冷却至室温后(氯化锌在溶解过程中将放出大量热)将部分溶液倒入 250mL 量筒中测其相对密度。

(2) 将砂样倒入盛有重液(约 500mL)的量杯中,用玻璃棒充分搅拌,使试样中的轻物质与砂分离,静置 5min 后,将浮起的轻物质连同部分高密度溶液倒入网篮中,轻物质留在网篮上,而重液通过网篮流入另一容器,倾倒重液时应避免带出砂粒,一般当重液表面与砂表面相距约 20 ~ 30mm 时即停止倾倒,流出的重液重新倒回盛试样的量杯中,重复上述过程,直至无轻物质浮起为止。

(3) 用清水洗净留在网篮中的物质,然后将它倒入烧杯中,在 105 ± 5℃ 的烘箱中烘干至恒重,用感量 0.1g 的天平称出轻物质与烧杯的总质量( $m_1$ )。

### 2) 结果计算与评定

砂中轻物质含量  $\omega_1$ ,按下式计算,精确至 0.1%:

$$\omega_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100\% \quad (3-7)$$

式中: $m_1$ ——烘干的轻物质与烧杯的总质量,g;

$m_2$ ——烧杯的质量,g;

$m_0$ ——试验前烘干的试样质量,g。

轻物质含量取两次试验结果的算术平均值作为测定值。

## 9. 砂的坚固性试验

坚固性是指砂在气候、环境变化或其他物理因素作用下抵抗破裂的能力。本试验是用硫酸钠饱和溶液渗入形成结晶时的裂张力对砂的破坏程度,来间接地判断其坚固性。

## 1) 实验步骤

(1) 称取公称粒级为 0.315 ~ 0.630mm、0.630 ~ 1.25mm、1.25 ~ 2.50mm、2.50 ~ 5.00mm 的试样各 100g, 分别装入网篮中并浸入盛有硫酸钠溶液的容器中, 溶液体积应不小于砂样总体积的 5 倍, 其温度应保持在 20 ~ 25℃ 范围内, 三角网篮浸入溶液时应先上下升降 25 次, 以排除试样中的气泡。然后静置于该容器中, 此时, 网篮底面应距容器底面约 30mm (由网篮脚高控制), 网篮之间的间距应不小于 30mm, 试样表面至少应在液面以下 30mm。

(2) 浸泡 20h 后, 从溶液中提出网篮, 放在温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘烤 4h, 至此, 完成了第一次试验循环。待试样冷却至 20 ~ 25℃ 后, 即开始第二次循环。从第二次循环开始, 砂样浸泡和烘烤时间均为 4h。

(3) 第五次循环完毕后, 将试样置于 25 ~ 30℃ 的清水中洗净硫酸钠, 再在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重。取出并冷却至室温后, 用孔径为试样粒级下限的筛, 过筛称量各粒级试样试验后的筛余量。

## 2) 结果整理

试样中各粒级颗粒的分计重量损失百分率  $\delta_{ji}$  按下式计算 (准确至 1%) :

$$\delta_{ji} = \frac{m_j - m_i}{m_j} \times 100\% \quad (3-8)$$

式中:  $m_j$ ——每一粒级试样试验前的质量, g;

$m_i$ ——经硫酸钠溶液试验后, 每一粒级筛余颗粒的烘干质量, g。

粒径 0.315 ~ 5.0mm 粒级试样的总量损失百分率  $\delta_j$  按下式计算 (准确至 1%) :

$$\delta_j = \frac{a_1\delta_{j1} + a_2\delta_{j2} + a_3\delta_{j3} + a_4\delta_{j4}}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4} \times 100 \quad (3-9)$$

式中:  $a_1, a_2, a_3, a_4$ ——0.315 ~ 0.63mm; 0.63 ~ 1.25mm; 1.25 ~ 2.50mm 和 2.50 ~ 5.00mm 粒级在筛余小于 0.315 及大于 5.00mm 颗粒后的原试样中所占的百分率;

$\delta_{j1}, \delta_{j2}, \delta_{j3}, \delta_{j4}$ ——0.315 ~ 0.63mm; 0.63 ~ 1.25mm; 1.25 ~ 2.50mm 和 2.50 ~ 5.00mm 各粒级的分计质量损失百分率 (%)。

## 10. 砂中云母含量试验

本方法适用于测定砂中云母的近似百分含量。试验时, 按规定取样, 用四分法缩分至 30g, 在烘箱中  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘干至恒重, 冷却至室温, 称取砂样 10g 倒入搪瓷盘中, 在放大镜下观察, 用钢针将砂中所有云母全部挑出, 称取所挑出云母量  $g$ 。

云母含量  $Q_c$  应按下式计算, 精确至 0.1% :

$$Q_c = \frac{g}{G} \times 100\% \quad (3-10)$$

式中:  $Q_c$ ——云母含量, %;

$G$ ——砂样质量, g;

$g$ ——云母质量, g。

## 11. 砂中硫酸盐及硫化物含量试验

颗粒状硫化物或硫酸盐及有机质对水泥有腐蚀作用。特别是处于潮湿环境中的混凝土, 其中硫化物或硫酸盐慢慢分解产生膨胀, 造成混凝土破坏。检验砂中硫酸盐及硫化物含量试验步骤如下:

## 1) 试验步骤

(1) 精确称取砂粉状试样 1g, 放入 300mL 烧杯中, 加入 30 ~ 40mL 蒸馏水及 10mL 盐酸 (1+1), 加热至微沸, 并保持微沸 5min, 使试样充分分解后取下, 用中速滤纸过滤, 用温水洗涤 10 ~ 12 次。

(2) 调整滤液体积至 200mL, 煮沸, 在搅拌下滴加 10mL 的 10% 氯化钡溶液, 并将溶液煮沸数分钟, 然后移至温热处静置至少 4h (此时溶液体积应保持在 200mL), 用慢速滤纸过滤, 以温水洗涤至氯离子反应 (用硝酸银溶液检验)。

(3) 将沉淀物及滤纸一并移入已恒量的瓷坩埚 ( $m_1$ ) 中, 灰化后在 800℃ 高温炉内灼烧 30min。取出瓷坩埚, 置于干燥器中冷却至室温后, 称量, 如此反复灼烧, 直至恒重 ( $m_2$ )。

## 2) 结果计算与评定

水溶性硫化物和硫酸盐含量 (以  $\text{SO}_3$  计) 应按下式计算 (精确至 0.01%) :

$$\omega_{\text{SO}_3} = \frac{(m_2 - m_1) \times 0.343}{m} \times 100\% \quad (3-11)$$

式中:  $\omega_{\text{SO}_3}$  —— 硫酸盐含量, %;

$m$  —— 试样质量, g;

$m_1$  —— 瓷坩埚的质量, g;

$m_2$  —— 瓷坩埚质量和试样质量, g。

取两次试验的算术平均值作为测定值, 若两次试验结果之差大于 0.15 % 时, 须重新试验。

## 12. 骨料碱活性试验 (砂浆长度法, 可检验硅质粗细骨料)

混凝土中碱骨料反应因其反应时间长、不易察觉、造成危害极大, 越来越受到人们的重视。碱骨料反应有三个必要条件: 混凝土中的碱含量、活性骨料成分、水环境。为了抑制碱骨料反应, 应从这三个方面入手: 降低混凝土中的碱含量, 不使用含有活性成分的骨料, 敷设防水层。集料的碱活性试验即为检验硅质骨料与水泥 (混凝土) 中的碱产生潜在反应的危害性。

## 1) 试件制作

(1) 水泥: 水泥含碱量为 1.2%, 低于此值可掺浓度 10% 的 NaOH 溶液, 将系统的碱含量调至水泥量的 1.2%, 对具体工程如所用水泥含碱量高于此值, 则用工程所使用的水泥。

(2) 骨料: 将试样缩分至约 5kg, 破碎筛分后, 各粒级都要在筛上用水冲净粘附在骨料上的淤泥和细粉, 然后烘干备用。

(3) 配合比: 水泥与骨料的重量比为 1:2.25。一组 3 个试件共需水泥 600g, 骨料 1350g。砂浆用水量按《水泥胶砂流动度测定方法》(GB 2419) 选定, 但跳桌跳动次数改为 6s 跳动 10 次, 以流动度在 105 ~ 120mm 为准。

## 2) 实验步骤

(1) 按标准方法制作 40mm × 40mm × 160mm 砂浆试件。将试件成型完毕后, 带模放入标准养护室养护 24 ± 4h 后脱模, 脱模后立即测量试件的长度。此长度为试件的基准长度。测长应在 20 ± 2℃ 的恒温室中进行, 每个试件至少重复测试两次, 取差值在仪器精度范围内的 2 个读数的平均值作为长度测定值。待测的试件须用湿布覆盖, 以防止水分蒸发。

(2) 测量后将试件放入养护筒中, 盖严后放入 40 ± 2℃ 的养护室里养护。

(3) 测长龄期自测基长时算起 2 周、4 周、8 周、3 个月、6 个月, 如有必要还可适当延长。

在测长前一天,应把养护筒从  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  养护室中取出,放入  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  的恒温室。试件的测长方法与测基长时相同,测量完毕后,应将试件调头放入养护筒中,盖好筒盖,放回  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  的养护室继续养护到下一测试龄期。

(4) 在测量时应对试件进行观察,内容包括试件变形、裂缝、渗出物,特别要注意有无胶体物质,并作详细记录。

### 3) 结果处理

试件中的膨胀率应按下式计算(精确至 0.01%):

$$\varepsilon_t = \frac{L_t - L_0}{L_0 - 2L_d} \times 100\% \quad (3-12)$$

式中:  $\varepsilon_t$ ——试件在  $t$  天龄期的膨胀率, %;

$L_t$ ——试件在  $t$  天龄期的长度, mm;

$L_0$ ——试件的基准长度, mm;

$L_d$ ——测头(即埋钉)的长度, mm。

以三个试件膨胀率的平均值作为某一龄期膨胀率的测定值。

### 4) 结果评定

任一试件膨胀率与平均值均应符合下列规定:

(1) 当平均膨胀率小于或等于 0.05% 时,其差值均应小于 0.01%;

(2) 当平均膨胀率大于 0.05% 时,单个测值与平均值的差值均应小于平均值的 20%;

(3) 当三个试件的膨胀率均大于 0.10% 时,无精度要求;

(4) 当不符合上述要求时,去掉膨胀率最小的,用剩余二个的平均值作为该龄期的膨胀率。

对于砂料,当砂浆半年膨胀率小于 0.10% 或 3 个月的膨胀率小于 0.05% (只有在缺少半年膨胀率时才有效) 时,则判为无潜在危害。反之,如超过上述数值,则判为有潜在危害。

对于石料,当砂浆半年膨胀率低于 0.10% 时,或 3 个月膨胀率低于 0.05% 时(只有在缺半年膨胀率资料时才有效),可判为无潜在危害。反之,如超过上述数值,应判为具有潜在危害。

### 13. 砂中氯离子含量试验

砂中含有氯离子会对钢筋混凝土中的钢筋造成锈蚀,氯离子可以破坏钢材的钝化膜,同时还会降低钢筋附近的 pH 值使锈蚀速度进一步加快。砂中氯离子含量检验方法如下:

#### 1) 试验步骤:

(1) 取海砂 2kg 先烘至恒重,经四分法缩至 500g ( $m$ )。装入带塞磨口瓶中,用容量瓶取 500mL 蒸馏水,注入磨口瓶内,加上塞子,摇动一次后,放置 2h,然后每隔 5min 摇动一次,共摇动 3 次,使氯盐充分溶解。将磨口瓶上部已澄清的溶液过滤,然后用移液管吸取 50mL 滤液,注入到三角瓶中,再加入浓度为 5% 的铬酸钾指示剂 1mL,用 0.01mol/L 硝酸银标准溶液滴定至呈现砖红色为终点,记录消耗的硝酸银标准溶液的毫升数( $V_1$ )。

(2) 空白试验:用移液管准确吸取 50mL 蒸馏水到三角瓶内。加入 5% 铬酸钾指示剂,并用 0.01mol/L 硝酸银标准溶液滴定至溶液呈现砖红为止,记录此点消耗的硝酸银标准溶液的毫升数( $V_2$ )。

## 2) 试验结果处理

砂中氯离子含量应按下式计算(精确至 0.001%):

$$\omega_{\text{Cl}} = \frac{C_{\text{AgNO}_3} (V_1 - V_2) \times 0.0355 \times 10}{m} \times 100\% \quad (3-13)$$

式中:  $C_{\text{AgNO}_3}$ ——硝酸银标准溶液的浓度, mol/L;

$V_1$ ——样品滴定时消耗的硝酸银标准溶液的的体积, mL;

$V_2$ ——空白试验时消耗的硝酸银标准溶液的的体积, mL;

$m$ ——试样质量, g。

## 第二节 粗 集 料

### 一、粗集料的定义和分类

公称粒径大于 5.0mm 的集料称为粗集料。常用的有碎石及卵石两种。碎石是天然岩石或卵石经机械破碎、筛分制成的, 粒径大于 5.00mm 的岩石颗粒。卵石是由自然条件作用形成的, 粒径大于 5.00mm 的岩石颗粒。碎石外形粗糙能与水泥浆紧密结合, 用碎石制成的混凝土强度比卵石混凝土更高; 卵石外形光滑, 拌制混凝土时, 相对移动容易, 混凝土的和易性更好。在实际工程中, 采用碎石还是卵石除了要考虑混凝土的质量要求以外, 亦需考虑采石场与施工场地的运距问题。大型工程在进行工程可行性研究期间往往首先要对周边石料来源地及石料品质进行详尽分析。

质量状态不同的粗集料适合用于配制性能要求不同的水泥混凝土。依据《建筑用碎石、卵石》(GB/T 14685—2001) 的规定, 按卵石、碎石技术要求分为 I 类、II 类、III 类。I 类宜用于强度等级大于 C60 的混凝土; II 类宜用于强度等级 C30 ~ C60 及抗冻、抗渗或其他要求的混凝土; III 类宜用于强度等级小于 C30 混凝土。

### 二、粗集料的质量要求

#### (一) 质量要求

按《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)、《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269—96)、《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685—2001) 中的规定, 对普通混凝土用粗骨料, 主要应控强度、软弱颗粒含量、针片状含量、山皮水锈含量、杂质或有害物质含量、坚固性及碱含量等指标。

#### (二) 具体规范对粗骨料的质量要求

##### 1. 《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268) 对粗集料的规定

##### 1) 粗骨料的质量应符合下列规定:

##### (1) 强度要求

配制混凝土应采用质地坚硬的碎石、卵石或碎石与卵石的混合物作为粗骨料, 其强度可用岩石抗压强度和压碎指标两种方法进行检验。在选择采石场或对粗骨料强度有严格要求或对质量有争议时, 宜用岩石抗压强度作检验; 对经常性的石料质量控制, 则可用压碎指标进行检验, 其强度值或压碎指标宜按表 3-12 的规定采用。

岩石的抗压强度或压碎指标要求

表 3-12

岩石品种	混凝土等级	岩石的立方体抗压强度 (MPa)	碎石压碎指标值 (%)
水成岩	C60 ~ C40	$\geq 80$	$\leq 10$
	C35 ~ C10	$\geq 60$	$\leq 16$
变质岩或深成的火成岩	C60 ~ C40	$\geq 100$	$\leq 12$
	C35 ~ C10	$\geq 60$	$\leq 20$
喷出的火成岩	C60 ~ C40	$\geq 120$	$\leq 13$
	C35 ~ C10	$\geq 80$	$\leq 30$

注:水成岩包括石灰岩、砂岩等;变质岩包括片麻岩、石英岩等;深成的火成岩包括花岗岩、正长岩、闪长岩和橄榄岩等;喷出的火成岩包括玄武岩和辉绿岩等。

卵石的强度用压碎指标值表示,其压碎指标值宜按表 3-13 的规定采用。

卵石的压碎指标值

表 3-13

混凝土强度等级	C60 ~ C40	C35 ~ C10
压碎指标值 (%)	$\leq 12$	$\leq 16$

(2) 卵石中软弱颗粒含量的要求(表 3-14)。

表 3-14

指标名称	有抗冻性要求	无抗冻性要求
软弱颗粒含量 (以重量百分比计)	$\leq 5$	$\leq 10$

(3) 粗骨料的其他物理性能要求:宜符合表 3-15 的要求。

粗骨料物理性能要求

表 3-15

指标名称	有抗冻要求		无抗冻要求	
	$\geq C30$	$< C30$	$\geq C30$	$< C30$
针片状颗粒含量(以重量百分计)	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 15$	$\leq 25$
山皮水锈颗粒含量(以重量百分计)	$\leq 25$		$\leq 30$	
颗粒的单位重量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\geq 2\ 300$		$\geq 2\ 300$	

注:①针片颗粒是指颗粒的长度大于该颗粒所属粒级的平均粒径 2.4 倍者;片状颗粒是指颗粒的厚度小于平均粒径 0.4 倍者。平均粒径是指该粒级上、下限粒径的平均值;

②山皮水锈颗粒是指风化面积超过 1/6 ~ 1/4 的颗粒;

③用卵石或卵石与碎石混合物配制受拉、受弯构件的混凝土时,应进行混凝土的抗拉强度试验,若试验结果不合格,则应采取相应措施提高其抗拉强度;

④对于有抗冻要求或大于、等于 C30 的混凝土,如对所粗骨料的坚固性有怀疑时,应用硫酸钠溶液法进行检验,经浸烘 5 次循环后的失重率应分别不大于 3% 或 5%。

2) 粗骨料的杂质含量限值应符合表 3-16 的要求。

粗骨料杂质含量限值

表 3-16

项次	杂质名称	有抗冻性要求	无抗冻性要求	
1	总含泥量 (以重量百分比计)	$\leq 0.7$	$\geq C30$	$< C30$
			$\leq 1.0$	$\leq 2.0$
2	水溶性硫酸盐及硫化物 (以 $\text{SO}_3$ 的重量百分比计)	$\leq 0.5$	$\leq 1.0$	

续上表

项 次	杂 质 名 称	有抗冻性要求	无抗冻性要求
3	有机物含量	用比色法试验,颜色不宜深于标准色。当深于标准色时,应进行混凝土对比试验,其强度降低率不应大于5%	

注:①粗骨料中不得混入煅烧过的石灰石块、白云石块或大于1.25mm的粘土团块。骨料颗粒表面不宜附有粘土薄膜;  
②对于惯用的石矿,可不进行表中第2、3项检验;  
③如含泥基本是非粘土质的石粉时,对无抗冻要求的混凝土所用粗骨料的总含泥量可由1.0%、2.0%分别提高到1.5%、3.0%。

3)粗骨料的粒径应符合下列要求:

- (1)不大于80mm;
- (2)不大于构件截面最小尺寸的1/4;
- (3)不大于钢筋最小净距的3/4;

(4)当保护层厚度为50mm时,不大于混凝土保护层厚度的4/5;在南方地区浪溅区不大于混凝土保护层厚度的2/3。

注:对于厚度为100mm和小于100mm混凝土板,可采用最大粒径不大于1/2板厚的骨料。

4)海水环境工程中严禁采用活性粗骨料。淡水环境工程中所用粗骨料,经检验若具有活性时,应使用碱含量小于0.6%的水泥。

5)粗骨料的颗粒级配应符合表3-17的要求。

当最大粒径等于或小于40mm时,如果级配适当,可不分级,但对装配式薄壁结构所用的粗骨料,要求通过1/2最大粒径的筛余率为30%~60%。

在保证混凝土不离析的情况下,可采用中断级配。根据粗骨料的开采和制备的具体情况,也可采用其他分级方法,但在确定各粒径级配的数量尺寸时,应保证粗骨料在运输和堆放时不发生显著分离现象。

碎石或卵石的颗粒级配范围 表 3-17

级配情况	公称粒径 (mm)	累计筛余量(按重量计)(%)											
		筛孔尺寸(圆孔筛)(mm)											
		2.5	5	10	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
连接粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0								
	5~16	95~100	90~100	30~60	0~10	0							
	5~20	95~100	90~100	40~70		0~10	0						
	5~25	95~100	90~100		30~70		0~5	0					
	5~31.5	95~100	90~100	70~90		15~45		0~5	0				
	5~40		95~100	75~90		30~65			0~5	0			
单粒级	10~20		95~100	85~100		0~15	0						
	16~31.5		95~100		85~100			0~10	0				
	20~40			95~100		80~100			0~10	0			
	31.5~63				95~100			75~100	45~75		0~10	0	
	40~80					95~100			70~100		30~60	0~10	0

注:公称粒级的上限为该粒径级的最大粒径。



2.《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269—1996)和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)对粗集料的规定

(1)混凝土所用骨料应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的规定。

(2)粗骨料的最大粒径应符合下列要求:

不大于80mm;

不大于构件截面最小尺寸的1/4;

不大于钢筋(包括预应力筋)最小净距的3/4;

对于海水港,在浪溅区不大于保护层厚度的2/3,当保护层厚度为50mm时,不大于4/5;在水位变动区及大气区不大于保护层厚度的4/5。

(3)对所用骨料的活性有怀疑时,应按有关规范检验其活性。

3.《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685—2001)的规定

由于目前的《水运工程混凝土施工规范》较为陈旧,一些工程项目在建设过程中也采用较新的国际《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685—2001)对砂子进行质量控制,本书也一并介绍该规范对卵石、碎石的质量要求。

1)分类:分为卵石和碎石。

2)规格:按卵石、碎石粒径尺寸分为单粒粒级和连续粒级。亦可以根据需要采用不同单粒级卵石、碎石混合成特殊粒级的卵石、碎石。

3)类别:按卵石、碎石技术要求分为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类。

4)用途

Ⅰ类宜用于强度等级大于C60的混凝土,Ⅱ类宜用于强度等级C30~C60及抗冻、抗渗或其他要求的混凝土;Ⅲ类宜用于强度等级小于C30混凝土。

5)技术要求

(1)颗粒级配

卵石和碎石的颗粒级配应符合表3-18的规定。

颗 粒 级 配

表 3-18

方筛 (mm)		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.1	31.5	37.5	53.0	63.0	75.0	90
公称 粒径(mm)		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.1	31.5	37.5	53.0	63.0	75.0	90
连续粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0								
	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0							
	5~20	95~100	90~100	40~80		0~10	0						
	5~25	95~100	90~100		30~70		0~5	0					
	5~31.5	95~100	90~100	70~90		15~45		0~5	0				
	5~40		95~100	70~90		30~65		0~5	0				
单粒粒级	10~20		95~100	85~100		0~15	0						
	16~31.5		95~100		85~100			0~10	0				
	20~40			95~100		80~100			0~10	0			
	31.5~63				95~100			75~100	45~75		0~10	0	
	40~80					95~100			70~100		3~60	0~10	0

## (2) 含泥量和泥块含量

卵石、碎石的含泥量和泥块含量应符合表 3-19 的规定。

含泥量和泥块含量

表 3-19

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
含泥量(按质量计), %	<0.5	<1.0	<1.5
泥块含量(按质量计)	0	<0.5	<0.7

## (3) 针片状颗粒含量

卵石和碎石的针片状颗粒含量应符合表 3-20 的规定。

针片状颗粒含量

表 3-20

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
针片状颗粒(按质量计), % <	5	15	25

## (4) 有害物质

卵石和碎石中不应混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块和炉渣等杂物。其有害物质含量应符合表 3-21 的规定。

有害物质含量

表 3-21

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
有机物	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐(按 $\text{SO}_3$ 质量计), % <	0.5	1.0	1.0

## (5) 坚固性

采用硫酸钠溶液法进行试验, 卵石和碎石经 5 次循环后, 其质量损失应符合表 3-22 的规定。

坚固性指标

表 3-22

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
质量损失, %	5	8	12

## (6) 强度

## ① 岩石抗压强度

在水饱和状态下, 其抗压强度火成岩应不小于 80MPa, 变质岩应不小于 60MPa, 水成岩应不小于 30MPa。

## ② 压碎指标

压碎指标值应小于表 3-23 的规定。

压 碎 指 标

表 3-23

项 目	指 标 (%)		
	I 类	II 类	III 类
碎石压碎指标, <	10	20	30
卵石压碎指标, <	12	16	16

## (7) 表观密度、堆积密度、空隙率

表观密度、堆积密度、空隙率应符合如下规定:表观密度大于  $2\,500\text{kg/m}^3$ ;松散堆积密度大于  $1\,350\text{kg/m}^3$ ;空隙率小于 47%。

## (8) 碱集料反应

经碱集料反应试验后,由卵石、碎石制备的试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象,在规定的试验龄期的膨胀率应小于 0.10%。

## 三、粗集料的检验项目

## 1. 《水运工程混凝土施工规范》的规定

原材料进场后应按有关要求复验检查,砂石每批或每周检查一次。

## 2. 《水运工程混凝土质量控制标准》的规定

骨料质量的复验应按下列规定进行:

(1)来自采集场(生产厂)的骨料应附有质量证明书,根据需要按批检验其颗粒级配、含泥量及粗骨料的针片状颗粒含量。

(2)对无质量证明书或其他来源的骨料,应按批检验其颗粒级配、含泥量及粗骨料的针、片状颗粒含量、压碎指标。必要时还应检验其他质量指标。

(3)对已检验合格并堆放于厂(场)内或搅拌楼料仓内的骨料,可根据情况对其颗粒级配、含泥量和针、片状颗粒含量进行复验。

(4)骨料质量检验结果不符合本标准规定的指标时,应采取措施,并经试验证明能确保工程质量时,方可使用。

## 3. 《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)的规定

所用的材料应有证明书或检验报告单,使用时应按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)进行检验,并按现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269)进行质量控制,其质量应符合国家现行有关标准的规定,并满足设计要求。

## 4. 《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)的规定

(1)对拌制混凝土用粗集料的必检项目有:颗粒级配、针片状颗粒含量、含泥量、泥块含量。其他检测项目:有害物质含量、压碎指标、坚固性、碱活性。

(2)对抛回填和砌筑用碎石,必检项目有:筛析、针片状颗粒含量、含泥量。

## 四、粗集料检测组批原则及取样方法

## 1. 组批原则

(1)《水运工程混凝土施工规范》规定:砂石每批或每周检查一次;

(2)《水运工程质量检验标准》规定:

①对拌制混凝土用碎石,以同一产地、同一规格,每  $400\text{m}^3$  或  $600\text{t}$  为一批,不足  $400\text{m}^3$  或  $600\text{t}$  也按一批计;当质量比较稳定进料数量较大时,可定期检验;

②对抛回填和砌筑用碎石,结合工程用量,以数量  $2000 \sim 3000\text{t}$  为一批,不足  $2000\text{t}$  也按一批计。

## 2. 取样方法

1)《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270—98)的规定

(1)在料堆上取样时,取样部位应均匀分布。取样前先将取样部位表层铲除,然后从不同部位抽取大致等量的石子 15 份(在料堆的顶部、中部、底部各由均匀分布的 5 个不同部位取得),组成一组样品。

(2)从皮带运输机上取样时,应在皮带运输机机尾的出料处用接料器定时抽取 8 份石子,组成一组样品。

(3)从火车、汽车、货船上取样时,从不同部位和深度抽取大致等量的石子 16 份,组成一组样品。

(4)若检验不合格,应重新取样,对不合格项,进行加倍复验,若仍不能满足标准要求,应按不合格品处理;

(5)每组样品的取样数量:对每一单项试验,应不小于表 3-24 的要求,须做几项试验时,如能保证样品经一项试验后不致影响另一项试验的结果,可用同一组样品进行几项不同的试验。

每一试验所需碎石或卵石的最少取样数量

表 3-24

序号	试验项目	不同最大粒径(mm)下的最少取样量(kg)							
		10.0	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0	63.0	80.0
1	颗粒级配	10	15	29	20	30	40	60	80.0
2	表观密度	8	8	8	8	12	16	24	24
3	含水率	2	2	2	2	3	3	4	6
4	吸水率	8	8	16	16	16	24	24	32
5	堆积密度、紧密密度	40	40	40	40	80	80	120	120
6	含泥量	8	8	24	24	40	40	80	80
7	泥块含量	8	8	24	24	40	40	80	80
8	针片状颗粒含量	1.2	4	8	8	20	40	—	—
9	硫酸盐和硫化物含量	1.0							

注:有机物含量、坚固性、压碎指标值及碱集料反应检验,应按试验要求的粒级及数量取样。

(6)样品的缩分:将每组样品置于平板上,在自然状态下拌和均匀,并堆成锥体,然后沿互相垂直的两条直径把锥体分成大致相等的四份,取其中对角线的两份重新拌匀,再堆成锥体。重复上述过程,直至缩分后的样品量略多于试验所需的量为止。

(7)碎石或卵石的含水率、堆积密度、紧密密度检验所用试样,可不经缩分,拌匀后直接进行试验。

## 2)《建筑用石》的取样规定

取样方法、样品处理等规定与《水运工程混凝土试验规程》同,只有试样数量上有些差别,见表 3-25。

单项试验取样数量

表 3-25

序号	试验项目	不同最大粒径(mm)下的最少取样量(kg)							
		9.5	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	63.0	75.0
1	颗粒级配	9.5	16.0	19.0	25.0	31.5	37.5	63.0	80.0
2	含泥量	8.0	8.0	24.0	24.0	40.0	40.0	80.0	80.0
3	泥块含量	8.0	8.0	24.0	24.0	40.0	40.0	80.0	80.0
4	针片状颗粒含量	1.2	4.0	8.0	12.0	20.0	40.0	40.0	40.0
5	有机物含量	按试验要求的粒级和数量取样							
6	硫酸盐和硫化物含量								
7	坚固性								
8	岩石抗压强度	随机选取完整石块锯切或钻取成试验用样品							
9	压碎指标值	按试验要求的粒级和数量取样							
10	表观密度	8.0	8.0	8.0	8.0	12.0	16.0	24.0	24.0
11	堆积密度与空隙率	40.0	40.0	40.0	40.0	80.0	80.0	120.0	120.0
12	碱集料反应	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0

## 五、粗集料质量检验方法

粗集料在混凝土中起到骨架和填充的作用,因此粗集料的质量直接关系到混凝土的强度、耐久性、工作性。粗集料质量检验方法应符合规范《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的要求。

### 1. 碎石或卵石筛分析试验

粗集料级配是指各级粒径颗粒的分配比例。级配对于混凝土的和易性、强度、抗渗性、抗冻性以及经济性等都有一定的影响。使用级配良好的粗集料,可以配出水泥用量较低,同时力学性能、工作性、耐久性均较好的混凝土。粗集料级配一般通过筛分析试验进行检验。

#### 1) 试样制备应符合的规定:

试验前,用四分法将样品缩分至略重于表 3-26 所规定的试样所需量,烘干或风干后备用。

筛分析所需试样的最少重量

表 3-26

最大公称粒径(mm)	10.0	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0	63.0	80.0
最少试样质量(kg)	2.0	3.2	4.0	5.0	6.3	8.0	12.6	16.0

### 2) 试验步骤

(1)称取试样,将试样按筛孔大小顺序过筛,当每号筛上筛余层的厚度大于试样的最大粒径值时,应将该号筛上的筛余分成两份,再次进行筛分,直至各筛每分钟的通过量不超过试样总量的 0.1%。

(2)称取各筛筛余的重量,精确至试样总重量的 0.1%。在筛上的所有分计筛余量和筛底剩余的总和与筛分前测定的试样总量的相比,其相差不得超过 1%。

(3)当筛余颗粒的粒径大于 20.0mm 时,在筛分过程中允许用手指拨动颗粒。

### 3) 筛分析试验结果的计算步骤

(1)由各筛上的筛余量除以试样总重量计算得出该号筛的分计筛余百分率(精确至 0.1%)。

(2) 每号筛计算得出的分计筛余百分率与大于该筛筛号各筛的分计筛余百分率相加, 计算得出其累计筛余百分率(精确至 1%)。

(3) 根据各筛的累计筛余百分率, 评定该试样的颗粒级配。

2. 表观密度试验

与细集料一样, 粗集料的表观密度也常被用来计算混凝土配合比。同时, 粗集料的表观密度也在一定程度上反映集料的质量特别是强度方面, 表观密度大的粗集料一般比其他集料强度高、裂隙少、更有利于配制高强度混凝土。表观密度试验步骤如下:

1) 试验前, 将样品筛去 5.00mm 以下的颗粒, 并缩分至略重于表 3-27 所规定的数量, 刷洗干净后分成两份备用。

表观密度试验所需的试样最少重量 表 3-27

最大公称粒径 (mm)	10.0	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0	63.0	80.0
最少试样质量 (kg)	2	2	2	3	3	4	6	6

2) 试验步骤:

(1) 按表 3-27 的规定称取试样。

(2) 取试样一份装入吊篮, 并浸入盛水的容器中, 水面至少高出试样 50mm。

(3) 浸水 24h 后, 移放到称量用的盛水容器中, 并用上下升降吊篮的方法排除气泡(试样不得露出水面)。吊篮每升降一次约为 1s, 升降高度为 30 ~ 50mm。

(4) 测定水温后(此时吊篮应全浸在水中), 用天平称取吊篮及试样在水中的重量( $m_2$ )。称量时盛水容器中水面的高度由容器的溢流孔控制。

(5) 提起吊篮, 将试样置于浅盘中, 放入  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重。取出来放在带盖的容器中冷却至室温后, 称重( $m_0$ )。

(6) 称取吊篮在同样温度的水中重量( $m_1$ ), 称量时盛水容器的水面高度仍应由溢流口控制。

3) 表观密度  $\rho$  应按下式计算(精确至  $10\text{kg/m}^3$ ):

$$\rho = \left( \frac{m_0}{m_0 + m_1 - m_2} - \alpha_t \right) \times 1000 \quad (3-14)$$

式中:  $\rho$ ——表观密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$m_0$ ——试样的烘干重量, g;

$m_1$ ——吊篮在水中的重量, g;

$m_2$ ——吊篮及试样在水中的重量, g;

$\alpha_t$ ——考虑称重时的水温对表观密度影响的修正系数, 见表 3-28。

以两次试验结果的算术平均值作为测定值。如两次试验结果差值大于  $20\text{kg/m}^3$  时, 应重新取样进行试验。对颗粒材质不均匀的试样, 如两次试验结果之差超过规定时, 可取四次测定结果的算术平均值作为测定值。

不同水温下碎石或卵石的表观密度温度修正系数 表 3-28

水温 ( $^\circ\text{C}$ )	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\alpha_t \times 10^{-3}$		3	3	4	4	5	5	6	6	7	8

3. 吸水率

集料的吸水率和含水率主要取决于集料的孔隙结构、孔隙的大小和数量。它直接影响混

凝土的抗冻性和化学稳定性。当拌和混凝土时,将影响混凝土用水量和集料用量。碎石或卵石的吸水率试验时测定以烘干重量为基准的饱和面干吸水率。

#### 1) 试验步骤

(1)取试样一份置于盛水的容器中,使水面高出试样表面 5mm 左右,24h 后从水中取出试样,并用拧干的湿毛巾将颗粒表面的水分拭干,即成为饱和面干试样。然后,立即将试样放在浅盘中称取质量( $m_2$ ),在整个试验过程中,水温必须保持在  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 。

(2)将饱和面干试样连同浅盘置于  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重。然后取出,放入带盖的容器中冷却 0.5 ~ 1h,称取烘干试样与浅盘的总重量( $m_1$ ),称取浅盘的质量( $m_3$ )。

#### 2) 结果计算

吸水率  $w_m$  应按下式计算,精确至 0.01%:

$$w_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1 - m_3} \times 100\% \quad (3-15)$$

式中: $m_1$ ——烘干后试样与浅盘总质量,g;

$m_2$ ——烘干前饱和面干试样与浅盘总质量,g;

$m_3$ ——浅盘质量,g。

以两次试验结果的算术平均值作为测定值。

#### 4. 堆积密度

##### (1) 试样制备

试验前,取试样放入浅盘,在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干,也可以摊在清洁的地面上风干,拌匀后分成两份备用。

##### (2) 试验步骤

取试样一份,置于平整干净的地板(或铁板)上,用平头铁锹铲起试样,使石子自由落入容量筒内。此时,从铁锹的齐口至容量筒上口的距离应保持为 50mm 左右。装满容量筒并除去凸出筒口表面的颗粒,并以合适的颗粒填入凹陷部分,使表面稍凸起部分和凹陷部分的体积大致相等,称取试样和容量筒共重( $m_2$ )。

##### (3) 试验结果

堆积密度( $\rho_1$ )按下式计算(精确至  $10\text{kg/m}^3$ ):

$$\rho_1 = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000 \quad (3-16)$$

式中: $m_1$ ——容量筒的重量,kg;

$m_2$ ——容量筒和试样共重,kg;

$V$ ——容量筒的容积,L。

以两次试验结果的算术平均值作为测定值。

#### 5. 含泥量

卵石、碎石中的含泥量是指粒径小于 0.080mm 的颗粒含量。含泥量对混凝土抗冻性的影响非常明显,因此,水运混凝土中有抗冻要求的混凝土,应严格控制粗集料中的含泥量。

##### 1) 试样制备应符合下列规定:

试验前,将来样用四分法缩分至表 3-29 所规定的量(注意防止细粉丢失),并置于温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱内烘干至恒重,冷却至室温后分成两份备用。

含泥量实验所需的试样最少重量

表 3-29

最大粒径(mm)	10.0	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0	63.0	80.0
试样量不少于(kg)	2	2	6	6	10	10	20	20

2) 实验步骤:

(1) 称取试样一份( $m_2$ )装入容器中摊平,并注入饮用水,使水面高出石子表面 150mm;用手在水中淘洗颗粒,使尘屑、淤泥和粘土与较粗颗粒分离,并使之悬浮或溶解于水。缓缓地将浑浊液倒入 1.25mm 及 0.080mm 的套筛(1.25mm 筛放置上面),滤去小于 0.080mm 的颗粒。试验前筛子的两面应先用水湿润,在整个试验过程中应注意避免大于 0.080mm 的颗粒丢失。

(2) 再次加水于容器中,重复上述过程,直至洗出的水清澈为止。

(3) 用水冲洗剩留在筛上的细粒,并将 0.080mm 筛放在水中(使水面略高出筛内颗粒)来回摇动,以充分洗除小于 0.080mm 的颗粒。然后,将两只筛上剩留的颗粒和筒中已洗净的试样一并装入浅盘。置于温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重。取出冷却至室温后,称取试样的重量( $m_1$ )。

3) 碎石或卵石的含泥量应按下式计算(精确至 0.1%):

$$\omega_c = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (3-17)$$

式中: $m_0$ ——试验前烘干试样的重量,g;

$m_1$ ——试验后烘干试样的重量,g。

以两个试样试验结果的算术平均值作为测定值。两次试验结果的差值超过 0.2%,应重新取样进行试验。

6. 泥块含量

碎石和卵石中的泥块含量是指集料中粒径大于 5mm,经水洗、手捏后变成小于 2.5mm 的颗粒的含量。由于其体积较砂中的泥块大得多,粗集料中的泥块危害类型与砂中的泥块危害一样,但危害程度更大。

1) 试样制备应符合下列规定:

试验前,将样品用四分法缩分至略大于表 3-29 所示的量,缩分应注意防止所含粘土块被压碎。缩分后的试样在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  烘箱内烘至恒重,冷却至室温后分成两份备用。

2) 试验步骤:

(1) 筛去 5mm 以下颗粒,称重( $m_1$ );

(2) 将试样在容器中摊平,加入饮用水使水面高出试样表面,24h 后把水放出,用手碾压泥块,然后把试样放在 2.5mm 筛上摇动淘洗,直至洗出的水清澈为止;

(3) 筛上的试样小心地从筛里取出,置于温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  烘箱中烘干至恒重。取出试样冷却至室温后称重( $m_2$ )。

3) 泥块含量应按下式计算(精确至 0.1%):

$$\omega_{cl} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (3-18)$$

式中: $m_1$ ——5.00mm 筛筛余量,g;

$m_2$ ——试验后烘干试样的量,g。

以两个试样试验结果的算术平均值作为测定值。如两次试验结果的差值超过 0.2%,应



重新取样进行试验。

### 7. 针、片状颗粒的总含量试验

凡岩石颗粒的长度大于该颗粒所属相应粒级的平均粒径 2.4 倍者为针状颗粒;厚度小于平均粒径 0.4 倍者为片状颗粒(平均粒径指该粒级上、下限粒径的平均值)。粗集料的针、片状颗粒含量对混凝土拌和物的和易性有明显影响。如粗集料的针、片状颗粒含量增加 25%,可使高强度混凝土坍落度减少 12mm,而中低强度混凝土减少仅 6mm。对混凝土抗折强度比抗压强度影响更大。

1) 试样制备应符合下列规定:

试验前,将来样在室内风干至表面干燥,并用四分法缩分至表规定的数量,称重( $m_0$ ),然后筛分成表 3-30 所规定的粒级备用。

针、片状试验所需的试样最少重量

表 3-30

最大粒径(mm)	10.0	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0 以上
试样最少重量(kg)	0.3	1	2	3	5	10

2) 试验步骤:

(1) 按表 3-30 所规定的粒级用规准仪逐粒对试样进行鉴定,凡颗粒长度大于针状规准仪上相应间距者,为针状颗粒。厚度小于片状规准仪上相应孔宽者,为片状颗粒。

(2) 粒径大于 40mm 的碎石或卵石可用卡尺鉴定其针、片状颗粒。

(3) 称量由各粒级挑出的针状和片状颗粒的总重量( $m_1$ )。

3) 碎石或卵石中针、片状颗粒含量应按下式计算(精确至 1%):

$$\omega_y = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (3-19)$$

式中: $m_1$ ——试样中所含针、片状颗粒的总重量,g;

$m_0$ ——试样总重量,g。

### 8. 卵石中有机物含量

常被用来作为粗集料的卵石,因其产地与砂基本一致,所以,同砂一样,卵石中也常常含有大量的有机物。卵石的有机物含量用比色法估计其含量的多少。

试验前,筛去试样 20.0mm 以上的颗粒,用四分法缩分至约 1kg,风干后备用。向 1 000mL 量筒中倒入干试样至 600mL 刻度处,再注入浓度为 3% 的氢氧化钠溶液至 800mL 刻度处,剧烈搅动后静置 24h。比较试样上部溶液和新配制标准溶液的颜色。盛装标准溶液与盛装试样的量筒容积应一致。

试验结果评定应符合下列规定:若试样上部的溶液颜色浅于标准溶液的颜色,则试样的有机质含量鉴定合格。如两种溶液的颜色接近,则应将该试样(包括上部溶液)倒入烧杯中放在温度为 60~70℃ 水浴锅中加热 2~3h,然后再与标准溶液比色。

如溶液的颜色深于标准色则应配制成混凝土作进一步检验。其方法为:取试样一份,用浓度 3% 氯化钠溶液洗除有机杂质,再用清水淘洗干净,至试样用比色法试验时,溶液的颜色浅于标准色,然后用洗除有机杂质的和未经清洗的试样用相同的水泥、砂配成配合比相同,坍落度基本相同的两种混凝土,测其 28d 抗压强度。如未经洗除有机杂质的卵石混凝土强度与经洗除有机杂质的混凝土强度的比不低于 0.95 时,则此卵石可以使用。

## 9. 卵石中软弱颗粒含量

称风干试样  $2\text{kg}$  ( $m_1$ ), 如颗粒粒径大于  $40\text{mm}$ , 则称  $4\text{kg}$ , 过筛分成 3 份:  $5.00 \sim 10.0\text{mm}$  者 1 份,  $10.0 \sim 20.0\text{mm}$  者 1 份,  $20.0\text{mm}$  以上者 1 份; 将每份中每一颗粒放在压力机平台中心, 按以上分份顺序, 分别以  $0.15$ 、 $0.25$ 、 $0.34\text{kN}$  的荷载, 破碎的颗粒即属于软弱颗粒, 将其弃去, 称出剩余完好颗粒质量 ( $m_2$ )。

按下式计算卵石的软弱颗粒含量, 精确至  $0.1\%$  :

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (3-20)$$

式中:  $m_1$ ——各粒径颗粒总质量,  $\text{g}$ ;

$m_2$ ——试验后各粒级完好颗粒总质量,  $\text{g}$ 。

## 10. 碎石或卵石的坚固性

坚固性是指碎石或卵石在气候、环境变化或其他物理因素作用下抵抗碎裂的能力。

## 1) 试验步骤

(1) 将所称取的不同粒级的试样分别装入三脚网篮并浸入盛有硫酸钠溶液的容器中。溶液体积应不小于试样总体积的 5 倍, 其温度保持在  $20 \sim 25^\circ\text{C}$  的范围内。三脚网篮浸入溶液时应先上下升降 25 次以排除试样中的气泡, 然后静置于该容器中。此时, 网篮底面应距离容器底面约  $30\text{mm}$  (由网篮脚控制), 网篮之间的间距应不小于  $30\text{mm}$ , 试样表面至少应在液面以下  $30\text{mm}$ 。

(2) 浸泡  $20\text{h}$  后, 从溶液中提出网篮, 放在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘  $4\text{h}$ 。至此, 完成了第一个试验循环。待试样冷却至  $20 \sim 25^\circ\text{C}$  后, 即开始第二次循环。从第二次循环开始, 浸泡及烘烤时间为  $4\text{h}$ 。

(3) 第五次循环后, 将试样置于  $25 \sim 30^\circ\text{C}$  的清水中洗净硫酸钠, 再在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重。取出冷却至室温后, 用筛孔孔径为试样粒级下限的筛过筛, 并称取各粒级试样试验后的筛余量 ( $m_i'$ )。

(4) 对称粒径大于  $20\text{mm}$  的试样部分, 应在试验前后记录其颗粒数量, 并作外观检查, 描述颗粒的裂缝、开裂、剥落、掉边和掉角等情况所占颗粒数量, 以作为分析其坚固性时的补充依据。

## 2) 结果计算

试样中各粒级颗粒的分计质量损失百分率  $\delta_{ji}$  应按下式计算:

$$\delta_{ji} = \frac{m_i - m_i'}{m_i} \times 100\% \quad (3-21)$$

式中:  $m_i$ ——各粒级试样试验前的烘干质量,  $\text{g}$ ;

$m_i'$ ——经硫酸钠溶液法试验后, 各粒级筛余颗粒的烘干质量,  $\text{g}$ 。

试样的总质量损失百分率  $\delta_j$  应按下式计算, 精确至  $1\%$  :

$$\delta_j = \frac{\alpha_1 \delta_{j1} + \alpha_2 \delta_{j2} + \alpha_3 \delta_{j3} + \alpha_4 \delta_{j4} + \alpha_5 \delta_{j5}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} \times 100\% \quad (3-22)$$

式中:  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 、 $\alpha_4$ 、 $\alpha_5$ —— $5.00 \sim 10.0\text{mm}$ 、 $10.0 \sim 20.0\text{mm}$ 、 $20.0 \sim 40.0\text{mm}$ 、 $40.0 \sim 63.0\text{mm}$ 、 $63.0 \sim 80.0\text{mm}$  各粒级颗粒的分计备份含量,  $\%$ ;

$\delta_{j1}$ 、 $\delta_{j2}$ 、 $\delta_{j3}$ 、 $\delta_{j4}$ 、 $\delta_{j5}$ ——各粒级的分计质量损失百分率,  $\%$ 。

## 11. 压碎指标值试验

粗集料在混凝土中,特别是低强度混凝土中起着骨架作用,因此其强度高低直接影响混凝土的强度。但立方体抗压强度并不能直观的反应粗集料在混凝土中的工作状态。相对而言,碎石或卵石的抵抗压碎的能力可以间接的推测其相应的强度,以及对混凝土的适应性。

1) 试样制备应符合下列规定:

标准试样一律应采用 10.0 ~ 20.0mm 的颗粒,并在气干状态下进行试验。对多种岩石组成的卵石,如其粒径大于 20mm 颗粒的岩石矿物成分与 10.0 ~ 20.0mm 颗粒有显著差异时,对大于 20mm 颗粒应经人工破碎后筛取 10 ~ 20mm 标准粒级另外进行压碎指标值试验。

试验前,先将试样筛去 10.0mm 以下及 20.0mm 以上的颗粒,再用针状和片状规准仪剔除其针状和片状颗粒,然后称取每份 3kg 的试样 3 份备用。

2) 试验步骤:

(1) 置圆筒于底盘上,取试样一份,分二层装入筒内。每装完一层试样后,在底盘下面垫放一直径为 10mm 的圆钢筋,将筒按住,左右交替颠击地面各 25 下。第二层颠实后,试样表面距盘底的高度应控制为 101mm 左右。

(2) 整平筒内试样表面,把压头装好(注意应使加压头保持平正),放到试验机上在 160 ~ 300s 内均匀地加荷到 200kN,稳定 5s。然后卸荷,取出测定筒。倒出筒中的试样并称其重量( $m_0$ )用孔径为 2.50mm 的筛筛除被压碎的细粒,称量剩留在筛上的试样重量( $m_1$ )。

3) 碎石或卵石的压碎指标值,应按下列式计算(至 0.1%):

$$\delta_a = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (3-23)$$

式中: $m_0$ ——试样的重量,g;

$m_1$ ——压碎试验后筛余的试样重量,g。

对多种岩石组成的卵石,如对 20.0mm 以下和 20.0mm 以上的标准粒级(10.0 ~ 20.0mm)分别进行检验,则其总的压碎指标值应按下列式计算:

$$\delta_a = \frac{\alpha_1 \delta_{a1} + \alpha_2 \delta_{a2}}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (3-24)$$

式中: $\delta_a$ ——总的压碎指标值,%;

$\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ ——试样中 20.0mm 以下和 20.0mm 以上两粒级的颗粒含量百分率;

$\delta_{a1}$ 、 $\delta_{a2}$ ——两粒级以标准粒级试验的分计压碎指标值,%。

4) 以三次试验结果的算术平均值作为压碎指标测定值。

## 12. 碎石或卵石中硫化物及硫酸盐含量

1) 试验步骤

(1) 试验前,取公称粒径为 40.0mm 以下的风干碎石或卵石约 1000g,按四分法缩分至 200g,磨细使全部通过 0.080mm 筛,仔细拌匀,烘干备用。

(2) 精确称取石粉试样约 1g(m)放入 300mL 的烧杯中,加入 30 ~ 10mL 蒸馏水及 10mL 的盐酸(1+1),加热至微沸,并保持微沸 5min,使试样充分分解后取下,以中速滤纸过滤,用温水洗涤 10 ~ 12 次;

(3) 调整滤液体积至 200mL,煮沸,边搅拌边滴加 10mL 氯化钡溶液(10%),并将溶液煮沸数分钟,然后移至温热处至少静置 4h(此时溶液体积应保持在 200mL),用慢速滤纸过滤,用温

水洗至无氯根反应(用硝酸银溶液检验);

(4)将沉淀及滤纸一并移入已灼烧至恒重( $m_1$ )的瓷坩埚中,灰化后在 800℃ 的高温炉内灼烧 30min。取出坩埚,置于干燥器中冷却至室温,称重,如此反复灼烧,直至恒重( $m_2$ )。

2)结果计算

水溶性硫化物及硫酸盐含量应按下式计算,精确至 0.01%

$$w_{\text{SO}_3} = \frac{(m_2 - m_1) \times 0.343}{m} \times 100\% \quad (3-25)$$

式中: $m$ ——试样质量,g;

$m_1$ ——沉淀物与坩埚共重,g;

$m_2$ ——坩埚质量,g。

3)以两次试验的算术平均值为评定指标,当两次试验结果的差值大于 0.15% 时,应重做试验。

### 第三节 块 石

#### 一、水运工程中块石的质量要求

块石在水运工程中主要用于砌石坝、堆石坝、挡土墙、护岸、码头及房屋基础等。块石根据用途分为砌筑石料和基床块石,其中砌筑石料根据形状、规格又分为填筑块石、二片石、块石、粗料石、半细料石、细料石、锥形块石和条石。除了各种对各种石料重量、尺寸、表面粗糙度的质量要求以外,对于水运工程用块石还应满足下列要求:

1)强度的要求:

(1)《防波堤设计与施工规范》(JTJ 298—98)规定:在水中浸透后的强度,对于护面块石和需要进行夯实的基床块石不应低于 50MPa;对于垫层块石和不进行夯实的基床块石不应低于 30MPa;对于浆砌块石结构,其石料大水中浸透后的强度不低于 50MPa;

(2)《水运工程混凝土施工规范》规定:对配制混凝土用的碎石,在选择采石场或对粗骨料强度有严格要求或对质量有争议时,宜用岩石抗压强度作检验,岩石的抗压强度要求如表3-31所示。

表 3-31

岩石品种	混凝土等级	岩石立方体的抗压强度(MPa)
水成岩	C60 ~ C40	≥80
	C35 ~ C10	≥60
变质岩或深层的火成岩	C60 ~ C40	≥100
	C35 ~ C10	≥60
喷出的火成岩	C60 ~ C40	≥120
	C35 ~ C10	≥80

2)不成片状,无严重风化和裂纹。

#### 二、检验项目和组批原则

1)必检项目:表面风化、规格;

其他检测项目:岩石抗压强度、级配(设计有要求时)。

## 2) 检测频率:

(1) 岩石强度:以每一产源为一批;

(2) 规格和级配:可结合工程用量,以数量 5 000 ~ 10 000m<sup>3</sup> 为一批,不足 5 000m<sup>3</sup> 也按一批计。

## 三、检验方法

岩石抗压强度试验方法(引自《水运工程混凝土试验规程》)如下:

### 1. 试验设备

岩石抗压强度试验设备包括:压力试验机(1000kN)、石材切割机或钻石机、岩石磨光机、游标卡尺、角尺等。

### 2. 试样制备

(1) 试验时,取有代表性的岩石样品用石材切割机切割成边长为 50mm 的立方体,或用钻石机钻取直径与高度均为 50mm 的圆柱体。然后用磨光机把试件与压力机压板接触的两个面磨光并保持平行,试件形状须用角尺检查。

(2) 至少应制作 6 个试块。对有显著层理的岩石,应取两组试件(12 块)分别测定其垂直和平行于层理的强度值。

### 3. 岩石抗压强度计算步骤

(1) 用游标卡尺量取试件的尺寸(精确至 0.1mm),对于立方体试件,在顶面和底面上各量取其边长,以各个面上相互平行的两个边上的算术平均值作为宽或高,由此计算面积。对于圆柱体试件,在顶面和底面上各量取相互垂直的两个直径,以其算术平均值计算面积。取顶面和底面面积的算术平均值作为计算抗压强度所用的截面积。

(2) 将试件置于水中浸泡 48h,水面应至少高出试件顶面 20mm。

(3) 取出试件,擦干表面,放在有防护网的压力机上进行强度试验,防止岩石碎片伤人。试验时加压速度应为 0.5 ~ 1.0MPa/s。

### 4. 结果计算与评定

(1) 岩石抗压强度  $f$  应按下式计算,精确至 1MPa:

$$f = \frac{F}{A} \quad (3-26)$$

式中: $f$ ——岩石的抗压强度,MPa;

$F$ ——破坏荷载,N;

$A$ ——试件的截面积,mm<sup>2</sup>。

(2) 取 6 个试件试验结果的算术平均值作为抗压强度测定值,如 6 个试件中的 2 个与其他 4 个试件抗压强度的算术平均值相差 3 倍以上时,则取试验结果相接近的 4 个试件的抗压强度算术平均值作为抗压强度测定值。

对具有显著层理的岩石,其抗压强度应为垂直于层理及平行于层理的抗压强度的平均值。

## 第四章 混凝土拌和用水的质量检验

### 第一节 概 述

水是混凝土的重要组成部分之一,水质达不到要求就可能影响水泥的凝结和混凝土强度的发展,对钢筋特别是对预应力钢筋产生腐蚀作用,影响混凝土的耐久性,因此为了保证混凝土的质量及混凝土建筑物的耐久性,对拌和水应有严格的质量要求。

对混凝土拌和用水,其所含物质对混凝土钢筋混凝土和预应力混凝土不应产生以下有害作用:(1)影响混凝土的和易性及凝结;(2)有损于混凝土强度发展;(3)降低混凝土的耐久性加快钢筋腐蚀及导致预应力钢筋脆断;(4)污染混凝土表面。

#### 一、各类来源水的使用要求

原则上“混凝土不得采用海水拌和”,当采用海水为拌和用水时,必须符合 JTJ 268 中的有关规定。

##### 1. 饮用水

符合国家标准的生活饮用水,拌制混凝土不需要进行检验。

##### 2. 海水

海水中含盐较高,特别是氯离子含量高,用海水拌制混凝土会降低混凝土的后期强度,促使钢筋和预应力筋的锈蚀,对混凝土的耐久性有很大影响,因此在 JTJ 268 中明确规定:钢筋混凝土和预应力混凝土,均不得采用海水拌和,在缺乏淡水的地区,混凝土允许采用海水拌和,但应遵守:

(1)拌制的混凝土拌和物中的氯离子的含量不得超过 1.30% (按水泥重量百分比计)。

(2)有抗冻要求的混凝土,水灰比应降低 0.05。

##### 3. 地表水及地下水

我国幅员辽阔,天然地表水及地下水品质差别极大,并随季节、环境等因素变化极大,因此拟采用地表水或地下水作拌和用水时,必须要进行适用性检验,合格的才允许使用。

##### 4. 工业废水、沼泽水

工业废水的情况极为复杂,特别是一些化工厂、制革厂、造纸厂、电镀厂等排出的废水,往往含有大量的有害杂质,对水泥混凝土的性能影响很大,因此,规定不得采用。沼泽水中一般含有腐烂植物和动物,存在对拌制混凝土有害的酸性物质、硫化物等,因此,在规范中也规定不得采用。

#### 二、相关规范对混凝土拌和用水的规定

##### 1. 《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)的规定

(1)混凝土拌和用水,应用不含有影响水泥正常凝结、硬化或促使钢筋锈蚀的饮用水。水

中氯离子含量不宜大于 200mg/L,不得使用沼泽水、工业废水或含有害杂质)酸、盐、油等)的水;

(2)钢筋混凝土和预应力混凝土,均不得采用海水拌和。在缺乏淡水的地区,素混凝土允许采用海水拌和,对于有抗冻要求的,水灰比应降低 0.05;

(3)当采用天然矿化水作为混凝土拌和用水时,其 pH 值不小于 4,且水的硫酸盐含量按  $\text{SO}_4^{2-}$  计不大于 0.22%。

2.《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269—1996)和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)对混凝土拌和用水的要求

(1)宜采用城市供水系统的饮用水;

(2)当采用其他水源时,应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的规定,海水环境钢筋混凝土和预应力混凝土的拌和用水的氯离子含量不宜大于 200mg/L,不得采用海水。

3.《混凝土用水标准》(JGJ 63—2006)的规定

(1)混凝土拌和用水水质要求应符合表 4-1 的规定。对于设计使用年限为 100 年的结构混凝土,氯离子含量不得超过 500mg/L;对使用钢丝或经热处理钢筋的预应力混凝土,氯离子含量不得超过 350mg/L。

混凝土拌和用水水质要求

表 4-1

项 目	预应力混凝土	钢筋混凝土	素 混 凝 土
pH 值	$\geq 5.0$	$\geq 4.5$	$\geq 4.5$
不溶物 (mg/L)	$\leq 2\ 000$	$\leq 2\ 000$	$\leq 5\ 000$
可溶物 (mg/L)	$\leq 2\ 000$	$\leq 5\ 000$	$\leq 10\ 000$
$\text{Cl}^-$ (mg/L)	$\leq 500$	$\leq 1\ 000$	$\leq 3\ 500$
$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	$\leq 600$	$\leq 2\ 000$	$\leq 2\ 700$
碱含量 (mg/L)	$\leq 1\ 500$	$\leq 1\ 500$	$\leq 1\ 500$

注:碱含量按  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$  计算值来表示。采用非碱活性骨料时,可不检验碱含量。

(2)被检验水样应与饮用水样进行水泥凝结时间对比试验。

对比试验的水泥初凝时间差及终凝时间差均不应大于 30min;同时,初凝和终凝时间应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175)的规定。

(3)被检验水样应与饮用水样进行水泥胶砂强度对比试验,被检验水样配制的水泥胶砂 3d 和 28d 强度不应低于饮用水配制的水泥胶砂 3d 和 28d 强度的 90%。

(4)混凝土拌和用水不应有漂浮明显的油脂和泡沫,不应有明显的颜色和异味。

(5)混凝土企业设备洗刷水不宜用于预应力混凝土、装饰混凝土、加气混凝土和暴露于腐蚀环境的混凝土;不得用于使用碱活性或潜在碱活性骨料的混凝土。

(6)未经处理的海水严禁用于钢筋混凝土和预应力混凝土。

(7)在无法获得水源的情况下,海水可用于素混凝土,但不宜用于装饰混凝土。

## 第二节 检验项目及组批规则

为控制混凝土拌和用水的质量以保证混凝土的各项技术性能符合使用要求,须对混凝土

拌和用水进行质量检验。对工业与民用建筑和一般构筑物的普通混凝土拌和用水标准中的各项指标进行检验,可用于判定性质不明和性质可疑的水是否适用于拌制混凝土。

1. 检验项目

《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)规定,混凝土拌和用水的必检项目有:pH 值、氯离子含量、硫酸盐;其他检测项目有:不溶物、硫化物含量、可溶物。

《混凝土用水标准》(JGJ 63—2006)规定,混凝土拌和用水须检测的指标有:pH 值、不溶物、可溶物、氯化物、硫酸盐、碱含量、被检水样与饮用水样的凝结时间对比、被检水样与饮用水样的水泥胶砂强度对比。

2. 取样和检验期限、抽检频率

由于水运工程方面无专门的规范规定水样的检测方法,水的检验可参照 JTJ 056—84《公路工程水质分析操作规程》或建设部 JGJ 63—2006《混凝土用水标准》里的相关规定来进行取样。

1)《公路工程水质分析操作规程》(JTJ 056—84)的规定

(1)对取样有如下规定:

①所采的水样应尽量符合水质分析的要求并应具有代表性,以不改变其理化性质为原则。

②装水样用的玻璃瓶(连同瓶盖)应先以铬酸洗液或肥皂水洗去油污成尘垢,再用清水洗净,最后用蒸馏水洗两遍。装水样前,应用所采水样冲洗 2~8 次。严禁使用装过油或其他物质而未经彻底清洗的瓶子和塞子(更不能用纸塞、破布塞等)。

③采取水样时,应使水缓缓注入瓶中,不得产生潺潺声音,不能让草根、砂、土等杂物进入瓶中。

④为了保持水样的代表性,当进行地面水采样时,应注意尽可能在背阴地方,宜从中心水面 10cm 以下处取样。在湖泊、河流、大面积池塘中采取水样时,应根据分析目的,在不同地点和深度内取样。

在钻孔井取水样时,钻孔内不要用水冲洗,停钻井待水位稳定后再取水样。

从已用水冲洗过的钻孔内取样时,必须先抽水 15min。待水的化学成分稳定后方可采取水样。

⑤水样装瓶时应留 10~20mL 空间,以免因温度变化而胀开瓶塞。

⑥瓶塞盖好,检查无漏水现象后,方可用石蜡或火漆封口。如长途运送,应用纱布缠紧后再以石蜡封住。

(2)对检验期限有如下规定:

由于水样存放期间某些离子将会发生变化,从而影响测定结果,因此,采样和分析的间隙时间愈短,则分析结果愈可靠。对某些易变化离子的测定,应在现场及时进行。至于采集水样和分析之间允许的间隔时间,取决于水样的性质与保存条件,一般对工程水质分析的水样,允许保存的时间为:

清洁水	72h
轻度污染水	48h
严重污染水	24h

在保存与运送中应注意的事项:

①水样运送途中尽可能减少水样的受震和碰撞,运送和存放期间应检查水样瓶是否封闭



严密,应严防封口损坏。

②水样应投在不受日光直接照射的阴凉处,冬季应防止水样瓶冻裂。

2)《混凝土用水标准》(JGJ 63—2006)的规定

(1)对取样有如下规定:

①水质检验水样不应少于 5L;用于测定水泥凝结时间和胶砂强度的水样不应少于 3L。

②采集水样的容器应无污染;容器应用待采集水样冲洗三次再灌装,并应密封待用。

③地表水宜在水域中心部位、距水面 100mm 以下采集,并应记载季节、气候、雨量和周边环境的情况。

④地下水应在放水冲洗管道后接取,或直接用容器采集;不得将地下水积存于地表后再从中采集。

⑤再生水应在取水管道终端接取。

⑥混凝土企业设备洗刷水应沉淀后,在池中距水面 100mm 以下采集。

(2)检验期限和频率:

①水质全部项目检验宜在取样后 7d 内完成。

②放射性检验、水泥凝结时间检验和水泥胶砂强度成型宜在取样后 10d 内完成。

③地表水、地下水和再生水的放射性应在使用前检验;当有可靠资料证明无放射性污染时,可不检验。

④地表水、地下水、再生水和混凝土企业设备洗刷水在使用前应进行检验;在使用期间,检验频率应符合下列要求:

地表水每 6 个月检验一次;

地下水每年检验一次;

再生水每 3 个月检验一次;在质量稳定一年后,可每 6 个月检验一次;

混凝土企业设备洗刷水每 3 个月检验一次;在质量稳定一年后,可一年检验一次;

当发现水受到污染和对混凝土性能有影响时,应立即检验。

⑤符合现行国家标准《生活饮用水卫生标准》(GB 5749)要求的饮用水,可不经检验作为混凝土拌和用水。

⑥当水泥凝结时间和水泥胶砂强度的检验不满足要求时,应重新加倍抽样复检一次。

3)《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)的规定

饮用水使用前抽检一次,当采用非饮用水时,定期检验。

### 第三节 检验方法

#### 一、必检项目

##### (一)pH 值

###### 1. pH 值试纸法

在要求不精确的情况下,利用 pH 值试纸测定水的 pH 值是简便而快速的方法(一般用于定性分析)。

首先用 pH 值 1~14 的试纸测定水样的大致 pH 值范围,然后用精密 pH 试纸进行测定。

测定时,用玻璃棒将水样滴在试纸上,即与比色板比较读出相应的 pH 值。

注意:pH 值试纸在空气中或在日光下与酸碱性气体接触。均能使其变质,因此应注意避光及干燥保存,出厂过久的精密 pH 值试纸应先用标准缓冲溶液校验其是否失效,然后再用。

## 2. 电位计法(酸度计法)

酸度计法测定 pH 的依据是:当一个指示电极与一个参比电极同时浸入同一溶液中,两电极间产生一电位差,电位值的大小与溶液的 pH 值成线性关系。

### 1) 仪器

(1)pH 计(酸度计):测量范围 0 ~ 14, pH 读数精度不低于 0.05pH 单位。

(2)pH 玻璃电极,饱和甘汞电极。

(3)烧杯:500mL。

(4)温度计:0 ~ 100℃。

### 2) 试剂

下列试剂均应是以新煮沸并放冷的纯水配制配成的溶液应贮存在聚乙烯瓶或硬质玻璃瓶内。此类溶液应于 1 ~ 2 个月内使用。

(1)pH 标准缓冲液甲:称取 10.21g 经 110℃ 烘干 2h 并冷却至室温的苯二甲酸氢钾溶于纯水中并定容至 1000mL。此溶液的 pH 值在 20℃ 时为 4.00。

(2)pH 标准缓冲液乙:分别称取经 110℃ 烘干 2h 并冷却至室温的磷酸二氢钾磷酸氢二钠一并溶于纯水中,并定容至 1000mL。此溶液的 pH 值在 20℃ 时为 6.88。

(3)pH 标准缓冲液丙:称取 3.81g 硼砂,溶于纯水中,并定容至 1000mL。此溶液的 pH 值在 20℃ 时为 9.22。

上述标准缓冲液在不同温度条件下的 pH 值如表 4-2 所示。

标准缓冲液在不同温度下的 pH 值

表 4-2

温度(℃)	pH 标准缓冲液		
	甲	乙	丙
5	4.00	6.95	9.39
10	4.00	6.92	9.33
15	4.00	6.90	9.28
20	4.00	6.88	9.22
25	4.01	6.88	9.18
30	4.01	6.86	9.14
35	4.02	6.85	9.10
40	4.03	6.84	9.07
45	4.04	6.84	9.04
50	4.06	6.83	9.01
55	4.07	6.83	8.98
60	4.09	6.84	8.96

## 3) 试验步骤

### (1) 电极准备

玻璃电极在使用前,应先放入纯水中浸泡 24h 以上。甘汞电极中饱和氯化钾溶液的液面必须高出汞体,在室温下应有少许氯化钾晶体存在以保证氯化钾溶液的饱和。

### (2) 仪器校准

操作程序按仪器使用说明书进行。先将水样与标准缓冲液调到同一温度,记录测定温度,并将仪器温度补偿旋钮调至该温度上。首先用与水样 pH 值相近的一种标准缓冲液校正仪器。从标准缓冲液中取出电极,用纯水彻底冲洗并用滤纸吸干。再将电极浸入第二种标准缓冲液中,小心摇动静置,仪器示值与第二种标准缓冲液在该温度时的 pH 值之差不应超过 0.1pH 单位,否则就应调节仪器斜率旋钮,必要时检查仪器、电极或标准缓冲液是否存在问题。重复上述校正工作,直至示值正常时,方可用于测定样品。

### (3) 水样的测定

测定水样时,先用纯水认真冲洗电极,再用水样冲洗,然后将电极浸入水样中,小心摇动或进行搅拌使其均匀,静置,待读数稳定时记录指示值,即为水样 pH 值。

## 3. 比色法

根据各种酸、碱指示剂在不同的 pH 值的介质中显示不同的颜色,进行比色测定。

### (二) 氯离子含量

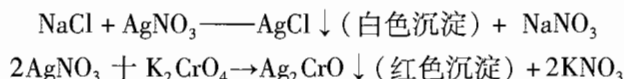
氯离子在天然水中普遍存在(通常与钠、钙、镁等化合而存在,氯化钾在一般水中存在的可能性较小,但有时存在矿水中)。其来源有以下几种:

(1) 水源流过含有氯化物的地层;

(2) 水源受生活污水或工厂废水污染;

(3) 受潮水及海面上风流的影响。这时水中氯化物含量会增高,当超过 250mg/L 时,将使水质具有显著的盐味。

其测定方法通常采用汞量法、电位滴定法和银量法。本书介绍硝酸银容量法,其原理是采用“分级沉淀的原理”,铬酸钾作指示剂,向含有氯离子的水溶液中加入硝酸银溶液,因在 25℃ 水溶液中,氯化银的溶度积为  $1.56 \times 10^{-10}$ ,而铬酸银的溶度积为  $9 \times 10^{-12}$ ,因此,只有当氯离子完全被沉淀后,铬酸根离子才开始沉淀。等当点时,过量的硝酸银与指示剂作用生成红色铬酸银沉淀,表明作用已达到终点。反应式如下:



#### 1. 试剂

(1) 5% 铬酸钾指示剂;

(2) 0.05N 硝酸银标准溶液。

#### 2. 测定方法

(1) 取测定碳酸盐和重碳酸盐后的水样(或总固体含量较高,如滴定用硝酸银标准溶液量超过 10mL 时,应另外少取水样进行测定。需在水中先加二滴酚酞指示剂,如呈红色则滴加 0.1N 硫酸至无色,如无色则滴加 0.1N 的 NaOH 至红色为止),加 5% 铬酸钾指示剂 1mL。

(2) 用 0.05N 硝酸银标准溶液滴定至有红褐色沉淀出现,记下硝酸银用量  $V_1$ 。

(3) 另取与测定水样同数量的蒸馏水于另一三角瓶中,加 5% 铬酸钾指示剂 1mL,用 0.05N 硝酸银标准溶液滴定至有红褐色沉淀出现,记下硝酸银用量为  $V_1$ 。

## 3. 计算

$$\text{氯离子(毫克当量/升)} = (V_1 - V_2) \times N \times \frac{1\,000}{V}$$

$$\text{氯离子(mg/L)} = (V_1 - V_2) \times N \times \frac{1\,000}{V} \times 35.5$$

式中:  $V$ ——取样体积(mL),

$V_1$ ——滴定水样时,硝酸银的消耗量,mL;

$V_2$ ——滴定蒸馏水时,硝酸银的消耗,mL;

$N$ ——硝酸银当量浓度;

35.5——每一毫克当量氯离子的量,mg。

## 4. 注意事项

(1)本法到达终点时,硝酸银的用量要比原来的需要量略高,因此,需要同时取蒸馏水做空白滴定来减去误差。

(2)铬酸银能溶解于酸中,因此,在 pH 值低于 6.3 时,不能直接用本法测定氯化物。也不能在极强的碱性反应中进行,pH 不能大于 10。因此,测定前需调节 pH 值。

(3)水中的硫化氢能干扰氯化物的测定,所以要加入数滴 3% 过氧化氢使其氧化(或煮沸除去亦可)。

(4)若水中含有还原性离子,如亚硫酸、亚硝酸、亚铁、硫离子等,能与指示剂铬酸钾或硫酸银作用,应先用过氧化氢消除。

## (三) 硫酸盐

地下水通常含硫酸盐,它与钙或镁离子同时存在于水中,为主要矿化组成之一,但与钠离子伴存者比较少见,不含硫酸盐的水很少碰到。当水中含硫酸盐超过 400mg/L 时会产生碱味,略有苦味和涩味。

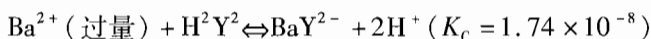
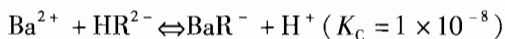
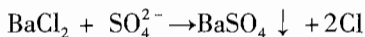
地下水中的硫酸盐含量较高时,对混凝土基础有侵蚀破坏作用。因水中所含的硫酸根与混凝土毛细管及孔眼中的碱性固态游离石灰质和水泥结石中的水化铝酸三钙、水化铝酸四钙作用,形成铝酸钙结晶或石膏结晶,这两种结晶的产生,在混凝土内部产生胀压作用,而导致混凝土的破坏。

硫酸盐的测定方法有硫酸钡重量法、各种容量法以及铬酸钡比色法和硫酸钡比浊法。本书介绍采用 EDTA 法。

## 1. EDTA 容量法测水的硫酸盐含量

## 1) 原理

综合滴定法测定硫酸根( $\text{SO}_4^{2-}$ )时,不是直接滴定,因为 EDTA 并不能与  $\text{SO}_4^{2-}$  络合,而是在微酸性溶液中加入过量氯化钡溶液使水样中的硫酸盐全部生成硫酸钡沉淀,而过量的钡离子在  $\text{pH} \approx 10$  时以铬兰黑(或铬黑 T)作指示剂,在  $\text{Mg}^{2+}$  存在下,用 EDTA 标准溶液滴定过量的钡,从而间接测出硫酸盐的含量,其反应为:



在滴定反应中,水样中有钙、镁存在时也会呈同样反应,所以在滴定中 EDTA 消耗量应扣

除测硬度时钙镁所消耗的 EDTA 用量。

## 2) 试剂

- (1) 0.05mol/L 的 EDTA 标准溶液 I;
- (2) 钡镁混合液(约 0.1N);
- (3) 1: 1 盐酸;
- (4) 氨缓冲溶液;
- (5) 铬兰黑指示剂。

## 3) 试验步骤

按测定硬度所取水样数量于三角烧瓶中,补充蒸馏水至瓶内水样约为 50mL 左右,加入 1: 1 盐酸二滴,置电炉上加热煮沸,取下,准确加入钡镁混合液 10mL 摇匀,再加热煮沸 5min 左右放 0.5% ~ 10% 的  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,至刚果红试纸变红,加 5mL 氨缓冲溶液及铬蓝黑 10 滴(或固体试剂少许),摇匀,用 0.1N 的 EDTA 溶液进行滴定,由紫红色转变为明显的蓝色,1min 不退色即为终点。

## 4) 计算

硫酸根离子( $\text{SO}_4^{2-}$ )含量按下式计算:

$$\text{硫酸根(毫克当量/升)} = (V_1 - V_2 - V_3) \times N \times \frac{1\,000}{V}$$

$$\text{硫酸根(mg/L)} = (V_1 - V_2 - V_3) \times N \times 48.04 \times \frac{1\,000}{V}$$

式中:  $N$ ——EDTA 当量浓度(为计算方便,按当量浓度计);

$V_1$ ——测硬度时试样中钙镁离子所消耗的 0.1N 的 EDTA 量(与测硫酸根相同的量),mL;

$V_2$ ——10mL 钡镁混合液相当的 0.1 的 NNEDTA 标准溶液量,mL;

$V_3$ ——滴定样品时所消耗的 0.1N 的 EDTA 量,mL;

$V$ ——所取测定样品量,mL;

48.04——每 1 毫克当量硫酸根的量,mg。

## 5) 试验注意事项

(1) 干扰离子处理同总硬度

(2) 取样数量及钡镁混合液加入量,可参考表 4-3。

表 4-3

含 $\text{SO}_4^{2-}$ 量(mg/L)	取水样量(mL)	0.1N 钡镁加入量(mL)
25	100	5
50 ~ 100	50	5
100 ~ 250	25	10
250 ~ 500	10	10

如  $\text{SO}_4^{2-}$  含量大于 500mg/L 时,可酌情稀释后进行测定。

(3) 钡镁混合液的加入量对结果影响很大,以超过  $\text{SO}_4^{2-}$  含量的 60% ~ 100% 为宜,否则造成的误差很大,用平行测定都不易发现。

(4)  $\text{SO}_4^{2-}$  的含量大时,产生大量的  $\text{BaSO}_4$  沉淀,使滴定的终点模糊应过滤或少取水样。

(5) 加入钡镁混合液后,要放置一段时间,可使沉淀颗粒变大,以便滴定时易于观察终点。

## 二、其他检测项目

### (一) 不溶物

不溶物系指水样在规定条件下,经过滤可除去的物质。不同的过滤介质可获得不同的测定结果。本方法采用中速定量滤纸作过滤介质。

#### 1. 仪器

(1) 分析天平:感量 0.1mg。

(2) 电热恒温干燥箱(烘箱)。

(3) 干燥器:用硅胶作干燥剂。

(4) 中速定量滤纸及相应玻璃漏斗。

(5) 量筒:100mL。

#### 2. 分析步骤

(1) 将滤纸放在  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  烘箱内烘干 1h,取出放在干燥器内冷却至室温,用分析天平称重。重复烘干称重,直至恒重。

(2) 剧烈振荡水样,迅速量取 100mL 或适量水样(采取的不溶物量最好在 20 ~ 100mg 之间),并使之全部通过滤纸。

(3) 将滤纸连同截留的不溶物放在  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  烘箱内烘干 1h,放入干燥器中冷却至室温并称重。重复烘干称重,直至恒重。

#### 3. 计算

$$\text{不溶物}(\text{mg/L}) = \frac{(m_2 - m_1) \times 10^6}{V}$$

式中: $m_1$ ——滤纸质量,g;

$m_2$ ——滤纸及不溶物质量,g;

$V$ ——水样体积,mL;

### (二) 硫化物含量(重量法)

#### 1. 原理

本方法采用在酸性条件下,硫酸盐与氯化钡溶液反应生成白色硫酸钡沉淀,将沉淀过滤、灼烧至恒重。根据硫酸钡的准确重量计算硫酸盐的含量。

#### 2. 仪器

(1) 高温炉:最高温度  $1000^\circ\text{C}$ ;

(2) 天平:称量 100(或 200)g,感量 0.1mg;

(3) 瓷坩埚

(4) 干燥器

(5) 其他:容量瓶、烧杯、致密定量滤纸。

#### 3. 试剂

(1) 1% 硝酸银分析纯溶液;

(2) 10% 氯化钡分析纯溶液;

- (3) 1:1 盐酸分析纯溶液;  
(4) 1% 甲基红指示剂溶液。

#### 4. 试验步骤

(1) 吸取水样 200mL 置于 400mL 烧杯中加 2~3 滴甲基红, 用 1:1 盐酸酸化至刚出现红色, 再加 5~10 滴盐酸, 在不断搅动下加热, 趁热滴加 10 氯化钡至上部清液中不再产生沉淀时, 再加 2~4mL 氯化钡, 温热至 60~70℃, 静置 2~4h。

(2) 用致密定量滤纸过滤, 烧杯中的沉淀用热水洗 2~3 次后移入滤纸, 再洗至无氯离子 (用 1%  $\text{AgNO}_3$  检验), 但也不宜过多洗。

(3) 将沉淀和滤纸移入已灼烧恒重的坩埚中, 小心烤干, 灰化至灰白色, 移入 800℃ 高温炉中灼烧 20~30min, 然后在干燥中冷却至室温称重。再将坩埚灼烧 15~20min, 称量至恒重 (两次称重之差小于  $\pm 0.0002\text{g}$ )。

(4) 取纯水按以上 3 个分析步骤作空白试验。

(5) 每种水样做平行测定。

#### 5. 注意事项

(1) 沉淀在微酸性溶液中进行, 以防止某些阴离子如碳酸根、重碳酸根和氢氧根等与钡离子发生共沉淀现象。

(2) 硫酸钡沉淀同滤纸灰化时, 应保证有充分的空气。否则沉淀易被滤纸烧成的碳所还原:  $\text{BaSO}_4 + \text{C} \rightarrow \text{BaS} + \text{CO}$ , 当发生这种现象时, 沉淀呈灰色和黑色, 此时可在冷却后的沉淀中加入 2~3 滴浓硫酸, 然后小心加热至三氧化硫白烟不再发生为止, 再在 800℃ 的温度下灼烧至恒重。炉温不能过高, 否则  $\text{BaSO}_4$  开始分解。

#### 6. 计算

$$C_{\text{SO}_4}(\text{mg/L}) = \frac{(m_1 - m_0) \times 0.4116 \times 10^6}{V}$$

式中:  $m_1$ ——水样的硫酸钡质量, g;

$m_0$ ——空白试验的硫酸钡质量, g;

$V$ ——水样体积, mL;

0.4116——由硫酸钡 ( $\text{BaSO}_4$ ) 换算成硫酸根 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 的系数。

以两次测值的平均值作为试验结果

### (三) 可溶物

#### 1. 定义

可溶物系指水样在规定条件下, 经过滤并蒸发干燥后留下的物质, 包括不易挥发的可溶盐类、有机物以及能通过滤纸的其他微粒。

#### 2. 仪器

较不溶物检测增加了水浴锅、75mL 瓷蒸发皿, 同时将 100mL 量筒改为吸管式量筒。

#### 3. 试验步骤

(1) 将滤纸放在  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  烘箱内烘干 1h, 取出放在干燥器内冷却至室温, 用分析天平称重。重复烘干称重, 直至恒重。

(2) 将水样用滤纸过滤。吸取过滤后水样 50mL 于蒸发皿内。

(3) 将蒸发皿置于水浴上蒸发至干。

(4)移入  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$  烘箱内烘干 1h 取出并放入干燥器内,冷却至室温,称重。重复烘干、称重至恒重。

4. 计算

$$\text{可溶物 (mg/L)} = \frac{(m_2 - m_1) \times 10^6}{V}$$

式中: $m_1$ ——蒸发皿质量,g;

$m_2$ ——蒸发皿和可溶物质量,g;

$V$ ——水样体积,mL。



## 第五章 混凝土外加剂的质量检验

水泥混凝土是当代最大宗的人造建筑材料,我国水泥年产量已超过4亿吨,约占世界水泥产量的1/3,混凝土用量也为全世界之冠。自从1814年波特兰水泥问世以来,混凝土应用愈来愈广泛,混凝土科学技术也不断取得进步,20世纪30年代开始采用的以引气剂和塑化剂为主的混凝土外加剂技术,对优质混凝土的四大要素,即耐久性、强度、工作性与经济性产生了十分明显甚至是决定性的作用。

各种混凝土外加剂的应用改善了新拌和硬化混凝土性能,促进了混凝土新技术的发展,促进了工业副产品在胶凝材料系统中更多的应用,还有助于节约资源和环境保护,已经逐步成为优质混凝土必不可少的材料。近年来,国家基础设施建设保持高速增长,铁路、公路、机场、煤矿、市政工程、核电站、大坝等工程对混凝土外加剂的需求一直很旺盛,我国的混凝土外加剂行业也一直处于高速发展阶段。

### 第一节 概 述

#### 一、外加剂的定义

《混凝土外加剂定义、分类、命名与术语》(GB/T 8075—2005)中对混凝土外加剂的定义是:混凝土外加剂是一种在混凝土搅拌之前或拌制过程中加入,用以改善新拌混凝土和(或)硬化混凝土性能的材料。

混凝土外加剂由于其应用的广泛性,又被称为混凝土的第五组分。外加剂掺量虽然仅占水泥量的5%以下,却能显著改善混凝土的和易性、强度、耐久性或调节凝结时间及节约水泥。混凝土外加剂的应用促进了混凝土技术的飞速进步,技术经济效益十分显著,使得高强高性能混凝土的生产和应用成为现实,并解决了许多工程技术难题。如远距离运输和高耸建筑物的泵送问题;紧急抢修工程的早强速凝问题;大体积混凝土工程的水化热问题;纵长结构的收缩补偿问题;地下建筑物的防渗漏问题等等。

#### 二、外加剂的分类

混凝土外加剂种类很多,GB/T 8075—2005规定:混凝土外加剂按其主要使用功能分成四大类:

- (1) 改善混凝土拌和物流变性能的外加剂,包括各种减水剂和泵送剂等;
- (2) 调节混凝土凝结时间、硬化性能的外加剂,包括缓凝剂、促凝剂和速凝剂等;
- (3) 改善混凝土耐久性的外加剂,包括引气剂、防水剂和阻锈剂和矿物外加剂等;
- (4) 改善混凝土其他性能的外加剂,包括膨胀剂、防冻剂、着色剂等。

#### 三、混凝土外加剂的主要功能

混凝土外加剂的主要功能有以下15种:

- (1)改善混凝土或砂浆拌和物施工时的和易性;
- (2)提高混凝土或砂浆的强度及其他物理力学性能;
- (3)节约水泥或代替特种水泥;
- (4)加速混凝土或砂浆的早期强度发展;
- (5)调节混凝土或砂浆的凝结硬化速度;
- (6)调节混凝土或砂浆的含气量;
- (7)降低水泥初期水化热或延缓水化放热;
- (8)改善拌和物的泌水性;
- (9)提高混凝土或砂浆耐各种侵蚀性盐类的腐蚀性;
- (10)减弱碱集料反应;
- (11)改善混凝土或砂浆的毛细孔结构;
- (12)改善混凝土的泵送性;
- (13)提高钢筋的抗锈蚀能力;
- (14)提高集料与砂浆界面的粘结力,提高钢筋与混凝土的握裹力;
- (15)提高新老混凝土界面的粘结力等。

#### 四、影响水泥和外加剂适应性的主要因素

水泥与外加剂的适应性是一个十分复杂的问题,至少受到下列因素的影响。遇到水泥和外加剂不适应的问题,必须通过试验,对不适应因素逐个排除,找出其原因。

(1)水泥:矿物组成、细度、游离氧化钙含量、石膏加入量及形态、水泥熟料碱含量、碱的硫酸饱和度、混合材种类及掺量、水泥助磨剂等。

(2)外加剂的种类和掺量。如:萘系减水剂的分子结构,包括磺化度、平均分子量、分子量分布、聚合性能、平衡离子的种类等。

(3)混凝土配合比,尤其是水胶比、矿物外加剂的品种和掺量。

(4)混凝土搅拌时的加料程序、搅拌时的温度、搅拌机的类型等。

#### 五、应用外加剂主要注意事项

外加剂的使用效果受到多种因素的影响,因此,选用外加剂时应特别予以注意。

(1)外加剂的品种应根据工程设计和施工要求选择。应使用工程原材料,通过试验及技术经济比较后确定。

(2)几种外加剂复合使用时,应注意不同品种外加剂之间的相容性及对混凝土性能的影响。使用前应进行试验,满足要求后,方可使用。如:聚羧酸系高性能减水剂与萘系减水剂不宜复合使用。

(3)严禁使用对人体产生危害,对环境产生污染的外加剂。用户应注意工厂提供的混凝土外加剂安全防护措施的有关资料,并遵照执行。

(4)对钢筋混凝土和有耐久性要求的混凝土,应按有关标准规定严格控制混凝土中氯离子含量和碱的数量。混凝土中氯离子含量和总碱量是指其各种原材料所含氯离子和碱含量之和。

(5)由于聚羧酸系高性能减水剂的掺加量对其性能影响较大,用户应注意按照准确计量。

## 第二节 常用外加剂

### 一、常用外加剂及其品种

常用外加剂种类及品种见表 5-1,每一类不同的外加剂均由某种主要化学组分组成。市售的外加剂可能都复合有不同的组成材料。

常用混凝土外加剂种类

表 5-1

外加剂名称	作用	原料种类及常用品种
普通减水剂	具有一定的缓凝、减水、引气作用	木质素磺酸盐类,羧基酸盐类,多元醇类、聚氧乙烯烷基醚类,腐殖酸类等,如木钙、木钠和木镁
高效减水剂	具有较高的减水率,较低引气量	氨基磺酸盐系减水剂;脂肪族(醛酮缩合物)减水剂;密胺系及改性密胺系减水剂;萘系减水剂;洗油系减水剂
引气剂	引入大量均匀分布、稳定而封闭的微小气泡	松香树脂类,烷基苯磺酸盐类,脂肪醇磺酸盐类,如可溶性树脂酸盐(松香酸);文沙尔树脂;皂化的吐尔油;十二烷基磺酸钠;十二烷基苯磺酸钠;磺化石油烃类的可溶性盐等
缓凝剂	延长混凝土凝结时间	糖类,如糖钙、蔗糖、葡萄糖;羧基酸盐类,如柠檬酸、酒石酸、水杨酸;多元醇类,如纤维素、纤维素醚;无机盐类,如三聚磷酸盐、锌盐、硼酸盐
早强剂	加速混凝土早期强度发展	氯化物类,如氯化钙、氯化钠、氯化钾;硫酸盐类,如硫酸钠、硫酸钙;硝酸盐类,如硝酸钠、亚硝酸钠、硝酸钙、亚硝酸钙;有机物类,如三乙醇胺、三异丙醇胺
防冻剂	在负温下硬化,并且达到要求的防冻强度	氯盐类,如氯化钙、氯化钠;硝酸盐类,如硝酸钠、亚硝酸钠、硝酸钙、亚硝酸钙;碳酸盐类、氨水类、有机类,如尿素、有机硫化物
膨胀剂	能使混凝土产生一定体积膨胀	硫铝酸钙类,氧化钙类,氧化镁类(加氧化镁膨胀剂),氧化铁类(如铁粉)
速凝剂	使混凝土迅速凝结硬化	铝氧熟料、碳酸盐系,以铝酸盐与碳酸盐为主体;铝氧熟料、明矾石系,以铝氧料与硫酸盐为主;水玻璃系
泵送剂	改善混凝土拌和物泵送性能	一种复合外加剂,其主要成分为减水剂、引气剂、缓凝剂等。
阻锈剂	抑制或减轻混凝土中钢筋锈蚀	亚硝酸盐、铬酸盐、苯甲酸盐类;碳酸钠和氢氧化钠类;硫代羧基苯胺

### 二、常用混凝土外加剂功能及作用机理

#### 1. 减水剂

减水剂是指在混凝土坍落度相同的条件下,能减少拌和用水量;或者在混凝土配合比和用水量均不变的情况下,能增加混凝土坍落度的外加剂。根据减水率大小或坍落度增加幅度分为普通减水剂和高效减水剂两大类。此外,尚有复合型减水剂,如引气减水剂,既具有减水作用,同时具有引气作用;早强减水剂,既具有减水作用,又具有提高早期强度作用;缓凝减水剂,同时具有延缓凝结时间的功能等等。

##### (1) 减水剂的主要功能

- ①配合比不变时显著提高流动性。
- ②流动性和水泥用量不变时,减少用水量,降低水灰比,提高强度。
- ③保持流动性和强度不变时,节约水泥用量,降低成本。
- ④配置高强高性能混凝土。

## (2) 减水剂的作用机理

减水剂提高混凝土拌和物流动性的作用机理主要包括分散作用和润滑作用两方面。减水剂实际上为一种表面活性剂,多为阴离子表面活性剂。长分子链的一端易溶于水——亲水基,另一端难溶于水——憎水基,如图 5-1 所示。



图 5-1 表面活性剂(减水剂)

①分散作用:水泥加水拌和后,由于水泥颗粒分子引力的作用,使水泥浆形成絮凝结构,使 10% ~ 30% 的拌和水被包裹在水泥颗粒之中,不能参与自由流动和润滑作用,从而影响了混凝土拌和物的流动性(图 5-2a)。

②静电斥力:当加入减水剂后,由于减水剂分子能定向吸附于水泥颗粒表面,使水泥颗粒表面带有同一种电荷(通常为负电荷),形成静电排斥作用,促使水泥颗粒相互分散,絮凝结构破坏,释放出被包裹部分水,参与流动,从而有效地增加混凝土拌和物的流动性(图 5-2b)。

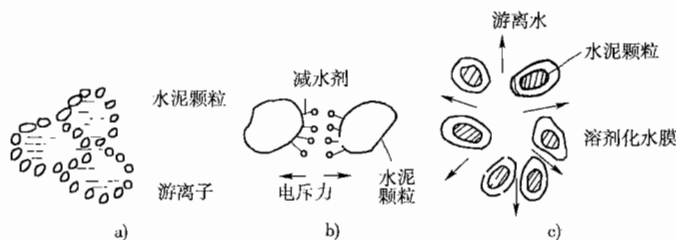


图 5-2 减水剂作用机理示意图

a) 絮凝结构; b) 静电斥力; c) 水膜润滑

③润滑作用:减水剂中的亲水基极性很强,因此水泥颗粒表面的减水剂吸附膜能与水分子形成一层稳定的溶剂化水膜,这层水膜具有很好的润滑作用,能有效降低水泥颗粒间的滑动阻力,从而使混凝土流动性进一步提高。

## 2. 早强剂

早强剂是指能加速混凝土早期强度发展的外加剂。主要作用机理是加速水泥水化速度,加速水化产物的早期结晶和沉淀。主要功能是缩短混凝土施工养护期,加快施工进度,提高模板的周转率。主要适用于有早强要求的混凝土工程及低温、负温施工混凝土、有防冻要求的混凝土、预制构件、蒸汽养护等等。

## 3. 引气剂

引气剂是指混凝土在搅拌过程中能引入大量均匀、稳定且封闭的微小气泡的外加剂。气泡直径一般为 0.02 ~ 1.0mm,绝大部分小于 0.2mm。其作用机理为引气剂作用于气—液界面,使表面张力下降,从而形成稳定的微细封闭气孔。

引气剂能够改善混凝土拌和物的和易性。在拌和物中,相互封闭的微小气泡能起到滚珠作用,减小骨料间的摩阻力,从而提高混凝土的流动性。若保持流动性不变,则可减少用水量,一般每增加 1% 的含气量可减少用水量 6% ~ 10%。由于大量微细气泡能吸附一层稳定的水

膜,从而减弱了混凝土的泌水性,故能改善混凝土的保水性和粘聚性。

引气剂还能提高混凝土耐久性。由于大量的微细气泡堵塞和隔断了混凝土中的毛细孔通道,同时由于泌水少,泌水造成的孔缝也减少。因而能大大提高混凝土的抗渗性能。提高抗腐蚀性能和抗风化性能。另一方面,由于连通毛细孔减少,吸水率相应减小,且能缓冲水结冰时引起的内部水压力,从而使抗冻性大大提高。

引气剂主要应用于具有较高抗渗和抗冻要求的混凝土工程或贫混凝土,提高混凝土耐久性,也可用来改善泵送性。工程上常与减水剂复合使用,或采用复合引气减水剂。

由于引气剂导致混凝土含气量提高,混凝土有效受力面积减小,故混凝土强度将下降,一般每增加1%含气量,抗压强度下降5%左右,抗折强度下降2%~3%。故引气剂的掺量必须通过含气量试验严格加以控制。

#### 4. 缓凝剂

缓凝剂是指能延长混凝土的初凝和终凝时间的外加剂。最常用的缓凝剂为木钙和糖蜜。糖蜜的缓凝效果优于木钙,一般能缓凝3h以上。缓凝剂的可以降低大体积混凝土的水化热和推迟温峰出现时间,有利于减小混凝土内外温差引起的应力开裂;便于夏季施工和连续浇捣的混凝土,防止出现混凝土施工缝;便于泵送施工、滑模施工和远距离运输;缓凝剂通常具有减水作用,故亦能提高混凝土后期强度或增加流动性或节约水泥用量。

#### 5. 速凝剂

速凝剂是指能使混凝土迅速硬化的外加剂。一般初凝时间小于5min,终凝时间小于10h,1h内即产生强度,3天强度可达基准混凝土的3倍以上,但后期强度一般低于基准混凝土。

速凝剂主要用于喷射混凝土和紧急抢修工程、军事工程、防洪堵水工程等。如矿井、隧道、引水涵洞、地下工程岩壁衬砌、边坡和基坑支护等等。

#### 6. 防冻剂

防冻剂指能使混凝土在负温下硬化,并在规定养护条件下达到预期性能的外加剂。绝大部分防冻剂由防冻组分、早强组分、减水组分或引气剂复合而成,主要适用于冬季负温条件下的施工。值得说明的一点是,防冻组分本身并不一定能提高硬化混凝土抗冻性。

#### 7. 膨胀剂

膨胀剂是指能使混凝土产生一定体积膨胀的外加剂。掺入膨胀剂的目的是补偿混凝土自身收缩、干缩和温度变形,防止混凝土开裂,并提高混凝土的密实性和防水性能。常用膨胀剂品种有硫铝酸钙、氧化钙、氧化镁、铁屑膨胀剂和复合膨胀剂。也有采用加气类膨胀剂,如铝粉膨胀剂。

目前建筑工程中膨胀剂的应用越来越多,如地下室底板和侧墙混凝土、钢管混凝土、超长结构混凝土、有防水要求的混凝土工程等等。膨胀剂应用过程中应注意的问题:严格按照规定掺量掺加。掺量过低膨胀率小,起不到补偿收缩作用;掺量过高则会破坏混凝土结构。

掺膨胀剂混凝土应加强养护。尤其是早期养护,以保证充分发挥膨胀剂的补偿收缩作用,浇水养护时间不得少于14天。如果不能保证充分潮湿养护,有可能产生比不掺膨胀剂更大的收缩,导致混凝土开裂。

#### 8. 絮凝剂

絮凝剂主要用以提高混凝土的粘聚性和保水性,使混凝土即使受到水的冲刷,水泥和集料

也不离析分散。因此,这种混凝土又称为抗冲刷混凝土或水下不分散混凝土,适用于水下施工。常用的品种有:

纤维素系:主要是非离子型水溶性纤维素醚,如亲水性强的羟基纤维素(HEC)、羟乙基甲基纤维素(HEMC)和羟丙基甲基纤维素(PHMC)等。它们的料度随分子量及取代基团的不同而不同。

丙烯基系:以聚丙烯酰胺为主要成分。絮凝剂常与其他外加剂复合使用。如与减水剂复合、与引气剂复合、与调凝剂复合等。

### 9. 阻锈剂

阻锈剂是指能抑制或减轻混凝土中钢筋或其他预埋金属锈蚀的外加剂。钢筋或金属预埋件的锈蚀与其表面保护膜的情况有关。混凝土碱度高,埋入的金属表面形成钝化膜,有效地抑制钢筋锈蚀。若混凝土中存在氯化物,会破坏钝化膜,加速钢筋锈蚀。加入适宜的阻锈剂可以有效地防止锈蚀的发生或减缓锈蚀的速度。常用的种类有:

(1)阳离子型阻锈剂:以亚硝酸盐、铬酸盐、苯甲酸盐为主要成分。其特点是具有接受电子的能力,能抑制阳极反应。

(2)离子型阻锈剂:以碳酸钠和氢氧化钠等碱性物质为主要成分。其特点是阴离子为强的质子受体,它们通过提高溶液 pH 值,降低 Fe 离子的溶解度而减缓阳极反应或在阴极区形成难溶性被复膜而抑制反应。

(3)复合型阻锈剂:如硫代羟基苯胺。其特点是分子结构中具有两个或更多的定位基团,既可作为电子授体,又可作为电子受体,兼具以上两种阻锈剂的性质,能够同时影响阴阳极反应。因此,它不仅能抑制氯化物侵蚀,而且能抑制金属表面上微电池反应引起的锈蚀也很有效。

### 10. 泵送剂

能改善混凝土拌和物泵送性能的外加剂称为泵送剂。所谓泵送性,是指混凝土拌和物具有能顺利通过输送管道、不阻塞、不离析、塑性良好的性能。泵送剂是流化剂中的一种,它除了能大大提高拌和物流动性以外,还能使其在 60 ~ 180min 时间内保持其流动性,剩余坍落度应不小于原始的 55%。此外,它不是缓凝剂,缓凝时间不宜超过 120min (特殊情况除外)。

## 第三节 混凝土外加剂的质量检验

### 一、外加剂的质量要求

国标对各类混凝土外加剂的质量要求主要是均质性(或化学成分)要求和掺外加剂混凝土性能要求。指标的具体数值要求参见本书或相关的国家标准或行业标准。

#### 1. 《混凝土外加剂》(GB 8076)的规定

该标准对高性能减水剂、高效减水剂、普通减水剂、引气减水剂、泵送剂、早强剂、缓凝剂这八类混凝土外加剂,提出了均质性能和掺外加剂混凝土(砂浆)性能的要求。

掺外加剂混凝土技术性能中抗压强度比、收缩率、相对耐久性为强制性标准,其余为推荐指标(表 5-2)。

受检混凝土性能指标

表 5-2

项 目	外加剂品种												
	高性能减水剂 HPWR			高效减水剂 HWR		普通减水剂 WR			引气	泵送剂	早强剂	缓凝剂	引气剂
	早强型 HPWR	标准型 HPWR	缓凝型 HPWR	标准型 HWR	缓凝型 HWR	早强型 WR	标准型 WR	缓凝型 WR	减水剂 AEWR	PA	Ac	Re	AE
	—A	—S	—R	—S	—R	—A	—S	—R					
减水率(%) , 不小于	25	25	25	14	14	8	8	8	10	12			6
泌水率比(%) , 不大于	50	60	70	90	100	95	100	100	70	70	100	100	70
含气量(%)	≤6.0	≤6.0	≤6.0	≤3.0	≤4.5	≤4.0	≤4.0	≤5.5	≥3.0	≤5.5			≥3.0
凝结时间 之差(min)	初凝	-90 ~	-90 ~	> +90	-90 ~	> +90	-90 ~	-90 ~	> +90	-90 ~	-90 ~	> +90	-90 ~
	终凝	+90	+120	—	+120	—	+90	+120	—	+120	—	—	+120
1h 经时 变化量	坍落度 (mm)		≤80	≤60						≤80			
	含气量 (%)								-1.5 ~ 1.5				-1.5 ~ 1.5
抗压强度比 (%) , 不小于	1d	180	170		140		135				135		
	3d	170	160		130		130	115	115		130		95
	7d	145	150	140	125	125	110	115	110	110	110	100	95
	28d	130	140	130	120	120	100	110	110	100	110	100	90
收缩率比(%) 不大于	28d	110	110	110	135	135	135	135	135	135	135	135	135
相对耐久性(200 次) (%) , 不小于									80				80
注:1. 表 1 中抗压强度比、收缩率比、相对耐久性为强制性指标,其余为推荐性指标; 2. 除含气量和相对耐久性外,表中所列数据为掺外加剂混凝土与基准混凝土的差值或比值; 3. 凝结时间之差性能指标中的“-”号表示提前,“+”号表示延缓; 4. 相对耐久性(200 次)性能指标中的“≥80”表示将 28 d 龄期的受检混凝土试件快速冻融循环 200 次后,动弹性模量保留值≥80%; 5. 1h 含气量经时变化量指标中的“-”号表示含气量增加,“+”号表示含气量减少; 6. 其他品种的外加剂是否需要测定相对耐久性指标,由供、需双方协商确定; 7. 当用户对泵送剂等产品有特殊要求时,需要进行的补充试验项目、试验方法及指标,由供需双方协商决定。													

匀质性指标应符合表 5-3 的要求。

表 5-3

项 目	指 标
氯离子含量(%)	不超过生产厂控制值
总碱量(%)	不超过生产厂控制值
含固量(%)	$s > 25\%$ 时,应控制在 $0.95s \sim 1.05s$ ; $s \leq 25\%$ 时,应控制在 $0.90s \sim 1.10s$
含水率(%)	$W > 5\%$ 时,应控制在 $0.90W \sim 1.10W$ ; $W \leq 5\%$ 时,应控制在 $0.80W \sim 1.20W$
密度( $g/cm^3$ )	$D > 11$ 时,应控制在 $D \pm 0.03$ ; $D \leq 11$ 时,应控制在 $D \pm 0.02$

续上表

项 目	指 标
细度	应在生产厂控制范围内
pH 值	应在生产厂控制范围内
硫酸钠含量(%)	不超过生产厂控制值
注:1. 生产厂应在相关的技术资料中明示产品匀质性指标的控制值; 2. 对相同和不同批次之间的匀质性和等效性的其他要求,可由供需双方商定; 3. 表中的 $s$ 、 $W$ 和 $D$ 分别为含固量、含水率和密度的生产厂控制值。	

2.《混凝土膨胀剂》(GB 23439—2009)的规定

技术指标要求分为化学成分指标和物理性能指标。

化学成分指标包括氧化镁和碱含量,其中碱含量是选择性指标。氧化镁含量应不大于5%,若使用活性骨料,用户要求提供低碱性混凝土膨胀剂时,膨胀剂碱含量应不大于0.75%或由供需双方确定(表 5-4)。

表 5-4

项 目		指 标 值	
		I 型	II 型
限制膨胀率(%)	水中 7 天 $\geq$	0.025	0.050
	空气中 21 天 $\geq$	-0.020	-0.010

物理性能指标包括细度、凝结时间、限制膨胀率和抗压强度,其中限制膨胀率是强制性指标,其余为推荐性指标。

《混凝土膨胀剂》(JTJ 476—2001)规定化学成分指标有:氧化镁、含水率、总碱量和氯离子;物理性能指标有:细度、凝结时间、限制膨胀率、抗压强度和抗折强度(表 5-5)。

表 5-5

项 目				指 标 值
化 学 成 分	氧化镁(%) $\leq$			5.0
	含水率(%) $\leq$			3
	总碱量(%) $\leq$			0.75
	氯离子(%) $\leq$			0.05
物 理 性 能	细度	比表面积( $m^2/kg$ ) $\geq$		250
		0.08mm 筛余(%) $\leq$		12
		1.25mm 筛余(%) $\leq$		0.5
	凝结时间	初凝(min)		45
		终凝(h)		10
	限制膨胀率	水中	7d $\geq$	0.025
			28d $\leq$	0.10
		空气中	21d $\geq$	-0.020



续上表

项 目			指 标 值
物理性能	抗压强度 (MPa)	7d $\geq$	25.0
		28d $\geq$	45.0
	抗折强度	7d $\geq$	4.5
		28d $\geq$	6.5

### 3.《混凝土泵送剂》(JC 473—2001)的规定

均质性指标:含固量、含水量、密度、细度、氯离子含量、总碱量、水泥净浆流动度。

受检混凝土的性能指标:坍落度增加值、常压泌水率比、压力泌水率比、坍落度保留值、收缩率比、对钢筋的锈蚀作用。

### 4.《砂浆和混凝土防水剂》(JTJ 474—2008)的规定

均质性能指标包括:密度、氯离子含量、总碱量、细度、含水率、含固量。

受检砂浆性能指标包括:安定性、凝结时间、抗压强度比、透水压力比、吸水量比(48h)、收缩率比(28d)。

受检混凝土性能指标包括:安定性、泌水率比、凝结时间差、抗压强度比、透水压力比、吸水量比(48h)、收缩率比(28d)。

### 5.《混凝土防冻剂》(JTJ 475—2004)的规定

均质性指标:含固量、含水率、密度、氯离子含量、碱含量、水泥净浆流动度、细度。

受检混凝土的性能指标:减水率、泌水率比,含气量、凝结时间差、抗压强度比、28天收缩率比、渗透高度比、50天冻融强度损失率比、对钢筋的锈蚀作用。

### 6.《钢筋混凝土阻锈剂》(JTJ/T 537—2004)的规定

技术指标分均质性控制指标和加入阻锈剂的钢筋混凝土的技术性能指标。

均质性指标包括:密度、氯离子含量、水泥净浆流动度、细度、pH值、表面张力、还原糖、总碱量、硫酸钠、泡沫性能、砂浆率。

加入阻锈剂的钢筋混凝土的技术性能包括:钢筋的耐盐水浸渍性能和耐锈蚀性能以及混凝土的凝结时间差和抗压强度比(表5-6)。

加入阻锈剂的钢筋混凝土技术性能要求

表 5-6

项 目			技术性能
钢筋	耐盐水浸渍性能		无腐蚀
	耐锈蚀性能		无腐蚀
混凝土	凝结时间差	初凝	-60 ~ +12min
		终凝	
	抗压强度比	7d	>0.90
		28d	

## 二、相关规范对外加剂的应用要求

### 1.《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)的规定

1)混凝土外加剂,包括引气剂、减水剂、早强剂、防冻剂、泵送剂、缓凝剂、膨胀剂等。应根

据要求选用。外加剂的质量必须符合现行国家标准及现行行业标准《混凝土外加剂》(GB 8076)、《混凝土泵送剂》(JC 473)、《砂浆和混凝土防水剂》(JTJ 474)、《混凝土防冻剂》(JTJ 475)、《混凝土膨胀剂》(JTJ 476)的有关规定。在所掺用的外加剂中,氯离子含量(占水泥重量百分比)不宜大于0.02%。

注:除符合该标准中掺引气剂、引气减水剂的混凝土性能指标外,还必须符合本规范的有关规定。

2)外加剂在使用前应按现行国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076)中有关规定进行检测。试验按现行国家标准《混凝土外加剂匀质性试验》(GB 8077)的规定方法进行。

3)引气剂可采用松香热聚物或松香皂等。

其品质应符合表5-7的规定。

松香热聚物或松香皂的品质要求

表5-7

松香热聚物0.2%溶液(不包括氢氧化钠)的泡沫度不得小于	手摇 40% 机摇 20%
松香热聚物1%溶液(包括氢氧化钠)的泡沫度不得小于	手摇 45% 机摇 12%

4)钢筋混凝土、预应力混凝土中不得掺用含氯盐的外加剂。

5)在冷天施工中,掺用外加剂应符合下列规定:

(1)采用三乙醇胺作早强剂时,掺量不得超过水泥用量的0.05%。

(2)素混凝土中,掺用氯盐或以氯盐为主的防冻剂时,氯盐重量总和不得超过水泥重量的2%。

6)对外加剂应检查出厂时附有的技术文件,包括产品名称、型号、主要特性及成分、适用范围及适宜的掺量、性能检验合格证书、贮存条件及有效期、使用方法、注意事项及出厂日期等。

2.《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269—1996)的规定

(1)混凝土掺用的外加剂必须是省级以上有关部门鉴定批准生产的产品,并应有质量证明书,质量应符合国家现行标准《混凝土外加剂》(GB 8076)的规定,海水环境和预应力混凝土采用的外加剂氯离子含量不宜大于0.02%。

(2)混凝土外加剂的使用应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》(GBJ 119)的规定。

(3)当骨料具有活性时,应检验混凝土外加剂的碱含量,并应限制采用碱含量高的外加剂,以确保混凝土拌和物的碱含量符合本规范的规定;

(4)不同外加剂应分别贮存,做好标记,并不得混入杂物或受潮。

3.《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)的规定

外加剂应符合下列规定:

(1)外加剂质量应符合现行国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076)的规定。

(2)外加剂对混凝土的性能应无不利影响,其氯离子含量不宜大于水泥质量的0.02%。

(3)外加剂的应用应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》(GBJ 119)的规定,其掺量应通过试验确定。

(4)钢筋阻锈剂下列情况宜掺加亚硝酸钙阻锈剂,或以亚硝酸钙为主剂的复合阻锈剂以及质量符合规范第7.4.2条规定的其他阻锈剂:

①因条件限制,混凝土构件的保护层偏薄;

②混凝土氯离子含量超过第 5.2.2 条的规定；

③恶劣环境中的重要工程,其浪溅区和水位变化区,要求进一步提高优质混凝土或高性能混凝土的护筋性。

(5)阻锈剂质量验证试验应符合表 5-8 的规定。

阻锈剂质量验证试验标准

表 5-8

试 验 项 目	试 验 方 法	规 定
钢筋在砂浆中的阳极极化试验	按《水运工程混凝土试验规程》。砂浆的氯化钠掺量为 1.5%,阻锈剂掺量按生产厂家的规定采用。当单掺亚硝酸钙时,其掺量应为 1.5%	电极通电后 15min,电位跌落值不得超过 50mV。先进行新拌砂浆中的试验,若不合格再进行硬化砂浆中的试验,若仍不合格则应判为不合格
盐水浸烘试验	按《水运工程混凝土试验规程》	浸烘 8 次后,掺阻锈剂比未掺阻锈剂的混凝土试件中钢筋腐蚀失重率减少 40% 以上
掺阻锈剂与未掺阻锈剂的优质或高性能混凝土抗压强度比	按《水运工程混凝土试验规程》	≥90%
掺阻锈剂与未掺阻锈剂的水泥初凝时间差和终凝时间差	按《水运工程混凝土试验规程》	均在 ±60min 内
掺阻锈剂与未掺阻锈剂的优质混凝土的抗氯离子渗透性	按《水运工程混凝土试验规程》	不降低

4.《混凝土外加剂应用技术规范》(GBJ 50119—2003)的规定

#### 1)一般规定

(1)外加剂的品种应根据工程设计和施工要求选择。通过试验及技术经济比较确定。

(2)严禁使用对人体产生危害、对环境产生污染的外加剂。

(3)掺外加剂混凝土所用水泥,宜采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥,并应检验外加剂与水泥的适应性,符合要求方可使用。

(4)掺外加剂混凝土所用材料如水泥、砂、石、掺合料、外加剂均应符合国家现行的有关标准的规定。试配掺外加剂的混凝土时,应采用工程使用的原材料,检测项目应根据设计及施工要求确定,检测条件应与施工条件相同,当工程所用原材料或混凝土性能要求发生变化时,应再进行试配试验。

(5)不同品种外加剂复合使用时,应注意其相容性及对混凝土性能的影响,使用前应进行试验,满足要求方可使用。

#### 2)外加剂掺量

(1)外加剂掺量应以胶凝材料总量的百分比表示

(2)外加剂的掺量应按供货单位推荐掺量、使用要求、施工条件、混凝土原材料等因素通过试验确定。

(3)对含有氧离子、硫酸根等离子的外加剂应符合本规范及有关标准的规定。

(4)处于与水相接触或潮湿环境中的混凝土,当使用碱活性骨料时,由外加剂带入的碱含量(以当量氧化钠计)不宜超过  $1\text{kg}/\text{m}^3$  混凝土,混凝土总碱含量尚应符合有关标准的规定。

#### 3)外加剂的质量控制

(1) 选用的外加剂应有供货单位提供的下列技术文件:

产品说明书, 并应标明产品主要成分;

出厂检验报告及合格证;

掺外加剂混凝土性能检验报告。

(2) 外加剂运到工地(或混凝土搅拌站)应立即取代表性样品进行检验, 进货与工程试配时一致, 方可入库、使用。若发现不一致时, 应停止使用。

(3) 外加剂应按不同供货单位、不同品种、不同牌号分别存放, 标识应清楚。

(4) 粉状外加剂应防止受潮结块, 如有结块, 经性能检验合格后应粉碎至全部通过 0.63mm 筛后方可使用。液体外加剂应放置阴凉干燥处, 防止日晒、受冻、污染、进水或蒸发, 如有沉淀等现象, 经性能检验合格后方可使用。

(5) 外加剂配料控制系统标识应清楚、计量应准确, 计量误差不应大于外加剂用量的 2%。

### 三、外加剂检验项目及组批原则

1. 《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008) 对外加剂的检测项目和抽检频率的规定(表 5-9)

表 5-9

外加剂	检测项目	抽检频率
引气剂	必检: 泡沫度、pH 值、密度或细度、含气量、氯离子含量、碱含量、钢筋锈蚀试验、固体含量	以同一厂家, 每 5t 为一批, 不足 5t 也按一批计; 对于松香热聚物型引气剂每 1t 为一批, 不足 1t 也按一批计
减水剂	必检: pH 值、密度或细度、减水率、氯离子含量、碱含量、钢筋锈蚀	以同一厂家的掺量大于 1% 的同品种、同一编号, 每 100t 为一批, 不足 100t 也按一批计; 掺量小于 1% 的, 每 50t 为一批, 不足 50t 也按一批计
缓凝剂	必检: 固体含量、pH 值、密度或细度、混凝土凝结时间差、氯离子含量、碱含量、钢筋锈蚀试验	
早强剂	必检: 固体含量、密度或细度、1d、3d 抗压强度、钢筋锈蚀试验、氯离子含量、碱含量	以同一厂家的掺量大于 1% 的同品种、同一编号, 每 100t 为一批, 不足 100t 也按一批计; 掺量小于 1% 的, 每 50t 为一批, 不足 50t 也按一批计
速凝剂	必检: 密度或细度、凝结时间差、1d 抗压强度、氯离子含量、碱含量、钢筋锈蚀试验	以同一厂家、同品种、同一编号, 每 60t 为一批, 不足 60t 也按一批计
防冻剂	必检: 钢筋锈蚀试验、氯离子含量、碱含量。其他: 7d、28d 抗压强度比、密度或细度、减水率、氯离子含量、碱含量	以同一厂家、同品种、同一编号, 每 50t 为一批, 不足 50t 也按一批计
膨胀剂	必检: 限制膨胀率、凝结时间、氯离子含量、碱含量。其他: 水泥胶砂抗压强度比、抗折强度比、细度	以同一厂家、同品种、同一编号, 每 100t 为一批, 不足 100t 也按一批计
防水剂	必检: pH 值、密度或细度、钢筋锈蚀试验、氯离子含量、碱含量	以同一厂家、同品种、同一编号, 每 30t 为一批, 不足 30t 也按一批计
泵送剂	必检: pH 值、密度或细度、坍落度增加值及坍落度损失、氯离子含量、碱含量、钢筋锈蚀试验	以同一厂家、同一品种、同一编号, 每 50t 为一批, 不足 50t 也按一批计

2. 《混凝土外加剂》(GB 8076—2008) 的规定

1) 取样及批号:

(1) 点样和混合样

点样是在一次生产产品时所取得的一个试样。混合样是三个或更多的点样等量均匀混合而取得的试样。

## (2) 批号

生产厂应根据产量和生产设备条件,将产品分批编号。掺量大于 1% (含 1%) 同品种的外加剂每一批号为 100 t, 掺量小于 1% 的外加剂每一批号为 50 t。不足 100 t 或 50 t 的也应按一个批量计,同一批号的产品必须混合均匀。

## (3) 取样数量

每一批号取样量不少于 0.2 t 水泥所需用的外加剂量。

## (4) 试样及留样

每一批号取样应充分混匀,分为两等份,其中一份检均质性指标和掺外加剂的混凝土性能指标,另一份密封保存半年,以备有疑问时,提交国家指定的检验机关进行复验或仲裁。

## 3. 《钢筋混凝土阻锈剂》(JTJ/T 537—2004) 的规定

## 1) 抽样

生产厂应根据产量和生产设备条件,将产品分批编号。掺量大于 1% (含 1%) 同品种的阻锈剂每一编号为 100t, 掺量小于 1% 的阻锈剂每一编号为 50t。不足 100t 或 50t 的也应按一个批量计,同一编号的产品必须混合均匀。

点试样分点样和混合料,点样是在一次生产产品时所取得的一个试样。混合样是三个或更多的点样等量均匀混合而取得的试样。

每一编号取样量不少于 0.2t 水泥所需用的阻锈剂量。

## 2) 试样及留样

每一编号取样应充分混匀,分为两等份,其中一份按均匀性项目进行试验,另一份密封保存半年,以备有疑问时,提交国家指定的检验机关进行复验或仲裁。

## 3) 判定规则

(1) 产品各项指标均符合规范性能要求时判定为合格品,若有一项指标不符合要求,则判为不合格品,不合格品不得出厂;

(2) 凡有下列情况之一者,不得出厂:不合格品、技术文件不全(产品说明书、合格证、检验报告),包装不符、质量不足、产品受潮变质,以及超过有效期限。

## 四、外加剂的质量检验方法

## (一) 混凝土外加剂匀质性指标的检验方法

## 1. 固体含量

## (1) 试验步骤

将被测试试样装入已经恒重的称量瓶内  $m_0$ , 盖上盖称出试样及量瓶的总质量为  $m_1$ 。

试样称量: 固体产品 1.000 0 ~ 2.000 0g; 液体产品 3.000 0 ~ 5.000 0g。

将盛有试样的称量瓶放入烘箱内,开启瓶盖,升温至 100 ~ 105℃ (特殊品种除外) 烘干,盖上盖置于干燥器内冷却 30min 后称量,重复上述步骤直至恒量,其质量为  $m_2$ 。

## (2) 结果计算

固体含量按式(5-1)计算,试验结果取三个试样测定数据的平均值,并精确到 0.01:

$$\text{固体物含量} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (5-1)$$

式中:  $m_0$ ——称量瓶的质量, g;

$m_1$ ——称量瓶加试样的质量, g;

$m_2$ ——称量瓶加烘干后试样的质量, g。

## 2. pH 值

根据奈斯特(Nernst)方程  $E = E_0 + 0.059151 \lg[H^+]$ ,  $E = E_0 - 0.059 \text{pH}$ , 利用一对电极在不同 pH 值溶液中能产生不同电位差, 这一对电极由测试电极(玻璃电极)和参比电极(饱和甘汞电极)组成, 在 25℃ 时每相差一个单位 pH 值时产生 59.15mV 的电位差, pH 值可在仪器的刻度表上直接读出。

(1) 仪器: 酸度计、甘汞电极、玻璃电极、复合电极。

(2) 测试条件: 液体样品直接测试; 固体样品溶液的浓度为 10g/L; 被测溶液的温度为  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 。

(3) 试验步骤

①按仪器的出厂说明书校正仪器。

②当仪器校正好后, 先用水, 再用测试溶液冲洗电极, 然后再将电极浸入被测溶液中轻轻摇动试杯, 使溶液均匀。待到酸度计的读数稳定 1min, 记录读数。测量结束后, 用水冲洗电极, 以待下次测量。

③结果表示: 酸度计测出的结果即为溶液的 pH 值。

## 3. 氯离子含量

《混凝土外加剂》(GB 8076—2008) 规定, 氯离子含量的测定方法按 GB/T 8077 进行测定, 或按本标准的测定离子色谱法, 仲裁时采用离子色谱法。

1) 离子色谱法测外加剂的氯离子含量

方法提要: 离子色谱法是液相色谱分析方法的一种, 样品溶液经阴离子色谱柱分离, 溶液中的阴离子  $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  被分离, 同时被电导池检测。测定溶液中氯离子峰面积或峰高。

(1) 主要仪器设备: 离子色谱仪, 包括电导检测器、抑制器、阴离子分离柱、进样定量环。

(2) 测定次数: 在重复性条件下测定 2 次。

(3) 空白试验: 在重复性条件下做空白试验。

(4) 结果表述: 所得结果应按 GB/T 8170 修约, 保留 2 位小数; 当含量  $< 0.10\%$  时, 结果保留 2 位有效数字; 如果委托方供货合同或有关标准另有要求时, 可按要求的位数修约。

分析结果的采用: 当所得试样的两个有效分析值之差不大于表 5-10 所规定的允许差时, 以其算术平均值作为最终分析结果; 否则, 应重新进行试验。

试样允许差

表 5-10

Cl 含量范围(%)	$< 0.01$	$0.01 \sim 0.1$	$0.1 \sim 1$	$1 \sim 10$	$> 10$
允许差(%)	0.001	0.02	0.1	0.2	0.25

(5) 分析步骤

①称量和溶解

准确称取 1g 外加剂试样, 精确至 0.1mg。放入 100mL 烧杯中, 加 50mL 水和 5 滴硝酸溶解试样。试样能被水溶解时, 直接移入 100 mL 容量瓶, 稀释至刻度; 当试样不能被水溶解时, 采用超声和加热的方法溶解试样, 再用快速滤纸过滤, 滤液用 100 mL 容量瓶承接, 用水稀释至刻度。

## ②去除样品中的有机物

混凝土外加剂中的可溶性有机物可以用 On Guard RP 柱去除。

## ③测定色谱图

将上述处理好的溶液注入离子色谱中分离,得到色谱图,测定所得色谱峰的峰面积或峰高。

## ④氯离子含量标准曲线的绘制

在重复性条件下进行空白试验。将氯离子标准溶液系列分别在离子色谱中分离,得到色谱图,测定所得色谱峰的峰面积或峰高。以氯离子浓度为横坐标,峰面积或峰高为纵坐标绘制标准曲线。

## ⑤计算及数据处理

将样品的氯离子峰面积或峰高对照标准曲线,求出样品溶液的氯离子浓度  $C$ ,并按照下式计算:

出试样中氯离子含量

$$X_{\text{Cl}^-} = \frac{C \times V \times 10^{-6}}{m} \times 100$$

式中:  $X_{\text{Cl}^-}$ ——样品中氯离子含量, %;

$C$ ——由标准曲线求得的试样溶液中氯离子的浓度, g/mL;

$V$ ——样品溶液的体积, 数值为 100mL;

$m$ ——外加剂样品质量, g。

## 2) 电位滴定法测外加剂的氯离子含量 (GB/T 8077—2000)

用电位滴定法,以银电极或氯电极为指示电极,其电势随  $\text{Ag}^+$  浓度而变化。以甘汞电极为参比电极,用电位计或酸度计测定两电极在溶液中组成原电池的电动势,银离子与氯离子反应生成溶解度很小的氯化银白色沉淀。在等当点前滴入硝酸银生成氯化银沉淀,两电极间电势变化缓慢,等当点时氯离子全部生成氯化银沉淀,这时滴入少量硝酸银即引起电势急剧变化,指示出滴定终点。

## (1) 试剂

## ①硝酸(1+1);

②硝酸银溶液(17g/L):准确称取约 17g 硝酸银( $\text{AgNO}_3$ ),用水溶解,放入 1L 棕色容量瓶中稀释至刻度,摇匀,用 0.100 0mol/L 氯化钠标准溶液对硝酸银溶液进行标定;

③氯化钠标准溶液( $C(\text{NaCl}) = 0.100 0\text{mol/L}$ ):称取约 10g 氯化钠(基准试剂),盛在称量瓶中,130~150℃烘干 2h,在干燥器内冷却后精确称取 5.8443g,用水溶解并稀释至 1L,摇匀。

## (2) 试验步骤

①准确称取外加剂试样 0.500 0g~5.000g,放烧杯中,加 200mL 水和 4mL 硝酸(1+1),使溶液呈酸性,搅拌至完全溶解,如不能完全溶解,可用快速定性滤纸过滤,并用蒸馏水洗涤残渣至无氯离子为止。

②用移液管加 10mL 的 0.100 0mol/L 氯化钠标准溶液,烧杯内加电磁搅拌子,将烧杯放在电磁搅拌器上,开动搅拌器并插入银电极(或氯电极)及甘汞电极,两电极与电位计或酸度计相连接,用硝酸银溶液缓慢滴定,记录电势和相应的滴定管度数。

由于接近等当点时,电势增加很快,此时要缓慢滴加硝酸银溶液,每次定量加入 0.1mL,当

电势发生突变时,表示等当点已过,此时继续滴入硝酸银溶液,直至电势趋向变化平缓。得到第一个终点时硝酸银溶液消耗的体积  $V_1$ 。

③在同一溶液中,用移液管加入 10mL 的 0.100 0mol/L 氯化钠标准溶液(此时溶液电势降低),继续用硝酸银溶液滴定,直至第二个等当点出现,记录电势和相应的 0.1mol/L 硝酸银溶液消耗的体积  $V_2$ 。

④空白试验:在干净的烧杯中加入 200mL 水和 4mL 硝酸(1+1),用移液管加入 10mL 的 0.100 0mol/L 氯化钠标准溶液,在不加入试样的情况下,在电磁搅拌下,缓慢滴加硝酸银溶液,记录电势和对应的滴定管读数,直至第一个终点出现。过等当点后,在同一溶液中,再用移液管加入 10mL 的 0.100 0mol/L 氯化钠标准溶液 10mL,继续用硝酸银溶液滴定至第二个终点,用二次微商法计算出硝酸银溶液消耗的体积  $V_{01}$  及  $V_{02}$ 。

(3)结果表示

用二次微商法计算结果。通过电压对体积二次导数(即  $\Delta^2 E/\Delta V^2$ )变成零的办法来求出滴定终点。

假如在临近等当点时,每次加入的硝酸银溶液是相等的,此函数(即  $\Delta^2 E/\Delta V^2$ )必定会在正负两个符号发生变化的体积之间的某一点变成零,对应这一点的体积即为终点体积,可用内插法求得。

外加剂中氯离子所消耗的硝酸银体积  $V$  按式(5-2)计算:

$$V = \frac{(V_1 - V_{01}) + (V_2 - V_{02})}{2} \quad (5-2)$$

式中: $V_1$ ——试样溶液加 10mL 的 0.100 0mol/L 氯化钠标准溶液所消耗的硝酸银溶液的体积,mL;

$V_2$ ——试样溶液加 20mL 的 0.100 0mol/L 氯化钠标准溶液所消耗的硝酸银溶液的体积,mL。

外加剂中氯离子含量  $X_{Cl^-}$  按式 5-3 计算:

$$X_{Cl^-} = \frac{c \cdot V \times 35.45}{m \times 1000} \times 100 \quad (5-3)$$

式中: $X_{Cl^-}$ ——外加剂氯离子含量,%;

$m$ ——外加剂样品质量,g;

$c$ ——硝酸银溶液的浓度,mol/L。

用 1.565 乘氯离子的含量,既获得无水氯化钙  $X_{CaCl_2}$  的含量,按式(5-4)计算:

$$X_{CaCl_2} = 1.565 \times X_{Cl^-} \quad (5-4)$$

式中: $X_{CaCl_2}$ ——外加剂中无水氯化钙的含量,%。

#### 4. 硫酸钠含量

硫酸钠含量的测定方法有:重量法和离子交换法

(1)重量法:氯化钡溶液与外加剂试样中的硫酸盐生成溶解度极小的硫酸钡沉淀,称量经高温灼烧后的沉淀来计算硫酸钠的含量。

(2)离子交换重量法:采用重量法测定,试样加入氯化铵溶液沉淀处理过程中,发现絮凝物而不易过滤时改用离子交换重量法。

#### 5. 水泥净浆流动度

在水泥净浆搅拌机中,加入一定量的水泥、外加剂和水进行搅拌。将搅拌好的净浆注入截



锥圆模内,提起截锥圆模,测定水泥净浆在玻璃平面上自由流淌的最大直径。

#### 6. 水泥砂浆工作性

该指标是测定外加剂对水泥的分散效果,以水泥砂浆减水率表示其工作性,当水泥净浆流动度试验不明显时可用此法。

方法提要:先测定基准砂浆流动度的用水量,再测定掺外加剂砂浆流动度的用水量,然后,测定加入基准砂浆流动度的用水量时的砂浆流动度。以水泥砂浆减水率表示其工作性。

#### 7. 碱含量

方法提要:试样用约 80℃ 的热水溶解,以氨水分离铁、铝;以碳酸钙分离钙、镁。滤液中的碱(钾和钠),采用相应的滤光片,用火焰光度计分别进行测定钾和钠的含量。

$X_{\text{总碱量}}$ 按下式计算:

$$X_{\text{总碱量}} = 0.658X_{\text{K}_2\text{O}}X_{\text{Na}_2\text{O}}$$

#### 8. 细度

外加剂试样应充分拌匀并经 100 ~ 150℃ (特殊品种除外)烘干,称取烘干试样 10g 倒入孔径为 0.315mm 的试验筛内,用人工筛样,将近筛完时,必须一手执筛往复摇动,一手拍打,摇动速度约每分钟 120 次。其间,筛子应向一定方向旋转数次,使试样分散在筛布上,直至每分钟通过质量不超过 0.05g 时为止。称量筛余物,称准至 0.1g。

$$\text{筛余} = \frac{m_1}{m_0} \times 100$$

式中: $m_1$ ——筛余物质量,g;

$m_0$ ——试样质量,g。

#### 9. 密度

密度的测定方法有:比重瓶法、液体比重天平法和精密密度计法。

##### (1) 比重瓶法

方法提要:将已校正容积(矿值)的比重瓶,灌满被测溶液,在  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  恒温,在天平上称出其质量。

##### (2) 液体比重天平法

方法提要:在液体比重天平的一端挂有一标准体积与质量之测锤,浸没于液体之中获得浮力而使横梁失去平衡,然后在横梁的 V 型槽里放置各种定量骑码使横梁恢复平衡,所加骑码之读数  $d$ ,再乘以 0.998 2g/mL 即为被测溶液的密度  $P$  值。

##### (3) 精密密度计法

方法提要:先以波美比重计测出溶液的密度,再参考波美比重计所测的数据,以精密密度计准确测出试样的密度值。

试验步骤:

①将已在  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  条件下恒温的外加剂倒入 500mL 玻璃量筒内,以波美比重计插入溶液中测出该溶液的密度。

②参考波美比重计所测溶液的数据,选择这一刻度范围的精密密度计插入溶液中,精确读出溶液凹液面与精密密度计相齐的刻度,即为  $20^\circ\text{C}$  该外加剂溶液的密度。

#### (二) 掺外加剂混凝土的性能指标检验方法

掺外加剂混凝土的性能指标包括抗压强度比、收缩率比、相对耐久性、凝结时间差、泌水率

比等,其中前三项是必检项目。掺外加剂混凝土的性能指标常用受检混凝土和基准混凝土某一指标的差值或比值来表示。基准混凝土是指规定的试验条件配制的不掺外加剂的混凝土。受检混凝土是指按规定的试验条件配制的掺有外加剂的混凝土。

### 1. 外加剂性能指标检验用混凝土的技术条件

#### (1) 材料

##### ① 基准水泥

基准水泥是检验混凝土外加剂性能的专用水泥,是由符合要求硅酸盐水泥熟料与二水石膏共同粉磨而成的 42.5 强度等级的 PI 型硅酸盐水泥。基准水泥必须由经中国建材联合会混凝土外加剂分会与有关单位共同确认具备生产条件的工厂供给。

基准水泥的品质指标除满足 42.5 强度等级硅酸盐水泥技术要求外,还要求:

- a) 熟料中铝酸三钙( $C_3A$ )含量 6% ~ 8% ;
- b) 熟料中硅酸三钙( $C_3S$ )含量 55% ~ 60% 。
- c) 熟料中游离氧化钙( $fCaO$ )含量不得超过 1.2% ;
- d) 水泥中碱( $Na_2O + 0.658K_2O$ )含量不得超过 1.0% ;水泥比表面积  $350 \pm 10m^2/kg$ 。

基准水泥出厂 15t 为一批号。每一批号应取三个有代表性的样品,分别测定比表面积,测定结果均须符合规定,凡不符合本技术条件 A.1 中任何一项规定时,均不得出厂。

##### ② 砂

符合 GB/T 14684 中 II 区要求的中砂,细度模数为 2.6 ~ 2.9,含泥量小于 1.0%。

##### ③ 石子

符合 GB/T 14685 要求的公称粒径为 5 ~ 20mm 的碎石或卵石,采用二级配,其中 5 ~ 10mm 占 40% ,10 ~ 20mm 占 60% ,满足连续级配要求,针片状物质含量小于 10% ,空隙率小于 47% ,含泥量小于 0.5% 。如有争议,以碎石结果为准。

##### ④ 水

符合 JGJ 63 混凝土拌和用水的技术要求。

#### (2) 配合比

基准混凝土配合比按 JTJ 268 进行设计。掺非引气型外加剂的受检混凝土和其对应的基准混凝土的水泥、砂、石的比例相同。配合比设计应符合以下规定:

① 水泥用量:掺高性能减水剂或泵送剂的基准混凝土和受检混凝土的单位水泥用量为  $360kg/m^3$  ;掺其他外加剂的基准混凝土和受检混凝土单位水泥用量为  $330kg/m^3$  。

② 砂率:掺高性能减水剂或泵送剂的基准混凝土和受检混凝土的砂率均为 43% ~ 47% ;掺其他外加剂的基准混凝土和受检混凝土的砂率为 36% ~ 40% ;但掺引气减水剂或引气剂的受检混凝土的砂率应比基准混凝土的砂率低 1% ~ 3% 。

③ 外加剂掺量:按生产厂家指定掺量。

④ 用水量:掺高性能减水剂或泵送剂的基准混凝土和受检混凝土的坍落度控制在  $210 \pm 10mm$  ,用水量为坍落度在  $210 \pm 10mm$  时的最小用水量;掺其他外加剂的基准混凝土和受检混凝土的坍落度控制在  $80 \pm 10mm$  。用水量包括液体外加剂、砂、石材料中所含的水量。

#### (3) 混凝土搅拌

采用符合要求的公称容量为 60L 的单卧轴式强制搅拌机。搅拌机的拌和量应不少于 20L,不宜大于 45L。

外加剂为粉状时,将水泥、砂、石、外加剂一次投入搅拌机,干拌均匀,再加入拌和水,一起搅拌 2min。外加剂为液体时,将水泥、砂、石一次投入搅拌机,干拌均匀,再加入掺有外加剂的拌和水一起搅拌 2min。

出料后,在铁板上用人工翻拌至均匀,再行试验。各种混凝土试验材料及环境温度均应保持在  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 。

## 2. 混凝土拌和物性能试验方法

### (1) 坍落度和坍落度 1h 经时变化量

每批混凝土取一个试样,坍落度和坍落度 1h 小时经时变化量均以三次试验结果的平均值表示。三次试验的最大值和最小值与中间值之差有一个超过 10mm 时,将最大值和最小值一并舍去,取中间作为该批的试验结果;最大值和最小值与中间值之差均超过 10mm 时,则应重做。坍落度及坍落度 1 小时经时变化量测定值以毫米(mm)表示,结果表达修约到 5mm。

#### ① 坍落度测定

混凝土坍落度试验按照本书第十三章方法进行;但坍落度为  $210 \pm 10\text{mm}$  的混凝土,分两层装料,每层装高度为筒高的一半,每层用插捣棒插捣 15 次。

#### ② 坍落度 1h 经时变化量测定

当要求测定此项时,应将搅拌的混凝土留下足够一次混凝土坍落度的试验数量,并装入湿布擦过的试样筒内,容器加盖,静置至 1h(从加水搅拌时开始计算),然后倒出,在铁板上用铁锹翻至均匀后,再按照坍落度测定方法测定坍落度。计算出机时和 1h 之后的坍落度之差值,即得到坍落的经时变化量。

#### ③ 坍落度 1h 经时变化量按式(5-5)计算:

$$\Delta Sl = Sl_0 - Sl_{1h} \quad (5-5)$$

式中: $\Delta Sl$ ——坍落度经时变化量,mm;

$Sl_0$ ——出机时测得的坍落度,mm;

$Sl_{1h}$ ——1h 后测得的坍落度,mm。

### (2) 减水率

要求进行减水率试验的外加剂有各类减水剂、引气剂和防冻剂。减水率是区分高效型和普通型减水剂的重要指标之一。一般而言,在混凝土中掺入适量的减水剂后,在混凝土稠度相同的情况下,可减少用水量 5% ~ 25%。

减水率为坍落度基本相同时,基准混凝土和受检混凝土单位用水量之差与基准混凝土单位用水量之比。减水率按下式计算,应精确到 0.1%:

$$W_R = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\%$$

式中: $W_R$ ——减水率,%;

$W_0$ ——基准混凝土单位用水量, $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$W_1$ ——受检混凝土单位用水量, $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

$W_R$  以三批试验的算术平均值计,精确到 1%。若三批试验的最大值或最小值中有一个与中间值之差超过中间值的 15% 时,则把最大值与最小值一并舍去,取中间值作为该组试验的减水率。若有两个测值与中间值之差均超过 15% 时,则该批试验结果无效,应该重做。

### (3) 泌水率比

在混凝土中,掺入某些外加剂,对混凝土泌水和沉降影响十分显著。一般缓凝剂使泌水率增大;引气剂、减水剂使泌水率减小。泌水率减小,有利于减少混凝土的离析,改善混凝土的性能,保持施工所需要的和易性,因此泌水率比愈小愈好。泌水率比为掺外加剂混凝土的泌水率与基准混凝土的泌水率之比。

泌水率比又分常压泌水率比和压力泌水率比。

泌水率比按下式计算,应精确到1%:

$$R_B = \frac{B_i}{B_e} \times 100$$

式中: $R_B$ ——泌水率比,%;

$B_i$ ——受检混凝土泌水率,%;

$B_e$ ——基准混凝土泌水率,%。

#### ①常压泌水率的测定和计算

先用湿布润湿容积为5L的带盖筒(内径为185mm,高200mm),将混凝土拌和物一次装入,在振动台上振动20s,然后用抹刀轻轻抹平,加盖以防水分蒸发。试样表面应比筒口边低约20mm。自抹面开始计算时间,在前60min,每隔10min用吸液管吸出泌水一次,以后每隔20min吸水一次,直至连续三次无泌水为止。每次吸水前5min,应将筒底一侧垫高约20mm,使筒倾斜,以便于吸水。吸水后,将筒轻轻放平盖好。将每次吸出的水都注入带塞量筒,最后计算出总的泌水量,精确至1g,按下式计算泌水率:

$$B = \frac{V_w}{(W/G)G_w} \times 100$$

$$G_w = G_1 - G_0$$

式中: $B$ ——泌水率,%;

$V_w$ ——泌水总质量,g;

$W$ ——混凝土拌和物的用水量,g;

$G$ ——混凝土拌和物的总质量,g;

$G_w$ ——试样质量,g;

$G_1$ ——筒及试样质量,g;

$G_0$ ——筒质量,g。

泌水率值取3个算术平均值。如其中一个与平均值之差大于平均值的20%时,则取两个相近结果的平均值。

#### ②压力泌水率比的测定和计算

仪器:压力泌水仪,主要由压力表、活节螺栓、筛网等部件构成。其上和活塞中为3.5MPa,工作活塞公称直径为125mm,混乱混凝土容积为1.66L,筛网直径为0.335mm。

试验步骤:将混凝土拌和物放入试料筒内,用捣棒均匀捣实25次,按规定将仪器安装好,称取混凝土质量 $m_0$ 。尽快将混凝土加压至3.5MPa,立即打开泌水管阀门,同时开始计时,并保持恒压,将泌出的水装入1000mL量筒内,加压10s后读取泌水量 $V_{10}$ ,加压140s后读取泌水量 $V_{140}$ 。

结果计算:

压力泌水率按下式计算:

$$B_p = \frac{V_{10}}{V_{140}} \times 100$$

式中:  $B_p$ ——压力泌水率, %;

$V_{10}$ ——加压 10s 时泌水量, mL;

$V_{140}$ ——加压 140s 时的泌水量, mL。

结果以三次试验的平均值表示, 精确至 0.1%。

压力泌水率比按下式计算, 精确至 1%:

$$R_b = \frac{B_{PA}}{B_{PO}} \times 100$$

式中:  $R_b$ ——压力泌水率比, %;

$B_{PO}$ ——基准混凝土压力泌水率, %;

$B_{PA}$ ——受检混凝土的压力泌水率, %。

#### (4) 含气量和含气量 1h 经时变化量

混凝土中引入一定量的微细气泡, 可以阻止固体颗粒的沉降和水分上升, 从而减少泌水, 气泡的存在, 在固体颗粒之间起润滑作用, 改善混凝土的和易性和流动性, 还能改善混凝土内部的孔隙结构, 提高其抗冻性和抗渗性, 但是含气量和抗压强度关系十分密切。通常在水泥用量相同时, 含气量每增加 1%, 混凝土 28d 抗压强度降低 2% ~ 3%; 当水灰比相同时, 含气量每增加 1%, 混凝土 28d 抗压强度降低 5% 左右。

进行含气量试验时, 从每批混凝土拌和物取一个试样, 含气量以三个试样测值的算术平均值来表示。若三个试样中的最大值或最小值中有一个与中间值之差超过 0.5% 时, 将最大值与最小值一并舍去, 取中间值作为该批的试验结果; 如果最大值与最小值与中间值之差均超过 0.5%, 则应重做。含气量和 1h 经时变化量测定值精确到 0.1%。

##### ① 含气量测定

按本书第十三章介绍的方法进行, 用气水混合式含气量测定仪测定混凝土含气量。但混凝土拌和物应一次装满并稍高于容器, 用振动台振实 15 ~ 20s。

##### ② 含气量 1h 经时变化量测定

当要求测定此项时, 搅拌的混凝土留下足够一次含气量试验的数量, 并装入用湿布擦过的试样筒内, 容器加盖, 静置至 1h (从加水搅拌时开始计算), 然后倒出, 在铁板上用铁锹翻拌均匀后, 再按照含气量测定方法测定含气量。计算出机时和 1h 之后的含气量之差值, 即得到含气量的经时变化量。

##### ③ 含气量 1h 经时变化量按式 (5-6) 计算:

$$\Delta A = A_0 - A_{1h} \quad (5-6)$$

式中:  $\Delta A$ ——含气量经时变化量, %;

$A_0$ ——出机后测得的含气量, %;

$A_{1h}$ ——1h 后测得的含气量, %。

#### (5) 凝结时间差测定

掺外加剂混凝土的凝结时间, 随着所用水泥品种, 外加剂种类及掺量, 气温等条件不同而变化。掺加缓凝剂, 延缓混凝土的凝结时间, 但凝结过慢会影响混凝土早期强度的增长及拆模时间。掺加早强剂, 加速混凝土的凝结及硬化, 促进早期强度的提高, 但凝结太快, 会影响混凝土

土施工。

混凝土凝结时间采用贯入阻力仪,仪器精度为 10N。凝结时间测定方法如下:

将混凝土拌和物用 5mm(圆孔筛)振动筛筛出砂浆,拌匀后装入上口内径为 160mm,下口内径为 150mm,净高 150mm 的刚性不渗水的金属圆筒,试样表面应略低于筒口约 10mm,用振动台振实,约 3~5s,置于  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  的环境中,容器加盖。

一般基准混凝土在成型后 3~4h,掺早强剂的在成型后 1~2h,掺缓凝剂的在成型后 4~6h 开始测定,以后每 0.5h 或 1h 测定一次,但在临近初、终凝时,可以缩短测定间隔时间。每次测点应避开前一次测孔,其净距为试针直径的 2 倍,但至少不小于 15mm,试针与容器边缘之距离不小于 25mm。测定初凝时间用截面积为  $100\text{mm}^2$  的试针,测定终凝时间用  $20\text{mm}^2$  的试针。

测试时,将砂浆试样筒置于贯入阻力仪上,测针端部与砂浆表面接触,然后在  $10 \pm 2\text{s}$  内均匀地使测针贯入砂浆  $25 \pm 2\text{mm}$  深度。记录贯入阻力,精确至 10N,记录测量时间,精确至 1min。贯入阻力按下式计算,精确到 0.1MPa:

$$R = \frac{P}{A}$$

式中:  $R$ ——贯入阻力值,MPa;

$P$ ——贯入深度达 25mm 时所需的净压力,N;

$A$ ——贯入阻力仪试针的截面积, $\text{mm}^2$ 。

根据计算结果,以贯入阻力值为纵坐标,测试时间为横坐标,绘制贯入阻力值与时间关系曲线,求出贯入阻力值达 3.5MPa 时,对应的时间作为初凝时间;贯入阻力值达 28MPa 时,对应的时间作为终凝时间。从水泥与水接触时开始计算凝结时间。

试验时,每批受检混凝土和基准混凝土拌和物取一个试样,凝结时间取三个试样的平均值。若三批试验的最大值或最小值之中有一个与中间值之差超过 30min,把最大值与最小值一并舍去,取中间值作为该组试验的凝结时间。若两测值与中间值之差均超过 30min,则该组试验结果无效,则应重做。凝结时间以分钟(min)表示,并修约到 5min。

凝结时间差计算:

$$\Delta T = T_i - T_c \quad (5-7)$$

式中:  $\Delta T$ ——凝结时间之差, min;

$T_i$ ——受检混凝土的初凝或终凝时间, min;

$T_c$ ——基准混凝土的初凝或终凝时间, min。

### 3. 硬化混凝土性能试验方法

#### (1) 抗压强度比测定

抗压强度比是评定外加剂及等级的主要指标。抗压强度比与减水率有密切关系,减水率愈大,抗压强度比值愈高。

抗压强度比以掺外加剂混凝土与基准混凝土同龄期抗压强度之比表示,按式(5-8)计算,精确到 1%:

$$R_f = \frac{f_i}{f_c} \times 100 \quad (5-8)$$

式中:  $R_f$ ——抗压强度比,%;

$f_t$ ——受检混凝土的抗压强度,MPa;

$f_c$ ——基准混凝土的抗压强度,MPa。

受检混凝土与基准混凝土的抗压强度按本书第十三章介绍的方法进行试验和计算。

## (2) 收缩率比

收缩率比以 28d 龄期时受检混凝土与基准混凝土的收缩率的比值表示,按式(5-9)计算:

$$R_t = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_c} \times 100 \quad (5-9)$$

式中: $R_t$ ——收缩率比,%;

$\varepsilon_t$ ——受检混凝土的收缩率,%;

$\varepsilon_c$ ——基准混凝土的收缩率,%。

受检混凝土及基准混凝土的收缩率按本书第十三章介绍的方法测定和计算。

## (3) 相对耐久性

耐久性试验按本书第十三章介绍的方法进行,试件标准养护 28d 后进行冻融循环试验(快冻法)。相对耐久性指标是以掺外加剂混凝土冻融 200 次后的动弹性模量是否不小于 80% 来评定外加剂的质量。每批混凝土拌和物取一个试样,相对动弹性模量以三个试件测值的算术平均值表示。

## (4) 其他性能

掺加外加剂的受检混凝土的吸水率比和渗水高度比的测试方法与上述方法类似,结果均为基准混凝土和受检混凝土相关质量指标的比值,质量指标试验方法参见本书第十三章有关内容或《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)。

## (5) 钢筋锈蚀试验

GB 8076—2008《混凝土外加剂》中,已经取消了钢筋锈蚀试验的要求,制定了离子色谱法测定外加剂中氯离子含量的测定方法,但《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)和泵送剂、防冻剂、阻锈剂仍有进行钢筋锈蚀试验的要求。该试验的具体方法参见第十五章混凝土及钢结构防腐技术的相关内容。

## (三) 阻锈剂的质量检验方法

与其他外加剂相似,阻锈剂的质量检验分为均质性检验和加入阻锈剂后的钢筋混凝土各项性能指标检验,其中均质性检验和对混凝土的凝结时间差、抗压强度比的检验与其他种类外加剂的检验内容和方法基本一致。本节重点介绍阻锈剂的防锈性能检验。

### 1. 钢筋的耐盐水浸渍试验

#### 1) 采用《钢筋混凝土阻锈剂》(JT/T 537—2004)的试验方法

##### (1) 试验用钢筋按以下方法制备:

①将 I 级建筑钢加工成直径 7mm,长度为 100mm,表面粗糙度的最大允许值为 1.6μm 的试件;

②用汽油、乙醇、丙酮依次浸擦除去油脂,并在一端焊上长 130 ~ 150mm 的导线,再用乙醇仔细擦去焊油;

③钢筋两端浸涂环氧树脂,使钢筋中间暴露长度为 80mm,计算其表面积,经过处理后的钢筋放入干燥器内备用,每组试件三根。

##### (2) 主要设备:

①钢筋锈蚀测量仪或恒电位/恒电流仪;

②天平,精度 0.1%;

③参比电极:饱和氯化钾甘汞电极。

(3) 试验环境:温度保持在  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$

(4) 试验步骤:

①在试验用盐水中,将钢筋和参比电极的间距固定在 2cm,在确认钢筋表面没有附着气泡的情况下,各溶液表面注入环氧树脂进行封闭。

②从烧杯外侧用肉眼观察钢筋表面的腐蚀情况,同时测试自然电极电位(mV)。观察及测试时间分别为 1、3、6h 和 1、2、3、4、5、6、7d。

③平行进行三次试验。

(5) 腐蚀认定:

具备下述情况,认为腐蚀发生:

①浸渍钢筋任一部分产生黄色,或发红色、黑色等斑点和花纹;

②试验用盐水由于腐蚀着色或产生沉淀;

③自然电位曲线显示标准图以外的曲线。

2) 采用《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270—98)中混凝土钢筋腐蚀快速试验(海水)方法

应使用基准混凝土和掺加阻锈剂的受检混凝土分别进行混凝土中钢筋腐蚀快速试验,又称盐水浸烘试验。

具体试验方法见第十五章混凝土及钢结构防腐蚀技术的相关介绍

## 2. 钢筋耐腐蚀性能

采用钢筋腐蚀快速试验方法,用钢筋在硬化砂浆中阳极极化曲线来表示。

1) 引自 JT/T 537—2004《钢筋混凝土阻锈剂》的试验方法:钢筋锈蚀快速试验方法(硬化砂浆法)。

(1) 主要仪器设备

仪器设备主要包括:

①恒电位仪:专用的符合本标准要求的钢筋锈蚀测量仪或恒电位/恒电流仪,或恒电流电位仪(输出电流范围不小于  $0 \sim 2\,000\mu\text{A}$ ,可连续变化  $0 \sim 2\text{ V}$ ,精度不大于 1%);

②不锈钢片电极;

③甘汞电极(232 型或 222 型)。

(2) 试验步骤

①制备埋有钢筋的砂浆电极

(a) 制备钢筋

采用 I 级建筑钢筋经加工成直径 7mm,长度 100mm,表面粗糙度  $R_a$  的最大允许值为  $1.6\mu\text{m}$  的试件,使用汽油、乙醇、丙酮依次浸擦除去油脂,经检查无锈痕后放入干燥器中备用,每组三根。

(b) 成型砂浆电极

将钢筋插入试模两端的预留凹孔中位于正中。按水灰比为 0.5,灰砂比为 1:3 拌制砂浆,采用基准水泥、检验水泥强度用的标准砂、含 0.5% 氯化钠的蒸馏水(用水量按砂浆稠度 5 ~



7cm 时的加水量而定),外加剂采用推荐掺量。将称好的材料放入搅拌锅内干拌 1 mm,湿拌 3mm。将拌匀的砂浆灌入预先放好钢筋的试模内,置检验水泥强度用的振动台上振 5 ~ 10s,然后抹平。

### (c) 砂浆电极的养护及处理

试件成型后盖上玻璃板,移入标准养护室养护,24h 后脱模,用水泥净浆将外露的钢筋两头覆盖,继续标准养护 2d。取出试件,除去端部的封闭净浆,仔细擦净外露钢筋头的锈斑。

在钢筋的一端焊上长 130 ~ 150mm 的导线,用乙醇擦去焊油,并在试件两端浸涂环氧树脂绝缘,使试件中间暴露长度为 80mm,如图 5-3 所示。

### ② 测试

(a) 将处理好的硬化砂浆电极置于饱和氢氧化钙溶液中,浸泡数小时,直至浸透试件,其表征为监测硬化砂浆电极在饱和氢氧化钙溶液中的自然电位至电位稳定且接近新拌砂浆中的自然电位,由于存在欧姆电压降可能会使两者之间有一个电位差。试验时应注意不同类型或不同掺量外加剂的试件不得放置在同一容器内浸泡,以防互相干扰。试验环境温度均应保持在  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

(b) 把一个浸泡后的砂浆电极移入盛有饱和氢氧化钙溶液的玻璃缸内,使图 5-3 中的钢筋砂浆电极浸入溶液的深度为 8cm,以它作为阳极,以不锈钢片作为阴极(即辅助电极)。

以甘汞电极作参比,按图 5-4 要求接好试验线路。

(c) 未通外加电流前,先读出阳极(埋有钢筋的砂浆电极)的自然电位(mV)。

(d) 接通外加电流,并按电流密度  $50 \times 10^{-2} \text{ A/m}^2$  (即  $50 \mu\text{A/cm}^2$ ) 调整  $\mu\text{A}$  表至需要值。同时,开始计算时间,依次按 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30min, 分别记录埋有钢筋的砂浆电极阳极极化电位值。

### (3) 试验结果处理

① 取一组三个埋有钢筋的硬化砂浆电极极化电位的测量结果的平均值作为测定值,以阳极极化电位为纵坐标,时间为横坐标,绘制阳极极化电位—时间曲线。

② 根据电位—时间曲线判断砂浆中的水泥、外加剂等对钢筋锈蚀的影响:

(a) 电极通电后,阳极钢筋电位迅速向正方向上升,并在 1 ~ 5min 内达到析氧电位值,经 60min 测试,电位值无明显降低,如图 5-5 中的曲线①,则属钝化曲线,表明阳极钢筋表面钝化膜完好无损,所测外加剂对钢筋是无害的;

(b) 通电后,阳极钢筋电位先向正方向上升,随着又逐渐下降,如图 5-5 中的曲线③,说明钢筋表面钝化膜已部分受损;而图 5-5 中的曲线③活化曲线,说明钢筋表面钝化膜破坏严重,这两种情况均表明钢筋钝化膜已遭破坏,所测外加剂对钢筋是有锈蚀危害的。

2) 采用《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270—98)中的“钢筋在硬化砂浆中阳极极化试验”和“钢筋在砂浆拌和物中的阳极极化试验”方法进行,该方法在本书第十三章中有介绍。

砂浆的氯化钠掺量为 1.5%,阻锈剂掺量按生产厂家的规定采用。当单掺亚硝酸钙时,其掺量应为 1.5%。

试验中,电极通电后 15min,电位跌落值不得超过 50mV。先进行新拌砂浆中的试验,若不

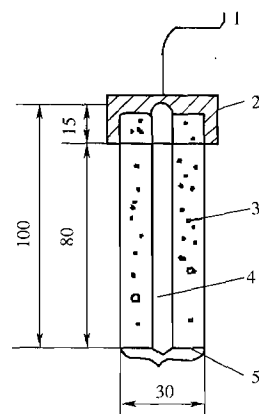


图 5-3 钢筋砂浆电极

1-导线;2、5-环氧树脂;3-砂浆;4-钢筋

合格再进行硬化砂浆中的试验,若仍不合格则应判为不合格。

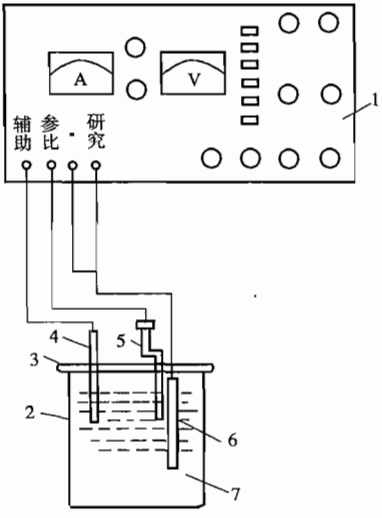


图 5-4 硬化砂浆极化电位测试装置

- 1-钢筋锈蚀测量仪或恒电位/恒电流仪;
- 2-烧杯 1 000mL;
- 3-有机玻璃盖;4-不锈钢片(阴极);5-甘汞电极;6-硬化砂浆电极(阳极);7-饱和氢氧化钙溶液

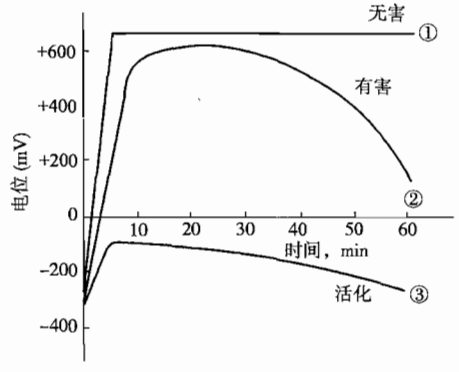


图 5-5 恒电流、电位—时间曲线分析图

## 第六章 掺合料和石灰的质量检验

掺合料是指为改善混凝土性能、减少水泥用量及降低水化热而掺入混凝土中的活性或惰性材料。常用的有粉煤灰、工业废渣(磨细矿渣、磷渣)等材料,是当代混凝土工程中不可缺少的重要组成部分。

混凝土拌和物中加入掺合料,根据需及工程目的不同,有如下的作用:(1)可代替部分水泥,降低成本;(2)提高混凝土的后期强度;(3)改善新拌混凝土的工作性;(4)降低混凝土的温升;(5)提高混凝土的密实性;(6)抑制碱-骨料反应。目前在水运工程混凝土中外掺掺合料主要有硅灰、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉。

### 第一节 掺合料的定义和主要技术标准

#### 一、掺合料定义和分类

混凝土掺合料是在混凝土拌和物制备时,为了节约水泥,改善混凝土性能而加入的具有一定细度的天然或人造的矿物材料,统称为混凝土掺合料,也称为矿物外加剂。用于混凝土中的掺合料,分非活性矿物掺合料和活性矿物掺合料两种。

##### 1. 非活性矿物掺合料

一般与水泥成分不起化学作用或化学作用很小的,如磨细石英砂、石灰石、粘土、硬矿渣等,称为非活性矿物掺合料(也称惰性材料)。

##### 2. 活性矿物掺合料

某些矿物材料,本身不会硬化或硬化速度很慢,但是在有水的情况下,与水泥水化时生成氢氧化钙结合,生成具有水硬性的胶凝材料,称为活性矿物掺合料。如硅灰、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、火山灰质材料等。

##### (1) 硅灰

在冶炼硅铁合金或工业硅时,通过烟道排出的硅蒸气经收尘装置收集而得的粉尘。硅灰的颗粒是微细的玻璃球体,部分粒子凝聚成片或球状的粒子,一般呈浅灰到深灰。其平均粒径为 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ,是水泥颗粒粒径的 $1/50 \sim 1/100$ 。比表面积高达 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{kg}$ 。其主要成分是 $\text{SiO}_2$ (占90%以上),它的活性要比水泥高。由于硅灰具有高比表面积,因而其需水量很大,将其作为混凝土掺和料,须配以减水剂,方可保证混凝土的和易性。

硅灰能够填充水泥颗粒间的孔隙,同时与水化产物生成凝胶体,与碱性材料氧化镁反应生成凝胶体。在水泥基的混凝土、砂浆与耐火材料浇注料中,掺入适量的硅灰,可起到如下作用:

①显著提高抗压、抗折、抗渗、防腐、抗冲击及耐磨性能。

②具有保水、防止离析、泌水、大幅降低混凝土泵送阻力的作用。

③显著延长混凝土的使用寿命。特别是在氯盐污染侵蚀、硫酸盐侵蚀、高湿度等恶劣环境下,可使混凝土的耐久性提高一倍甚至数倍。

④大幅度降低喷射混凝土和浇注料的落地灰,提高单次喷层厚度。

⑤是高强混凝土的必要成分,已有 C150 混凝土的工程应用。

⑥具有约 5 倍水泥的功效,在普通混凝土和低水泥浇注料中应用可降低成本,提高耐久性。

⑦有效防止发生混凝土碱骨料反应

## (2) 粉煤灰:

电厂煤粉灰炉烟道气体中收集的粉末称为粉煤灰。按煤种分为 F 类和 C 类。F 类粉煤灰是指由无烟煤或烟煤煅烧收集的粉煤灰,C 类粉煤灰是指由褐煤或次烟煤煅烧收集的粉煤灰,其氧化钙含量一般大于 10%。

粉煤灰是从发电厂的煤灰炉排出的烟气中收集到的灰白色细颗粒粉末,这种粉末因是煤粉中的杂质在高温下转变成的,这个过程很短暂,是在煤粒随气流掠过炉膛的若干秒钟之内发生的,煤粒在高温和气流的湍流中,可燃物消失,灰分聚积、分裂、熔融,在表面张力和外部压力等的作用下,形成水滴状物质,飘出锅炉后骤冷,固结成玻璃微粒。另外粉煤灰中还有其他各种各样颗粒,其中有大量的未成珠的多孔玻璃体,还有再结晶的矿物、部分熔融或专熔融的石英颗粒及其他化合物、未燃尽的碳粒等等。由于煤、煤粉细变,锅炉设计、燃烧条件、运行负荷、收集、装卸、输送、贮存等条件不同,决定了粉煤灰组成易变的性质,不仅地区之间、电厂之间的粉煤灰组成不同,而且即便是在同一电厂甚至同一锅炉中收集的粉煤灰组成变化幅度也可能很大,这是因前面所述的任何一个因素的变化,就可能导致粉煤灰组成的变化。粉煤灰组成的易变性直接影响到某一些用途的利用。因此,加强对粉煤灰品质的检测,具有非常重要的意义。

当采用优质粉煤灰作掺合料,可作为胶凝材料取代部分水泥。在保证混凝土强度等级和稠度要求的前提下充分潮湿养护,不仅可节约水泥,降低造价,改善和易性、可泵性,消除混凝土泌水,提高后期强度,而且可能显著提高抵抗氯离子扩散的能力和不透水性,抗碱骨料反应能力,抗硫酸盐腐蚀及降低混凝土的温升速度等。

## (3) 粒化高炉矿渣粉

以粒化高炉矿渣为主要原料,可掺加少量石膏磨制成一定细度的粉体,称为粒化高炉矿渣粉,简称矿渣粉。

磨细矿粉细度一般为  $400 \sim 600 \text{ m}^2/\text{kg}$ ,其活性比粉煤灰高。粒状矿渣是炼铁高炉排出的熔渣,经水淬而成的。粒化高炉矿渣在水淬时形成的大量玻璃体,具有微弱的自身水硬性。用于高性能混凝土的矿渣粉磨至比表面积超过  $400 \text{ m}^2/\text{kg}$ ,可以较充分地发挥其活性,减少泌水性。研究表明,矿渣磨得越细,其活性越高,掺入混凝土中后,早期产生的水化热越多,越不利于控制混凝土的升温;当矿渣的比表面积超过  $400 \text{ m}^2/\text{kg}$  后,用于很低水胶比的混凝土中时,混凝土早期的自收缩随掺量的增加而增大;矿渣粉磨得越细,掺量越大,则低水胶比的高性能混凝土拌和物越粘稠。

# 二、掺合料的品质及质量指标

## (一) 粉煤灰的品质指标

1. 国标《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596—2005) 的规定

(1) 拌制混凝土和砂浆用粉煤灰应符合表 6-1 的要求

拌制混凝土和砂浆用粉煤灰技术要求

表 6-1

项    目		技 术 要 求		
		I 级	Ⅱ 级	Ⅲ 级
细度(45μm 方孔筛筛余), 不大于(%)	F 类粉煤灰	12.0	25.0	45.0
	C 类粉煤灰			
需水量比,不大于(%)	F 类粉煤灰	95	105	115
	C 类粉煤灰			
烧失量,不大干(%)	F 类粉煤灰	5.0	8.0	15.0
	C 类粉煤灰			
含水量,不大于(%)	F 类粉煤灰	1.0		
	C 类粉煤灰			
三氧化硫,不大于(%)	F 类粉煤灰	3.0		
	C 类粉煤灰			
游离氧化钙,不大于(%)	F 类粉煤灰	1.0		
	C 类粉煤灰	4.0		
安定性 雷氏夹沸煮后增加距离,不大于(mm)	C 类粉煤灰	5.0		

(2)放射性:合格。

(3)碱含量:粉煤灰中的碱含量按  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$  计算值表示,当粉煤灰用于活性骨料混凝土,要限制掺合料的碱含量时,由买卖双方协商确定。

(4)均匀性:以细度(45 $\mu\text{m}$  方孔筛筛余)为考核依据,单一样品的细度不应超过前 10 个样品细度平均值的最大偏差,最大偏差范围由买卖双方协商确定。

## 2.《港口工程粉煤灰混凝土技术规范》(JTJ/T 273—97)的规定

港口工程中应采用成品粉煤灰,其质量划分为三个等级,质量指标应符合表 6-2 的规定。

粉煤灰质量指标

表 6-2

粉煤灰等级	细度(45 $\mu\text{m}$ 方孔筛筛余) (%)	烧失量(%)	需水量比(%)	$\text{SO}_3$ 含量(%)
I	$\leq 12$	$\leq 5$	$\leq 95$	$\leq 3$
II	$\leq 20$	$\leq 8$	$\leq 105$	$\leq 3$
III	$\leq 45$	$\leq 15$	$\leq 115$	$\leq 3$

## 3.《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ 146—90)的规定

(1)粉煤灰分级同《港口工程粉煤灰混凝土技术规范》(JTJ/T 273—97)规定。

(2)干排法获得的粉煤灰,其含水量不宜大于 1%;湿排法获得的粉煤灰,其质量应均匀。

(3)主要用于改善混凝土和易性所采用的粉煤灰,可不受本规范的限制。

## (二)硅灰的品质指标

《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)规定,硅灰的品质应满足表 6-3

的要求。

表 6-3

化 学 性 能		物 理 性 能		
SiO <sub>2</sub> 含量(%)	≥85	火山灰活性指数(%)		≥90
含水量(%)	≤3	细度	45μm 方孔筛筛余(%)	≤10
			比表面积(m <sup>2</sup> /g)	≥15
烧失量(%)	≤6	均匀性	密度与均值的偏差(%)	≤5
			细度的筛余量与均值的偏差(%)	≤5

(三)矿渣粉的品质要求

(1)《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2008)规定,矿渣粉应符合表 6-4 的技术指标规定。

矿渣粉的技术指标

表 6-4

项 目		级 别		
		S105	S95	S75
密度(g/mm <sup>3</sup> )	≥	2.8		
比表面积/(m <sup>2</sup> /kg)	≥	500	400	300
活性指数/%	≥	95	75	55
	7d	105	95	75
流动度比(%)	≥	95		
含水量(质量分数)(%)	≤	1.0		
三氧化硫(质量分数)(%)	≤	4.0		
氧离子(质量分数)(%)	≤	0.06		
烧失量(质量分数)(%)	≤	3.0		
玻璃体含量(质量分数)(%)	≥	85		
放射性		合格		

(2)《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)规定,粒化高炉矿渣的粉磨细度不宜小于 4000cm<sup>2</sup>/g。

第二节 掺合料在水运工程中的应用规定

综合考虑《水运工程混凝土施工规范》、《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》、《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269)、《水运工程质量检验标准》(JTS 257)以及《港口工程粉煤灰混凝土技术规范》,水运工程混凝土应用掺合料的规定如下。

一、硅灰的应用规定

(1)硅灰品质应符合现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)、

《水运工程质量检验标准》(JTS 257)中的有关规定。

(2) 硅灰进场检验,应符合现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)、《水运工程质量检验标准》(JTS 257)中的有关规定。

(3) 硅灰的掺量不宜大于水泥质量的 10%。

## 二、粉煤灰的应用规定

### 1. 可否掺外加剂的规定

粉煤灰应是质量稳定并附有品质检验证书的商品,掺用时,宜同时掺加减水剂或高效减水剂。同时根据各类工程和各种施工条件的不同要求,粉煤灰可以与各类外加剂同时使用。外加剂的适用性和掺量由试验确定。

### 2. 水泥品种选择的规定

对掺粉煤灰的预应力混凝土、钢筋混凝土以及有抗冻性要求的素混凝土,应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

### 3. 不同工程部位的应用规定

(1) I 级粉煤灰适用于钢筋混凝土和跨度不大于 6m 的先张预应力混凝土及后张无粘着预应力混凝土。

(2) I、II 级粉煤灰适用于钢筋混凝土和 C30 及 C30 以上的素混凝土。海水环境浪溅区钢筋混凝土采用需水量比不大于 100% 的 I 级、II 级粉煤灰。

(3) III 级粉煤灰只适用于 C30 以下的素混凝土。

(4) 经混凝土抗冻性试验论证后, I、II 级粉煤灰方可应用于严重受冻或受冻地区的有抗冻要求的混凝土中。

(5) 经强度试验和耐久性试验论证后,方可采用比上述规定低一级的粉煤灰。

### 4. 品质检验的规定

粉煤灰的品质检验应按现行国家标准《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ 146)中的有关规定进行。

### 5. 其他特殊规定

(1) 对于 CaO 含量大于 5% 的粉煤灰,应经试验证明安定性合格方可使用。

(2) 在港口工程混凝土中,掺加粉煤灰时,必须采用干排法获得的粉煤灰,其含水率不宜大于 1%。

### 6. 配合比设计的规定

粉煤灰混凝土配合比设计和配合比的特殊要求详见本书第十三章混凝土的相关内容。

## 三、粒化高炉矿渣粉的应用规定

(1) 粒化高炉矿渣粉应质量稳定并附有品质检验证书。

(2) 粒化高炉矿渣粉的品质应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)及现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)中的有关规定。

(3) 粒化高炉矿渣粉进场检验,应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)及现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)中的有关规定。

(4) 粒化高炉矿渣粉应按品种、等级分别运输储存,不得混入杂物。

(5)粒化高炉矿渣的粉磨细度不宜小于  $4000\text{cm}^2/\text{g}$ ,其掺量宜通过试验确定。用硅酸盐水泥拌制的混凝土,其掺量不宜少于胶凝材料质量的 50%;用普通硅酸盐水泥拌制的混凝土,其掺量不宜少于胶凝材料质量的 40%。

### 第三节 检测项目、取样原则及判定规则

《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)附录 C 对水运工程主要材料试验和现场检验抽样组批原则及检验项目作出规定。

#### 一、检测项目

##### 1. 硅灰

必检项目:二氧化硅含量、含水率、烧失量、细度。按要求一般也检测火山灰活性指数、均匀性等。

##### 2. 粉煤灰

(1)必检项目:细度、需水量比、烧失量、三氧化硫;其他:28 天抗压强度比。

(2)拌制混凝土和砂浆用粉煤灰,进场检验项目主要有:细度、需水量比、烧失量、含水量、三氧化硫、游离氧化钙及安定性等。

(3)水泥活性混合材料用粉煤灰,进场检验项目主要有:烧失量、含水量、三氧化硫、游离氧化钙、安定性及强度活性指数等。

##### 3. 粒化高炉矿渣粉

必检项目:比表面积、活性指数、含水量。其他:密度、流动度比、三氧化硫、氯离子、烧失量等。

#### 二、取样原则

##### 1. 硅灰(JTJ 275—2000)

(1)应以连续供应相同等级的数量不大于 20t 为一批,不足 20t 按一批计。

(2)散装硅灰应按不同部位取 10 份试样,袋装硅灰应从每批中任抽 10 袋取样。每份试样重为 200 ~ 500g,混合拌匀后按四分法缩取比试验需要量大 1 倍的试样。

##### 2. 粉煤灰(JTS 257—2008,GB/T 1596—2005)

###### 1) 水运工程规定

(1)按 JTS 257—2008 和 JTJ/T 273—97 的要求:以连续供应相同等级的数量不大于 200t 为一批。

(2)散装粉煤灰应按从每批不同部位取 15 份试样,每份试样不得少于 1kg,混合拌匀后按四分法缩取比试验需要量大 1 倍的试样。袋装粉煤灰应从每批中任抽 10 袋取样,每袋各取试样不得少于 1kg,混合拌匀后按四分法缩取比试验需要量大 1 倍的试样。

###### 2) GB/T 1596—2005 规定

(1)以连续供应的 200t 相同等级的数量、相同种类的粉煤灰为一编号,不足 200t 按一个编号论,粉煤灰质量按干灰(含水量小于 1%)的质量计算。每一编号为一取样单位,当散装粉煤灰运输工具的容量超过该厂规定出厂编号吨数时,允许该编号的数量超过取样规定的吨数。



(2) 取样应有代表性,可连续取,也可从 10 个以上不同部位取等量样品,总量至少 3kg。

### 3. 粒化高炉矿渣粉(JTS 257—2008, GB/T 18046—2008)

(1) 水运工程中(JTS 257—2008)以连续供应的相同等级数量不大于 200t 为一批。

(2) 国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2008)规定:矿渣粉出厂前按同级别进行编号和取样。每一编号为一个取样单位。矿渣粉出厂编号按矿渣粉单线年生产能力规定为:

$60 \times 10^4 \text{t}$  以上,不超过 2000t 为一编号;

$30 \times 10^4 \sim 60 \times 10^4 \text{t}$ ,不超过 1000t 为一编号;

$10 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4 \text{t}$ ,不超过 600t 为一编号;

$10 \times 10^4 \text{t}$  以下,不超过 200t 为一编号。

当散装运输工具容量超过该厂规定出厂编号吨数时,允许该编号数量超过该厂规定出厂编号吨数。

(3) 取样应有代表性,可连续取样,也可以在 20 个以上部位取等量样品,总量至少 20kg。试样应混合均匀,按四分法缩取出比试验所需要量大一倍的试样。

## 三、判定规则

### (一) 硅灰

1. 依据《海港工程防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)

(1) 满足硅灰品质指标的判定为合格品。

(2) 当其中任一项不满足规定标准时,应重新从一批中加倍取样进行复检,仍不满足者,为不合格品。

2. 依据《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736—2002)

各类矿物外加剂性能符合相应等级的规定,则判为相应等级;若其中有一项不符合规定指标,则降级或判为不合格品。

### (二) 粉煤灰

1. 依据《港口工程粉煤灰混凝土技术规程》(JTJ/T 273—97)

(1) 满足粉煤灰品质指标的规定。

(2) 当其中任一项达不到规定要求时,应从一批中加倍取样进行复检,仍不满足者,为不合格品或降级处理。

2. 依据《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596—2005)

(1) 满足粉煤灰品质指标的规定,判为相应等级。当其中任一项达不到规定要求时,应从同一编号中加倍取样进行全部项目复检,以复验结果判定相应等级;若复验结果仍有一项不合格,判为不合格品。

(2) 对于水泥活性混合材料用粉煤灰,只有当活性指数小于 70% 时,该粉煤灰可作为水泥生产中的非活性混合材料。

### (三) 粒化高炉矿渣粉

依据《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2008):

(1) 检验结果符合标准中密度、比表面积、活性指数、流动度比、含水量、三氧化硫等技术要求的为合格品。

(2) 检验结果不符合标准中密度、比表面积、活性指数、流动度比、含水量、三氧化硫等技术要求的为不合格品。若其中任何一项不符合要求,应重新加倍取样,对不合格的项目进行复检,评定时以复检结果为准。

## 第四节 检 验 方 法

### 一、硅灰

#### (一) 二氧化硅含量

##### 1. 试剂和仪器设备

(1) 试剂: 1:2 和 2% 的盐酸 ( $\text{HCl}$ )、1:1 的硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )、氢氟酸 ( $\text{HF}$ )、无水碳酸钠 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )、1% 动物胶溶液和蒸馏水。

(2) 仪器设备: 烘箱、铂坩锅、称量瓶、马弗炉、烧杯、水浴装置

##### 2. 试验步骤

(1) 先将试样在  $105 \sim 110^\circ\text{C}$  烘箱中烘干,然后置于干燥器中冷却至室温;

(2) 用三只铂坩锅,各放入约 3.59g 无水  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;

(3) 用称量瓶称取 0.5g 试样两份,精确至 0.1mg,分别投入二只铂坩锅中,然后用玻璃棒将试样与无水  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  搅拌均匀,再送入预热至  $800^\circ\text{C}$  的马弗炉中,空白对照无试样的铂坩锅靠近炉门口放置,然后继续升温至  $1000^\circ\text{C}$  熔 30min,取出,令各铂坩锅倾斜放置、冷却;

(4) 将冷却后的铂坩锅分别置于 250mL 烧杯中,往烧杯中加入 60mL 的 1:2HCl 浸泡,待熔块脱落后,取出铂坩锅,用水和带橡皮套头的玻璃棒将铂坩锅擦洗干净,洗液应流入烧杯中;

(5) 将上述三只烧杯分别置于水浴器的孔口中,加热蒸至湿糊状。蒸发过程中经常搅拌溶液,使盐类成粉末状析出,然后取出冷却,分别加入约 7mL 的 1% 动物胶溶液,空白对照样加 5mL,充分搅匀,放置 5min 以上后,用 20mL 热水冲洗烧杯壁,同时搅拌溶液,使水溶性盐类溶解,静置数分钟,待不溶物沉降后,趁热用滤纸和 3 只 250mL 容量瓶分别过滤,最后将烧杯中的沉淀全部移入滤纸上,并用热水将烧杯多次冲洗,洗液流入滤纸中,并用温热的 2% HCl 洗涤沉淀物直至无铁离子,再用水洗涤两次;

(6) 将三个试样的沉淀物连同滤纸,分别置于三个预先灼烧并称重的铂坩锅中,再在电热炉上低温灰化后,放入马弗炉中,在  $1000^\circ\text{C}$  温度下灼烧 30 ~ 50min,取出,在干燥器中冷却称重,再灼烧 20 ~ 30min 直至恒重;

(7) 将每一铂坩锅中的灼烧残渣用水润湿,加入 4 滴 1:1  $\text{H}_2\text{SO}_4$  和 5mL 的 HF 蒸发至冒  $\text{SO}_3$  白烟,再放在电热炉上使白烟冒尽。最后移入马弗炉中,在  $950^\circ\text{C}$  温度下灼烧 20min 取出,在干燥中冷却称重,并用差减法计算每一坩锅中的  $\text{SiO}_2$  含量。试样的  $\text{SiO}_2$  百分含量减去空白对照的  $\text{SiO}_2$  百分含量后的平均值,即为硅灰之  $\text{SiO}_2$  百分含量。

#### (二) 含水率

含水率应按现行行业标准《港口工程粉煤灰混凝土技术规程》(JTJ/T 273)规定的方法测定。

## 1. 试验仪器设备

烘箱:能使温度控制在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ;

天平:称量 100g,感量 0.001g;

容器:浅口容器;干燥器。

## 2. 试验步骤

(1)由样品中取两份各重 10g 的粉煤灰,分摊在干燥的浅口容器中,称准至 0.001g。

(2)将盛装试样的浅口容器置于烘箱内,在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  温度下烘  $60 \pm 5\text{min}$ 。

(3)将烘毕的试样连同容器置于干燥器内冷却至室温称重。

(4)计算每个样品的含水率按下式计算:

$$\text{含水率} = \frac{m-d}{d} \times 100\% \quad (6-1)$$

式中: $m$ ——样品干燥前重量,g;

$d$ ——样品干燥后重量,g。

## (5) 结果评定

含水率以两个样品的百分率平均值为结果。

## (三) 烧失量

烧失量应按现行国家标准《水泥化学分析方法》(GB 176) 的有关规定进行检验。

## 1. 目的及适用范围

测定硅灰的烧失量,作为评定硅灰的质量指标之一。

## 2. 仪器及设备

瓷坩埚、坩埚钳、高温炉、分析天平(感量 0.1mg)、干燥器。

## 3. 试验步骤

(1)准确称取 1g 试样  $m_0$ ,精确至 0.1mg,置于已灼烧恒重的坩锅中,将盖斜置于坩埚上。

(2)将坩埚放在高温炉内,从低温逐渐升高温度,在  $950 \pm 25^\circ\text{C}$  下灼烧 15 ~ 20min,取出坩埚,置于干燥器中冷却至室温,称量。

(3)如此反复灼烧,直至恒重  $m_1$ 。

## 4. 结果计算

烧失量按下式计算:

$$w_{\text{LOI}} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (6-2)$$

式中: $w_{\text{LOI}}$ ——烧失量,%;

$m_0$ ——灼烧前试样重量,g;

$m_1$ ——灼烧后试样重量,g。

## (四) 火山灰活性指数

## 1. 仪器设备

水泥胶砂搅拌机、振实台、水泥胶砂强度试模、水泥标准养护箱、抗折强度试验机、抗压强度试验机及抗压强度试验机用夹具等等均应符合 GB/T 17671—1999 规定。

## 2. 试验方法

(1)检验硅灰的火山灰活性指数可采用加速法或常温法,当二者的结果不同时,以加速法

为准;

(2)加速法的养护温度,第1天应为  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ,第2天至第6天应为  $65 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,测第7天的抗压、抗折强度,常温法与测水泥胶砂强度相同;

(3)试件成型的控制配比和测试配比应符合表 6-5 的规定;

控制配比与测试配比的成分用量			单位:g	表 6-5
材 料	控 制 配 比	测 试 配 比		
强度等级为 42.5 的硅酸盐水泥	540	486		
硅灰	0	54		
标准砂	1 350	1 350		
水	流动度为 110 ~ 120mm 时的用水量			

(4)试件的成型、抗压、抗折强度测试应按现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法(ISO)法》(GB/T 17671)的有关规定执行;

(5)计算测试配比试件与控制配比试件的抗压强度比和抗折强度比,应取两个比值中的较小值作为硅灰的火山灰活性指数,以百分率表示。

### (五)细度

细度应按下列方法进行检验:

(1)湿筛法,除取样质量为 10g,筛网孔径为 0.045mm,压力水喷头冲洗时间为 5min 外,其他要求应按现行国家标准《水泥细度检验方法 筛析法》(GB/T 1345)的有关规定执行。

(2)比表面积法,用 BET 氮吸附法表面孔测定仪,按仪器说明书给定的方法进行。

### (六)密度

密度检验应按现行国家标准《水泥密度测定方法》(GB 208)的有关规定执行,但硅灰试样质量应取 45g。

## 二、粉煤灰

### (一)细度

#### 1. 目的及适用范围

测定粉煤灰的细度,作为评定粉煤灰等级的质量指标之一。适用于粉煤灰细度的测定。

#### 2. 原理

利用气流作为筛分的动力和介质,通过旋转的喷嘴喷出的气流作用使筛网里的待测粉状物料呈流态化,并在整个系统负压的作用下,将细颗粒通过筛网抽走,从而达到筛分的目的。

#### 3. 仪器设备

##### (1)负压筛析仪

负压筛析仪主要由  $45\mu\text{m}$  方孔筛、筛座、真空源和收尘器等组成,其中  $45\mu\text{m}$  方孔筛内径为 150mm,高度为 25mm, $45\mu\text{m}$  方孔筛及负压筛析仪筛座结构示意图如图 6-1 及图 6-2 所示。

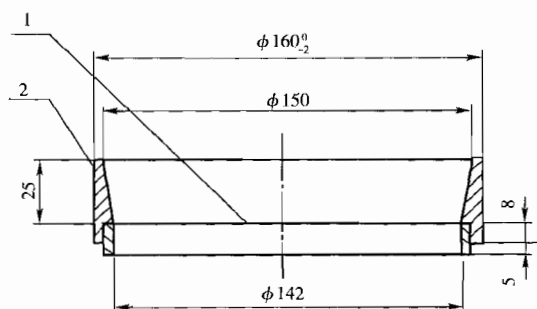


图 6-1 45μm 方孔筛示意图(单位:mm)

1-筛网;2-筛框

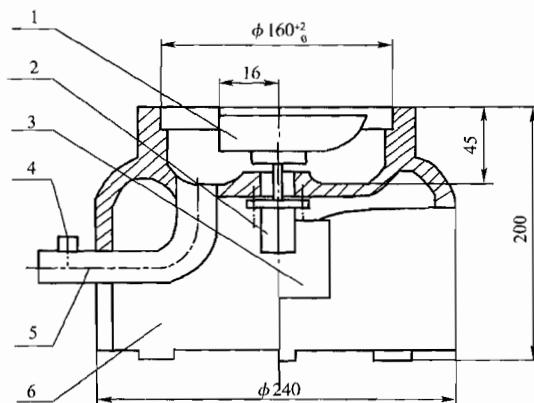


图 6-2 筛座示意图(单位:mm)

1-喷气嘴;2-微电机;3-控制板开口;4-负压表接口;5-负压源及收尘器接口;6-壳体

## (2)天平

量程不小于 50g,最小分度值不大于 0.01g。

## 4. 试验步骤

(1)将测试用粉煤灰样品置于温度为 105 ~ 110℃ 烘干箱内烘至恒重,取出放在干燥器中冷却至室温。

(2)称取试样约 10g,准确至 0.01g,倒入 45μm 方孔筛筛网上,将筛子置于筛座上,盖上筛盖。

(3)接通电源,将定时开关固定在 3min,开始筛析。

(4)开始工作后,观察负压表,使负压稳定在 4 000 ~ 6 000Pa。若负压小于 4 000Pa,则应停机,清理收尘器中的积灰后再进行筛析。

(5)在筛析过程中,可用轻质木棒或硬橡胶棒轻轻敲打筛盖,以防吸附。

(6)3min 后筛析自动停止,停机后观察筛余物,如出现颗粒成球、粘筛或有细颗粒沉积在筛框边缘,用毛刷将细颗粒轻轻刷开,将定时开关固定在手动位置,再筛析 1 ~ 3min 直至筛分彻底为止。将筛网内的筛余物收集并称量,准确至 0.01g。

## 5. 结果计算

45μm 方孔筛筛余按式(6-3)计算:

$$F = (G_1 / G) \times 100 \quad (6-3)$$

式中:  $F$ ——45μm 方孔筛筛余, %;

$G_1$ ——筛余物的质量, g;

$G$ ——称取试样的质量, g。

计算至 0.1%。

## 6. 筛网的校正

筛网的校正采用粉煤灰细度标准样品或其他同等级标准样品,按测定粉煤灰试验步骤测定标准样品的细度,筛网校正系数按式(6-4)计算:

$$K = m_0 / m \quad (6-4)$$

式中:  $K$ ——筛网校正系数;

$m_0$ ——标准样品筛余标准值, %;

$m$ ——标准样品筛余实测值, %。

计算至 0.1。

注: (1) 筛网校正系数范围为 0.8 ~ 1.2。

(2) 筛析 150 个样品后进行筛网的校正。

**(二) 需水量比**

**1. 目的及适用范围**

测定粉煤灰的需水量比, 作为评定粉煤灰等级的质量指标之一。适用于粉煤灰的需水量比测定。

**2. 原理**

按 GB/T 2419 测定试验胶砂和对比胶砂的流动度, 以二者流动度达到 130 ~ 140mm 时的加水量之比确定粉煤灰的需水量比。

**3. 材料**

(1) 水泥: GSB 14—1510 强度检验用水泥标准样品。

(2) 标准砂: 符合 GB/T 17671—1999 规定的 0.5 ~ 1.0mm 的中级砂。

(3) 水: 洁净的饮用水。

**4. 仪器设备**

(1) 天平

量程不小于 1 000g, 最小分度值不大于 1g。

(2) 搅拌机

符合 GB /T 17671—1999 规定的行星式水泥胶砂搅拌机。

(3) 流动度跳桌

符合 GB/T 2419 规定。

**5. 试验步骤**

(1) 胶砂配比按表 6-6。

**胶 砂 配 比** 表 6-6

胶砂种类	水泥 (g)	粉煤灰 (g)	标准砂 (g)	加水量 (mL)
对比胶砂	250	/	750	125
试验胶砂	175	75	750	按流动度达到 130 ~ 140mm 调整

(2) 试验胶砂按 GB/T 17671 规定进行搅拌。

(3) 搅拌后的试验胶砂按 GB/T 2419 测定流动度, 当流动度在 130 ~ 140mm 范围内, 记录此时的加水量; 当流动度小于 130mm 或大于 140mm 时, 重新调整加水量, 直至流动度达到 130 ~ 140mm 为止。

**6. 结果计算**

需水量比按式 (6-5) 计算:

$$X = (L_1 / 125) \times 100 \tag{6-5}$$

式中:  $X$ ——需水量比, %;

$L_1$ ——试验胶砂流动度达到 130 ~ 140mm 时的加水量, mL;

125——对比胶砂的加水量, mL。

计算至 1%。

### (三) 烧失量

烧失量应按现行国家标准《水泥化学分析方法》(GB 176) 的有关规定进行检验。

#### 1. 目的及适用范围

测定粉煤灰的烧失量,作为评定粉煤灰等级的质量指标之一。

#### 2. 仪器及设备

瓷坩埚、坩埚钳、高温炉、分析天平(感量 0.1mg)、干燥器。

#### 3. 试验步骤

(1) 准确称取 1g 试样  $m_0$ , 精确至 0.1mg, 置于已灼烧恒重的坩埚中, 将盖斜置于坩埚上。

(2) 将坩埚放在高温炉内, 从低温逐渐升高温度, 在  $950 \pm 25^\circ\text{C}$  下灼烧 15 ~ 20min, 取出坩埚, 置于干燥器中冷却至室温, 称量。

(3) 如此反复灼烧, 直至恒重  $m_1$ 。

#### 4. 结果计算

烧失量按式(6-6)计算:

$$w_{101} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (6-6)$$

式中:  $w_{101}$ ——烧失量, %;

$m_0$ ——灼烧前试样重量, g;

$m_1$ ——灼烧后试样重量, g。

### (四) 含水量

#### 1. 目的及适用范围

测定粉煤灰的含水量, 作为评定粉煤灰等级的质量指标之一。适用于粉煤灰含水量的测定。

#### 2. 原理

将粉煤灰放入规定温度的烘于箱内烘至恒重, 以烘干前和烘干后的质量之差与烘干前的质量之比确定粉煤灰的含水量。

#### 3. 仪器设备

##### (1) 烘干箱

可控制温度不低于  $110^\circ\text{C}$ , 最小分度值不大于  $2^\circ\text{C}$ 。

##### (2) 天平

量程不小于 50g, 最小分度值不大于 0.01g。

#### 4. 试验步骤

(1) 称取粉煤灰试样约 50g, 准确至 0.01g, 倒入蒸发皿中。

(2) 将烘干箱温度调整并控制在  $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 。

(3) 将粉煤灰试样放入烘干箱内烘至恒重, 取出放在干燥器中冷却至室温后称量, 准确至 0.01g。

#### 5. 结果计算

含水量按式(6-7)计算:

$$W = [(w_1 - w_0) / w_1] \times 100 \quad (6-7)$$

式中:  $W$ ——含水量, %;

$w_1$ ——烘干前试样的质量, g;

$w_0$ ——烘干后试样的质量, g。

计算至 0.1%。

### (五) 三氧化硫

#### 1. 目的及适用范围

测定粉煤灰中  $\text{SO}_3$  的含量。

#### 2. 仪器设备

药品高温炉、烧杯、漏斗、试管、瓷坩埚、坩埚钳、干燥器、滤纸(中速、慢速)、盐酸(1+1)、氯化钡溶液(100g/L)、硝酸银溶液(5g/L)。

#### 3. 试验步骤

(1)称取 0.5g 试样( $m_0$ )精确至 0.0001g,置于 200mL 烧杯中,加入约 40mL 水搅拌使其分散。

(2)在搅拌下加 10mL 盐酸(1+1),用平头玻璃棒压碎块状物,加热煮沸并保持微沸  $5 \pm 0.5$ min。

(3)中速滤纸过滤,用热水洗涤 10~12 次,滤液及洗液收集于 400mL 烧杯中。加水稀释至约 250mL,玻璃棒底部压一小片定量滤纸,盖上表面皿,加热煮沸,在微沸下从杯口缓慢逐滴加入 10mL 热的氯化钡溶液,继续煮沸 3min 以上使沉淀良好地形成,然后在常温下静置至少 4h(仲裁分析应在常温下静置 12~14h),此时溶液的体积应保持在约 200mL。

(4)用慢速定量滤纸过滤,以温水洗涤,直至检验无氯离子为止。

(5)将沉淀及滤纸一并移入已灼烧恒重的瓷坩埚内,灰化完全后,放入 800~950℃ 的高温炉内灼烧 30min。

(6)取出坩埚,置于干燥器中冷却至室温,称量。反复灼烧,直至恒量。

#### 4. 结果计算

三氧化硫的质量百分率按式(6-8)计算:

$$w_{\text{SO}_3} = \frac{m_1 \times 0.343}{m_0} \times 100 \quad (6-8)$$

式中: $w_{\text{SO}_3}$ ——粉煤灰中三氧化硫的质量百分数, %;

$m_0$ ——试样的质量, g;

$m_1$ ——灼烧后沉淀的质量, g;

0.343——硫酸钡对三氧化硫的换算系数。

### (六) 游离氧化钙

#### 1. 目的及适用范围

测定粉煤灰的游离氧化钙含量,作为评定粉煤灰等级的质量指标之一。适用于粉煤灰游离氧化钙含量的测定。

#### 2. 原理

在加热搅拌下,使试样中的游离氧化钙与乙二醇作用生成弱碱性的乙二醇钙,以酚酞为指示剂,用苯甲酸—无水乙醇标准滴定溶液滴定。

#### 3. 仪器设备

游离氧化钙测定仪、锥形瓶、冷凝管、快速滤纸、抽滤瓶、天平(万分之一)



## 4. 化学试剂

乙二醇—乙醇溶液、无水乙醇、苯甲酸—无水乙醇标准滴定溶液、酚酞

## 5. 试验步骤

(1) 称取约 0.5g 试样  $m_0$ , 精确至 0.000 1g, 至于 250mL 干燥的锥形瓶中, 加入 30mL 乙二醇—乙醇溶液;

(2) 放入一根搅拌子, 装上冷凝管, 置于游离氧化钙测定仪上, 以适当的速度搅拌溶液, 同时升温并加热煮沸;

(3) 当冷凝下的乙醇开始连续滴下时, 继续在搅拌下加热微沸 4min, 取下锥形瓶, 用预先用无水乙醇润湿过的快速滤纸抽气过滤或预先用无水乙醇洗涤过的玻璃砂芯漏斗抽气过滤, 用无水乙醇洗涤锥形瓶和沉淀 3 次, 过滤时等上次洗涤溶液过滤完后再洗涤下次;

(4) 滤液及洗液收集于 250mL 干燥的抽滤瓶中, 立即用苯甲酸—无水乙醇标准滴定溶液滴定至微红色消失。

## 6. 结果计算与表示

游离氧化钙的质量分数  $w_{\text{TCaO}}$  按式(6-9)计算:

$$w_{\text{TCaO}} = \frac{T_{\text{CaO}} \times V}{m_0 \times 1\,000} \times 1\,000 = \frac{T_{\text{CaO}} \times V \times 0.1}{m_0} \quad (6-9)$$

式中:  $w_{\text{TCaO}}$ ——游离氧化钙的质量分数, %;

$T_{\text{CaO}}$ ——苯甲酸—无水乙醇标准滴定溶液对氧化钙的滴定度, mg/mL;

$V$ ——滴定时消耗苯甲酸—无水乙醇标准滴定溶液的体积, mL;

$m_0$ ——试样的质量, g。

## (七) 安定性

## 1. 仪器设备

雷氏夹、雷氏夹膨胀测定仪、沸煮箱等均要满足现行国家标准 GB/T 1346—2001 的规定。

## 2. 试验步骤

(1) 每个试样需成型两个试件, 每个雷氏夹需配备质量约 75 ~ 85g 的玻璃板两块, 凡与水泥净浆接触的玻璃板和雷氏夹内表面都要稍稍涂上一层油。

(2) 将预先准备好的雷氏夹放在已稍擦油的玻璃板上, 并立即将已制好的标准稠度净浆(水泥标准样品和被检验粉煤灰按 7:3 质量比混合)一次装满雷氏夹, 装浆时一只手轻轻扶持雷氏夹, 另一只手用宽约 10mm 的小刀插捣数次, 然后抹平, 盖上稍涂油的玻璃板, 接着立即将试件移至湿气养护箱内养护  $24 \pm 2\text{h}$ 。

(3) 调整好沸煮箱内的水位, 使能保证在整个沸煮过程中都超过试件, 不需中途添补试验用水, 同时又能保证在  $30 \pm 5\text{min}$  内升至沸腾。

(4) 脱去玻璃板取下试件, 先测量雷氏夹指针尖端间的距离( $A$ ), 精确至 0.5mm, 接着将试件放入沸煮箱水中的试件架上, 指针朝上, 然后在  $30 \pm 5\text{min}$  内加热至沸并恒沸  $180 \pm 5\text{min}$ 。

## 3. 结果判定

沸煮结束后, 立即放掉沸煮箱中的热水, 打开箱盖, 待箱体冷却至室温, 取出试件进行判别。测量雷氏夹指针尖端的距离( $C$ ), 准确至 0.5mm, 当两个试件煮后增加距离( $C - A$ )的平均值不大于 5.0mm 时, 即认为安定性合格, 当两个试件的  $C - A$  值相差超过 4.0mm 时, 应用同一样品立即重做一次试验。再如此, 则认为该样品为安定性不合格。

### 三、粒化高炉矿渣粉

#### (一) 密度

按 GB/T 208 进行。

#### (二) 比表面积

按 GB/T 8074 进行。

#### (三) 活性指数及流动度比

##### 1. 适用范围

本方法适用于粒化高炉矿渣粉活性指数及流动度比的检验。

##### 2. 原理

(1) 测定试验样品和对比样品的抗压强度, 采用两种样品同龄期的抗压强度之比评价矿渣粉活性指数。

(2) 测定试验样品和对比样品的流动度, 两者流动度之比评价矿渣粉流动度比。

##### 3. 样品

##### (1) 对比水泥

符合 GB 175 规定的强度等级为 42.5 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥, 且 7d 抗压强度 35 ~ 45MPa, 28d 抗压强度 50 ~ 60MPa, 比表面积 300 ~ 400m<sup>2</sup>/kg, SO<sub>3</sub> 含量(质量分数) 2.3% ~ 2.8%, 碱含量(Na<sub>2</sub>O + 0.658K<sub>2</sub>O)(质量分数) 0.5% ~ 0.9%。

##### (2) 试验样品

由对比水泥和矿渣粉按质量比 1:1 组成。

##### 4. 试验方法及计算

(1) 对比胶砂和试验胶砂配比如表 6-7 所示。

胶 砂 配 比

表 6-7

胶砂种类	对比水泥(g)	矿渣粉(g)	中国 ISO 标准砂(g)	水(mL)
对比胶砂	450	—	1 350	225
试验胶砂	225	225	1 350	225

(2) 按 GB/T 17671 规定进行胶砂搅拌、成型和养护。

(3) 矿渣粉活性指数试验及计算。

分别测定对比胶砂和试验胶砂的 7d 和 28d 抗压强度。

矿渣粉 7d 活性指数按式(6-10)计算, 计算结果保留至整数:

$$A_7 = \frac{R_7 \times 100}{R_{07}} \quad (6-10)$$

式中:  $A_7$ ——矿渣粉 7d 活性指数, %;

$R_{07}$ ——对比胶砂 7d 抗压强度, MPa;

$R_7$ ——试验胶砂 7d 抗压强度, MPa。

矿渣粉 28d 活性指数按式(6-11)计算, 计算结果保留至整数:

$$A_{28} = \frac{R_{28} \times 100}{R_{028}} \quad (6-11)$$

式中:  $A_{28}$ ——矿渣粉 7d 活性指数, %;

$R_{028}$ ——对比胶砂 7d 抗压强度, MPa;

$R_{28}$ ——试验胶砂 7d 抗压强度, MPa。

#### (4) 矿渣粉的流动度比试验及计算

按表 6-6 胶砂配比和 GB/T2419 进行试验, 分别测定对比胶砂和试验胶砂的流动度, 矿渣粉的流动度比按式(6-12)计算, 计算结果保留至整数:

$$F = \frac{L \times 100}{L_m} \quad (6-12)$$

式中:  $F$ ——矿渣粉流动度比, %;

$L_m$ ——对比样品胶砂流动度, mm;

$L$ ——试验样品胶砂流动度, mm。

### (四) 含水量

#### 1. 目的及适用范围

本方法适用于粒化高炉矿渣粉含水量的测定。

#### 2. 原理

将矿渣粉放入规定温度的烘干箱内烘至恒重, 以烘干前和烘干后的质量之差与烘干前的质量之比确定矿渣粉的含水量。

#### 3. 仪器设备

##### (1) 烘干箱

可控制温度不低于 110℃, 最小分度值不大于 2℃。

##### (2) 天平

量程不小于 50g, 最小分度值不大于 0.01g。

#### 4. 试验步骤

(1) 称取矿渣粉试样约 50g, 准确至 0.01g, 倒入蒸发皿中。

(2) 将烘干箱温度调整并控制在 105 ~ 110℃。

(3) 将矿渣粉试样放入烘干箱内烘至恒重, 取出放在干燥器中冷却至室温后称量, 准确至 0.01 g。

#### 5. 结果计算

含水量按式(6-13)计算:

$$W = [(w_1 - w_0) / w_1] \times 100 \quad (6-13)$$

式中:  $W$ ——矿渣粉含水量(质量分数), %;

$w_1$ ——烘干前试样的质量, g;

$w_0$ ——烘干后试样的质量, g。

计算至 0.1%。

### (五) 三氧化硫

试验方法同粉煤灰。

### (六) 氯离子

#### 1. 目的及适用范围

本方法适用于粒化高炉矿渣粉氯离子含量的测定。

## 2. 材料试剂

硝酸( $\text{HNO}_3$ )、磷酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )、乙醇( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )、过氧化氢( $\text{H}_2\text{O}_2$ )、氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )溶液、氯离子标准溶液、硝酸汞标准滴定溶液、硝酸银( $\text{AgNO}_3$ )、溴酚蓝指示剂溶液、二苯偶氮碳酰肼溶液。

## 3. 仪器设备

### (1) 天平

精确至 0.000 1g。

### (2) 玻璃容量器皿

滴定管、容量瓶、移液管、称量瓶。

### (3) 测氯蒸馏装置

测氯蒸馏装置如图 6-3 所示。

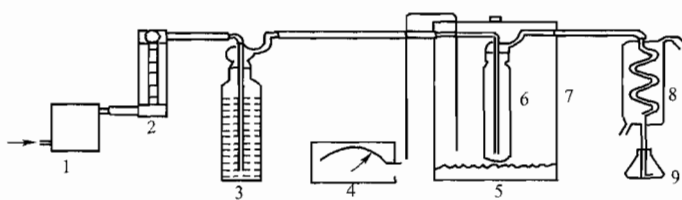


图 6-3 测氯蒸馏装置

1-吹气泵;2-转子流量计;3-洗气瓶,内装硝酸银溶液;4-温控仪;5-电炉;6-石英蒸馏管;7-炉膛保温罩;8-蛇形冷凝管;9-50ml 锥形瓶

## 4. 分析步骤

(1) 取样方法按 GB/T 2007.1 进行。试样必须具有代表性和均匀性。由实验室试样缩分后的试样应不少于 200g,以四分法或缩分器将试样缩减至不少于 50g,然后研磨至全部通过孔径为 0.08mm 方孔筛,将试样充分混匀,装入试样瓶中,密封保存,供测定用。其余作为原样密封保存备用。

(2) 向 50ml 锥形瓶中加入约 3mL 水及 5 滴硝酸,放在冷凝管下端用以承接蒸馏液,冷凝管下端的硅胶管插于锥形瓶的溶液中。

(3) 称取约 0.3g( $m$ ) 试样,精确至 0.000 1g,置于已烘干的石英蒸馏管中,勿使试料粘附于管壁。

(4) 向蒸馏管中加入 5 滴过氧化氢溶液,摇动后加入 5mL 磷酸,套上磨口塞,摇动待试料分解产生的二氧化碳气体大部分逸出后,将固定架套在石英蒸馏管上,并将其置于温度 250 ~ 260℃ 的测氯蒸馏装置炉膛内,迅速地以硅橡胶管连接好蒸馏管的进出口部分(先连出气管,后连进气管),盖上炉盖。

(5) 开动气泵,调节气流速度在 100 ~ 200mL/min,蒸馏 10 ~ 15min 后关闭气泵,拆下连接管,取出蒸馏管置于试管架内。

(6) 用乙醇吹洗冷凝管及其下端子锥形瓶内(乙醇用量约为 15mL)。由冷凝管下部取出承接蒸馏液的锥形瓶,向其中加入 1 ~ 2 滴溴酚蓝指示剂,用氢氧化钠溶液调至溶液呈蓝色,然后用硝酸调至溶液刚好变黄,再过量 1 滴,加入 10 滴二苯偶氮碳酰肼指示剂,用硝酸汞标准滴定溶液滴定至樱桃红色出现。

(7) 氯离子含量为 0.2% ~ 1% 时,蒸馏时间应为约 15 ~ 20min;用硝酸汞标准滴定溶液

[ $C(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2) = 0.005 \text{ mol/L}$ ] 进行滴定。

(8) 进行试样分析时, 应同时进行空白试验, 并对测定结果加以校正。

### 5. 结果计算

氯离子的含量按式(6-14)计算: 测试结果以质量百分数计, 氯离子的测试结果表示至小数点后三位。

$$X_{\text{Cl}^-} = \frac{T_{\text{Cl}}(V_2 - V_1)}{m \times 1000} \times 100 \quad (6-14)$$

式中:  $X_{\text{Cl}^-}$ ——氯离子的质量分数, %;

$T_{\text{Cl}}$ ——每毫升硝酸汞标准滴定溶液相当于氯离子的毫克数, mg/mL;

$V_1$ ——空白试验消耗硝酸汞标准滴定溶液的体积, mL;

$V_2$ ——滴定时消耗硝酸汞标准滴定溶液的体积, mL;

$m$ ——试样的质量, g。

### (七) 烧失量

烧失量应按现行国家标准《水泥化学分析方法》(GB 176) 的有关规定进行检验。

#### 1. 目的及适用范围

适用于测定矿渣粉的烧失量, 作为评定矿渣粉的质量指标之一。

#### 2. 仪器及设备

瓷坩埚、坩埚钳、高温炉、分析天平(感量 0.1mg)、干燥器。

#### 3. 试验步骤

(1) 准确称取 1g 试样  $m_0$ , 精确至 0.1mg, 置于已灼烧恒重的坩锅中, 将盖斜置于坩埚上。

(2) 将坩埚放在高温炉内, 从低温逐渐升高温度, 在  $950 \pm 25^\circ\text{C}$  下灼烧 15 ~ 20min, 取出坩埚, 置于干燥器中冷却至室温, 称量。

(3) 如此反复灼烧, 直至恒重  $m_1$ 。

#### 4. 结果计算

烧失量按式(6-15)计算:

$$w_{\text{LOI}} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (6-15)$$

式中:  $w_{\text{LOI}}$ ——烧失量, %;

$m_0$ ——灼烧前试样重量, g;

$m_1$ ——灼烧后试样重量, g。

## 第五节 石灰的质量检测

石灰是一种以氧化钙为主要成分的气硬性无机胶凝材料。它是用石灰石、白云石、白垩、贝壳等碳酸钙含量高的原料, 经  $900 \sim 1100^\circ\text{C}$  煅烧而成。石灰是人类最早应用的胶凝材料。公元前 8 世纪古希腊人已用于建筑, 中国也在公元前 7 世纪开始使用石灰。至今石灰仍然是用途广泛的建筑材料。石灰有生石灰和熟石灰(即消石灰), 按其氧化镁含量(以 5% 为限)又可分为钙质石灰和镁质石灰。由于其原料分布广, 生产工艺简单, 成本低廉, 在土木工程中应用广泛。是水运工程中堆场、路面基层和底基层及软基加固中常用材料。

## 一、定义、分类及主要技术标准

### (一) 定义

#### 1. 石灰

不同化学组成和物理形态的生石灰、消石灰、水硬性石灰与气硬性石灰的统称。石灰可分为高钙的、镁质的和白云石质的。

#### 2. 生石灰

以碳酸钙为主要成分的原料,在低于烧结温度下煅烧所得的产物。

#### 3. 消石灰

以生石灰为原料经消化所得的产物。消石灰也称熟石灰。

#### 4. 消石灰粉

消石灰经风选、筛选或研磨所得的产物。

#### 5. 气硬性石灰

能在空气中凝结硬化的石灰。

#### 6. 水硬性石灰

能在空气中凝结硬化并在水中保持和继续发展强度的石灰。

### (二) 分类

(1)按化学成分分为钙质石灰( $\text{MgO} \leq 5\%$ )和镁质石灰( $\text{MgO} > 5\%$ )。

(2)按其质量等级分为优等品、一等品和合格品,或分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个等级。

(3)按成品加工方法的不同,可分为块状生石灰、生石灰粉和熟石灰(即消石灰)粉。

### (三) 主要技术标准

(1)石灰术语(JC/T 619—1996)

(2)建筑石灰试验方法(JC/T 478—1992)

(3)建筑生石灰(JC/T 479—1992)

(4)建筑生石灰粉(JC/T 480—1992)

(5)建筑消石灰粉(JC/T 481—1992)

(6)石灰取样方法(JC/T 620—1996)

(7)公路路面基层施工技术规范(JTJ 034—2000)

(8)公路工程无机结合料稳定材料试验规程(JTG E51—2009)

## 二、石灰的生产、应用及主要技术指标

### (一) 石灰的生产、消化和硬化简介

石灰是以碳酸钙为主要成分的石灰石、白云石等天然石灰质材料,在立窑或回转窑中经高温(通常 $900^{\circ}\text{C}$ 以上)煅烧、分解和排除二氧化碳后而成的。石灰石煅烧后得到的生石灰呈白色或灰色块状,是一种质量较轻的多孔结构材料。

生石灰与水作用生成氢氧化物的化学反应,称石灰的消化或熟化。生石灰中一般都含有过火石灰。过火石灰熟化慢,若在石灰浆体硬化后再发生熟化,会因熟化产生的膨胀而引起隆起和开裂。为了消除过火石灰的这种危害,石灰在熟化后,还应“陈伏”2周左右。

石灰浆体的硬化包括干燥硬化和碳化两个同时进行的过程。石灰浆体因水分蒸发或被吸

收而干燥,使石灰颗粒更加紧密而获得“附加强度”。同时,由于干燥失水,引起浆体中氢氧化钙溶液过饱和,结晶出氢氧化钙晶体,产生“结晶强度”。在大气环境中,氢氧化钙在潮湿状态下会与空气中的二氧化碳反应生成碳酸钙,并释放出水分,即发生碳化而获得最终强度,称为“碳化强度”。

《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034—2000)规定生石灰块在使用前7~10d充分消解,宜过孔径10mm的筛,并尽快使用。

## (二) 石灰的应用

石灰在工程中主要用途如下:

### (1) 石灰乳和砂浆

用石灰膏或消石灰粉可配制石灰砂浆或水泥石灰混合砂浆,用于砌筑或抹灰工程。

### (2) 灰土或三灰土

将石灰、松散的粘土(包括各种粗、中、细粒土),或石灰、粉煤灰(或石渣)、粘土、砂,按一定比例,可配制成灰土或三灰土。粘土颗粒表面的少量活性氧化硅和氧化铝与石灰中氢氧化钙发生反应,生成水硬性的水化硅酸钙和水化铝酸钙,使粘土的抗渗能力,抗压强度,耐水性得到改善。灰土或三灰土常用作建筑物的基础、地面的垫层。在公路工程中,石灰用作半刚性材料的结合料,用于做路面基层和底基层的石灰稳定土或用于路基改良土的施工。

### (3) 加固软土地基

在软土地基打入生石灰桩,可利用生石灰吸水产生膨胀对桩周土起挤密作用,利用生石灰与粘土间产生的胶凝反应使周围的土固结,从而提高地基承载力。

### (4) 硅酸盐制品

以石灰(消石灰粉或生石灰粉)与硅质材料(砂、粉煤灰、火山灰、矿渣等)为主要原料,经过配料、拌和、成型和养护后可制得砖、砌块等各种制品。

## (三) 质量要求

石灰中产生胶结性的成分的有效氧化钙和氧化镁,其含量越高,则石灰粘结性越好。因此,有效氧化钙和氧化镁含量是评价石灰质量的主要指标;生石灰还有未消化残渣含量及二氧化碳含量、产浆量的要求;生石灰粉有细度及二氧化碳含量的要求;消石灰粉则有体积安定性、细度和游离水含量的要求。

国家建材行业将建筑生石灰、建筑生石灰粉和建筑消石灰粉分为优等品和合格品三个等级。交通部行业标准《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034—2000)将生石灰和消石灰划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个等级。

钙质、镁质石灰分类见表6-8。

钙质、镁质石灰分类表

表 6-8

品 种	氧化镁含量(%)	
	钙质石灰	镁质石灰
生石灰	≤5	>5
生石灰粉	≤5	>5
消石灰粉	<4	≥4

1. 石灰的技术指标

按照《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034—2000)石灰技术指标应符合表 6-9 的规定。

石灰的技术指标 表 6-9

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
细度	0.71mm 方孔筛的筛余(%)							0	≤1	≤1	0	≤1	≤1
	0.125mm 方孔筛的筛余(%)							≤13	≤20	—	≤13	≤20	—
钙镁石灰的分类界限, 氧化镁含量(%)		≤5			>5			≤4			>4		

注:①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等不小于75%,II等不小于70%,III等不小于60%;未消化残渣含量指标与镁质生石灰指标相同;  
②应尽量缩短石灰的存放时间。石灰在野外堆放时间较长时,应覆盖防潮;  
③使用等外石灰、贝壳石灰、珊瑚石灰等,应进行试验,如混合料的强度符合标准,即可使用;  
④对于高速公路和一级公路,宜采用磨细生石灰粉。

2. 石灰的质量标准

按《建筑生石灰》(JC/T 479—1992)、《建筑生石灰粉》(JC/T 480—1992)、《建筑消石灰粉》(JC/T 481—1992),石灰的质量标准见表 6-10。

石灰的质量标准 表 6-10

品 种	项 目		钙 质			镁 质			白云石消石灰				
			优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品		
生石灰	氧化钙+氧化镁含量(%) ,不小于		90	85	80	85	80	75	—	—	—		
	未消化残渣含量 (5mm 圆孔筛筛余%)	不 大 于	5	10	15	5	10	15	—	—	—		
	二氧化碳含量(%)		5	7	9	6	8	10	—	—	—		
	产浆量(L/kg) ,不小于		2.8	2.3	2.0	2.8	2.3	2.0	—	—	—		
生石灰粉	氧化钙+氧化镁含量(%) ,不小于		85	80	75	80	75	70	—	—	—		
	二氧化碳含量(%)		大 于	7	9	11	8	10	12	—	—	—	
	细 度	0.9 mm 筛筛余(%)		0.2	0.5	1.5	0.2	0.5	1.5	—	—	—	
		0.125 mm 筛筛余(%)		7	12	18	7	12	18	—	—	—	



续上表

品 种	项 目			钙 质			镁 质			白云石消石灰		
				优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
消石灰粉	氧化钙 + 氧化镁含量(%) , 不小于			70	65	60	65	60	55	65	60	55
	游离水(%)			0.4 ~ 2								
	体积安定性			合格		—	合格		—	合格		—
	细 度	0.9 mm 筛筛余(%)	不 大 于	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.5
		0.125 mm 筛筛余(%)		3	10	15	3	10	15	3	10	15
	氧化镁含量(%)			<4			≥4, <24			≥24, <30		

### 三、检测项目、取样原则及判定规则

#### (一) 检测项目

石灰的物理性能试验有细度,生石灰产浆量、未消化残渣含量和消化速度,消石灰粉体积安定性。化学试验有二氧化硅,铁、铝、镁含量,二氧化碳,游离水等。

出厂检验项目为技术要求中的所有项目。由生产厂家的质量检验部门按批量进行。复检项目一般为物理性能指标。

#### (二) 组批及取样原则

按《石灰取样方法》(JC/T 620—1996)的规定:

##### 1. 石灰取样方法

##### (1) 生石灰

①堆场、仓库、车(船)取样法用尖头钢锹抽取份样。在每批量石灰的不同部位随机选取12个取样点,取样点应均匀或循环分布在堆场、仓库、车(船)的对角线或四分线上,并应在表层100mm下或底层100mm上取样。每个点的取样量不少于2000g。取样点内如有最大尺寸大于150mm的大块,应将其砸碎,取能代表大块质量的部分碎块。取得的份样经破碎,并通过20mm的圆孔筛后,立即装入密闭、防潮的容器中。

②输送带或料仓出口取样法采用取样铲取份样。从一批流动的生石灰中,有规律地、间隔取12个份样,每一份样不少于2000g。取得的份样按①处理后,立即装入密闭、防潮的容器中。

③石灰窑出料口取样法根据石灰窑出料口的卸料方式,按①或②取样法进行取样。

##### (2) 生石灰粉或消石灰粉

①袋装取样法采用袋装取样管抽取份样。从每批袋装的生石灰粉或消石灰粉中随机抽取10袋(袋应完好无损),将取样管从袋口斜插到袋内适当深度,取出一管芯石灰。每袋取样量不少于500g。取得的份样应立即装入密闭、防潮的容器中。

②散装车取样法采用散装取样管抽取份样。在整批散装石灰的不同部位随机选取10个取样点,将取样管插入石灰适当深度,取出一管芯石灰,每份不少于500g。取得的份样应立即装入密闭、防潮的容器中。

③输送机口或包装机出料口取样法采用取样铲取份样。从一批流动的生石灰粉或消石灰粉中,有规律地间隔取10个份样,每份不少于500g。取得的份样应立即装入密闭、防潮的容器中。

## 2. 试样制备

(1) 混合样将所取份样均匀混合好后,采用四分法将其缩分到:生石灰不少于 9kg,生石灰粉或消石灰粉不少于 1kg。

(2) 试样和封存样将缩分后的混合样均分为试样及封存样。

## 3. 取样数量

生石灰取样总量不少于 24kg,生石灰粉或消石灰粉取样总量不少于 5kg。

### (三) 按相关标准规定

#### 1. 《建筑生石灰》(JC/T 479—1992) 的规定

##### (1) 批量

日产量 200t 以上每批量不大于 200t;日产量不足 200t 每批量不大于 100t;日产量不足 100t 每批量不大于日产量。

##### (2) 取样

建筑生石灰的取样按批量,从整批物料的不同部位选取。取样点不少于 25 个,每个点的取样量不少于 2kg,缩分至 4kg 装入密封容器内。

#### 2. 《建筑生石灰粉》(JC/T 480—1992) 的规定

##### (1) 批量

日产量 200t 以上每批量不大于 200t;日产量不足 200t 每批量不大于 100t;日产量不足 100t 每批量不大于日产量。

##### (2) 取样

散装生石灰粉:随机取样或使用自动取样器取样。袋装生石灰粉:应从本批产品中随机抽取 10 袋,样品总量不少于 3kg。试样在采集过程中应贮存于密封容器中,在采样结束后立即用四分法将样品缩分至 300g,装于磨口广口瓶中,密封后贴上标签注明:产品名称、批号、生产日期、班次、取样地点并由采样人签名,送交化验室。

#### 3. 《建筑消石灰粉》(JC/T 481—1992) 的规定

##### (1) 批量

检验批量按生产规模划分。100t 为一批量,小于 100t 仍作一批量。

##### (2) 取样

从每一批量的产品中抽取 10 袋样品,从每袋不同位置抽取 100g 样品,总数量不少于 1kg,混合均匀,用四分法缩取,最后取 250g 样品供物理试验和化学分析。

### (四) 判定规则

#### (1) 判定

产品技术指标均达到技术要求相应等级时,判定为该等级,有一项指标低于合格品要求时,判为不合格品。

#### (2) 复检

用户对产品质量发生异议时,可以复检物理指标。按要求取样,送交质量监督部门进行复检。

## 四、检验方法

### (一) 石灰中有效氧化钙含量的测定

石灰中有效氧化钙是指活性游离的氧化钙。它不同于总钙量,因为有效氧化钙不包括碳

酸钙、硅酸盐以及其他钙盐中的钙。石灰中有效氧化钙含量是能溶解于蔗糖溶液中,并能与蔗糖作用而生成蔗糖钙的氧化钙含量占原试样的质量百分率。

### 1. 试验目的和适用范围

本方法适用于测定各种石灰的有效氧化钙含量。目的是判定石灰的类别及质量等级。

### 2. 试验原理

试验原理是活性游离氧化钙与蔗糖化合成在水中溶解度较大的蔗糖钙,而其他钙盐则不与蔗糖作用,故利用不同的反应条件,用已知浓度的盐酸进行滴定(用酚酞指示剂),根据盐酸达到目的终点时的耗量,可以计算出有效氧化钙的含量。石灰中的氧化镁含量不容易直接测定,而是采用 EDTA 络合滴定法,先测定钙镁含量,然后测定出钙含量与钙镁含量的差值,通过计算确定氧化镁的含量。

### 3. 主要仪器设备

- (1) 方孔筛:0.15mm,1 个。
- (2) 烘箱:50~250℃,1 台。
- (3) 分析天平:量程不少于 50g,感量 0.000 1g,1 台。
- (4) 电子天平:量程不少于 500g,感量 0.01g,1 台。
- (5) 玻璃棒:8mm×250mm 及 4mm×180mm 各 10 支。

### 4. 试验方法及步骤

#### 1) 备样:

(1) 生石灰试样:将生石灰样品打碎,使颗粒不大于 1.18mm。拌和均匀后用四分法缩减至 200g 左右,放入瓷研钵中研细。再经四分法缩减几次至剩下 20g 左右。研磨所得石灰样品,使通过 0.15mm 的方孔筛。从此细样中均匀挑取 10 余克,置于称量瓶中在 105℃ 的烘箱中烘至恒量,贮于干燥器中,供试验用。

(2) 消石灰试样:将消石灰样品用四分法缩减至 10 余克左右如有大颗粒存在须在瓷研钵中磨细至无不均匀颗粒存在为止。置于称量瓶中在 105℃ 的烘箱中烘至恒量,贮于干燥器中,供试验用。

2) 称取约 0.5g (用减量法称准至 0.000 1g) 试样,放入干燥的 250mL 具塞三角瓶中,取 5g 蔗糖覆盖在试样表面,投入干玻璃珠 15 粒,迅速加入新煮沸并已冷却的蒸馏水 50mL,立即加塞振荡 15min (如有试样结块或粘于瓶壁现象,则应重新取样)。打开瓶塞,用水冲洗瓶塞及瓶壁,加入 2~3 滴酚酞指示剂,以 0.5mol/L 盐酸标准溶液滴定(滴定速度以每秒 2~3 滴为宜),至溶液的粉红色显著消失并在 30s 内不再复现即为终点。

### 5. 计算

有效氧化钙含量按式(6-16)计算:

$$X = \frac{V_5 \times M \times 0.028}{m_1} \times 100 \quad (6-16)$$

式中:  $X$ ——有效氧化钙含量, %;

$V_5$ ——滴定时消耗盐酸标准溶液的体积, mL;

0.028——氧化钙毫克当量;

$m_1$ ——试样质量, g;

$M$ ——盐酸标准溶液当量浓度, mol/L。

## 6. 结果整理

对同一石灰样品至少应做两个试样和进行两次测定,并取两次结果的平均值代表最终结果。石灰氧化钙和有效氧化钙含量在 30% 以下的允许重复性误差为 0.40,在 30% ~ 50% 时为 0.50,大于 50% 的为 0.60。

### (二) 石灰中氧化镁含量的测定

#### 1. 试验目的和适用范围

本方法适用于测定各种石灰的总氧化镁含量。目的是判定石灰的类别及质量等级。

#### 2. 试验原理

石灰中的氧化镁含量不容易直接测定,而是采用 EDTA 络合滴定法,先测定钙镁含量,然后测定出钙含量与钙镁含量的差值,通过计算确定氧化镁的含量。

#### 3. 主要仪器设备

(1) 方孔筛:0.15mm,1 个。

(2) 烘箱:50 ~ 250℃,1 台。

(3) 分析天平:量程不少于 50g,感量 0.000 1g,1 台。

(4) 电子天平:量程不少于 500g,感量 0.01g,1 台。

#### 4. 试验方法及步骤

称取约 0.5g(准确至 0.000 1g)试样,放入 250mL 烧杯中,用水湿润,加 30mL 1:10 盐酸,用表面皿盖住烧杯,加热近沸并保持微沸 8 ~ 10min。用水把表面皿洗净,冷却后把烧杯内的沉淀及溶液移入 250mL 容量瓶中,加水至刻度摇匀。待溶液沉淀后,用移液管吸取 25mL 溶液,放入 250mL 三角瓶中,加 50mL 水稀释后,加酒石酸钾钠溶液 1mL、三乙醇胺溶液 5mL,再加入铵-铵缓冲溶液 10mL、酸性铬兰 K-萘酚绿 B 指示剂约 0.1g。用 EDTA 二钠标准溶液滴定至溶液由酒红色变为纯蓝色时即为终点,记下耗用 EDTA 标准溶液体积  $V_1$ 。

再从同一容量瓶中,用移液管吸取 25mL 溶液,置于 300mL 三角瓶中,加水 150mL 稀释后,加三乙醇胺溶液 5mL 及 20% 氢氧化钠溶液 5mL,放入约 0.2g 钙指示剂。用 EDTA 二钠标准溶液滴定,至溶液由酒红色变为纯蓝色即为终点,记下耗用 EDTA 二钠标准溶液体积  $V_2$ 。

#### 5. 计算

氧化镁的百分含量( $X$ )按式(6-17)计算:

$$X = \frac{T_{\text{MgO}}(V_1 - V_2) \times 10}{m \times 100} \times 100 \quad (6-17)$$

式中: $X$ ——氧化镁的含量,%;

$T_{\text{MgO}}$ ——EDTA 二钠标准溶液对氧化镁的滴定度;

$V_1$ ——滴定钙、镁含量消耗 EDTA 二钠标准溶液体积,mL;

$V_2$ ——滴定钙消耗 EDTA 二钠标准溶液体积,mL;

10——总溶液对分取溶液的体积倍数;

$m$ ——试样质量,g。

## 6. 结果整理

对同一石灰样品至少应做两个试样和进行两次测定,读数精确至 0.1mL。并取两次结果的平均值代表最终结果。

### (三) 生石灰粉或消石灰粉细度

#### 1. 试验目的

测定生石灰粉或消石灰粉细度,是为了判定生石灰粉或消石灰粉细度是否达到技术标准的要求。

#### 2. 仪器设备

- (1) 试验筛:符合 GB 6003 规定,R20 主系列 0.900mm、0.125mm 的一套;
- (2) 羊毛刷:4 号;
- (3) 天平:称量为 100g,分度值 0.1g。

#### 3. 试验步骤

称取试样 50g,倒入 0.900mm、0.125mm 方孔套筛内进行筛分。筛分时一只手握住试验筛,并用手轻轻敲打,在有规律的间隔中,水平旋转试验筛,并在固定的基座上轻敲试验筛,用羊毛刷轻轻地从筛上面刷,直至 2min 内通过量小于 0.1g 时为止。分别称量筛余物质量  $m_1$ 、 $m_2$ 。

#### 4. 结果计算

筛余百分含量  $X_1$ 、 $X_2$  按式(6-18)和式(6-19)计算:

$$X_1 = \frac{m_1}{m} \times 100 \quad (6-18)$$

$$X_2 = \frac{m_1 + m_2}{m} \times 100 \quad (6-19)$$

式中: $X_1$ ——0.900mm 方孔筛筛余百分含量,%;

$X_2$ ——0.125 mm 方孔筛、0.900 mm 方孔筛,两筛子上的总筛余百分含量,%;

$m_1$ ——0.900 mm 方孔筛筛余物质量,g;

$m_2$ ——0.125mm 方孔筛筛余物质量,g;

$m$ ——样品质量,g。

计算结果保留小数点后两位。

### (四) 消石灰粉体积安定性

#### 1. 试验目的

测定消石灰粉体积安定性,是为了判定消石灰粉体积安定性是否达到技术标准的要求。

#### 2. 主要仪器设备

- (1) 天平:称量 200g,分度值 0.2g;
- (2) 量筒:250mL;
- (3) 烘箱:最高温度 200℃ ;

#### 3. 试验步骤

称取试样 100g。倒入 300mL 蒸发皿内,加入  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  清洁淡水约 120mL 左右,在 3min 内拌和成稠浆。一次性浇注于两块石棉网板上,其饼块直径 50 ~ 70mm,中心高 8 ~ 10mm,成饼后在室温下放置 5min 后,将饼块移至另两块干燥的石棉网板上,然后放入烘箱中加热到 100 ~ 105℃ 烘干 4h 取出。

#### 4. 结果评定

烘干后饼块用肉眼检查无溃散、裂纹、鼓包称为体积安定性合格;若出现三种现象中之一者,表示体积安定性不合格。

**(五) 生石灰产浆量及未消化残渣含量****1. 试验目的**

测定生石灰产浆量和未消化残渣含量,是为了判定石灰是否达到技术标准的要求。

**2. 主要仪器设备**

- (1) 圆孔筛:孔径 5mm,20mm;
- (2) 生石灰浆渣测定仪;
- (3) 天平:称量 1000g,分度值 1g;
- (4) 烘箱:最高温度 200℃;

**3. 试样制备**

将 4 kg 试样破碎全部通过 20mm 圆孔筛,其中小于 5mm 以下粒度的试样量不大于 30%,混均,备用,生石灰粉样混均即可。

**4. 试验步骤**

称取已制备好的生石灰试样 1kg 倒入装有 1 500mL(20 ± 5℃)清水的筛筒(筛筒置于外筒内)。盖上盖,静置消化 20min,用圆木棒连续搅动 2min,继续静置消化 40min,再搅动 2min。提起筛筒用清水冲洗筛筒内残渣,至水流不浑浊(冲洗用清水仍倒入筛筒内,水总体积控制在 3000mL),将渣移入搪瓷盘(或蒸发皿)内,在 100 ~ 105℃ 烘箱中,烘干至恒重,冷却至室温后用 5mm 圆孔筛筛分,称量筛余物,计算未消化残渣含量。浆体静置 24h 后,用钢板尺量出浆体高度(外筒内总高度减去筒口至浆面的高度)。

**5. 结果计算**

产浆量  $X_3$ ,按式(6-20)计算:

$$X_3 = R \times 2\pi H / 1 \times 10^6 \quad (6-20)$$

式中: $X_3$ ——产浆量,L/ kg;

$\pi$ ——取 3.14;

$H$ ——浆体高度,mm;

$R$ ——浆筒半径,mm。

未消化残渣百分含量按式(6-21)计算:

$$X_4 = \frac{m_3}{m} \times 100 \quad (6-21)$$

式中: $X_4$ ——未消化残渣含量,%;

$m_3$ ——未消化残渣质量,g;

$m$ ——样品质量,kg。

以上计算结果保留小数点后两位。

## 第七章 建筑钢材及钢筋接头的质量检验

建筑钢材是指用于钢筋混凝土结构中的各种钢筋、钢丝和用于钢结构中的各种型钢(角钢、槽钢、工字钢、圆钢等)、钢管、钢板等。建筑钢材因具有较高的强度,良好的塑性和韧性及易于加工,在工程建设中得到了广泛的应用。

### 第一节 概 述

#### 一、建筑钢材的分类

##### (一) 钢的分类

###### 1. 按冶炼方法分类

根据冶炼炉分,钢可分为平炉钢、氧气转炉钢(Y)、电炉钢三种。

根据脱氧程度分,钢可分为沸腾钢(Y)、镇静钢(Z)、半镇静钢(TZ)和特殊镇静钢(b)四种。

###### 2. 按化学成分分类

按化学成分,钢可分为碳素钢和合金钢两大类:

###### (1) 碳素钢

根据含碳量不同,碳素钢又可分为:

低碳钢 含碳量  $< 0.25\%$ ;

中碳钢 含碳量为  $0.25\% \sim 0.6\%$ ;

高碳钢 含碳量  $> 0.6\%$ 。

碳素结构钢按含硫量不同分 A、B、C、D 四个质量等级。

###### (2) 合金钢

按照合金元素含量不同,合金钢又可分为:

低合金钢 合金元素总含量  $\leq 5\%$ ;

中合金钢 合金元素总含量为  $5\% \sim 10\%$ ;

高合金钢 合金元素总含量  $> 10\%$ 。

###### 3. 按品质分类

按钢品质可分为普通钢和优质钢:

普通钢  $S \leq 0.050\%$ ,  $P \leq 0.045\%$ ;

优质钢  $S \leq 0.035\%$ ,  $P \leq 0.035\%$

###### 4. 按用途分类

按用途的不同,钢可分为结构钢、工具钢、特殊钢三类。

##### (二) 钢筋的分类

###### 1. 按外形和粗细分类

按外形和粗细分,钢筋可分光圆钢筋和螺纹钢筋(有人字纹、螺旋纹和月牙纹)。

## 2. 按钢筋强度等级、牌号分类

按钢筋屈服强度、抗拉强度等级分,钢筋可分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级及不同的牌号。

## 3. 按钢种和化学性能分类

按钢种和化学性能分,钢筋可分普通碳素结构钢筋和普通低合金钢钢筋。

## 4. 按生产工艺分类

按生产工艺分,钢筋可分热轧钢筋、冷拉钢筋、热处理钢筋、冷轧螺纹钢、冷拔低碳钢丝、钢绞线、刻痕钢丝等。

## (三) 型钢的分类

型钢分为角钢(等边和不等边角钢)、工字钢(普通、轻型和宽翼缘工字钢)、槽钢(普通、轻型槽钢)和扁钢。

## (四) 钢筋焊接的分类

按焊接方法的不同,钢筋焊接可分为钢筋电阻点焊、钢筋闪光对焊、钢筋电弧焊、钢筋窄间隙电弧焊、钢筋电渣压力焊、钢筋气压焊以及预埋件 T 形接头埋弧压力焊。

## (五) 钢筋机械连接接头的分类

常用的钢筋机械连接接头,可分为:套筒挤压连接接头、锥螺纹连接接头、墩粗直螺纹连接接头以及滚轧直螺纹连接接头。

# 二、相关定义

## 1. 力学性能

钢材力学性能的主要指标包括屈服强度、抗拉强度和伸长率。

(1) 屈服强度也称屈服极限,指金属材料呈现屈服现象时,在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点,应区分上屈服强度和下屈服强度。试样发生屈服而力首次下降前的最大应力叫上屈服强度;在屈服期间,不计初始瞬时效应时的最低应力叫下屈服强度。中碳钢和高碳钢没有明显的屈服过程,通常以产生 0.2% 残余变形时的应力作为屈服强度。工程中常以屈服点作为钢材设计强度取值的依据。

(2) 抗拉强度:钢材所能抵抗的最大拉应力。即相应钢材最大力的应力。

(3) 强屈比:抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值,通常用来比较结构的可靠性和钢材的有效利用率。有较高要求的抗震结构,钢筋的实测抗拉强度与实测屈服强度之比不小于 1.25。钢筋实测屈服强度与屈服强度特征值的比值不大于 1.30。

(4) 伸长率:是指试样原始标距的伸长与原始标距之比的百分率。伸长率是衡量钢材塑性大小的一个重要技术指标。可分为残余伸长率和断后伸长率。断后伸长率  $A$  是指断后标距的残余伸长与原始标距之比的百分率。对于比例试样,若原始标距部位  $5.65 \sqrt{S_0}$ ,符号  $A$  应附以下脚注说明所使用的比例系数,例如,  $A_{11.3}$  表示原始标距为  $11.3 \sqrt{S_0}$  的断后伸长率。对于非比例试样,符号  $A$  应附以下脚注说明所使用的原始标距,以毫米(mm)表示,例如,  $A_{80mm}$  表示原始标距为 80mm 的断后伸长率。

(5) 断面收缩率:指断裂后试样横截面积的最大缩减量与原始横截面积之比的百分率。钢材的断面收缩率是反映钢材塑性好坏的另一个技术指标率。

(6) 弹性模量( $E$ ):当钢材受拉时,应力与应变成正比关系,如卸去荷载,试件将恢复原状,表明此阶段钢材的变形为弹性变形,因此称为弹性阶段。此阶段应力与应变的比值即为钢材



的弹性模量( $E$ )。弹性模量反映钢材抵抗弹性变形的能力即刚度的大小,它是钢材在受力条件下计算结构变形的重要指标。常用低碳钢的弹性模量  $E = (2.0 \sim 2.1) \times 10^5 \text{ MPa}$ 。

### 2. 工艺性能

工艺性能是指钢材是否易于加工,能否满足各种成型工艺的性能。弯曲(反复弯曲)性能、冷加工性能是建筑钢材的重要工艺性能。

#### (1) 弯曲性能

弯曲性能是钢材在常温条件下承受规定弯曲程度的弯曲变形能力,并可在弯曲中显示钢材缺陷的一种工艺性能。规定试件在规定的弯曲角度、弯心直径及反复弯曲次数条件下,试件弯曲处不产生裂纹、断裂和起层脱皮等现象时,即认为合格。弯曲试验是通过试件弯曲处的塑性变形来实现的,相对伸长率而言,弯曲试验是对钢材塑性更加严格的检验。

#### (2) 冷加工性能

将钢材于常温下进行各种加工(包括冷拉、冷拔、冷轧、冷扭、刻痕等),使之产生塑性变形,从而提高其屈服强度,称为冷加工强化。施工中常用的冷加工有冷拉、冷拔。冷拉是在现场经常采用的一种冷加工方法。

### 3. 冲击韧性

冲击韧性是指钢材抵抗冲击荷载作用的能力,它是衡量钢材抵抗脆性破坏的力学性能指标。以冲击韧性指标来表示。

### 4. 硬度

硬度是钢材抵抗其他较硬物体压入的能力,实际上硬度为钢材抵抗塑性变形的能力。测定钢材硬度常用的方法有布氏法、洛氏法和维氏法,相应的作为硬度指标的有布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HR)、维氏硬度(HV)。

### 5. 疲劳性能

钢材若在交变应力(随试件作周期性交替变更的应力)的反复作用下,往往在工作应力远小于抗拉强度时发生骤然断裂,这种现象称为“疲劳破坏”。钢材抗疲劳破坏的能力称为耐疲劳性。

### 6. 焊接性能

钢材的可焊性是指钢材是否适用通常的方法与工艺进行焊接的性能。

钢材可焊性的好坏,主要取决于钢的化学成分。钢内含碳量高将增加焊接接头的硬脆性,含碳量小于0.25%的碳素钢具有良好的可焊性;某些合金元素(如硅、锰、钒、钛等),若含量高也会增大焊接处的硬脆性,降低可焊性;硫对钢材的可焊性影响最为明显,极易使焊接产生热裂缝及硬脆性。

### 7. 钢筋机械连接

钢筋机械连接是通过钢筋与连接件的机械咬合作用或钢筋端面的承压作用,将一根钢筋中的力传递至另一根钢筋的连接方法。

## 三、主要技术标准

(1) 金属材料—室温拉伸试验方法(GB/T 228—2002)

(2) 金属材料—弯曲试验方法(GB/T 232—1999)

(3) 金属材料—厚度等于或小于3mm薄板和薄带反复弯曲试验方法(GB/T 235—1999)

- (4) 钢筋混凝土用钢筋 弯曲和反向弯曲试验方法(YB/T 5126—2003)
- (5) 金属应力松弛试验方法(GB/T 10120—1996)
- (6) 钢筋混凝土用钢 第2部分 热轧带肋钢筋(GB 1499.2—2007)
- (7) 钢筋混凝土用钢 第1部分 热轧光圆钢筋(GB 1499.1—2008)
- (8) 低碳钢热轧圆盘条(GB/T 701—2008)
- (9) 碳素结构钢(GB 700—2006)
- (10) 预应力混凝土用钢丝(GB/T 5223—2002)
- (11) 预应力混凝土用钢绞线(GB/T 5224—2003)
- (12) 金属材料—线材反复弯曲试验方法(GB/T 238—2002)
- (13) 低合金高强度结构钢(GB 1591—2008)
- (14) 钢筋焊接及验收规程(JGJ 18—2003)
- (15) 钢筋焊接接头试验方法标准(JGJ 27—2001)
- (16) 钢筋混凝土用余热处理钢筋(GB/T 13014—91)
- (17) 预应力混凝土用热处理钢筋(GB 4463—1984)
- (18) 水运工程混凝土施工规范(JTJ 268—96)
- (19) 水运工程质量检验标准(JTS 257—2008)

#### 四、钢材应用于水运工程的相关要求

##### 1. 《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)的规定

(1) 钢筋混凝土及预应力混凝土结构所用的钢筋、钢丝和钢绞线的种类、钢号和直径应按设计规定采用。钢筋、钢丝和钢绞线的质量应符合现行国家标准《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》、《钢筋混凝土用余热处理钢筋》、《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》、《普通低碳钢热轧圆盘条》、《预应力混凝土用热处理钢筋》等规定,其力学、工艺性能应符合附录E的要求(即相关国际里的技术要求)。

(2) 冷拉钢筋可用Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋冷拉制成。冷拉Ⅰ级钢筋宜用于钢筋混凝土结构的受拉钢筋、冷拉Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋宜用于预应力混凝土结构的预应力筋。

##### 2. 《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)的规定

同一构件上,应避免使用不同品牌的预应力筋;同束预应力筋,应为同一出厂批次的材料。

### 第二节 主要技术性能

建筑钢材的性能要求主要包括力学性能和工艺性能两大方面,了解和掌握钢材的各种性能,对合理选择和正确使用钢材是非常重要的。

现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)规定,钢筋进场时,应检查其产品质量证明书或质量保证书等,按炉(批)号及直径分批验收。验收时,应查明标牌及进行外观检查,并应在使用之前按国家现行的有关标准规定进行力学、工艺性能检验,其质量应符合相应国家标准要求。钢筋的进场检验验收,应符合现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)中的有关规定。钢筋使用中,当发现钢筋脆断、焊接性能不良或力学性能显著不正常等现象时,应对该批钢筋进行化学成分检验或其他专项检验(如焊接试验)。

一、钢筋

1. 热轧钢筋

热轧钢筋是指经热轧成型并自然冷却的成品钢筋。根据《钢筋混凝土用钢第 1 部分:《热轧光圆钢筋》(GB 1499.1—2008)、《钢筋混凝土用钢第 2 部分:热轧带肋钢筋》(GB 1499.2—2007),热轧光圆钢筋按屈服强度特征值分为 225、300 级,牌号为 HPB225、HPB300,热轧带肋钢筋按屈服强度特征值分为 335、400、500 级,牌号为 HRB335、HRB400、HRB 500。HPB 为热轧光圆钢筋的英文缩写,HRB 为热轧带肋钢筋的英文缩写。其力学性能特征值和工艺性能应符合表 7-1 规定。

热轧钢筋的力学性能特征值和工艺性能 表 7-1

品 种	牌 号	公称直径 (mm)	屈服强度 $R_{el}$ (MPa)	抗拉强度 $R_m$ (MPa)	伸长率 $A$ (%)	最大力总伸 长率 $A_{gt}$ (%)	冷弯试验(180°) $d$ —弯芯直径 $a$ —钢筋公称直径
			不小于				
热轧光圆钢筋	HPB235	6 ~ 22	235	370	25	10.0	$d = a$
	HPB300		300	420			
热轧带肋钢筋	HRB335 HRBF335	6 ~ 25 28 ~ 40 > 40 ~ 50	335	455	17	7.5	$d = 3a$ $d = 4a$ $d = 5a$
	HRB400 HRBF400	6 ~ 25 28 ~ 50 > 40 ~ 50	400	540	16		$d = 4a$ $d = 5a$ $d = 6a$
	HRB500 HRBF500	10 ~ 25 28 ~ 32 > 40 ~ 50	500	630	15		$d = 6a$ $d = 7a$ $d = 8a$

2. 余热处理钢筋

余热处理钢筋是指热轧后立即穿水,进行表面控制冷却,然后利用芯部余热自身完成回火处理所得的成品钢筋。根据《钢筋混凝土用余热处理钢筋》(GB 13014—91),余热处理钢筋的级别为Ⅲ级,强度等级代号为 KI400。其机械性能应符合表 7-2 规定。当冷弯试验时,受弯曲部位外表面不得产生裂纹。

余热处理钢筋的力学和工艺性能 表 7-2

表面形状	钢筋级别	强度等级代号	公称直径 (mm)	屈服点 $\sigma_s$ (MPa)	抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa)	伸长率 $\delta_s$ (%)	弯试验(90°) $d$ —弯芯直径 $a$ —钢筋公称直径
				不小于			
月牙肋	Ⅲ	KI400	8 ~ 25	440	600	14	$d = 3a$
			28 ~ 40				$d = 4a$

3. 冷轧带肋钢筋

冷轧带肋钢筋是热轧盘条经冷轧或冷拔减径后在其表面冷轧成二面或三面有肋的钢筋。按照《冷轧带肋钢筋》(GB 13788—2008),冷轧带肋钢筋按抗拉强度分为四级,牌号为 CRB550、CRB650、CRB 800、CRB970。冷轧带肋钢筋的力学性能与工艺性能应符合表 7-3 的要求。当进行弯曲试验时,弯曲部位表面不得产生裂纹。反复弯曲试验半径应符合表 7-4 的规

定。钢筋的强屈比  $R_m/R_{p0.2}$  应不小于 1.03,经供需双方协议可用  $A_{gt} \geq 0.2\%$  代替  $A$ 。供方在保证 1 000h 松弛率合格的基础上,允许使用推算法确定 1 000h 松弛。

冷轧带肋钢筋的力学性能与工艺性能表 表 7-3

品种	牌号	公称直径 (mm)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (MPa) 不小于	抗拉强 $R_m$ (MPa) 不小于	伸长率(%) 不小于		弯曲试验 (180°)	反复弯曲 次数	应力松弛初始 应力应相当于公 称抗拉强度 的 70% 1 000h 松弛率 (%) 不大于
					A11.3	A100			
冷轧带 肋钢筋	CRB550	4~12	500	550	8.0	—	$D=3d$	—	—
	CRB650	4,5,6	585	650	—	4.0	—	3	8
	CRB800		720	800	—	4.0	—	3	8
	CRB970		875	970	—	4.0	—	3	8

注:表中  $D$  弯心直径  $d$  钢筋公称直径。

冷轧带肋钢筋反复弯曲试验弯曲半径 表 7-4

钢筋公称直径(mm)	4	5	6
弯曲半径(mm)	10	15	15

4. 预应力混凝土钢棒

预应力混凝土钢棒(PCB),按钢棒表面形状分为光圆钢棒、螺旋槽钢棒、螺旋肋钢棒、带肋钢棒四种。按 GB/T 5223.3 交货的产品标记为:预应力钢棒(PCB)公称直径—公称抗拉强度—代号—延性级别(延性 35 或延性 25)—松弛(N 或 L)—标准号。

钢棒应进行拉伸试验,其抗拉强度、延伸强度应符合表 7-5 的规定;伸长特性要求(包括延性级别和相应伸长率)应符合表 7-6 的规定。经拉伸试验后,目视观察,钢棒应显出缩颈韧性断口。

钢棒应进行弯曲试验(螺旋槽钢棒、带肋钢棒除外),其性能符合表 7-5 的规定。

预应力混凝土钢棒的力学性能 表 7-5

表面形状类型	公称直径 $D_n$ (mm)	抗拉强度 $R_m$ 不小于(MPa)	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于(MPa)	弯 曲 性 能	
				性能要求	弯曲半径(mm)
光圆	6~16	对所有规格钢棒	对所有规格钢棒	反复弯曲不小于 4 次/180°	15
					20
					20
					25
螺旋槽	7.1~12.6	1080	930	弯曲 160°~180°后 弯曲处无裂纹	弯芯直径为钢棒公称 直径的 10 倍
螺旋肋	6~14	1230	1080	反复弯曲 不少于 4 次/180°	15
		1420	1280		20
		1570	1420		20
					25
带肋	6~16			弯曲 160°~180°后 弯曲处无裂纹	弯芯直径为钢棒公称 直径的 10 倍
					/

钢棒应进行初始应力为 70% 公称抗拉强度时 1 000h 的松弛试验。假如需方有要求,也应测定初始应力为 60% 和 80% 公称抗拉强度时 1 000h 的松弛值,其松弛值符合表 7-7 的规定。

预应力混凝土钢棒伸长特性要求 表 7-6

延 性 级 别	最大力总伸长率, $A_{gt}$ (%)	断后伸长率( $L_0=8d_n$ ) $A$ (%) 不小于
延性 35	3.5	7.0
延性 25	2.5	5.0

注:(1)日常检验可用断后伸长率,仲裁试验以最大力总伸长率为准。  
(2)最大力伸长率标距  $L_0=200\text{mm}$ 。  
(3)断后伸长率标距  $L_0$  为钢棒公称直径的 8 倍,  $L_0=8d_n$ 。

预应力混凝土钢棒最大松弛值 表 7-7

初始应力 为公称抗拉强度的百分数(%)	1000h 松弛值(%)	
	普通松弛(N)	低松弛(L)
70	4.0	2.0
60	2.0	1.0
80	9.0	4.5

5. 低碳钢热轧圆盘条

盘条的牌号和化学成分(熔炼分析)应符合表 7-8 规定。

低碳钢热轧圆盘条的牌号和化学成分 表 7-8

牌 号	化 学 成 分				
	C	Mn	Si	S	P
			不大于		
Q195	≤0.12	0.25~0.50	0.30	0.040	0.035
Q215	0.09~0.15	0.25~0.60	0.30	0.045	0.045
Q235	0.12~0.20	0.30~0.70			
Q275	0.14~0.22	0.40~1.00			

允许用铝代硅脱氧。

钢中铬、镍、铜、砷的残余含量应符合 GB/T 700 的有关规定。

化学成分允许偏差应符合 GB/T 222 中的规定。

盘条的力学性能和工艺性能应符合表 7-9 要求。

盘条的力学性能和工艺性能 表 7-9

牌 号	力 学 性 能		冷弯试验,180° $d$ —弯心直径 $a$ —试样直径
	抗拉强度 $R_m$ (MPa) 不大于	断后伸长率 $A_{11.3}$ (%) 不小于	
Q195	410	30	$d=0$
Q215	435	28	$d=0$

续上表

牌 号	力 学 性 能		冷弯试验, 180° $d$ —弯心直径 $a$ —试样直径
	抗拉强度 $R_m$ (MPa) 不大于	断后伸长率 $A_{11.3}$ (%) 不小于	
Q235	500	23	$d = 0.5a$
Q275	540	21	$d = 1.5a$

## 6. 冷拔低碳钢丝 (GB 50204—2002)

冷拔低碳钢丝分为甲、乙两个级别。甲级钢丝采用符合 I 级热轧钢筋标准的圆盘条拔制, 适用于中小型预应力构件中作预应力筋; 乙级钢丝宜用作焊接网、焊接骨架、箍筋和构造钢筋等。冷拔低碳钢丝的机械性能应符合表 7-10 的规定。

冷拔低碳钢丝的机械性能

表 7-10

钢丝级别	直径(mm)	抗拉强度(MPa)		伸长率(%) (标距mm)	反复弯曲(180°) 次数
		A组	B组		
		不小于			
甲级	5	650	600	3.0	4
	4	700	650	2.5	4
乙级	3~5	500		2.0	4

## 7. 预应力混凝土用钢丝 (GB/T 5223—2002)

预应力混凝土用钢丝是用盘条经冷拉等工艺而成产品, 以盘卷供应的钢丝。

(1) 冷拉钢丝的力学性能应符合表 7-11 的规定。

(2) 消除应力光圆及螺旋肋钢丝力学性能应符合表 7-12 的规定。

(3) 消除应力刻痕钢丝力学性能应符合表 7-13 的规定。

(4) 供方在保证 1 000h 松弛性能合格的基础上可进行 10h 松弛试验, 其松弛值对于 I 级松弛应不大于 3.0%, 对于 II 级松弛应不大于 1.5%。

冷拉钢丝的力学性能标准

表 7-11

公称直径 $d_n$ (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa)	规定非比例 伸长应力 $\sigma_{i0.2}$ (MPa) 不小于	最大力下总 伸长率( $L_0 =$ 200mm) $\delta_{gt}$ (%) 不小于	弯曲次数 (次/180°) 不小于	弯曲半径 $R$ (mm)	断面收缩率 $\phi$ (%) 不小于	每 210mm 扭 矩的扭转次 数 $n$ 不小于	初始应力相 当于 70% 公称 抗拉强度时, 1 000h 后的应 力松 弛 率 $r$ (%) 不大于
3.00	1 470	1 100	1.5	4	7.5	—	—	8
4.00	1 570	1 180		4	10	35	8	
	1 670	1 250		4	15		8	
5.00	1 770	1 330		5	15	30	7	
6.00	1 470	1 100		5	20		6	
7.00	1 570	1 180		5	20		5	
	1 670	1 250		5	20		5	
8.00	1 700	1 330		5	20	5	5	

消除应力的光圆及螺旋肋钢丝的力学性能

表 7-12

公称直径 $d_n$ (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa)	规定非比例 伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ (MPa) 不小于		最大力下 总伸长率 ( $L_0=200\text{mm}$ ) $\delta_{gt}$ (%) 不小于	弯曲次数 (次/ $180^\circ$ ) 不小于	弯曲半径 $R$ (mm)	应力松弛性能		
							初始应力相 当于公称抗 拉强度的百 分数 (%)	1 000h 后的应力松 弛率 $r$ (%) 不大于	
		WLR	WNR					WLR	WNR
4.00	1470	1290	1250	3.5	3	10	60	1.0	4.5
4.80	1570	1380	1330		4	15			
	1670	1470	1410		4	15			
5.00	1770	1560	1500						
	1860	1640	1580		4	15			
6.00	1470 1570 1670 1770	1290	1250		4	15	70	2.0	8
6.25		1380	1330		4	20			
7.00		1470	1410		4	20			
		1560	1500		4	20			
8.00		1290	1250		4	20	80	4.5	12
9.00	1380	1330	4		25				
	1470	1290	1250		4	25			
4					30				

消除应力的刻痕钢丝的力学性能标准

表 7-13

公称直径 $d_n$ (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa)	规定非比例 伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ (MPa) 不小于		最大力下 总伸长率 ( $L_0=200\text{mm}$ ) $\delta_m$ (%) 不小于	弯曲次数 (次/ $180^\circ$ ) 不小于	弯曲半径 $R$ (mm)	应力松弛性能		
							初始应力相 当于公称抗 拉强度的百 分数 (%)	1 000h 后的应力松 弛率 $r$ (%) 不大于	
		WLR	WNR					WLR	WNR
$\leq 5.0$	1470	1290	1250	3.5	3	15	60	1.5	4.5
	1570	1380	1330						
	1670	1470	1410						
	1770	1560	1500						
	1860	1640	1580						
$> 5.0$	1470	1290	1250			20	80	4.5	12
	1570	1380	1330						
	1670	1470	1410						
	1770	1560	1500						

注: (1) I 级松弛即普通松弛, II 级松弛即低松弛级;

(2) II 屈服强度  $\sigma_{0.2}$  值不小于公称抗拉强度的 85%。每一交货批的钢丝实际强度不应高于其公称强度级 200MPa。

#### 8. 预应力混凝土用钢绞线 (GB/T 5224—2003)

预应力混凝土用钢绞线一般采用 7 根 2.5~5.0mm 的高强度碳素钢丝经绞捻 (一般为左

捻)、热处理消除内应力而制成。预应力混凝土用钢绞线的力学性能应符合表 7-14 的规定。

1×7 结构钢绞线力学性能标准 表 7-14

钢绞线结构	钢绞线公称直径 $D_0$ (mm)	抗拉强度 $R_m$ (MPa) 不小于	整根钢绞线的最大力 $F_m$ (kN) 不小于	规定非比例延伸力 $F_{p0.2}$ (kN) 不小于	最大力总伸长率 ( $L_0 \geq 500\text{mm}$ ) $A_{gt}$ (%) 不小于	应力松弛性能	
						初始负荷相当于公称最大力的百分数 (%)	1 000h 后应力松弛率 $r$ (%) 不大于
$1 \times 7$	9.50	1720	94.3	84.9	对所有规格  <		

二、碳素结构钢

碳素结构钢是碳素钢中的一类,可加工成各种型钢、钢筋和钢丝,适用于一般结构和工程。构件可进行焊接、铆接和栓接。

碳素结构钢都由氧气转炉、平炉或电炉冶炼,一般以热轧(包括控轧)状态交货。

碳素结构钢的牌号由代表屈服点的字母、屈服点数值、质量等级符号、脱氧程度符号等四个部分按顺序组成。例如:Q235-A·F。

钢的牌号和化学成分(熔炼分析)应符合表 7-15 规定。



在保证钢材力学性能符合标准规定情况下,各牌号 A 级钢的碳、硅、锰含量和各牌号其他等级钢的碳、锰含量下限可以不作为交货条件,但其含量(熔炼分析)应在质量证明书中注明。

碳素结构钢的牌号与化学成分 表 7-15

牌号	等级	化学成分(%)					
		C	Mn	Si	S	P	
				不大于			
Q195	—	0.06 ~ 0.12	0.25 ~ 0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
Q215	A	0.09 ~ 0.15	0.25 ~ 0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q235	A	0.14 ~ 0.22	0.30 ~ 0.65	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B	0.12 ~ 0.20	0.30 ~ 0.70		0.045		
	C	≤0.18	0.35 ~ 0.80		0.040	0.040	Z
	D	≤0.17			0.035	0.035	T、Z
Q255	A	0.18 ~ 0.28	0.40 ~ 0.70	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q275	—	0.28 ~ 0.38	0.50 ~ 0.80	0.35	0.050	0.045	b、Z

钢材的拉伸和冲击试验应符合表 7-16 规定,弯曲试验应符合表 7-17 规定(牌号 Q195 的屈服点仅供参考,不作交货条件。各牌号 A 级钢的冷弯试验,在需方有要求时方进行。当冷弯试验合格时,抗拉强度上限可以不作交货条件)。

同一种钢,平炉钢和氧气转炉钢质量优于空气转炉钢;特殊镇静钢优于镇静钢,镇静钢优于半镇静钢,更优于沸腾钢;钢号增加,强度和硬度增加,塑性、韧性和可加工性能逐步降低;同一钢号内质量等级越高,钢的质量越好,如 Q235C、D 级优于 A、B 级,可作为重要焊接结构使用。

碳素结构钢拉伸试验标准(GB/T 700—2006) 表 7-16

牌 号	等 级	屈服强度 $R(N/mm^2)$ , 不小于						抗拉强度 $R_m$ ( $N/mm^2$ )	断后伸长率 $A(\%)$ , 不小于				
		厚度(或直径)(mm)							厚度(或直径)(mm)				
		$\leq 16$	$> 16 \sim 40$	$> 40 \sim 60$	$> 60 \sim 100$	$100 \sim 150$	$150 \sim 200$		$\leq 40$	$> 40 \sim 60$	$> 60 \sim 100$	$100 \sim 150$	$> 150 \sim 200$
Q195	—	195	185	—	—	—	—	315 ~ 430	33	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335 ~ 450	31	30	29	27	26
	B												
Q235	A	235	225	215	215	195	185	370 ~ 500	26	25	24	22	21
	B												
	C												
	D												

续上表

牌号	等级	屈服强度 $R(N/mm^2)$ , 不小于						抗拉强度 $R_m$ ( $N/mm^2$ )	断后伸长率 $A(\%)$ , 不小于				
		厚度(或直径)(mm)							厚度(或直径)(mm)				
		$\leq 16$	$> 16 \sim 40$	$> 40 \sim 60$	$> 60 \sim 100$	$> 100 \sim 150$	$> 150 \sim 200$		$\leq 40$	$> 40 \sim 60$	$> 60 \sim 100$	$> 100 \sim 150$	$> 150 \sim 200$
Q275	A	275	265	255	245	225	215	410 ~ 540	22	21	20	18	17
	B												
	C												
	D												

注: (1) Q195 的屈服强度值仅供参考, 不作交货条件;  
(2) 厚度大于 100mm 的钢材, 抗拉强度下限允许降低  $20N/mm^2$ 。宽带钢 (包括剪切钢板) 抗拉强度上限不作交货条件。

碳素结构钢弯曲试验标准 表 7-17

牌 号	试 样 方 向	冷弯试验 ( $180^\circ$ ) $B = 2a$	
		钢材厚度 (直径) (mm)	
		$\leq 60$	$> 60 \sim 100$
		弯心直径 $d$	
Q195	纵	0	
	横	$0.5a$	
Q215	纵	$0.5a$	$1.5a$
	横	$a$	$2a$
Q235	纵	$a$	$2a$
	横	$1.5a$	$2.5a$
Q275	纵	$1.5a$	$2.5a$
	横	$2a$	$3a$

注: (1)  $B$  为试样宽度,  $a$  为钢材厚度 (或直径);  
(2) 钢材厚度 (或直径) 大于 100mm 时, 弯曲试验由双方协商确定。

三、钢筋焊接接头

(一) 外观检查

1. 电阻点焊

焊接骨架外观质量检查结果, 应符合下列要求:

- (1) 每件制品的焊点脱落、漏焊数量不得超过焊点总数的 4%, 且相邻两焊点不得有漏焊及脱落。
- (2) 焊接网的长度、宽度及网格尺寸的允许偏差均为  $\pm 10mm$ ; 网片两对角线之差不得大于 10mm; 网格数量应符合设计规定。
- (3) 焊接网交叉点开焊数最大不得大于整个网片交叉点总数的 1%, 并且任一根横筋上开焊点数不得大于该根横筋交叉点总数的 1/2; 焊接网最外边钢筋上的交叉点不得

开焊。

(4) 焊接网组成的钢筋表面不得有裂纹、折叠、结疤、凹坑、油污及其他影响使用的缺陷；但焊点处可有不大的毛刺和表面浮锈。

## 2. 闪光对焊

闪光对焊接头外观检查结果,应符合下列要求:

- (1) 接头处不得有横向裂纹。
- (2) 与电极接触处的钢筋表面不得有明显烧伤。
- (3) 接头处的弯折角不得大于  $3^\circ$ 。
- (4) 接头处的钢筋轴线偏移,不得大于  $0.1$  倍钢筋直径,同时不得大于  $2\text{mm}$ 。

## 3. 电弧焊

电弧焊接头外观检查结果,应符合下列要求:

- (1) 焊缝表面应平整,不得有凹陷或焊瘤。
- (2) 焊接接头区域不得有肉眼可见的裂纹。
- (3) 坡口焊、熔槽帮条焊和窄间隙焊接头的焊缝余高不得大于  $3\text{mm}$ 。

## 4. 电渣压力焊

- (1) 四周焊包凸出钢筋表面的高度不得小于  $4\text{mm}$ 。
- (2) 钢筋与电极接触处,应无烧伤缺陷。
- (3) 接头处的弯折角不得大于  $3^\circ$ 。
- (4) 接头处的轴线偏移不得大于钢筋直径的  $0.1$  倍,且不得大于  $2\text{mm}$ 。

## 5. 钢筋气压焊

气压焊接头外观检查结果,应符合下列要求。

- (1) 接头处的轴线偏移不得大于钢筋直径的  $0.15$  倍,且不得大于  $4\text{mm}$ ;当不同直径钢筋焊接时,应按较小钢筋直径计算;当大于上述规定值,但在钢筋直径的  $0.30$  倍以下时,可加热矫正;当大于  $0.30$  倍时,应切除重焊。
- (2) 接头处的弯折角不得大于  $3^\circ$ ;当大于规定值时,应重新加热矫正。
- (3) 镦粗直径  $d_c$  不得小于钢筋直径的  $1.4$  倍;当小于上述规定值时,应重新加热镦粗。
- (4) 镦粗长度  $L_c$  不得小于钢筋直径的  $1.0$  倍,且凸起部分平缓圆滑;当小于上述规定值时,应重新加热敏,如图 7-1 所示。

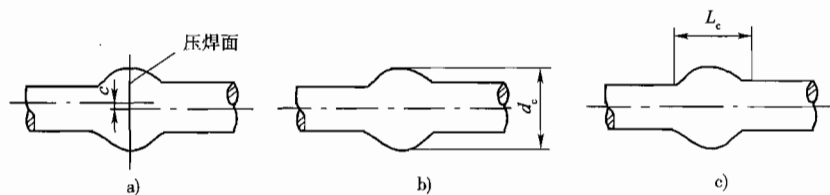


图 7-1 钢筋气压焊接头

a) 轴线偏移; b) 镦粗直径; c) 镦粗长度

## 6. 预埋件 T 形接头埋弧压力焊

预埋件钢筋埋弧压力焊接头外观检查结果,应符合下列规定:

- (1) 四周焊包凸出钢筋表面的高度不得小于  $4\text{mm}$ 。
- (2) 钢筋咬边深度不得超过  $0.5\text{mm}$ 。

(3) 钢板应无焊穿,根部应无凹陷现象。

(4) 钢筋相对钢板的直角偏差不得大于  $3^{\circ}$ 。

预埋件钢筋手工电弧焊接头外观检查结果,应符合下列规定:

(1) 角焊缝焊脚采用 HFB235 钢筋时,焊脚不得小于钢筋直径的 0.5 倍,当角焊缝焊脚采用 HRB335 和 HRB400 钢筋时,焊脚不得小于钢筋直径的 0.6 倍。

(2) 钢筋咬边深度不得超过 0.5mm。

(3) 缝焊表面不得有肉眼可见的裂纹。

(4) 钢筋相对钢板的直角偏差不得大于  $3^{\circ}$ 。

## (二) 机械性能

钢筋闪光对焊接头、电弧焊接头、电渣压力焊接头、气压焊接头拉伸试验结果均应符合下列要求:

(1) 3 个热轧钢筋接头试件的抗拉强度均不得小于该牌号钢筋规定的抗拉强度;RRB400 钢筋接头试件的抗拉强度均不得小于 570MPa。

(2) 至少应有 2 个试件断于焊缝之外,并应呈延性断裂;

当达到上述 2 项要求时,应评定该批接头为抗拉强度合格。

当试验结果有 2 个试件抗拉强度小于钢筋规定的抗拉强度,或 3 个试件均在焊缝或热影响区发生脆性断裂时,则一次判定该批接头为不合格品。

当试验结果有 1 个试件的抗拉强度小于规定值,或 2 个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂,其抗拉强度均小于钢筋规定抗拉强度的 1.10 倍时,应进行复验。

复验时,应再切取 6 个试件。复验结果,当仍有 1 个试件的抗拉强度小于规定值,或有 3 个试件断于焊缝或热影响区,呈脆性断裂,其抗拉强度小于钢筋规定抗拉强度的 1.10 倍时,应判定该批接头为不合格品(表 7-18)。

当接头试件虽断于焊缝或热影响区,呈脆性断裂,但其抗拉强度大于或等于钢筋规定抗拉强度的 1.10 倍时,可按断于焊缝或热影响区之外,呈延性断裂同等对待。

钢筋焊接及验收规程(JGJ 18—2003)

表 7-18

焊接方式	热影响区宽度	实验项目	合 格	一次判定不合格	复 检	不合格(复检)
闪光对焊	$0.7d$	拉伸、弯曲	(1) 3 个试件的抗拉强度均不得小于该级别强度;	(1) 2 个试件的抗拉强度小于该级别强度;	(1) 有 1 个试件的抗拉强度小于规定值;	(1) 1 个试件小于该级别强度;
气压焊	$1.0d$	拉伸(水平连接时做弯曲试验)	(2) 至少有 2 个试件断于焊接缝外,并应呈延性断裂;	(2) 3 个试件均在焊接或热影响区发生脆断;	(2) 2 个试件在焊缝或热影响区发生脆断,其抗拉强度均小于该级别强度的 1.10 倍;	(2) 3 个断于焊缝或热影响区呈脆性断裂,强度小于该级别强度的 1.10 倍;
电弧焊	$6 \sim 10\text{mm}$	拉伸	(3) 弯至 $90^{\circ}$ 有 2 个或 3 个试件外侧(含焊缝和热影响区)为发生破裂	(3) 弯曲试验后 3 个试件均发生破裂	(3) 弯曲试件有 2 个发生破裂	(3) 3 个试件发生破裂
电渣压力焊	$0.8d$	拉伸				

注:接头弯曲实验指标:

(1) 破裂:试件外侧横向裂纹宽度达到 4.5mm 时,认为已经破裂;

(2) 接头虽断于焊缝或热影响区,呈脆断但其抗拉强度多 1.10 倍,该级别强度可按断于焊缝或热影响区之外呈延性断裂同等对待。

闪光对焊接头、气压焊接头进行弯曲试验时,应将受压面的金属毛刺和微粗凸起部分消除,且应与钢筋的外表齐平。

弯曲试验可在万能试验机、手动或电动液压弯曲试验器上进行,焊缝应处于弯曲中心点,弯心直径和弯曲角应符合表 7-19 的规定。

当试验结果,弯至  $90^\circ$ ,有 2 个或 3 个试件外侧(含焊缝和热影响区)未发生破裂,应评定该批接头弯曲试验合格。

当 3 个试件均发生破裂,则一次判定该批接头为不合格品。

钢筋焊接接头弯心直径及弯曲角度规定

表 7-19

钢筋牌号	弯心直径( $D$ )		弯曲角度( $^\circ$ )
	$D \leq 25$	$D > 25$	
HPB235(Q235)	$2d$	$3d$	90
HRB335	$4d$	$5d$	90
HRB400	$5d$	$6d$	90
HRB500	$7d$	$8d$	90

当有 2 个试件发生破裂,应进行复验。

复验时,应再切取 6 个试件。复验结果,当有 3 个试件发生破裂时,应判定该批接头为不合格品。

当试件外侧横向裂纹宽度达到 0.5mm 时,应认定已经破裂。

预埋件钢筋 T 型接头拉伸试验结果,3 个试件的抗拉强度均应符合下列要求:

- (1) HPB235 钢筋接头不得小于 350MPa;
- (2) HRB335 钢筋接头不得小于 470MPa;
- (3) HRB400 钢筋接头不得小于 550MPa。

当试验结果,3 个试件中有小于规定值时,应进行复验。

复验时,应再取 6 个试件。复验结果,其抗拉强度均达到上述要求时,应评定该批接头为合格品。

#### 四、钢筋机械连接接头

##### 1. 适用范围

《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)规定钢筋机械连接接头应用时应符合下列规定:

(1) 钢筋机械连接接头适用于 HRB335、HRB400 牌号钢筋及 KL400 钢筋的连接。机械连接接头应符合(JGJ 107)的规定。

(2) 带肋钢筋套筒挤压接头、镦粗直螺纹钢筋接头、钢筋锥螺纹接头及滚轧直螺纹钢筋连接接头应分别符合现行行业标准《带肋钢筋套筒挤压连接技术规程》(JGJ 108)、《镦粗直螺纹钢筋接头》(JG 171)、《钢筋锥螺纹接头技术规程》(JGJ 109)及《滚轧直螺纹钢筋连接接头》(JG 163)的有关规定。

##### 2. 接头分级

根据抗拉强度以及高应力和大于形变条件下反复拉压性能的差异,机械连接接头分为三

个等级:

I级:接头抗拉强度不小于被连接钢筋实际抗拉强度或 1.10 倍钢筋抗拉强度标准值,并具有高延性及反复拉压性能。

II级:接头抗拉强度不小于被连接钢筋抗拉强度标准值,并具有高延性及反复拉压性能。

III级:接头抗拉强度不小于被连接钢筋屈服强度标准值的 1.35 倍,并具有一定的延性及反复拉压性能。

各等级接头的抗拉强度和变形性能应符合表 7-20 的规定。

机械连接接头的抗拉强度和变形性能(JGJ 107—2003) 表 7-20

接头等级		I 级	II 级	III 级
抗拉强度		$f_{mst}^0 \geq f_{st}^0$ 或 $f_{mst}^0 \geq 1.10 f_{uk}$	$f_{mst}^0 \geq f_{uk}$	$f_{mst}^0 \geq 1.35$
单项拉伸	非弹性变形(mm)	$u \leq 0.10 (d \leq 32)$ $u \leq 0.15 (d > 32)$		
	总伸长率(%)	$\delta_{sgl} \geq 4.0$		$\delta_{sgl} \geq 2.0$
高应力反复拉压	残余变形(mm)	$u_{20} \leq 0.3$		
大变形反复拉压	残余变形(mm)	$u_4 \leq 0.3$	$u_8 \leq 0.6$	$u_4 \leq 0.6$

3. 合格评定标准

(1) 钢筋接头等级按设计要求的接头等级进行评定。

(2) 当 3 个接头试件的抗拉强度均符合表 7-20 中相应等级的要求时,该验收批评为合格。

如有一个试件的强度不符合要求,应再取 6 个试件进行复验。复验中如仍有 1 个试件的强度不符合要求,则该验收批评为不合格。

(3) 现场检验连续 10 个验收批抽样试件抗拉强度试验 1 次合格率为 100% 时,验收批接头数量可以扩大一倍。

(4) 钢筋机械连接接头的破坏形态有三种:钢筋断裂、接头连接件破坏、钢筋从连接件中拔出。

(5) 对 II 级和 III 级接头,无论试件属哪种破坏形态,只要试件抗拉强度满足表 7-20 中 II 级和 III 级接头的强度要求即为合格;对 I 级接头,当试件断于钢筋母材时,即满足条件  $f_{mst}^0 \geq f_{st}^0$  试件合格;当试件断于接头长度区段时,则应满足  $f_{mst}^0 \geq 1.10 f_{uk}$ , 才能判为合格。

第三节 检测项目、取样规则及判定规则

一、钢筋

(一)《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)对钢筋的检验项目、组批的规定

《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)附录 C 对钢筋试验和现场检验抽样组批原则及检验项目规定见表 7-21。

表 7-21

名 称		试验或检验项目	抽样组批原则
钢材	碳素结构钢	必检:拉伸试验、弯曲试验 其他:断面收缩率、硬度、冲击、化学成分	以同一厂家,同一炉罐号、同一规格、同一交货状态,每 60t 为一批,不足 60t 也按一批计
钢筋、钢丝、钢绞线	热轧带肋钢筋、热轧光圆钢筋、余热处理钢筋	必检:拉伸试验、弯曲试验 其他:反向弯曲、化学成分	以同一厂家,同一炉罐号、同一规格、同一交货状态,每 60t 为一批,不足 60t 也按一批计;允许由同一牌号、同一冶炼方法、同一浇铸方法的不同炉罐号组成混合批,但各炉罐号含碳量之差不大于 0.02%,含锰量之差不大于 0.15%。混合批的重量不大于 60t
	低碳钢热轧圆盘条	必检:拉伸试验、弯曲试验 其他:化学成分	以同一厂家,同一炉罐号、同一规格、同一交货状态,每 60t 为一批,不足 60t 也按一批计
	预应力用钢筋	必检:抗拉强度、伸长率、弯曲试验 其他:屈服强度松弛率	以同一牌号,同一规格、同一生产工艺的钢丝,每 60t 为一批,不足 60t 也按一批计
	预应力用中强度钢丝	必检:抗拉强度、伸长率、反复弯曲 其他:规定非比例伸长应力、松弛率	以同一牌号,同一规格、同一强度等级、同一生产工艺的钢丝,每不大于 60t 一批
	预应力用钢绞线	必检:整根钢绞线的最大负荷、屈服负荷、伸长率、尺寸测量 其他:弹性模量、松弛率	以同一牌号,同一规格、同一生产工艺的钢绞线,每不大于 60t 为一批
	预应力用低合金钢丝	拔丝用盘条必检:抗拉强度、伸长率、冷弯 钢丝必检:抗拉强度、伸长率、反复弯曲、应力松弛	拔丝用盘条:见本表“低碳钢热轧圆盘条”规定; 钢丝:以同一牌号、同一形状、同一尺寸、同一交货状态的钢丝为一批

## (二)《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)对钢筋取样的要求及判定规定

1) 钢筋应有出厂证明书或检验报告单。每捆(盘)钢筋均应有标牌。进场时应按炉(批)号及直径分批验收。验收内容包括查明标牌、外观检查,并应在使用之前进行力学、工艺性能检验。

钢筋加工过程中,若发现脆断、焊接性能不良或力学性能显著不正常等现象时,应进行化学成分检验或其他专项检验(注:进口钢筋应进行化学成分检验和焊接试验,并应符合《进口热轧变形钢筋应用若干规定》的规定)。

2) 钢筋的力学、工艺性能检验应按现行国家标准《金属拉伸试验方法》(GB 228)、《金属弯曲试验方法》(GB 232)、《钢筋平面反向弯曲试验方法》(GB 5029)进行。

3) 钢筋力学、工艺检验及验收标准应遵守下列规定:

(1) 对于热轧带肋钢筋、余热处理钢筋和热轧光圆钢筋应按同一炉号和直径,重量不大于 60t 为一批,在同一批的两根钢筋上各取一个拉力和冷弯试样,热轧带肋钢筋宜再取一个反向弯曲试样。试验结果如有一项不符合标准规定指标时,应另取双倍数量的试样重做各项试验。在第二次试验中,若仍有一项指标不符合要求,不论在第一次试验中该项数值是否合格,该批钢筋即为不合格。

(2)对于低碳钢热轧圆盘条,应按同一炉号和直径、数量不大于 100 盘为一批,在同一批的两根钢筋上各取一个拉力和冷弯试样。试验结果如有一项不符合标准规定指标时,应另取双倍数量的试样重做各项试验。在第二次试验中,若仍有一项指标不符合要求,不论在第一次试验中该项数值是否合格,该批钢筋即为不合格。

(3)对于预应力混凝土用热处理钢筋,应以同一炉号和直径数量不大于 60t,但不少于 25 盘为一批,从其中选取 10% 的盘数(不少于 3 盘),各取 1 个试样进行拉力试验,若有一项试验指标不合格时,该盘定为不合格,再从未试验过的钢筋中取双倍数量进行复验,如仍有一项不合格,则该批定为不合格。

(4)对于预应力混凝土用钢丝,应从外观、直径逐盘检验合格的每批钢丝中,任取 10% 的盘数(不少于 3 盘),在每盘钢丝两端各取一个试样进行抗拉强度、弯曲和伸长率的检验。屈服强度按每批任取 2% 的盘数(但不少于 3 盘)。检验结果评定,若有一项试验指标不合格时,该盘定为不合格,再从未试验过的钢筋中取双倍数量进行复验,如仍有一项不合格,则该批定为不合格。

(5)对于预应力混凝土用钢绞线,应从外观、直径逐盘检验合格的钢绞线中,每 60t 内任选 15% 的盘数(但不少于 3 盘),在其任一端取一个试样作力学性能检验,如批量不足 10 盘,则逐盘数(不少于 3 盘)取样作力学性能检验(注:①拉力试验包括屈服点、抗拉强度和伸长率三个指标;②变形钢筋作力学试验不允许切削加工)。

(三) 国家标准对钢筋的检验项目、取样方法和试验方法规定

1. 热轧光圆钢筋

1) 热轧光圆钢筋每批钢筋的检验项目、取样方法和试验方法(表 7-22)

表 7-22

序 号	检 验 项 目	取 样 数 量	取 样 方 法	试 验 方 法
1	化学成分 (熔炼分析)	~ 1	GB/T 20066	GB/T 223 GB/T 4336
2	拉伸	2	任选两根钢筋切取	GB/T 228、GB 1499.1
3	弯曲	2	任选两根钢筋切取	GB/T 232、GB 1499.1
4	尺寸	逐支(盘)		GB1499.1
5	表面	逐支(盘)		目视
6	重量偏差	GB 1499.1	GB 1499.1	GB 1499.1

注:对化学分析和拉伸试验结果有争议时,仲裁试验分别按 GB/T 223、GB/T 228 进行。

2) 组批规则

钢筋按批进行检查和验收,每批由同一牌号、同一炉罐号、同一规格的钢筋组成。每批重量通常不大于 60t。超过 60t 的部分,每增加 40t(或不足 40t 的余数),增加一个拉伸试验试样和一个弯曲试验试样。

允许由同一牌号、同一冶炼方法、同一浇注方法的不同炉罐号组成混合批,但各炉罐号含碳量之差不大于 0.02%,含锰量之差不大于 0.15%。混合批的重量不大于 60t。

3) 取样

从每批中任选两根钢筋,从每一根钢筋距端头不少于 500mm 处切取拉伸试样 1 个和弯曲试



样 1 个,其中一根截取化学分析试样 1 个。钢筋各检查项目的取样数量应符合表 7-22 的规定。

4)必检项目:拉伸试验、弯曲试验。

5)复检:两项试验中如某一试验结果不符合标准要求,则从同一批中再取双倍数量的试样进行不合格项目的复检,复检结果如仍有不合格,则该批为不合格品。

## 2. 热轧带肋钢筋

1)热轧带肋钢筋每批钢筋的检验项目、取样方法和试验方法(表 7-23)

表 7-23

序 号	检 验 项 目	取 样 数 量	取 样 方 法	试 验 方 法
1	化学成分 (熔炼分析)	1	GB/T 20066	GB/T 223 GB/T 4336
2	拉伸	2	任选两根钢筋切取	GB/T 228、GB 1499.2
3	弯曲	2	任选两根钢筋切取	GB/T 232、GB 1499.2
4	反向弯曲	1		YB/T 5126、GB 1499.2
5	疲劳试验	供需双方协商		
6	尺寸	逐支		GB 1499.2
7	表面	逐支		目视
8	重量偏差	GB 1499.2	GB 1499.2	GB 1499.2
9	晶粒度	2	任选两根钢筋切取	GB/T 6394

注:对化学分析和拉伸试验结果有争议时,仲裁试验分别按 GB/T 223、GB/T 228 进行。

## 2)组批规则

钢筋按批进行检查和验收,每批由同一牌号、同一炉罐号、同一规格的钢筋组成。每批重量通常不大于 60t。超过 60t 的部分,每增加 40t (或不足 40t 的余数),增加一个拉伸试验试样和一个弯曲试验试样。允许由同一牌号、同一冶炼方法、同一浇注方法的不同炉罐号组成混合批,但各炉罐号含碳量之差不大于 0.02%,含锰量之差不大于 0.15%。混合批的重量不大于 60t。

## 3)取样

从每批中任选两根钢筋,从每一根钢筋距端头不少于 500mm 处切取拉伸试样 1 个和弯曲试样 1 个,其中一根截取化学分析试样 1 个。钢筋各检查项目的取样数量应符合表 7-23 的规定。

## 4)必检项目

拉伸试验、弯曲试验。

## 5)复检

两项试验中如某一试验结果不符合标准要求,则从同一批中再取双倍数量的试样进行不合格项目的复检,复检结果如仍有不合格,则该批为不合格品。

## 6)复检与判定

钢筋的复检与判定应符合 GB/T 17505 的规定。

## 3. 余热处理钢筋

余热处处理钢筋检验项目、取样方法和试验方法见表 7-24。

余热处处理钢筋检验项目、取样方法和试验方法 表 7-24

序 号	检 验 项 目	取 样 数 量	取 样 方 法	试 验 方 法
1	化学成分	1	GB 222	GB 223
2	拉伸试验	2 个	任意 2 根钢筋切取	GB/T 228, GB 13014
3	弯曲试验	2 个	任意 2 根钢筋切取	GB/T 232, GB 13014
4	尺寸	逐支	—	GB 13014
5	表面	逐支	—	目视
6	重量偏差	GB 13014		

(1)组批规则

钢筋应按批验收。每批由同一牌号、同一炉罐号、同一规格、同一交货状态的钢筋组成。每批重量不得大于 60t。

(2)取样

从每批中任选两根钢筋,从每一根钢筋距端头不少于 500mm 处切取拉伸试样 1 个和弯曲试样 1 个,其中一根截取化学分析试样 1 个。钢筋各检查项目的取样数量应符合表 7-24 的规定。

(3)必检项目

拉伸试验、弯曲试验。

(4)复检

两项试验中如某一试验结果不符合标准要求,则从同一批中再取双倍数量的试样进行不合格项目的复检,复检结果如仍有不合格,则该批为不合格品。

(5)复检与判断

钢筋的复检与判定应符合 GB 2201 的规定。

4. 冷轧带肋钢筋

冷轧带肋钢筋每批钢筋的检验项目、取样方法和试验方法应符合表 7-25 的规定。

冷轧光圆钢筋每批钢筋的检验项目、取样方法和试验方法 表 7-25

序 号	检 验 项 目	取 样 数 量	取 样 方 法	试 验 方 法
1	拉伸试验	每盘 1 个	在每(任)盘中 随机切取	GB/T 228
2	弯曲试验	每批 2 个		GB/T 232
3	反复弯曲试验	每批 2 个		GB/T 238
4	应力松弛试样	定期 1 个	—	GB/T 10120
5	尺寸	逐盘	—	GB 13788
6	表面	逐盘	—	目视
7	重量偏差	每盘 1 个	—	GB 13788

注：“盘”指生产钢筋的“原料盘”。

(1)组批规则

以同一牌号、同一外形、同一规格、同一生产工艺和同一交货状态为一批,每一批不大于60t。

(2)取样

从每(任一)盘中任意一截500mm截后切取试样进行拉伸试验、弯曲试验、反复弯曲试验和松弛试验。

(3)必检项目

拉伸试验、弯曲试验。

(4)复检

试验如有一项试验结果不符合标准要求时,该不合格盘报废,并从未试验过的盘中双倍数量取样复检,如仍有一项不合格,则该批为不合格品或进行逐盘检验。

(5)复检与判定

钢筋的复检与判定应符合GB/T 17505的规定。

5. 预应力混凝土钢棒

预应力混凝土钢棒检验项目、取样数量、取样部位和检验方法应符合表7-26的规定。

预应力混凝土钢棒检验项目、取样数量、取样部位及检验方法 表 7-26

序号	检 验 项 目	取 样 数 量	取样部位	检 验 方 法
1	表面	逐盘	在每(任一)盘中任意一端截取	目视
2	横截面积	1 根/5 盘		用分度值为 0.1g 的天平测量
3	伸直性	1 根/5 盘		用分度值为 1mm 的量具测量
4	抗拉强度	1 根/盘		按 GB/T 228 规定执行
5	规定非比例延伸强度	3 根/每批		按 GB/T 228 规定执行
6	最大力总伸长率	3 根/每批		按 GB/T 228 规定执行
7	断后伸长率	1 根/盘		按 GB/T 228 规定执行
8	弯曲性能	3 根/每批		按 GB/T 238、GB/T 232 规定执行
9	应力松弛性能	不少于 1 根/每条生产线每个月		按 GB/T 10120 规定执行
注:(1)当更换原来牌号、规格及不同厂家的原料时,均要做松弛试验。 (2)对于直条钢棒,以切断盘条的盘数为依据,并按按盘状的取样规则。				

(1)组批规则

钢棒应按批验收。每批由同一牌号、同一规格、同一加工状态钢棒组成。每批重量不得大于60t。

(2)取样

从每(任一)盘中任意一截500mm截后切取试样进行拉伸试验试验、弯曲试验和松弛试验。

(3)必检项目

拉伸试验、弯曲试验和松弛试验。

(4)复检

试验结果如有一项不合格时,该不合格盘报废。再从未试验过的钢筋中取双倍数量的试样进行复检,如仍有一项不合格,则该批为不合格品。

从每批钢筋中抽取 10% 的盘数(不少于 25 盘)进行表面质量、尺寸偏差的检查。如检查不合格,则应将该批钢筋进行逐盘检查。

(5)复检和判定

钢棒的复检与判定应符合 GB/T 2101 及 GB/T 2103 的规定。

6. 低碳钢热轧圆盘条

低碳钢热轧圆盘条每批钢筋的检验项目、取样方法和试验方法应符合表 7-27 的规定。

低碳钢热轧圆盘条检验项目、取样方法和试验方法 表 7-27

序 号	检 验 项 目	取样数量(个)	取样方法及部位	试 验 方 法
1	化学成分(熔炼分析)	1/炉	GB/T 20066	GB/T 223、GB/T 20123、 GB/T 4336
2	拉伸	1/批	GB/T 2975	GB/T 228
3	弯曲	2/批	不同根盘条、 GB/T 2975	GB/T 232
4	尺寸	逐盘	GB/T 14981	千分尺、游标卡尺
5	表面	逐盘	—	目视

注:对化学分析有争议时,仲裁试验按 GB/T 223 进行。

(1)组批规则

钢材应按批验收。每批由同一牌号、同一炉号、同一尺寸的盘条组成。每批重量不得大于 60t。

(2)取样

试样从每盘端头不少于 500mm 处截取。

(3)检测项目

必检项目:拉伸试验、弯曲试验。其他:化学成分。

(4)复检

试验结果不符合标准要求时,该盘作废。再从未试验过的盘内取双倍数量试样进行复检,如复检仍不合格则该批为不合格品。

(5)复检和判定

盘条的复检与判定规则应符合 GB/T 2101 的规定。

7. 冷拔低碳钢丝

(1)组批规则

钢材应按批验收。每批由同一牌号、同一炉号、同一尺寸的盘条组成。每批重量不得大于 60t。

(2)必检项目

抗拉强度、伸长率、反复弯曲试验

(3)取样、复检及评定

甲级钢丝的力学性能应逐盘检查,从每盘钢丝上一端截去不少于 500mm 后再取两个试

样,分别作拉力和  $180^{\circ}$  反复弯曲试验,并按其抗拉强度确定该盘钢丝的组别。乙级钢丝的力学性能可分批抽样检验。以同一直径的钢丝 5t 为一批,从中任取 3 盘,每盘各截取两个试样,分别作拉力和  $180^{\circ}$  反复弯曲试验,如有一个试样不合格,应在未取过试样的钢丝盘中,另取双倍数量的试样,再做各项试验。如仍有一个试样不合格,则应对该批钢丝逐盘检验,合格者方可使用。

#### 8. 预应力混凝土用钢丝

每批钢丝的检验项目、取样数量、取样部位和检验方法应符合表 7-28 的规定。

常规检验项目及取样数量

表 7-28

序 号	检 验 项 目	取 样 数 量	取 样 部 位	检 验 方 法
1	表面	逐盘	在每(任一) 盘中任意一端 截取	目视
2	外形尺寸	逐盘		GB/T 5223
3	消除应力钢丝伸直性	1 根/盘		用分度值为 1mm 的 量具测量
4	抗拉强度	1 根/盘		GB/T 5223
5	规定非比例伸长应力	3 根/每批		GB/T 5223
6	最大力下总伸长率	3 根/每批		GB/T 5223
7	断后伸长率	1 根/盘		GB/T 5223
8	弯曲	1 根/盘		GB/T 5223
9	扭转	1 根/盘		GB/T 5223
10	断面收缩率	1 根/盘		GB/T 5223
11	镦头强度	3 根/每批		GB/T 5223
12 *	应力松弛性能	不少于 1 根/每合同批		GB/T 5223
注: * 合同批为一个订货合同的总量。在特殊情况下,松弛试验可以由工厂连续检验提供同一种原料,同一生产工艺的数据所代替。				

##### (1) 组批规则

钢丝应成批检查和验收。每批由同一牌号、同一规格、同一加工状态的钢丝组成。每批质量不得大于 60t。

##### (2) 取样及必检项目

在每盘钢丝的两端取样进行抗拉强度、反复弯曲和伸长率的试验。屈服强度和松弛试验每季度抽检一次,每次不少于 3 根。

##### (3) 复检

如有一项试验结果不符合标准要求,从未试验过的盘中双倍抽取试样复检,复检不合格,逐盘检验合格者方能使用。

##### (4) 复检与判定规则

钢丝的复检与判定规则应符合 GB/T 2101 的规定。

## 9. 预应力混凝土用钢绞线

钢丝每批钢筋的检验项目、取样数量、取样部位和检验方法应符合表 7-29 的规定。

供方出厂常规检验项目及取样数量

表 7-29

序 号	检 验 项 目	取 样 数 量	取 样 部 位	检 验 方 法
1	表面	逐盘卷		目视
2	外形尺寸	逐盘卷		GB/T 5224
3	钢绞线伸直性	3 根/每批	在每(任)盘 卷中任意一端 截取	用分度值为 1mm 的 量具测量
4	整根钢绞线最大力	3 根/每批		GB/T 5224
5	规定非比例伸长力	3 根/每批		GB/T 5224
6	最大力总伸长率	3 根/每批		GB/T 5224
7	应力松弛性能	不少于 1 根/每合同批 *		GB/T 5224
注: * 合同批为一个订货合同的总量。在特殊情况下,松弛试验可以由工厂连续检验提供同一种原料,同一生产工艺的数据所代替。				

## (1) 组批规则

预应力钢绞线应成批验收, 每批由同一牌号、同一规格、同一生产工艺捻制的钢绞线组成, 每批质量不大于 60t。

## (2) 取样及必检项目

从每批钢绞线中任取 3 盘, 进行表面质量、直径偏差、捻距和力学性能试验。如每批少于 3 盘, 则应逐盘进行检验。屈服强度和松弛试验每季度抽验一次, 每次不少于 1 根。从每盘所选的钢绞线任一端部的正常部位截取 1 根试样进行试验。

## (3) 复检

从每盘所选的钢绞线任一端部的正常部位截取 1 根试样进行试验。试验结果如有一项不合格时则不合格盘报废。再从未试验过的钢绞线中取双倍数量的试样进行该不合格项的复检。如仍有一项不合格, 则该批为不合格品。

## (4) 复检与判定规则

试验结果如有一项不合格时则不合格盘报废。再从未试验过的钢绞线中取双倍数量的试样进行该不合格项的复检。如仍有一项不合格, 则该批为不合格品。

## 二、碳素结构钢

## (一)《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)对碳素结构的检验项目、组批的规定

## (1) 组批规则

以同一厂家、同一炉罐号、同一规格、同一交货状态, 每 60t 为一批, 不足 60t 也按一批计。

## (2) 检测项目

必检项目: 抗拉强度、弯曲试验。其他: 断面收缩率、硬度、冲击、化学成分。

## (二) 国家标准对碳素结构的检验项目、组批及判定规则的规定

碳素结构钢每批的检验项目、取样数量和方法应符合表 7-30 的规定。

碳素结构钢每批的检验项目、取样数量和方法

表 7-30

序 号	检 验 项 目	取样数量(个)	取 样 方 法
1	化学分析	1( 每炉罐号)	GB/T 20066
2	拉伸	1	GB/T 2975
3	冷弯		
4	常温冲击	3	
5	低温冲击		

## (1) 组批规则

钢材应成批验收,每批由同一牌号、同一炉号、同一质量等级、同一品种、同一尺寸、同一交货状态的钢材组成。每批重量应不大于 60t。

公称容量比较小的炼钢炉冶炼的钢轧成的钢材,同一冶炼、浇注和脱氧方法、不同炉号、同一牌号的 A 级钢或 B 级钢,允许组成混合批,但每批各炉号含碳量之差不得大于 0.02%,含锰量之差不得大于 0.15%。

## (2) 取样及检测项目

取样按 GB/T 2975—98 进行。必检项目:抗拉强度、弯曲试验。其他:断面收缩率、硬度、常温冲击、化学成分。

## (3) 复检

如有一项试验结果不符合标准要求,从该检验批的剩余部分中双倍抽取试样复检,复检不合格,逐盘检验合格者方能使用。

钢材的夏比(V 型缺口)冲击试验结果不符合规定时,抽样产品应报废,再从该检验批的剩余部分取两个抽样产品,在每个抽样产品上各选取新的一组 3 个试样,这两组试样的复检结果均应合格,否则该批产品不得交货。

## (4) 复检与判定规则

钢材其他检验项目的复验和检验规则应符合 GB/T 247 和 GB/T 2101 的规定。

## 三、钢筋焊接接头

## (一)《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)对钢筋焊接的检验项目、组批的规定

《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)对钢筋的检验项目、组批的规定见表 7-31。

钢筋焊接接头的现场检验抽样组批原则及检验项目

表 7-31

名 称	试验或检验项目	抽样组批原则
钢筋接头	必检:抗拉强度、弯曲试验	以同一台班、同一焊工、同一级别的每 300 个接头为一批;当同一台班内焊接的接头较少时,按周累计,不足 300 个也按一批计;当工艺和焊接质量稳定时可减少抽检频率
		以同一级别、同一接头形式的 300 个接头为一批,不足 300 个也按一批计
		以同一级别、同一接头形式的 300 个接头为一批,不足 300 个也按一批计

续上表

名 称		试验或检验项目	抽样组批原则
钢筋接头	气压焊		以同一级别、同一接头形式的 200 个接头为一批,不足 200 个也按一批计
	承重预埋件 钢筋 T 型接头		以同一级别、同一接头形式的 300 个接头为一批,不足 300 个也按一批计;连续焊接时按周累计计算
	机械连接接头	必检:原材抗拉强度、单向接头抗拉强度	工艺检验:同批钢筋、同种连续形式的接头试件不少于 3 件; 现场检验:以同一级别、同一接头形式的 500 个接头为一批,不足 500 个也按一批计

## (二)《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)对钢筋焊接接头取样要求及判定规定

1) 热轧钢筋的对接接头,宜采用闪光对焊、电弧焊、电渣压力焊、气压焊或其他形式接头。

Ⅳ级钢筋的对接接头,必须采用“闪光、预热、闪光焊”的工艺。必要时,尚应进行焊后通电热处理,提高其塑性。

钢筋骨架和钢筋网片的交叉焊接宜采用点焊。

2) 钢筋焊接前,必须根据施工条件作焊接性能试验,合格后,方可正式生产。

闪光对焊施焊前如改变钢筋级别、直径或调换焊工时,均应制作两个冷弯试样,作冷弯试验。合格后才能按相应的参数成批焊接。

焊接接头试验应按现行行业标准《钢筋焊接接头试验方法》(JGJ 27)有关规定进行。

3) 受力钢筋采用焊接接头时,设置在同一构件内的焊接接头应相互错开。在任一焊接接头中心至长度为钢筋直径  $d$  的 35 倍且不小于 500mm 的区段内,同一根钢筋不得有两个接头;在该区段内有接头的受力钢筋截面面积占受力钢筋总截面面积的百分率,应符合下列规定。

4) 闪光对焊的接头,应定期分批进行外观检查和力学性能检验,并应符合下列要求。

(1) 外观检查及力学性能检验试件,按下列规定抽取:

① 在同一台班内,由同一焊工完成的 300 个同类型接头作为一批。若同一台班内焊件数量少,可在一周内累计计算。若累计仍不足 300 个接头,则应按一批计算。经充分论证,焊接质量有可靠保证时,可适当放宽;

② 外观检查的接头数量,每批抽查 10%,并不得少于 10 个;

③ 力学性能检验,每批取 6 个试件,其中 3 个作拉伸检验,3 个作冷弯检验。

(2) 外观检查,应符合下列规定:

① 接头部位不得有横向裂纹;

② 钢筋表面不得有明显烧伤,Ⅳ级钢筋不得有烧伤;

③ 接头处弯折角不大于  $40^\circ$ ;

④ 接头处轴线偏移,不大于  $0.1d$ ,同时不大于 2mm;若①中有一个接头不合格,或(②~④)中分别有 30% 的接头不合格,则应对全部接头复查,剔出不合格接头,切除后重新焊接。

(3) 对焊接头拉伸检验,应符合下列规定:

① 三个试件的抗拉强度,均不得低于该级别钢筋规定的抗拉强度值;

② 对于热轧钢筋接头,至少有 2 个试件于焊缝外呈塑性断裂;对于余热处理钢筋接头,尚应满足其抗拉强度不得低于母材的 95%;对于预应力筋螺丝端杆,均应在焊缝以外钢筋一侧



呈塑性断裂。

若上述试验有 1 个试件抗拉强度低于规定指标,或有 2 个试件断于焊缝处,或有 2 个试件在焊缝或热影响区发生脆性断裂时重新抽取双倍试件复验。

复验结果若仍有 1 个试件抗拉强度低于规定指标,或有 3 个试件均断于焊缝处,或有 3 个试件均发生脆性断裂,该批接头即为不合格品。

不合格品的处理:若无特殊手段挑出合格接头时,应全部切除重焊或采取补强措施。

(4)对焊接头冷弯检验,应符合下列规定:

①焊缝处于弯曲中心点,弯至  $90^\circ$ ,试件不得发生破断;

②接头处的热影响区外侧横向裂缝宽度不能够大于  $0.15\text{mm}$ 。

当弯曲试验结果不符合上述要求时,应取双倍数量试件复验,复验结果,若有 3 个试件在接头外侧出现横向裂纹,该批接头即为不合格品。

5)钢筋电渣压力焊接头应逐个进行外观检查,并分批作力学性能检验。力学性能检验应遵守下列规定:

(1)在一般建筑物中,每 300 个同类型接头(同钢筋级别,同钢筋直径)作为一批,切取三个试样进行拉伸试验;

(2)拉伸试验结果:三个试件均不得低于该级钢筋规定的抗拉强度,并至少有二个试件断于焊缝之外,呈塑性断裂,若有一个试件的抗拉强度不符合要求时,或有二个试件断于焊缝、呈脆性断裂时,应再取 6 个接头复验,若仍有一个试件抗拉强度不符合要求或有 3 个试件断于焊缝、呈脆性断裂时,则该批接头为不合格。

6)采用钢筋气压焊应遵守现行国家标准《钢筋气压焊》有关规定。钢筋气压焊接头应逐个进行外观检查,并分批作力学性能检验。力学性能检验应遵守下列规定:

(1)宜以 200 个为一批,随机取三个接头作拉伸试验;根据工程需要,也可另取三个接头作弯曲试验;

(2)拉伸试验结果,三个试件均不得低于该级别钢筋规定抗拉强度,并断于压焊面之外,呈塑性断裂。若有一个试件不符合要求时,应再切取 6 个接头复验,若仍有一个试件不符合要求,则该批接头为不合格,

(3)弯曲试验,应将试件受压表面凸起部分除去,与钢筋外表面齐平。弯曲试验时,压焊面应处在弯曲中心点,弯至  $90^\circ$ ,试件不得在压焊面发生破断。若试验结果有一个试件不符合要求,应再切取 6 个试件复验。复验结果,若仍有一个试件不符合要求,则该批试样所代表的接头为不合格。

7)钢筋低温焊接时,应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18)中有关规定。

## (二)国家标准对钢筋焊接检验项目、组批的规定

### 1. 电阻点焊

(1)凡钢筋牌号、直径及尺寸相同的焊接骨架和焊接网应视为同一类型制品,且每 300 件作为一批,一周内不足 300 件的也应按一批计算。

(2)外观检查应按同一类型制品分批检查,每批抽查 5%,且不得少于 5 件。

(3)力学性能检验的试件,应从每批成品中切取;切取过试件的制品,应补焊同牌号、同直径的钢筋,其每边的搭接长度不应小于 2 个孔格的长度。

当焊接骨架所切取试件的尺寸小于规定的试件尺寸,或受力钢筋直径大于 8mm 时,可在生产过程中制作模拟焊接试验网片,从中切取试件。

(4)由几种直径钢筋组合的焊接骨架或焊接网,应对每种组合的焊点做力学性能检验。

(5)热轧钢筋的焊点应做剪切试验,试件应为 3 件;冷轧带肋钢筋焊点除做剪切试验外,尚应对纵向和横向冷轧带肋钢筋做拉伸试验,试件应各为 1 件,剪切试件纵筋长度应大于或等于 290mm,横筋长度应大于或等于 50mm;拉伸试件纵筋长度应大于或等于 300mm。

(6)焊接网剪切试件应沿同一横向钢筋随机切取。

(7)切取剪切试件时,应使制品中的纵向钢筋成为试件的受拉钢筋。

## 2. 闪光对焊

(1)在同一班内,由同一焊工完成的 300 个同级别、同直径钢筋焊接接头应作为一批。当同一台班内焊接的接头数量较少,可在一周之内累计计算;累计仍不足 300 个接头,应按一批计算。

(2)钢筋闪光对焊接头的机械性能试验包括拉伸试验和弯曲试验,应从每批成品中切取 6 个试件,3 个做拉伸试验,3 个做弯曲试验。

## 3. 电弧焊

(1)在现浇混凝土结构中,应以 300 个同牌号钢筋、同型式接头作为一批;在房屋结构中,应在不超过二楼层中,300 个同牌号钢筋、同型式接头作为一批。每批随机切取 3 个接头,做拉伸试验。

(2)在装配式结构中,可按生产条件制作模拟试件,每批 3 个,做拉伸试验。

(3)钢筋与钢板电弧搭接接头可只进行外观检查。

注:在同一批中若有几种不同直径的钢筋焊接接头。应在最大直径钢筋接头中切取 3 个试件,以下电渣压力焊接头、气压焊接头取样均同。

## 4. 电渣压力焊

在现浇混凝土结构中,应以 300 个同牌号钢筋、同型式接头作为一批;在房屋结构中,应在不超过二楼层中 300 个同牌号钢筋、同型式接头作为一批。每批随机切取 3 个接头,做拉伸试验。

## 5. 钢筋气压焊

(1)在现浇钢筋混凝土结构中,应以 300 个同牌号钢筋接头作为一批;在房屋结构中,应在不超过二楼层中 300 个同牌号钢筋接头作为一批;当不足 300 个接头时,仍应作为一批。

(2)在柱、墙的竖向钢筋连接中,应从每批接头中随机切取 3 个接头做拉伸试验;在梁、板的水平钢筋连接中,应另切取 3 个接头做弯曲试验。

## 6. 预埋件 T 形接头埋弧压力焊

(1)强度检验时,以 300 件同类型成品作为一批,一周内累计不足 300 件成品时,也按一批计算。

(2)从每批成品中切取 3 个接头做拉伸试验。

(3)试件的钢筋长度应大于或等于 200mm,钢板的长度或宽度应大于或等于 60mm。

(4)接头的两端钢筋的轴线弯折角不得大于 4°。

## 四、钢筋机械连接接头

### (一) 接头单向拉伸试验

#### 1. 组批规则

同一施工条件下采用同一批材料的同等级、同型式、同规格接头,以 500 个为一个验收批进行检验与验收,不足 500 个按一批计。

#### 2. 试件数量、检测项目和取样方法

接头试件必须在工程结构中随机截取,每一验收批,取试件一组(3 个),作抗拉强度试验。

### (二) 接头的型式检验

对每种型式、级别、规格、材料、工艺的机械连接接头至少取试件 12 个。

其中 3 个用于钢筋母材试验,3 个用于单项拉伸试验,3 个用于高应力反复拉压试验,3 个用于大应变反复拉压试验。

### (三) 接头工艺检测

(1) 对每批进场的每种规格的钢筋分别取样,各取试件一组。

(2) 每组试件包括:机械连接接头试件不少于 3 根,做抗拉强度( $f_{msl}^0$ )试验;钢筋母材试件不少于 3 根,做抗拉强度( $f_{st}^0$ )试验。

(3) 钢筋母材试件应取自接头试件的同一根钢筋。

## 第四节 检 验 方 法

### 一、金属拉伸试验

拉伸试验是测定钢材在拉伸过程中应力和应变之间的关系曲线以及屈服点、抗拉强度和伸长率三个重要指标,以评定钢材的质量。

#### (一) 仪器设备

##### 1. 试验机

试验机应按照 GB/T 16825.1 进行检验,并应为 1 级或优于 1 级准确度。

试验机应具有记录或显示装置,应由计量部门定期进行检定,试验时所使用力的范围应在检定范围内。

##### 2. 引伸计

引伸计的准确度级别应符合 GB/T 12160 的要求。

测定上屈服强度、下屈服强度、屈服点延伸率、规定非比例延伸强度、规定总延伸强度、规定残余延伸强度,以及规定残余延伸强度的验证试验,应使用不劣于 1 级准确度的引伸计;测定其他具有较大延伸率的性能,例如抗拉强度、最大力总延伸率和最大力非比例延伸率、断裂总延伸率,以及断后伸长率,应使用不劣于 2 级准确度的引伸计。

#### (二) 试样

##### 1. 形状与尺寸

试样的形状与尺寸取决于要被试验的金属产品的形状与尺寸。通常从产品、压制坯或铸件切取样坯经机加工制成试样。但具有恒定横截面的产品(型材、棒材、线材等)和铸造试样

(铸铁和铸造非铁合金)可以不经机加工而进行试验。

试样横截面可以为圆形、矩形、多边形、环形,特殊情况下可以为某些其他形状。试样原始标距与横截面积有  $L_0 = k\sqrt{S_0}$  关系者称为比例试样。国际上使用的比例系数  $k$  的值为 5.65。原始标距应不小于 15mm。当试样横截面积太小,以致采用比例系数  $k$  为 5.65 的值不能符合这一最小标距要求时,可以采用较高的值(优先采用 11.3 的值)或采用非比例试样。

非比例试样其原始标距与原始横截面积无关。

## 2. 机加工的试样

- (1) 如试样的夹持端与平行长度的尺寸不相同,他们之间应以过渡弧连接。
- (2) 试样夹持端的形状应适合试验机的夹头。试样轴线应与力的作用线重合。
- (3) 试样平行长度或试样不具有过渡弧时夹头间的自由长度应大于原始标距。

## 3. 不经机加工的试样

(1) 如试样为未经机加工的产品或试棒的一段长度,两夹头间的长度应足够,以使原始标距的标记与夹头有合理的距离。

(2) 铸造试样应在其夹持端和平行长度之间以过渡弧连接。试样夹持端的形状应适合于试验机的夹头。平行长度应大于原始标距。

## (三) 试验条件

### 1. 试验速度

应根据材料性质和试验目的确定。除有关标准或协议另作规定外,拉伸速度应符合下列要求:

(1) 测定规定非比例伸长应力、规定残余伸长应力和规定总伸长应力时,弹性范围内的应力速率应符合表 7-32 规定,并保持试验机控制器固定于这一速率位置上,直至该性能测出为止。

应力速率控制

表 7-32

金属材料的弹性模量 ( $\text{N/mm}^2$ )	应力速度 ( $\text{N/mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )	
	最小	最大
$< 150\,000$	2	20
$\geq 150\,000$	6	60

(2) 在弹性范围和直至上屈服强度,试验机夹头的分离速率应尽可能保持恒定并在表 7-32 规定的应力速率范围内。

(3) 如仅测定下屈服强度,在试样平行长度的屈服期间应变速率应在  $0.000\,25 \sim 0.002\,5/\text{s}$  之间,平行长度内的应变速率应尽可能保持恒定。如不能直接调节这一应变速率,应通过调节屈服即将开始前的应力速率来调整,在屈服完成之前不再调节试验机的控制。任何情况下,弹性范围内的应力速率不得超过表 7-30 规定的最大速率。

(4) 在塑性范围和直至规定强度(规定塑性延伸强度、规定总延伸强度和规定残余延伸强度)应变速率不应超过  $0.002\,5/\text{s}$ 。

(5) 测定屈服强度或塑性延伸强度后,试验速率可以增加到的不大于  $0.008/\text{s}$  的应变速率(或等效的横梁分离速率)。

(6) 如果仅仅需要测定材料的抗拉强度,在整个试验过程中可以选取不超过  $0.008\text{s}^{-1}$  的单一试验速率。

## 2. 试验温度

试验应在室温( $10 \sim 35^{\circ}\text{C}$ )下进行。

## 3. 夹持方法

应使用例如楔形夹头、螺纹夹头、平推夹头、套环夹具等合适的夹具夹持试样。应确保夹持的试样受轴向拉力的作用,尽量减小弯曲。对于楔型夹头,试样头部被夹持的长度一般至少为夹头夹持长度的四分之三。夹头的夹持面与试样接触应尽可能对称均匀。圆管试样应在其两端加以塞头或将其被夹持部分压扁以便夹持。

## (四) 试验步骤和结果计算

1) 根据钢筋直径  $d_0$  确定试件的标距长度。原始标距  $L_0 = 5d_0$ ,如钢筋长度比原始标距长许多,可以标出相互重叠的几组原始标距。

2) 在钢筋的纵肋上标出标距端点,并沿标距长度以  $d_0$  或  $5\text{mm}$ 、 $10\text{mm}$  作分格标志。

3) 试验机测力盘指针调零,并使主、副指针重叠。

4) 将试件固定在试验机夹头内,开动机器进行拉伸。拉伸速度应满足上述规定要求。

5) 拉伸中,测力盘指针停止转动时的恒定荷载,或第一次回转时的最小荷载,即为屈服点荷载  $P_s(\text{N})$ 。按下式可求得试件的屈服点:

$$\sigma_s = P_s / F_0 \quad (7-1)$$

式中:  $\sigma_s$ ——屈服点,  $\text{MPa}$ ;

$P_s$ ——屈服点荷载,  $\text{N}$ ;

$F_0$ ——试件(钢筋)公称横截面,  $\text{mm}^2$ 。

$\sigma_s$  应计算至  $1\text{MPa}$ ,小数点后数字按四舍五入法处理。最后结果修约至  $5\text{N/mm}^2$ 。

6) 测得屈服荷载后,连续加荷至试件拉断,由测力盘读出最大荷载  $P_b(\text{N})$ 。按下式可求得试件的抗拉强度:

$$\sigma_b = P_b / F_0 \quad (7-2)$$

式中:  $\sigma_b$ ——抗拉强度,  $\text{MPa}$ ;

$P_b$ ——最大荷载,  $\text{N}$ ;

$F_0$ ——试样公称横截面,  $\text{mm}^2$ 。

$\sigma_b$  的计算精度同  $\sigma_s$ 。

## 7) 伸长率测定

(1) 将已拉断的试件在断裂处对齐紧密对接,尽量使其轴线位于一条直线上,如拉断处由于各种原因形成缝隙,则此缝隙应计入试件拉断后的标距部分长度内。

(2) 如拉断处到邻近标距端点的距离大于  $L_0/3$  时,可用游标卡尺直接测出已被拉长的标距长度  $L_1(\text{mm})$ 。

(3) 如拉断处到邻近标距端点的距离小于或等于  $L_0/3$  时,可按下述移位法来确定  $L_1$ :

① 试验前将试样原始标距细分为  $5\text{mm}$ (推荐)到  $10\text{mm}$  的  $N$  等份;

② 试验后,以符号  $X$  表示断裂后试样短段的标距标记,以符号  $Y$  表示断裂试样长段的等分标记,此标记与断裂处的距离最接近于断裂处至标距标记  $X$  的距离。

如  $X$  与  $Y$  之间的分格数为  $n$ ,按如下测定断后伸长率:

如  $N-n$  为偶数(图 7-2a), 测量  $X$  与  $Y$  之间的距离和测量从  $Y$  至距离为  $\frac{N-n}{2}$  个分格的  $Z$  标记之间的距离。则断后伸长率:  $A = \frac{XY + 2YZ - L_0}{L_0} \times 100$ 。

如  $N-n$  为奇数(图 7-2b), 测量  $X$  与  $Y$  之间的距离, 和测量从  $Y$  至距离分别为  $\frac{N-n-1}{2}$  和  $\frac{N-n+1}{2}$  个分格的  $Z'$  和  $Z''$  标记之间的距离。则断后伸长率:  $A = \frac{XY + YZ' + YZ'' - L_0}{L_0} \times 100$ 。

(4) 如用直接量测所求得的伸长率能达到标准规定值, 则可不采用移位法。

(5) 伸长率按下式计算:

$$\delta = [(L_1 - L_0) / L_0] \times 100\% \quad (7-3)$$

式中:  $\delta$ ——伸长率% (精确至 1%) ;

$L_0$ ——原始标距长度, mm;

$L_1$ ——试件拉断后直接量测或由移位法确定的标距部分长度, mm (精确至 0.1 mm)。

如试件在标距点上或标距外断裂, 则试验结果无效, 应重作试验。

(6) 最大力非比例伸长率(%)按下式计算:

$$A_g = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (7-4)$$

式中:  $L_1$ ——断后标距, mm;

$L_0$ ——原始标距, mm;

$A_g$ ——最大力非比例伸长率, %。

(7) 最大力总伸长率(%)按下式计算:

$$A_{gt} = A_g + \frac{\sigma_b}{E} \times 100 \quad (7-5)$$

式中:  $\sigma_b$ ——抗拉强度, N/mm<sup>2</sup>;

$A_g$ ——最大力非比例伸长率, %;

$A_{gt}$ ——最大力总伸长率, %;

$E$ ——弹性模量, 应由相关产品标准给定。

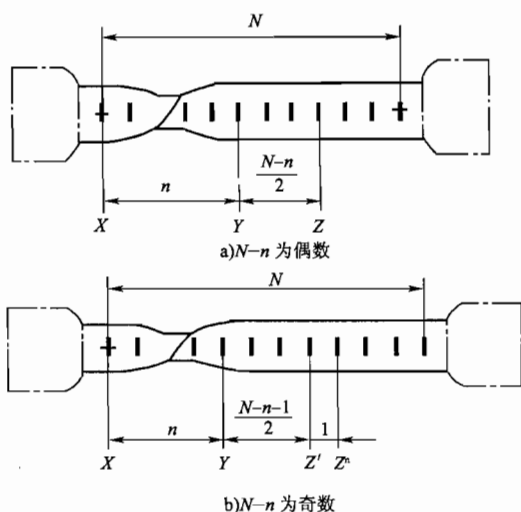


图 7-2 移位方法的图示说明

## 二、金属弯曲试验

适用于检验金属材料承受规定弯曲角度的弯曲变形性能。不适用于金属管材和金属焊接接头的弯曲试验。其试验原理为: 将一定形状和尺寸的试样放置于弯曲装置上, 以规定直径的弯心将试样弯曲到所要求的角度后, 卸除试验力检查试样承受变形性能。

**(一) 试验设备**

1) 弯曲试验可在压力机或万能材料试验机上进行, 试验机应具备下列装置:

(1) 应有足够硬度的支承辊, 其长度应大于试样的宽度或直径。支辊间的距离可以调节。

(2) 具有不同直径的弯心, 弯心直径由有关标准规定, 其宽度应大于试样的宽度或直径, 弯心应有足够的硬度。

2) 厚度不大于 4mm 的试样, 可在虎钳上进行弯曲试验, 弯心直径按有关标准规定。

**(二) 试样**

1) 试验使用圆形、方形、矩形或多边形横截面的试样。样坯的切取位置和方向按照相关产品标准的要求。如未具体规定, 对于钢产品, 应按照 GB/T 2975 的要求。试样应通过机加工去除由于剪切或火焰切割等影响了材料性能的部分。

2) 试样表面不得有划痕和损伤。方形、矩形和多边形横截面试样的棱边应倒圆, 倒圆半径不超过试样厚度的 1/10。棱边倒圆时不应形成影响试验结果的横向毛刺、伤痕或刻痕。

3) 试样宽度应按照相关产品标准的要求, 如未具体规定, 试样宽度应按照以下要求:

(1) 当产品宽度不大于 20mm 时, 试样宽度为原产品宽度;

(2) 当产品宽度大于 20mm, 厚度小于 3mm 时, 试样宽度为  $20 \pm 5\text{mm}$ ; 厚度不小于 3mm 时, 试样宽度在 20 ~ 50mm 之间。

4) 板(带)材、型材和方形横截面材料的厚度不大于 25mm 时, 试样厚度与材料厚度相同, 试样宽度为试样厚度的 2 倍, 但不得小于 10mm; 当材料厚度大于 25mm 时, 试样厚度应加工成 25mm, 并保留一个原表面, 其宽度应加工成 30mm。当试验机能量允许时, 厚度大于 25mm 的材料, 可以全厚度的试样进行试验, 其宽度为试样厚度的 2 倍。仲裁时, 按厚度减薄加工的试样进行试验。弯曲时, 原表面位于弯曲的外侧。

5) 弯曲试样长度根据试样厚度和弯曲试验装置而定, 通常按下式确定试样长度:  $L \approx 5a + 150\text{mm}$ 。

6) 凡经加工的试样, 其宽度、厚度或直径的尺寸偏差均为  $\pm 1\text{mm}$ 。

7) 试样的端部应打印或用其他方法标记试样的代号。

8) 试样的形状和尺寸如有关标准有特殊规定, 则按规定执行。

**(三) 试验条件**

1) 试验应在 10 ~ 35℃ 下进行, 在控制条件下, 试验在  $23 \pm 5^\circ\text{C}$  下进行。

2) 试验时应在平衡压力作用下, 缓慢施加试验力。

3) 弯心直径必须符合有关标准的规定, 弯心宽度必须大于试样的宽度或直径。两支辊之间距离为  $(d + 2.5a) \pm 0.5a$ , 并且在试验过程中不允许有变化。

**(四) 试验程序**

1) 由相关产品标准规定, 采用下列方法之一完成试验。

(1) 试样在图 7-3、图 7-4、图 7-5 或图 7-6 所给定的条件和在力作用下弯曲至规定的弯曲角度;

(2) 试样在力作用下弯曲至两臂相距规定距离且互相平行;

(3) 试样在力作用下弯曲至两臂互相接触。

2) 试样弯曲至规定弯曲角度的试验, 应将试样放于两支辊(图 7-3)或 V 形模具(图 7-4)或两水平翻板(图 7-6)上, 试样轴线应与弯曲压头轴线垂直, 弯曲压头在两支座之间的中点处对试样连续施加力使其弯曲, 直至达到规定的弯曲角度。如不能直接达到规定的弯曲角度, 应

将试样至于两平行压板之间,连续施加力压其两端使进一步弯曲,直至达到规定的弯曲角度。

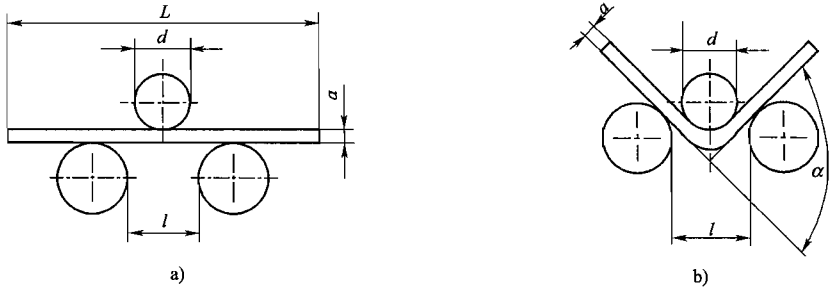


图 7-3 支辊式弯曲装置

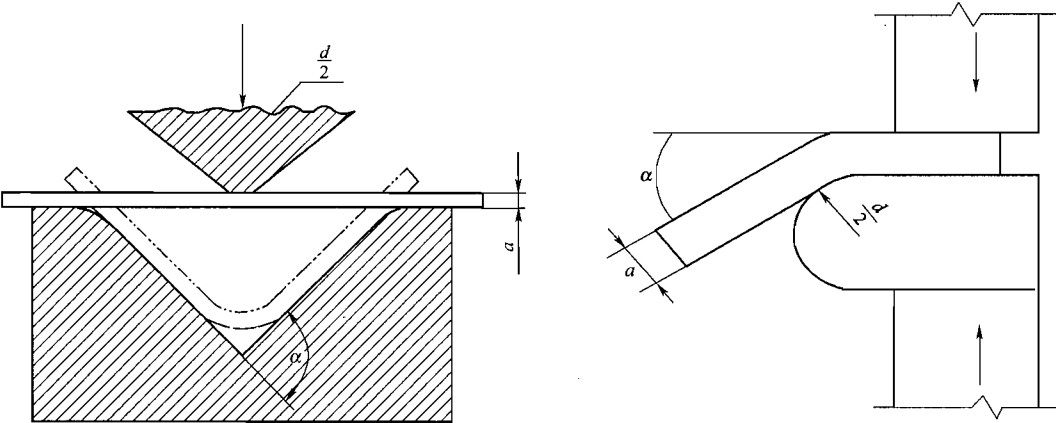


图 7-4 V 形模具式弯曲装置

图 7-5 虎钳式弯曲装置

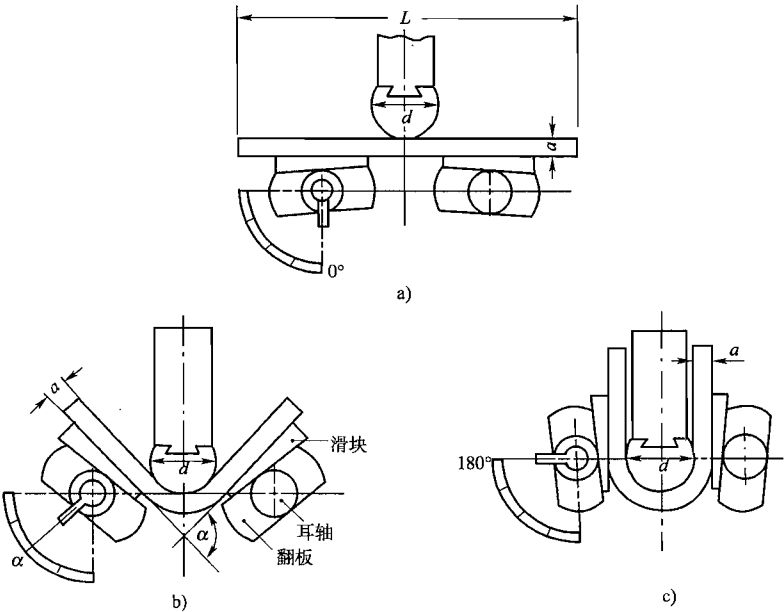


图 7-6 翻板式弯曲装置

3) 试样弯曲至 180°角两臂相距规定距离且相互平行的试验,采用图 7-3 的方法时,首先对试样进行初步弯曲(弯曲角度应尽可能大),然后将试样置于两平行压板之间连续施加力压其



两端进一步弯曲,直至两臂平行。

4)试样弯曲至两臂直接接触的试验,应首先将试样进行初步弯曲(弯曲角度应尽可能大),然后将其置于两平行压板之间,然后将试样置于两平行压板之间连续施加力压其两端进一步弯曲,直至两臂接触。

5)可以采用图 7-5 所示的方法进行弯曲试验。试样一端固定,绕弯心进行弯曲,直至达到规定的弯曲角度。

6)弯曲试验时,应缓慢施加弯曲力。

### (五)结果评定

(1)弯曲后,按有关标准规定检查试样弯曲外表面,进行结果评定。

(2)有关标准未作出具体规定时,检查试样弯曲外表面,若无裂纹、裂缝或断裂,则评定试样合格。

## 三、钢筋混凝土用钢筋弯曲和反向弯曲试验方法

### 1. 目的及适用范围

适用于钢筋混凝土用钢筋的弯曲和反向弯曲试验。反向弯曲试验的目的是为了测定钢筋在弯曲塑性变形与时效后的反向弯曲变形性能。

### 2. 原理

弯曲试验是将试样两臂或一臂加力,使试样靠在规定直径的弯曲圆弧面(弯心)处,承受一弯曲力矩而产生绕圆弧面的塑性变形到一特定角度的试验。

时效性能由反向弯曲试验来测试,包括弯曲试验和时效热处理,再将试样反向弯曲还原到一定的角度。

### 3. 试验设备

#### (1)弯曲装置

图 7-7 所示为弯曲装置的一个实例,一辊固定,另一辊使试样绕弯曲圆弧面(弯心)进行弯曲,也可以将两辊固定,弯曲圆弧面(弯心)向两辊中间运动,使试样两臂绕弯曲圆弧面(弯心)进行弯曲弯曲试验也可以按照 GB/T 232,在万能试验机上使用装有角度指示器的弯曲装置来进行。

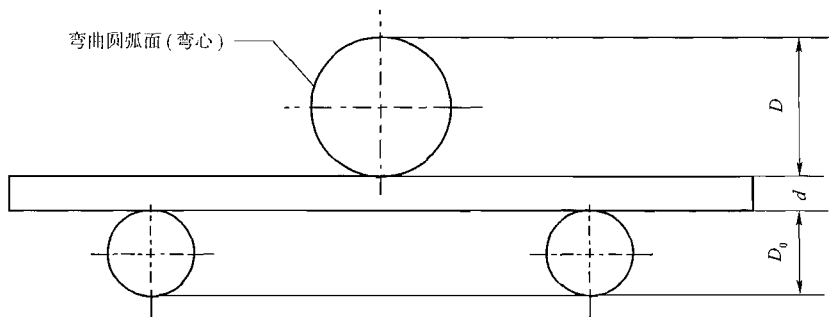


图 7-7 弯曲装置实例

#### (2)反向弯曲装置

图 7-8 所示为反向弯曲装置的一个实例,反向弯曲角度可以在角度指示器上被指示出来弯曲和反向弯曲角度如图 7-9 所示。

### (3) 时效热处理设备

时效热处理可使用加热炉或沸水来进行。在用加热炉进行加热时,应使用控温装置控制温度,而凭沸水加热时,可以不使用控温装置。

### (4) 角度测量装置

试验设备应有准确可靠的角度测量或控制装置。

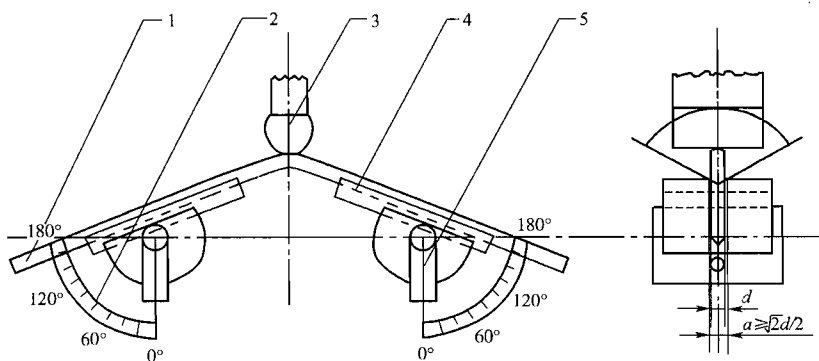


图 7-8 带有角度指示器的反向弯曲装置实例

1-试样;2-角度盘;3-弯心;4-翻板滑块;5-指针

## 4. 试样制备

(1) 按照 GB/T 2975 有关规定或供需双方协议切取试样,试样应为交货状态。

(2) 试样应保留原轧制表面,并应平直,试样长度以满足试验要求为准。

(3) 试样预定弯曲部位内不允许有任何机械或手工加工的伤痕。

## 5. 试验程序

### (1) 弯曲试验

① 试验应在  $10 \sim 35^{\circ}\text{C}$  的室温下进行。

② 试样应绕弯曲圆弧面(弯心)进行弯曲,弯曲角度  $\alpha$  和弯曲圆弧面(弯心)直径  $D$  应符合相关产品标准的要求。

③ 弯曲速度应不大于  $200\text{s}^{-1}$ ,可通过对角度指示器所指示的角度进行观察,以调速停机来准确控制弯曲角度,也可以通过可设定和显示角度的仪器仪表来自动控制弯曲角度。试验完成后应仔细观测试样,若无目视可见的裂纹,则评定为合格。

### (2) 反向弯曲试验

① 试样应绕弯曲圆弧面(弯心)进行弯曲,弯曲角度  $\alpha$  和弯曲圆弧面(弯心)直径  $D$  应符合相关产品标准的要求。试验应在  $10 \sim 35^{\circ}\text{C}$  的室温下进行。

② 弯曲后的试样应在  $100^{\circ}\text{C}$  的温度下进行时效热处理,保温时间至少为  $30\text{min}$ ,在空气中自由冷却至室温后,进行反向弯曲试验。根据相关产品标准或供需双方协议规定,弯曲后的试样也可不进行时效热处理而直接在室温下进行反向弯曲试验。

③ 反向弯曲速度应不大于  $200\text{s}^{-1}$ 。当反向弯曲到规定角度时,试验设备应能准确停机。

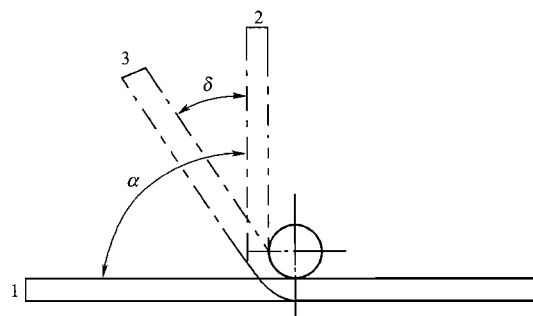


图 7-9 弯曲和反向弯曲角度示意图

1-起始位置;2-弯曲  $\alpha$  角位置;3-反向弯曲  $\delta$  角位置

试验完成后应仔细观察试样,若无目视可见的裂纹,则评定为合格。

## 四、钢绞线拉伸试验

### (一)使用仪器设备

材料试验机:满足或优于 1 级精度要求。

引伸计、千分尺、钢卷尺

### (二)检验步骤

#### 1. 拉伸试验

##### (1)最大负荷

整根钢绞线的最大负荷试验按 GB 228 的规定执行。如试样在夹头内和距钳口 2 倍钢绞线工称直径内断裂达不到标准规定的性能要求时,试验无效。

计算抗拉强度时取钢绞线的参考截面积值。

##### (2)伸长率

测定钢绞线伸长率时,1×7 结构钢绞线的标距不小于 500mm;1×2 和 1×3 结构钢绞线的标距不小于 400mm。

在测定总伸长为  $e_{1\%}$  时的负荷后,卸下引伸计,标明试验机上下工作台之间的距离  $L_1$ ,然后继续加荷直到钢绞线的一根或几根钢丝破坏,此时标明上、下工作台的最终距离  $L_2$ ,  $L_2 - L_1$  的值与  $L_1$  比值的百分数,加上引伸计测得的 1.0% 即为钢绞线的伸长率。

如果任何一根钢丝破坏之前,钢绞线的伸长率已达到所规定的要求,此时可以不继续测定最后伸长率的值。如因夹具原因产生剪切断裂,所得最大负荷及延伸未满足标准要求,试验是无效的。

##### (3)1% 伸长时强度

测定总伸长为  $e_{1\%}$  时的负荷强度。

##### (4)弹性模量的测定

试验时,通过试验机和引伸计记录钢绞线弹性范围内的轴向力和相应的轴向变形的一组数字数据对(一般不少于 8 对)。将该组数据对拟合一轴向应力—轴向应变曲线,在曲线的弹性范围内计算两规定应力或应变值之间所对应弦线的斜率,即为钢绞线的弹性模量。

计算公式如下:

$$E = \left( \frac{\Delta F}{S_0} \right) / \left( \frac{\Delta L_{el}}{L_{el}} \right) \quad (7-6)$$

式中: $\Delta F$ ——轴向应力;

$S_0$ ——钢绞线参考截面积;

$\Delta L_{el}$ ——轴向应变;

$L_{el}$ ——引伸计标距。

#### 2. 每米质量测量

钢绞线每米质量测量应采用如下方法:取 3 根长度不小于 1m 的钢绞线,每根钢绞线长度测量精确到 1mm。称量每根钢绞线的质量,精确到 1g,然后按下式计算钢绞线的每米质量。

$$M = \frac{m}{L} \quad (7-7)$$

式中： $M$ ——钢绞线每米质量，g/m；  
 $m$ ——钢绞线质量，g；  
 $L$ ——钢绞线长度，m。

实测单重取 3 个计算值的平均值。

3. 尺寸检验

钢绞线的直径应用分度值为 0.02mm 的量具测量。

五、金属应力松弛试验

(一) 试验原理

在规定的温度下，对试样施加试验力，保持初始应变、变形或位移恒定，测定应力随时间变化的关系。

(二) 适用范围

测定金属材料的室温和高温（ $\leq 1\,000^{\circ}\text{C}$ ）拉伸和弯曲应力松弛性能。

(三) 使用仪器设备要求

1. 试验机

(1) 拉伸应力松弛试验机应拉伸试验力，试验机力的示值误差不应超过  $\pm 1\%$ 。试验机力的同轴度应满足相关要求。

(2) 拉伸应力松弛试验机应具有连续自动调节试验力的装置，以便在试验期间保持试样的初始应变或变形或标距恒定。

(3) 试验机应安装在无外来冲击、振动和温度稳定的环境中。

2. 加热装置

加热装置应能将试样加热至规定温度，并能在试验期间保持温度恒定，温度偏差和温度梯度应符合表 7-33 要求。

温度偏差和温度梯度 表 7-33

温 度 范 围	温 度 偏 差	温 度 梯 度
<900	$\pm 3$	3
900 ~ 1 000	$\pm 4$	4

3. 温度测量仪器

温度测量仪误差不应超过  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，分辨率不应大于  $0.5^{\circ}\text{C}$ ，并应定期校验。

测温热电偶应符合 JJG 141 或 JJG 351 中 2 级热电偶要求，热电偶冷端温度应保持恒定，偏差不超过  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

4. 测量工具

测量试样横截面尺寸的量具最小分度值不应大于 0.01mm。

测量压痕间距的量具最小分度值不应大于 0.001mm。

(四) 试验步骤

1. 高温拉伸应力松弛试验

(1) 应在试样标距两端及中部各固定一支热电偶测量温度，在经证明满足表 7-31 中所规定的试验温度时，热电偶的数量可适当减少。热电偶测量端应与试样表面良好热接触，并应避

免加热炉壁的直接热辐射。

(2) 在升温期间应对试样施加预拉伸力, 预拉伸力不超过初始应力的 10%, 并且不大于 10MPa。

(3) 将试样加热至规定温度的时间一般为 1~8h, 在加热过程中不得超过规定的温度范围, 保温时间一般为 8~24h。加热及保温总时间应以温度达到充分稳定为准。

(4) 温度达到充分稳定后, 应迅速而无冲击地施加试验力, 施加全部初始试验力的时间不应超过 10min。在零时间应立即使试样的初始总应变或总变形保持恒定。为此, 应在施加试验力过程中不断调节总应变或总变形恒定控制系统, 以保证在零时间处于平衡状态。在试验期间试样应变波动应控制在  $\pm 2.5 \times 10^{-5} \text{mm/mm}$  以内。

(5) 在整个试验期间, 试样的温度应控制在表 7-33 规定范围内。

(6) 连续或定时记录试验力和温度, 并监测试样的初始总应变或总变形。采用定时记录时, 测量间隔应保证明确地绘出应力松弛曲线。如无其他规定, 建议按下列时间间隔进行记录: 5min、10min、30min、1h、2h、4h、8h、16h、24h, 以后每隔 24h 记录一次, 直至试验结束。

## 2. 高温弯曲应力松弛试验

(1) 根据规定的初始应力, 在公式  $\Delta_0 = \frac{\sigma_0}{AE_1}$  计算初始位移  $\Delta_0$ 。

(2) 在室温  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  下测量和记录试样压痕间距  $L$ , 然后打入楔块对试样施加位移, 直至压痕间距达到按  $L_0 = L + \Delta_0$  计算的  $L_0$  值。施加  $L_0$  的值应准确, 偏差不超过  $\pm 0.01 \text{mm}$ 。

(3) 将试样置于恒温装置内, 经一定时间间隔取出试样, 冷却至室温后, 除去楔块, 测量并记录两压痕间距  $L_1$ 。

(4) 重新打入楔块, 保持  $L_0$  值。重复试验程序, 得到不同时间间隔的  $L_2, L_3, L_4, \dots, L_i, \dots$ 。

(5) 测量压痕间距变化的时间间隔应保证能明确地绘出应力松弛曲线。

## (五) 计算、评定

(1) 用式  $\sigma_0 = AE_1(L_0 - L_1)$  计算环状弯曲应力松弛试样的剩余应力。

(2) 可以绘制剩余应力或松弛应力与时间或对数应力与时间的关系曲线; 也可以绘制对数应力与对数时间的关系曲线。

(3) 为了比较材料的相对松弛特性, 可以绘制松弛率与时间的关系曲线。

(4) 可以将应力松弛曲线的第二阶段曲线部分延长, 对试验数据进行外推。对于高温应力松弛试验, 外推时间一般不超过试验时间的 3 倍, 外推时, 对于材料在时间、温度及应力作用下的组织变化应予以充分考虑。

# 六、焊接接头试验

## (一) 拉伸试验

### 1. 适用范围

本方法适用于混凝土结构中的钢筋焊接接头的拉伸试验。

试验目的是测定焊接接头抗拉强度, 观察断裂位置和断口形貌, 判定塑性断裂或脆性断裂。

### 2. 试验设备

(1) 拉力试验机或万能试验机: 根据钢筋的级别和直径应选用适配的拉力试验机或万能

试验机,且应符合现行国家标准金属拉伸试验方法 GB 228 中的有关规定。

(2) 夹紧装置:选用适合的夹紧装置,应根据试样规格选用,在拉伸过程中不得与钢筋产生相对滑移。

(3) 吊架:预埋件 T 形接头拉伸试验用吊架。试样的钢筋应穿过垫板放入吊架的槽孔中心,钢筋下端应夹紧于试验机的下钳口内。

### 3. 试件的制备

#### (1) 拉伸试验试件的尺寸

各种钢筋焊接接头的拉伸试样的尺寸可按表 7-34 的规定取用。

钢筋焊接接头拉伸试样的尺寸(JGJ/T27—2001) 表 7-34

焊 接 方 法		试样尺寸(mm)		焊 接 方 法		试样尺寸(mm)	
		$l_s$	$L \geq$			$l_s$	$L \geq$
电阻点焊		—	$300 + l_s + 2l_j$	电 弧 焊	熔槽帮条焊	$8d + l_h$	$l_s + 2l_j$
闪光对焊		$8d$	$l_s + 2l_j$		坡口焊	$8d$	$l_s + 2l_j$
电 弧 焊	双面帮条焊	$8d + l_h$	$l_s + 2l_j$		$8d$	$8d$	$l_s + 2l_j$
	单面帮条焊	$5d + l_h$	$l_s + 2l_j$	电渣压力焊		$8d$	$l_s + 2l_j$
	双面搭接焊	$8d + l_h$	$l_s + 2l_j$	气压焊		$8d$	$l_s + 2l_j$
	单面搭接焊	$5d + l_h$	$l_s + 2l_j$	预埋件电弧焊和埋弧压力焊		—	200

注: $l_s$ :受试长度; $l_h$ :焊缝(或镦粗)长度; $l_j$ :夹持长度(100~200mm); $L$ :试样长度; $d$ :钢筋直径。

(2) 弯曲试验试样长度可以采用式(7-8)计算。

$$L = (D + 2.5d) + 150\text{mm} \quad (7-8)$$

式中: $L$ ——弯曲试验试样长度,mm;

$D$ ——弯心直径,mm;

$d$ ——钢筋直径,mm。

### 4. 试验方法

(1) 试验前,应采用游标卡尺复核钢筋的直径和钢板厚度。

(2) 将试件夹紧于试验机上,加荷应连续而平稳,不得有冲击或跳动。加荷速度为 10~30 MPa/s,直至试件拉断(或出现颈缩后)为止。

(3) 试验过程中应记录下列各项数据:

- ① 钢筋级别和公称直径;
- ② 试件拉断(或颈缩)前的最大荷载  $P_b$  值;
- ③ 断裂(或颈缩)位置,以及离开焊缝的距离;
- ④ 断裂特征(塑性断裂或脆性断裂),或有无颈缩现象。

如在试件断口上发现气孔、夹渣、未焊透、烧伤等焊接缺陷,应在试验报告中注明。

### 5. 试验结果计算

(1) 试件的抗拉强度按公式(7-9)计算:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (7-9)$$

式中: $\sigma_b$ ——试件抗拉强度,MPa,试验结果数值应修约到 5MPa;

$P_b$ ——试件拉断前的最大力, N;

$F_0$ ——试件公称横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

(2) 试验中, 若由于操作不当 (如试件夹偏), 或试验设备发生故障而影响试验数据准确时, 试验结果无效。

## (二) 弯曲试验

### 1. 适用范围

本方法适用于钢筋闪光对焊接头的常温弯曲试验。

试验目的是检验钢筋焊接接头的弯曲变形性能和可能存在的焊接缺陷。

### 2. 试件要求

(1) 钢筋焊接接头弯曲试件的长度取决于钢筋的级别和直径, 一般为两支辊的内侧距离另加 1.50mm, 两支辊的内侧距离为弯心直径加 2.5 倍钢筋直径, 见图 7-10。

(2) 试件受压面的金属毛刺和镦粗变形部位可用砂轮等工具加工, 使之达到与母材外表齐平, 其余部位可保持焊后状态 (即焊态)。

### 3. 试验设备

弯曲试验宜在万能试验机上进行, 亦可在手动液压弯曲试验器上进行。

### 4. 试验方法

(1) 进行弯曲试验时, 试件应放在两支点上, 并使焊缝中心线与压头中心线相一致, 试验过程中, 应平稳地对试件施加压力, 直到达到规定的弯曲角度为止。

(2) 钢筋闪光对焊接头的规定压头弯心直径和弯曲角度见表 7-35, 为了减少压头规格, 实际使用时, 其弯心直径可对照表 7-35 选用。

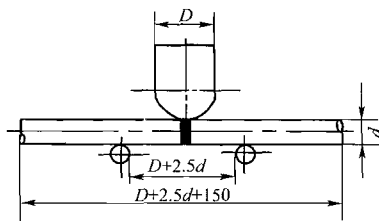


图 7-10 弯曲试验示意图

压头弯心直径和弯曲角度

表 7-35

项 次	钢 筋 级 别	弯心直径 (D)		弯曲角 (°)
		$d \leq 25 (\text{mm})$	$d > 25 (\text{mm})$	
1	I	2d	3d	90
2	II	4d	5d	90
3	III	5d	6d	90
4	IV	7d	6d	90

(3) 在试验过程中, 应采取安全措施, 防止试件突然断裂伤人。

(4) 钢筋电渣压力焊接头和钢筋坡口电弧焊接头如需进行弯曲试验时, 其试验方法和试验要求可对照钢筋闪光对焊接头的弯曲试验。

### (5) 试验报告

① 弯曲试验后, 应检查试件受拉面有无裂纹, 并填写于试验报告中。

② 试验过程中试件若发生断裂时, 应记录断裂时的弯曲角度、断口位置和断口形貌。

## 第八章 钢结构连接

钢结构的基本构件是由钢板、型钢等连接而成。根据不同情况,钢结构可采用不同的连接方式,通常有:(1)焊接:是钢结构中使用最广泛的连接方法。(2)铆接:在 20 世纪中叶以前是使用最广泛的连接方法,但由于施工不方便现已被焊接和其他连接方法所代替。(3)普通螺栓连接:具有施工方便的优点,但在传递剪力时会有较大滑移,不利于结构受力。(4)高强度摩擦型和高强度承压型螺栓连接:具有较好的工作性能,但对被连构件在连接处的接触面的加工有较高要求,是目前使用较为广泛的连接方式。(5)熔嘴电渣焊:常用于高层建筑钢结构箱型柱内横隔板的焊接。(6)电阻电焊:可用于厚度较薄板件的连接。(7)自攻螺钉和射钉:用于较薄钢板之间的连接。(8)焊钉:用于钢—混凝土组合构件中型钢和混凝土间的连接。

### 第一节 定义及主要技术标准

#### 一、定义

##### 1. 高强度螺栓连接副

高强度螺栓和与之配套的螺母、垫圈的总称。

##### 2. 抗滑移系数

高强度螺栓连接中,使连接件摩擦面产生滑动时的外力与垂直于摩擦面的高强度螺栓预拉力之和的比值。

#### 二、主要技术标准

- (1) 钢结构工程施工质量验收规范(GB 50205—2001)
- (2) 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级(GB 11345—1989)
- (3) 焊接球节点钢网架焊缝超声波探伤及质量分级法(JG/T 3034.1—1996)
- (4) 螺栓球节点钢网架焊缝超声波探伤及质量分级法(JG/T 3034.2—1996)
- (5) 钢管环缝熔化焊对接接头射线透照工艺和质量分级(GB 12605—1990)
- (6) 金属熔化焊焊接接头射线照相(GB 3323—2005)
- (7) 建筑钢结构焊接技术规程(JGJ 81—2002)
- (8) 钢结构高强度螺栓连接的设计、施工及验收规程(JGJ 82—1991)
- (9) 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件(GB/T 1231—2006)
- (10) 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副(GB/T 3632—2008)
- (11) 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱(GB/T 3098.1—2000)
- (12) 紧固件机械性能 螺母 粗牙螺纹(GB/T 3098.2—2000)
- (13) 紧固件机械性能 螺栓与螺钉的扭矩试验和破坏扭矩公称直径 1 ~ 10mm(GB/T 3098.13—1996)



- (14) 网架结构工程质量检验评定标准(JGJ 78—1991)
- (15) 钢网架焊接球节点(JG 11—1999)
- (16) 钢网架螺栓球节点(JG 10—1999)
- (17) 钢网架螺栓球节点用高强度螺栓(GB/T 16939—1997)
- (18) 无损检测 焊缝磁粉检测及验收等级(TB/T 6061—2007)
- (19) 无损检测 焊缝渗透检测及验收等级(TB/T 6062—2007)
- (20) 水运工程质量检验标准(JTS 257—2008)
- (21) 港口设备安装工程技术规范(JTJ 280—2002)

## 第二节 主要技术指标

### 一、钢结构焊接

#### (一) 超声波探伤

(1) 设计要求全焊透的一、二级焊缝应采用超声波探伤进行内部缺陷的检验,超声波探伤不能对缺陷作出判断时,应采用射线探伤,其内部缺陷分级及探伤方法应符合现行国家标准《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》(GB 11345)或《金属熔化焊焊接接头射线照相》(GB 3323)的规定。

(2) 焊接球节点网架焊缝、螺栓球节点网架焊缝及圆管 T、K、Y 形节点贯线焊缝,其内部缺陷分级及探伤方法应分别符合国家现行标准《焊接球节点钢网架焊缝超声波探伤及质量分级法》(JG/T 3034.1)、《螺栓球节点钢网架焊缝超声波探伤及质量分级法》(JG/T 3034.2)、《建筑钢结构焊接技术规程》(JGJ 81)的规定。

(3) 一、二级焊缝的质量等级及缺陷分级规定见表 8-1。

一、二级焊缝质量等级及缺陷分级

表 8-1

焊缝质量等级		一 级	二 级
内部缺陷 超声波探伤	评定等级	Ⅱ	Ⅲ
	检验等级	B 级	B 级
	探伤比例	100%	20%
内部缺陷 射线探伤	评定等级	Ⅱ	Ⅲ
	检验等级	AB 级	AB 级
	探伤比例	100%	20%
注:探伤比例的技术方法应按以下原则确定:(1)对工厂制作焊缝,应按每条焊缝计算百分比,且探伤长度应不小于 200mm,当焊缝长度不足 200mm 时,应对整条焊缝进行探伤;(2)对现场安装焊缝,应按同一类型、同一施焊条件的焊缝条数计算百分比,探伤长度应不小于 200mm,并应不少于 1 条焊缝。			

(4) 焊缝表面不得有裂纹、焊瘤等缺陷。一级、二级焊缝不得有表面气孔、夹渣、弧坑裂纹、电弧擦伤等缺陷。且一级焊缝不得有咬边、未焊满、根部收缩等缺陷。

#### (二) 磁粉探伤

磁粉探伤验收等级见表 8-2。

显示的验收等级 单位:mm 表 8-2

显示类型	验收等级		
	1	2	3
线状显示 $l$ = 显示长度	$l \leq 1.5$	$l \leq 3$	$l \leq 6$
非线状显示 $d$ = 主轴长度	$d \leq 2$	$d \leq 3$	$d \leq 4$
注:验收等级 2 和 3 可规定用一个后缀“X”,表示所检测出的所有线状显示应按 1 级进行评定。但对于小于原验收等级所表示的显示,其检出率可能偏低。			

(三) 渗透探伤

渗透控伤验收等级见表 8-3。

显示的验收等级 单位:mm 表 8-3

显示类型	验收等级		
	1	2	3
线状显示 $l$ = 显示长度	$l \leq 2$	$l \leq 4$	$l \leq 8$
非线状显示 $d$ = 主轴长度	$d \leq 4$	$d \leq 6$	$d \leq 8$
注:验收等级 2 和 3 可规定用一个后缀“X”,表示所检测出的所有线状显示应按 1 级进行评定。但对于小于原验收等级所表示的显示,其检出率可能偏低。			

二、紧固件连接

1. 螺栓实物最小载荷试验

当螺栓试验拉力达到表 8-4 规定的最小抗拉强度  $\sigma_{\min}$  时未断裂,且超过最小抗拉强度断裂发生在杆部或螺纹部分,为发生在螺头与杆部的交接处时,试件为合格,否则不合格。

螺栓最小抗拉强度  $\sigma_{\min}$  表 8-4

性能等级	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		9.8	10.9	12.9
							$d \leq 16\text{mm}$	$d > 16\text{mm}$			
$\sigma_{\min}$	330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220

2. 扭剪型高强度螺栓连接副预拉力复验

扭剪型高强度螺栓连接副的预拉力平均值和标准差应符合表 8-5 的规定。

扭剪型高强度螺栓紧固预拉力(kN) 表 8-5

螺栓直径	16	20	(22)	24
每批紧固预拉力的平均值 $\bar{P}$	99 ~ 120	154 ~ 186	191 ~ 231	222 ~ 270
标准偏差 $\delta_p$	10.1	15.7	19.5	22.7

3. 高强度大六角头螺栓连接副扭矩系数的复验

进行连接副扭矩系数试验时,螺栓预拉力值应符合表 8-6 的规定。

螺栓预拉力值范围

单位:kN

表 8-6

螺栓规格(mm)		M16	M20	M22	M24	M27	M30
预拉力值 $P$	10.9s	93 ~ 133	142 ~ 177	175 ~ 215	206 ~ 250	265 ~ 324	325 ~ 390
	8.8s	62 ~ 78	100 ~ 120	125 ~ 150	140 ~ 170	185 ~ 225	230 ~ 275

每组 8 套连接副扭矩系数的平均值应为 0.110 ~ 0.150, 标准偏差小于或等于 0.010。

#### 4. 高强度螺栓连接抗滑移系数试验

当每批三组试件抗滑移系数的最小值符合设计要求时, 为合格; 否则为不合格。

### 第三节 检测项目及取样原则

《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)附录 C 对水运工程主要材料试验和现场检验抽样组批原则及检验项目作出规定。

#### 一、必检项目

(1) 高强度螺栓: 大六角头高强螺栓连接副扭矩系数, 扭剪型高强螺栓连接副预拉力, 连接摩擦面抗滑移系数。

(2) 普通螺栓: 最小拉力荷载试验。

(3) 钢结构焊缝: 一、二级焊缝无损检测。

#### 二、取样原则

(一)《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)的规定

(1) 大六角头高强螺栓连接副扭矩系数和扭剪型高强螺栓连接副预拉力试验: 以进入施工现场待用的同一厂家、同一规格为一批, 每批随机抽取 8 套。

(2) 连接摩擦面抗滑移系数: 以钢结构件的同一工厂制造批, 每 2000t 为一批, 不足 2000t 也按一批计, 一般每批三组试件。

(3) 焊缝检测: 一级焊缝检验比例 100%; 二级焊缝检验比例 20%。工厂制作时, 按焊缝条数百分比计, 且每条检测长度不少于 200mm; 现场安装时, 同一类型、同一施焊条件的焊缝条数百分比计, 且每条检测长度不少于 200mm; 当焊缝长度不足 200mm, 对整条焊缝进行检测。

(4) 螺栓实物最小载荷检测: 按设计要求或每一规格螺栓随机抽取 8 个。

(二)《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)的规定

##### 1. 焊缝检测数量

(1) 对工厂制作焊缝, 应按每条焊缝计算百分比, 且探伤长度应不小于 200mm, 当焊缝长度不足 200mm 时, 应对整条焊缝进行探伤;

(2) 对现场安装焊缝, 应按同一类型、同一施焊条件的焊缝条数计算百分比, 探伤长度应不小于 200mm, 并应不少于 1 条焊缝。

##### 2. 高强度螺栓连接副预拉力或扭矩系数的复验

扭剪型高强度螺栓按施工现场待安装的螺栓批中随机抽取, 每批取 8 套进行复验。高强

度大六角头螺栓,按施工现场待安装的螺栓批中随机抽取,每批抽取 8 套进行复验。

### 3. 高强度螺栓连接抗滑移系数试验

按制造厂和安装单位,分别以钢结构制造批为单位进行抗滑移系数试验。制造批可按单位工程的工程量每 2000t 为一批,选用两种及两种以上表面处理工艺时,每种表面处理工艺单独检验,每批三组试件。

### 4. 螺栓实物最小载荷检测

每一规格螺栓随机抽取 8 个。

## 第四节 检 验 方 法

### 一、钢材焊缝无损探伤

#### 1. 超声波探伤

超声波脉冲(通常为 1.5MHz)从探头射入被检测物体,如果其内部有缺陷,缺陷与材料之间便存在界面,则一部分入射的超声波在缺陷处被反射或折射,则原来单方向传播的超声能量有一部分被反射,通过此界面的能量就相应减少。这时,在反射方向可以接到此缺陷处的反射波;在传播方向接收到的超声能量会小于正常值,这两种情况的出现都能证明缺陷的存在。在探伤中,利用探头接收脉冲信号的性能也可检查出缺陷的位置及大小。前者称为反射法,后者称为穿透法。

#### 2. 射线探伤

射线探伤是利用射线可穿透物质和在物质中有衰减的特性来发现缺陷的一种探伤方法。按探伤所用的射线不同,射线探伤可以分为  $\alpha$  射线、 $\gamma$  射线和高能射线探伤三种。由于显示缺陷的方法不同,每种射线探伤又有电离法、荧光观察照相法和工业电视法几种。运用最广的是  $\alpha$  射线照相法。

#### 3. 磁粉检测法

磁粉检测用于检测铁磁性材料和构件(包括铁、镍、钴等)表面上或近表面的裂纹以及其他缺陷。磁粉检测对表面缺陷最灵敏,对表面以下的缺陷随埋藏深度的增加检测灵敏度迅速下降。采用磁粉检测方法检测磁性材料的表面缺陷,比采用超声波或射线检测的灵敏度高,而且操作简单、结果可靠、价格便宜,因此被广泛用于磁性材料表面和近表面缺陷的检测。基本原理如下:当材料或构件被磁化后,若在构件表面或近表面存在裂纹、冷隔等缺陷,便会在该处形成一漏磁场,此漏磁场将吸引、聚集检测过程中施加的磁粉,而形成缺陷显示。因此,磁粉检测首先是对被检构件加外磁场进行磁化,外加磁场的获得一般有两种方法:一种是由可以产生大电流(几百安培至上万安培)的磁力探伤机直接给被检构件通大电流而产生磁场;另一种是把被检构件放在螺旋管线圈产生的磁场中,或是放在电磁铁产生的磁场中使构件磁化。构件被磁化后,在构件表面上均匀喷洒微颗粒的磁粉(磁粉平均粒度为  $5 \sim 10\mu\text{m}$ ),一般用四氧化三铁或三氧化二铁作为磁粉。

如果被检构件没有缺陷,则磁粉在构件表面均匀分布。当构件上有缺陷时,由于缺陷(如裂纹、气孔、非金属夹杂物等)内含空气或非金属,其磁导率远远小于构件的磁导率;由于磁阻的变化,位于构件表面或近表面的缺陷处产生漏磁场,形成一个小磁极。磁粉将被小磁极所吸引,缺陷处由于堆积比较多的磁粉而被显示出来,形成肉眼可以看到的缺陷图像。为了使磁粉图像便于观察,可以采用与被检构件表面有较大反衬颜色的磁粉。常用的磁粉有黑色、红色和白色。为了提高检测

灵敏度,还可以采用荧光磁粉,在紫外线照射下使之更容易观察到构件中缺陷的存在。

#### 4. 渗透检测法

液体渗透检测是一种检查构件或材料表面缺陷的一种方法,它不受材料磁性的限制,比磁粉探伤的应用范围更加广泛。

液体渗透检测的基本原理是:利用黄绿色的荧光渗透液或红色的着色渗透液对窄狭缝隙良好的渗透性,经过渗透清洗、显示处理以后显示放大的探伤显示痕迹,用目视法来观察,对缺陷的性质和尺寸做出适当的评价。

## 二、高强螺栓及组合件力学性能试验

### (一) 螺栓实物最小载荷试验

#### 1. 试验方法

(1) 用游标卡尺测量螺纹中径的尺寸  $d_2$ 、螺纹小径的尺寸  $d_1$ 、螺距  $P$ 。

(2) 将螺栓旋于专用夹具上,其末旋和的螺纹长度应为 6 倍以上螺距,并置于拉力试验机上。为避免螺栓承受横向荷载,试验机的夹具应能自动调整中心。

(3) 试验时,控制好试验机进油量,使夹头张拉的移动速度不超过 25mm/min。均匀加力,直至螺栓断裂,并记录断裂时拉力荷载  $F$  和断裂位置。

(4) 当试验中发生螺栓从专用夹具中滑脱时,应更换螺栓。

#### 2. 数据处理

(1) 螺纹的应力横截面积  $A_s$  应按公式计算。

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad (8-1)$$

式中:  $d_2$ ——螺纹中径的基本尺寸,mm;

$d_3$ ——螺纹小径的基本尺寸( $d_1$ )减去螺纹原始三角形高度( $H$ )的 1/6 值;

$H$ ——螺纹原始三角形高度( $H = 0.866025P$ );

$P$ ——螺距,mm。

(2) 抗拉强度  $\sigma_b$  应按公式计算。

$$\sigma_b = \frac{F}{A_s} \quad (8-2)$$

式中:  $F$ ——断裂时拉力载荷。

### (二) 扭剪型高强螺栓连接副预拉力复验方法

(1) 复验用的螺栓应在施工现场待安装的螺栓批中随机抽取,每批应抽取 5 套连接副进行复验。

(2) 连接副预拉力可采用各类轴力计进行测试。

(3) 试验用的电测轴力计、油压轴力计、电阻应变仪、扭矩扳手等计量器具,应在试验前进行标定,其误差不得超过 2%。

(4) 采用轴力计方法复验连接副预拉力时,应将螺栓直接插入轴力计。紧固螺栓分初拧、终拧两次进行,初拧应采用手动扭矩扳手或专用定扭电动扳手;初拧值应为预拉力标准值的 50% 左右。终拧应采用专用电动扳手,至尾部梅花头拧掉时,读出预拉力值。

(5) 每套连接副只应做一次试验,不得重复使用。在紧固中垫圈发生转动时,应更换连接

副,重新试验。

(6)复验螺栓连接副的预拉力平均值应符合规定;其变异系数应符合下列计算并应小于或等于10%。

$$\delta = \frac{\delta_p}{\bar{P}} \times 100\% \quad (8-3)$$

式中: $\delta$ ——紧固预拉力的变异系数;

$\delta_p$ ——紧固预拉力的标准差;

$\bar{P}$ ——该批螺栓预拉力平均值,kN。

### (三)高强度大六角头螺栓连接副扭矩系数的复验方法

(1)复验用螺栓应在施工现场待安装的螺栓批中随机抽取,每批应抽取8套连接副进行复验。

(2)连接副扭矩系数复验用的计量器具应在试验前进行标定,误差不得超过2%。

(3)每套连接副只应做一次试验,不得重复使用。

(4)连接副扭矩系数的复验应将螺栓穿入轴力计,在测出螺栓预拉力 $P$ 的同时,应测定施加于螺母上的施拧扭矩值 $T$ ,并按下式计算扭矩系数 $K$ 。

$$K = \frac{T}{Pd} \quad (8-4)$$

式中: $T$ ——施拧扭矩, $N \cdot m$ ;

$d$ ——高强度螺栓的螺纹规格(螺纹大径),mm;

$P$ ——螺栓预拉力,kN。

### (四)高强度螺栓连接抗滑移系数试验方法

#### 1. 基本要求

(1)制造厂和安装单位应分别以钢结构制造批为单位进行抗滑移系数试验。制造批可按单位工程划分规定的工程量每2000t为一批,不足2000t的可视为一批。选用两种及两种以上表面处理工艺时,每种处理工艺应单独检验。每批三组试件。

(2)抗滑移系数试验应采用双摩擦面的二栓或三栓拼接的拉力试件(图8-1)。

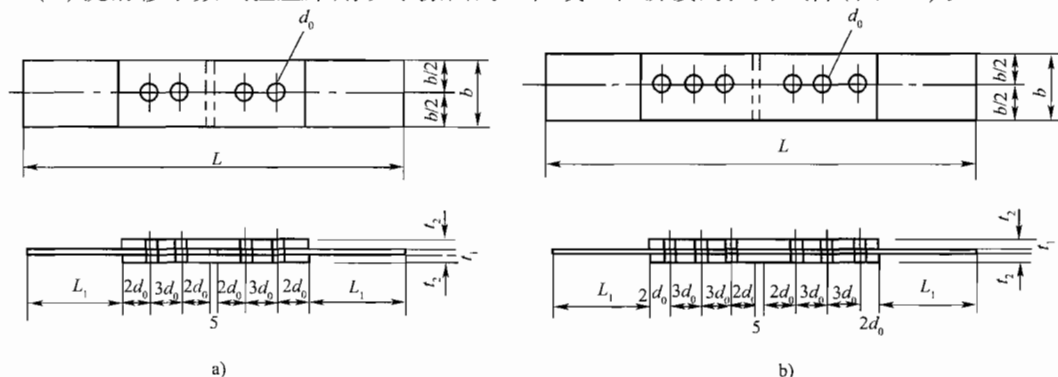


图8-1 抗滑移系数试件的型式和尺寸

a) 两栓抗滑移系数试件;b) 三栓拼接试件

(3)抗滑移系数试验用的试件应由金属结构厂或有关制造厂加工,试件与所代表的钢结构

件应为同一材质、同批制作、采用同一摩擦面处理工艺和具有相同的表面状态,并应用同批同一性能等级的高强度螺栓连接副,在同一环境条件下存放。

(4) 试件钢板的厚度  $t_1$ 、 $t_2$  应根据钢结构工程中有代表性的板材厚度来确定, 宽度  $b$  规定如表 8-7 所示。

试件板的宽度

表 8-7

螺栓直径 $d$	16	20	22	24	27	30
板宽 $b$	100	100	105	110	120	120

(5) 试件板面应平整, 无油污, 孔和板的边缘无飞边、毛刺。

## 2. 试验方法

(1) 试验用的试验机误差应在 1% 以内。

(2) 试验用的贴有电阻片的高强度螺栓、压力传感器和电阻应变仪应在试验前用试验机进行标定, 其误差应在 2% 以内。

(3) 试件的组装顺序应符合下列规定:

先将冲钉打入试件孔定位, 然后逐个换成装有压力传感器或贴有电阻片的高强度螺栓, 或换成同批经预拉力复验的扭剪型高强度螺栓:

紧固高强度螺栓应分初拧、终拧。初拧应达到螺栓预拉力标准值的 50% 左右。终拧后, 螺栓预拉力应符合下列规定:

① 对装有压力传感器或贴有电阻片的高强度螺栓, 采用电阻应变仪实测控制试件每个螺栓的预拉力值应在  $0.95P \sim 1.05P$  ( $P$  为高强度螺栓设计预拉力值) 之间;

② 不进行实测时, 扭剪型高强度螺栓的预拉力 (紧固轴力) 可按同批复验预拉力的平均值取用。试件应在其侧面划出观察滑移的直线。

(4) 将组装好的试件置于拉力试验机上, 试件的轴线应与试验机夹具中心严格对中。

(5) 加荷时, 应先加 10% 的抗滑移设计荷载值, 停 1min 后, 再平稳加荷, 加荷速度为  $3 \sim 5 \text{ kN/s}$ 。直拉至滑动破坏, 测得滑移荷载  $N_v$ 。

(6) 在试验中当发生以下情况之一时, 所对应的荷载可定为试件的滑移荷载:

- ① 试验机发生回针现象;
- ② 试件侧面划线发生错动;
- ③  $X-Y$  记录仪上变形曲线发生突变;
- ④ 试件突然发生“嘣”的响声。

## 3. 数据处理

抗滑移系数应根据试验所测得的滑移荷载  $N_v$  和螺栓预拉力  $P$  的实测值, 按下式计算, 宜取小数点二位有效数字。

$$\mu = \frac{N_v}{n_f \cdot \sum_{i=1}^m P_i} \quad (8-5)$$

式中:  $N_v$ ——有试验测得的滑移荷载, kN;

$n_f$ ——摩擦面面数, 取  $n_f = 2$ ;

$\sum_{i=1}^m P_i$ ——试件滑移一侧高强度螺栓预拉力实测值 (或同批螺栓连接副的预拉力平均值) 之和 (取三位有效数字), kN;

$m$ ——试件一侧螺栓数量, 取  $m = 2$ 。

## 第九章 预应力锚具、夹具和连接器的质量检验

预应力混凝土结构在土木工程中得到十分广泛应用。给预应力混凝土结构或构件施加预应力的过程中,无论是先张法对预应力钢筋的临时固定,还是后张法对预应力钢筋的永久锚固,都需要锚具、夹具或连接器。为保证预应力混凝土结构的安全可靠,必须保证预应力筋用锚具、夹具和连接器具有可靠的锚固性能、足够的承载能力和良好的适应性、安全性。

### 第一节 定义及主要技术标准

#### 一、常用术语定义

##### 1. 预应力

在结构和构件承受其他作用前,预先施加的作用力所产生的应力。

##### 2. 后张预应力

在浇筑混凝土的构件,待达到规定强度后,再施加的预应力。

##### 3. 锚具

在后张法结构或构件中,为保持预应力筋的拉力并将其传递到混凝土上所用的永久性锚固装置。锚具可分为以下两类。

(1) 张拉端锚具:安装在预应力筋端部且可用以张拉的锚具。

(2) 固定端锚具:安装在预应力筋端部,通常埋入混凝土中且不用以张拉的锚具。

##### 4. 夹具

在先张法构件施工时,为保持预应力筋的拉力并将其固定在生产台座(或设备)上的临时性锚固装置;在后张法结构或构件施工是,在张拉千斤顶或设备上夹持预应力筋的临时性锚固装置(又称工具锚)。

##### 5. 连接器

用于连接预应力筋的装置。

##### 6. 预应力筋

在预应力结构中用于建立预应力的单根或成束的预应力钢丝、钢绞线或钢筋。有粘结预应力筋是和混凝土直接粘结的或是在张拉后通过灌浆使之与混凝土粘结的预应力筋;无粘结预应力筋是用塑料、油脂等涂包的预应力筋,可以布置在混凝土结构体内或体外,且不能与混凝土粘结,这种预应力筋的拉力永远只能通过锚具和变向装置传递给混凝土。

##### 7. 预应力—锚具组装件

单根或成束预应力筋和安装在端部的锚具组合装配而成的受力单元。

##### 8. 预应力—锚具组装件的实测极限拉力

预应力—锚具组装件在静载试验过程中达到的最大拉力。



### 9. 预应力筋的效率系数

受预应力钢材根数、试验装置及初应力调整等因素的影响,考虑预应力筋拉应力不均匀的系数。

### 10. 内缩

预应力筋在锚固过程中,由于锚具等各零件之间、锚具与预应力筋之间的相对位移和局部塑形变形所产生的预应力筋的回缩现象。

### 11. 金属硬度

硬度是评定金属材料力学性能最常用的指标之一。硬度的实质是材料抵抗另一较硬材料压入的能力。

## 二、产品分类、代号与标记

### 1. 锚具、夹具和连接器分类

锚具、夹具和连接器按锚固方式不同,可分为夹片式(单孔和多孔夹片锚具)、支承式(墩头锚具、螺母锚具)、锥塞式(钢质锥形锚具等)和握裹式(挤压锚具、压花锚具等)四种基本类型。

### 2. 锚具、夹具和连接器代号

锚具、夹具或连接器的总代号可以用汉语拼音字母 M、J、L 表示。各类锚固方式的分类代号如表 9-1 所示。

锚具、夹具和连接器代号

表 9-1

分类代号		锚 具	夹 具	连接器
夹片式	圆形	YJM	JJ	YJL
	扁形	BJM		
支承式	墩头	DTM	DTM	DTL
	螺母	LMM	LMJ	LML
锥塞式	钢质	GZM	—	—
	冷铸	LZM	—	—
	热铸	RZM	—	—
握裹式	挤压	JYM	JYJ	JYL
	压花	YHM	—	—

注:连接器的代号以续接段端部锚固方式命名。

### 3. 锚具、夹具或连接器的标记

锚具、夹具或连接器的标记由代号、预应力钢材直径、预应力钢材根数三部分组成(生产企业的体系代号只在需要时加注)。例:锚固 9 根直径 15.2mm 预应力混凝土用钢绞线的圆形夹片式群锚锚具,标记为“YJM15-9”。

## 三、主要技术标准

- (1) 预应力筋用锚具、夹具和连接器(GB/T 14370—2007)
- (2) 预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程(JGJ 85—2002)

- (3) 金属材料洛氏硬度试验 第一部分: 试验方法 (GB/T 230.1—2009)
- (4) 金属材料布氏硬度试验 第一部分: 试验方法 (GB/T 231.1—2009)
- (5) 水运工程质量检验标准 (JTS 257—2008)
- (6) 水运工程混凝土施工规范 (JTJ 268—1996)

## 第二节 主要技术指标

《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)规定,预应力筋的锚具、夹具和连接器的质量应满足设计要求,并应符合国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370)的有关规定。

### 一、锚具

(1) 锚具的静载锚固性能:应用预应力筋—锚具组装件静载试验测定的锚具效率系数  $\eta_a$  和达到实测极限拉力时组装件受力长度的总应变  $\varepsilon_{apu}$  确定。锚具效率系数  $\eta_a$  按下式计算:

$$\eta_a = \frac{F_{apu}}{\eta_p \cdot F_{pm}} \quad (9-1)$$

式中:  $\eta_a$ ——锚具效率系数;

$F_{apu}$ ——预应力筋—锚具组装件的实测极限拉力;

$F_{pm}$ ——按预应力钢材试件实测破断荷载平均值计算的预应力筋的实际平均极限抗拉力;

$\eta_p$ ——预应力筋—锚具组装件中预应力钢材为 1 ~ 5 根时,  $\eta_p = 1$ ; 6 ~ 12 根时,  $\eta_p = 0.99$ ; 13 ~ 19 根时  $\eta_p = 0.98$ ; 20 根以上时,  $\eta_p = 0.97$ 。

锚具的静载锚固性能应同时满足下列两项要求:

$$\eta_a \geq 0.95; \varepsilon_{apu} \geq 2.0\%$$

(2) 在预应力筋—锚具组装件达到实测极限拉力时,应当是由于预应力钢材的断裂(逐根或多根同时断裂),锚具零件的变形不应过大或碎裂,且应按照相关规定确认锚固的可靠性。

(3) 预应力筋—锚具组装件,除必须满足静载锚固性能外,尚应满足循环次数为 200 万次的疲劳性能试验。即试件经受 200 万次循环荷载后,锚具零件不应疲劳破坏。预应力筋在锚具夹持区域发生疲劳破坏的截面面积不应大于试件总截面面积的 5%。

(4) 在有抗振要求结构中使用的锚具,预应力筋—锚具组装件还应满足循环次数为 50 次的周期荷载试验。即试件经 50 次循环荷载后预应力筋在锚具夹持区域不应发生破断。

(5) 新研制的锚具应进行辅助性试验(锚具内缩量测定、锚固端摩擦损失)。进行型式试验的产品,可选择部分或全部项目试验。并根据试验所测定的平均内缩量和锚固端预应力摩擦损失与设计规范的对比结果,对施工张拉力进行适当修正。

(6) 锚具应满足分级张拉及补张拉预应力筋的要求,并应具有放松预应力筋的性能。

(7) 锚具或其附件上宜设置灌浆孔或排气孔。灌浆孔应有保证浆液畅通的截面面积;排气孔应设在锚具垫板空腔的上部。

### 二、夹具

(1) 夹具的静载锚固性能,应由预应力筋—夹具组装件静载锚固试验时测定的夹具效率

系数  $\eta_g$  确定:

$$\eta_g = \frac{F_{\text{gpu}}}{F_{\text{pm}}} \quad (9-2)$$

式中:  $F_{\text{gpu}}$ ——预应力筋—夹具组装件的实测极限拉力。

夹具的静载锚固性能应符合  $\eta_g \geq 0.92$ 。

(2)在预应力筋—夹具组装件达到实测极限拉力时,应当是由于预应力筋的断裂,而不应当是由于夹具的破坏所导致。夹具的全部零件均应有重复使用的品质。夹具应有良好的自锚性能、松锚性能和重复使用性能。在使用过程中,应能保证操作人员的安全。

### 三、连接器

在先张法或后张法施工中,在张拉预应力后永久留在混凝土结构或构件中的连接器,都应符合锚具的性能要求;若在张拉后还需放张和拆卸的连接器,则必须符合夹具的性能要求。

## 第三节 检测项目、组批原则及判定规则

### 一、检测项目

(1)根据《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)中的规定,进场的预应力筋用锚具、夹具和连接器,应检查出厂合格证,预应力筋用锚具、夹具和连接器复验的内容应根据设计要求、使用条件和相关技术标准等综合确定。当设计无明确要求时,复验内容应包括外观质量、尺寸偏差、硬度和静载锚固性能试验。

必检项目:硬度和静载锚固能力。其他试验项目:外观、疲劳荷载、周期荷载试。

(2)《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)中规定:

先张法预应力筋的夹具、连接器、螺杆,在进场时应按技术验收标准进行逐项验收。

后张法采用的锚具、夹具、连接器,应验收外观、硬度、静载锚固性能。

### 二、组批原则及判定规则

(一)《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T 14370—2007)的规定

#### 1. 出厂检验

同一种产品、同一种原材料,用同一种工艺一次投料生产的产品为一组批。每个抽检组批不得超过 2000 件(套)。外观检验抽取 5% ~ 10%。对有硬度要求的零件应做硬度检验。按热处理每炉装炉量的 3% ~ 5% 抽样。静载试验用的锚具、夹具或连接器按成套产品抽样。应在外观及硬度检验合格后的产品中抽取,每生产组批抽取 3 个组装件的用量。

#### 2. 型式检验

锚具及永久留在混凝土结构或构件中的连接器的型式检验,除按上述要求规定抽样外,尚应为疲劳试验、周期荷载试验及辅助性试验抽取各 3 个组装件用的样品。

(二)《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》(JGJ 85—2002)的规定

1)锚具进场验收时,应按下列三项规定进行检验,检验合格后方可在工程中应用:

(1)外观检查:从每批中抽取 10% 的锚具且不应少于 10 套,检查其外观和尺寸。并按产品技术条件确定是否合格。

所抽全部样品均不得有裂纹出现,当有一套表面有裂纹时,则本批应逐套检查,合格者方可进入后续检验组批。

(2)硬度检验:对硬度有严格要求的锚具零件,应进行硬度检验。应从每批中抽取 5% 的样品且不应少于 5 套,按产品设计规定的表面位置和硬度范围做硬度检验。有一个零件不合格时,应另取双倍数量的零件重做检验,仍有一件不合格时,则应对本批产品逐个检验,合格者方可进入后续检验组批。

(3)静载锚固性能试验:在通过外观检查和硬度检验的锚具中抽取 6 套样品,与符合试验要求的预应力筋组装成 3 个预应力筋——锚具组装件,并应由国家或省级质量技术监督部门授权的专业检测机构进行静载锚固性能试验。试验结果应单独评定,每个组装件都必须符合锚具效率系数等于或大于 0.95 和预应力筋总应变等于或大于 2.0% 两项要求。在一个组装件不符合要求时,则应取双倍数量的锚具重做试验;仍有一个试件不符合要求时,则该批锚具视为不合格品。

2)夹具进场验收时,应进行外、硬度检验和静载锚固性能试验。检验方法与锚具相同,静载结果应满足夹具效率系数等于或大于 0.92 的要求。

3)后张法连接器的进场验收与锚具相同,先张法连接器的进场验收规定应与夹具相同。

4)划分进场验收批时,只有在同种材料和同一生产工艺条件下生产的产品,才可列为同一批量。锚固多根预应力钢材的锚具或夹具应不超过 1000 套为一个验收批,锚固单根预应力钢材的锚具或夹具,每个验收批可扩大为 2000 套。连接器的每个验收不宜超过 500 套。

### (三)水运工程规定

#### 1.《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)的规定

预应力筋用锚具、夹具和连接器以同一类产品、同一厂家、同一批原材料、同一生产工艺每 1000 套为一批,不足 1000 套也按一批计;连接器每 500 套为一批,不足 500 套也按一批计;非定型产品每批不超过 200 套。

#### 2.《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—1996)的规定

后张法采用锚具、夹具和连接器,按以下规定验收:

(1)外观检查:从每批中抽取 10%,但不少于 10 套的锚具,检查其外观尺寸。当有一套表面有裂纹或超过产品标准及设计图纸规定尺寸的允许偏差时,应另取双倍数量的锚具重做检查,如仍有一套不符合要求,则应逐套检查,合格者方可使用。

(2)硬度检查:应从每批中抽取 5%,但不少于 5 件,对其中有硬度要求的零件做硬度试验,对多孔夹片式锚具的夹片,每套至少抽 5 片。每个零件测试三点,其硬度应在设计要求范围内,当有一个零件不合格时,应另取双倍数量的零件重做试验,如仍有一个零件不合格,则应逐个检查,合格者方可使用。

(3)静载锚固性能试验:经上述两项试验合格后,应从同批中取 6 套锚具(夹具或连接器)组成 3 个预应力筋锚具(夹具、连接器)组装件,进行静载锚固性能试验,当有一个试件不符合要求时,应另取双倍数量的锚具(夹具或连接器)重做试验,如仍有一套不合格则该批锚具(夹具或连接器)为不合格品。

## 第四节 检验方法

### 一、外观尺寸检验

(1) 产品外观采用目测法检验,裂缝可用有刻度或无刻度放大镜检验。

(2) 产品尺寸按机械制造常规方法采用直尺、游标卡尺、螺旋千分尺和塞环规等量具检验。

### 二、硬度试验

硬度检测是评价金属力学性能最迅速、最经济、最简单的一种试验方法。硬度检测的主要目的就是测定材料的适用性,或材料为使用目的所进行的特殊硬化或软化处理的效果。对于被检测材料而言,硬度是代表着在一定压头和试验力作用下所反映出的弹性、塑性、强度、韧性及磨损抗力等多种物理量的综合性能。金属硬度检测主要有两类试验方法。一类是静态试验方法,这类方法试验力的施加是缓慢而无冲击的。硬度的测定主要决定于压痕的深度、压痕投影面积或压痕凹印面积的大小。静态试验方法包括布氏、洛氏、维氏、努氏、韦氏、巴氏等。其中布、洛、维三种试验方法是最常用的,它们是金属硬度检测的主要试验方法。另一类试验方法是动态试验法,这类方法试验力的施加是动态的和冲击性的,包括肖氏和里氏硬度试验法。动态试验法主要用于大型的、不可移动工件的硬度检测。

#### (一) 洛氏硬度

##### 1. 目的及适应范围

目的是检测预应力筋用锚具、夹具和连接器的洛氏硬度,为锚具、夹具和连接器验收提供依据。适用于预应力混凝土结构中使用的锚具、夹具和连接器洛氏硬度的检验。

##### 2. 原理

对压头(金刚石圆锥、硬质合金球)分施加初试验力和主试验力两个步骤将压头压入试样表面,经规定保持时间后,卸除主试验力,测量在初试验力下的残余压痕深度 $h$ 。根据 $h$ 值及常数 $N$ 和 $S$ ,按下式计算洛氏硬度:

$$\text{洛氏硬度} = N - \frac{h}{S} \quad (9-3)$$

式中: $h$ ——初试验力下的残余压痕深度;

$S$ ——给定标尺的单位。

##### 3. 试验设备

###### (1) 硬度计

硬度计应能按照相关要求施加预定的试验力,并符合 GB/T 230.2 的要求。

###### (2) 压头

金刚石圆锥压头锥角为 $120^\circ$ ,顶部曲率半径为 $0.2\text{mm}$ ,并符合 GB/T 230.2 的要求。硬质合金球压头的直径为 $1.5875\text{mm}$ 或 $3.175\text{mm}$ ,并符合 GB/T 230.2 的要求。

###### (3) 测量系统

测量系统应符合 GB/T 230.2 的要求。

#### 4. 试验温度

试验一般在 10 ~ 35℃ 室温下进行。洛氏硬度试验应选择在较小的温度变化范围内进行,因为温度的变化可能会对试验结果有影响。

#### 5. 试样要求

(1) 除非产品或材料标准另有规定,试样表面应平坦光滑,并且不应有氧化皮及外来污物,尤其不应有油脂,试样的表面应能保证压痕深度的精确测量。试样表面粗糙度  $Ra$  不大于  $1.6\mu\text{m}$ 。

(2) 试样的制备应使受热或冷加工等因素对试样表面硬度的影响减至最小。

(3) 试验后试样背面不应出现可见变形(HR30Tm 除外)。

#### 6. 试验程序

(1) 试样应平稳地放在刚性支承物上,并使压头轴线与试样表面垂直,避免试样产生位移。如果使用固定装置,应与 GB/T 230.2 的规定一致。

在大量试验前或距上次试验超过 24h,以及移动和更换压头或载物台以后,应确定硬度计的压头和载物台安装正确。另外,对于圆柱形试样,应对其进行适当支承,例如放置在洛氏硬度值不低于 60HRC 的带有 V 型槽的试台上。尤其应注意使压头、试样、V 型槽与硬度计支座中心对中。

(2) 使压头与试样表面接触,无冲击和振动地施加初试验力  $F_0$ ,初试验力保持时间不应超过 3s。

(3) 无冲击和无振动或无摆动地将测量装置调整至基准位置,从初试验力  $F_0$  施加至总试验力  $F$  的时间应不小于 1s 且不大于 8s。

(4) 总试验力  $F$  保持时间为  $4 \pm 2\text{s}$ 。然后卸除主试验力  $F_1$ ,保持初试验力  $F_0$ ,经短时间稳定后,进行读数。

(5) 试验过程中,硬度计应避免受到冲击或振动。

(6) 两相邻压痕中心之间的距离至少应为压痕直径的 4 倍,并且不应小于 2mm。

(7) 任一压痕中心距试样边缘的距离至少应为压痕直径的 2.5 倍,并且不应小于 1mm。

### (二) 布氏硬度

#### 1. 目的及适应范围

目的是检测预应力筋用锚具、夹具和连接器的布氏硬度,为锚具、夹具和连接器验收提供依据。适用于预应力混凝土结构中使用的锚具、夹具和连接器布氏硬度的检验。

#### 2. 原理

对一定直径的硬质合金球施加试验力压入试样表面,经规定保持时间后,卸除试验力,测量试样表面压痕的直径。

布氏硬度与试验力除以压痕表面积的商成正比。压痕被看作是具有一定半径的球形,压痕的表面积通过压痕的平均直径和压头直径计算得到。

#### 3. 试验设备

##### (1) 硬度计

硬度计应符合 GB/T 231.2 的规定,能施加预定试验力或 9.807 ~ 29.42kN 范围内的试验力。

##### (2) 压头

硬质合金压头应符合 GB/T 231.2 的要求。

### (3) 压痕测量装置

压痕测量装置应符合 GB/T 231.2 的规定。

### 4. 试验温度

试验一般在 10 ~ 35℃ 室温下进行。对于温度要求严格的试验,温度为  $23 \pm 5^\circ\text{C}$ 。

### 5. 试样要求

(1) 试样表面应平坦光滑,并且不应有氧化皮及外来污物,尤其不应有油脂,试样的表面应能保证压痕深度的精确测量。试样表面粗糙度  $Ra$  不大于  $1.6\mu\text{m}$ 。

(2) 试样的制备应使受热或冷加工等因素对试样表面硬度的影响减至最小。

(3) 试样厚度至少应为压痕深度的 8 倍。试验后试样背面不应出现可见变形。

### 6. 试验程序

(1) 试验力的选择应保证压痕直径在  $0.24D \sim 0.6D$  之间。

试验力 - 压头球直径平方的比率应根据材料和硬度值选择。

为了保证在尽可能大的有代表性的试样区域试验,应尽可能地选取大直径压头。当试样尺寸允许时,应优先选用直径 10mm 的球压头进行试验。

(2) 试样应稳固地放置于试台上。试样背面和试台之间应清洁和无外界污物(如氧化皮、油、灰尘等),将试样牢固地放置在试台上,保证在试验过程中不发生位移。

(3) 使压头与试样表面接触,无冲击和振动地垂直于试验面施加试验力,直至达到规定试验力值。从加力开始至全部试验力施加完毕的时间应在 2 ~ 8s 之间,试验力保持时间为 10 ~ 15s。对于要求试验力保持时间较长的材料,试验力保持时间允许误差应在 2s 以内。

(4) 在整个试验期间,硬度计不应受到影响试验结果的冲击和振动。

(5) 任一压痕中心距试样边缘距离至少应为压痕平均直径的 2.5 倍;两相邻压痕中心间距离至少应为压痕平均直径的 3 倍。

(6) 应在两相互垂直方向测量压痕直径。用两个读数的平均值计算布氏硬度。

## 三、静载锚固性能检验

### 1. 目的及适应范围

目的是检测预应力筋用锚具、夹具和连接器组装件的质量,适用于预应力混凝土结构中使用的锚具、夹具和连接器组装件的检验。

### 2. 一般规定

(1) 试验用的预应力筋—锚具、夹具或连接器组装件由产品零件和预应力筋组装而成。试验用的零件应是经过外观检查和硬度检验合格的产品。组装时应将锚固零件上的油污擦拭干净(允许残留微量油膜),不得在锚固零件上添加影响锚固性能的介质。组装件中组成预应力筋的各根钢材应等长平行、初应力均匀,其受力长度不应小于 3m。

单根钢绞线的组装件试件及钢绞线母材力学性能试验用的试件,不包括夹持部位的受力长度不应小于 0.8m;其他单根预应力钢材的组装件及母材试件最小长度可按照试验设备及相关标准确定。

(2) 试验用预应力钢材应有良好的匀质性,可由锚具生产厂或检验单位提供,同时还应提供该批钢材的质量合格证明书。所选用的预应力钢材,其直径公差应在受检锚具、夹具或连接器设计的匹配范围之内。试验用预应力钢材应根据抽样标准,在有代表性的部位取至少 6 根

进行母材力学性能试验,试验结果应符合国家现行标准的规定,并且其实测抗拉强度平均值在相关钢材标准中的等级应与受检锚具、夹具或连接器的设计等级相同,超过该等级时不应采用。已受损伤的预应力筋才不应用于组装件试验。

(3) 试验用的测力系统,其不确定度不应大于 2%;测量总应变的量具,其标距的不确定度不应大于标距的 0.2%,指标应变的不确定度不应大于 0.1%。

(4) 对于预应力筋在锚具夹持部位不弯折的组装件(全部锚筋孔均与锚板底面垂直),各根预应力钢材平行受拉,侧面不应设置有碍受拉或产生摩擦的接触点;如预应力筋在锚具夹持部位有转向角度(锚筋孔与锚板底面有倾斜或倾斜安装挤压头的连接器等)时,应在设计转角处加装转向约束钢环。试件受拉力时,该约束环不应与预应力筋之间产生滑动摩擦。

### 3. 试验方法

(1) 预应力筋—锚具或夹具组装件应按图 9-1 的装置进行静载试验;预应力筋—连接器组装件应按图 9-2 的装置进行静载试验;被连接段预应力筋安装预紧时,可在试验连接器下临时加垫对开垫片,加荷后适时撤除。锚具、夹具或连接器在试验装置上的支承条件(方式、部位、面积等),应与工程实际情况一致。

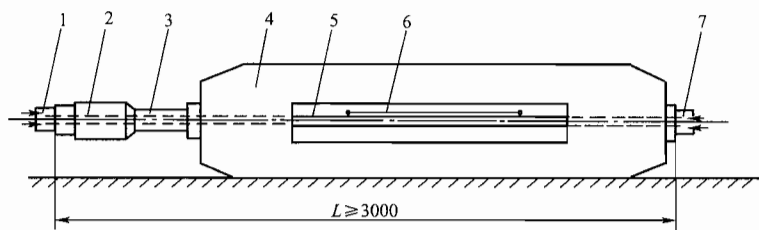


图 9-1 预应力筋—锚具(夹具)组装件静载试验装置示意图

1-试验锚具;2-加荷载用千斤顶;3-荷载传感器;4-承力台座;5-预应力筋;6-测量总应变的装置;7-试验锚具

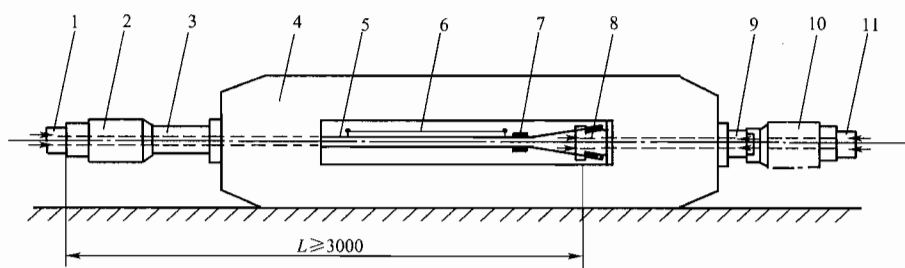


图 9-2 预应力筋—连接器组装件静载试验装置示意图

1-试验锚具;2-1号加荷载用千斤顶;3-荷载传感器;4-承力台座;5-预应力筋;6-测量总应变的装置;7-转向钢环;8-连接器;9-试验锚具;10-2号千斤顶(预紧锚固后卸去);11-工具锚

(2) 各种测量仪表应在加载之前安装调试正确,各根预应力钢材的初应力调试均匀,初应力可取钢材抗拉强度标准值  $f_{pk}$  的 5% ~ 10%。测量总应变  $\varepsilon_{apu}$  的量具标距不宜小于 1m。如采用测量加荷千斤顶活塞伸长量( $\Delta L$ )计算  $\varepsilon_{apu}$  时,应减去承力台座的弹性压缩、缝隙并紧量和试验锚具(夹具或连接器)的实测内缩量。而预应力筋的计算长度应为两端锚具(夹具或连接器)的起夹点之间的距离。

(3) 施加试验荷载步骤为:按预应力钢材抗拉强度标准值  $f_{pk}$  的 20%、40%、60%、80%,分 4 级等速加载,加载速度宜为 100MPa/min 左右;达到 80% 后,持荷 1h;随后用低于 100MPa/min 加载速度缓慢加载至完全破坏,使荷载达到最大值( $F_{apu}$ )。



(4)用试验机或承力台座进行单根预应力筋—锚具组装件静载试验时,加荷速度可以加快,但不超过  $200\text{MPa}/\text{min}$ ;在应力达到  $0.8f_{\text{pk}}$  时,持荷时间可以缩短,但不应少于  $10\text{min}$ 。应力超过  $0.8f_{\text{pk}}$  后,加荷速度不应超过  $100\text{MPa}/\text{min}$ 。

(5)在试验过程中测量以下项目:

①选取有代表性的若干根预应力钢材,按施加荷载的前 4 级,逐级测量其与锚具、夹具或连接器之间的相对位移  $\Delta a$ 。应与预应力筋的受力增量成正比;如不成比例,应检查预应力钢材是否失锚滑动;

②选取锚具(夹具、连接器)若干有代表性的零件,按施加荷载的前 4 级,逐级测量其间的相对位移  $\Delta b$ 。 $\Delta b$  应与预应力筋的受力增量成正比例变化;如不成比例,应检查相关零件(锚环、锚板等)是否发生了塑性变形;

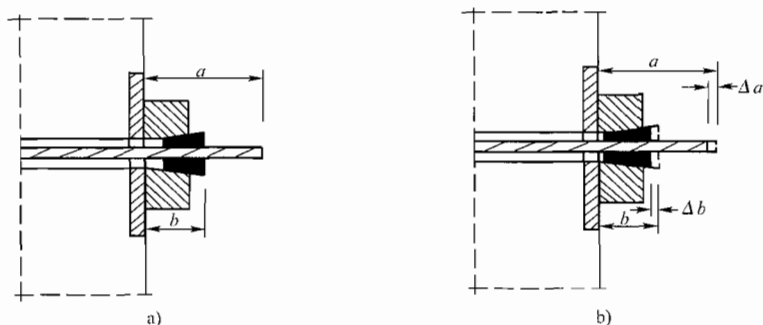


图 9-3 试验期间预应力筋及锚具零件的位移示意图

a) 锚固之前及预应力筋顶紧之后; b) 加荷之中及锚固之后

③在预应力筋达到  $0.8f_{\text{pk}}$  时,在持荷 1h 期间,  $\Delta a$ 、 $\Delta b$  应保持稳定。如继续增加、不能稳定,表明已失去可靠锚固能力;

④试件达到最大拉力是,应记录极限拉力  $F_{\text{apua}}$  和预应力筋自由长度的总应变  $\varepsilon_{\text{apu}}$ ;

⑤夹片式锚具的夹片在预应力筋应力达到  $0.8f_{\text{pk}}$  时不允许出现裂纹和破断;

⑥预应力筋在未达到规定要求之前发生破断时,如是预应力钢材存在对焊接口或损伤因而被拉断的情况,此试件应报废,另补试件重做试验。握裹式锚具的静载试验,在满足要求之后失去握裹力时,属正常情况。

⑦静载试验应连续进行三个组装件的试验,全部试验结果均应进行记录,按照式(9-1)、(9-2)计算效率系数  $\eta_a$  或  $\eta_g$  和总应变  $\varepsilon_{\text{apu}}$ 。

## 四、其他试验

### 1. 疲劳试验

(1)疲劳试验在专用疲劳试验机上进行。当疲劳试验机能力不够时,要以试验结果有代表性为原则,可以在实际锚板上少安装预应力钢材,或用该系列中较小规格的锚具组装成试验用组装件,但预应力钢材根数不得少于实际根数的  $1/10$ 。为了保证试验结果有代表性,直线形及有转折(如果锚具有斜孔时)的预应力钢材都应包括在试验用组装件中。

(2)以约  $100\text{MPa}/\text{min}$  的速度加载至试验应力下限值,再调节应力幅度达到规定值后,开始记录循环次数。

(3)选择疲劳试验机的脉冲频率不应超过  $500$  次/ $\text{min}$ 。

## 2. 周期荷载试验

以约  $100 \sim 200 \text{ MPa/min}$  的速度加荷至试验应力上限值,再卸荷至试验应力下限值为第一周期,然后荷载自下限值经上限值再回复到下限值为第 2 个周期,重复 50 个周期。

## 3. 辅助性试验

### (1) 锚具的内缩量试验

试验的张拉力为预应力筋的  $0.8f_{\text{ptk}}$ ,内缩量可根据锚固前后预应力筋拉力差值计算;也可用测量锚固处预应力筋相对位移等方法直接测出。试验用的试件不得少于 3 个,取平均值。

### (2) 锚具摩阻损失试验

张拉预应力筋时,锚具零件和预应力筋之间可能出现摩擦或强迫预应力筋弯折,从而产生因锚具摩阻引发的应力损失。试验的张拉力为预应力筋的  $0.8f_{\text{ptk}}$ ,测出锚具前后预应力差值。试验用的试件不得少于 3 个,取平均值。

### (3) 张拉锚固工艺试验

用预应力张拉设备对锚具或对用于后张法的连接器做张拉及锚固预应力筋的工艺试验,最高张拉力为预应力筋的  $0.8f_{\text{ptk}}$ ,等分 4 级逐级张拉,每张拉 1 级锚固 1 次。张拉完毕后,用专门设备及特别方法放松应力。通过张拉锚固工艺试验观察:①分级张拉或因张拉设备倒换行程需要临时锚固的可能性;②经过多次张拉锚固后,预应力筋内各根预应力钢材受力的均匀性;③张拉发生故障时,将预应力筋全部放松的可能性。

# 第十章 土工合成材料及塑料排水板的质量检验

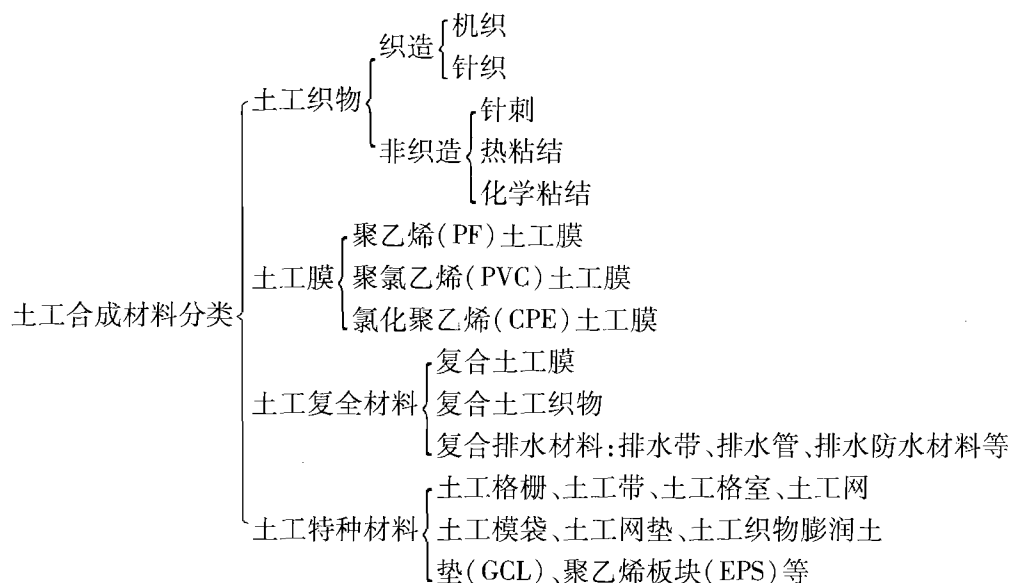
## 第一节 概 述

### 一、土工合成材料和塑料排水板的定义和分类

#### 1. 土工合成材料

土工合成材料是岩土工程和土木工程所应用的高分子聚合物材料的总称,它以人工合成的聚合物,如塑料、化纤、合成橡胶等为原料,制成各种类型的产品,置于土体内部、表面或各层土体之间,发挥加强或保护土体的作用。土工合成材料和塑料排水板目前已广泛应用于水利、水电、公路、建筑、海港、采矿、军工等工程领域。

在 JTJ 239—2005《水运工程土工合成材料应用技术规范》中对于土工合成材料的定义是:土木工程中应用的土工织物、土工膜、土工复合材料和特种土工合成材料等高分子聚合物材料的总称。具体分类如下所示:



#### 2. 塑料排水板

塑料排水板是由可以滤水的土工织物(简称滤布)及形成骨架和排水通道的芯板组成,也称土工聚合物排水板、塑料板。在 JTS 206-1—2009《水运工程塑料排水板应用技术规程》中对塑料排水板的定义是:由芯板和滤膜组成,在地基加固中起排水作用的土工合成材料。

塑料排水板具有使用方便、劳动强度低、打设速度快、加固效果好的特点,在水运工程中应用前景十分广阔,一般分为 A 型、B 型、C 型和 D 型四种型号。常用塑料排水板型号及性能指标如表 10-1 所示。

表 10-1

项目 \ 型号	A 型	B 型	C 型	D 型	条 件
打设深度(m)	≤15	≤25	≤35	≤50	
纵向通水量( $\text{cm}^3/\text{s}$ )	≥15	≥25	≥40	≥55	侧压力 350kPa
滤膜渗透系数( $\text{cm/s}$ )	≥ $5 \times 10^{-4}$				试件在水中浸泡 24h
滤膜等效孔径(mm)	<0.075				以 $O_{95}$ 计
塑料排水板抗拉强度( $\text{kN}/10\text{cm}$ )	≥1.0	≥1.3	≥1.5	≥1.8	延伸率 10% 时
滤膜抗拉强度 ( $\text{N}/\text{cm}$ )	干态	≥15	≥25	≥30	延伸率 10% 时
	湿态	≥10	≥20	≥25	延伸率 15% 时, 试件 在水中浸泡 24h

## 二、土工合成材料和塑料排水板在水运工程中的应用

### (一) 土工合成材料在水运工程中的应用

土工合成材料具有 6 个基本功能:过滤作用、排水作用、隔离作用、加筋作用、防渗作用、保护作用。

水运工程使用的土工织物可选用聚酯、聚酰胺、聚丙烯、聚乙烯和聚乙烯醇等高分子聚合物纤维制造。

水运工程中严禁使用掺有天然纤维的土工织物;使用的土工带,宜选用掺入防老化材料的聚丙烯土工带或复合加筋土工带。

1. 在水运工程中应用土工合材料应注意到以下的基本要求:

1) 水运工程土工合成材料应根据工程要求、环境特点、施工条件等选用。选用时应考虑土工合成材料的物理性能、力学性能、水力学性能、耐久性和产品形态等指标,并应符合下列规定:

(1) 织造土工织物宜应用于加筋垫层、模袋混凝土护坡、充填袋筑堤和软体排护底、护滩工程。

(2) 非织造土工织物宜应用于土工织物滤层。

(3) 土工模袋宜应用于护坡工程。

(4) 土工带宜应用于加筋土岸壁工程。

(5) 土工网宜与土工织物结合应用于加筋垫层和土工织物滤层。

(6) 土工格栅宜应用于加筋垫层和加筋土岸壁工程。

(7) 土工复合材料宜应用于土工织物滤层、软土地基加固和堤坝防渗工程。

2) 土工合成材料应用宜采取掩埋覆盖等防护措施。在暴露使用条件下,应选用具有防老化性能的土工合成材料。

3) 长期受力的土工合成材料应考虑其强度随时间的衰减。

4) 土工合成材料结构设计的荷载可按水运工程现行有关标准规定的标准值取值。

5) 土工合成材料进场应提交出厂合格证明和试验检验报告,并按设计要求和合同规定,对产品质量进行检验。

6) 土工合成材料的主要物理性能、力学性能、水力学性能和耐久性等指标的测试方法应符合国家现行有关标准的规定。

7) 土工合成材料进场后应存放在通风遮光处, 严禁暴露日晒。

## 2. 水运工程中不同工程部位对土工合成材料的特殊要求

水运工程中应用土工合成材料, 除符合国家现行产品标准的要求外, 还应根据土工合成材料应用的部位来设计和选取土工合成材料的性能参数。

### 1) 滤层

(1) 土工织物滤层宜采用非织造土工织物或机织土工织物。当采用非织造土工织物时, 其单位面积质量宜为  $300 \sim 500 \text{g/m}^2$ , 抗拉强度不宜小于  $6 \text{kN/m}$ 。设在构件安装缝处的滤层, 宜选用抗拉强度较高的机织土工织物。

(2) 土工织物的等效孔径  $O_{95}$  应小于土的特征粒径  $d_{85}$ ;  $O_{95} < 0.21 \text{mm}$

(3) 土工织物在静荷载和双向渗流条件下的保土性能

当  $d_{40} < 0.06 \text{mm}$  时, 应满足

$$O_{95} < 1.3d_{90};$$

当  $d_{40} \geq 0.06 \text{mm}$  时, 应满足

$$O_{95} < 2d_{10} \sqrt{C_u}, O_{95} < 1.3d_{50} \text{ 或 } O_{95} < 0.67 \text{mm}$$

式中:  $d_{10}$ ——土的特征粒径, mm, 小于该粒径的土颗粒重量分别占总重量的 10% ;

$O_{95}$ ——土工织物的等效孔径, mm, 土工织物中小于该孔径的孔占 95% ;

$C_u$ ——土颗粒不均匀系数,  $C_u = d_{60}/d_{10}$ 。

(4) 土工织物的透水性能应满足

$$O_{90} = d_{15} \text{ 或 } k_g \geq \lambda_p k_s$$

式中:  $O_{90}$ ——土工织物的等效孔径, mm, 土工织物中小于该孔径的孔占 90% ;

$d_{15}$ ——土的特征粒径, mm, 小于该粒径的土颗粒重量占总重量的 15% ;

$k_g$ ——土工织物的渗透系数, m/s ;

$\lambda_p$ ——系数, 粘土取 10 ~ 100, 砂性土取 1 ~ 10 ;

$k_s$ ——土的渗透系数, m/s。

(5) 土工织物的防淤堵性能应符合下列规定:

当土体级配良好、流态稳定且不易发生淤堵时, 土工织物的等效孔径应满足

$$O_{95} \geq 3d_{15}$$

式中:  $O_{95}$ ——土工织物的等效孔径, mm, 土工织物中小于该孔径的孔占 95% ;

$d_{15}$ ——土的特征粒径, mm, 小于该粒径的土颗粒重量占总重量的 15% 。

### 2) 加筋垫层

加筋垫层应选用抗拉强度高、延伸率低的土工合成材料。

### 3) 加筋土岸壁

加筋土岸壁应采用强度高、延伸率低和耐久性好的加筋材料, 加筋材料宜采用土工格栅或土工带。

### 4) 充填袋筑堤

(1) 充填袋应根据工程要求和施工条件选用透水性和保土性好的织造土工织物或复合土工织物;

(2) 充填袋土工织物的水力学、物理力学性能指标按滤层的有关规定确定。

#### 5) 软体排护底

(1) 软体排的土工合成材料应根据护底要求选用不同品质的土工织物或复合土工织物和加筋带,

(2) 软体排土工织物力学性能指标应根据排体结构受力情况计算确定,水力学性能指标按滤层的有关规定确定。

### (二) 塑料排水板

塑料排水板在水运工程中主要用于软土地基加固工程。

塑料排水板别名塑料排水带,有波浪型、口琴型等多种形状。中间是挤出成型的塑料芯板,是排水带的骨架和通道,其断面呈并联十字,两面以非织造土工织物包裹作滤层,芯带起支撑作用并将滤层渗进来的水向上排出,是淤泥、淤质土、冲填土等饱和粘性土及杂填土运用排水固结法进行软基处理的良好垂直通道,大大缩短软土固结时间。

塑料排水板用插板机插入软土地基,在上部预压荷载作用下,软土地基中空隙水由塑料排水板排到上部铺设的砂层或水平塑料排水管中,由其他地方排出,加速软基固结。在软土地基处理中,塑料排水板的作用设计,施工设备基本与袋砂井相同。对于深厚的软土地基采用排水固结法进行加固时,从技术上和经济上考虑,采用排水板几乎是唯一经济、有效、可行的方法。

塑料排水板加固软土地基的优点:

- (1) 滤水性好,排水畅通,排水效果有保证。
- (2) 材料有良好的强度和延展性,能适合地基变形能力而不影响排水性能。
- (3) 排水板断面尺寸小,施打排水板过程中对地基扰动小。
- (4) 可在超软弱地基上进行插板施工。
- (5) 施工快、工期短,每台插板机每日可插板 15 000m 以上,造价比袋砂井低。

## 第二节 土工合成材料和塑料排水板检验项目及组批原则

### 一、检验内容及结果判定

土工合成材料的性能测试包括测定材料的物理力学特性和提供可靠的材料与土的相互作用特性。物理力学特性可评定材料的质量和适用性;相互作用特性可为工程设计提供指标。目前我国水运工程中以国家行业标准 JTJ 239—2005《水运工程土工合成材料应用技术规范》为依据,对土工合成材料进行检测。

#### 1. 检验内容

在工程应用中对土工织物及相关产品的性能指标要求应包括下列内容:

##### (1) 内在质量的检测

包括各类物理性能指标、力学指标、水力学指标、土工织物相互作用及耐久、抗老化指标等的检测。

物理性能指标有单位面积(或单位长度)质量、厚度、有效孔径(或开孔尺寸)等;力学性能指标:抗拉强度、延伸率、撕裂强度、顶破强度、与岩土间的摩擦系数等;水力学性能指标:渗透系数等;土工织物相互作用和耐久、老化指标有:摩擦系数、抗紫外线性能、抗酸碱性能、抗氧化

性能等。

## (2) 外观质量的检测

包括形态指标(如材质、幅度、每卷的长度等)和外观疵点的检测

## 2. 相关规范对土工合成材料的检验要求

### 1) JTJ 239—2005《水运工程土工合成材料应用技术规范》的规定

(1) 土工合成材料进场应提交出厂合格证明和试验检验报告,并应按设计要求和合同规定,对产品质量进行检验。

(2) 土工合成材料的主要物理性能、力学性能、水力学性能和耐久性等指标的测试方法应符合国家现行有关标准的规定。

### 2) JTJ/T 257—96《塑料排水板质量检验标准》的规定

(1) 塑料排水板的外观质量检验:每卷排水板的滤膜接头不应多于1个;

(2) 塑料排水板的性能指标检验包括:纵向通水量、滤膜渗透系数、整带复合体抗拉强度及延伸率、滤膜抗拉强度与延伸率、滤膜等效孔径、纵向弯曲通水量、复合体顶破强度、滤膜抗撕裂强度、板芯抗折强度、板芯抗撕裂强度等。前五项是排水板的主要控制指标,其他可供理论研究用。

### 3) JTS 206-1—2009《水运工程塑料排水板应用技术规程》的规定

(1) 塑料排水板的性能指标应满足设计要求。

(2) 塑料排水板的芯板材料宜选用原生料。

(3) 塑料排水板应有质量证明文件,外包装应牢固、完好,并具有防紫外线辐射的能力。

(4) 塑料排水板在使用前应按规定进行抽样检测,主要检测项目应包括纵向通水量、塑料排水板抗拉强度、滤膜抗拉强度、滤膜渗透系数和滤膜等效孔径。塑料排水板检测试验方法应符合本规范附录B的规定。

(5) 同批次生产、用于同一工程的塑料排水板,每20万延米抽样检测不应少于1次,不足20万延米时应抽样检测1次;不同批次的塑料排水板应分批次检测。

(6) 塑料排水板应码放整齐,并应采取措施避免雨淋、水浸泡和暴晒。

(7) 塑料排水板存放超过6个月,使用前应重新抽样检测。

### 4) JTS 257—2008《水运工程质量检验标准》的规定

(1) 对土工合成材料,必检项目有:单位面积质量、厚度、拉伸强度、撕裂强度、等效孔径、透水性能(即渗透系数);

(2) 对塑料排水板,必检项目有:纵向通水量、滤膜渗透系数、整带复合体抗拉强度、滤膜抗拉强度。

(3) 塑料排水板的规格、质量、排水性能应满足设计要求,并应符合国家现行有关标准的规定。检验数量:施工单位按进场批次复验,监理单位见证取样。检验方法:检查出厂质量证明文件和抽样检验报告。

## 3. 结果判定

由于土工合成材料种类繁多,各种材料检测指标的判定应根据设计指标要求或其产品标准的要求来进行。当内在质量指标中出现不合格指标时,应根据产品标准来决定是否重新双倍取样进行不合格项的复检或是一次性判定该批产品内在质量不合格。

(1) 重新取样对不合格项进行检测

内在质量的检验有某项指标不合格时,应重新双倍取样对该不合格项进行复验,若仍有一个样品不合格时,判定该批产品内在质量不合格;采用这种判定方式的土工合成材料有:短纤针刺非织造土工布、土工格栅、土工膜、有纺土工布、塑料排水板等。

#### (2) 一次性判定该批产品内在质量不合格

内在质量的检验有某项指标不合格时,则一次性判定该批产品内在质量不合格。采用这种判定方式的土工合成材料有长丝机织土工布。

## 二、取样、制样方法和抽检频率

### 1. 取样方法

#### 1) 土工布

根据 GB/T 13760—92《土工布的取样和试样制备》来进行取样和试样制备:

##### (1) 取样和保存

① 取样所选卷装应无破损、卷装呈原封不动状;

② 全部试验的试样应在同一样品中截取,卷装的头两层不应取做样品,取样时应尽量避免污渍、不规则块、折痕、孔洞或其他损伤部分,否则要加放足够数量;

③ 卷装长度要进行标记;

④ 当土工布的两面有显著差异时,在样品上加标注标记,标明卷装的里面或外面;

⑤ 如果暂不切割试样,应将样品保存在干净、干燥、阴凉避光处,并且避开化学物品侵蚀和机械损伤。样品可以卷起,但不能折叠。

##### (2) 试样制备原则

① 用于每次试验的试样,应从样品的长度与宽度方向上均匀地割取,但距样品的幅边至少 10cm;

② 试样不应含有影响试验结果的任何斑点;

③ 对同一项试验,应避免两个及以上的试样处在相同的比例向或横向位置上,即采用梯形取样法;如不可避免(如卷装、幅宽较窄),应在试验报告中注明情况;

④ 试样应沿卷装长度和宽度方向切割,需要时标出卷装长度方向。除试验有其他要求外,样品上的标志必须标到试样上。

⑤ 样品经调湿后,再切成规定尺寸的试样;

⑥ 在切割结构型土工布时可另制定切割方案;

⑦ 如果切割造成土工布破碎,发生损失,要影响到试验结果,则将所有脱落的碎片放到试样一起,直至进行试验

##### (3) 适用范围

上述原则适用于各类土工布、土工膜和土工复合品,但不包括土工格栅等专门用途制品。

##### (4) 试样调湿

① 试样应置于温度  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为  $65\% \pm 4\%$  和标准大气压的环境中调湿 24h。

② 如果确认试样不受环境影响,则可省去调湿处理,但应在记录中注明试验时的温度和湿度。

##### (5) 通用计算公式

① 算术平均值  $\bar{x}$  按下式计算:



$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

式中:  $n$ ——试样块数;

$x_i$ ——第  $i$  块试样的试验值;

$x$ —— $n$  块试样试验值的算术平均值。

②标准差  $\sigma$  按下式计算

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n - 1}}$$

式中符号意义同上。

③变异系数  $C_v$  按下式计算:

$$C_v = (\sigma/x) \times 100\%$$

式中符号意义同上。

## 2) 塑料排水板的抽样

产品以批为单位进行验收,塑料排水板外观检测应采取随机抽样的方法,每次抽取 5 卷(盘),逐卷展开进行检测。

### 2. 抽检频率

#### (1) 土工合成材料

以同一厂家、同一材料、同一规格、每 10 000m<sup>2</sup> 为一批,不足 10 000m<sup>2</sup> 也按一批计。

#### (2) 塑料排水板

以同一厂家、同一材料、同一生产工艺、每 10 ~ 20 万米为一批,不足 10 万米也按一批计;不同批次生产的排水板应分批次检测,同批次生产分批运输的也应分批次检测。

## 第三节 检 验 方 法

### 一、土工合成材料

土工合成材料的必检项目有:单位面积质量、厚度、拉伸强度、撕裂强度、等效孔径、透水性(即渗透系数)

#### (一) 必测项目

##### 1. 单位面积质量的测定方法

单位面积质量是土工合成材料物理性能指标之一,为单位面积的试样,在标准大气条件下的质量。反映产品的原材料用量,以及生产的均匀性和质量的稳定性,与产品性能密切相关。单位面积质量受原材料比重的影响,与比重呈正比。此外土工合成材料的厚度、所掺外加剂(如防老化剂)和含水量等也都对其有一定的影响。一般土工合成材料的单位面积质量在 50 ~ 1 200g/m<sup>2</sup> 范围内。

试验方法采用 GB 13762—2009《土工合成材料 土工布及土工布有关产品单位面积质量的测定方法》。

### (1) 试验原理

从样品的整个宽度和长度方向上截取已知尺寸的方形或圆形试样,并对其称重,然后计算其单位面积质量。

### (2) 仪器设备及材料

剪刀或切刀;称量天平(感量为 0.01g);钢尺(刻度至毫米,精度为 0.5mm)。

### (3) 试验步骤

①试样制备:根据 GB/T 13760—92《土工布的取样和试样制备》来进行取样,裁取面积为 100cm<sup>2</sup> 的试样至少 10 块。

试样应具有代表性,测量精度为 0.5%,如果 100cm<sup>2</sup> 的试样不能代表该产品全部结构时,可以使用较大面积的试样以确保测量的精度。

对于具有较大网孔的土工布有关产品,如土工格栅、土工网,应从构成网孔单元两个节点连线中心处剪切试样,试样至少在纵向和横向都应该包含至少 5 个组成单元。应分别测定每个试样的面积。

将试样在规定的标准大气条件下调湿 24h,如果能表明省略调湿步骤对试验结果没影响,则可省略此步。

②称量:分别对每个试样进行称量,精度为 10mg。

### (4) 结果计算

按下式计算每块试样的单位面积质量,

$$\rho_A = \frac{m \times 10\,000}{A}$$

式中: $\rho_A$ ——试样单位面积质量,g/m<sup>2</sup>;

$m$ ——试样质量,g;

$A$ ——试样面积,cm<sup>2</sup>。

计算 10 块试样单位面积质量的平均值,结果修约到 1g/m<sup>2</sup>;并计算变异系数。

## 2. 厚度的测定方法

采用 GB/T 13761.1—2009《土工合成材料 规定压力下厚度的测定 第 1 部分:单层产品厚度的测定方法》来测定土工织物的厚度。本方法适用于所有土工合成材料。

### 1) 定义

厚度:对试样施加规定压力的两基准板间的垂直距离。

名义厚度:对于厚度均匀的聚合物、沥青防渗土工膜,在 20 ± 0.1kPa 压力下测得的试样厚度。

常规厚度:对于其他所有的土工合成材料,在 2 ± 0.01kPa 压力下测得的试样厚度;对于厚度不均匀的聚合物、沥青防渗土工膜,在施加 0.6 ± 0.1N 的力下测得的试样厚度。

### 2) 仪器设备及材料

厚度试验仪:

(1)表面平整光滑且可调换的圆形压脚,用于测量厚度均匀的材料。

(2)基准板:面积应大于 2 倍的压块面积。

压块:圆形,表面光滑,面积为 25cm<sup>2</sup>,重为 5N、50N、500N 不等;其中常规厚度的压块为 5N,对试样施加 2 ± 0.01kPa 的压力。

百分表:最小分度值 0.01mm。

秒表:最小分度值 0.1s。

### 3) 试验方法

#### (1) 试样准备

①按取样和制样原则裁取试样。

②从样品上截取至少 10 块试样,其直径至少大于压脚直径的 1.75 倍。

若要在每个指定压力下测定新试样的厚度时,需至少取 30 块试样。

③将试样在 GB/T 6529 规定的标准大气条件下调湿 24 h,如果能表明省略调湿步骤对试验结果没有影响,则可省略此步。

#### (2) 试验步骤

当测定厚度不均匀的材料时,如土工格栅,这类材料需经有关方协商后才能测试,并应在试验报告中说明。

根据程序 A 或程序 C 来测定试样厚度时,所选压力为 2kPa、20kPa 和 200kPa,允差为  $\pm 0.5\%$ ;或施加  $0.6 \pm 0.1\text{N}$  的力(程序 C)。

经有关方协商后,可用程序 B 代替程序 A。

经有关方协商后,可选用其他压力值。如所选压力大于 200kPa,则每次试验时应采用新的调湿好的试样。

##### ①程序 A(在每个指定压力下测定新试样的厚度)

(a)将试样放置在规定的基准板和压脚之间,使压脚轻轻压放在试样上,并对试样施加恒定压力 30 s(或更长时间)后,读取厚度指示值。除去压力,并取出试样。

(b)重复(a),测定最少 10 块试样在  $2 \pm 0.01\text{kPa}$  压力下的厚度。

(c)重复(a),测定与(b)相同数量的新试样在  $20 \pm 0.1\text{kPa}$  压力下的厚度。

(d)重复(a),测定与(b)相同数量的新试样在  $200 \pm 0.1\text{kPa}$  压力下的厚度。

##### ②程序 B(逐渐增加载荷,测定同一试样在各指定压力下的厚度)

(a)将试样放置在规定的基准板和压脚之间,使压脚轻轻压放在试样上,并对试样施加  $2 \pm 0.01\text{kPa}$  恒定压力 30s(或更长时间)后,读取厚度指示值。

(b)不取出试样,增加压力至  $20 \pm 0.1\text{kPa}$ ,对试样继续加压 30s(或更长时间)后读取厚度指示值。

(c)不取出试样,增加压力至  $200 \pm 0.1\text{kPa}$ ,对试样继续加压 30s(或更长时间)后读取厚度指示值。除去压力,并取出试样。

(d)重复(a)~(c),直至测完至少 10 块试样。

##### ③程序 C(厚度不均匀的聚合物、沥青防渗土工膜)

(a)将试样放置在规定的两压头之间。两压头应为相同的形状和大小。使压头轻轻压放在试样上,并对试样施加  $0.6 \pm 0.1\text{N}$  的力 5s(或更长时间)后,读取厚度指示值。除去压力,并取出试样。

(b)重复(a)直至测完至少 10 块试样。

(c)此试验的目的是测定土工防渗膜的总厚度,而不是其组织结构中各层的厚度。故在试样上须选择合理的加压位置。

##### ④结果表示

计算试样在各程序中各指定压力下的平均厚度和变异系数,精确到 0.01 mm。

注:(1)如需要,给出每块试样的测定结果。

(2)如需要,给出试样厚度的平均值与所施加压力的关系图。建议  $x$  轴用所施加的压力的对数表示。 $y$  轴直接用厚度的平均值表示。

### 3. 抗拉强度和延伸率

采用 GB/T 15788—2005《土工布及其有关产品宽条拉伸试验》进行测定。

#### 1) 试验原理

将试样整个宽度夹持在拉伸试验机的夹具上,对试样进行拉伸直至试样断裂。试样的抗拉伸性能由试验机的记录装置记录并计算。对所有土工布及其有关产品,伸长速率固定为隔距长度的  $(20\% \pm 5\%) / \text{min}$ 。大多数土工布能用本方法进行试验。但对于特殊土工布,例如高强土工布、网状物或由玻璃纤维制成的土工布,有可能需要作一些技术修改,以防止它们在夹具中滑移或因被夹具握持而受损。

本方法采用的试样宽度比长度大,这是本方法与其他测定织物抗拉伸性能方法的根本区别所在。因为一些土工布在负荷作用下夹持长度范围内有收缩(颈缩)的趋势。较大的宽度降低了这些土工布的收缩影响,并可提供与所期望的土工布现场工作特性较为接近的指标。各类土工布和土工格栅的基本试验,试样宽度为 200mm,名义夹持长度为 100mm。当需要伸长率时,使用伸长计跟踪试样上的两个标记点来测量伸长。两个标记点位于与外加负荷相平行的试样对称轴上,间隔 60mm(试样对称中心的每边 30mm)。这个距离对于土工格栅可作修改,以便包括至少一排节点。使用伸长计测定试样的伸长。如果校准试验表明夹钳位移和伸长结果之间无显著差异,则可以通过夹钳位移测量伸长。在此情况下,名义夹持长度就是上下夹钳的距离,固定为 1mm。伸长率差异的显著性可根据 GB/T 3361 规定。

#### 2) 仪器要求

- (1) 拉伸试验仪;
- (2) 等速伸长型(CRE)拉伸试验仪;
- (3) 伸长计。

#### 3) 试样制备和调湿

##### (1) 试样制备

试样选取根据 GB/T 13760 选择试样,试样数量在样品的纵向和横向各剪取至少 5 块试样。

试样尺寸:制备每个试样至  $200\text{mm} \pm 1\text{mm}$  的最终宽度,并有足够的长度以满足夹钳隔距 100mm。其长度方向与外加拉伸力的方向平行。当合适时,为控制滑移,可沿着试样的整个宽度,与试样长度方向垂直地画两条间隔 100mm 的标记线。

对于机织土工布,将每块试样剪切至约 220mm 宽,然后再从试样的两边拆去数目大致相等的边线以得到  $200 \pm 1\text{mm}$  的名义试样宽度。这有助于在试验期间保持试样的完整性。

注:当试样的完整性不受影响时,可直接切成最终宽度。

对于土工格栅或土工布与土工格栅复合产品,每个试样至少为 200mm 宽,并具有足够的长度。试样除被夹钳握持住的节点或交叉组织外,应包含至少一排节点或交叉组织对横向节距小于 75mm 的产品,在其宽度方向上至少有 5 个完整的抗拉单元。对于节距大于或等于 75mm 的产品,在其宽度方向上应当包含至少 2 个完整的抗拉单元。

如果本试验被用于接头/接缝强力的对比试验,试样宽度应最小为 200mm,且包含至少 5 个完整的抗拉单元。

如使用伸长计,标记点应标在试样的中排抗拉肋条的中心线上。两个标记点之间应至少间隔 60mm,并至少有一个节点或交叉组织,而且夹持长度应是格栅的数个完整节距。

对针织物、土工复合物或其他织物,用刀或剪子切取试样时会影响织物结构。在这种情况下可采用热切,并应记录在试验报告中。

当需要湿态最大负荷和干态最大负荷时,则剪取试样长度至少为通常要求的两倍。对每个试样编号后对折剪切成两块,一块用于测定干态最大负荷,另一块用于测定湿态最大负荷,这样使得每一对断裂试验是对含有同样纱线的试样进行的。

对于浸湿后收缩过大的土工布,拉伸强度应以湿态最大负荷与调湿后浸湿前的初始宽度(精确至  $\pm 1\text{mm}$ )来测定。

#### (2) 调湿

在 GB 6529 规定的标准大气条件下调湿试样并进行试验。当试样在间隔至少 2 h 的连续称重中质量变化不超过试样质量的 0.25% 时,可认为试样已经调湿。

注:如果能表明试验结果不受相对湿度的影响。则可不规定的相对湿度条件下进行调湿和试验。

用于进行湿态试验的试样应浸入温度  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  (或  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , 或  $27 \pm 2^\circ\text{C}$ ) 的水中。浸泡时间应至少 24h,且足以使试样完全湿润,即在继续浸泡更长的时间后最大负荷或伸长率无显著差异。为使试样完全湿润,也可以在水中加入不超过 0.05% 的非离子中性湿润剂。

#### 4) 试验步骤

##### (1) 设定拉伸试验机

试验开始前,将夹具隔距调至  $100 \pm 3\text{mm}$ ,土工格栅除外。选择试验机的负荷量程,使断裂强力在满量程负荷的 10% ~ 90% 之间。设定试验机的拉伸速度,使试样的伸长速率为隔距长度的  $20\% \pm 5\%/\text{min}$ 。

若使用绞盘夹具,当每次试验开始时,应将绞盘中心隔距保持最小。使用绞盘夹具应记录在试验报告中。

##### (2) 将试样对中地夹持在夹钳中。

注意纵向和横向试验的试样长度与拉伸力方向平行。合适的方法是将预先画好的横贯试验宽度且相隔 100 mm 的两条标记线尽可能与上下夹钳口的边缘重合。

对于湿态试样,在从水中取出后 3min 内进行试验。

在试样上相距 60 mm 分别设定标记点(分别距试样中心 30 mm),并固定伸长计,且不能对试样有任何损伤。确保试验中这些标记点不滑移。

(3) 开动拉伸试验机并连续运行至试样断裂,停机并回复至初始隔距位置。记录最大负荷,精确至满量程的 0.2%;记录伸长率,精确至一位小数。

##### (4) 每个方向至少试验 5 块试样。

(5) 根据试验中观测的试样情况,以及土工布特有的变异性和规定,判定试验结果是否应剔除。如果试验过程中试样在夹钳中滑移,或如果在距夹钳口 5mm 以内的范围中断裂而其试验结果低于其他所有结果平均值的 50% 时,该试验值应剔除,另取一试样进行试验。

注:确定某些试样在接近夹钳边的地方断裂的确切原因是困难的。如果因夹钳损坏试样而产生钳口断裂,其结果应被剔除。但是,如果仅是由于试样中随机分布的薄弱部位,此结果是合理的。有时也许是施加

负荷时因夹钳阻止试样在宽度上收缩,其附近区域产生应力集中,此时在夹钳口附近的断裂是难免的,应作为特殊试验方法的特性而接受。

(6)对由特殊材料(例如玻璃纤维、碳纤维)制成的土工布试样,需要有特殊方法,以尽可能减少因夹钳所引起的损伤。如果试样在夹钳中滑移或超过四分之一的试样撕裂在距夹钳口边 5 mm 范围内,可采取下列措施:

- ①给夹钳加衬垫;
- ②对夹在钳口面内的试样加以涂层;
- ③修改钳口表面。

无论采用了何种修改措施,应在试验报告中注明修改的方法。

#### (7)测定伸长率

使用合适的记录装置测量在任一特定负荷下试样实际夹持长度的增加。

#### 5)计算

##### (1)拉伸强度

将从拉伸试验机所获得的数据代入式(10-1),计算每个试样的拉伸强度。

$$\alpha_f = F_1 / C \quad (10-1)$$

式中: $\alpha_f$ ——拉伸强度,kN/m;

$F_1$ ——记录的最大负荷,kN;

$C$ ——按适合的式(10-2)或式(10-3)求得。

对于非织造物、紧密机织物或类似材料:

$$C = 1/B \quad (10-2)$$

式中: $B$ ——试样的名义宽度,m。

对于稀松机织土工布、土工网状物、土工格栅或类似的松散结构材料:

$$C = N_m / N_s \quad (10-3)$$

式中: $N_m$ ——被试产品在 1 m 宽内的拉伸单元数;

$N_s$ ——试样内的拉伸单元数。

##### (2)最大负荷下伸长率

记录每个试样的最大负荷下伸长率,用百分比表示。

注:也可按下式计算大负荷下伸长率。

$$\text{最大负荷下伸长率}(\%) = \frac{\text{最大负荷下的伸长} - \text{达到预负荷时的伸长}}{\text{隔距长度} + \text{达到预负荷的伸长}} \times 100$$

#### 4. 撕裂强度的测定方法

采用 GB/T 13763—1992《土工布梯形撕破强力试验方法》

##### 1)仪器设备及材料

(1)拉伸试验机:应具有等速拉伸功能,拉伸率可以设定,并能测读拉伸过程中的应力、应变,记录应力—应变曲线。

(2)夹具:钳口表面应有足够宽度,以保证能够夹持试样的全宽,并采用适当措施避免试样滑移和损伤。

##### 2)试样制备

制样:纵向和横向各取 10 块试样,试件尺寸见图 10-1。试样上不得有影响试验结果的可

见痕点。在每块试样的梯形短边正中处剪一条垂直的 15mm 长的切口,并画上夹持线。

试样调湿和状态调节:同拉伸强度试验方法中的相关规定。

### 3) 试验步骤

(1) 调整拉伸试验机卡具的初始距离为 25mm, 设定满量范围, 使试样最大撕破负荷在满量程负荷的 20% ~ 80% 范围内, 设定拉伸速率为  $100 \pm 5 \text{ mm/min}$ 。

将试样放入卡具内, 使夹持线与夹钳钳口线相平齐, 然后旋转上下夹钳螺栓, 同时要注意试样在上下夹钳中间的对称位置, 使梯形试样的短边保持垂直状态。

(2) 开动拉伸试验机, 直至试样完全撕破断开, 记录最大撕破强力值, 以 N 为单位。

如试样从夹钳中滑出或不在切口延长线处撕破断裂, 则应剔除此次试验数值, 并在原样品上再裁取试样, 补足试验次数。

### 4) 试验结果

分别计算纵、横向撕破强力的平均值和变异系数。

纵、横向撕破强力以各自 10 次试验的算术平均值表示, 以 N 为单位, 计算到小数后 1 位, 按规定修约, 变异系数精确至 0.1%。

### 5. 等效孔径(即有效孔径)

采用 GB 14799—2005《土工布及其产品 有效孔径的测定 干筛法》进行测定。

有效孔径是指能有效通过土工布的近似最大颗粒直径, 例如  $O_{90}$  表示土工布中 90% 的孔径低于该值。

#### 1) 原理

用土工布试样作为筛布, 将已知直径的标准颗粒材料放在土工布上面振筛, 称量通过土工布的标准颗粒材料重量, 计算出过筛率, 调换不同直径标准颗粒材料进行试验, 由此绘出土工布孔径分布曲线, 并求出  $O_{90}$  值。

#### 2) 仪器设备

(1) 支撑网筛: 直径 200mm。

(2) 标准筛振筛机: 横向摇动频率  $220 \pm 10 \text{ 次/min}$ ; 回转半径  $12 \pm 1 \text{ mm}$ 。垂直振动频率  $150 \pm 10 \text{ 次/min}$ ; 振幅  $10 \pm 2 \text{ mm}$ 。天平: 称量 200g, 感量 0.01g。

#### 3) 试样和调湿

根据 GB/T 13760 选择试样。剪取 5n 块试样, n 为选取粒径的组数;

在 GB 6529 规定的标准大气即温度  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度  $65 \pm 5\%$  的条件下调湿试样并进行试验。当试样在间隔至少 2 h 的连续称重中质量变化不超过试样质量的 0.25% 时, 可认为试样达到调湿平衡。

注: 实验室的湿度对于干筛孔径试验非常重要。例如: 湿度过大可能会引起颗粒粘结, 过低的相对湿度可能会使静电增加。如果能表明试验结果不受影响, 则可不对试样进行调湿。

#### 4) 试验步骤

(1) 试验前应将标准颗粒材料与试样同时放在标准大气下进行调湿平衡。

(2) 将同组 5 块试样平整、无皱折地放入能支撑试样而不致下凹的支撑网筛上。

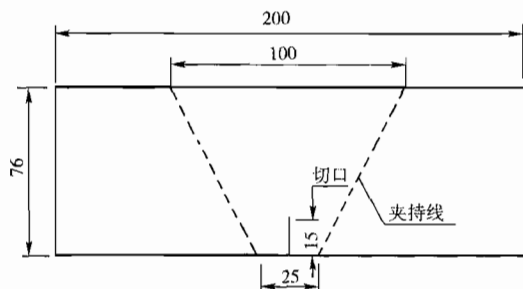


图 10-1 梯形试样平面图

- (3) 选用较细粒径的标准颗粒材料称取 50 g, 然后均匀地撒在试样表面上。
- (4) 将筛框、试样和接收盘夹紧在振筛机上。开动机器, 摇筛试样 10min。
- (5) 关机后, 称量通过试样的标准颗粒材料质量, 并记录, 然后更换新的试样。
- (6) 用下一组较粗标准颗粒材料重复(2)~(5)规定的程序, 直至取得不少于三组连续分级标准颗粒材料的过筛率, 并有一组的过筛率低于 5%。

#### 5) 计算

按式(10-4)计算过筛率。按 GB/T 8170 修约到小数点后两位。

$$B = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \quad (10-4)$$

式中:  $B$ ——某组标准颗粒材料通过试样的过筛率, %;

$M_1$ ——5 块试样同组粒径过筛量的平均值, g;

$M_2$ ——每次试验用的标准颗粒材料量, g。

以每组标准颗粒材料粒径的下限值作为横坐标(对数坐标)。相应的平均过筛率作为纵坐标, 描点绘制过筛率与孔径的分布曲线, 找出曲线上纵坐标 10% 所对应的横坐标值即为  $O_{90}$ , 找出曲线上纵坐标 5% 所对应的横坐标值即为  $O_{95}$ ; 读取两位有效数字。

#### 6. 透水性能的测定方法

土工合成材料透水性能的代表指标有: 垂直渗透系数、耐静水压值、渗透系数, 三个指标分别适用于不同的土工合成材料, 各指标的测定方法如下:

##### 1) 垂直渗透系数的测定

采用 GB 15789—2005《土工布及其产品无负荷时垂直渗透系数的测定》标准。

本法规定了测定单层土工布及其相关产品的垂直向渗透性能的两个试验方法: 恒水头法和降水头法。本书介绍恒水头法。

本法适用于任何类型的土工布, 但不适用于含有膜类材料的复合土工布。

注: 如果土工布及其相关产品的总体渗透性能已经预先确定, 为了控制材料的质量, 可只测定 50mm 水头的流速指数。

##### (1) 原理

在系列恒定水头下, 测定水流垂直通过单层、无法向负荷的土工布及其相关产品的流速指数及其他渗透特性。

##### (2) 试样处理

样品不得折叠, 并尽量减少取放次数, 以避免影响其结构。样品应置于平坦处, 不得施加任何压力。试样应清洁, 表面无污物, 无可见损坏或折痕。

##### (3) 仪器设备

仪器夹持试样处的内径至少为 50mm, 并满足下列要求:

仪器可以设置的最大的水头差至少为 70mm, 并在试验期间可以在试样的两侧保持恒定的水头。要有达到 250mm 的恒定水头的的能力。

注: 仪器的示例见图 10-2。

溶解氧的测定仪器或仪表, 符合 GB/T 7489。

秒表, 精确到 0.1s。

温度计, 精确到 0.2℃。



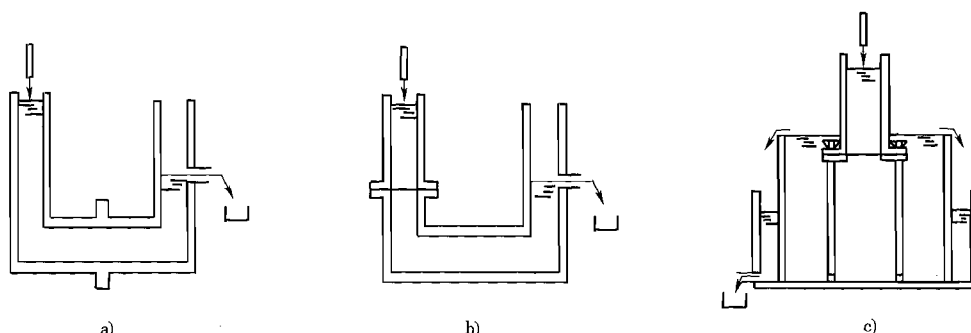


图 10-2

a) 水平式; b) 立式; c) 开放式

量筒,用来测定水的体积,精确到  $10\text{cm}^3$ 。如果直接测量流速,测量表要校正准确到其读数的 5%。

测量施加水头的装置,精确到  $1\text{mm}$ 。

#### (4) 试验步骤(恒水头法)

①在实验室温度下,置试样于含湿润剂的水中。轻轻搅动以驱走空气,浸泡最少  $12\text{h}$ 。湿润剂为体积分数为 0.1% 的烷基苯磺酸钠。

②将试样放置于仪器夹持试样处,确保所有连接点不漏水。

③向仪器注水,直到试样两侧达到  $50\text{mm}$  的水头差。关掉供水,如果试样两侧的水头在  $5\text{min}$  内不能平衡,查找仪器中是否隐藏有空气,重新执行本程序。如果水头在  $5\text{min}$  内仍不能平衡,应在试验报告中注明。

④关闭阀门。向仪器的降水筒注水,直到当阀门全开后可利用的水头差达到至少  $250\text{mm}$ 。

⑤记录水温,精确到  $0.2^\circ\text{C}$ 。

⑥开启本方法的所用的全部仪器,打开阀门。当水头差和流速回零时,试验终止。

注:对于高渗透试样,由于惯性影响,在  $V=0\text{m/s}$  时的水平面高度可能不相等。在这种情况下,同一  $0\text{m/s}$  对应的水平面高度可以取作参考高度,以计算水头差。

对其余的每个试样,重复以上步骤进行试验。

#### (5) 数据处理(恒水头法)

计算及结果表达如下:

按照式 10-5 计算  $20^\circ\text{C}$  的流速  $V_{20}(\text{m/s})$ :

$$V_{20} = \frac{VR_T}{A_t} \quad (10-5)$$

式中:  $V$ ——水的体积,  $\text{m}^3$ ;

$R_T$ —— $20^\circ\text{C}$  水温校正系数;

$A$ ——试样过水面积,  $\text{m}^2$ ;

$t$ ——达到水的体积  $V$  的时间,  $\text{s}$ 。

如果流速  $V_T$  直接测定,温度校正按照式(10-6):

$$V_{20} = V_T R_T \quad (10-6)$$

注:单位为 mm/s 的流速强同单位为  $L/(m^2 \cdot s)$  的流量  $q$  相等。

对于每个试样,计算每个水头差  $H$  的流速  $V_{20}$ 。

用水头差  $H$  对流速  $V_{20}$  作曲线,对每个试样通过原点选择最佳拟合曲线,可以使用计算法或图解法。在一张图上绘制 5 个试样的  $V \sim H$  曲线。

对于控制材料质量的目的,只需测定 50mm 水头差的流速值。

计算 5 块试样 50mm 或其他水头差的平均流速指数值及其变异系数值。

土工布垂直渗透系数是指单位水力梯度下,在垂直于土工布平面流动的水的流速,即:

$$k = \frac{V}{i} = \frac{V\delta}{H}$$

式中: $k$ ——土工布垂直渗透系数,mm/s;

$V$ ——垂直于土工布平面的水流速,mm/s;

$i$ ——土工布试样两侧的水力梯度;

$\delta$ ——土工布试样厚度,mm;

$H$ ——土工布试样两侧的水头差,mm。

土工布的透水率可按下式计算:

$$\theta = \frac{V}{H}$$

式中: $\theta$ ——透水率,1/s;

$V$ ——垂直于土工布的水流速,mm/s;

$H$ ——土工布试样两侧的水头差,mm。

## 2) 耐静水压值

采用 GB/T 19979.1—2005《土工合成材料 防渗性能第 1 部分 耐静水压的测定》标准。

### (1) 适用范围

本方法用于各类土工防渗材料,如土工膜、复合土工膜、土工防水膜材等,其他防水、防渗材料可参照采用。

### (2) 原理

样品置于规定装置内,对其两侧施加一定水力压差并保持一定时间,逐级增加水力压差,直至样品出现渗水现象,记录其能承受的最大水力压差即为样品的耐静水压;也可测定在要求的水力压差下样品是否有渗水现象,以判断其是否满足要求。

### (3) 试样制备

实验室样品的数量参照 GB/T 13760 的规定取样。从样品上至少剪取 3 块试样,其大小应适合使用的仪器。仔细检查,试样上不能有损伤和疵点。

### (4) 仪器设备

耐静水压的测定装置应包括进水调压装置、试样加压装置、压力测定装置等。图 10-3 给出了一种实用的耐静水压测定装置的示意图。

注:GB/T 19979.2 中规定的装置也是一种实用装置。

进水调压装置:包括水源、气源、调压阀等,调压范围至少为 0~2.5 MPa,应具有压力恒定功能。调压系统精度为  $\pm 2\%$ 。

试样夹持及加压装置:由集水器、支撑网和多孔板组成,集水器一般为圆筒状,内腔直径为

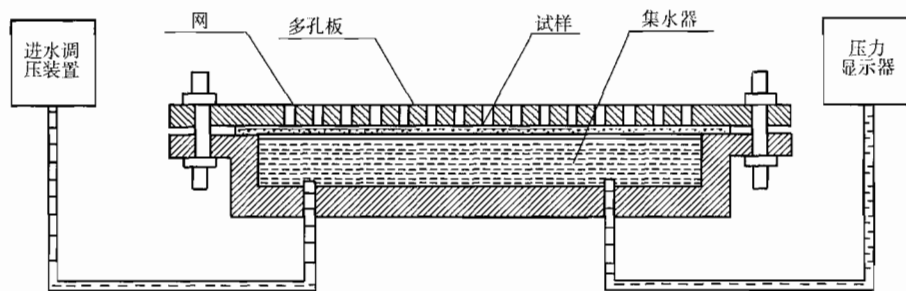


图 10-3 耐静水压测定装置示意图

200 ± 5 mm; 多孔板上均匀分布直径为  $3 \pm 0.05$  mm 的小透孔, 孔的中心间距 6 mm; 试样夹持后应保证无漏水。

注: 集水器内腔直径也可根据需要选用, 但截面面积不小于 200 cm<sup>2</sup>。

压力测定装置: 量程范围 0 ~ 2.5 MPa, 分辨率 0.05 MPa。

#### (5) 试验步骤

开启进水加压装置, 使水缓慢地进入并充满集水器, 至刚好要溢出。

将试样无褶皱地平放在集水器内的网上, 溢出多余水以确保夹样器内无气泡; 将多孔板盖上, 均匀地夹紧试样。

注: 对于由纺织材料与膜材复合的试样, 应使膜材一侧面对水面; 对于两面是纺织材料而膜处于中间的复合材料, 可将试样面对水面一侧边缘被夹持环形部分的纺织材料小心地剥去, 也可在相应部分涂上玻璃胶等粘合剂, 以确保被夹持部分不漏水。

缓慢调节进水加压装置, 使夹样器内的水压上升至 0.1 MPa, 如能估计出样品耐静水压的大致范围, 也可直接将水压加到该范围的下限开始测试。

保持上述压力至少 1 h, 观察多孔板的孔内是否有水渗出。

如试样未渗水, 以每 0.1 MPa 的级差逐级加压, 每级均保持至少 1 h, 直至有水渗出时, 表明试样有渗水孔或已出现破裂, 记录前一级压力即为该试样的耐静水压值, 精确至 0.1 MPa。

如果使用 GB/T 19979.2 中规定的装置, 则以渗流量判断是否渗水。在一定水力压差下渗流量极小 (例如,  $< 0.1 \text{ cm}^3/\text{h}$ ) 时则可认为没有渗水, 当渗流量急速增加时表明试样有渗水孔或已出现破坏, 试验可以终止。

注: 多孔板的孔内出现水珠时, 如将其擦去后不再有水渗出, 则可判断这是试样边缘溢流造成的, 可以继续试验, 如将其擦去后仍有水渗出, 则可判断是由于试样渗水造成的, 试验可以终止。

如只需判断试样是否达到某一规定的耐静水压值, 则可直接加压到此压力值并保持至少 1 h, 如没有水渗出, 则判定其符合要求。

按照以上步骤测定其余试样耐静水压值。如果 3 个值差异较大 (较低的 2 个值相差超过 50%), 则应增加测试 2 ~ 3 个试样。

#### (6) 数据处理

以 3 个试样实测耐静水压值中的最低值作为该样品的耐静水压值; 如果实测值超过 3 个, 以最低的 2 个值的平均值计; 如只有 1 个值较低且低于次低值 50%, 则该值应舍弃。

#### 3) 渗透系数

采用 GB/T 19979.2—2006《土工合成材料 防渗性能 第 2 部分 渗透系数的测定》标准。

#### (1) 适用范围

本部分适用于各类土工防渗材料,如土工膜、复合土工膜、土工防水膜材等,其他防水、防渗材料可参照采用。

## (2) 原理

样品在一定压力水差作用下可能会产生微小渗流,测定在规定水力压差下一定时间内通过试样的渗流量(即渗流速度)及试样厚度,即可计算求得渗透系数。

## (3) 试样制备

参照 GB/T 13760 的规定取样。从样品上剪取至少 3 块试样,其大小应适合使用的仪器。试验上不能有损伤斑点。

## (4) 仪器设备

渗透性测定装置应包括进水调压装置、渗透仓、渗流量测定装置等。其主要部件及要求如下(图 10-4 是一种实用的渗透性测定装置示意图):

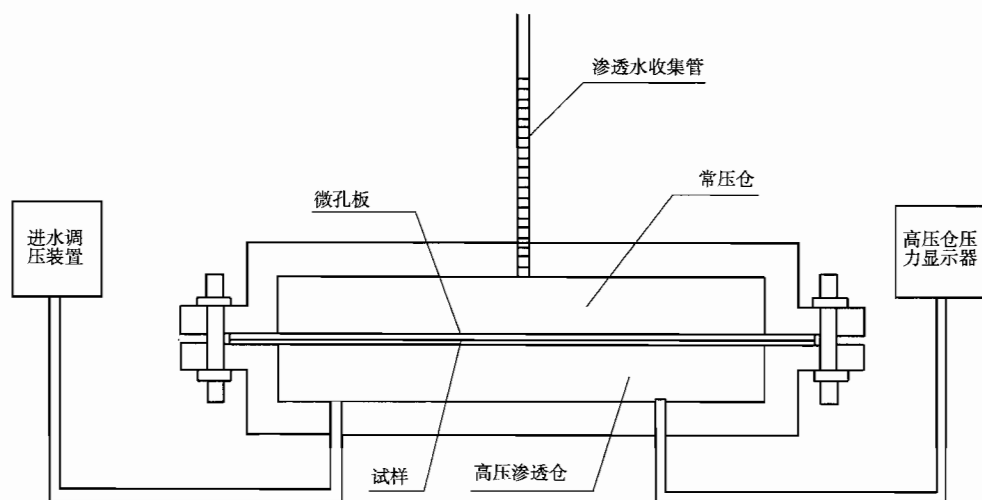


图 10-4 渗透性测定装置示意图

充水调压装置:包括水源、气源、调压阀等,分为高、低压进水系统;调压范围至少  $0 \sim 2.0 \text{ MPa}$ ,应具有压力恒定功能,加压系统精度  $\pm 2\%$ 。

渗透仓:渗透仓一般为圆筒状,由高压仓(上游仓)和低压仓(下游仓)组成,内腔直径为  $200 \pm 5 \text{ mm}$ ;仓内低压一侧紧贴试样须有一微孔板,微孔板能保证水能渗过而试样不发生变形;试样夹持部分应保证无侧漏,或应有侧漏补偿装置。

注:渗透仓内腔直径也可根据需要选用,但截面面积不小于  $200 \text{ cm}^2$ 。

渗流量测定装置:测量精度  $0.1 \text{ cm}^3$ 。

## (5) 试验步骤

将试样浸在水中,并使之充分润湿,一般需浸水  $1 \text{ h}$  以上;为使试样完全润湿,可在水中加入不超过  $0.05\%$  的非离子润湿剂。

将润湿的试样装入渗透仓,高、低压仓同时充水,这一过程应将装置浸在水中进行,以保渗透仓内为无气泡水。

调节高、低压仓进水量至达到规定水力压差  $\Delta P$ ,通常规定水力压差为  $0.1 \text{ MPa}$ 。

保持试样两侧水力压差  $\Delta P$  恒定。

每隔一定时间记录一次低压一侧通过试样法向的渗流量(也可测定高压一侧的失水量);

记录间隔时间视具体试样而定,以保证所测渗流量的精确度为原则,一般取 60min 或其倍数,读取精度至  $0.1\text{cm}^3$

当渗流量基本稳定(连续两次记录值的变化率在 5% 以内),则可停止试验,以最后一次的测定时间  $t$  和渗流量  $V$  作为测定结果,同时记录试验水温  $T$ 。

按以上程序进行其余试样的试验。以平均值作为结果。

如需测定不同水力压差条件下的渗透系数,可改变压差,重复以上步骤。

#### (6) 数据处理

对每个试样按下式计算渗透系数或透水率,并以 3 个试样的平均值作为样品的检测结果,计算修约至  $0.1 \times 10^{-n}$ 。

$$k = Vh\eta / (tA\Delta p) \quad (10-7)$$

$$\psi = V\eta / (tA\Delta p) \quad (10-8)$$

式中:  $k$ ——渗透系数,  $\text{cm/s}$ ;

$\psi$ ——透水率,  $1/\text{s}$ ;

$t$ ——测定时间,  $\text{s}$ ;

$V$ ——时间  $t$  内的渗流量,  $\text{cm}^3$ ;

$A$ ——试样有效渗流面积,  $\text{cm}^2$ ;

$h$ ——试验压力  $\Delta p$  下试样的厚度,  $\text{cm}$ ;指其中主要防渗层(如膜材)的厚度,按 GB/T 13761 规定方法测定,如果该层结构难以从试样中整体分离,则可按设计值计;

$\Delta p$ ——试样两侧水力压差,以水柱高计,  $\text{cm}$ ;按  $1\text{kPa} \approx 10\text{cm}$  水柱折算;

$\eta$ ——粘滞系数比:

$$\eta = \eta_T / \eta_{20} = 1.762(1 + 0.0337T + 0.00022T^2)$$

其中:  $\eta_T$ ——试验水温  $T(^{\circ}\text{C})$  时水的粘滞系数,  $\text{kPa} \cdot \text{s}$ ;

$\eta_{20}$ —— $20^{\circ}\text{C}$  水温时水的粘滞系数,  $\text{kPa} \cdot \text{s}$ ;

$T$ ——试验水温,  $^{\circ}\text{C}$ 。

### (二) 其他检测项目

#### 1. CBR 顶破强力试验

##### (1) 适用范围

本方法适用于土工织物、土工膜及其复合产品。

##### (2) 定义

顶破强力:顶压杆顶压试样直至破裂过程中测得的最大顶压力。

顶破位移:从顶压杆顶端开始与试样表面接触时起,直至达到顶破强力时,顶压顶进的距离。

变形率:环形夹具内侧至顶压杆边缘之间试样的长度变化百分率。

##### (3) 仪器设备及材料

试验机:应具有等速加荷功能,加荷速率可以设定,并能测读加荷过程中的应力、应变,记录应力—应变曲线。

顶破夹具:夹具持环底座高度须大于  $100\text{mm}$ ,环形夹具内径为  $150\text{mm}$ (图 10-5),其中心必须在顶压杆的轴线上。

顶压杆:直径为  $50\text{mm}$ 、高度为  $100\text{mm}$  的圆柱体,顶端边缘倒成  $2.5\text{mm}$  半径的圆弧,见图

10-6。

#### (4) 试样制备

制样:裁取  $\phi 300\text{mm}$  的圆形试样 5 块,试样上不得有影响试验结果的可见疵点,在每块试样离外圈 50mm 处均等开 6 条 8mm 宽的槽,见图 10-7。

试验调湿和状态调节按规定进行。

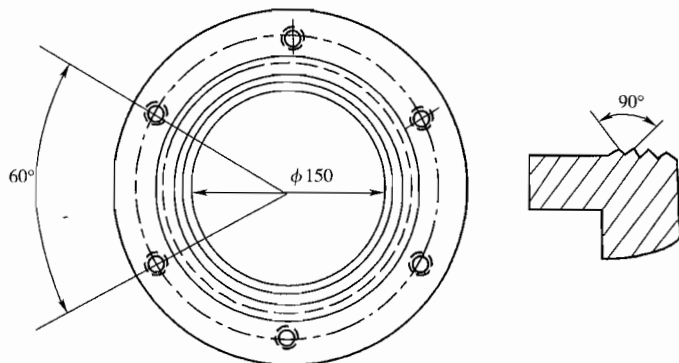


图 10-5 夹持设备

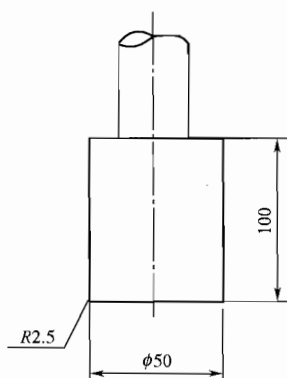


图 10-6 顶压杆(尺寸单位:mm)

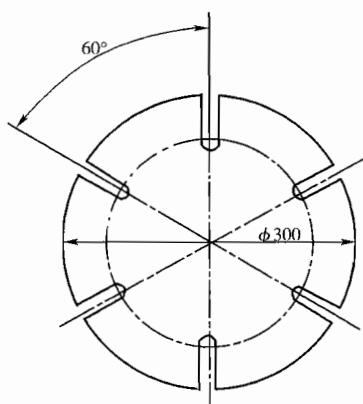


图 10-7 试样(尺寸单位:mm)

#### (5) 试验步骤

试样夹持:将试样放入环形夹具内,使试样在自然状态下拧紧夹具,以避免试样在顶压过程中滑动或破损。

将夹持好试样的环形夹具对中放于试验机上,设定试验机满量程范围,使试样最大顶破强力在满量程负荷的 30% ~ 90% 范围内,设定顶压杆的下降速度为  $60 \pm 5\text{mm/min}$ 。

启动试验机,直到试样完全顶破为止,观察和记录顶破情况,记录顶破强力(N)和顶破位移(mm)。如土工织物在夹具中有明显滑动,则应剔除此次试验数据,并补做试验至 5 块。

#### (6) 结果计算

分别计算 5 块试样的顶破强力(N)、顶破位移(mm)的平均值和变异系数  $C_v$ 。顶破强力和顶破位移计算至小数点后 1 位,并按规定进行修约到整数。

变形率计算至小数点后 1 位,按规定修约到整数。

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100$$

$$L_1 = \sqrt{h^2 + L_0^2}$$

式中:  $h$ ——顶压杆位移距离, mm;

$L_0$ ——试验前夹具内侧到顶压杆顶端边缘的距离, mm;

$L_1$ ——试验后夹具内侧到顶压杆顶端边缘的距离, mm;

$\varepsilon$ ——变形率, %。

$h$ 、 $L_0$ 、 $L_1$  见图 10-8。

## 2. 刺破强力试验

本方法适用于土工织物、土工膜及复合产品。

### (1) 仪器设备及材料

试验机: 应具有等速加荷功能, 加载速率可设定, 能测读加载过程中的应力、应变, 记录应力—应变曲线, 要求行程大于 100mm, 加载速率能达到  $300 \pm 10 \text{ mm/min}$ 。

环形夹具: 内径  $45 \pm 0.025 \text{ mm}$ , 底座高度大于顶杆长度, 有较高的支撑力和稳定性。

平头顶杆: 钢质实心杆, 直径  $8 \pm 0.01 \text{ mm}$ , 顶端边缘倒角  $0.5 \text{ mm} \times 45^\circ$ 。

### (2) 试样制备

制样: 裁取圆形试件 10 块, 直径不小于 100mm, 试样上不得有影响试验结果的可见斑点, 根据夹具的具体结构在对应螺栓的位置处开孔。

试样调湿和状态调节按规定进行。

### (3) 试验步骤

试样夹持, 将试样放入环形夹具内, 使试样在自然状态下拧紧夹具, 见图 10-9。

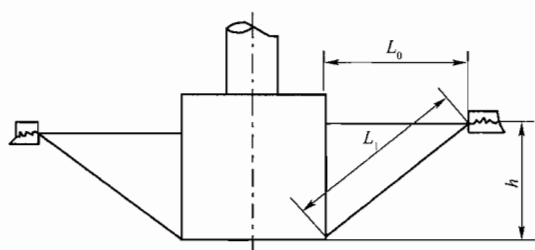


图 10-8 顶破试验示意图

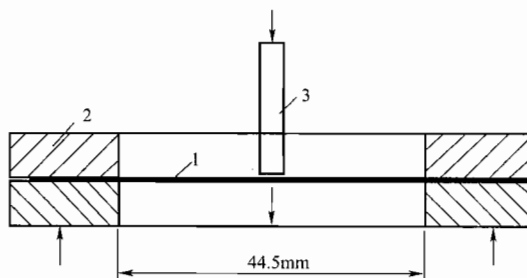


图 10-9 刺破试验示意图

1-试样; 2-环形夹具; 3- $\phi 8 \text{ mm}$  平头顶杆

将装好试样的环形夹具对中放入试验机上, 夹具中心应在顶杆的轴心线上。设定试验机的满量程范围, 使试样最大刺破力在满量程负荷的 30% ~ 90% 范围内, 设定加载速率为  $300 \pm 10 \text{ mm/min}$ 。

对于湿态试样, 从水中取出后 3min 内进行试验。

开机, 记录顶杆顶压试样时的最大压力值即为刺破强力。如土工织物在夹具中有明显滑移则应剔除此次试验数据。

按照上述步骤, 测定其余试样, 直至得到 10 个测定值。

### (4) 结果计算

按规定计算 10 块试样刺破强力的平均值 (N)、修约到 3 位有效数字。如果需要, 计算刺破强力的变异系数  $C_v$ , 精确至 0.1%。

### 3. 动态穿刺试验(落锥穿透)

本方法规定了测定土工织物及其有关产品抵抗从固定高度落下锥穿透能力的方法,适用于土工织物、土工膜,及其复合产品。

#### (1) 仪器设备及材料

环形夹具:夹具的内径为  $150 \pm 0.5\text{mm}$ 。

落锥架:支撑环形夹具的框架和从  $500 \pm 2\text{mm}$  的高度处(锥尖至试样的距离)释放锥至试样中心的装置(图 10-10)。

注:可采用不限制落锥下落速率的导杆或借助机械释放系统,以保证落锥锥尖朝下自由下落。

不锈钢落锥:锥角  $45^\circ$ ,最大直径为  $50\text{mm}$ ,表面抛光,总质量为  $1\,000 \pm 5\text{g}$ 。

量锥:顶角比落锥小,最大直径为  $50\text{mm}$ ,质量为  $600 \pm 5\text{g}$ ,标有刻度(图 10-11)。

#### (2) 试样准备

取样及试样调湿应按规定进行。

制样:裁取圆形试样 10 块,大小应与所用试验装置相适应,试样上不得有影响试验结果的可见疵点。如果已知被测试样品两面的特性不同,应对两面分别试验 10 块试样,并在试验报告中说明,给出每面的试验结果。

#### (3) 试验步骤

将试样无褶皱地在环形夹具中夹紧,避免对试样施加预张力,并防止试验过程中试样的滑移。

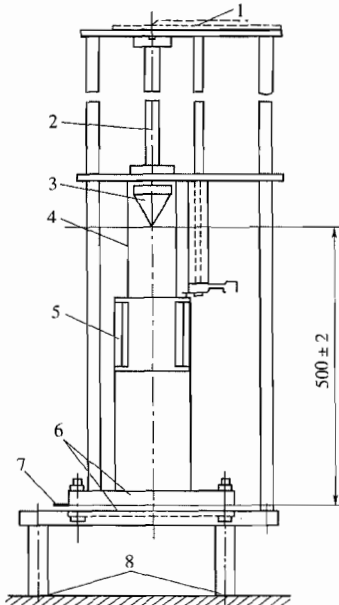


图 10-10 落锥架示意图(尺寸单位:mm)

1-释放系统;2-导杆;3-落锥;4-金属屏蔽;  
5-屏蔽;6-夹持环;7-试样;8-水平调节螺钉

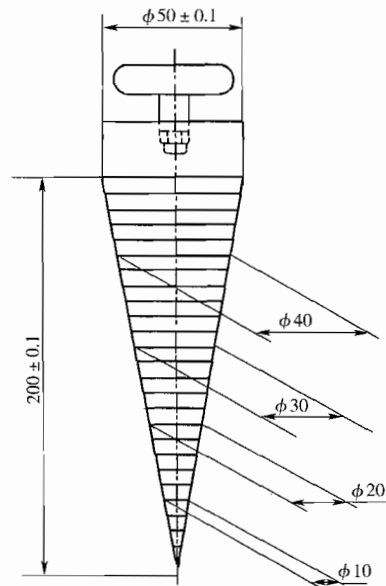


图 10-11 量锥示意图(尺寸单位:mm)

将装有试样的环形夹具放置在框架上(图 10-10),采用适当的方法,保证夹具在框架对中水平放置。

释放落锥,从锥尖离试样  $500 \pm$  的高度自由跌落在试样上,记录任何不正常的现象。如落



锥在试样上跳动,第2次落下形成有一个破洞,在这种情况下,测量较大的破洞。

立即从破洞中取出落锥,将量锥在自重的作用下放入破洞,10s后测读该洞的直径,读数精确至毫米。测量值应当是在量锥处于垂直位置时的最大可见直径。如果材料的各向异性明显,及纵向和横向的性能不同,除测量较大的破洞外,有必要对其他破洞孔径进行说明。如完全穿透试样,则不需测量,记录为完全穿透。

#### (4) 试验结果的计算

计算10块试样破洞直径的算术平均值(mm)和变异系数 $C_v$ ,破洞直径计算至小数点后1位,并修约到整数。

注:如果落锥完全穿透一块或多块试样,造成50mm的破洞,则不需要计算平均值和变异系数。这种情况下,应在试验报告中报出单值,并就该性能做出专门的说明。

## 二、塑料排水板

必检项目有:纵向通水量、滤膜渗透系数、整带复合体抗拉强度、滤膜抗拉强度。此外还可以进行外观质量的检测、滤膜等效孔径。

### (一) 必检项目

#### 1. 纵向通水量

(1) 设备:通水量仪可采用立式(图10-12)或卧式(图10-13)。

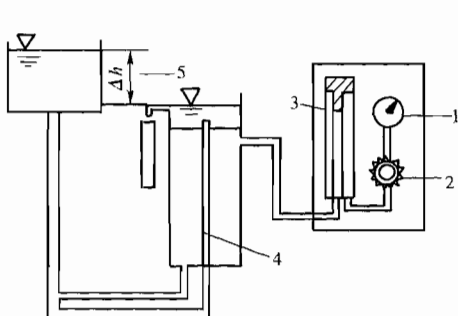


图 10-12 立式通水能力测定仪

1-压力表;2-调压阀;3-体变管;4-排水带;5-水位差

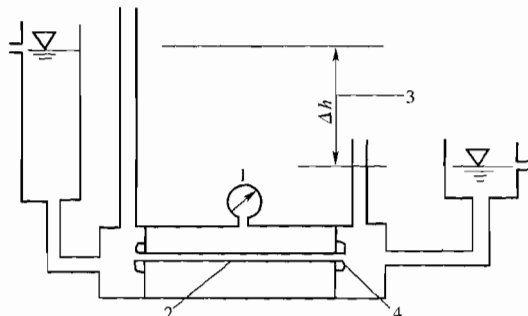


图 10-13 卧式通水能力测定仪

1-压力表;2-排水带;3-水位差;4-端部密封

(2) 侧压力可通过乳胶膜或淤泥土施加在塑料排水板上。采用乳胶膜时,其厚度宜小于0.3mm。

(3) 试样有效长度宜为400mm,试验时的水力梯度宜为0.5,侧压力值宜稳定在350kPa。

(4) 通水量测试应在稳定的侧压力和水力梯度下渗流1h后进行,每小时测试1次,直到前后两次通水量差小于前次通水量的5%为止,以最后一次测试结果作为塑料排水板的通水量。

(5) 通水量测试不应少于2组。

(6) 塑料排水板通水量可按式计算:

$$q = \frac{Ql}{t\Delta h} \cdot \frac{\eta_r}{\eta_{20}}$$

式中: $q$ ——通水量, $\text{cm}^3/\text{s}$ ;

$Q$ ——测量时间内水流量, $\text{cm}^3$ ;

$l$ ——塑料排水板有效长度, cm;

$t$ ——测量水流量的时间, s;

$\Delta h$ ——水头差, cm;

$\frac{\eta_t}{\eta_{20}}$ ——水动力粘滞系数比, 根据试验时的水温确定。

## 2. 滤膜渗透系数

滤膜渗透系数检测可按现行行业标准《土工合成材料测试规程》(SL 235)有关规定执行。

### 1) 试验设备及用具

#### (1) 试样夹持器:

夹持器的有效过水面积为  $20 \sim 100\text{cm}^2$ , 应能装单片和多片土工织物试样。

试样与夹持器周壁必须密封良好, 不得有渗漏。

#### (2) 上下游水位容器:

容器应有溢流装置, 在试验过程中保持常水头。

容器应能调节水位, 水头变化范围为  $1 \sim 60\text{mm}$ 。

#### (3) 量测系统的管路宜短而粗, 减小水头损失。

#### (4) 其他: 秒表、量筒、吸球、水桶等。

(5) 对新安装的量测系统应作空态(无试样)率定, 以确定设备自身的水头损失, 并予以修正。

### 2) 试验准备

准备好试验用脱气水或蒸馏水。

试样准备: 按规定裁剪试样。

试样数量:

#### (1) 单片试样取 10 个试样平行测定;

#### (2) 多片试样取 5 组平行测定。

### 3) 作步骤

(1) 事先将试样浸泡在水中并赶出气泡。将饱和试样装入夹持器内, 安装操作过程中应防止空气进入试样, 有条件宜在水下装样。

(2) 渗透仪内注满水, 将夹持器放上, 尽快安装, 应防止试样内水的流失。

(3) 向下游容器内注水, 使水自试样底部徐徐向上渗出并排气, 逐渐使水漫过试样

(4) 调节上游水位, 使高出下游水位, 水从上游流向下流, 并溢出。

(5) 待上下游水位差  $\Delta h$  稳定后, 测读  $\Delta h$ , 开动秒表, 用量筒接取一定时段内的渗透水量, 并测定水。

(6) 调节上游水位, 改变水力梯度, 重复(4)~(5)步骤。作渗透流速  $v$  与水力梯度  $i$  的关系曲线, 取其线性范围内的试验结果, 计算平均渗透系数。

(7) 重新安装一个试样, 重复(1)~(6)步骤对其余试样进行试验。

### 4) 计算

(1) 按下式计算  $20^\circ\text{C}$  时的渗透系数, 并注明水头条件:

$$k_{20} = \frac{W\delta}{A\Delta h t} \cdot \frac{\eta_t}{\eta_{20}}$$

式中:  $k_{20}$ ——20℃时试样的渗透系数, cm/s;

$W$ ——渗透水量,  $\text{cm}^3$ ;

$\delta$ ——试样厚度, cm;

$A$ ——试样过水面积,  $\text{cm}^2$ ;

$\Delta h$ ——上下面水位差, cm;

$t$ ——通过水量  $W$  的历时, s;

$\eta_t$ ——试验水温  $t$  (℃) 时水的动力粘滞系数,  $\text{kPa} \cdot \text{s}$ ;

$\eta_{20}$ ——20℃时水的动力粘滞系数,  $\text{kPa} \cdot \text{s}$ 。

水的动力粘滞系数比  $\eta_t/\eta_{20}$  列于表 10-2。

水的动力粘滞系数比  $\eta_t/\eta_{20}$

表 10-2

温度(℃)	温度修正系数 $\lambda = \eta_t/\eta_{20}$	温度(℃)	温度修正系数 $\lambda = \eta_t/\eta_{20}$	温度(℃)	温度修正系数 $\lambda = \eta_t/\eta_{20}$
11.0	1.261	16.0	1.104	21.0	0.976
11.5	1.243	16.5	1.090	21.5	0.964
12.0	1.227	17.0	1.077	22.0	0.953
12.5	1.211	17.5	1.066	22.5	0.943
13.0	1.194	18.0	1.050	23.0	0.932
13.5	1.176	18.5	1.038	24.0	0.910
14.0	1.163	19.0	1.025	25.0	0.890
14.5	1.148	19.5	1.012	26.0	0.870
15.0	1.133	20.0	1.000	27.0	0.850
15.5	1.119	20.5	0.988	28.0	0.833

(2) 计算试样不同水头时的平均渗透系数及全部试样的平均渗透系数。

### 3. 整带复合体抗拉强度

(1) 塑料排水板抗拉强度和延伸率应为其干态情况下的纵向抗拉强度和延伸率。

(2) 塑料排水板平行测试的试件数量不应少于 6 件。试件宽度应等同于塑料排水板宽度, 有效长度应为 100ram。试件截取时应考虑夹持部分长度。

(3) 塑料排水板抗拉强度试验应采用应变控制试验机, 试验时拉伸速率应为 50mm/min。

(4) 试验过程中试件从夹具中脱落或从夹具钳口处断裂, 应视为试验无效。

(5) 当塑料排水板延伸率小于 4% 时, 抗拉强度和延伸率指标应判为不合格; 当延伸率在 4% ~ 10% 时, 测试值应取断裂时的峰值强度; 当延伸率大于 10% 时, 测试值应取延伸率为 10% 时所对应的强度。

### 4. 滤膜抗拉强度

(1) 滤膜纵向抗拉强度应为干态时的抗拉强度, 横向抗拉强度应为湿态时的抗拉强度。

(2) 每个滤膜试样的纵向干态、横向湿态试件数量均不应少于 6 个。试件宽度应为 50mm, 有效长度应为 100mm。试件截取时应考虑夹持部分长度。

(3) 滤膜湿态抗拉强度的试件应在水中浸泡 24h。

(4) 滤膜湿态抗拉强度试验应采用应变控制试验机, 试验时拉伸速率应为 50mm/min。

(5) 当滤膜干态延伸率小于 4% 时, 抗拉强度和延伸率指标应判为不合格; 当延伸率在 4% ~ 10% 时, 测试值应取断裂时的峰值强度; 当延伸率大于 10% 时, 测试值应取延伸率为 10% 时所对应的强度。

(6)当滤膜湿态延伸率小于4%时,抗拉强度和延伸率指标应判为不合格;当延伸率在4%~15%时,测试值应取断裂时的峰值强度;当延伸率大于15%时,测试值应取延伸率为15%时所对应的强度。

5. 滤膜等效孔径

- (1)滤膜等效孔径可采用干筛法检测。
- (2)滤膜等效孔径试件应为圆形,有效直径应为200mm。
- (3)滤膜等效孔径测试时,应将粒径为0.060~0.075mm、0.075~0.090mm、0.090~0.106mm、0.106~0.125mm、0.125~0.15mm等标准砂50g分次均布撒在滤膜上,振筛10min,收集并称量过筛标准砂的质量,计算过筛率。
- (4)同级粒径应进行5个试样的平行试验。
- (5)滤膜的等效孔径 $O_{95}$ 应根据过筛率与标准砂粒径关系曲线确定。曲线的横坐标应采用对数坐标,坐标值为每组标准砂粒径的平均值,纵坐标为平均过筛率,取曲线上纵坐标5%所对应的横坐标值为滤膜的等效孔径 $O_{95}$ 值。

(二) 其他指标

1. 现场外观检查

- (1)槽型塑料排水板芯板槽齿应无倒伏现象。
- (2)塑料排水板芯板应无接头、表面平滑、无空洞和气泡、齿槽分布均匀。
- (3)每卷塑料排水板滤膜接头不应多于1个,接头搭接长度应大于200mm。
- (4)采用粘合法时,粘合缝应连续,缝宽为 $5 \pm 1$ mm;采用缝合法时,缝线应在一个槽内且连续,缝合针眼距应为4~6mm。
- (5)随机抽取同一批次的5卷塑料排水板,当其中3卷及以上不符合上述规定,应判定该批次塑料排水板为不合格;当其中2卷不符合上述规定,再抽取5卷检查,仍有2卷不符合上述规定,应判定该批次塑料排水板为不合格。

2. 断面尺寸检测

- (1)塑料排水板宽度和厚度可采用游标卡尺检测。
- (2)塑料排水板宽度和厚度检测的数量应为10个测点。现场检测时应在整卷塑料排水板全长范围内均匀选取;室内检测时可在试验样品上任意选取。
- (3)塑料排水板的宽度和厚度应取10个测读值的平均值。
- (4)常用塑料排水板的断面尺寸应满足表10-3的要求。

常用塑料排水板断面尺寸要求 表 10-3

型号 项目	A 型	B 型	C 型	D 型
宽度(mm)	$(1 \pm 0.02)b$			
厚度(mm)	$\geq 3.5$	$\geq 4.0$	$\geq 4.5$	$\geq 5.0$

注: $b$ 为塑料排水板宽度,mm。

3. 单位长度质量

- (1)塑料排水板单位长度质量,现场检测时可根据整卷塑料排水板质量和长度计算确定;室内检测时宜取100mm小段的质量计算确定。
- (2)现场检测时,同批次不应少于10卷;室内检测时,同一试样不应少于10段。

(3) 试样的单位长度质量应取 10 个检测结果的平均值。

#### 4. 压屈强度

(1) 塑料排水板压屈强度试验可采用固结仪、磅秤加压仪或杠杆加压仪等应力控制设备。

(2) 塑料排水板压屈强度试件宜为圆形, 受压面积可为  $30\text{cm}^2$  或  $50\text{cm}^2$ 。每个试样平行检测的数量不应少于 3 件。

(3) 安装塑料排水板压屈强度试件时应在试件上下各垫刚性板, 并施加  $1 \sim 2\text{kPa}$  预压力。

(4) 塑料排水板压屈强度试验荷载应分级施加, 第一级荷载为  $50\text{kPa}$ , 每级荷载增量为  $50\text{kPa}$ 。每级荷载施加后, 每  $10\text{min}$  测读一次压缩变形量值, 当相邻两次读数差小于  $0.04\text{mm}$  时, 可认为此级荷载稳定, 并可施加下一级荷载, 直至芯板槽齿倒伏为止。

(5) 试件的塑料排水板压屈强度应取荷载—变形量曲线初始线性段的最大荷载值。

(6) 塑料排水板压屈强度应为多个试件压屈强度的平均值。

# 第十一章 沥青和粘结材料的质量检验

## 第一节 沥青的检验

沥青是一种憎水性的有机胶凝材料,其构造致密,与石料等能牢固地粘结在一起,沥青制品具有良好的隔潮、防水、防渗、耐腐蚀等性能,在地下防潮、防水等建筑工程及铺路工程中得到广泛的应用。

沥青在水运工程中主要用于防水和道路铺筑,如果用于道路铺筑,公路部门有专门的规定对沥青材料的要求进行详细规定,本节主要介绍沥青在水运工程中用于防水性能方面的要求。

### 一、沥青的定义和分类

沥青是一种由高分子碳氢化合物及其衍生物组成的、黑色或深褐色、不溶于水而几乎全溶于二硫化碳的非晶态有机材料。其化学组成按三组分分析法可分为油分、树脂、沥青质。按四组分分析法可分为沥青质、胶质、饱和分、芳香分。沥青的胶体结构是:以沥青质为核心,胶质吸附于沥青质周围的胶团,胶团分散于芳香分和饱和分组成的分散介质中的稳定胶体结构。

沥青的种类很多,按产源可分为地沥青和焦油沥青,地沥青主要包括石油沥青和天然沥青,焦油沥青包括煤沥青和木沥青。建筑工程中主要用的是石油沥青和煤矿沥青。

石油沥青按主要用途可分为:道路石油沥青、建筑石油沥青、防水防潮石油沥青和普通石油沥青。石油沥青的牌号主要是根据针入度及延度和软化点指标划分的,并以针入度值表示。建筑石油沥青分为10号、30号、40号三个牌号,道路石油沥青分10个牌号。牌号愈大,相应的针入度值愈大,粘性愈小,延度愈大,软化点愈低,使用年限愈长。

道路石油沥青指主要用于道路工程的沥青。建筑沥青指主要用于建筑防水工程的沥青。水运工程防水用沥青就是用的建筑石油沥青。

### 二、石油沥青的选用

通常情况下,建筑石油沥青多用于建筑屋面工程和地下防水工程;道路石油沥青多用来拌制沥青砂浆和沥青混凝土,用于路面、地坪、地下防水工程和制作油纸等;防水防潮石油沥青的技术性质与建筑石油沥青相近,而质量更好,适用于建筑屋面、防水防潮工程。

选择屋面沥青防水层的沥青牌号时,主要考虑其粘度、温度敏感性和大气稳定性。常以软化点高于当地历年来屋面温度20度以上为主要条件,并适当考虑屋面坡度。对于夏季气温高,而坡度大的屋面,常选用10号或30号石油沥青,或者10号与30或60号掺配调整性能的混合沥青。但在严寒地区一般不宜直接使用10号石油沥青,以防冬季出现冷脆破裂现象。

对于地下防潮、防水工程,一般对软化点要求不高,但要求其塑性好,粘结较大,使沥青层与建筑物粘结牢固,并能适应建筑物的变形而保持防水层完整。

### 三、水运工程防水用沥青的主要检测指标和检测方法

#### (一) 主要检测指标及技术要求、检测频率的规定

##### 1. 主要检测指标

《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)规定,对道路用沥青和建筑防水用沥青,必检项目有针入度、延度、软化点三大指标。

##### 2. 技术指标要求

(1)对道路用沥青,《公路沥青路面施工技术规范》(JTJF 40—2004)有如下规定:

道路石油沥青的质量应符合表 11-1 规定的技术要求。各个沥青等级的适用范围应符合表 11-3 的规定。经建设单位同意,沥青的 PI 值、60℃动力粘度,10℃延度可作为选择性指标。

道路石油沥青的适用范围

表 11-1

沥青等级	适用范围
A 级沥青	各个等级的公路,适用于任何场合和层次。
B 级沥青	①高速公路、一级公路沥青下面层及以下的层次,二级及二级以下公路的各个层次; ②用作改性沥青、乳化沥青、改性乳化沥青、稀释沥青的基质沥青
C 级沥青	三级及三级以下公路的各个层次

(2)对建筑防水用沥青,《建筑石油沥青》(GB/T 494—1998)的要求见表 11-2。

表 11-2

项 目	质量指标			试验方法
	10 号	30 号	40 号	
针入度(25℃,100g,5s)(1/10mm)	10~25	26~35	36~50	GB/T 4509
延度(25℃,5cm/min)(cm) 不小于	1.5	2.5	3.5	GB/T 4508
软化点(环球法)(℃) 不低于	95	75	60	GB/T 4507
溶解度(三氯乙烷,三氯乙烯,四氯化碳或苯)% 不小于	99.5			GB/T11148
蒸发损失(163℃,5h)(%) 不小于	1			GB/T 11964
蒸发后针入度比(%) 不小于	65			
闪点(开口)(℃) 不低于	230			GB/T 267
脆点(℃)	报告			GB/T 4510

注:测定蒸发损失后样品的针入度与原针入度之比乘以 100 后,所得的百分比,称为蒸发后针入度比。

##### 3. 检测频率

《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)对检测频率的规定是:

- (1)道路沥青以同一厂家、同一品种、同一标号,每 50t 为一批,不足 50t 也按一批计;
- (2)建筑沥青以同一厂家、同一品种、同一标号,每 20t 为一批,不足 20t 也按一批计。

表 11-3

道路石油沥青技术要求

指 标	单位	等级	沥 青 标 号													试验方法 [1]				
			160 号 <sup>[4]</sup>	130 号 <sup>[4]</sup>	110 号		90 号				70 号 <sup>[3]</sup>				50 号		30 号 <sup>[4]</sup>			
针入度(25℃,5s,100g)	dmm		140~200	120~140	100~120		80~100				60~80				40~60	20~40	T 0604			
适用的气候分区 <sup>[6]</sup>			注[4]	注[4]	2-1	2-2	3-2	1-1	1-2	1-3	2-2	2-3	1-3	1-4	2-2	2-3	2-4	1-4	注[4]	附录 A <sup>[5]</sup>
针入度指数 PI <sup>[2]</sup>		A	-1.5~+1.0																	T 0604
		B	-1.8~+1.0																	
软化点(R&B) 不小于	℃	A	38	40	43	45	44	46	45	49	55									T 0606
		B	36	39	42	43	42	44	43	46	53									
		C	35	37	41	42		43	45	50										
60℃动力粘度 <sup>[2]</sup> 不小于	Pa·s	A	-	60	120	160	140	180	160	200	260							T 0620		
10℃延度 <sup>[2]</sup> 不小于	cm	A	50	50	40	45	30	20	30	20	15	20	15	20	15	20	15	10	8	T 0605
		B	30	30	30	30	20	15	20	15	20	15	10	20	15	10	8	50		
15℃延度 不小于	cm	A、B	100																	
		C	80	80	60	50	40	30	20	15	20	15	20	15	10	20	15	10	20	
蜡含量(蒸馏法) 不大于	%	A	2.2																	T 0615
		B	3.0																	
		C	4.5																	



续上表

指 标	单位	等级	沥 青 标 号						试验方法 [1]	
			160号 <sup>[4]</sup>	130号 <sup>[4]</sup>	110号	90号	70号 <sup>[3]</sup>	50号		30号 <sup>[4]</sup>
闪点	不小于	℃	230			245	260			T 0611
溶解度	不小于	%	99.5						T 0607	
密度(15℃)		g/cm <sup>3</sup>	实测记录						T 0603	
TFOT (或 RTFOT)后 <sup>[5]</sup>										
质量变化	不大于	%	±0.8						T 0610 或 T 0609	
残留针入度比	不小于		A	48	54	55	57	61	63	65
		B	45	50	52	54	58	60	62	
		C	40	45	48	50	54	58	60	
残留延度(10℃)	不小于	cm	A	12	12	10	8	6	4	—
		B	10	10	8	6	4	2	—	
残留延度(15℃)	不小于	cm	C	40	35	30	20	15	10	—

注:[1]试验方法按照现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052)规定的方法执行。用于仲裁试验求取PI时的5个温度的针入度关系的相关系数不得小于0.997。  
[2]经建设单位同意,表中PI值、60℃动力粘度、10℃延度可作为选择性指标,也可不作为施工质量检验指标。  
[3]70号沥青可根据需要求供商提供针入度范围为60~70或70~80的沥青,50号沥青可要求提供针入度范围为40~50或50~60的沥青。  
[4]30号沥青仅适用于沥青稳定基层。130号和160号沥青除寒冷地区可直接在中低级公路上直接应用外,通常用作乳化沥青、稀释沥青、改性沥青的基质沥青。  
[5]老化试验以TFOT为准,也可以RTFOT代替。  
[6]气候分区见JTJ F40—2004的附录A。

#### 4. 取样方法及存放

1)《公路沥青及沥青混合料试验规程》和 GB 11149《沥青取法方法》的规定:本方法适用于在生产厂、储存或交货验收地点为检查沥青产品质量而采集各种沥青材料的样品,进行沥青性质常规检验的取样数量为:粘稠或固体沥青不少于 1.5kg;液体沥青不少于 1L;沥青乳液不少于 4L。进行沥青性质非常规检验及沥青混合料性质试验所需的沥青数量,应根据实际需要确定。

##### (1) 从贮油罐中取样

###### ① 无搅拌设备的贮罐

(a) 液体沥青或经加热已经变成流体的粘稠沥青取样时,应先关闭进油阀和出油阀,然后取样。

(b) 用取样器按液面上、中、下位置(液面高各为 1/3 等分处,但距罐底不得低于总液面高度的 1/6)各取规定数量样品。每层取样后,取样器应尽可能倒净。当储罐过深时,亦可在流出口按不同流出深度分 3 次取样。对静态存取的沥青,不得仅从罐顶用小桶取样,也不能仅从罐底阀门放出少量沥青取样。

(c) 将取出的 3 个样品充分混合后取规定数量样品作为试样,样品也可分别进行检验。

###### ② 有搅拌设备的贮罐

将液体沥青或经加热已经变成流体的粘稠沥青充分搅拌后,用取样器从沥青层的中部取规定数量试样。

###### ③ 从槽车、罐车、沥青洒布车中取样

(a) 设有取样阀时,可旋开取样阀,待流出至少 4 kg 或 4L 后再取样。

(b) 仅有放样同时,俟放出全部沥青的一半时再取样。

(c) 从顶盖处取样,可用取样器从中部取样。

##### (2) 在装料或卸料过程中取样

在装料或卸料过程中取样时,要按时间间隔均匀地取至少 3 个规定数量样品,然后将这些样品充分混合后取规定数量样品作为试样。样品也可分别进行检验。

##### (3) 从沥青储存池中取样

沥青储存池中的沥青应待加热熔化后,经管道或沥青泵流至沥青加热锅之后取样。分间隔每锅至少取 3 个样品,然后将这些样品充分混匀后再取规定数量作为试样,样品也可分别进行检验。

##### (4) 从沥青运输船取样

沥青运输船到港后,应分别从每个沥青仓取样,每个仓从不同的部位取 3 个样品,混合在一起,作为一个仓的沥青样品供检验用。在卸油过程中取样时,应根据卸油量,大体均匀的分间隔 3 次从卸油口或管道途中的取样口取样,然后混合作为一个样品供检验用。

##### (5) 从沥青桶中取样

① 当能确认是同一批生产的产品时,可随机取样。如不能确认是同一批生产的产品时,应根据桶数按照表 11-4 规定或按总桶数的立方根数随机选出沥青桶数。

② 将沥青桶加热使桶中沥青全部熔化成流体后,接罐车取样方法取样。每个样品的数量,以充分混合后能满足供检验用样品的规定数量要求为限。

选取沥青样品桶数

表 11-4

沥青桶总数	选取桶数	沥青总数	选取桶数
2 ~ 8	2	217 ~ 343	7
9 ~ 27	3	344 ~ 512	8
28 ~ 64	4	513 ~ 729	9
65 ~ 125	5	730 ~ 1 000	10
126 ~ 216	6	1 001 ~ 1 331	11

③若沥青桶不便加热熔化沥青时,亦可在桶高的中部将桶凿开取样,但样品应在桶壁 5cm 以上的内部凿取,并采取措施防止样品散落地面沾有尘土。

#### (6) 固体沥青取样

从桶、袋、箱装或散装整块中取样,应在表面以下及容器侧面以内至少 5cm 处采取。如沥青能够打碎,可用一个干净的工具将沥青打碎后取中间部分试样;若沥青是软塑的,则用一个干净的热工具切割取样。

#### (7) 试样的保护与存放

①除液体沥青、乳化沥青外,所有需加热的沥青试样必须存放在密封带盖的金属容器中,严禁准入纸袋、塑料袋中存放。试样应存放在阴凉干净处,注意防止试样污染。装有试样的盛样器应加盖、密封,外部擦拭干净,并在其上标明试样来源、品种、取样日期、地点及取样人。

②冬季乳化沥青试样要注意采取妥善防冻措施。

③除试样的一部分用于检验外,其余试样应妥善保存备用。

④试样需加热采取时,应一次取够一批试验所需的数量装入另一盛样器,其余试样密封保存,应尽量减少重复加热取样。用于质量仲裁检验的样品,重复加热的次数不得超过两次。

### (二) 主要检测指标的检测方法

#### 1. 针入度检验

沥青牌号以针入度值表示,沥青的感温性用针入度指数 IP 反映。

##### (1) 样品加热,过筛并脱水

(2) 制样:将试样注入盛样皿中,试样的高度应超过预计针入度值 10mm。盖上盛样皿盖,以防止落入灰尘。在 15 ~ 30℃ 的室温中冷却 1 ~ 1.5h 后移入保持规定试验温度  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  的恒温水槽中 1 ~ 1.5h。

(3) 将盛有试样的平底玻璃皿置于针入仪的平台上,慢慢放下针连杆,用适当位置的反光镜或灯光反射观察,使针尖恰好与试样表面接触,拉下刻度盘的拉杆,使之与针连杆顶端轻轻接触,调节刻度盘或深度指示器的指针指示为零。

(4) 压下刻度盘拉杆与针连杆顶端接触,读取刻盘指针或位移指示器的读数,准确至 0.5 (0.1mm)。用三氯乙烯清洗标准针,并擦干,将标准针插入针连杆,用螺钉固紧,加上砝码。

(5) 测定针入度指数 PI 时,按同样的方法分别在 15℃、25℃、30℃ (或 5℃) 三个温度条件下分别测定沥青的针入度。

(6) 同一试样 3 次平行试验结果的最大值和最小值之差在下列允许偏差范围内时,计算 3 次试验结果的平均值,取整数作为针入度试验结果,以 0.1mm 为单位(表 11-5)。

表 11-5

针入度(0.1mm)	允许差值(0.1mm)	针入度(0.1mm)	允许差值(0.1mm)
0 ~ 49	2	150 ~ 249	12
50 ~ 149	4	250 ~ 500	20

当平行试验结果不符合此要求时,应重新进行试验。

## 2. 软化点的检验

沥青软化点是反映沥青温度敏感性的重要指标,它表示沥青由固态变为粘流态的温度,此温度愈高,说明温度敏感性愈小,既环境温度较高时才会发生这种状态转变。

检验步骤如下:

将试样环置于涂有甘油滑石粉隔离剂的试样底板上。将准备好的沥青试样徐徐注入试样环内至略高出环面。室温冷却 30min 后,用环夹夹着试样环,用热刮刀刮除环面上超出的部分,务必使沥青试样与环面齐平。

实际操作时,根据沥青实际软化点的高低采用两种不同方式进行。

### (1) 试验方法一:软化点在 80℃ 以下的沥青

①将装有试样的试样环连同底板置于  $5 \pm 0.5^\circ\text{C}$  的恒温水槽( $32 \pm 1^\circ\text{C}$  甘油的恒温容器)中至少 15min;同时将金属支架、钢球、定位环置于相同容器中。

②向烧杯内注入新煮沸并冷却至  $5^\circ\text{C}$  的蒸馏水(预先加热至  $32^\circ\text{C}$  的甘油),液面略低于立杆上的深度标记。

③从恒温水槽中取出盛有试样的试样环放置在支架中层板的圆孔中,套上定位环,然后将整个环架放入烧杯中,调整水面至深度标记,并保持水温为  $5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。环架上任何部分不得附有气泡。将温度计垂直插入,使端部测温头底部与试样环下面齐平。

④将盛有水和环架的烧杯移至放有石棉网的加热炉具上,然后将钢球放在定位环中间试样中央,立即开动振荡搅拌器,使水微微振荡,并开始加热,使杯中水温在 3min 内调节至维持每分钟上升  $5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。在加热过程中,应记录每分钟上升的温度值,如温度上升速度超出范围时,则试验应重作。

⑤试样受热软化逐渐开始下坠,至与下层底板表面接触时,立即读取温度,准确至  $0.5^\circ\text{C}$  ( $1^\circ\text{C}$ )。

### (2) 试验方法二:软化点在 80℃ 以上的沥青

①将装有试样的试样环连同底板置  $32 \pm 1^\circ\text{C}$  甘油的恒温容器中至少 15min;同时将金属支架、钢球、定位环置于相同容器中。

②向烧杯内注入新煮沸并冷却至  $32^\circ\text{C}$  的甘油,液面略低于立杆上的深度标记,将盛有水和环架的烧杯移至放有石棉网的加热炉具上,然后将钢球放在定位环中间试样中央开始试验。

③立即开动振荡搅拌器,使水微微振荡,并开始加热,使杯中水温在 3min 内调节至维持每分钟上升  $5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。在加热过程中,应记录每分钟上升的温度值,如温度上升速度超出范围时,则试验应重做。

(3) 试验结果处理:同一试样平行试验两次,当两次测定值的差值符合重复性试验精密密度要求时,取其平均值作为软化点的试验结果,准确至  $0.5^\circ\text{C}$ 。

①当试样软化点小于  $80^\circ\text{C}$  时,重复性试验的允许差为  $1^\circ\text{C}$ ,复现性试验的允许差为  $4^\circ\text{C}$ 。

②当试样软化点等于或大于  $80^{\circ}\text{C}$  时,重复性试验的允许差为  $2^{\circ}\text{C}$ ,复现性试验的允许差为  $8^{\circ}\text{C}$ 。

### 3. 延度的检验

沥青的延度表征沥青的塑性,即其受外力的拉伸作用时,所能承受的塑性变形的总能力。

(1)将隔离剂拌和均匀,涂于清洁干燥的试模底板和两个侧模的表面,并将试模在底板上装妥;

(2)将准备好的沥青试样仔细自试模的一端向另一端往返数次缓缓注入模中,最后略高出试模,灌模时应注意勿使气泡混入。试件在室温中冷却  $30 \sim 40\text{min}$ ,然后置于规定试验温度  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  的恒温水槽中,保持  $30\text{min}$  后取出,用热刮刀刮除高出试模的沥青,使沥青面与试模面齐平。将试模连同底板再浸入规定试验温度的水槽中  $1 \sim 1.5\text{h}$ 。

(3)检查延度仪的延伸速度是否符合规范要求,然后移动滑板使其指针正对标尺零点。将延度仪注水,并保持试验温度  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。将保温后的试件连同底板移入延度仪的水槽中,然后将试样自底板取下,将试模两端的孔分别套在滑板及槽端部固定板的金属柱上,并取下侧模。水面距试件表面应不小于  $25\text{mm}$ 。

(4)开动延度仪,并注意观察试样的延伸情况。当沥青丝浮于水面或沉入水底,应通过加入食盐或酒精的方法调整水的密度,重新试验。

(5)试件拉断时,读取指针所指标尺上的读数,以厘米( $\text{cm}$ )表示。

(6)同一试样,每次平行试验不少于 3 个,如 3 个测定结果均大于  $100\text{cm}$ ,试验结果记作“ $>100\text{cm}$ ”;特殊需要也可分别记录实测值。如 3 个测定结果中,有一个以上的测定值小于  $100\text{cm}$  时,若最大值或最小值与平均值之差满足重复性试验精密度要求,则取 3 个测定结果的平均值的整数作为延度试验结果,若平均值大于  $100\text{cm}$ ,记作“ $>100\text{cm}$ ”;若最大值或最小值与平均值之差不符合重复性试验精密度要求时,试验应重新进行。

(7)当试验结果小于  $100\text{cm}$  时,重复性试验的允许差为平均值的  $20\%$ ;复现性试验的允许差为平均值的  $30\%$ 。

## 第二节 粘结修补材料

### 一、概述

港口工程中各种混凝土结构、构件常处于不利的海洋(包括内河)环境中,它们会以多种方式产生破坏和腐蚀。随着混凝土建筑物运行龄期的增长,使用条件和环境的影响以及混凝土质量先天不足引起的损坏,都需要进行修补。港口工程混凝土的修补工程主要有混凝土结构的修补、加固和新老混凝土的结合以及防渗堵漏、水下修补和水位变动区及浪溅区的修补等几大项。

修补工程从修补的目的来划分,分三种类型:

- (1)加固型:目的是恢复或部分恢复结构强度,恢复整体性,有应力要求;
- (2)防渗型:只防渗堵漏止水,无强度要求;
- (3)保护型:只要求增长结构寿命,无应力和防渗要求。

为实现修补的目的,一般采用三种修补处理方法:

- (1) 深层处理:混凝土破损严重,裂缝深度超过保护层厚度的修补处理;
- (2) 浅层处理:混凝土表面缺陷深度不超过钢筋保护层的修补处理;
- (3) 补强处理:恢复结构强度或结构整体性的修补处理。

由于各类修补的技术要求差别很大,涉及的材料性能也各不相同。目前所用粘结修补材料主要有两大类:一是无机材料,以水泥为主;再是有机材料,以环氧树脂、聚胺酯为主,另外还有甲凝、丙凝、丙烯盐、乙烯树脂、丁苯橡胶等等。

## 二、粘结修补材料的选择和性能要求

粘结修补材料的性能要求根据修补目的的不同而不同,修补材料的各种物理力学性能和粘结性能必须满足设计要求。

《港口工程混凝土粘结修补技术规程》(JTJ/T 271—1999)对粘结修补材料的规定如下:

### 1. 一般规定

(1) 混凝土修补材料的选择,应根据修补工程的技术要求、施工条件和结构的使用环境条件,结合材料的物理力学性能、工艺性能及材料的供应和费用等因素,综合分析确定。水泥、钢材等材料的品种或性能应与原结构相同品种或性能相近。

(2) 混凝土修补、加固中使用的树脂砂浆、树脂混凝土、聚合物砂浆、聚合物混凝土,应检验其各项有关力学性能,其各项性能指标必须符合设计、施工要求。

(3) 修补工程应选用无毒或低毒的材料。必须使用有毒的材料时,应采取有效措施,防止环境污染和人体中毒。

### 2. 钢材

(1) 混凝土结构加固所用的钢材宜选用 Q235. A 号钢或 16Mn 钢,其质量应符合现行国家标准的规定。

(2) 钢材的焊接宜用手工电弧焊,选择的焊条型号应与主体钢材强度和电位相适应。

(3) 钢材及焊缝的强度设计值,应符合国家现行有关规定。

### 3. 混凝土或砂浆原材料

(1) 修补工程中,混凝土或砂浆所用水泥、细骨料、粗骨料、外加剂、拌和水及混凝土的强度等级的选择应符合《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的规定。结构加固用混凝土等级应比原结构的强度等级提高一级。

(2) 根据工程要求可选用膨胀水泥或快硬水泥。

(3) 在混凝土防渗堵漏工程中,配制防水砂浆的外加剂可选用防水剂、膨胀剂和高效减水剂等。嵌缝止水用的速凝砂浆可采用堵漏剂或水玻璃等促凝剂配制。

(4) 修补工程中聚合物砂浆和聚合物混凝土所用水泥宜优先选用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,水泥质量应符合现行国家标准,严禁使用过期水泥或受潮水泥。

(5) 配制聚合物混凝土、聚合物砂浆所用的细骨料、粗骨料的品质应符合《水运工程混凝土施工规范》的规定。

(6) 拌制聚合物水泥砂浆、聚合物混凝土,宜选用环氧乳液或丙烯酸酯共聚乳液及经过论证符合技术要求的其他聚合物。

(7) 修补工程中,树脂混凝土和树脂砂浆所用水泥应符合本标准的规定。

(8) 配制树脂混凝土、树脂砂浆时,所用砂必须干燥、洁净、质地坚固,必要时可采用标准砂。

(9) 配制树脂混凝土所用粗骨料应选质地坚硬的深成的火成岩或水成岩碎石,其强度应符合《水运工程混凝土施工规范》的规定。

(10) 树脂混凝土、树脂砂浆所用树脂宜选用双酚 A 型环氧树脂,其质量应符合现行国家标准《双酚 A 型环氧树脂》(GB 13657)的规定。

#### 4. 胶粘剂

(1) 混凝土修补工程中选用的胶粘剂及配合使用的各种组分的质量均应符合国家现行有关标准的规定,应有产品合格证,必要时应进行复验检查,使用前必须对其牌号、出厂日期进行核定,不得使用过期或失效的材料。使用时应符合产品说明要求。

(2) 用作恢复混凝土结构强度或建筑物承载力的修补材料,其内聚强度及与混凝土的粘接强度必须高于被粘混凝土强度,且耐久性好,如环氧树脂类、聚氨酯类等结构胶粘剂,有充分论证的其他胶粘剂亦可使用。胶粘剂的性能要按规定进行检测。

(3) 混凝土结构裂缝的修补,宜选用具有粘度低、可灌性好、固化后体积收缩小、固化时间可按施工工艺要求调节等特性的环氧树脂类、甲基丙烯酸酯类或聚氨酯类等灌浆材料。

(4) 老混凝土与修补用混凝土、老混凝土与修补用砂浆之间的粘接,应采用环氧胶粘剂或聚合物砂浆。

(5) 混凝土裂缝防渗堵漏应选用在固化后具有抗渗性、耐久性和一定强度且稳定性好的聚氨酯类等灌浆材料。

### 三、粘结修补材料的检验项目

粘结材料应进行物理力学性能检验,检验项目可根据设计及施工情况确定。粘结材料物理力学性能的检验包括:

#### 1. 粘结材料本身物理力学性能指标的检验

粘结材料的抗压和抗折强度、抗拉强度、冲击强度、环氧树脂有效收缩性。

#### 2. 粘结材料和混凝土的粘结力学性能检验

混凝土和环氧树脂粘结面热相容性、水泥砂浆粘接抗拉强度、混凝土粘结劈裂抗拉强度、混凝土粘结抗剪强度。

### 四、粘结材料的性能检验方法

#### (一) 粘结材料本身的物理力学性能检验

##### 1. 抗压强度及抗折强度

##### 1) 试验设备

(1) 试模应为可装拆的  $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$  三联试模,由隔板、端板、底座等组成,应符合《水泥物理检验仪器胶砂试模》(GB 3350.5)的规定;或  $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 40\text{mm}$  试模。

(2) 抗折试验机应符合《水泥物理检验仪器电动抗折试验机》(GB 3350.3)的规定。

(3) 抗压试验机应为 300kN;抗压夹具应符合 ( $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ ) 水泥抗压夹具)) (JC/T 683) 的规定。

##### 2) 试验步骤

(1) 用修补材料成型 3 条  $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$  的试件,24h 后拆模,将试件置于温度为  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,相对湿度为  $65\% \pm 5\%$  的恒温恒湿室,养护 13d。

(2)采用水泥抗折试验机先对3条试件分别进行抗折试验。

(3)用每条试件经抗折试验后的2个断块进行抗压试验。试件受压面积为40mm×40mm,压力机加荷速度应控制在 $5\pm0.5\text{kN/s}$ 的范围内。

(4)试验结果计算:

抗折强度应按下式计算:

$$R_f = \frac{3P \cdot L}{2b \cdot h^2} = 0.00234P$$

式中: $R_f$ ——抗折强度,MPa;

$P$ ——破坏荷载,N;

$L$ ——支撑圆柱中心距为100mm;

$b$ 、 $h$ ——试体断面宽及高,均为40mm。

抗折强度计算精确至0.01MPa;取3个试件测值的算术平均值作为抗折强度值,当3个试件测值中有1个超过平均值的 $\pm 10\%$ 时,应予以剔除,以其余两个数值平均作为抗折强度试验结果。

抗压强度应按下式计算:

$$R_c = \frac{P}{S}$$

式中: $R_c$ ——抗压强度,MPa;

$P$ ——破坏荷载,N;

$S$ ——受压面积,即40mm×40mm。

抗压强度计算至0.1MPa。

以1组3个棱柱体的6个抗压强度测定值的算术平均值为试验结果,当其中有1个测定值超出6个平均值的 $\pm 10\%$ 时,应剔除这个结果,以其余5个的平均值为结果;当其余5个中再有超过它们平均值 $\pm 10\%$ 时,则此组结果作废:

当用边长为40mm的立方体,抗压强度结果取3个试件测值的算术平均值时,计算至0.1MPa;当单个试件的测值与中间值之差超过中间值的 $\pm 20\%$ 时,则取中间值;当最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的 $\pm 20\%$ 时,则该试验结果无效。

2. 抗拉强度

1) 试验设备

(1) 试验机应为2t的抗拉试验机或万能试验机。

(2) “8”字形钢试模的试模尺寸与允许误差应满足表11-6及图11-1的要求。

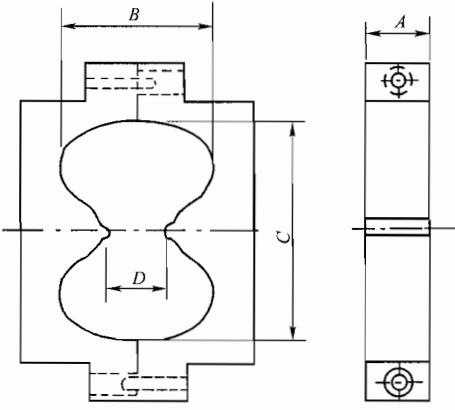


图 11-1 “8”字形钢试模

试模尺寸与允许偏差

表 11-6

符 号		A	B	C	D
规格(mm)		22.2	52.0	78.0	22.5
允许偏差 (mm)	最大	22.3	52.4	78.4	22.6
	最小	22.1	51.6	77.6	22.4



(3) 拉头应使用原水泥硬练标准“8”形字抗拉试验用拉头。加一可在试验机上夹住的传力件,见图 11-2。

## 2) 试验步骤

(1) 用修补材料制作“8”字形试件,以 3 个为 1 组。

(2) 试件成型 24h 后拆模,置于温度为  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,相对湿度为  $65\% \pm 5\%$  恒温恒湿室,养护 13d。

(3) 将“8”字形抗拉夹具安装于抗折试验机上,装上试件进行抗拉试验。

## 3) 计算

修补材料抗拉强度应按下式计算:

$$f_t = \frac{P}{S}$$

式中:  $f_t$ ——修补材料抗拉强度,MPa;

$P$ ——试件拉断时的最大荷载,N;

$S$ ——“8”字形试件的受拉截面积, $\text{mm}^2$ ,为  $500\text{mm}^2$ 。

试验结果以 3 个试件的算术平均值表示,结果计算精确至  $0.01\text{MPa}$ 。

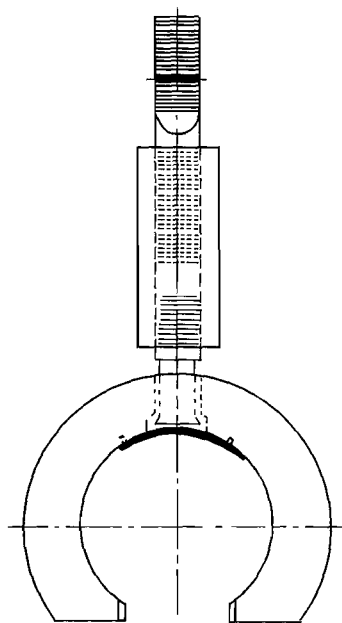


图 11-2 “8”字形抗拉试验用拉头

## 3. 冲击强度

### 1) 试验设备

(1) 简支式冲击试验机,冲击角度应为  $30^\circ$  或  $45^\circ$ ,冲击速度为  $3 \sim 5\text{m/s}$ ;支点跨度应为  $70\text{mm}$ 。

(2) 试件长应为  $120 \pm 1\text{mm}$ ,宽  $15 \pm 0.2\text{mm}$ ,厚  $10 \pm 0.2\text{mm}$ 。试件表面应平整、无气泡、裂纹和机械加工损伤等缺陷。试件应在温度为  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度为  $65\% \pm 5\%$  的恒温恒湿室中养护 10d,每组试件为 5 个。

### 2) 试验步骤:

(1) 测量试件中间部位的宽度和厚度,精确至  $0.05\text{mm}$ ;

(2) 单面加工的试件,加工面应朝向冲击锤;

(3) 核准试验机零点,每作一组试验核准 1 次;

(4) 将试件宽面贴紧在支座上,进行冲击,由刻度尺读取冲断试件所消耗的功;

(5) 凡试件不破断或未破断在试件的三等分中间部位,都应另取试件重新测定。

### 3) 结果计算

试件的冲击强度应按下式计算:

$$R = \frac{W}{b \times d}$$

式中:  $R$ ——冲击强度, $\text{kJ/m}^2$ ;

$W$ ——冲断试件所消耗的功,J;

$b$ ——试件宽度,mm;

$d$ ——试件厚度,mm。

试验结果应以每组试件的算术平均值表示,取 3 位有效数字。

#### 4. 环氧树脂有效收缩性试验

##### 1) 主要试验设备

恒温箱的温度应为  $51.6 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ;  $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ; 相对湿度为  $40\% \pm 10\%$ 。

试模应由聚乙烯板(板厚 3 mm)制作,内型尺寸应为  $90\text{mm} \times 240\text{mm} \times 3\text{mm}$ 。

玻璃板的规格应为  $100\text{mm} \times 250\text{mm} \times 1.8 \sim 2.0\text{mm}$ 。

##### 2) 试验步骤:

(1) 试验所用的材料和设备应提前一天放置在温度为  $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为  $40\% \pm 10\%$  的试验室内:

(2) 试模应擦拭干净,玻璃板用洗涤剂和水冲洗干净后,用棉纱蘸丙酮擦拭两遍,以两个试件为一组:

(3) 应准确称量各组分,并仔细拌和均匀,慢慢倒入试模中直至微微高出,小心用玻璃板盖上,应避免接茬面上有气泡:

(4) 应在每块玻璃板上放置约 225g 重物加压固化 24h:

(5) 应在 24h 后拆模,玻璃板朝下放,继续固化 6d:

(6) 应在温度为  $51.6 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为  $40\% \pm 10\%$  的条件下放置 30min 后立即放入温度为  $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为  $40\% \pm 10\%$  的条件下再放置 30min 为 1 个循环,连续进行 10 次循环后在室内放置 2h。

(7) 观察玻璃板,当两块均未破裂时,该修补材料收缩性应评定为合格。

#### (二) 粘结材料和混凝土的粘结力学性能检验

##### 1. 混凝土和环氧树脂粘接面层热相容性试验

##### 1) 试验设备

冷冻箱温度应保持在  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

##### 2) 试验步骤:

(1) 按《水运工程混凝土试验规程》中的有关规定制作尺寸为  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$  的混凝土试件,以两块为一组。

(2) 1 天后拆模,标准养护 13d 取出,在室内温度为  $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为  $45\% \sim 50\%$ ,风干 14d。

(3) 混凝土顶面采用喷砂法或用钢丝刷处理成粗糙面,并保持干净、干燥。

(4) 将处理完毕的试件顶面四周用木条夹紧,木条上端比混凝土顶面高出 13mm。

(5) 先将试件顶面薄薄涂刷一层环氧基液,随后涂抹 13mm 厚的环氧砂浆。

(6) 在 1 天后拆去木条,在温度为  $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$  的室内固化 10d。

(7) 将试件放到  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  的冷冻箱中 24h 后取出,再放置  $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$  的室内 24h,这样作为 1 个试验循环,连续进行 5 次循环。

(8) 当 2 个试件上环氧砂浆与混凝土之间均不剥离,或接茬面附近的混凝土不出现水平裂缝时,该修补材料与混凝土热相容性应评定为合格。

##### 2. 水泥砂浆粘接抗拉强度测定

##### 1) 试验设备

(1) 采用水泥物理检验电动杠杆式试验机;

(2) “8”字形钢试模;

(3) 使用原水泥硬练标号“8”字抗拉试验用夹具。

## 2) 试验步骤

(1) 制作 40MPa 高强度的“8”字形水泥砂浆, 养护 28d, 室内风干 14d, 备用;

(2) 将准备进行粘接试验的水泥砂浆“8”字形试件中间拉断或锯断, 且勿损伤断面。在试件断裂面涂粘接材料, 并立即将试件按原状在断裂处对接好, 外用橡皮圈箍紧, 置于温度为  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 相对湿度为  $65\% \pm 5\%$  的室内养护 14d 后取出, 在抗折试验机上进行试验。

(3) 测定硬化砂浆与新拌砂浆的粘接强度时, 应将硬化砂浆“8”字形试件的一半置于“8”字钢试模内, 在断裂面上涂上胶粘剂, 然后在“8”字钢试模的另一半充填新拌砂浆, 并用抹刀充分压实, 抹平, 置于养护室养护 28d 后, 在抗折试验机上进行试验。

## 3) 试验结果计算

(1) 用双杠杆抗折试验机测定时, 按下式计算粘接强度:

$$C_t = \frac{50P}{S}$$

(2) 用单杠杆抗折试验机测定时, 按下式计算粘接强度:

$$C_t = \frac{10P}{S}$$

式中:  $C_t$ ——粘接强度, MPa;

$P$ ——试件拉断时的最大荷载, N;

$S$ ——“8”字形试件的受拉截面积,  $\text{mm}^2$ , 为  $500\text{mm}^2$ 。

试验结果以 6 个试件的算术平均值表示, 结果计算精确到 0.01MPa。

## 3. 混凝土粘接劈裂抗拉强度测定

### 1) 试验设备和材料:

(1) 垫条应采用直径为 150mm 的钢制弧形条, 其截面尺寸如图 11-3 所示。

(2) 垫层应用于垫条与试件之间, 系木质三合板或硬质纤维板, 宽 15 ~ 20mm, 厚 3 ~ 4mm, 长度不小于试件边长。垫层不得重复使用。

(3) 应制作混凝土强度大于 C40、 $150\text{mm} \times$

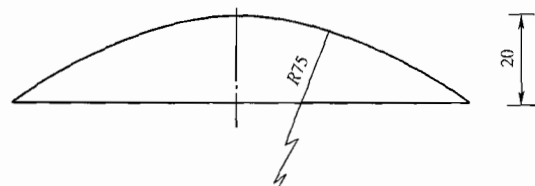


图 11-3 粘接劈裂抗拉用垫条

150mm × 150mm 的试件 3 个, 标准养护到龄期后, 将试件由中部劈开, 保持干燥、干净备用。劈裂面应与试件成型时的顶面垂直。

(4) 压力试验机应符合《水运工程混凝土试验规程》的规定。

(5) 粘接材料应满足修补材料的要求。

### 2) 试验步骤

(1) 按照修补材料配方, 准确称量材料各组分, 依照配制的先后顺序依次加入, 搅拌均匀。

(2) 在混凝土劈裂层面上涂敷胶液, 应做到厚薄均匀, 不露底。当进行硬化混凝土与新拌混凝土的粘接试验时, 可将涂敷胶液的半边试件置于  $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$  的钢试模内, 然后在试模的另一半浇注新拌混凝土, 成型拆模后置于养护室内养护 28d, 并按《水运工程混凝土试验规程》的有关规定测定粘接劈裂抗拉强度。

(3) 按试件原接茬缝, 将混凝土粘接在一起, 平放在平整的台面上, 用丙酮擦去溢露的胶

液,在温度  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度  $65\% \pm 5\%$  的室内固化 14d。

(4)测定粘接劈裂抗拉强度应按《水运工程混凝土试验规程》的相关规定进行。

3)试验结果计算:

粘接劈裂抗拉强度按下式计算:

$$f_w = \frac{2P}{\pi \cdot A}$$

式中: $f_w$ ——混凝土粘接劈裂抗拉强度,MPa;

$P$ ——破坏荷载,N;

$A$ ——试件劈裂面面积, $\text{mm}^2$ 。

粘接劈裂抗拉强度计算至 0.01MPa。取 3 个试件测值的平均值作为该组的粘接劈裂抗拉强度值。当 3 个试件测值中有 1 个与中间值之差超过中间值的 15% 时,应取中间值;当 3 个试件测值中的最大值和最小值,与中间值之差均超过中间值 15% 时,该组试验结果无效。

采用本方法测得的粘接劈裂抗拉强度,当需换算成轴心抗拉强度时,应乘以换算系数 0.9。

#### 4. 混凝土粘接抗剪强度测定

##### 1) 主要试验设备

压力试验机应采用 1 000kN。

##### 2) 试验步骤

(1)制作空心的外尺寸为  $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$  的混凝土试件 A,空心尺寸为  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 。第 2 天拆模后,将 4 个内侧面用钢丝刷刷成粗糙面,放在养护室内标养 28d,取出放入室内风干 14d,备用。

(2)制作  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 200\text{mm}$  试件 B,第 2 天拆模,用钢丝刷刷混凝土试件四侧面成粗糙面,再放入养护室标养 28d,取出,室内风干 14d 备用。

(3)应将塑料垫板预先涂一层机油放入按(1)制作的混凝土试件空心的底端,并封住,用修补材料涂抹余下的四内侧面,将混凝土试件 A 四侧面用修补材料涂抹,但顶端至以下 20mm 不涂抹。

(4)将经过修补材料涂抹的按第混凝土试件 B 套入混凝土试件 B 中。接茬面应充满修补材料,刮去多余的浆液,在温度为  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为  $65\% \pm 5\%$  的室内固化 14d,取出塑料垫板。

(5)当测定新老混凝土粘接抗剪强度时,应用胶粘剂涂抹将混凝土试件 B 顶端至以下 20mm 不涂抹。把涂有一薄层机油的在按(3)款进行试验时使用的塑料垫板放入  $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$  试模中央固定住,并浇筑成型混凝土。

标准养护 7d 拆模,取出塑料垫板,并放在温度为  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为  $65\% \pm 5\%$  的室内固化至 28d。

(6)应将试件安放在压力试验机压板上,突出面朝上,进行剪切试验,以 3 个试件为 1 组。

##### 3) 结果计算

混凝土粘接抗剪强度按下式计算:

$$f_k = \frac{P}{S}$$

式中: $f_k$ ——混凝土粘接抗剪强度,MPa;

$P$ ——破坏荷载, N;

$S$ ——粘接面积,  $\text{mm}^2$ 。

粘接抗剪强度计算精确至 0.1 MPa。

应取 3 个试件测值的平均值作为该组的粘接抗剪强度。当 3 个试件测值中的最大值或最小值与中间值之差超过中间值的 15% 时, 应取中间值; 当 3 个试件测值中的最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时, 该组试验结果无效。

## 五、修补效果的检验

### 1. 外观检验

(1) 修补完工后, 可目测或用放大镜对接头进行外观检验。

(2) 接茬面周边应看见挤出修补材料, 不得留有缝隙。

(3) 水下修补工程可用潜水员或水下电视检验。

### 2. 内部检验

(1) 对修补质量有怀疑时, 可采用钻芯取样、超声波或金属敲击法进行检验。

(2) 采用超声波检验时必须由专门的检验人员根据所用的修补材料及修补结构的具体情况制定实施方案后进行检测。

(3) 对钢板与混凝土的粘接, 可用圆头金属棒敲击粘接钢表面, 凭敲击声音的响度和均匀性判断其修补质量。现场随机制取试件, 应进行有关的力学性能检测, 必要时进行荷载试验。

### 3. 压水检验

(1) 采用灌浆法进行裂缝修补的工程, 可按《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 的有关规定进行压水试验, 检验修补结果。

(2) 用压水试验方法检验灌浆效果时, 吸水率小于  $0.01\text{L}/\text{min} \cdot \text{m}$ , 应评定为合格。

## 第十二章 砖及混凝土路面砖的质量检验

砖及混凝土路面砖,在水运工程中,应用较多的主要为预制四边形、六边形铺砌块和混凝土连锁块,主要用于码头后方堆场、道路面层及坡面的铺砌,特别是连锁块,因其美观实用、使用性能好、便于施工维护、适应地基不均匀沉降等,在集装箱码头堆场中得到广泛应用。

### 第一节 定义、种类及主要技术标准

#### 一、定义、种类

##### 1. 砖或砌块

砖或砌块是以黏土、工业废料或其他地方资源为主要原料,用不同工艺制成的,主要用于砌筑墙体。砖和砌块按生产方式、主要原料以及外形特征可分为烧结普通砖、蒸压灰砂砖、烧结多孔砖、烧结空心砖和空心砌块、非烧结普通黏土砖、混凝土小型空心砌块、粉煤灰砖等。烧结普通砖等砖的公称尺寸为:长度 240mm,宽度 115mm,厚度 53mm。

##### 2. 混凝土路面砖(块)

混凝土路面砖一般是以水泥和集料为主要原材料,经加压、振动加压或其他成型工艺制成的,用于铺设人行道、车行道、广场、仓库等。其表面可以是由面层(料)的或无面层(料)的,本色的或彩色的。按路面砖形状可分为普通型路面砖和连锁型路面砖。普通型路面砖代号为 N,连锁型路面砖代号为 S。

#### 二、主要技术标准

- (1) 烧结普通砖(GB 5101—2003)
- (2) 普通混凝土小型空心砌块(GB 8239—1997)
- (3) 砌墙砖试验方法(GB/T 2542—2003)
- (4) 混凝土小型空心砌块试验方法(GB/T 4111—1997)
- (5) 混凝土路面砖(JC/T 446—2000)
- (6) 无机地面材料耐磨性试验方法(GB/T 12988—1991)
- (7) 混凝土及其制品耐磨性试验方法(滚珠轴承法)(GB/T 16925—1997)
- (8) 水运工程质量检验标准(JTS 257—2008)

### 第二节 主要技术指标

#### 一、外观质量

路面砖的外观质量应符合表 12-1 的规定。

外观质量 单位:mm 表 12-1

项 目		优等品	一等品	合格品
正面粘皮及缺损的最大投影尺寸, ≤		0	5	10
缺棱掉角的最大投影尺寸, ≤		0	10	20
裂纹	非贯穿裂纹长度最大投影尺寸, ≤	0	10	20
	贯穿裂纹	不允许		
分层		不允许		
色差、杂色		不明显		

## 二、尺寸偏差

路面砖的尺寸允许偏差应符合表 12-2 的规定。

尺寸允许偏差 单位:mm 表 12-2

项 目	优 等 品	一 等 品	合 格 品
长度、宽度	±2.0	±2.0	±2.0
厚度	±2.0	±3.0	±4.0
厚度差	≤2.0	≤3.0	≤3.0
平整度	≤1.0	≤2.0	≤2.0
垂直度	≤1.0	≤2.0	≤2.0

## 三、力学性能

根据路面砖边长与厚度比值,选择做抗压强度或抗折强度试验,其力学性能须符合表 12-3 的规定。

力学性能 单位:MPa 表 12-3

边长/厚度	<5		≥5		
抗压强度等级	平均值 ≥	单块最小值 ≥	抗折强度等级	平均值 ≥	单块最小值 ≥
$C_c30$	30.0	25.0	$C_f3.5$	3.50	3.00
$C_c35$	35.0	30.0	$C_f4.0$	4.00	3.20
$C_c40$	40.0	35.0	$C_f5.0$	5.00	4.20
$C_c50$	50.0	42.0	$C_f5.0$	6.00	5.00
$C_c60$	60.0	50.0	—	—	—

## 四、物理性能

路面砖物理性能须符合表 12-4 的规定。

物 理 性 能

表 12-4

质量等级	耐 磨 性		水率(%) ≤抗冻性	抗 冻 性
	磨坑长度(mm) ≤	耐磨度 ≥		
优等品	28.0	1.9	5.0	冻融循环试验后,外观质量须符合表 12-1 的规定;强度损失不得大于 20.0%
一等品	32.0	1.5	6.5	
合格品	35.0	1.5	8.0	
注:磨坑长度与耐磨度二项试验只做一项即可。				

## 五、《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)对混凝土连锁块的质量要求

混凝土连锁块的质量应符合表 12-5 的规定。

混凝土连锁块的质量要求

表 12-5

序 号	项 目		质 量 要 求	
			C50	C60
1	抗压强度(MPa)	平均值	不小于 50	不小于 60
		单块最小值	不小于 42	不小于 50
2	吸水率(%)		不大于 7	
3	抗冻性		经 25 次冻融循环试验后,强度损失不大于 25%	
4	尺寸允许偏差(mm)	厚度	±3	
5		边长	±3	
6		侧面倾斜	2	
7	裂纹		不允许	
8	分层			
9	表面粘皮			
10	掉角尺寸(mm)		两边破坏尺寸不得同时大于 5	

注:①对抗冻要求的工程,序号 3 项目可不检验;

②对设计有抗折强度要求的,连锁块的抗折强度尚应满足设计要求。

## 第三节 检测项目、取样原则及判定规则

### 一、检测项目

1. 《混凝土路面砖》(JC/T 446—2000)的规定

出厂检验项目:外观质量、尺寸偏差、强度、吸水率。

2. 《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)的规定

混凝土路面块必检项目:强度、吸水率,其他:抗冻性。



## 二、取样原则

### 1. 《混凝土路面砖》(JC/T 446—2000)的规定

(1) 每批路面砖应为同一类别、同一规格、同一等级,每 20 000 块为一批,不足 20 000 块,亦按一批计;超过 20 000 块,批量由供需双方商定。

(2) 外观质量检验的试件,抽样前预先确定好抽样方法,按随机抽样法从每批产品中抽取 50 块路面砖,使所抽取的试件具有代表性。

(3) 规格尺寸检验的试件,从外观质量检验合格的试件中按随机抽样法抽取 10 块路面砖。

(4) 物理、力学性能检验的试件,按随机抽样法从外观质量及尺寸检验合格的试件中抽取 30 块路面砖(其中 5 块备用)。物理、力学性能试验试件的龄期为不少于 28d。

### 2. 《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)的规定

按照《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008),混凝土路面块的抽样组批原则为:以同一块型、同一强度等级,每 50000 块为一批,不足 50000 块,亦按一批计。

## 三、判定规则

《混凝土路面砖》(JC/T 446—2000)的规定:

### 1. 外观质量

在 50 块试件中,根据不合格试件的总数( $K_1$ )及二次抽样检验中不合格(包括第一次检验不合格试件)的总数( $K_2$ )进行判定。

若  $K_1 \leq 3$ ,可验收;若  $K_1 \geq 7$ ,拒绝验收;若  $4 \leq K_1 \leq 6$ ,则允许进行二次抽样检验。

若  $K_2 = 2$ ,可验收;若  $K_2 \geq 3$ ,拒绝验收。

### 2. 尺寸偏差

在 10 块试件中,根据不合格试件的总数( $K_1$ )及二次抽样检验中不合格(包括第一次检验不合格试件)的总数( $K_2$ )进行判定。

若  $K_1 \leq 1$ ,可验收;若  $K_1 \geq 3$ ,拒绝验收;若  $K_1 = 2$ ,则允许进行二次抽样检验。

若  $K_2 \leq 8$ ,可验收;若  $K_2 \geq 9$ ,拒绝验收。

### 3. 物理力学性能

经检验,各项物理力学性能都符合某一等级规定时,判该项为相应等级。

### 4. 总判定

所有项目的检验结果都符合某一等级规定时,判为相应等级,有一项不符合合格品等级规定时,判为不合格品。

## 第四节 检验方法

### 一、抗压强度试验

#### 1. 试验设备

##### (1) 试验机

试验机可采用压力试验机或万能试验机。试验机的示值相对误差应不大于  $\pm 1\%$ 。试件

的预期破坏荷载值不小于试验机全量程的 20% ,也不大于全量程的 80% 。

(2) 垫压板

采用厚度不小于 30mm、硬度应大于 HB200、平整光滑的钢质垫压板,垫压板的长度和宽度根据路面砖公称厚度按表 12-6 选取。

垫 压 板 尺 寸                      单位:mm                      表 12-6

试件公称厚度	垫 压 板	
	长 度	宽 度
≤60	120	60
80	160	80
100	200	100
≥120	240	120

试件厚度不小于 0.9 倍有效使用边长时,可以不用垫压板;试件厚度大于等于 100mm,使用 200mm × 100mm 垫压板大于试件受压面时,可选择 160mm × 80mm 垫压板。

2. 试件

(1) 试件数量为 5 块;

(2) 试件的两个受压面应平行、平整,否则应对受压面磨平或用水泥净浆抹面找平处理,找平层厚度小于等于 5mm。

3. 试验步骤

(1) 清除试件表面的粘渣,毛刺,放入室温水浸泡 24h。

(2) 将试件从水中取出用拧干的湿毛巾擦去表面附着水,放置在试验机下压板的中心位置,然后将垫压板放在试件的上表面中心对称位置(图 12-1)。

(3) 启动试验机,匀速连续地加荷,加荷速度为 0.4 ~ 0.6MPa/s,直至试件破坏,记录破坏荷载( $P$ )。

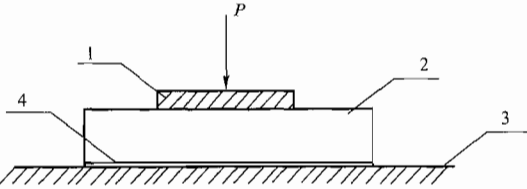


图 12-1 抗压试验试件装置

1-垫压板;2-试件;3-试验机下压板;4-抹面找平层

4. 结果计算与评定

抗压强度按式(12-1)计算:

$$R_c = \frac{P}{A} \tag{12-1}$$

式中: $R_c$ ——抗压强度,MPa;

$P$ ——破坏荷载,N;

$A$ ——试件上垫压板面积,或试件受压面积, $\text{mm}^2$ 。

结果以 5 块试件抗压强度的平均值和单块最小值表示,计算精确至 0.1MPa。

二、抗折强度试验

1. 试验设备

(1) 试验机

试验机可采用抗折试验机、万能试验机或带有抗折试验架的压力试验机。试验机的示值

相对误差应不大于  $\pm 1\%$ 。试件的预期破坏荷载值不小于试验机全量程的 20%，也不大于全量程的 80%。

### (2) 支座及加压棒

支座的两个支承棒和加压棒的直径为 40mm，材料为钢质，其中一个支承棒应能滚动并可自由调整水平。

### 2. 试件

试件数量为 5 块。

### 3. 试验步骤

(1) 清除试件表面粘渣、毛刺，放入室温水中浸泡 24h。

(2) 将试件从水中取出用拧干的湿毛巾擦去表面附着水，顺着长度方向外露表面朝上置于支座上(图 12-2)所示。抗折支距为度件厚度的 4 倍。在支座及加压棒与试件接触面之间应垫有 3~5mm 厚的胶合板垫层。

(3) 启动试验机，连续均匀地加荷，加荷速度为 0.04~0.06MPa/s，直至试件破坏。记录破坏荷载( $P$ )。

### 4. 结果计算与评定

抗折强度按式(12-2)计算：

$$R_f = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (12-2)$$

式中： $R_f$ ——抗折强度，MPa；

$P$ ——破坏荷载，N；

$l$ ——两支座间的中心距离，mm；

$b$ ——试件宽度，mm；

$h$ ——试件厚度，mm。

结果以 5 块试样抗折强度的平均值和单块最小值表示，计算精确至 0.01MPa。

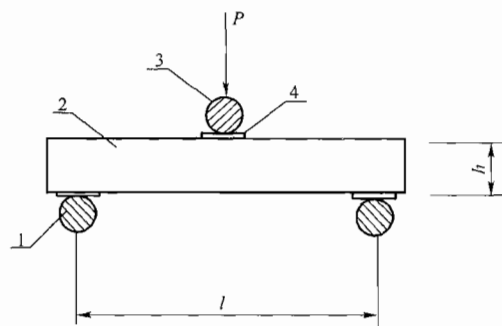


图 12-2 抗折试验试件装置  
1-支座；2-试件；3-加压棒；4-胶合板垫层

## 三、外观质量

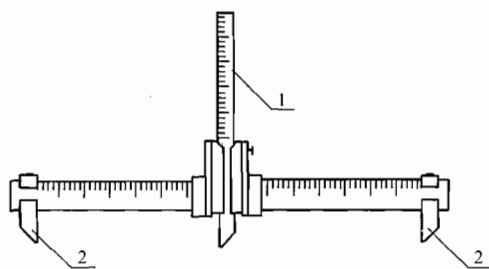


图 12-3 砖用卡尺  
1-垂直尺；2-支脚

### 1. 量具

砖用卡尺(图 12-3)或精度不低于 0.5mm 其他量具。

### 2. 测量方法

#### (1) 正面粘皮及缺损

测量正面粘皮及缺损处对应路面砖边的长、宽两个投影尺寸，精确至 0.5mm(图 12-4)。

#### (2) 缺棱掉角

测量缺棱、掉角处对应路面砖棱边的长、宽、

厚三个投影尺寸,精确至0.5mm(图12-5)。

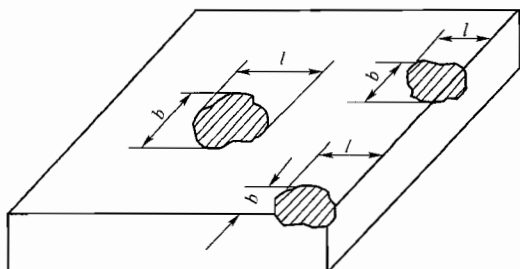


图12-4 正面粘皮及缺损测量方法  
 $l$ -长度方向投影尺寸; $b$ -宽度方向投影尺寸

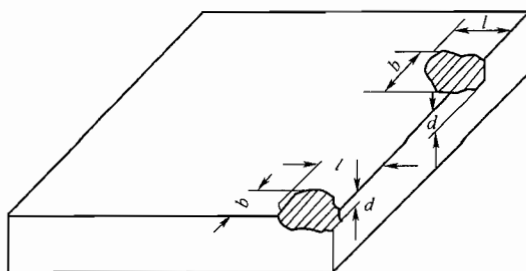


图12-5 缺棱、掉角尺寸的测量  
 $l$ -长度方向投影尺寸; $b$ -宽度方向投影尺寸; $d$ -厚度方向的投影尺寸

### (3) 裂纹

测量裂纹所在面上的最大投影长度;若裂纹由一个面延伸至其他面时,测量其延伸的投影长度之和,精确至0.5mm(图12-6)。

### (4) 分层

对路面砖的侧面进行目测检验。

### (5) 色差、杂色

在平坦地面上,将路面砖铺成大小小于 $1\text{m}^2$ 的正方形,在自然光照或功率不低于40W日光灯下,距1.5m处用肉眼观察检验。

## 四、规格尺寸

### 1. 量具

砖用卡尺(如图12-3)或精度不低于0.5mm其他量具。

### 2. 测量方法

#### (1) 长度、宽度、厚度和厚度差

测量矩形路面砖长度和宽度时,分别测量路面正面离角部10mm处对应平行侧面(图12-7),分别测量两个长度值和宽度值;联锁型路面砖测量由供货方提供路面砖标识尺寸的长度、宽度。厚度分别测量路面砖宽度中间距边缘10mm处。两厚度测量值之差为厚度差(图12-7)。测量值分别精确至0.5mm。

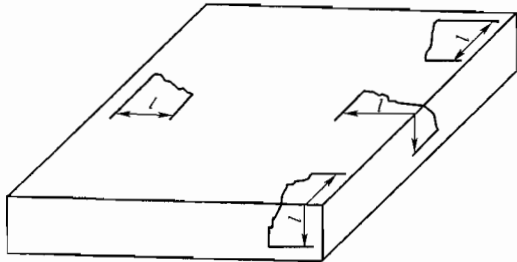


图12-6 裂纹长度的测量  
 $l$ -裂纹投影尺寸

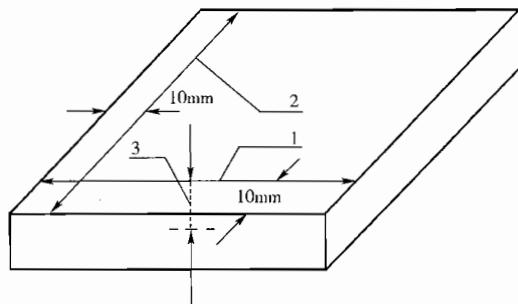


图12-7 长度、宽度、厚度的测量  
1-长度;2-宽度;3-厚度

#### (2) 平整度

砖用卡尺支角任意放置在路面砖正面上四周边缘部位,滑动砖用卡尺中间测量尺,测量路面砖表面上最大凸凹处。精确至 0.5mm(图 12-8)。

### (3) 垂直度

使砖用卡尺尺身紧贴路面砖的正面,一个支角顶住砖底的棱边,从尺身上读出路面砖正面对应棱边的偏离数值作为垂直度偏差,每一棱边测量两次,记录最大值,精确至 0.5mm(图 12-9)。

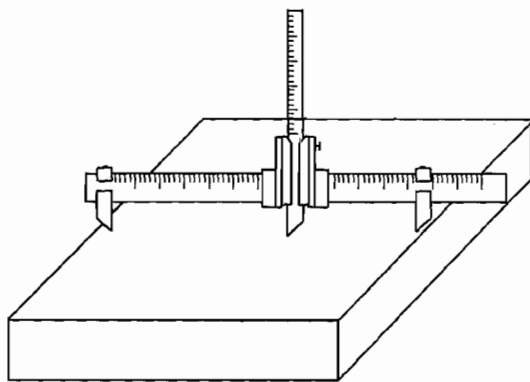


图 12-8 平整度的测量

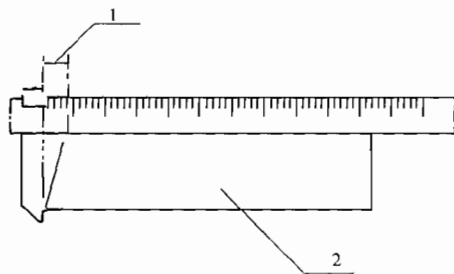


图 12-9 垂直度的测量

1-垂直度;2-路面砖

## 五、吸水率

### 1. 试验设备

- (1)天平:称量 10kg,感量 5g;
- (2)烘箱:能使温度控制在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 。

### 2. 试件

试件数量为 5 块,取整块路面砖。当质量大于 5kg 时,可从整块路面砖上切取  $4.5 \pm 0.5\text{kg}$  的部分路面砖。

### 3. 试验步骤

将试件置于温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱内烘干,每间隔 4h 将试件取出分别称量一次,直至两次称量差小于 0.1% 时,视为试件干燥质量( $m_0$ )。

将试件冷却至室温后侧向直立在水槽中,注入温度为  $20 \pm 10^\circ\text{C}$  的洁净水,将试件浸没水中,使水面高出试件约 20mm。

浸水 24h,将试件从水中取出,用拧干的湿毛巾擦去表面附着水,分别称量一次,直至前后两次称量差小于 0.1% 时,为试件吸水 24h 质量( $m_1$ )。

### 4. 结果计算与评定

吸水率按式(12-3)计算:

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (12-3)$$

式中: $w$ ——吸水率,%;

$m_1$ ——试件干燥的质量,g;

$m_0$ ——试件干燥的质量,g。

结果以 5 块试件的平均值表示,计算精确至 0.1%。

## 第十三章 混凝土的质量检验

混凝土是目前世界上用量最大的建筑材料,年用量接近 90 亿吨。混凝土也是人类最早应用的建筑材料之一。最早的混凝土应用可以追溯至公元前 5000 年。由于其取材方便、性能多样、具有可塑性,近现代的工程中,混凝土得到了广泛的应用。在现代水运工程中,混凝土更是不可或缺的重要工程材料,几乎在所有的水工建筑物中都能看到混凝土的存在。

### 第一节 概 述

#### 一、混凝土的定义

混凝土是由无机胶凝材料(如石灰、石膏、水泥等)和水,或有机胶凝材料(如沥青、树脂等)的胶状物,与集料按一定比例配合搅拌,并在一定温湿条件下养护硬化而成的一种复合材料。

#### 二、混凝土分类

混凝土品种繁多,其分类方法也各不相同。一般按胶凝材料分为无机和有机混凝土;按集料分为重集料、普通集料、轻集料、无细集料和无粗集料混凝土;按用途分为水工混凝土、海工混凝土、道路混凝土、耐热混凝土等;按施工工艺分为现浇和预制混凝土;按配筋方式分为无筋和有筋两种。

#### 三、混凝土的组成与结构

##### 1. 混凝土的组成

混凝土一般由水泥、水、粗、细集料组成。其中水泥与水构成水泥浆在水泥硬化前起到润滑作用,在硬化后起胶结作用,集料起骨架填充作用,水泥与水反应后形成坚固的水泥石,将集料牢固地粘结成整体。

对于混凝土中的水泥、水、粗、细集料的特性和技术要求请详见本书其他章节的描述。

##### 2. 混凝土结构特点

(1)混凝土为典型的多相结构,内部包括以硬化水泥浆、粗细集料为主的固相;以毛细孔水为主的液相;以空气中的饱和水蒸气为主的气相。

##### (2)过渡区

过渡区是围绕在集料颗粒表面的一层厚度为  $10 \sim 20 \mu\text{m}$  的薄壳,它是由  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  和钙矾石结晶后形成的。其强度较之硬化的水泥浆和集料都要低得多,往往成为混凝土结构中的薄弱环节。

##### (3)水的存在形式

水在混凝土中以化合水,晶体水,自由水,层间水的不同形式存在着。部分的水会在环境湿度下降或温度升高的情况下逐步失去。

(4)孔隙

普通混凝土中存在大量的孔隙,一般地说,普通混凝土的孔隙率为 1% 左右。混凝土中的孔隙的存在形式为 CSH 层间孔、毛细孔、气孔。

第二节 混凝土的质量要求

一、基本要求

工程中所使用的混凝土,必须满足以下的基本要求:

- (1)拌和物应具有和易性和均匀性,便于施工时的浇筑与振捣,保证硬化混凝土的质量;
- (2)混凝土强度应达到设计要求的强度;
- (3)混凝土应具有耐久性能,满足抗冻、抗渗、抗侵蚀等要求。
- (4)在保证质量的前提下,配合比应经济合理。

二、相关规范的具体规定

《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269)、《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)、《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)、《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)对混凝土拌和物、混凝土强度和混凝土耐久性三方面的质量提出了要求,综合总结归纳如下:

1. 混凝土拌和物

(1)和易性要求

不同种类混凝土的合易性要求见表 13-1。

混凝土坍落度选用值 表 13-1

混凝土种类	坍 落 度(mm)
素混凝土	10 ~ 30
配筋率不超过 1.5% 的钢筋混凝土、预应力混凝土	30 ~ 50
配筋率超过 1.5% 的钢筋混凝土、预应力混凝土	50 ~ 70

(2)均匀性要求

当混凝土配合比、组成材料、搅拌设备或搅拌时间变更时,应检测混凝土拌和物的均匀性。混凝土拌和物均匀性的检测方法应符合现行国家标准《混凝土搅拌机性能试验方法》(GB 4477)的有关规定。混凝土拌和物均匀性检测结果应符合下列规定:

- 混凝土中砂浆密度测定值的相对误差不应大于 0.8%。
- 单位体积混凝土中粗骨料含量测值的相对误差不应大于 5%。

(3)含气量的要求

有抗冻要求的混凝土(包括最冷月月平均气温在 0℃ 以上,但有偶然受冻情况的海水环境所用的混凝土)含气量应控制在表 13-2 所列的范围内。

混凝土含气量选择范围

表 13-2

骨料最大粒径(mm)	含气量(%)	骨料最大粒径(mm)	含气量(%)
10.0	5.0~8.0	40.0	3.0~6.0
20.0	4.0~7.0	63.0	3.0~5.0
31.5	3.5~6.5		

注:泵送混凝土含气量选择范围不在此列。

(4) 氯离子含量的要求(表 13-3)

混凝土拌和物中氯离子的最高限值(按水泥重量百分比计)

表 13-3

环境条件	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
海水环境	0.06	0.10	1.30
淡水环境	0.06	0.30	1.30

2. 混凝土强度

(1) 不同暴露部位混凝土最低强度等级应符合表 13-4 的规定。

不同暴露部位混凝土最低强度等级

表 13-4

地区	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
南方	C30	C40	C30	C25
北方	C30	C35	C30	C25

(2) 强度均匀性要求:

罐盘内混凝土抗压强度的变异系数不宜大于 5%, 其值可按式确定:

$$\delta_b = \frac{\sigma_b}{\mu_{\text{fou}}} \times 100\%$$

式中:  $\delta_b$ ——罐内混凝土抗压强度的变异系数, %;

$\sigma_b$ ——罐内混凝土抗压强度的标准差,  $\text{N}/\text{mm}^2$ ;

$\mu_{\text{fou}}$ ——统计周期内  $n$  组混凝土试件立方体抗压强度的平均值,  $\text{N}/\text{mm}^2$ 。

3. 混凝土耐久性

(1) 抗冻等级要求

水位变动区有抗冻要求的混凝土, 其抗冻等级不应低于表 13-5 的规定。面层应选用比水位变动区抗冻等级低 2~3 级的混凝土。开敞式码头和防波堤等建筑物混凝土, 宜选用比同一地区高一级的抗冻等级或采用其他措施。

水位变动区混凝土抗冻等级选定标准

表 13-5

建筑物所在地区	海水环境		淡水环境	
	钢筋混凝土及预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土及预应力混凝土	素混凝土
严重受冻地区(最冷月月平均气温低于 $-8^{\circ}\text{C}$ )	F350	F300	F250	F200
受冻地区(最冷月月平均气温低于 $-4 \sim -8^{\circ}\text{C}$ )	F300	F250	F200	F150
微冻地区(最冷月月平均气温低于 $0 \sim -4^{\circ}\text{C}$ )	F250	F200	F150	F100



## (2) 抗渗等级要求

有抗渗要求的混凝土,根据最大作用水头与混凝土壁厚之比,其抗渗等级应符合表 13-6 的要求。南方海港工程浪溅区混凝土,其抗氯离子渗透性不应大于 2000C。

混凝土抗渗等级选定标准

表 13-6

最大作用水头与混凝土壁厚之比	抗 渗 等 级
<5	W4
5 ~ 10	W6
11 ~ 15	W8
16 ~ 20	W10
> 20	W12

## (3) 最大允许水灰比要求:

按耐久性要求,海水环境及淡水环境混凝土水灰比最大允许值应符合表 13-7 和表 13-8 的规定。

海水环境混凝土的水灰比最大允许值表

表 13-7

环 境 条 件		钢筋混凝土、预应力混凝土		素 混 凝 土	
		北方	南方	北方	南方
大气区		0.55	0.50	0.65	0.65
浪溅区		0.50	0.40	0.65	0.65
水位变动区	严重受冻	0.45		0.45	
	受冻	0.50		0.50	
	微冻	0.55		0.55	
	偶冻、不冻		0.50		0.65
水 下 区	不受水头作用		0.60	0.60	0.65
	受 水 头 作 用	最大作用水头与混凝土壁厚之比 < 5	0.60		
		最大作用水头与混凝土壁厚之比为 5 ~ 10	0.55		
		最大作用水头与混凝土壁厚之比 > 10	0.50		

淡水环境混凝土的水灰比最大允许值表

表 13-8

环 境 条 件		钢筋混凝土、预应力混凝土	素 混 凝 土
水上区	受水汽积聚或通风不良	0.60	0.70
	不受水汽积聚或通风良好	0.65	0.70
	严重受冻	0.55	0.55
水位 变动区	受冻	0.60	0.60
	微冻	0.65	0.65
	偶冻、不冻	0.65	0.70

续上表

环境条件			钢筋混凝土、预应力混凝土	素混凝土
水下区	不受水头作用		0.65	0.70
	受水头作用	最大作用水头与混凝土壁厚之比 <5	0.60	
		最大作用水头与混凝土壁厚之比为 5~10	0.55	
		最大作用水头与混凝土壁厚之比 >10	0.50	

(4)最低和最高水泥用量的限制

按耐久性要求,海水环境混凝土的最低水泥用量应符合表 13-9 的规定,但不宜超过 500kg/m<sup>3</sup>。

海水环境混凝土的最低水泥用量 表 13-9

环境条件		钢筋混凝土、预应力混凝土 (kg/m <sup>3</sup> )		素混凝土 (kg/m <sup>3</sup> )	
		北方	南方	北方	南方
大气区		300	360	280	280
浪溅区		360	400	280	280
水位变动区	F350	395		395	
	F300	360	360	360	280
	F250	330		330	
	F200	300		300	
水下区		300	300	280	280

当所用骨料经检验表明具有活性时,对于淡水环境,每立方米混凝土的总含碱量应不大于 3.0kg;对于海水环境不得采用活性骨料。

第三节 水运工程不同施工工艺对混凝土材料及配比的特殊要求

一、水下混凝土施工

- 1)当用导管法、泵压法、吊罐法浇筑普通水下混凝土时,应符合下列要求:
- (1)陆上配制强度应比设计强度标准值提高 40%~50%。
- (2)应加入减水剂或引气剂,并适当提高砂率改善其和易性。
- (3)粗骨料宜用卵石,最大粒径不得大于导管内径的 1/4 和钢筋间距的 1/4,并不得大于 40mm。
- (4)混凝土的坍落度宜按表 13-10 选择。

表 13-10

施 工 方 法	坍落度 (mm)	施 工 方 法	坍落度 (mm)
导管法、泵压法	160~220	吊罐法	180~220

- 2) 采用夯击法施工时,混凝土坍落度宜保持在 70 ~ 100mm。
- 3) 采用振捣法浇筑水下混凝土时,混凝土坍落度宜保持在 30 ~ 60mm。
- 4) 采用袋装堆筑法施工时,混凝土坍落度保持在 50 ~ 70mm。

## 二、泵送混凝土施工

### 1. 材料要求

泵送混凝土所用材料除应符合相关规定外,还应符合下列要求:

- (1) 粗骨料最大粒径,碎石应不小于泵送管内径的 1/3,卵石应小于 1/2.5,并不得超过混凝土构件截面最小尺寸的 1/4 和钢筋最小净距的 3/4;
- (2) 砂子细度模数宜在 2.4 ~ 2.9 之间(中砂),通过 0.315mm 筛孔的砂不宜不少于 15%;
- (3) 宜掺用粉煤灰,但应先进行试验,符合要求后方可使用;
- (4) 宜掺用泵送剂或减水剂;
- (5) 有抗冻要求的混凝土,在送剂的同时尚应掺入引气剂。

### 2. 配合比设计要求

(1) 混凝土拌和物的坍落度应考虑泵送高度、水平距离和气候等因素的影响,宜为 80 ~ 200mm,对不同泵送高度可按表 13-11 选用。

表 13-11

泵送高度(m)	坍落度(mm)	泵送高度(m)	坍落度(mm)
< 30	100 ~ 140	60 ~ 100	160 ~ 180
30 ~ 60	140 ~ 160	> 100	180 ~ 200

(2) 最小水泥用量应根据管径、距离、坍落度、骨料种类、气候条件等因素确定,无抗冻要求的混凝土不得小于  $300\text{kg}/\text{m}^3$ ,有抗冻要求的混凝土不得小于  $340\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(3) 砂率应根据粗骨料粒径、水泥用量和拌和物的和易性综合分析确定,宜在 38% ~ 44% 的范围内。

(4) 有抗冻要求的泵送混凝土,含气量应控制在 5% ~ 7% 的范围内。

## 三、真空脱水混凝土施工

- (1) 石子可采用中断级配,当要求同时提高强度、节约水泥时,宜采用连续级配;
- (2) 混凝土拌和物坍落度宜选用 40 ~ 60mm,在混凝土厚度大,脱水率小或表面平整度要求高的情况下,宜选用 20 ~ 40mm。

## 四、管桩混凝土施工

### 1. 材料要求

(1) 管桩宜采用标号不低于 52.5 号的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥,其质量要求应符合国家现行标准。

(2) 管桩细骨料应采用洁净的天然硬质砂,细度模数为 2.3 ~ 3.0。

(3) 管桩粗骨料应采用碎石,其最大粒径不大于 25mm,且不超过钢筋净距的 3/4。

### 2. 配合比设计要求

(1) 先张法离心预应力混凝土强度不低于 C60,离心高强预应力混凝土不低于 C80,后张

- 悬滚碾压振动成型及立式振动成型混凝土强度不低于 C60；
- (2) 采用先张法离心成型的混凝土,水灰比不宜大于 0.30。坍落度宜控制在  $70 \pm 20\text{mm}$ ；
  - (3) 采用悬滚碾压振动及立式振动成型的混凝土,水灰比不宜小于 0.40,工作度宜控制在 40s。
  - (4) 砂率宜根据骨料粒径、水泥用量和拌和物的和易性综合分析确定,宜在 35% ~ 38% 的范围内。

第四节 高性能混凝土

一、高性能混凝土简介

在大跨度桥梁结构、水工离岸构造物、超高层建筑物、大型水利水电工程构造物的施工与建设中,人们越来越多的发现到普通水泥混凝土或者说传统混凝土的一些无法避免的缺陷,如:较低的强度、耐久性差、工作性差、在较为严酷的环境中不便于浇捣、容易离析等问题,随着各国学者通过各种技术手段对这些问题的一一解决,一种新形态的混凝土逐渐浮出水面,这就是高性能混凝土。

近年来,高性能混凝土(HPC)得到了人们的普遍关注,它具有高耐久性、高尺寸稳定性、良好的工作性和较高强度,特别是它的高抗氯离子渗透性,从根本上显著提高了混凝土本身的护筋性能,使许多国家把高性能混凝土作为跨世纪的新建筑材料。经工程证实,HPC 可用混凝土的常规材料与施工工艺,以严格的材料选择、配合和质量控制,经济可靠地建造高耐久性的海港工程混凝土结构,因此,HPC 可视为提高新建海港工程混凝土结构耐久性的首选措施。

1. 定义

高性能混凝土是相对普通混凝土而言,是指用混凝土的常规材料、常规工艺,在常温下,以低水胶比、大掺量优质掺合料和较严格的质量控制制作的高耐久性、高尺寸稳定性、良好工作性及较高强度的混凝土。

2. 分类和标识

高性能混凝土一般按照其技术性质要求及指标等级进行分类。高性能混凝土的分类可按表 13-12 进行分类。

由于高性能混凝土种类较多,根据不同的施工条件或设计要求,可能会对高性能混凝土有两项或两项以上的性能要求,为了地标识高性能混凝土高强度,定义高性能混凝土的标识由名称代号、高性能类别、强度等级和导电量构成。其结构为:HPC - 高性能类别 - 强度等级 - 导电量。例如:HPC - D10 - C60 - 500 表示强度等级 C60、导电量 500 库仑的抗腐蚀高性能混凝土。

高性能混凝土分类 表 13-12

要 求		指 标	分 类	标 识
强度等级		C50 ~ C80	高强高性能混凝土	S1
		C80 ~ C100	超高强高性能混凝土	S2
工 作 性	坍落度( cm)	< 14	自密实混凝土	/
		14 ~ 18		
		> 18		

续上表

要 求		指 标	分 类	标 识
工 作 性	扩展度(cm)	<40	自密实混凝土	/
		40 ~ 50		
		>50		
耐 久 性	导电量(库仑)	< 500	超耐久高性能混凝土	D1
		500 ~ 1000	耐久高性能混凝土	D2
	抗冻性	F300	高抗冻高性能混凝土	D3
		> F300	超抗冻高性能混凝土	D4
	抗火性	耐火极限 4h	防火混凝土	D5
		耐火极限 > 4h	抗火混凝土	D6
	耐磨性	按工程要求	按工程要求	D7
	碱集料反应	不允许或有抑制碱集料反应对策	抑制碱集料反应高性能	D8
	抗中性化	≥ C60 不考虑, C50 ~ C60 根据工程部位要求	/	D9
	抗硫酸盐	抵抗 $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 腐蚀措施	抗腐蚀高性能混凝土	D10
体 积 稳 定 性	抗除冰盐	$Cl^-$	抗除冰盐腐蚀混凝土	D11
	干燥收缩	不大于 $(5 \sim 8) \times 10^{-4}$	高性能混凝土基本要求	/
	自收缩	不大于 $(400 \sim 800) \times 10^{-6}$		

### 3. 材料组成

一般的观点认为,除了和普通水泥混凝土一样包含水泥、水、粗细集料以外,高性能混凝土的基本组成材料中还应包括第五组分和第六组分,即活性超细粉掺合料和高效外加剂。

## 二、高性能混凝土在水运工程中的应用

### (一) 高性能混凝土

JTJ 275—2000《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》中对高性能混凝土有如下的规定:

#### 1. 一般规定

(1) 对暴露于浪溅区的混凝土,宜采用高性能混凝土。

(2) 海港工程所采用的高性能混凝土,除应具有高耐久性,高抗氯离子渗透性,高尺寸稳定性外,尚应具有良好的工作性及较高强度。

(3) 配制高性能混凝土应选用优质水泥、级配良好的优质骨料,同时掺加优质掺合料和与水泥匹配的高效减水剂。

(4) 高性能混凝土除应符合本节有关规定外,尚应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》和《水运工程混凝土施工规范》的有关规定。

#### 2. 高性能混凝土质量

高性能混凝土的技术指标应符合表 13-13 的规定。

高性能混凝土的技术指标 表 13-13

混凝土拌和物			硬化混凝土	
水胶比	胶凝物质总量 (kg/m³)	坍落度 (mm)	强度等级	抗氯离子渗透性 (C)
≤0.35	>400	≥120	≥C45	≤1 000

注:抗氯离子渗透性试验用的混凝土试件应在标准条件下养护 28d,试验应在 35d 内完成。对掺加粉煤灰或粒化高炉矿渣的混凝土,可按 90d 龄期的试验结果评定。

3. 高性能混凝土原材料应符合的规定

- (1)宜选用标准稠度低、强度等级不低于 42.5 的中热硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥,不宜采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥;
- (2)细骨料宜选用级配良好、细度模数在 2.6~3.2 的中粗砂;
- (3)粗骨料宜选用质地坚硬、级配良好、针片状少、空隙率小的碎石,其岩石抗压强度宜大于 100MPa,或碎石压碎指标不大于 10%;
- (4)减水剂应选用与水泥匹配的坍落度损失小的高效减水剂,其减水率不宜小于 20%;
- (5)掺合料应选用细度不小于 4 000cm²/g 的磨细高炉矿渣、Ⅰ、Ⅱ级粉煤灰、硅灰等,其品质应符合规范的相关规定。必要时,掺磨细粒化高炉矿渣或粉煤灰的混凝土,可同时掺 3%、5% 的硅灰,其掺量应通过试验确定,单掺一种掺合料的掺量应符合表 13-14 的规定。

配制高性能混凝土的掺合料适宜掺入量 (%) 表 13-14

磨细粒化高炉矿渣	粉煤灰	硅 灰
50~80	25~50	5~10

注:磨细粒化高炉矿渣和粉煤灰的掺入量以胶凝材料质量百分比计;硅灰掺入量以水泥质量百分比计。

4. 配合比设计

高性能混凝土配合比设计应符合下列规定:

- (1)高性能混凝土配合比设计应采用试验—计算法,其配制强度的确定原则应与普通混凝土相同;
- (2)粗骨料的最大粒径不宜大于 25mm;
- (3)胶凝材料浆体体积宜为混凝土体积的 35% 左右;
- (4)应通过试验确定最佳砂率;
- (5)应通过降低水胶比和调整掺合料的掺量使抗氯离子渗透性指标达到规定要求。

第五节 混凝土施工控制及质量检验

一、混凝土的全过程质量控制

水运工程建筑物所处的环境条件与其他工业、民用工程有较大的差异,混凝土常处于淡水或海水环境中,除受到冻融等破坏外,处于海水环境中的建筑物混凝土常会由于氯离子的渗入,引起钢筋锈蚀而导致混凝土破坏,耐久性往往是控制混凝土质量的主要因素。

混凝土质量控制包括耐久性设计、初步控制、生产控制和合格控制。通过耐久性设计,确定混凝土的质量指标及选择必要的保护措施,保证混凝土建筑物的使用寿命;通过对原材料的质量检验与控制、混凝土配合比的确定与控制、生产和施工过程中的检验与控制以及合格性检验与控制,使混凝土质量符合设计要求。

混凝土质量控制涉及到原材料、混凝土配合比、施工生产工艺、生产设备、检验方法及结构设计等许多方面。水运工程混凝土的质量控制除应符合现行《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269)标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

#### 1. 混凝土质量的初步控制:

##### (1) 组成材料的质量控制

主要是水泥、砂、石、水、外加剂、掺和料等方面的要求,具体见本书相关章节的介绍;

##### (2) 混凝土配合比的确定与控制:

混凝土配合比的确定,应使混凝土能达到设计要求的强度等级、耐久性指标以及稠度等质量指标,并做到经济合理。

①普通混凝土施工配合比,应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的规定,通过计算和试配确定。

②混凝土的施工配制强度,应按下式确定:

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (13-1)$$

式中:  $f_{cu,0}$ ——混凝土的施工配制强度,  $N/mm^2$ ;

$f_{cu,k}$ ——设计所要求的混凝土立方体抗压强度标准值,  $N/mm^2$ ;

$\sigma$ ——工地实际统计的立方体抗压强度标准差,  $N/mm^2$ 。

③混凝土施工配制强度计算式中  $\sigma$  的选取,应符合下列规定。

施工单位如有近期混凝土强度的统计资料时,  $\sigma$  按下式确定:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - n\mu_{fcu}^2}{n-1}} \quad (13-2)$$

式中:  $f_{cu,i}^2$ ——第  $i$  组混凝土试件强度值,  $N/mm^2$ ;

$\mu_{fcu}^2$ ——各组混凝土试件强度的平均值,  $N/mm^2$ ;

$n$ ——统计批内相同混凝土强度等级的试件组数,  $n \geq 25$ 。

施工单位如没有近期混凝土强度统计资料时,  $\sigma$  按表 13-15 选取。开工后应尽快积累统计资料,对  $\sigma$  值进行修正。

混凝土抗压强度标准差的平均水平 ( $\sigma$ )

表 13-15

强度等级 ( $N/mm^2$ )	< C20	C20 ~ C40	> C40
$\sigma$	3.5	4.5	5.5

④按早期推定的混凝土强度进行配合比设计时,强度推定式应有足够的精度和较好的适用性。

⑤粉煤灰混凝土的稠度、设计强度等级、强度保证率、标准差及离差系数等指标应与基准混凝土相同。

⑥混凝土中掺用粉煤灰时,可采用等量取代法、超量取代法和外加法。粉煤灰混凝土配合

比设计应按绝对体积法计算。

粉煤灰在水运工程混凝土中,取代水泥的最大限量(以重量百分率计),应符合以下规定:用硅酸盐水泥拌制的混凝土不大于 25%;用普通硅酸盐水泥拌制的混凝土不大于 15%;用矿渣硅酸盐水泥拌制的混凝土不大于 10%;经试验充分论证时可不受以上限制。

有耐久性要求的粉煤灰混凝土配合比设计应采用超量取代法,超量系数可按表 13-16 选用。

粉煤灰的超量系数 表 13-16

粉煤灰等级	超 量 系 数
I	1.1 ~ 1.4
II	1.3 ~ 1.7
III	1.5 ~ 2.0

2. 混凝土质量的生产控制

生产控制是指对混凝土生产中,根据混凝土的质量要求,对操作过程各环节(如称量、搅拌、运输、浇筑前检查、浇筑、养护)的检验与控制。

3. 混凝土质量的合格控制

合格控制是指混凝土成品交付使用前,根据规定的质量检验、评定标准所进行的行动和判断的组合,它包括:外观质量及尺寸偏差、强度的合格评定、耐久性的合格检验以及混凝土质量问题的处理。

1) 外观质量及尺寸偏差

混凝土结构、构件拆模后应对其外观质量及外形尺寸进行检查,其检查数量和方法应按现行行业标准 JTS 257—2008《水运工程质量检验标准》的有关规定进行,检查应作详细记录。

2) 强度的合格评定

混凝土强度的评定验收应分批进行。同一验收批的混凝土由强度等级相同、配合比和生产工艺基本相同的混凝土组成。对现浇混凝土,按分部工程划分验收批;对预制混凝土构件,按月划分验收批。

(1) 对同一验收批的混凝土强度,应以该批内全部留置标准试件的组强度代表值,作为统计数据来进行评定,除非查明确系试验失误,不得任意抛弃一个统计数据。

(2) 以取自同一罐混凝土的 3 个试件抗压强度的算术平均值作为该组强度的代表值。

注:①当 3 个试件中的最大或最小的强度值,与中间值相比有一个超过中间值的 15% 时,取中间值代表该组的混凝土试件强度;

②当 3 个试件中的最大和最小的强度值,与中间值相比均超过中间值的 15% 时,其试验结果不应作为评定的依据;

③采用非标准尺寸试件时,抗压强度应根据试件尺寸乘以下列折算系数:

边长为 200mm 的试件为 1.05;边长为 100mm 的试件为 0.95。

(3) 当验收批内混凝土试件组数  $n$  不少于 5 组时,混凝土强度的合格评定应按下列规定进行。

混凝土强度的统计数据,同时满足下列公式的要求时,可判定该验收批混凝土强度合格:

$$m_{fcu} - S_{fcu} \geq f_{cu,x}$$

(13-3)



$$f_{cu,min} \geq f_{cu,x} - C\sigma_0 \quad (13-4)$$

式中:  $f_{cu,x}$ ——验收批混凝土抗压强度标准值,  $N/mm^2$ ;

$\sigma_0$ ——港工混凝土抗压强度标准差的平均水平,  $N/mm^2$ , 按表 13-15 选取;

$m_{fcu}$ —— $n$  组混凝土抗压强度的平均值,  $N/mm^2$ ;

$S_{fcu}$ —— $n$  组混凝土抗压强度的标准差,  $N/mm^2$ ;

$f_{cu,min}$ —— $n$  组混凝土抗压强度中的最小值,  $N/mm^2$ ;

$C$ ——验收系数。

$n$  组混凝土抗压强度的标准差  $S_{fcu}$  应按下式计算, 但其取值不得低于  $\sigma_0 - 2.0 N/mm^2$ 。

$$S_{fcu} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm_{fcu}^2}{n-1}} \quad (13-5)$$

式中:  $n$ ——验收批内混凝土试件的组数, 至少要有 5 组;

$f_{cu,i}$ ——第  $i$  组混凝土的抗压强度值,  $N/mm^2$ 。

验收系数  $C$  应按表 13-17 选定。

验收系数  $C$ 

表 13-17

	5~9	10~19	$\geq 20$
$C$	0.7	0.9	1.0

当只有强度最小值不能满足下列公式的要求, 可将混凝土试件强度值按时间顺序排列, 在结合生产过程管理图表, 分析低强度数据出现原因和规律的基础上, 适当将验收批划小, 再按式(13-3)和式(13-4)重新进行合格评定。

(4) 当验收批内混凝土试件组数  $n$  为 2~4 组时, 混凝土强度的合格评定应按下列规定进行。

混凝土强度的统计数据同时满足下列公式的要求时判定该批混凝土强度合格:

$$m_{fcu} \geq f_{cu,x} + D \quad (13-6)$$

$$f_{cu,min} \geq f_{cu,x} - 0.5D \quad (13-7)$$

式中:  $D$ ——验收常数, 其取值与表 13-15 中的  $\sigma_0$  值相同。

在进行配合比设计时, 施工配制强度计算式(13-1)中的  $\sigma$  取值不宜小于  $\sigma$ 。

### 3) 混凝土耐久性的合格检验

(1) 混凝土抗冻性、抗渗性合格检验及试块留置组数, 应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268) 的有关规定。

(2) 用于混凝土抗冻性试验及抗渗性试验的试件, 其制作、养护和试验应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 的有关规定。

(3) 对海水环境钢筋混凝土结构、构件应采用测定仪对混凝土保护层厚度进行测定, 测定结果应符合有关规定。

### 4) 混凝土质量问题的处理

(1) 混凝土外观缺陷不符合的规定时, 按以下规定处理。

① 当不影响结构的使用性能时, 可由施工或生产单位有关部门提出处理方案, 经整修后, 由质量检验部门重新检验评定。

②当影响结构性能时,施工或生产单位必须会同设计、建设等单位共同研究处理。

(2)当对混凝土试件强度的代表性或强度合格评定结论有怀疑时,可采用非破损检验方法,必要时从结构、构件中钻取芯样,按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)、《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)或《港口工程混凝土非破损检测技术规程》(JTJ 272—99)有关标准的规定,对结构、构件的混凝土强度等级进行评估,作为是否进行处理的依据。必要时,还可进行构件荷载试验。

(3)用超声一回弹综合法对结构中混凝土强度进行检测和评估时,应符合下列规定:

当出现下列情况之一时,可采用超声一回弹综合法;

①标准立方体试件的强度被评定为不合格,但对结论有怀疑;

②标准立方体试件强度缺乏代表性;

③混凝土浇筑、养护不当而造成结构物施工质量不良。

当出现下列情况之一时,不宜采用超声一回弹综合法:

①遭受冻害、化学腐蚀和火灾损伤;

②埋有块石,或有明显缺陷和孔洞。

当对超声一回弹综合法的评估结论有怀疑或争议时,可在结构、构件上钻取芯样。经用芯样强度校准后,再重新进行合格评估。

(4)经测定如保护层厚度不合格,应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的有关规定进行处理:即当钢筋混凝土保护层的最小厚度小于规定值 10mm 以上时,除水下区外,应予修补。可用枪喷水泥砂浆、水泥环氧砂浆、水泥聚合物乳胶砂浆或表面涂料等措施。

(5)属于重大的混凝土质量事故应由施工或生产单位会同设计、建设和质量监督部门共同研究提出意见,并报送上级主管部门处理。

(6)当怀疑结构内部的缺陷时,可采用超声波法或钻孔压水等方法进行检查。采用钻孔压水时,混凝土的渗水率小于 0.010L/min 时,可认为内部质量合格。

## 二、大体积混凝土防裂措施

1)浇筑大体积混凝土时,原材料的选择宜符合下列要求:

(1)水泥宜选用中、低热水泥。

(2)骨料宜选用线膨胀系数较小的骨料。

(3)外加剂应选用缓凝型减水剂。

2)混凝土配合比设计应符合下列要求:

(1)在满足设计、施工要求的情况下,宜减少混凝土的单位水泥用量。

(2)粗骨料级配宜为三级配。

(3)在综合考虑混凝土耐久性的情况下,可适当增加粉煤灰掺量。

(4)采用微膨胀水泥或掺用膨胀剂。

3)混凝土施工中应采用下列措施:

(1)施工中应降低混凝土的浇筑温度:

①充分利用低温季节,避免夏季浇筑混凝土。若夏季施工,应尽量利用温度稍低的夜间施工;

②夏季应在骨料堆场搭棚遮阳,使骨料在通风良好的棚内贮存 2~3d 后再使用;

- ③水泥降至自然温度后方可使用;
- ④宜使用低温拌和水,如自来水、地下水;
- ⑤混凝土内部设置冷却水管;
- ⑥混凝土在运输和浇筑过程中,应设法遮阳,防止曝晒;
- ⑦冷天施工时,大体积混凝土的入模温度应控制在  $2 \sim 5^{\circ}\text{C}$ ,浇筑后应采取保温措施,注意防止冷击。

(2)无筋或少筋大体积混凝土中宜埋放块石。

(3)对混凝土早期温升应采取下列散热措施:

- ①分层浇筑;
- ②顶面洒水或用流动水散热;
- ③宜用钢模板。

(4)在混凝土降温阶段应采取保温措施:

①在寒冷季节可推迟拆模时间,不宜在混凝土可能受冷击时拆模;拆模后,应采取用草袋、帆布、塑料薄膜覆盖等保温措施;

②在已浇筑的混凝土块上浇筑新混凝土时,间隔时间应尽量缩短,不宜超过 10d;

③对于地下结构应尽早进行回填保温,减小干缩。

(5)合理设置施工缝:

①在岩基或老混凝土上浇筑的混凝土结构,纵向分段长度应在 15m 以内;

②在底板上连续浇筑墙体的结构。墙体上的水平施工缝应设置在墙体距底板顶面不小于 1.0m 的位置;

③对不宜设置施工缝的结构,可采取跳仓浇筑和设置闭合块的方法。减小一次浇筑的长度;

④上下两层相邻混凝土应避免错缝浇筑。

(6)岩石地基表面宜处理平整,防止因应力集中而产生裂缝。在地基与结构之间可设置缓冲层,减小约束。

4)养护时按下列规定进行:

(1)应加强混凝土的潮湿养护,养护期宜延长。

(2)热天宜采用流水养护;在不冻地区,冷天宜采用滞水养护。

(3)应根据气候条件采取保温、保湿或降温措施,并应设置测温孔或埋设热电偶等测定混凝土内部和表面温度,使温度控制在设计要求的温差内,当设计无要求时温差不宜超过  $25^{\circ}\text{C}$ 。

### 三、水运工程混凝土的质量检验

#### 1. 检测项目(表 13-18)

表 13-18

样品名称	检测项目	JTJ 269—1996 水运工程混凝土 质量控制标准	JTJ 268—96 水运工程混凝土 施工规范	JTS 257—2008 水运工程 质量检验标准
混凝土拌和物	稠度	√	√	
	含气量	√	√	

续上表

样 品 名 称	检 测 项 目	JTJ 269—1996 水运工程混凝土 质量控制标准	JTJ 268—96 水运工程混凝土 施工规范	JTS 257—2008 水运工程 质量检验标准
混凝土拌和物	稠度损失	√(对流动性混凝土)		
	拌和物均匀性	√(需要时)		
	水灰比、水泥用量	√(对有耐性要求的混凝土,可根据需要检测)		
	拌和物中氯离子含量	√(当使用海骨料或含有氯盐的外加剂时)		√
混凝土试件	抗压强度	√	√	√
	抗渗等级	√(必要时)		√(必要时)
	抗冻等级	√(必要时)		√
	抗氯离子渗透性	√(必要时)		√
	抗折强度	√(必要时)		√(必要时)
	劈裂抗拉强度	√(必要时)		√(必要时)
	弹性模量	√(必要时)		√(必要时)

2. 抽检频率或组批原则

1)《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96)的规定

(1)混凝土拌和物的坍落度和含气量,应在浇筑点取样检测,每一工作班对坍落度至少测2次,含气量至少检查1次,如果混凝土拌和物从搅拌出料到浇筑入模的时间不超过15min时,可在拌制地点取样检测;

(2)用于检查结构混凝土质量的试件。应在混凝土的浇筑地点,随机取样制作。试件留置组数,应根据工程量的大小和结构的重要性程度综合考虑。

混凝土抗压强度标准试件的留置,应不低于下列规定:

①连续浇筑厚大结构的混凝土时,每100m<sup>3</sup>取一组,不足100m<sup>3</sup>者也应取一组。

②浇筑预制构件时,单个构件小于40m<sup>3</sup>者,每20m<sup>3</sup>或每工作班取一组;大于40m<sup>3</sup>者按前款要求留置。

③现场浇筑混凝土时,每30m<sup>3</sup>取一组,每工作班不足30m<sup>3</sup>,也应取一组。

④当配合比有变动时,每一配合比均应留置试件。

(3)留置的每组试件由三个立方体试块组成,制作时试样应取自同一罐混凝土。

(4)混凝土强度的评定验收应分批进行。同一验收批的混凝土由强度等级相同、配合比和生产工艺基本相同的混凝土组成。对现浇混凝土,宜按分项工程划分验收批;对预制混凝土构件,宜按月划分验收批。

对同一验收批的混凝土强度,应以该批内全部留置标准试件的组强度代表值,作为统计数据进行评定,除非查明确系试验失误,不得任意抛弃一个强度代表值;

2)《水运工程混凝土质量控制标准》的规定

(1)混凝土拌和物的稠度和含气量,应在搅拌点和浇筑点分别取样检测,每一工作班对坍落度至少测2次,含气量至少检查1次;

(2)在混凝土预制构件厂(场),如果混凝土拌和物从搅拌出料到浇筑入模的时间不超过15min时,可仅在搅拌地点取样检测;

(3)必要时,应检测混凝土拌和物的其他指标;

(4)在浇筑混凝土时,应同时制作吊装、张拉、放松、加荷和强度合格评定用的立方体强度试件,必要时还应制作抗冻、抗渗或其他性能的试件,试件的取样与制作应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)的规定

3)《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)的规定

(1)检测项目

必检项目有:抗压强度、抗冻等级、抗氯离子渗透性能。

其他检测项目是:抗渗等级、抗折强度、劈裂抗拉强度、弹性模量。

(2)检测频率的规定

①对抗压、抗折强度试块留置:一次连续浇筑超过 $1000\text{m}^3$ 时,每 $200\text{m}^3$ 不少于一组;一次连续浇筑不超过 $1000\text{m}^3$ 时,每 $100\text{m}^3$ 不少于一组;每工作班浇筑不足 $100\text{m}^3$ 时,也不少于一组;

②抗冻、抗渗试块留置:每一单位工程、同一抗冻、抗渗等级,不少于三组;

③抗氯离子渗透性能试块留置:每一配合比混凝土的取样不少于三组。

## 第六节 混凝土拌和物技术性质及检验方法

水泥、集料与水拌和即成为混凝土拌和物,混凝土拌和物在一定时间内是可流动、变形的粘塑性体。此阶段的技术性质决定了混凝土的施工操作的难易程度和成型以后的质量。

### 一、混凝土拌和物的技术性质

#### 1. 基本概念

混凝土拌和物的技术性质包括混凝土拌和物的物理性能、工作性等。拌和物的物理性能主要指拌和物的密度。工作性是指混凝土拌和物易于施工操作(拌和、运输、浇筑、捣实)并能获得质量均匀和成型密实的性能。工作性是一项综合的技术性质,包括流动性、粘聚性和保水性三方面含义,工作性有时亦称和易性。

#### 2. 工作性三方面的含义

流动性是指混凝土拌和物在本身自重或施工机械振捣的作用下能产生流动,并均匀密实地填满模板的性能。粘聚性是指混凝土拌和物在施工中其各组分之间有一定的粘聚力,不致产生分层离析现象。保水性是指混凝土拌和物在施工中具有一定的保水能力,不产生严重的泌水现象。混凝土拌和物的流动性、粘聚性和保水性具有各自含义,它们之间又相互联系,直接影响混凝土的密实性及性能。

#### 3. 影响工作性的主要因素

工作性是混凝土拌和物最重要的性能,其影响因素很多,主要有单位用水量、砂率、集灰比、集料、水泥品种和细度以及外加剂、时间和温度等。

(1)用水量:混凝土拌和物的水泥浆,赋予混凝土拌和物一定的流动性。用水量多少直接影响水与水泥用量的比例关系,即水灰比 $W/C$ 。水灰比不变的情况下,如果水泥浆愈多,则拌

和物的流动性愈大。在水泥用量不变的情况下,用水量增大,水泥浆就愈稀,混凝土拌和物流动性愈大。反之流动性愈小,但这样会使施工困难,不能保证混凝土的密实性。用水量过大会造成混凝土拌和物的粘聚性和保水性不良,产生流浆和离析现象,并影响混凝土强度。

实践证明,在配制混凝土时,当所用粗细集料的种类及比例一定时,为获得要求的流动性,所需拌和用水量基本是一定的,即使水泥用量有所变动( $1\text{m}^3$  混凝土水泥用量增减  $50 \sim 100\text{kg}$ )时,也无甚影响。这一关系称为“恒定用水量法则”,它为混凝土配合比设计时确定拌和用水量带来很大方便。

(2)砂率:砂率是指混凝土中砂的重量占砂、石总重量的百分率。砂率的变动会使集料的空隙率和集料的总表面积有显著改变,因而对混凝土拌和物的工作性产生影响。

水泥砂浆在混凝土拌和物中起润滑作用。砂率过大时,集料的总表面积及空隙率都会增大,在水泥浆含量不变的情况下,相对地水泥浆显得少了,减弱了水泥浆润滑作用,使拌和物流动性减小。如果砂率过小,又不能保证在粗集料之间有足够的砂浆层,也会降低拌和物流动性,且影响其粘聚性和保水性,容易产生离析和流浆现象。可见砂率存在一个合理值,即合理砂率或称最佳砂率。采用最佳砂率时,在用水量及水泥用量一定情况下,能使混凝土拌和物获得最大的流动性且能保持良好的粘聚性、保水性。

(3)集料:集料颗粒形状和表面粗糙度直接影响混凝土拌和物流动性。形状圆整、表面光滑,其流动性就大;级配良好的集料空隙率小。在水泥浆相同时,其包裹集料表面的润滑层增加,使拌和物工作性得到改善。

(4)水泥品种和细度:水泥品种对混凝土拌和物工作性影响,主要表现在不同品种水泥的需水量不同。但由于水泥用量在混凝土中所占体积相对较小,因此对拌和物工作性影响并不显著。常用水泥中普通硅酸盐水泥配制的混凝土拌和物,其流动性和保水性较好;矿渣水泥拌和物流动性较大,但粘聚性差,易泌水;火山灰水泥拌和物,在水泥用量相同时流动性显著降低,但其粘聚性和保水性较好。

水泥颗粒越细,用水量越大。在用水量相同时,拌和物流动性减小,而粘聚性和保水性相应改善。

(5)外加剂与掺合料:外加剂能使混凝土拌和物在不增加水泥用量的条件下获得良好工作性,即增大流动性、改善粘聚性、降低泌水性,尚能提高混凝土耐久性。

掺入粉煤灰能改善混凝土拌和物的流动性。研究表明当粉煤灰的密度较大,标准稠度用水量较小和细度较细时,掺入  $10\% \sim 40\%$  粉煤灰,可使坍落度平均增大  $15\% \sim 70\%$ 。

(6)时间与温度:拌和物拌制后,随时间增长而逐渐变得干稠,且流动性减小,出现坍落度损失现象。这是因为水泥水化消耗一部分水,而另一部分水被集料吸收,还有部分水被蒸发之故。

拌和物工作性也受温度影响。随着温度升高,混凝土拌和物的流动性随之降低。这是因为温度升高加速水泥水化之故。

## 二、混凝土实验室拌和方法

为测试混凝土拌和物的各项技术性能,以及为了进行混凝土配合比试验、制作具有可比性混凝土强度试件,首先应采用统一的混凝土实验室拌和方法。

## 1. 一般规定

(1) 拌和用的骨料应提前运入室内。试验室温度宜保持  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ , 并使混凝土避免遭受阳光直射和风吹。需要模拟施工条件下所用的混凝土时, 试验室和原材料的温度应与施工现场温度相同。

(2) 所用材料应符合有关的技术要求。在拌和前, 材料的温度应保持与室温相同。

(3) 各种材料应拌和均匀。水泥如有结块而又必须使用时, 应过  $0.90\text{mm}$  方孔筛, 并仔细搅拌。需要模拟施工所用的混凝土时, 水泥与施工条件一致。

(4) 在决定拌和水用量时, 应扣除原材料中的含水量。掺外加剂时, 掺入方法应按照有关规定进行。

(5) 拌制混凝土的材料用量以重量计。称量精确度: 骨料为  $\pm 1.0\%$ ; 水、水泥、掺合料和外加剂为  $\pm 0.5\%$ 。

(6) 拌制混凝土所用的各项用具(如搅拌机, 拌和铁板和铁铲、抹刀等)应预先用水湿润, 使用完毕后必须清洗干净, 不得有混凝土残渣。

(7) 使用搅拌机拌制混凝土时, 应在拌和前预拌适量的砂浆或混凝土进行刷膛(所用砂浆或混凝土的配合比与正式拌和的混凝土配合比相同), 将搅拌机内多余砂浆或混凝土倒在拌和铁板上, 使拌和铁板也粘附一薄层砂浆。

## 2. 操作步骤

(1) 采用机械拌制混凝土时, 一次拌和量不宜少于搅拌机容量的  $20\%$ 。

(2) 往搅拌机内顺序加入石、水泥、砂, 开动搅拌机将水徐徐加入, 全部加料时间不得超过  $2\text{min}$ , 水全部加入后, 继续拌和  $2 \sim 3\text{min}$ , 拌和物应拌和均匀。

(3) 将混凝土拌和物从搅拌机中卸出, 倾倒在拌和板上, 再经人工翻拌 2 次, 使拌和物均匀一致。

## 三、混凝土拌和物的密度

混凝土拌和物成型捣实后的单位体积的质量, 称为拌和物的密度。硬化后的混凝土的单位体积的质量称已硬化混凝土密度, 统称混凝土密度, 均以  $\text{kg}/\text{m}^3$  表示。普通混凝土拌和物的密度因集料的密度、粗集料最大粒径、配合比、含气量及成型方法和捣实程度的不同而有所不同。混凝土拌和物密度测试主要用于混凝土配合比设计中。在混凝土配合比设计中, 拌和物的密度一般在  $2350 \sim 2450\text{kg}/\text{m}^3$  范围内选用。

## 1. 试验步骤

混凝土拌和物表观密度试验应按以下步骤进行:

(1) 称干的容量筒和玻璃板的总重  $G_1$  (kg)。在筒中加满水。将玻璃板沿筒顶面水平推过去, 使玻璃板下没有空气泡。将外面擦干后称重  $G_2$  (kg)。将下式求得容量筒的体积  $V$ :

$$V = \frac{G_2 - G_1}{\rho_w} \quad (13-8)$$

式中:  $\rho_w$ ——水的密度,  $\text{kg}/\text{L}$ , 取  $1.00\text{kg}/\text{L}$ 。

(2) 采用插捣法捣实时, 混凝土拌和物分三层装入容量筒内, 每次装入量大致相同。每层用捣棒均匀插捣(容量筒容积为  $5\text{L}$  时, 插捣次数为 25; 容量筒容积为  $15\text{L}$ , 插捣次数为 55)。每捣一层完毕后, 应在容量筒外拍打 10 下, 以消除表面气泡, 如有蜂窝留下, 用捣棒轻轻填平。

(3)采用振动设备振实时,在容量筒上加一套筒,一次将混凝土拌和物装满并稍高出筒顶,然后用振动台或振棒振实,直至混凝土拌和物表面出现水泥浆为止。振动时间不得超过90s。用振实台振实时,应防止容量筒在振动台上自由跳动。用振捣棒振实时,要缓慢均匀提棒,不得有棒孔。

(4)将捣实的混凝土拌和物表面刮平(用玻璃板盖在筒顶检验)。将外面擦干净,包括玻璃板一起称重量  $G$ ,精确至50g。

## 2. 结果计算

混凝土拌和物质量密度按式(13-9)计算(计算至0.01kg/L),以两次试验结果的算术平均值作为测定值:

$$\rho = \frac{G - G_1}{V} \quad (13-9)$$

式中: $\rho$ ——混凝土拌和物质量密度,kg/L;

$G$ ——容量筒、混凝土和玻璃板总重,kg;

$G_1$ ——容量筒和玻璃板总重,kg;

$V$ ——容量筒容积,L。

## 四、混凝土拌和物稠度(坍落度法)

本方法用于测定混凝土拌和物坍落度,以此判断混凝土拌和物的流动性。主要适用于坍落度不小于10mm、骨料最大粒径不大于40mm的塑性混凝土拌和物。坍落度小于10mm的混凝土被称为干硬性混凝土,其稠度应采用维勃稠度法进行测试。

### 1. 试验步骤

(1)湿润坍落度筒及底板,在坍落度筒壁内和底板上应无明水。底板应放置在坚实水平面上,并把筒放在底板中心,然后用脚踩住二边的脚踏板,坍落度筒在装料时应保持固定的位置。

(2)把按要求取得的混凝土试样用小铲分三层均匀地装入筒内,使捣实后每层高度为筒高的三分之一左右。每层用捣棒插捣25次。插捣应沿螺旋方向由外向中心进行,各次插捣应在截面上均匀分布,插捣筒边混凝土时,捣棒可以稍稍倾斜。插捣底层时,捣棒应贯穿整个深度,插捣第二层和顶层时,捣棒应插透本层至下一层的表面;浇灌顶层时,混凝土应灌到高出筒口。插捣过程中。如混凝土沉落到低于筒口,则应随时添加。顶层插捣完后,刮去多余的混凝土,并用抹刀抹平。

(3)清除筒边底板上的混凝土后,垂直平稳地提起坍落度筒。坍落度筒的提起过程应在5~10s内完成;从开始装料到提起坍落度筒的整个过程应不间断地进行,并应在150s内完成。

(4)提起坍落度筒后,测量筒高与坍落度混凝土试体最高点之间的高度差,即为该混凝土拌和物的坍落度值;坍落度筒提起后,如混凝土发生崩坍或一边剪坏现象,则应重新取样另行测定;如第二次试验仍出现上述现象,则表示该混凝土和易性不好,应予记录备查。

### 2. 结果评定

(1)混凝土拌和物坍落度以毫米为单位,结果表达精确至5mm。

(2)除了以坍落度的大小评定混凝土拌和物的流动性以外,同时可用目测法评定混凝土拌和物粘聚性和保水性:

①粘聚性评定方法:用捣棒在已坍落的混凝土锥体一侧轻轻敲打。如果锥体在敲打后逐



渐下沉,表示粘聚性良好。如果锥体突然倒坍部分崩裂或发生离析现象,即表示粘聚性不好。

②保水性以混凝土拌和物中稀浆析出的程度来评定。坍落度筒提起后若有较多稀浆从底部析出,锥体部分的混凝土也因失浆而骨料外露,则表明此混凝土拌和物保水性不好。若坍落度筒提起后无稀浆或仅有少量稀浆自底部析出,则表示此混凝土拌和物保水性良好。

## 五、泌水率

混凝土泌水率试验可以检查混凝土拌和物在固体组分沉降过程中水分离析的趋势,也适用于评定外加剂的品质和混凝土配合比的适用性。

### 1. 试验步骤

(1)先把附着在圆筒内外壁的混凝土残渣清除干净,然后用湿布把圆筒内壁润湿(不得积水),称空筒重量  $G_1$ 。

(2)用人工捣实时,将拌好的混凝土拌和物分三层装入筒内,使捣实后每层高度大致相等。取样必须均匀,每装一层后,用捣棒在全部面积上,沿螺旋线由边缘向中心插捣 35 次(不得冲击),各次插捣应在整个截面上均匀分布。第一层插捣时,捣棒应贯穿整个深度;插捣第二、第三层时,捣棒应穿透本层插入下层表面。每捣完一层后,可将捣棒垫在筒底,将筒左右交替地颠击地面各 15 次,表面不得留有棒坑。

(3)用机械振实时,将混凝土拌和物分别装入两只筒中(一次装满),并将筒固定在振动台上振实(或用振捣棒在圆筒中垂直插入混凝土内,棒头勿与筒底接触)。当混凝土坍落度为 30~50mm 时,振实时间以 45~60s 为宜,当混凝土坍落度为 10~20mm 时,振实时间不宜小于 60s。均应振至混凝土表面呈现乳状水泥浆时为止,不宜超过 1.5min。

(4)混凝土拌和物插捣(或振实)完毕后,用抹刀将顶面轻轻抹平,不得用力挤压试样,试样顶面比筒的顶边低 40mm 左右。

(5)将筒外壁和边缘擦净,称出筒与试样的总重  $G_2$ 。然后将筒静置平地上,并加盖,以防止水分蒸发。

(6)自抹面完毕时起,开始计算泌水时间。在开始 1h 内,每隔 20min 吸水一次,1h 后,每隔 30min 吸水一次。用吸液管吸取混凝土拌和物表面泌出的水,注入带盖量筒内,加盖,并记录泌出的水分体积,精确至 1mL。试验进行到混凝土表面不再泌水时为止。按规定间隔时间连续三次吸不出水,即表示混凝土不再泌水。

(7)在每吹吸水前 2min,可用约 40mm 高的硬块垫于筒底一侧,使筒倾斜,以便吸取泌出的水分。吸完后需将筒放平。除了吸水时间外,筒盖应经常盖上,整个试验过程中,圆筒应轻拿轻放,以免受振动影响。

### 2. 结果计算

泌水率系以全部泌出水的重量占混凝土试样中所含水重量的百分率表示。混凝土拌和物的泌水率按下式计算:

$$P_t = \frac{V_w}{W_m} \times 100\% \quad (13-10)$$

$$W_m = (G_2 - G_1) \frac{W/C \cdot 1/\rho_w}{1 + S/C + W/C + G/C} \quad (13-11)$$

式中:  $P_t$ ——抹面完毕后  $t$  小时泌水率, %;

- $V_w$ ——该时刻相应的累计泌水总量, mL;  
 $W_m$ ——砂浆中水量, mL;  
 $W/C$ ——水灰比;  
 $G/C$ ——碎石和水泥的重量比;  
 $S/C$ ——砂灰比。

取两个试样试验结果的平均值, 绘制时间  $t$  与相应泌水率  $P_t$  的关系曲线, 计算出最后总泌水率  $P$ 。如果两个试样试验中有一个不再泌水, 则其泌水率计算仍按上述规定计算(不再泌水的试样取其累计泌水总量)。

## 六、含气量(气压法)

为控制引气剂掺量和混凝土含气量, 常需测定混凝土拌和物的含气量。以下方法适用于骨料最大粒径不大于 40mm 的混凝土拌和物含气量测定。

### 1. 基本原理

按波义耳定律, 在相同温度情况下, 气体的体积与压力成反比, 即:  $P_1 V_1 = P_2 V_2$  常数, 式中  $P_1$  和  $P_2$  为压强,  $V_1$  和  $V_2$  是与  $P_1$  和  $P_2$  相对应的气体体积。据此原理可测定混凝土拌和物的含气量。

### 2. 试验步骤

- (1) 在进行混凝土拌和物含气量测定之前, 首先应测出骨料中的含气量值。
- (2) 擦净经校正好的量钵, 将混凝土拌和物均匀地装入量钵中, 并稍有富余。
- (3) 捣实方法采用振动台振实时, 一次将混凝土装到高出量钵, 装料时可用捣棒稍加插捣, 振实过程中如混凝土沉落到低于内口, 则应随时添加混凝土。振动至混凝土表面平整、呈现釉光时, 即停止振动。
- (4) 振实完毕后应立即用刮尺刮平, 表面如有凹陷应予填平, 然后用抹刀抹平, 使表面光滑。如需同时测定混凝土拌和物的质量密度, 可在此时称重计算得出。
- (5) 在正对操作阀孔的混凝土表面贴一小片塑料薄膜, 擦净法兰盘, 放好密封圈, 加盖关紧螺栓。
- (6) 关闭操作阀, 打开进气阀, 用打气筒打气, 使气室内压力略大于 0.1MPa, 然后关紧所有阀门。打开操作阀, 使气室内的压缩空气进入量钵, 待压力指针稳定后, 测读表值。
- (7) 打开排气阀, 测读压力表读数。按含气量与压力表读数关系曲线查出相应的含气量值  $A_0$ 。

### 3. 试验结果

混凝土拌和物含气量应按下式计算:

$$A = A_0 - A_g \quad (13-12)$$

式中:  $A$ ——混凝土拌和物含气量, %;

$A_0$ ——仪器测定的含气量, %;

$A_g$ ——骨料含气量, %。

## 七、凝结时间

混凝土的凝结时间分为初凝和终凝。初凝是指混凝土从加水拌和时起至开始失去塑性的

时间;终凝是指混凝土从加水拌和时起至完全失去塑性,并开始产生强度的时间。凝结时间受混凝土配合比、水泥种类和用量、外加剂的类型、温度和湿度的影响很大。对需长途运输的混凝土、大体积混凝土需要凝结时间尽可能长,对于冬季施工、抢修工程,需要凝结时间尽可能短。

可以用贯入法测定不同水泥品种、不同外加剂、不同混凝土配合比以及不同气温环境下混凝土拌和物的凝结时间。

### 1. 试验步骤

#### (1) 试样制备

①取混凝土拌和物样品,用5mm筛尽快地筛出砂浆,再经人工翻拌后,分别装入三个试模;混凝土湿筛困难时,允许按混凝土中砂浆的配合比直接称料用人工拌成砂浆,但应按石子吸水率扣除水量。

②砂浆装入试模后,用插棒均匀插捣(每 $650\text{mm}^2$ 面积插捣一次,对平面尺寸为 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的试模插捣35次),然后轻击试模侧面以排除在捣实过程中留下的空洞。进一步整平砂浆的表面,使其低于试模上沿约10mm(也可采用振动台代替人工插捣);

③试件成型后静置,并盖上玻璃片或湿布。1h后,将试件一侧轻轻垫高,使其倾斜约 $12^\circ$ ,静置2min后,用吸管吸取泌水。以后每隔0.5~1h,吸取泌水一次(低温或缓凝的混凝土拌和物试样,静置与吸水建个试件可适当延长)。若在贯入阻力测试前还有泌水,也应吸干(当模拟现场试验时,温度应与现场一致)。

#### (2) 贯入阻力试验

①将试件放在贯入阻力仪测试平台上,记录刻度盘上显示的砂浆和容器的总重量;

②根据试样的贯入阻力大小,选择适宜的测针。当砂浆表面测孔边出现微裂缝时,应立即改换较小截面积的测针;

③先使测针针头断面与砂浆表面接触,然后在10s内,垂直且均匀地插入试样内,深度达25mm。记录刻度盘上显示的重量增量和从开始加水拌和起所经历的时间,并记录环境温度。每次测定时,测针应距离容器边缘至少25mm。测点间净距离至少不小于所用测头直径的2倍;

④对每个试样,应作贯入阻力测定不少于六次,最后一次贯入阻力应至少达28MPa。从加水时算起,常温下普通混凝土3h后开始测定,以后每间隔1h测一次;快硬混凝土或气温较高的情况下,则应在2h后开始测定,以后每隔0.5h测一次;缓凝混凝土或低温情况下,可5h后开始测定,以后每隔2h测一次。

### 2. 结果计算

贯入阻力是测针在贯入深度为25mm时所受的阻力除以针头面积。每一时间间隔,在试件上测三点。以三个测点的算术平均值作为该时刻的贯入阻力值。

以贯入阻力(MPa)为纵坐标,时间(h)为横坐标,绘制贯入阻力—时间的曲线图。从曲线图求得初凝及终凝时间。以贯入阻力达3.5 MPa为混凝土的初凝时间,达28 MPa为混凝土的终凝时间。

## 八、混凝土拌和物中氯离子含量的快速测定

混凝土拌和物中含有过量氯离子会造成钢筋混凝土中的钢筋钝化膜破坏,易引发锈蚀。

下述方法适用于现场快速检验混凝土拌和物中的氯离子含量,或检测其氯离子含量是否超出规范所规定的允许值。

### 1. 基本原理

用氯离子选择电极和甘汞电极置于液相中,测得的电极电位  $E$ ,与液相中氯离子浓度  $C$  的对数,呈线性关系,即  $E = K - 0.059 \lg C$ 。因此,可根据测得的电极电位值,来推算出氯离子浓度。

### 2. 试验步骤

(1) 建立电位—氯离子浓度关系曲线:

①把氯离子选择电极放入由蒸馏水(或去离子水)配制的 NaCl 溶液 0.001mol/L 中活化 2h;

②用蒸馏水(或去离子水)配制  $5.5 \times 10^{-3}$  mol/L 和  $5.5 \times 10^{-4}$  mol/L 两种 NaCl 标准溶液,各 250mL;

③将氯离子选择电极和甘汞电极(通过盐桥),插入  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  的两种 NaCl 标准溶液中,经 2min 后用电位测量仪测两电极之间电位值。将两值标点在  $E \sim \lg C$  半对数坐标上,其连接线即为电位—氯离子浓度关系曲线。

(2) 混凝土拌和物中氯离子含量测定:

①把氯离子选择电极放入以蒸馏水(或去离子水)配制的 0.001mol/L 中活化 1h;

②从混凝土拌和物中取出 600g 左右砂浆,放入烧杯中,量测温度,插入氯离子选择电极和甘汞电极(通过盐桥),测定其电位,并进行温度校正;

③  $E \sim \lg C$  曲线推算得相应拌和水的氯离子浓度。

### 3. 试验结果

混凝土氯离子含量按下式计算:

$$P_c = C_{\text{Cl}^-} \times \frac{\beta}{1000} \times 35.5 \times 100\% \quad (13-13)$$

式中:  $P_c$ ——混凝土拌和物中氯离子含量;

$C_{\text{Cl}^-}$ ——相应拌和水中氯离子浓度, mol/L;

$\beta$ ——混凝土的水灰比。

检验混凝土的氯离子含量是否超过规范规定允许限量时,将测得电位值经温度校正后与相应氯离子允许限量标准溶液中电位值相比较,若前者较后者小,表明其氯离子含量已超过规范允许值。

## 第七节 混凝土力学性质及检验方法

### 一、混凝土的力学性质

#### 1. 混凝土结构特征和受力破坏过程

硬化后的混凝土是一种脆性材料,混凝土内微观结构研究表明,荷载前混凝土内部已存在微裂纹。这种微裂纹一般首先在较大集料颗粒与砂浆或水泥石接触面处形成,通常称为粘结裂缝。

混凝土受压时的破坏是一种复杂的变化过程。在荷载不断加大的过程中,存在于混凝土内部的微裂缝不断扩展。根据混凝土受压变形曲线,可以人为地把混凝土受压破坏的过程分为四个阶段,见图 13-1。

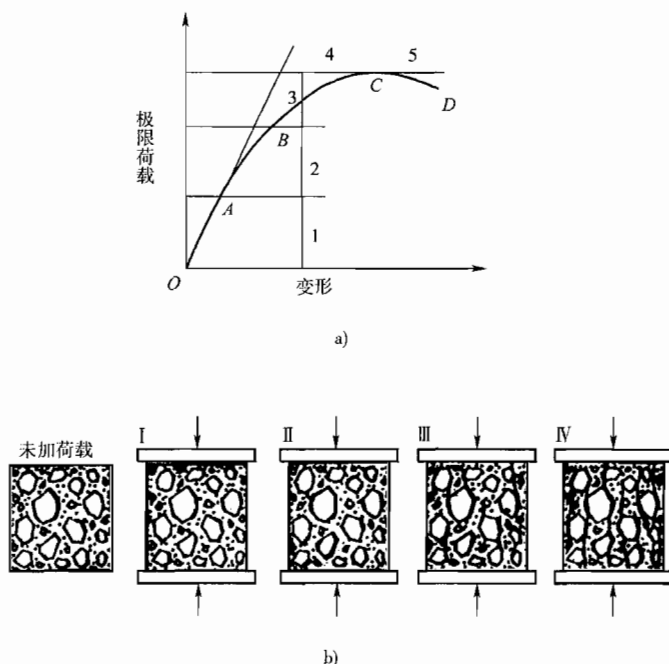


图 13-1 混凝土受力状态

a) 混凝土受压变形曲线; b) 不同受力阶段裂缝示意图

I-OA 界面裂缝无明显变化; II-AB 界面裂缝增长; III-BC 出现砂浆裂缝和连续裂缝; IV-CD 连续裂缝迅速发展;

## 2. 混凝土强度与强度等级

通常说的混凝土强度是指抗压强度。这是因为混凝土强度所包括的抗压、抗拉、抗弯和抗剪等强度中,尤以抗压强度为最大。在工程中混凝土主要承受压力,特别是在钢筋混凝土的设计中,有效地利用着抗压强度,此外根据抗压强度还可判断混凝土质量好坏和估计其他强度。因此,抗压强度是混凝土最重要的性质。

## 3. 影响混凝土强度的因素

由混凝土破坏过程分析可知,混凝土强度主要取决于集料与水泥石间的粘结强度和水泥石的强度,而水泥石与集料的粘结强度和水泥石本身强度又取决于水泥的强度、水灰比及集料等,此外还与外加剂、养护条件、龄期、施工条件,甚至实验测试方法有关。

### (1) 水泥强度

水泥是混凝土胶凝材料,是混凝土中的活性组分,其强度大小直接影响混凝土强度的高低。在配合比相同条件下,所用水泥强度愈高,水泥石的强度以及它与集料间的粘结强度也愈大,进而制成的混凝土强度也愈高。

### (2) 水灰比

当水泥品种及强度等级一定时,混凝土强度主要取决于水灰比,这一规律通常称为水灰比定则。根据混凝土结构特征分析可知,多余水在水泥硬化后在混凝土内部形成各种不同尺寸

的孔隙。这些孔隙会大大地减少混凝土抵抗荷载作用的有效断面,特别是在孔隙周围易产生应力集中现象。因此,水灰比愈小,水泥石强度及其与集料的粘结强度愈大,混凝土强度愈高。但水灰比过小,混凝土拌和物过于干硬,不易浇筑,反而使混凝土强度下降。

### (3) 集料

集料,特别是粗集料的种类和表面状态直接影响混凝土强度。碎石表面粗糙,水泥石与其表面粘结强度较大;而卵石表面光滑,粘结力小。因此在水泥强度和水灰比相同条件下,碎石混凝土强度往往高于卵石混凝土的强度。

### (4) 混凝土工艺

工艺条件是确保混凝土结构均匀密实、正常硬化、达到设计强度的基本条件。只有把拌和物搅拌均匀、浇注成型后捣固密实,且经过良好的养护才能使混凝土硬化后达到预期强度。

混凝土强度的发展取决于养护龄期、养护的湿度和温度等条件。潮湿状态下持续养护时,混凝土强度随龄期增长;如先潮湿而后干燥养护,则强度增长减缓,最后逐渐下降;混凝土强度随温度增加而增高。温度高,早期强度增长快,但后期强度增长率较小。

### (5) 测试条件

试验条件不同,会影响混凝土强度的试验值。试件尺寸和形状不同,会影响混凝土抗压强度值。试件尺寸愈小,测得的抗压强度值愈大。这是因为试件在压力机上加压时,在沿加荷方向发展纵向变形同时,也按波松比效应产生横向变形。压力机上下两块压板的弹性模量比混凝土大5~15倍,而波松比不大于2倍,致使压板的横向应变小于混凝土试件的横应变,上下压板相对试件的横向膨胀产生约束作用。愈接近试件端面,约束作用就愈大。

另外,大尺寸试件中裂缝、孔隙等缺陷存在的概率增大,由于这些缺陷减少受力面和引起应力集中,使得测得的抗压强度偏低。

## 二、混凝土立方体抗压强度

混凝土立方体抗压强度是以边长150mm的立方体试件为标准试件,在标准养护条件(温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ,相对湿度90%以上)下养护28d,测得得抗压强度。

### 1. 试验步骤

(1) 混凝土立方体抗压强度以 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 试件为标准,当粗骨料粒径较大或较小时,也可采用 $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 试件或 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 试件。以三个试件为一组。

(2) 混凝土的拌和、成型以及养护应按本章第二节中介绍的混凝土实验室拌和方法进行。

(3) 试件从养护地点取出后应及时进行试验,避免试件的温度和湿度发生显著变化。将试件表面与上下承压板面擦干净。测量试件尺寸,精确至1mm,并计算试件的承压面积。

(4) 将试件安放在试验机的下压板或垫板上,试件的承压面应与成型时的顶面垂直。试件的中心应与试验机下压板中心对准,开动试验机,当上压板与试件或钢垫板接近时,调整球座,使接触均衡。

(5) 在试验过程中应连续均匀地加荷,加荷速度取每秒钟 $0.3 \sim 0.5\text{MPa}$ 。当试件接近破坏开始急剧变形时,应停止调整试验机油门,直至破坏。然后记录破坏荷载。

### 2. 结果计算

混凝土立方体抗压强度应按下式计算:

$$f_{cu} = \frac{P}{A} \quad (13-14)$$

式中:  $f_{cu}$ ——混凝土立方体试件抗压强度, MPa;

$P$ ——试件破坏荷载, kN;

$A$ ——试件承压面积,  $\text{mm}^2$ 。

混凝土立方体抗压强度计算应精确至 0.1 MPa。以三个试件强度的算术平均值作为该组试件的抗压强度值。当三个试件强度中的最大值或最小值之一, 与中间值之差超过中间值的 15% 时, 取中间值。当三个试件强度中的最大值和最小值, 与中间值之差均超过中间值 15% 时, 该组试验结果无效。

以 150mm × 150mm × 150mm 试件为标准值, 其他尺寸试件测得的强度值均应乘以尺寸换算系数。对于 200mm × 200mm × 200mm 试件或 100mm × 100mm × 100mm 试件, 换算系数分别为 1.05 及 0.95。

### 三、混凝土轴心抗压强度

混凝土的立方体抗压强度只是评定强度等级的一个标志, 但它不能直接用来作为设计依据。在结构设计中, 实际使用的是混凝土轴心抗压强度, 即棱柱体抗压强度。此外, 在进行弹性模量、徐变等试验时, 也需先进行轴心抗压强度试验以定出试验所需参数。

#### 1. 试验步骤

(1) 混凝土轴心抗压强度以 150mm × 150mm × 300mm 试件为标准试件, 三个试件为一组。如确有必要, 也可采用非标准尺寸的棱柱体试件, 其高宽比应在 2 ~ 3 范围内。

(2) 混凝土的拌和、成型以及养护应按本章第二节中介绍的混凝土实验室拌和方法进行。

(3) 试件从养护地点取出后应及时进行试验, 避免试件的温度和湿度发生显著变化。将试件表面与上下承压板面擦干净。测量试件尺寸, 精确至 1mm, 并计算试件的承压面积。

(4) 将试件安放在试验机的下压板或垫板上, 试件的承压面应与成型时的顶面垂直。试件的中心应与试验机下压板中心对准, 开动试验机, 当上压板与试件或钢垫板接近时, 调整球座, 使接触均衡。

(5) 在试验过程中应连续均匀地加荷, 加荷速度取每秒钟 0.3 ~ 0.5 MPa。当试件接近破坏开始急剧变形时, 应停止调整试验机油门, 直至破坏。然后记录破坏荷载。

#### 2. 试验结果

混凝土试件轴心抗压强度应按下式计算:

$$f_{cc} = \frac{P}{A} \quad (13-15)$$

式中:  $f_{cc}$ ——混凝土轴心抗压强度, MPa;

$P$ ——试件破坏荷载, N;

$A$ ——试件承压面积,  $\text{mm}^2$ 。

混凝土轴心抗压强度计算应精确至 0.1 MPa。以三个试件强度的算术平均值作为该组试件的抗压强度值。当三个试件强度中的最大值或最小值之一, 与中间值之差超过中间值的 15% 时, 取中间值。当三个试件强度中的最大值和最小值, 与中间值之差均超过中间值 15% 时, 该组试验结果无效。

以 150mm × 150mm × 300mm 试件为标准值,其他尺寸试件测得的强度值均应乘以尺寸换算系数。对于截面为 200mm × 200mm 的试件取 1.05,对截面为 100mm × 100mm 试件取 0.95。

#### 四、混凝土静力受压弹性模量

混凝土是种多相复合体系,其加荷和卸荷时表现出明显弹塑性性质,这种性质常用其应力—应变的全曲线表达。但用以描述在荷载作用下的变形、裂缝和破坏全过程的全曲线,必须采用适宜的试验方法,用足够刚度的试验机(即试验机回弹变形小于试件的压缩变形),缓慢和平稳的加载过程,量测试件的纵向和横向应变,绘制出典型应力—应变全曲线。

初始切线模量是应力—应变曲线原点处切线的斜率,不易测准。切线模量是该曲线上任意一点的切线斜率,但它仅适用于很小的荷载变化范围,割线弹性模量是应力—应变曲线上任一点与原点连线的斜率,表示选择点的实际变形,并且较易测准,常被工程上采用。根据我国有关标准规定,取 40% 轴心抗压强度应力下的割线模量作为混凝土弹性模量值。

##### 1. 试验步骤

(1) 混凝土弹性模量试验用的标准或非标准尺寸棱柱体试件的各项要求与本节第三部分中有关规定相同。每次试验应制备 6 个试件,其中 3 个试件用于测定轴心抗压强度。

(2) 另 3 个试件作弹性模量试验。将测量变形的仪表安装在试件两侧的中线上,并对称于试件的两端。标准试件的测量标距为 150mm,非标准试件的测量标距不应大于试件高度的 1/2,不应小于 100mm 或骨料最大粒径的 3 倍。

(3) 在试件上安好仪表后,应仔细调整它在试验机上的位置,使其轴心与下压板的中心线对准。开动压力试验机,当上压板与试件接近时调整球座,使其接触均衡。

以 0.2 ~ 0.3MPa/s 的速度连续均匀的加荷到轴心抗压强度的 0.4 倍,然后以同样的速度卸荷至零,如此反复预压三次。

(4) 预压三次后,用同样的速度进行第四次加荷。先加荷至压力约为 0.5MPa 的初始荷载值,保持 30s,分别读取试件两侧的仪表读数,然后加荷至轴心抗压强度值的 0.4 倍荷载,保持 30s,读取仪表的读数,计算平均变形值。以与加荷速度相同的速度卸荷至基准应力 0.5MPa,30s 后,读取试件两侧变形值,并按上述方法继续进行 5 次加荷,持荷、读数并计算出试件两侧的变形值的平均值。第 4 次加荷测得的平均变形值与第五次加荷测得的平均变形值之间不得大于 0.00002 倍测点标距,否则,重复上述过程,直到两次相邻加荷的变形值之差符合上述要求为止。卸除变形测量仪,以同样的速度加荷至破坏,取得轴心抗压强度。

##### 2. 结果计算

混凝土弹性模量值应按下式计算,结果计算精确至 100MPa:

$$E_c = \frac{P_{cc} - P_0}{A} \cdot \frac{L}{\delta_n} \quad (13-16)$$

式中:  $E_c$ ——混凝土弹性模量,MPa;

$P_{cc}$ ——应力为 1/3 轴心抗压强度时的荷载,N;

$P_0$ ——应力为 0.5MPa 时的初始荷载,N;

$A$ ——试件承压面积,mm<sup>2</sup>;

$L$ ——测量标距,mm;

$\delta_n$ ——最后一次从  $P_0$  加荷至  $P_{cc}$  时试件两侧变形的平均值,mm。



弹性模量按三个试件测值的算术平均值计算。如果其中一个试件在测定弹性模量后,其抗压强度值与用以决定试验控制荷载的轴心抗压强度值相差超过后者 20% 时,则弹性模量值应为其余两个试件值的平均值,如有两个试件超过此规定,则试验结果无效。

## 五、混凝土劈裂抗拉强度

混凝土是种脆性材料,抗拉强度仅为抗压强度的  $1/10 \sim 1/20$ ,混凝土工作时一般不依靠其抗拉强度,但混凝土抗拉强度对抵抗裂缝的产生有重要意义。目前,我国仍无测定抗拉强度的标准试验方法。劈裂强度是衡量混凝土抗拉性能的一个相对指标。

### 1. 试验步骤

- (1) 采用  $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$  的立方体作为标准试件,以三个试件为一组。
- (2) 混凝土的拌和、成型及养护应分别按本章第二节中有关规定执行。
- (3) 试件从养护地点取出后,应及时进行试验,避免试件的温度和湿度发生显著变化。
- (4) 试件在试验前应先擦拭干净,测量尺寸,检查外观,并在试件中部划线定出劈裂面的位置。劈裂面应与试件成型时的顶面垂直。
- (5) 试件尺寸测量,精确至  $1\text{mm}$ ,并据此计算试件的劈裂面面积。如实测尺寸与公称尺寸之差不超过  $1\text{mm}$ ,可按公称尺寸进行计算。试件承压面的不平度,不应大于试件边长的  $0.05\%$ ,承压面与相邻面的不垂直度,偏差不应大于  $\pm 1^\circ$ 。
- (6) 将试件放在压力试验机下压板的中心位置。在上、下压板与试件之间垫以圆弧形垫条及垫层各一条,垫条方向应与成型时的顶面垂直,为了保证上、下垫条对准及提高工作效率,可以把垫条安装在定位架上使用。开动试验机,当上压板与试件接近时,调整球座,使接触均衡。
- (7) 以  $0.04 \sim 0.06\text{MPa/s}$  速度连续而均匀地加荷载。当试件接近破坏时,应停止调整油门,直至试件破坏。然后记录破坏荷载。

### 2. 结果计算

混凝土劈裂抗拉强度应按下式计算至  $0.01\text{MPa}$ :

$$f_{tw} = \frac{2P}{\pi A} \quad (13-17)$$

式中:  $f_{tw}$ ——混凝土劈裂抗拉强度,  $\text{MPa}$ ;

$P$ ——试件破坏荷载,  $\text{N}$ ;

$A$ ——试件劈裂面面积,  $\text{mm}^2$ 。

取三个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值。当三个测值中的最大值或最小值之一,与中间值的差值超过中间值的  $15\%$  时,则把最大及最小值一并舍去,取中间值作为该组试件的抗压强度值,如最大值与最小值与中间值的差均超过中间值的  $15\%$ ,则该组试件的试验结果无效。

## 六、混凝土抗折强度

混凝土抗折强度试验测定混凝土弯曲抗拉强度,检验其是否符合结构设计要求。

### 1. 试验步骤

- (1) 混凝土抗折强度采用  $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 600\text{mm}$  (或  $550\text{mm}$ ) 小梁作为标准试件。如确

有必要,也可采用 100mm×100mm×400mm 的试件。三个试件为一组。

(2)混凝土的拌和、成型及养护应分别按本章第二节中有关规定执行。

(3)试件从养护地点取出后,应及时进行试验,避免试件的温度和湿度发生显著变化。

(4)试件在试验前应先擦拭干净,测量尺寸,检查外观,试件尺寸测量精确至 1mm 并据此进行强度计算。

试件不得有明显缺陷,在跨中三分之一梁长的受拉区内,不得有表面直径超过 7mm 并且深度超过 2mm 的孔洞。试件承压面和支承面的不平度不应大于试件边长的 0.05%,承压面和支承区与相邻面的不垂直度,不应大于 1°。

(5)调整支座及压头位置,所有间距尺寸偏差应不大于 ±1mm。

(6)将试件在试验机的支座上放稳对中,承压面应选择试件成型的侧面。开动试验机,当加压头与试件将接触时,调整加压头和支座,使接触均衡,加压头和支座均不得前后倾斜,各接触不良处,均应用胶皮等物垫平。

(7)以 0.04~0.06MPa/s 的速度连续均匀地加荷,直到破坏,记录破坏荷载及破坏位置。

## 2. 结果计算

若试件下边缘断裂位置处于二个集中荷载作用线之间,则试件的抗折强度按下式计算至 0.01MPa:

$$f_t = \frac{Fl}{bh^2} \quad (13-18)$$

式中: $f_t$ ——混凝土抗折强度,MPa;

$F$ ——试件破坏荷载,N;

$l$ ——支座间跨度,mm;

$h$ ——试件截面高度,mm;

$b$ ——试件截面宽度,mm。

取三个试件测值的算术平均值作为该组试件的抗折强度值。当三个试件抗折强度中的最大值或最小值之一,与中间值之差超过中间值 15% 时,取中间值;当三个试件抗折强度中的最大值和最小值,与中间值之差均超过中间值 15% 时,该组试验结果无效。

如折断面位于两个集中荷载以外,则该试件试验结果作废,如有两个试件的试验结果作废,则该组试验结果无效。

采用 100mm×100mm×400mm 试件时,所测得的抗折强度值应乘以尺寸换算系数 0.85。

## 七、混凝土与钢筋的握裹力

钢筋混凝土是以钢筋和混凝土作为一个整体承受荷载,因此钢筋与混凝土之间必须具有充分得握裹强度。埋入混凝土中的钢筋在拉出一定滑动量时所产生得抵抗力称为握裹强度。

### 1. 试验步骤

(1)试件尺寸为 150×150×150mm,试件应能埋设一水平钢筋,水平钢筋中心距离试件底部 75mm,埋入得一端恰好嵌入试件壁,予以固定,另一端由试件壁伸出,作为加力之用。

(2)钢筋采用质量符合《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB 1499)、《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》(GB 13013)的尺寸为  $\phi 20\text{mm} \times 500\text{mm}$  的带肋钢筋或光圆钢筋。

(3) 成型前将尺寸、形状和螺纹均相同的试验所用钢筋刷净,并用丙酮擦拭,不得有锈屑和油污存在,钢筋自由端应光滑平整,并与试模预留的凹洞吻合。

(4) 混凝土的拌和、成型及养护应分别按本章第二节中有关规定执行。每一试验龄期制作 6 个试件。安装钢筋时,钢筋自由端应嵌入模壁,穿钢筋的模壁孔应用橡皮圈和固定圈填塞固定钢筋,并不得漏浆、漏水。

(5) 混凝土骨料最大粒径不应超过 40mm;对于干稠混凝土,应采用振动台振实,试样仍应分两层装入;试验成型后直至试验龄期,不得碰动钢筋,拆模时间宜延长至两昼夜。拆模时,应先取下橡皮圈和固定圈,再将套在钢筋上的试模壁小心取下。

(6) 试件从养护地点取出后,应及时进行试验,避免试件的温度和湿度发生显著变化。

(7) 试验时,先将试件擦拭干净,检查外观,试件不得有明显缺损或钢筋松动、歪斜。

(8) 将试件套上中心有洞孔的垫板,然后装入已安装在万能机上的试验夹头中,使万能机的下夹头将试件的钢筋夹牢。

(9) 在试件上安装量表固定架,并装上千分表,使千分表杆尖端垂直朝下,与略伸出混凝土试件表面的钢筋顶面相接触。

(10) 加荷前应检查千分表量杆与钢筋顶面接触是否良好,千分表是否灵活,并进行适当调整。

(11) 记下千分表的初始读数后,即开动万能机,以不超过 400N/s 的加荷速度拉拔钢筋。每加一定荷重(1 000 ~ 5 000N)记录相应千分表读数。

(12) 超过下列任一情况时,应停止加荷:

- ① 钢筋达到屈服点;
- ② 混凝土发生破裂;
- ③ 钢筋已从混凝土拔出。

## 2. 试验结果

(1) 将各级荷重下的千分表读数减去初始读数,即得该级荷重下的滑动变形。

(2) 当采用带肋钢筋时,以 6 个试件滑动变形的算术平均值绘出荷重—滑动变形关系曲线,以荷重为纵坐标,滑动变形为横坐标。取滑动变形 0.01、0.05 及 0.10mm,在曲线上查出相应的荷重,此三级荷重的平均值,除以钢筋埋入混凝土中的表面积,而得握裹强度:

$$\tau = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3A} \quad (13-19)$$

$$A = \pi DL \quad (13-20)$$

式中:  $\tau$ ——钢筋握裹强度,MPa;

$P_1$ ——滑动变形为 0.01mm 时的荷载,kN;

$P_2$ ——滑动变形为 0.05mm 时的荷载,kN;

$P_3$ ——滑动变形为 0.10mm 时的荷载,kN;

$A$ ——埋入混凝土的钢筋表面积, $\text{mm}^2$ ;

$D$ ——钢筋的计算直径,mm;

$L$ ——钢筋埋入的长度,mm。

混凝土钢筋握裹力强度精确至 0.01MPa。当采用光圆钢筋时,可取 6 个试件拔出试验时的最大荷重的平均值进行计算。

## 第八节 混凝土耐久性及检验方法

### 一、混凝土的耐久性

混凝土耐久性,是混凝土在实际使用条件下抵抗各种破坏因素作用,长期保持强度和外观完整性的能力。主要包括抗冻融、抗碳化、抗腐蚀以及抗碱集料反应等。

虽然混凝土在不同环境条件破坏过程各不相同,但对于提高其耐久性措施来说,却有许多共同之处。这就是选择适当的原材料,提高混凝土密实度和改善混凝土内部孔结构。

混凝土原材料选择在有关本书章节都有讲述。至于提高混凝土密实度,关键在于严格控制水灰比和保证足够的水泥用量。这在现行《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269)中规定了海水环境及淡水环境混凝土最大水灰比和最小水泥用量。另外还应选择好集料级配和砂率,使集料最密集堆积;以及采用适当施工工艺,如搅拌均匀、合理浇注、振捣密实、养护等,在配料中掺入减水剂都可提高混凝土密实度。

如果引入引气剂可使混凝土内部形成闭孔的孔结构,也可提高混凝土抗冻性、抗渗性及抗侵蚀性等耐久性。

### 二、混凝土抗冻性(北方地区)

#### 1. 混凝土的抗冻性及抗冻等级

混凝土抗冻性是指混凝土在使用环境中,能经受多次冻融循环作用而不破坏,同时也不急剧降低强度的性能。由于它是破坏混凝土最严重因素之一,因此是评定混凝土耐久性主要指标。

混凝土抗冻融等级是以同时满足相对动弹模量下降不超过 25%、重量损失率不超过 5% 时最大循环次数来表示,常以符号 F 来表示。如 F350,表示此种混凝土经受 350 次冻融试验后,相对动弹性模量未下降至 75% 或重量损失率未达到 5%。

#### 2. 混凝土抗冻性试验步骤

(1) 混凝土试件尺寸为  $100 \times 100 \times 400\text{mm}$  的试件三个为一组,混凝土的拌和、成型及养护应分别按本章第二节中有关内容进行。

(2) 试件到达规定的养护龄期后,自养护池取出。如冻融介质为海水,应将试件风干两昼夜后再浸泡海水两昼夜。如冻融介质为淡水,则不必风干。

(3) 对已保水完毕的试件,擦去表面水分,称量初始重,并测量初始动弹性模量。必要时可对试件外观描述或照相。动弹模量测试方法见本节后续内容。

(4) 将试件装入桶底和桶壁均衬有橡皮的试件桶内,按冻融介质,注入海(淡)水,水面应浸泡没试件顶面 20mm。

(5) 一次冻融循环的指标应符合下列要求:

- ① 试件中心冻结温度  $-15^{\circ}\text{C}$  (允许偏差  $-2^{\circ}\text{C}$ );
- ② 试件每次循环的降温历时 1.5 ~ 2.5h;
- ③ 试件中心最高融解温度  $8 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ;
- ④ 试件每次循环的升温历时 1.0 ~ 1.5h;

⑤一次冻融循环历时 2.5 ~ 4.0h;

⑥试件的中心与表面的温度差小于 28℃。

每经历 50 次或 25 次(视混凝土试件抗冻性高低而定)冻融循环后,应对试件分别进行动弹性模量和质量检查,并进行外观评级。必要时,可对试件进行外观描述或照相。每次检查完毕装桶时应将试件调头。

(6)当有一部分试件停冻取出后,应另用试件填充空位,如无正式试件,应用废试件填充。

(7)冻融循环试验应连续进行,若因故中断,且不能确保中断时间不超过两天时,则试件应在温度为  $-2 \pm 2^\circ\text{C}$  条件下保存至恢复试验为止。

(8)当采用氯化钙溶液为冷冻液时,应定期检查其密度,若密度小于 1.27kg/L 时应及时调整。

### 3. 结果计算

(1)相对动弹性模量按下式进行计算:

$$P = \frac{f_n}{f_0} \times 100\% \quad (13-21)$$

式中:  $P$ ——试件相对动弹性模量, %;

$f_0$ ——冻融前试件的共振频率, Hz;

$f_n$ ——经受  $n$  次冻融循环后的试件的共振频率, Hz。

三个试件试验结果的平均值为测定值,但当最大值或最小值之一与中间值值之差超过中间值的 20% 时,剔除此值,取其他两值的平均值作为平均值;当最大值和最小值均超过中间值的 20% ,则取中间值作为测定值。

(2)混凝土试件冻融后的重量损失率可按下式计算:

$$S_n = \frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100 \quad (13-22)$$

式中:  $S_n$ —— $N$  次冻融循环后的重量损失率, %;

$W_0$ ——冻融试验前的混凝土试件初始饱水重量, g;

$W_n$ —— $N$  次冻融循环后的混凝土试件饱水量, g。

三个试件试验结果的平均值为测定值。但当三个值均为负值时,平均值取零;当其中 2 个值为负值时,则由两正值相加除以 3,为平均值;当三个值均为正值,最大值或最小值与中间值的差大于 1% 时,剔除,取剩下的两值平均作为平均值;当最大值或最小值与中间值的差均超过 1% 时,取中间值为测定值。

### 4. 抗冻融等级的确定

以相对动弹性模量下降至 75% 或重量损失率达 5% 时,即可认为试件已达破坏,并以相应的冻融循环次数作为该混凝土的抗冻融等级。

如相对动弹性模量或重量损失率均未达到上述指标,但冻融循环次数已满足设计要求,亦可停止试验。

## 三、混凝土动弹性模量

混凝土的强度与其弹性模量成正比,而弹性模量的与构件自振频率又有相对应的函数关系,因此可以通过共振法测定混凝土棱柱体试件的横向自振频率,计算动弹性模量,并用其评

价混凝土的抗冻融等级。

### 1. 基本原理

测量混凝土试件固有频率,据以计算混凝土的相对动弹性模量。混凝土动弹模量测定仪的工作原理:当仪器工作时,由音频发生器产生音频交变电压,经功率放大器放大,输入激振器。经过激振器,把电振荡转换为机械振动,并施加于试件上。传入试件的机械振动波经过接收器,转换为电振荡,经音频电压放大器进行电压放大后,输入指示电流表。当外加机械振动频率与试件的固有的自振动频率相同时,即发生共振,此时指示电流表指针偏转最大。

### 2. 试验步骤

(1)按仪器使用说明书的要求进行测试前的调整及预热等准备工作。

(2)测定试件的重量准确至5g;长度和断面尺寸准确至1mm。

(3)把试件平放在海绵垫上,将激振器和接收器的接触杆轻轻地压在试件的同一侧面,测杆压力的大小,以不出现噪音为度。

(4)调整激振器和接收器的增益,转动刻度盘,使指示电流表指针偏转最大,此时频率计的频率数即为试件的横向自振频率。

(5)测试时,应重复测试两次,测试结果的波动范围为 $\pm 0.5\%$ 。

(6)在测试中,若发现有两个以上的共振峰时,可采用节点法检测:先调整发射频率使电流表指针偏转至最大,把接收器移至由试件端部计的 $0.224L$ ( $L$ 为试件全长)处,示电流表指针指零,则该频率值为试件的横向自振频率。

### 3. 结果计算

横向动弹性模量按下式计算:

$$E_0 = 9.65 \times 10^{-6} \frac{RGL^3 f^2}{bh^3} \quad (13-23)$$

式中: $E_0$ ——混凝土动弹弹性模量,MPa,;

$f$ ——横向自振频率,Hz;

$G$ ——试件重量,N;

$L$ 、 $b$ 、 $h$ ——分别为试件的长、宽、高,mm;

$R$ ——取决于试件边长比和泊松比的修正系数。对于边长比为4、泊松比大约为1/6的混凝土试件取1.5。

三个试件试验结果的平均值为测定值,但当最大值或最小值之一与中间值值之差超过中间值的20%时,剔除此值,取其他两值的平均值作为平均值;当最大值和最小值均超过中间值的20%,则取中间值作为测定值。

## 四、抗渗性能试验

混凝土抗渗性是指混凝土抵抗压力水渗透的能力。混凝土抗渗性主要是内部孔隙形成连通渗水通道所致。因此它直接影响混凝土抗冻性和抗腐蚀性。混凝土抗渗性用抗渗等级表示,有 $W_2$ 、 $W_4$ 、 $W_6$ 、 $W_8$ 、 $W_{10}$ 、 $W_{12}$ 共6个等级。

### 1. 试验步骤

(1)试件制作:抗渗性能试验应采用顶面直径为175mm,底面直径为185mm,高度为150mm的圆台体或直径与高度均为150mm的圆柱体试件(视抗渗设备要求而定)。抗渗试件

以6个为一组。试件成型后24小时拆模,用钢丝刷刷去两端面水泥浆膜,后送入标准养护室养护。试件一般养护至28天龄期进行试验,如有特殊要求,可在其他龄期进行。

(2)试件养护到期后取出,擦干表面,用钢丝刷刷净两端面。等表面干燥后,在试件侧面滚涂一层密封材料,然后在螺旋加压器上压入经过烘箱或电炉预热过的试模中,使试件模底平齐。等试模变冷后,即可解除压力,装至渗透仪上进行试验。如在试验过程中,水从试件周边渗出,说明密封不好,应重新密封。

(3)试验时,水压从0.1MPa开始,每隔8h增加水压0.1MPa,并随时注意观察试件端部,当6个试件中有3个试样端部渗水,记录此时水压力后,即可停止试验。当加压至设计抗渗等级,经8h后第3个试件仍不渗水,表明混凝土不小于设计抗渗等级,也可停止试验。

## 2. 结果评定

混凝土的抗渗等级以每组6个试件中4个试件未出现渗水时的最大水压力计算。其计算式为:

$$W = 10H - 1 \quad (13-24)$$

式中:W——抗渗等级;

H——6个试件中3个渗水时的水压力,MPa。

## 五、钢筋在砂浆拌和物中阳极极化

本试验是为了研究外加剂 and 水泥对混凝土中钢筋腐蚀的影响。

### 1. 试验基本原理

在阳极极化装置中,由于外加电压作用,接直流电源正极的钢筋表面上会模拟出钢筋腐蚀的阳极过程。测量阳极在通电后的电位变化,可定性地判断钢筋在混凝土中钝化膜的好坏,以此初步判断外加剂或水泥的影响。

### 2. 试验步骤

(1)用长100mm、直径6mm的未锈钢筋制作钢筋电极。钢筋应经酸洗,酸洗液可用盐酸溶液,中和液可用3%碳酸钠溶液。将钢筋泡入酸洗液中,待表面氧化皮溶解后取出。每根钢筋依次放在水、中和液中摇动几下,再放入另一盘中和液中浸泡。然后取出用水冲洗,再用干毛巾擦干,放入已预先升至 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 的烘箱内烘5min,至此酸洗完毕。再用粗、细砂布先后摩擦钢筋表面至光亮。在钢筋的一端焊上导线,再将钢筋两头浸涂石蜡,使中间暴露段长70mm。用丙酮去脂,放在干燥器内备用。钢筋暴露段应保持清洁,焊线时应及时擦去焊油,钢筋表面用砂布处理后,宜当天投入试验。

(2)按试验要求的配合比(在无特定要求时,可采用水灰比0.5,灰砂比1:2.2)配制砂浆,湿拌时间2min。检验外加剂时,外加剂按比例随拌和水加入。无特定要求时,采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。当拌和用水含较多有害杂质时,应改用蒸馏水拌和。

(3)把拌制好的砂浆浇入试模中,先浇一半(厚20mm左右)。将两个钢筋电极平行放在砂浆层上面,间距约为40mm,各离侧模板25mm左右,然后灌满砂浆,拉出导线,在两边轻轻捣几下,使钢筋表面全部与砂浆接触。

(4)一根钢筋作为试验电极,另一根作为辅助电极,用阳极极化试验仪,测定试验电极的自然电位。测量时,硫酸铜电极的下端应对准试验电极的中点位置,与砂浆拌和物表面接触,并垂直于砂浆表面。

(5) 按要求线路通直流电, 试验电极接仪器正极, 辅助电极接负极。按试验电极暴露面积计算的电流密度, 保持恒定为  $0.5\mu\text{A}/\text{mm}^2$ 。

(6) 在通电的同时开始计算时间, 分别在 2、6、10、15min 记录电极极化电位  $V_2$ 、 $V_6$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{15}$ 。

(7) 更换试验电极, 辅助电极可不更换, 照以上步骤, 进行重复测量。取两次测量结果的平均值作为测定值。在电位—时间坐标图上绘出电极阳极极化电位—时间曲线。若两个试验电极测量结果出现矛盾, 即一个处于钝化状态, 另一个处于非钝化状态, 则此组试验作废, 应重新进行试验。

### 3. 结果分析

若电极通电后, 电位迅速向正方向移动,  $V_2$  达 +500mV 左右, 且经过 15min 电位跌落不超过 50mV (即  $V_2 - V_{15}$  不大于 50mV), 则为钝化电极。可以认为所用的外加剂和水水泥本身不含有对钢筋有害的物质。

若曲线很平缓或电位先向正方向移动, 后又改向负方向移动, 这两种情况均表明钢筋钝化膜已损坏。这时对所用的外加剂或水泥还不能下明确的结论, 对它们还需用砂浆中的阳极极化法作进一步检验。

## 六、钢筋在硬化砂浆中阳极极化

当用砂浆拌和物中的阳极极化法试验后, 尚不能对所研究的外加剂或水泥作出结论时, 可用本方法进行试验。

### 1. 试验基本原理

水泥终凝时间不应大于 48h 在砂浆硬化早期, 水泥已结合部分外加剂, 这时采用 100℃ 的温度烘 24h 加速腐蚀, 并用阳极极化法测定钢筋表面钝化膜的状况, 由此可判断外加剂或水泥对钢筋腐蚀的影响。

### 2. 试验步骤

(1) 钢筋砂浆电极 (以下简称电极), 尺寸为  $30\text{mm} \times 30\text{mm} \times 94\text{mm}$ , 正中埋设一根长 100mm、直径 6mm 的未锈钢筋。钢筋预先经酸洗、擦锈、去脂。钢筋擦锈采用细钢丝刷刷光的方法。按实验要求的配合比 (在无特定要求时, 可采取水灰比 0.5, 灰砂比 1:2.2) 配制砂浆。湿拌时间 2min, 1 组 3 个试件。检验外加剂时, 外加剂按比例随拌和水加入。无特定要求时, 采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。用振动台或跳桌成型。成型时, 钢筋由两端模板上的凹洞保证其正中位置。电极成型后, 连同模子一起放入标准养护室, 盖上湿布养护。经 22h 拆模 (需延长脱模时间时, 报告中注明), 用水泥浆涂电极两端, 使钢筋的两端裸露部分埋于水泥浆中, 以后仍放在标准养护室, 盖湿布, 再养护 48h。钢筋表面处理, 应及时埋入砂浆。

(2) 电极养护后取出, 在  $100 \pm 2$  的温度下烘 24h, 烘后取出电极, 敲去两端水泥浆, 在钢筋一端焊上导线。试件两端涂蜡, 使暴露长度为 85mm。

(3) 将 1 组的 3 个砂浆电极放在 1000mL 烧杯中, 用饱和氢氧化钙溶液浸泡 2~4h。

(4) 电极移入盛有饱和氢氧化钙溶液的玻璃缸中, 使电极深入溶液深度为 85mm, 用阳极极化实验仪测量电极的自然电位  $V_0$ 。

(5) 接直流电, 电极接阳极极化仪正极, 辅助电极接负极。通过进入溶液 85mm 长的钢筋表面的电流密度保持恒定为  $0.5\mu\text{A}/\text{mm}^2$ 。



(6) 在通电的同时开始计算时间,分别在 2、6、10、15min 记录电极极化电位  $V_2$ 、 $V_6$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{15}$ 。

(7) 取三个电极测量结果的平均值为测量值,点绘在电位—时间坐标图上,画出电极的阳极极化电位—时间曲线。

### 3. 结果分析

结果分析与钢筋在砂浆拌和物中阳极活化性能试验相同。 $V_2$  达 +650mV 左右、经过 15min 电位跌落不超过 50mV 的电极,可以认为是钝化电极,所用的外加剂或水泥不含有对钢筋有害的物质。若经过 15min。电位跌落超过 50mV。为介于钝化与活化之间,说明钢筋的钝化膜已受损坏。损坏程度可用  $V_2 \sim V_{15}$  段曲线的斜率,即电位向负方向移动的斜率来判断,斜率愈大,损坏愈甚。

若电极通电后, $V_2$  小于 +650mV,并很快地向负方向下落,表明钝化膜破坏较厉害,为活化电极,其活化程度,可用  $V_2$  来衡量。 $V_2$  值下降越大活化越强。

对于活化电极和介于钝化与活化之间的电极,可以初步认为所用的外加剂或水泥对钢筋是有害的。其有害作用的大小,可从钝化膜的破坏程度来定性地进行相对比较。

## 七、混凝土抗氯离子渗透快速试验

在混凝土中,渗透性是一个综合指标。它是指气体、液体或者离子受压力、化学势或者电场的作用,在混凝土中渗透、扩散或迁移的难易程度。混凝土渗透性与耐久性之间有着密切的关系,混凝土获得高耐久性与长寿命的关键是提高混凝土的抗渗性。由于混凝土抵抗氯离子渗透的能力与混凝土配合比、原材料、施工质量密切相关,能够比较全面反应混凝土的抗渗性,因此,可以考虑用混凝土抗氯离子渗透性能来评价混凝土渗透性。通常用于反映混凝土抗氯离子渗透性能的指标是氯离子扩散系数和电量。而氯离子扩散系数又可以用来预测钢筋混凝土开始脱钝的时间,即钢筋混凝土基本的耐久性和最短的使用寿命。

### 1. 试验原理

氯离子在直流电压作用下,能透过混凝土试件向正极方向移动。测量流过混凝土的电荷量或电导,就能反映出透过混凝土的氯离子量。并根据 Nernst-Plank 方程式可以推算出氯离子的电迁移扩散系数。

### 2. 试验步骤

(1) 制作  $\phi 100\text{mm} \times 60\text{mm}$  的圆盘型混凝土试件。以三块试件为一组。试件成型后,表面盖湿麻袋在室温为  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  条件下养护 24h 后拆模(保留与试件紧贴的塑料圈)。用钢丝刷刷毛两端面后,试件连塑料圈一起放在盛有  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  饱和氢氧化钙溶液塑料桶中养护 24h。取出,用螺旋加压器或压力机将试件顶出塑料圈。试件再在  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  饱和氢氧化钙溶液中养护 26d。

(2) 混凝土芯样,应该割成  $\phi 100\text{mm} \times 60\text{mm}$  试件。测试前,进行真空饱水:把试件放入 1 000ml 烧杯中,然后一起放入真空干燥器开启真空泵,在数分钟内使真空干燥器内真空度达到 0.098MPa,维持 3h 在继续保持这一真空度时注入足够的蒸馏水至烧杯中,将试件浸泡 1h,恢复常压,再继续在水中浸泡 18h。

(3) 配制 3% NaCl 和 0.3mol/L (1.2%) NaOH 溶液,分别装瓶加盖后放在  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  条件中备用;

(4) 试验在室温  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  下进行。试件从氢氧化钙溶液中取出。每取出一试件,同时测量并记录氢氧化钙溶液的温度。用湿布擦去表面浮水。试件圆侧面和抹面面、底面的边缘(约 10mm 宽)用螺杆(或台钳)把两试验槽和试件夹紧。

(5) 在试件两边试验槽内,分别注入 3% NaCl 和 0.3mol/L 的 NaOH 溶液(试件抹面面接触 NaOH 溶液)。过 2min 后,进行测试。量线路,用频率为 1 000Hz 的交流电桥测量试件电阻。

### 3. 结果处理

(1) 试件电导值按下式计算,精确至  $0.01 \times 10^{-4}\text{S}$ :

$$C_i = 1/R_i \quad (13-25)$$

式中: $C_i$ ——室温下试件的电导,S;

$R_i$ ——测得试件电阻, $\Omega$ 。

(2) 试件的电导值,按下式进行温度校正;

$$C_{20} = e^{a(1/T_i - 1/T_{20})} \cdot C_i \quad (13-26)$$

式中: $a$ ——常数,取  $a = 2\ 130$ ;

$T_i$ ——在试件测量时,记录的饱和氢氧化钙溶液的温度,以绝对温度计;

$T_{20}$ —— $20^\circ\text{C}$  时对应的绝对温度值,等于 293;

$C_i$ ——室温下测得的试件电导,S;

$C_{20}$ ——校正为  $20^\circ\text{C}$  时的电导,S。

(3) 试件的相对氯离子扩散系数按下式计算,精确至  $0.01 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 。

$$D = 0.235 \times 10^{-2} C_{20} \quad (13-27)$$

取同组 3 个试件的相对氯离子渗透系数的平均值,作为该组试件的相对氯离子渗透系数值。

## 八、混凝土中砂浆氯离子总含量

### 1. 试验原理

用硝酸将含有氯化物的水泥全部溶解,然后在硝酸溶液中用倭尔哈德法来测定氯化物含量。

倭尔哈德法是在硝酸溶液中加入过量的  $\text{AgNO}_3$  标准溶液,使氯离子完全沉淀。用铁矾作指示剂,将过量的  $\text{AgNO}_3$  用  $\text{KCNS}$  标准溶液滴定。滴定时  $\text{CNS}^-$  首先与  $\text{Ag}^+$  生成白色的  $\text{AgCNS}$  沉淀, $\text{CNS}^-$  略有多余时,即与  $\text{Fe}^{3+}$  形成  $\text{Fe}(\text{CNS})^{2+}$  络离子使溶液显红,当滴至红色维持 5~10s 不褪,即为终点。

### 2. 试验步骤

(1) 取适量的混凝土试样(40g 左右),用小锤仔细除去混凝土试样中石子部分,保存砂浆,把砂浆研碎成粉状。置于  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  烘箱中烘 2h。取出放入干燥器内冷却至室温,用感量 0.01g 的天平称取 10~20g 砂浆试样倒入三角烧瓶。

(2) 用容量瓶盛 100mL 稀硝酸(按体积比为浓硝酸:蒸馏水 = 15:85)倒入盛有砂浆试样的三角烧瓶内,盖上瓶塞,防止蒸发。

(3) 砂浆试样浸泡一昼夜左右(以水泥全部溶解为度),其间摇动三角烧瓶,然后用滤纸过滤,出去沉淀。

(4) 用移液管准确称量滤液 20mL 两份, 置于三角锥形瓶, 每份由滴定管加入硝酸银溶液 20mL (可估算氯离子含量的多少而酌量增减), 分别用硫氰酸钾溶液滴定。滴定时激烈摇动溶液, 当滴至红色能维持 5~10s 不褪时即为终点。必要时加入 3~5 滴 10% 铁矾溶液以增加水泥含有的  $\text{Fe}^{3+}$ 。

### 3. 氯离子总含量的计算

$$P = \frac{0.03545(C_{\text{AgNO}_3}V - C_{\text{KSCN}}V_1)}{GV_2/V_3} \times 100\% \quad (13-28)$$

式中:  $P$ ——砂浆样品中氯离子总含量, %;

$C_{\text{AgNO}_3}$ ——硝酸银标准溶液的浓度, mol/L;

$C_{\text{KSCN}}$ ——硫氰酸钾标准溶液的浓度, mol/L;

$V$ ——加入滤液试样中的硝酸银标准溶液体积, mL;

$V_1$ ——滴定时消耗的硫氰酸钾标准溶液体积, mL;

$V_2$ ——每次滴定时提取的滤液体积, mL;

$V_3$ ——浸样品的水体积, mL;

$G$ ——砂浆样品质量, g。

## 第九节 混凝土变形性能及检验方法

### 一、混凝土的变形性能及其影响因素

混凝土在硬化和使用过程中, 所受多种因素影响而产生变形。这些变形或使结构产生裂缝, 从而降低其强度和刚度; 或使混凝土内部产生微裂缝, 破坏混凝土微观结构, 降低其耐久性。

#### 1. 收缩

混凝土材料物理化学作用而产生的体积缩小现象总称为收缩。主要包括物理收缩、化学收缩和碳化收缩。

##### (1) 物理收缩(主要指湿胀干缩)

它是因混凝土的干燥和吸湿引起其中含水量的变化, 进而引起混凝土体积变化。

湿胀是由于水泥凝胶体通过凝胶孔吸入水分, 这些水分一方面破坏凝胶体颗粒的凝聚力, 使颗粒分离; 另一方面使凝胶体颗粒表面形成吸附水, 降低颗粒表面张力。二者共同作用使混凝土产生体积膨胀。但湿胀变形量很小, 对混凝土性能无太大影响。

混凝土干缩主要是混凝土中水泥毛细孔失水所引起的。一方面毛细孔内水分蒸发使孔中的负压增大, 产生收缩力使毛细孔缩小, 混凝土产生收缩; 另一方面凝胶体颗粒的吸附水蒸发, 在分子引力作用下使颗粒间距离变小, 产生收缩。混凝土干缩对混凝土的危害较大, 使其表面出现较大的拉应力, 引起表面开裂, 影响混凝土耐久性。在一般工程中, 通常采用混凝土的干缩值为 0.15~0.20mm/m, 用水量及水泥用量是影响混凝土收缩的主要因素。

##### (2) 化学收缩

化学收缩是指水泥浆总体积在水化过程中不断减少的现象。水泥水化后固相体积比水化前要大多得多, 但是对于水泥—水体系的总体积来说, 却要缩小得多, 其原因是由于水化前后反

应物与生成物的平均密度不同。只有在大体积混凝土中,化学收缩才有实际意义。

### (3) 温度变形

混凝土材料也具有热胀冷缩性质,即温度变形。混凝土温度膨胀系数约为  $1 \times 10^{-5}$ ,即温度升高  $1^\circ\text{C}$ ,膨胀  $0.01\text{mm/m}$ 。

混凝土硬化初期,水泥水化释放出较多热量,使混凝土内部温度升高,内外温差达  $50 \sim 70^\circ\text{C}$ ,造成内部膨胀而外部收缩,使外部混凝土产生拉应力。当超过混凝土本身极限拉应力时,混凝土就会产生裂缝。因此温度变形对大体积混凝土极为不利。为此一般采用低热水泥(或在水泥中掺入粉煤灰、矿渣等掺合料)、减少水泥用量、采用人工降温或对表面保温保湿等,以减少温差,控制裂缝产生和发展。

### (4) 碳化收缩

碳化收缩是水泥石与  $\text{CO}_2$  作用所引起一种体积收缩现象。尽管在正常空气中, $\text{CO}_2$  的浓度较低,但只要有适当的湿度,碳化收缩的数值就相当大。

## 2. 徐变

在持续的恒定荷载作用下,混凝土的变形随时间变化。这种在恒定荷载作用下依赖时间而增长的变形,称为徐变,有时亦称蠕变。

混凝土徐变主要是水泥石的徐变,集料起限制作用。一般认为,混凝土徐变是由于水泥石中凝胶体在长期荷载作用下的粘性流动引起。加载初期,由于毛细孔较多,凝胶体在荷载作用下移动,故初期徐变增长较快,以后由于内部移动和水化的进展,毛细孔逐渐减少,同时水化物结晶程度也不断提高,使得粘性流动困难,造成徐变越来越慢。混凝土徐变一般可达数年,其徐变应变值一般可达  $(3 \sim 15) \times 10^{-4}$ ,即  $0.3 \sim 1.5\text{mm/m}$ 。

对于水泥混凝土结构来说,徐变是一个很重要的性质。徐变可使钢筋混凝土构件截面中应力重新分布,从而消除或减少内部应力集中现象;对于大体积混凝土能消除一部分温度应力;但对于预应力钢筋混凝土构件,要求尽可能少的徐变值,因为徐变会造成预应力损失。

## 二、混凝土收缩率

本方法适用于测定混凝土试件在规定的温湿度条件下,不受外力作用所引起的长度变化。

### 1. 试验步骤

(1) 试验以三个试件为一组,试件尺寸为  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 515\text{mm}$ 。混凝土的拌和、成型及养护按本章第二节中相关规定执行。

(2) 在试模内壁涂一薄层矿物油。在试模两端各安装一只去过油污的测钉。成型过程中,应防止测钉脱落。

(3) 成型完毕,送养护室养护,约  $2 \sim 4\text{h}$  后用抹刀抹平表面。注意防止水珠滴在试件表面。

(4) 一天后拆模、编号,并立即用环氧树脂在试件两端面加固测钉。拆模时间,视混凝土实际强度而定。强度偏低,拆模时间适当延长。

(5) 干缩试件,拆模后继续在养护室养护,达  $3\text{d}$  龄期时取出,测基长;自由膨胀试件,拆模后即测基长。测定前试件应采用湿布覆盖,防止水分蒸发。测量环境温度为  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 。

(6) 测基长时,先擦净试件和测钉的表面,并用标准棒将测长仪仔细校正,然后测量试件的基长。基长应复测三次,取算术平均值。每次复测前,均应将试件稍加移动,然后恢复到原来位置,进行测量。

(7) 干缩试件测基长后,存放在干缩室(箱)内试件架上,试件与试件间的净距不得小于 30mm。湿试件与干试件应分架贮藏。条件不具备时,则应将湿试件放在上格,干试件放在下格。

(8) 试件的干缩龄期以测定基长后算起,达 1、3、7、14、28、60、90、180d 或指定的干缩龄期时,测定试件长度。复测两次,取算术平均值。

(9) 自由膨胀试件测基长后,浸于  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  水中养护,分别测定 3、7、14d 的长度,然后移入干缩室(箱)内,存放方法同干缩试件的规定。经 28、90、180 测定试件长度。上述测长龄期,一律从成型日算起。

## 2. 结果计算

混凝土的干缩(膨胀)率按下式计算:

$$S_t = \frac{L_t - L_0}{L_0 - 2L_d} \times 100\% \quad (13-29)$$

式中:  $S_t$ ——混凝土  $t$  龄期时的干缩率, %;

$L_d$ ——测钉长度, mm;

$L_0$ ——试件基长(包括测钉长), mm;

$L_t$ ——试件在龄期为  $t$  时测得的长度读数(包括测钉长), mm。

取三个试件干缩(膨胀)率的算术平均值作为试验结果,计算至  $0.1 \times 10^{-4}$ 。

# 第十节 混凝土配合比设计

## 一、普通混凝土配合比设计

混凝土配合比是指根据工程要求、结构形式和施工条件来确定混凝土各组分的比例关系。它是混凝土工艺中最主要的项目之一,其目的是能生产出优质而经济的混凝土最基本的前提。

混凝土配合比一般采用质量比表达,即以  $1\text{m}^3$  混凝土所用水泥( $C$ )、细集料( $S$ )、粗集料( $G$ )、和水( $W$ )的实际用量表示,也可用水泥质量为 1 来表示其他组分用量的相对关系。

### (一) 混凝土配合比设计概述

#### 1. 配合比设计基本要求

- (1) 使混凝土拌和物具有与施工条件相适应的良好工作性;
- (2) 硬化后的混凝土应具有工程设计要求的强度等级;
- (3) 混凝土必须具有适合于使用环境条件下的使用性能和耐久性;
- (4) 在满足上述条件下,要最大限度地节约水泥,降低造价。

#### 2. 配合比设计基本原则

- (1) 在同时满足强度等级、耐久性条件下,取水灰比较大值;
- (2) 在符合坍落度要求的条件下,取单位用水量较小值;
- (3) 在满足粘聚性要求的条件下,取砂率较小值。

#### 3. 配合比设计所需原始资料

进行混凝土配合比应具备必要的原始资料,包括:

- (1) 设计要求的强度等级及混凝土性能和耐久性要求;

- (2) 选用的水泥品种及等级;
- (3) 选用的集料品种、质量、数量、粗细程度、级配和表观密度等;
- (4) 混凝土施工方法、养护方法及施工质量控制水平等。

## (二) 确定混凝土施工配制强度

在混凝土生产过程中,体现混凝土质量的强度值总是离散的。尽管混凝土强度是离散的,但并非是杂乱无章,它是具有统计规律的。因此可把混凝土强度看作是随机变量,用数理统计方法进行研究。

混凝土强度呈正态分布,其中总体参数(或特征值)有两个。一个是数学期望(强度平均值) $\mu$ ,一个是标准差 $\sigma$ 。前者反映混凝土平均强度,后者反映混凝土强度的离散程度,是混凝土质量重要标志。

根据正态分布的数理统计原理,进行配合比设计时,混凝土施工配制强度,即配合比设计的目标强度应高于混凝土强度等级,以便使成型后的混凝土强度满足一定的强度保证率。

### 1. 混凝土施工配制强度公式

$$f_{\text{cu.o}} = f_{\text{cu.k}} + t\sigma \quad (13-30)$$

式中: $f_{\text{cu.o}}$ ——混凝土施工配制强度,MPa;

$f_{\text{cu.k}}$ ——设计要求的混凝土立方体抗压强度标准值,MPa;

$t$ ——概率度,也称保证率系数,当强度保证率为95%时, $t = 1.645$ ;

$\sigma$ ——工地实际统计的混凝土立方体抗压强度标准差,MPa。

### 2. 混凝土强度标准差

(1) 施工单位如有近期混凝土强度统计资料时, $\sigma$ 可按式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N f_{\text{cu},i}^2 - N\mu_{\text{fcu}}^2}{N-1}} \quad (13-31)$$

式中: $f_{\text{cu},i}$ ——第*i*组混凝土立方体抗压强度,MPa;

$\mu_{\text{fcu}}$ ——*N*组混凝土立方体抗压强度的平均值,MPa;

*N*——统计批内的试件组数, $N \geq 25$ 。

(2) 施工单位如没有近期混凝土强度统计资料时,宜按表 13-19 中混凝土强度标准差的平均水平,结合本单位的生产管理水平,酌情选取 $\sigma$ 值。开工后则应尽快积累统计资料对 $\sigma$ 值进行修正。

混凝土强度标准差的平均水平

表 13-19

强度等级	< C20	C20 ~ C40	大于 C40
$\sigma_0$ (MPa)	3.5	4.5	5.5

## (三) 混凝土配合比设计

混凝土成分配合设计应采用试验—算法,并按下述顺序进行。

### 1. 选择水灰比

水灰比的选择应同时满足混凝土强度和耐久性要求。

(1) 用建立强度与水灰比关系曲线的方法求水灰比。按指定的坍落度,用实际施工应用的材料,拌制数种不同水灰比的混凝土拌和物,并根据 28d 龄期的混凝土立方体试

件的极限抗压强度绘制强度与水灰比的关系曲线,从曲线上查出与混凝土施工配制强度相应的水灰比;

(2)查现行《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)中满足耐久性要求规定的水灰比最大允许值。

(3)按强度要求得出的水灰比应与按耐久性要求规定的水灰比相比较,取其较小值作为配合比的设计依据。

## 2. 选择用水量

根据所用的砂石情况和确定的坍落度值,按各地区经验或宜按表 13-20 选择用水量。

用水量选用值( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

表 13-20

坍落度 (mm)	碎石最大粒径(mm)			
	20	40	63	80
10 ~ 30	185	170	160	150
30 ~ 50	195	80	170	160
50 ~ 70	210	195	185	175

注:①采用卵石时,用水量可减少  $10 \sim 15\text{kg}/\text{m}^3$ ;

②采用粗砂时,用水量可减少  $10\text{kg}/\text{m}^3$ ;采用细砂时可增加  $10\text{kg}/\text{m}^3$ ;

③采用外加剂时可相应减少用水量。

## 3. 确定最佳砂率

按选定的水灰比和用水量计算近似的水泥用量,并按各地区经验或可按表 13-21 选取数种不同砂率,在保持水泥用量和其他条件相同的情况下,拌制混凝土拌和物,并测定其坍落度,其中坍落度最大的一种拌和所用的砂率,即为最佳砂率。

砂率选用值(%)

表 13-21

碎石最大粒径 (mm)	近似水泥用量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )							
	200	225	250	275	300	350	400	450
20	38 ~ 44	37 ~ 43	36 ~ 42	35 ~ 41	34 ~ 40	32 ~ 38	30 ~ 36	28 ~ 34
40	36 ~ 42	35 ~ 41	34 ~ 40	33 ~ 39	32 ~ 38	30 ~ 36	28 ~ 34	26 ~ 32
63	33 ~ 39	32 ~ 38	31 ~ 37	30 ~ 36	29 ~ 35	27 ~ 33	26 ~ 32	25 ~ 31
80	32 ~ 38	31 ~ 37	30 ~ 35	29 ~ 35	28 ~ 34	26 ~ 32	25 ~ 31	24 ~ 30

注:①采用卵石时,砂率减少  $2\% \sim 4\%$ ;

②采用引气剂时,空气含量每增加  $1\%$ ,砂率可以减少  $0.5\% \sim 1.0\%$ ;

③采用细砂时,砂率可减少  $3\%$ ;采用粗砂时可增加  $3\%$ 。

## 4. 确定水泥用量

按选定的水灰比和已确定的最佳砂率,拌制数种水泥用量不同的混凝土拌和物,测定其坍落度,并绘制坍落度与水泥用量的关系曲线,从曲线上查出与施工要求坍落度相应的水泥用量。在海水环境对于有耐久性要求的混凝土,上述过程应在不掺减水剂的情况下进行,据以确定水泥用量,并不得低于现行《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)中的规定。

### 5. 确定砂石用量

计算每立方米混凝土中的砂石用量宜采用绝对体积法:

$$V = 1\,000(1 - 0.01A) - \frac{W_w}{\rho_w} - \frac{W_c}{\rho_c} \quad (13-32)$$

$$W_{fa} = V\gamma\rho_{fa} \quad (13-33)$$

$$W_{ca} = V(1 - \gamma)\rho_{ca} \quad (13-34)$$

式中:  $A$ ——混凝土拌和物中的空气含量,以占混凝土体积的百分数表示,对于普通混凝土取  $A = 0$ ;

$W_w$ 、 $W_c$ 、 $W_{fa}$ 、 $W_{ca}$ ——每立方米中水、水泥、砂、石的用量,kg;

$\rho_c$ 、 $\rho_w$ 、 $\rho_{fa}$ 、 $\rho_{ca}$ ——水、水泥的密度和砂、石的表观密度,kg/L;

$V$ ——每立方混凝土砂石料的绝对体积;

$\gamma$ ——砂率(按体积计)。

### 6. 确定配合比

按以上确定的配合比和施工要求的坍落度,经试拌校正,得出经济合理的配合比。

### 7. 校核配合比设计

按确定的配合比制作试件,根据指定的要求,对混凝土强度、抗冻性和抗渗性等进行试验校核。

## 二、粉煤灰混凝土配合比设计

### 1. 一般规定

(1)粉煤灰混凝土配合比设计系数及稠度等指标,应与基准混凝土相同,其取值应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》的有关规定执行。

(2)粉煤灰混凝土配合比设计可采用等量取代法、超量取代法和外加法,配合比设计应按绝对体积法计算。

(3)当混凝土有耐久性要求时,应采用超量取代法,超量系数可按表 13-22 选用;当混凝土超强较多或配制大体积混凝土时,可采用等量取代法;当主要为改善混凝土和易性时,可采用外加法。在采用超量取代法时,应同时掺加减水剂。

超量系数选用表

表 13-22

粉煤灰等级	超量系数	粉煤灰等级	超量系数	粉煤灰等级	超量系数
I	1.1 ~ 1.4	II	1.3 ~ 1.7	III	1.5 ~ 2.0

(4)当粉煤灰含水率大于 1% 时,应从粉煤灰混凝土配合比用水量中扣除;粉煤灰混凝土掺入引气剂时,其增加的空气体积应从配合比设计的混凝土体积中扣除。

(5)粉煤灰取代水泥的最大限量应符合表 13-23 的规定。

### 2. 粉煤灰混凝土配合比设计计算方法

#### 1) 基准混凝土配合比计算方法

基准混凝土配合比按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》的有关规定计算,得出基准混凝土配合比中水泥、水、砂、石用量分别为  $C_0$ 、 $W_0$ 、 $S_0$ 、 $G_0$ 。



表 13-23

混凝土种类	粉煤灰取代水泥的最大限量(%)			
	硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥
预应力混凝土	25	15	10	—
钢筋混凝土 高强度混凝土 高抗冻融性混凝土 蒸养混凝土	30	25	20	15
中、低强度混凝土 泵送混凝土 大体积混凝土 水下混凝土 地下混凝土 压浆混凝土	50	40	30	20
碾压混凝土	60	55	45	35

注:当钢筋混凝土中的钢筋保护层厚度小于 5cm 时,粉煤灰取代量比上述规定相应减少 5%。

## 2) 等量取代法粉煤灰混凝土配合比计算方法

(1) 根据选定的粉煤灰取代水泥率  $f$  和基准混凝土水泥用量  $C_0$ ,按下式计算粉煤灰用量  $F$  和粉煤灰混凝土水泥用量  $C$ :

$$F = C_0 \cdot f$$

$$C = C_0 - F$$

(2) 按照等稠度原则,根据所掺的粉煤灰需水量比和减水剂效率,确定粉煤灰混凝土的用水量  $W$ ,且  $W$  不应大于  $W_0$ 。

(3) 在砂料中扣除与掺粉煤灰所增加的绝对体积相同的砂重。求出调整后的砂重  $S$ :

$$S = S_0 - F(1/\gamma_f - 1/\gamma_c) \cdot \gamma_s$$

式中: $\gamma_f$ ——粉煤灰的表观密度;

$\gamma_c$ ——水泥的密度;

$\gamma_s$ ——砂料的表观密度。

(4) 等量取代法粉煤灰混凝土配合比各种材料用量分别为: $C$ 、 $F$ 、 $W$ 、 $S$ 、 $G_0$ 。

## 3) 超量取代法粉煤灰混凝土配合比计算方法

(1) 根据选定的粉煤灰取代水泥率  $f$ ,超量系数  $K$  以及基准混凝土水泥用量  $C_0$ ,按下式计算粉煤灰取代水泥量  $F$ ,粉煤灰总掺量  $F_1$  和粉煤灰混凝土水泥用量  $C$ :

$$F = C_0 \cdot f$$

$$F_1 = K \cdot F$$

$$C = C_0 - F$$

(2) 按照等稠度原则,根据所掺的粉煤灰需水量比和减水剂效率,确定粉煤灰混凝土的用水量,且  $W$  不应大于  $W_0$ 。

(3) 在砂料中扣除粉煤灰所增加的绝对体积相同的砂重。求出调整后的砂重  $S$ :

$$S = S_0 - (F_1/\gamma_c + W - W_0) \cdot \gamma_s$$

(4) 超量取代法粉煤灰混凝土配合比各种材料用量分别为: $C$ 、 $F_0$ 、 $W$ 、 $S$ 、 $G_0$ 。

## 4) 外加法粉煤灰混凝土配合比计算方法

(1) 选定外加法粉煤灰掺入率, 根据基准混凝土水泥用量  $C_0$ , 按下式计算粉煤灰用量  $F$ :

$$F = C_0 \cdot f_0$$

(2) 按照等稠度原则, 根据所掺的粉煤灰需水量比和减水剂效率, 确定粉煤灰混凝土的用水量少, 且  $W$  不应大于  $W_0$ 。

(3) 在砂料中扣除与掺粉煤灰所增加的绝对体积相同的砂重, 求出调整后的砂重  $S$ :

$$S = S_0 - (F/\gamma_f) \cdot \gamma_s$$

(4) 外加法粉煤灰混凝土配合比各种材料用量分别为:  $C_0$ 、 $F$ 、 $W$ 、 $S$ 、 $G$

## 三、其他要求(参考)

需注意的是,《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268)、《港口工程粉煤灰混凝土技术规范》(JTJ/T 273)和《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ 269)均将于近期修正完成,新标准对掺合料掺量的最大限值作了修改,供参考如下:

## 1. 水运工程普通混凝土应符合的规定

(1) 采用的胶凝材料组成中,矿物掺合料用量占胶凝材料总量的比值应符合下列规定,单掺一种掺合料应符合表 13-24 的规定。

普通混凝土胶凝材料中矿物掺合料掺量的最大限值(按胶凝材料质量计,%) 表 13-24

组成胶凝材料的水泥品种	掺合料品种		
	磨细粒化高炉矿渣	粉煤灰	硅灰
PI 和 PII 型硅酸盐水泥	≤70	≤30	≤8
PO 型普通硅酸盐水泥	≤60	≤20	≤8

(2) 同时掺入粉煤灰、磨细粒化高炉矿渣或硅灰时,其总量不宜大于胶凝材料总量的 60%,其中粉煤灰掺入量不宜大于 20%。

(3) 超出上述范围的掺合料,配合比设计时,应按《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268) 执行。

## 2. 高性能混凝土配合比设计应符合的规定

(1) 对于高性能混凝土的单掺一种掺合料的掺量符合表 13-25 的规定;

高性能混凝土的掺合料掺量(按占胶凝材料质量计,%) 表 13-25

粒化高炉矿渣粉	粉 煤 灰	硅 灰
50 ~ 80	25 ~ 40	3 ~ 8

(2) 同时掺入粉煤灰、粒化高炉矿渣粉时,其总量不超过胶凝材料总量的 65%,其中粉煤灰掺入量不超过 20%;

(3) 掺粒化高炉矿渣粉或粉煤灰的高性能混凝土必要时可同时掺入 2% ~ 4% 的硅灰;

(4) 拌和物中胶凝材料体积不大于混凝土体积的 35%。

## 第十四章 砂浆的质量检验

同混凝土一样,砂浆也是一种传统工程材料,由于其造价低廉、原材料取材广泛、施工简便、用途多样,所以在建筑、交通、水利水电工程中都得到广泛应用。水运工程中砂浆主要用于砌石工程,也用于防水、修补、饰面工程中。

### 第一节 概 述

#### 一、砂浆的定义与分类

砂浆是由胶凝材料、细骨料和水等材料按适当比例配制而成。砂浆与混凝土不同之处在于没有粗骨料,又可以认为砂浆是一种细骨料混凝土,所以有关混凝土的各种基本规律,原则上也适用于砂浆。

砂浆按用途不同可分为砌筑砂浆和抹面砂浆。按胶凝材料不同,砂浆又可分为水泥砂浆、石灰砂浆、石膏砂浆、沥青砂浆及混合砂浆,如水泥石灰砂浆、水泥粘土砂浆和石灰粘土砂浆等。

#### 二、砂浆的组成材料

##### 1. 胶凝材料

用于砂浆的胶凝材料有水泥、石灰、石膏等,在选用时应根据使用环境合理选用。选用的各类胶凝材料均应满足相应的技术要求。

水泥品种的选择与混凝土相同。由于对建筑砂浆的强度要求不高。因此,中、低强度等级的水泥均能满足要求,一般以水泥强度为砂浆强度的4~5倍为宜。水泥强度等级过高会因水泥用量不足而导致保水性不良。配制混合砂浆时加入掺合材料如石灰膏、粘土膏用以改善砂浆的和易性。对于特殊用途的砂浆,可选用相应的特种水泥如白水泥、膨胀水泥等。

##### 2. 砂

砂浆用砂应符合混凝土用砂的技术要求。由于砂浆层较薄,对砂的最大粒径应加以限制以保证砌筑质量。砌筑砂浆用砂的最在粒径不应超过灰缝厚度的 $1/4 \sim 1/5$ ,通常砖砌体和石砌体砂的最大粒径分别为2.5mm和5mm。为了保证砂浆的质量,对砂中的粘土杂质含量,常作以下限制:M10及M10以上的砂浆应不超过5%;M2.5~M7.5的砂浆应不超过10%。

##### 3. 水

拌和砂浆用水与混凝土的要求相同,凡可饮用的水均可拌制砂浆,未经试验鉴定的污水不得使用。

##### 4. 砂浆专用外加剂

砂浆外加剂具有改善砂浆的和易性、保水性、粘结性,及减水、提高强度等功能,可替代混合砂浆中的全部石灰、节约水泥用量、降低施工成本、提高工程质量、改善施工条件、减少环境

污染,运输、使用方便等特点。砌筑砂浆中掺入的砂浆外加剂应具有法定检测机构出具的该产品质量砌体强度型式检验报告并经砂浆性能试验合格后方可使用。

#### 5. 掺加料

掺加料应符合下列规定:

(1)生石灰熟化成石灰膏时应用孔径不大于的 3mm 的网过滤,熟化时间不得少于 7d,磨细生石灰粉的熟化时间不得小于 2d,沉淀池中贮存的石灰膏,应采取防止干燥冻结和污染的措施。严禁使用脱水硬化的石灰膏。消石灰粉不得直接用于砌筑砂浆中。

(2)采用粘土或亚粘土制备粘土膏时宜用搅拌机加水搅拌,通过孔径不大于 3mm 的网过筛。用比色法鉴定粘土中的有机物含量时应浅于标准色。

(3)制作电石膏的电石渣应用孔径不大于 3mm 的网过滤。检验时应加热至并保持没有乙炔气味后方可使用。

### 三、水运工程中对砂浆的质量要求和检测组批原则

砌筑砂浆试块抗压强度的平均值不得低于设计强度等级,其中最低一组试块的抗压强度不得低于设计强度的 75%。

检测组批原则:施工单位按  $250\text{m}^3$  砌体留置一组砂浆试块,不足  $250\text{m}^3$  的也留置一组。

## 第二节 砂浆拌和物技术性质及检验方法

### 一、砂浆拌和物的技术性质

砂浆拌和物的技术性质包括物理性质和工作性。砂浆的工作性又称为和易性。新拌砂浆的和易性是指新拌制的砂浆是否便于施工并保证质量的综合性质。和易性好的新拌砂浆便于施工操作,可以比较容易地在砌体等表面上铺砌成均匀连续的薄层,且与底面紧密地粘结,保证工程质量。新拌砂浆的和易性包括流动性和保水性两个方面。

#### 1. 流动性

流动性是指新拌砂浆在自重或外力作用下产生流动的性能,其大小表明了砂浆的稠度。砂浆的稠度用砂浆稠度仪测定,以试锥下沉深度作为砂浆的稠度值,即沉入度(cm)。沉入度愈大,说明流动性愈高。

砂浆的流动性与很多因素有关,如胶凝材料的种类用量;细骨料的种类、粗细、级配;用水量、混合材料及砂浆搅拌时间等。当原材料确定后,流动性大小主要取决于单位用水量。

砂浆稠度的选择与砌体种类、工程类别、施工方法及大气情况有关。对于多孔吸水的砌体材料和干热的天气,应使砂浆的流动性大些。相反对于密实不吸水的材料和湿冷的天气可使流动性小些。

#### 2. 保水性

保水性是指新拌砂浆保持水分的能力。保水性也指砂浆中各组成材料不易分离的性质。保水性好的砂浆在存放、运输和使用过程中,能很好地保持水分不致很快流失,能容易形成均匀密实的砂浆缝,能使胶凝材料正常水化,最终保证了砌体的质量。凡是胶凝材料充足,尤其掺用可塑性混合材料(石灰膏或粘土膏)的砂浆,其保水性都很好。砂浆中掺入适量的引气剂

和塑化剂也能改善砂浆的保水性和流动性。通常可掺入减水剂或微沫剂以改善新拌砂浆的性能,而不宜采用提高水泥用量的方法。

砂浆的保水性用分层度表示。分层度大,表明砂浆的分层离析现象严重,保水性不好,施工困难。若分层度过小,砂浆粘稠不易铺设,且容易发生干缩裂缝。

## 二、水泥砂浆的试验室拌和方法

为测试砂浆拌和物的各项技术性能,以及为了进行砂浆配合比试验、制作具有可对比性砂浆强度试件,首先应采用统一的砂浆实验室拌和方法。

### 1. 一般规定

(1)拌制水泥砂浆时,室温宜保持在  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ,并应避免砂浆拌和物受到阳光直射和风吹。模拟施工用砂浆,宜符合现场条件。

(2)拌制水泥砂浆所用的材料,应符合有关技术要求。在拌和前,材料的温度应保持与室温相同。

(3)试验用水泥和其他原材料应与现场材料一致,水泥应以  $0.9\text{mm}$  筛过筛,并仔细拌和均匀。砂应用  $5.00\text{mm}$  筛过筛。需要模拟施工条件,所用水泥与现场一致。

(4)拌制前应将搅拌机、拌和铁板、铁铲、抹刀等工具表面用水润湿,注意拌和铁板上不得有积水。试验完毕后用水清洗干净,不得留砂浆残渣等。

(5)使用机械拌和时,应先拌适量砂浆,使搅拌机内壁粘附一薄层水泥砂浆。预拌所用的砂浆配合比,应与正式拌和砂浆配合比相同。

(6)材料用量以重量计。称量精度:骨料为  $\pm 0.5\%$ ,水、水泥、粉煤灰和外加剂为  $\pm 0.3\%$ 。

### 2. 操作步骤

#### (1)人工拌和

①将称好的砂子放在铁板上,加上所需的水泥,用铁铲拌和至拌和物颜色均匀为止;

②将混合均匀的拌和物集中成圆锥形,在堆上作一凹坑,将称好的水的一部分(约一半)小心倒入坑中,切勿使水流出,然后拌和均匀;

③重新将拌和物集中成圆锥形,作一凹坑,倒入剩余的水,仔细拌和均匀。每翻拌一次,用铁铲将全部砂浆压切一次;

④拌和时间(从加水完毕时算起)为  $3 \sim 5\text{min}$ (视拌和物体积多少而定),应将砂浆拌和物拌和到均匀为止。

#### (2)机械拌和方法

①先按所需数量称出各种材料,再将砂、水泥装入砂浆搅拌机或混凝土搅拌机内;

②然后开动搅拌机,将水徐徐加入,将料拌和均匀;

③拌和时间约为  $3\text{min}$ (从加水完毕时算起);

④将砂浆拌和物倒在拌和铁板上,再用铁铲翻拌约两次,使之均匀,然后进行试验。采用机械拌和时,一次拌和量不宜少于搅拌机容量的  $20\%$ ,搅拌时间不宜少于  $2\text{min}$ 。

## 三、水泥砂浆稠度试验

本试验目的是测定砂浆流动性,以确定配合比,同时也为在施工期间控制稠度,以保证施

工质量。本试验适用于稠度小于 120mm 的砂浆。

#### 1. 试验步骤

(1) 用少量润滑油轻擦滑杆,再将滑杆上多余的油用吸油纸擦净,使滑杆能自由滑动。

(2) 用湿布擦净盛浆容器和试锥表面,将砂浆拌和物一次装入容器,使砂浆表面低于容器口约 10mm 左右。用捣棒自容器中心向边缘均匀地插捣 25 次,然后轻轻地将容器摇动或敲击 5~6 下,使砂浆表面平整,然后将容器置于稠度测定仪的底座上。

(3) 拧松制动螺钉,向下移动滑杆,当试锥尖端与砂浆表面刚接触时,拧紧制动螺钉,使齿条侧杆下端刚接触滑杆上端,读出刻度盘上的读数(精确至 1mm)。

(4) 拧松制动螺钉,同时计时间,10s 时立即拧紧螺钉,将齿条测杆下端接触滑杆上端,从刻度盘上读出下沉深度(精确至 1mm),二次读数的差值即为砂浆的稠度值。

(5) 盛装容器内的砂浆,只允许测定一次稠度,重复测定时,应重新取样测定。

#### 2. 结果评定

(1) 取两次试验结果的算术平均值,精确至 1mm。

(2) 如两次试验值之差大于 10mm,应重新取样测定。

### 四、分层度

#### 1. 试验步骤

(1) 首先将砂浆拌和物按稠度试验方法测定稠度。

(2) 将砂浆拌和物一次装入分层度筒内,待装满后,用木锤在容器周围距离大致相等的四个不同部位轻轻敲击 1~2 下,如砂浆沉落到低于筒口,则应随时添加,然后刮去多余的砂浆并用抹刀抹平。

(3) 静置 30min 后,去掉上节 200mm 砂浆,剩余的 100mm 砂浆倒出放在拌和锅内拌 2min,再按试验方法测其稠度。前后测得的稠度之差即为该砂浆的分层度值(mm)。

#### 2. 结果评定

(1) 取两次试验结果的算术平均值作为该砂浆的分层度值。

(2) 两次分层度试验值之差如大于 10mm,应重新取样测定。

### 五、泌水率

#### 1. 试验步骤

(1) 先将附着于圆筒上的砂浆残渣清理干净,将圆筒内壁用湿布润湿,注意勿使圆筒内壁积水,然后称圆筒重量  $G_1$ 。

(2) 人工捣插法:先将拌和均匀的砂浆分两层装入圆筒内,每层高度大致相等。每装一层后,用捣棒在砂浆全部面积上,沿螺旋线由边缘向中心插捣 25 下,第一层插捣到距筒底 10mm 左右处,第二层插捣下层表面 20~30mm 深处。如有空坑,轻轻填平。

(3) 机械振实法(当砂浆稠度大于 60mm 时,不宜用此法):将拌和均匀的砂浆一次装入圆筒内,将圆筒固定在振动台振实。振动时间以 15~30s 为宜,应振至砂浆表面呈乳状水泥浆时为止。

(4) 砂浆拌和物全部插捣(或振捣)完毕后,用抹刀将砂浆表面轻轻抹平,不得用力挤压试样,试样表面比筒口低 20mm 左右。

(5) 将筒的外面及边缘擦净,称出圆筒及试样总重  $G_2$ ,然后将圆筒置于平地上,并加盖,防

止水分蒸发。

(6) 自抹面完毕开始计算泌水时间。开始时,每隔 15min 测一次泌水量。半小时后,每隔 30min 测一次,直到砂浆表面无泌水时为止。按规定间隔时间连续三次吸不出水,即表示砂浆不再泌水。

(7) 每次吸取泌水时,提前 2min 用 15mm 左右高的垫块垫于筒底一侧,使泌水集中。然后用吸液管将水吸出,注入带盖量筒内,记录每次累计泌水量,精确至 1mL。

(8) 每次吸出泌水后,应将圆筒轻轻放平,并立即盖上筒盖,整个试验过程中,圆筒应轻拿轻放,不得使砂浆受到振动。

## 2. 结果评定

(1) 试验结果计算:泌水率系以全部泌出水的重量,对砂浆试样中所含水重量的百分率表示,按下列公式计算:

$$P_t = \frac{V_w}{W_m} \times 100\% \quad (14-1)$$

$$W_m = (G_2 - G_1) \frac{W/C}{1 + S/C + W/C} \quad (14-2)$$

式中:  $P_t$ ——抹面完毕后  $t$  小时泌水率, %;

$V_w$ ——该时刻相应的累计泌水总量, mL;

$W_m$ ——砂浆中水量, mL;

$W/C$ ——水灰比;

$S/C$ ——砂灰比。

## (2) 结果评定

以两个试样试验结果的算术平均值作为测定值。绘制时间  $t$  与相应泌水率  $P_t$  的关系曲线,计算出最后总泌水率  $P$ 。

# 第三节 砂浆力学性质、耐久性及其检验方法

硬化后的砂浆要与砌筑材料粘结成整体,起传递荷载作用,并经受周围环境介质作用。因此,砂浆应具有一定的强度、粘结力、变形性能、及耐久性。一般情况下,砂浆的抗压强度越大,其粘结力、耐久性也越好。

## 一、砂浆的强度

砂浆的强度等级是以边长为 7.07cm 的立方体试块,在标准养护条件下,用标准试验方法测得 28d 龄期的抗压强度值(MPa)来确定。砂浆的强度等级分为 M20、M15、M10、M7.5、M5.0、M2.5 等 6 个级别。常用的有 M15、M10、M7.5 和 M5.0 等。

### 1. 立方体抗压强度试件的制作及养护

(1) 采用立方体试件,每组试件 3 个。将拌和好的砂浆分两层(每层厚度约 40mm)装入涂过矿物油的试模内。

(2) 用捣棒捣实砂浆,每层均匀捣实 12 下,出试模顶面 6~8mm,如果用振动台振捣时,可振动 15s 或采用跳桌跳动 120 次。

(3) 砂浆试件成型之后 1 ~ 2h 内,用刀刮掉多余的砂浆,抹平表面。覆盖表面,防止水分蒸发。在  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  条件下存放,直到 24h 后脱模(如 24h 脱模有困难可延至 48h)。

(4) 脱模后,试件即送入标准养护室中养护(温度为  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度为 90% 以上)。

## 2. 抗压试验步骤

(1) 砂浆试块养护到规定龄期,取出试件并擦净表面,应尽快进行试验。试验前测量尺寸,并检查其外观。试件尺寸测量精确到 1mm,据此计算试件的承压面积。如实际尺寸与公称尺寸之差不超过 1mm,可按公称尺寸进行计算。待压试件需用湿布覆盖,以防止试件干燥。

(2) 将试件安放在试验机的下压板上(或下垫板上),试件的承压面应与成型时的顶面垂直,试件中心应与试验机下压板(或下垫板)中心对准,加荷速度为  $0.3\text{MPa/s}$ 。

## 3. 结果计算

砂浆立方体试件抗压强度应按式(14-3)计算,并精确至  $0.1\text{MPa}$ 。

$$f_{m,cu} = \frac{P}{A} \quad (14-3)$$

式中: $f_{m,cu}$ ——砂浆立方体试件抗压强度,MPa;

$P$ ——试件破坏荷载,N;

$A$ ——试件承压面积, $\text{mm}^2$ 。

以三个试件测值的算术平均值作为测定值。当单个试件的测值与中间值之差超过中间值的  $\pm 20\%$  时,则取中间值,当最大值与最小值与中间值之差均超过中间值的  $\pm 20\%$  时,则该组试件的试验结果无效。

## 二、砂浆的耐久性

和混凝土一样,砂浆的耐久性往往用抗冻性来表示(北方地区)。砂浆抗冻性试验一般采用  $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ 、 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$  两种规格试件,每三个试件为一组。冻融循环试验可按本书第十三章中混凝土抗冻性试验中的冻融循环试验步骤进行。对于  $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$  试件,用试件重量损失率其抗冻性;对于  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$  试件,用试件重量损失率和动弹模降低率来评价其抗冻性。

## 第四节 砂浆的配合比设计

水运工程中,砂浆主要用于砌筑工程中,而且砌筑材料大多是不透水的石材。确定砂浆配合比时,一般可以查阅有关手册或资料来选择,如需进行配合比设计,可先按经验公式计算配合比,再经试配、调整后确定出施工用的配合比。

砂浆的配合比设计方法原则与混凝土相同,只是以稠度指标代替混凝土拌和物的坍落度指标,同时不需要选择砂率。砂浆配合比设计方法有规范规定的方法,也有试验配合法、经验图表法、试验—计算法等,现介绍如下:

### 一、《砌筑砂浆配合比设计规程》(JGJ 98—2000)的规定

1) 砌筑砂浆的强度等级宜采用 M20, M15, M10, M7.5, M5, M2.5。

2) 水泥砂浆拌和物的密度不宜小于  $1900\text{kg/m}^3$ ;水泥混合砂浆拌和物的密度不宜小



于 $1500\text{kg}/\text{m}^3$ 。

3) 砌筑砂浆稠度、分层度、试配抗压强度必须同时符合要求。

4) 砌筑砂浆的稠度应按表 14-1 的规定选用。

砌筑砂浆的稠度

表 14-1

砌体种类	砂浆稠度 (mm)
烧结普通砖砌体	70 ~ 90
轻骨料混凝土小型空心砌块砌体	60 ~ 90
烧结多孔砖, 空心砖块 砌体	60 ~ 80
烧结普通砖平拱式过梁 空斗墙, 筒拱 普通混凝土小型空心砌块砌体 加气混凝土砌块砌体	50 ~ 70
石砌体	30 ~ 50

5) 砌筑砂浆的分层度不得大于 30mm。

6) 水泥砂浆中水泥用量不应小于  $200\text{kg}/\text{m}^3$ ; 水泥混合砂浆中水泥和掺加料总量宜为  $300 \sim 350\text{kg}/\text{m}^3$ 。

7) 具有冻融循环次数要求的砌筑砂浆, 经冻融试验后, 质量损失率不得大于 5%, 抗压强度损失率不得大于 25%。

8) 砂浆配合比的确定, 应按下列步骤进行:

- (1) 计算砂浆试配强度  $f_{m,0}$  (MPa);
- (2) 计算每立方米砂浆中的水泥用量  $Q_c$  (kg);
- (3) 按水泥用量来计算每立方米砂浆掺加料用量  $Q_d$  (kg);
- (4) 确定每立方米砂浆中砂用量  $Q_s$  (kg);
- (5) 按砂浆稠度选用每立方米砂浆用水量  $Q_w$  (kg);
- (6) 进行砂浆试配;
- (7) 配合比确定。

9) 水泥砂浆配合比计算:

(1) 计算砂浆试配强度  $f_{m,0}$ :

$$f_{m,0} = f_2 + 0.645\sigma \quad (14-4)$$

式中:  $f_{m,0}$ ——砂浆的试配强度, 精确至 0.1MPa;

$f_2$ ——砂浆抗压强度平均值, 精确至 0.1 MPa;

$\sigma$ ——砂浆现场强度标准差, 精确至 0.01 MPa。

(2) 每立方米砂浆水泥用量  $Q_c$  按下式计算:

$$Q_c = \frac{1000(f_{m,0} - \beta)}{\alpha \cdot f_{ce}} \quad (14-5)$$

式中:  $Q_c$ ——每立方米砂浆的水泥用量, 精确至 1kg;

$f_{m,0}$ ——砂浆的试配强度, 精确至 0.1MPa;

$f_{ce}$ ——水泥的实测强度, 精确至 0.1MPa; 在无法取得水泥的实测强度值时, 可按下式计算  $f_{ce}$ :  $f_{ce} = \gamma_c \cdot f_{ce,k}$ , 式中  $f_{ce,k}$  为水泥强度等级对应的强度值;

$\alpha, \beta$ ——砂浆的特征系数,其中  $\alpha = 3.03, \beta = -15.09$ 。

(3) 水泥混合砂浆的掺加料用量应按下式计算:

$$Q_D = Q_A - Q_C \quad (14-6)$$

式中:  $Q_D$ ——每立方米砂浆的掺合料用量,精确至 1kg;石灰膏、粘土膏使用时的稠度为  $120 \pm 5\text{mm}$ ;

$Q_C$ ——每立方米砂浆的水泥用量,精确至 1kg;

$Q_A$ ——每立方米砂浆中水泥和掺合料的总量,精确至 1kg;宜在 300 ~ 350kg 之间。

(4) 每立方米砂浆中的砂子用量,应按干燥状态(含水率小于 0.5%)的堆积密度值作为计算值(kg)。

(5) 每立方米砂浆中的用水量,根据砂浆稠度等要求可选用 240 ~ 310kg。

10) 水泥砂浆配合比选用:

水泥砂浆材料用量可按表 14-2 选用。

每立方米水泥砂浆材料用量

表 14-2

强度等级	每立方米砂浆水泥用量(kg)	每立方米砂子用量(kg)	每立方米砂浆用水量(kg)
M2.5 ~ M5	200 ~ 230	1m <sup>3</sup> 砂子的堆积密度值	270 ~ 330
M7.5 ~ M10	220 ~ 280		
M15	280 ~ 340		
M20	340 ~ 400		

注:①此表水泥强度等级为 32.5 级,大于 32.5 级水泥用量宜取下限;

②根据施工水平合理选择水泥用量;

③当采用细砂或粗砂时,用水量分别取上限或下限;

④稠度小于 70mm 时,用水量可小于下限;

⑤施工现场气候炎热或干燥季节,可酌量增加用水量。

11) 配合比试配、调整与确定:

(1) 按计算或查表所得配合比进行试拌时,应测定其拌和物的稠度和分层度,当不能满足要求时,应调整材料用量,直到符合要求为止。然后确定为试配时的砂浆基准配合比。

(2) 试配时至少应采用三个不同的配合比,其中一个为基准配合比,其他配合比的水泥用量应按基准配合比分别增加及减少 10%。在保证稠度、分层度合格的条件下,可将用水量或掺加料用量作相应调整。

(3) 对三个不同的配合比进行调整后,应按现行 JGJ/T 70—2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》的规定成型试件,测定砂浆强度;并选定符合试配强度要求的且水泥用量最低的配合比作为砂浆配合比。

## 二、试验配合法

(1) 确定满足施工要求的砂浆拌和物的稠度;

(2) 选定几组不同灰砂比的砂浆,如水泥:砂 = 1:2、1:3、1:4、1:5、1:6、1:7、1:8 等;

(3) 对每个灰砂比的砂浆进行试拌,确定出达到稠度所需要的单位用水量,并测出其密度;

(4) 将试拌后的稠度满足要求的各组砂浆制备试件,标准养护至龄期,测定其强度和其他

规定的技术性质；

(5) 根据试拌强度试验结果, 绘出灰砂比与强度、单位用水量、密度之间的关系曲线, 从关系曲线上求出符合强度要求的灰砂比、单位用水量及密度。应当注意, 强度应比设计要求提高 10% ~ 15%。

(6) 计算砂浆配合比:

$$\text{水泥用量} \quad C = (\gamma - w) / (1 + N)$$

$$\text{砂子} \quad S = NC$$

式中:  $\gamma$ ——砂浆的密度;

$w$ ——砂浆的单位用水量;

$N$ ——灰砂中砂子的倍数。

当采用掺和料和外加剂时, 应进行不同掺量的配合比试验, 以确定其最优掺量。

### 三、经验图表法

砂浆配合比可按图表法选择, 然后根据稠度要求控制好单位用水量表(14-3)。

砂浆配合比参考

表 14-3

砂浆标号 (MPa)	水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> )	灰 砂 比	砂浆标号 (MPa)	水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> )	灰 砂 比
5.0	250	1: 8	20	450	1: 4
7.5	290	1: 7	25	500	1: 3.5
10	320	1: 6	30	550	1: 3
15	390	1: 5	40	650	1: 2.5

注: ①水泥采用 42.5 普通水泥;

②采用中砂;

③水泥用量已考虑施工所需的富余量, 对于 10 号以下的砂浆, 提高 20%, 对于 15 号以上的砂浆, 提高 15%。

### 四、试验—算法

该法适用于砌筑多孔吸水基底的砂浆的配合比设计, 其步骤如下:

(1) 确定砂浆的试配强度, 它等于砂浆的设计强度等级再提高 10% ~ 15%。

(2) 确定每立方砂浆的水泥用量:

$$Q_c = [R_{28} / (k \cdot R_c)] \times 1000$$

式中:  $R_{28}$ ——砂浆的配制强度;

$R_c$ ——水泥强度, 按标号值取用;

$k$ ——经验系数。可由试验确定, 或按表 14-4 选用。

上式适用于含水率为 1% ~ 3% 的中砂或粗砂。因为 1 立方米松散体积的砂拌制成的砂浆, 体积接近 1 立方米, 按每立方砂料来计算其他材料用量, 实用上较为方便。

经验系数  $k$  值

表 14-4

水 泥 标 号	$R_{28}$		
	2.5	5	7.5
42.5	0.69	0.86	0.96

(3) 确定混合材料用量,按下式计算:

$$D = 350 - Q_c$$

式中: $D$ ——每方砂浆中石膏的掺量,kg;

$Q_c$ ——水泥用量,kg;

350——经验系数,在确保砂浆和易性的前提下,在 250 ~ 350 范围内调整,所用石灰膏的稠度应为 120mm。

(4) 试配调整:以上得出的仅是初步配比,无论查表或是计算所得的配合比都要经过试配再进行必要的调整。最后砂浆强度符合要求时,将所确定的水泥、混合材、砂子各项材料的用量,换算成比例数值即可。

# 第十五章 混凝土结构及钢结构防腐

## 第一节 概 述

海港工程中混凝土及钢结构容易受到腐蚀而降低其结构承载能力。采取有效的防腐措施可以防止混凝土及钢结构结构在设计服役寿命内腐蚀破坏的发生,提高海港工程的结构稳定性。

### 一、水运工程混凝土及钢结构防腐蚀要求

海港工程混凝土及钢结构均应根据水域掩护条件和港工设计水位或天然潮位可分为有掩护和无掩护条件下的大气区、浪溅区、水位变动区和水下区,并依次对预应力混凝土及钢筋混凝土的不同防腐要求采取不同的防腐措施。

#### 1. 混凝土防腐蚀要求

JTJ 275—2000《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》规定:

(1)海港工程混凝土结构必须进行防腐蚀耐久性设计,保证混凝土结构在设计使用年限内的安全和正常使用功能。

(2)混凝土结构防腐蚀耐久性设计,应针对结构预定功能和所处环境条件,选择合理的结构形式、构造和抗腐蚀性、抗渗性良好的优质混凝土;对处于浪溅区的混凝土构件,宜采用高性能混凝土,或同时采用特殊防腐蚀措施。

(3)处于浪溅区的构件,宜采用焊接性能好的钢筋。

(4)应根据预定功能和混凝土建筑物部位所处的环境条件,对混凝土提出不同的防腐蚀要求和措施。混凝土部位可根据水域掩护条件和港工设计水位或天文潮位按表 15-1 的规定划分。

海水环境混凝土部位划分

表 15-1

掩护条件	划 分 类 别	大 气 区	浪 溅 区	水位变动区	水下区
有掩护条件	按港工设计水位	设计高水位加 1.5m 以上	大气区下界至设计高水位减 1.0m 之间	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间	水位变动区以下
无掩护条件	按港工设计水位	设计高水位加 $\eta_0 + 1.0\text{m}$ 以上	大气区下界至设计高水位减 $\eta_0$ 之间	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间	水位变动区以下
	按天文潮潮位	最高天文潮位加 0.7 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 以上	大气区下界至最高天文潮位减百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	浪溅区下界至最低天文潮位减 0.2 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	水位变动区以下

注:① $\eta_0$  值为设计高水位时的重现期 50 年  $H_{1\%}$  (波列累积频率为 1% 的波高)波峰面高度;

②当浪溅区上界计算值低于码头面高程时,应取码头面高程为浪溅区上界;

③当无掩护条件的海港工程混凝土结构无法按港工有关规范计算设计水位时,可按天文潮潮位确定混凝土的部位划分。

(5) 预应力构件在作用的频遇组合(短期效应组合)时的混凝土拉应力限制系数  $\alpha_{ct}$  和钢筋混凝土构件在作用的准永久组合(长期效应组合)时的最大裂缝宽度,不得超过表 15-2 规定的限值。

混凝土拉应力限制系数  $\alpha_{ct}$  及最大裂缝宽度限值 表 15-2

构件类别	钢筋种类	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
预应力混凝土	冷拉Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级	$\alpha_{ct} = 0.5$	$\alpha_{ct} = 0.3$	$\alpha_{ct} = 0.5$	$\alpha_{ct} = 1.0$
	碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋、LL650 级或 LLS00 级冷轧带肋钢筋	$\alpha_{ct} = 0.3$	不允许出现拉应力	$\alpha_{ct} = 0.3$	$\alpha_{ct} = 0.5$
钢筋混凝土	I 级、Ⅱ级、Ⅲ级钢筋和 LL550 级冷轧带肋钢筋	0.2mm	0.2mm	0.25mm	0.3mm

(6) 混凝土构件在制作过程中出现的裂缝应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268) 的有关规定及时进行处理。

2. 钢结构防腐要求

JTS 153-3—2007《海港工程钢结构防腐技术规范》对钢结构防腐要求如下:

(1) 海港工程钢结构必须进行防腐设计。

(2) 防腐措施应根据环境条件、材质、结构型式、使用要求、施工条件和维护管理条件等综合确定。

(3) 海港工程钢结构的部位划分应符合表 15-3 的规定。

海港工程钢结构的部位划分 表 15-3

掩护条件	划分类别	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区	泥下区
有掩护条件	按港工设计水位	设计高水位加 1.5m 以上	大气区下界至设计高水位减 1.0m 之间	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间	水位变动区下界至海泥面	海泥面以下
无掩护条件	按港工设计水位	设计高水位加 $\eta_0 + 10\text{m}$ 以上	大气区下界至设计高水位减 $\eta_0$ 之间	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间	水位变动区下界至海泥面	海泥面以下
	按天文潮位	最高天文潮位加 0.7 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 以上	大气区下界至最高天文潮位减百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	浪溅区下界至最低天文潮位减 0.2 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	位变动区下界至海泥面	海泥面以下

注:① $\eta_0$  值为设计高水位时的重现期 50 年,  $H_{1\%}$  (波列累积频率为 1% 的波高) 波峰面高度;

②当无掩护条件的海港工程钢结构无法按港工有关规范计算设计水位时,可按天文潮位确定钢结构的部位划分。

(4) 位于水位变动区以下的钢结构宜采用相同的钢种,当采用不同钢种时,必须采取消除电偶腐蚀的措施。

(5) 承受交变应力的水下区钢结构必须进行阴极保护。

(6) 海港工程钢结构防腐不宜单采用腐蚀裕量法。

(7) 采用涂层或阴极保护时,结构设计应留有适当的腐蚀裕量。

(8) 密闭的钢结构内壁可不考虑腐蚀裕量。

(9)有条件时,海港工程钢结构应减少在浪溅区的表面积,宜采用易于进行防腐蚀施工的结构型式。

(10)埋于混凝土桩帽、墩台或胸墙中的钢桩应做好钢桩之间的电连接。

(11)水位变动区以下部位的辅助构件或预埋件应与主体钢结构进行电连接。

(12)与主构件连接的临时性钢结构应予以拆除。

## 二、混凝土及钢结构防腐基本方法及原理

### 1. 混凝土防腐基本方法及原理

混凝土防腐的主要措施为采用低渗透性的防腐耐久混凝土和适当增加混凝土保护层厚度方式,同时可采取混凝土表面涂层、混凝土表面硅烷浸渍、采用防腐钢筋、防腐涂层钢筋、混凝土中掺入钢筋阻锈剂以及阴极保护等特殊防腐措施。主要防腐措施可最大限度地提高混凝土本身提供的保护作用,以限制氯盐、二氧化碳、氧与水等进入混凝土中;后者则能够在主要预防措施不足以起到必要的保护作用的情况下,增加混凝土抗腐蚀能力。

### 2. 钢结构防腐基本方法及原理

常用的钢结构防腐措施主要分为3个方面:提高钢材的耐腐蚀性;使用有机、无机涂层和金属镀层;外加电流。大型钢结构中,经常把这3种方法中的使用有机、无机涂层和金属镀层和外加电流联合使用,以确保结构的安全。

提高钢材的耐腐蚀性。耐候钢的耐腐蚀性远远高于一般结构用钢。工程实践中,耐候钢不涂装就可以使用,是极好的结构用材,并且可以将钢结构寿命期内的总费用降至最低。耐候钢在腐蚀过程中,可形成一层致密的、连续的内锈层。这种内锈层能有效地阻止腐蚀介质向钢材扩散,同时可以抑制电化学反应中的阳极反应,对钢材有保护作用。

使用有机、无机涂层和金属镀层。钢结构进行涂装前应进行表面预处理。此类防腐措施都是在钢材表面形成涂层或镀层,用来隔绝钢材,使腐蚀介质无法与钢材相接触,从而达到防腐的目的。具体的方法有:热浸镀锌技术、有机涂层钢板技术、防腐涂料技术、热喷涂防腐技术等。热浸镀锌技术和热喷涂防腐技术属于长效防腐措施。热浸镀锌技术具有耐腐蚀性好、使用寿命长,且基本不用维护等优点;热喷涂防腐技术具有对构件尺寸、形状适应性强等特点;有机涂层钢板具有轻质、美观的特点及良好的耐腐蚀性能和物理屏蔽性能,良好的弯、压等可加工性,同时有造型可随意性和可回收性;防腐涂料技术是最常用的防腐技术,具有成本低、工艺简单、场地要求不严格等优点,但是涂层的使用寿命偏低,用于户外时维护成本偏高。

外加电流。对于需要在水下或地下使用的钢结构,一般采用阴极保护的防腐蚀方式,共分外加电流式和牺牲阳极式两种形式:外加电流措施是对于裸露的钢结构实施外加电流,需要消耗大量的保护电能,这对于整个系统是不经济的;牺牲阳极措施主要利用比钢材的电位更负的金属和合金制成牺牲性的阳极,从而使钢结构本身免遭腐蚀。

## 三、混凝土和钢结构腐蚀机理

### (一) 混凝土腐蚀机理

混凝土构筑物在服役过程中,受到周围环境的物理、化学、生物作用,混凝土内的某些成分发生反应、溶解、膨胀,从而造成混凝土构筑物的破坏。混凝土结构受到的主要腐蚀方式有氯

盐的腐蚀、镁盐的腐蚀、 $\text{CO}_2$  的腐蚀以及酸雨和微生物的腐蚀。

#### 1. 氯盐的腐蚀

氯盐的腐蚀最可能的成因是来自沿海的风、雾、海水及化冰盐。海港工程混凝土最易受到氯盐的侵蚀,它可以和混凝土中的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  等起反应,生成易溶的  $\text{CaCl}_2$  和大量的结晶水。使反应物体积增大几倍的固相化合物,造成混凝土膨胀破坏。

#### 2. 镁盐的腐蚀

镁盐在海水中含量较大,海港工程混凝土中若渗入镁盐中将和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  反应。生成固相物积聚在孔隙内,在一定程度上能够阻止腐蚀介质的侵入。但大量的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  与镁盐反应后碱性降低,水泥中的水化硅酸钙和水化铝酸钙,便能和呈酸性的镁盐进行反应。结果使水泥粘结力降低,同时导致混凝土的强度降低。

#### 3. $\text{CO}_2$ 的腐蚀

空气中的  $\text{CO}_2$  在混凝土的表面或孔隙中产生强烈的碳酸化作用。当预制混凝土浆料时,混入的  $\text{CO}_2$  没有蒸发至混凝土表面,就会与碱骨料进行反应。碱骨料是由水泥、添加剂、水、混合料和一些活性成分(氧化硅、碳酸盐)等组成。反应后的生成物重新组合和吸水膨胀所产生的应力会导致混凝土产生裂缝,水汽、酸雨、微生物等就能轻易地进入混凝土内部腐蚀钢筋。使钢筋材料产生锈斑,逐渐脆化。

#### 4. 酸雨的腐蚀

在酸雨较多的地区,混凝土在没有保护的情况下,会对其进行强烈的腐蚀。酸雨中的各种有害物质会与混凝土中的某些成分进行反应生成非凝胶物质和易溶于水的物质。会使混凝土由内到外逐层进行反应,最终残留于混凝土的内部,对混凝土进行缓慢彻底的腐蚀。另外酸雨还可以促使水化硅酸钙和水化铝酸钙的水解,从而破坏了孔隙结构的胶凝体,使混凝土的力学性能变化。

#### 5. 微生物的侵蚀

微生物通过适宜的光照、一定的潮湿度、养分和某些有机化合物的共同作用构成混凝土的腐蚀。这些腐蚀有时比某些物理化学腐蚀更为严重。它既能破坏混凝土的表观,使原有洁净的混凝土表面发黑,严重影响到城市景观。同时,微生物的根须又深深地渗透到混凝土内部。随时间推移在各种养分具备的条件下,使混凝土由内至外进行全面的腐蚀。在混凝土中的钢筋结构会同时受到危害,钢筋强度和疲劳程度都会降低,缩短使用寿命。

### (二) 钢结构腐蚀机理

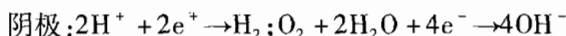
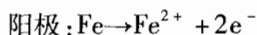
按照材料的腐蚀过程,钢结构腐蚀可分为电化学腐蚀、化学腐蚀和应力腐蚀。通常情况下,钢结构的腐蚀以电化学腐蚀为主。

#### 1. 电化学腐蚀机理

钢结构腐蚀的电化学本质就是钢材中的铁在腐蚀介质中通过电化学反应被氧化成正的化学价状态。钢构件处在腐蚀介质中,由于钢材本身物理及化学性质的不均匀性,构成腐蚀电池,电化学腐蚀便开始了。当腐蚀电池的阳极和阴极在金属表面不规则的随机分布时,便发生均匀腐蚀;当腐蚀电池的阳极区面积较小而阴极区的面积相对很大时,便发生局部腐蚀。局部腐蚀增加了钢结构脆性破坏的可能性,大大降低了结构的耐久性,因此,局部腐蚀的危害更大,更应该引起钢结构从业人员的注意。在电化学腐蚀过程中,钢材中的铁



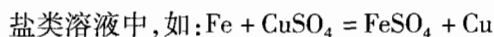
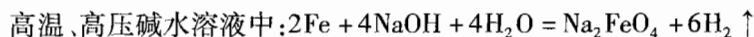
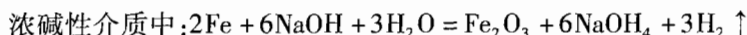
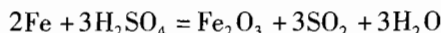
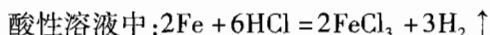
元素作为腐蚀电池的阳极释放电子形成铁离子,经过一系列的反应最终形成铁锈。反应方程式如下:



上述反应生成的  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  经过后续的一系列反应生成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , 最终脱水生成铁锈的主要成分  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。铁锈疏松、多孔, 体积约膨胀 4 倍。

## 2. 化学腐蚀机理

当钢结构处在酸、浓碱和盐溶液中时, 发生化学腐蚀。具体反应方程式如下:



## 3. 应力腐蚀机理

钢材的应力腐蚀是指钢材在应力状态下腐蚀加速的现象。应力腐蚀将导致钢结构的承载力大幅下降, 严重影响耐久性。应力腐蚀的腐蚀机理与电化学腐蚀基本相同, 只是其中加入了应力元素的影响。当受力的钢构件处在腐蚀介质中时, 在应力作用下钢构件表面会出现微裂纹。腐蚀介质到达钢构件表面时, 由于微裂纹的存在为局部腐蚀的发生创造了条件。随着腐蚀过程的发展, 微裂纹的宽度和深度进一步加大, 应力集中的情况也越来越严重, 这又促进了裂纹的发展为腐蚀介质提供更大的空间。通常受应力腐蚀的钢结构其破坏时的承载力比极限承载力小得多, 而且都是没有任何预兆的脆性破坏, 因此, 应力腐蚀对钢结构的危害很大, 应该引起钢结构从业人员的高度重视。

# 第二节 水运海港工程防腐蚀措施及技术要求

## 一、海港工程混凝土特殊防腐措施

根据 JTJ 275—2000《海港工程混凝土防腐蚀技术规范》, 混凝土的特殊防腐蚀措施有 4 种, 分别是: 混凝土表面涂层、混凝土表面硅烷浸渍、环氧涂层钢筋、钢筋阻锈剂。其中混凝土表面防腐涂层及混凝土表面硅烷浸渍是针对混凝土表面进行防腐处理的措施。

### 1. 混凝土表面防腐涂层

#### 1) 措施原理

混凝土表面涂层是海港工程混凝土结构耐久性特殊防护措施之一。引起混凝土内钢筋腐蚀最主要的原因是混凝土的碳化和氯化物的渗透。使用混凝土表面长效防腐涂层来保护钢筋混凝土是较为方便实用的方法, 它可有效阻止氯化物、溶解性盐类、氧气、二氧化碳和海水等腐蚀介质的侵入, 从根本上切断腐蚀的源头。

混凝土属于强碱性的建筑材料, 采用的涂层应具有良好的耐碱性、附着性和耐腐蚀性, 环

氧树脂、聚氨酯、丙烯酸树脂、氯化橡胶和乙烯树脂等涂料均使用。海港工程混凝土结构涂装位置定在平均潮位以上部位,并将涂装范围分为表湿区和表干区。

混凝土表面涂层系统由底层、中间层和面层等配套涂料涂膜组成。底层涂料(封闭漆)应具有低粘度和高渗透能力,能渗透到混凝土内起封闭孔隙和提高后续涂层附着力的作用;中间层涂料应具有较好的防腐蚀能力,能抵抗外界有害介质的入侵;面层涂料应具有抗老化性,对中间和底层其保护作用。各层的配套涂料要有相容性,即后续涂料涂层不能伤害前一涂料所形成的涂层。

2)适用条件及技术要求

(1)混凝土表面涂层保护应符合下列规定:

- ①当采用涂层保护时,混凝土的龄期不应少于 28d,并应通过验收合格。
- ②涂层系统的设计使用年限,不应少于 10 年。
- ③涂层涂装的范围应按表 15-4 划分为表湿区和表干区。

涂层涂装范围的划分 表 15-4

名 称	范 围
表湿区	浪溅区及平均潮位以上的水位变动区
表干区	大气区

(2)涂料品质与涂层性能应满足下列要求。

- ①防腐蚀涂料应具有良好的耐碱性、附着性和耐蚀性,底层涂料尚应具有良好的渗透能力;表层涂料尚应具有耐老化性。
- ②表湿区防腐蚀涂料应具有湿固化、耐磨损、耐冲击和耐老化等性能。
- ③涂层的性能应足表 15-5 的要求。涂层与混凝土表面的粘结力不得小于 1.5MPa。

涂层性能要求 表 15-5

项 目	试 验 条 件	标 准	涂 层 名 称
涂层外观	耐老化试验 1 000h 后	不粉化、不起泡、不龟裂、不剥落	底层 + 中间层 + 面层的复合涂层
	耐碱试验 30d 后	不起泡、不龟裂、不剥落	
	标准养护后	均匀,无流挂、无斑点、不起泡、不龟裂、不剥落等	
抗氯离子渗透性	活动涂层片抗氯离子渗透试验 30d 后	氯离子穿过涂层片的渗透量在 $5.0 \times 10^{-3} \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{d}$ 以下	

注:①涂层的耐老化性系采用涂装过的尺寸为 70mm×70mm×20mm 的砂浆试件,按现行国家标准《漆膜老化测定法》(GB 1865)测定;  
②涂层的耐碱性、涂层抗氯离子渗透性、涂层与混凝土表面的粘结力按附后的混凝土涂层试验方法测定。

(3)涂层系统应符合下列规定:

- ①涂层系统应由底层、中间层和面层或底层和面层的配套涂料涂膜组成。选用的配套涂料之间应具有相容性。
- ②根据设计使用年限及环境状况设计涂层系统,其配套涂料及涂层最小平均厚度可按表 15-6 选用。

混凝土表面涂层最小平均厚度

表 15-6

设计使用年限(年)	配套涂料名称			涂层干膜最小平均厚度( $\mu\text{m}$ )	
				表湿区	表干区
20	1	底层	环氧树脂封闭漆	无厚度要求	无厚度要求
		中间层	环氧树脂漆	300	250
		面层	I 丙烯酸树脂漆或氯化橡胶漆	200	200
			II 聚氨酯磁漆	90	90
			III 乙烯树脂漆	200	200
	2	底层	丙烯酸树脂封闭漆	15	15
		面层	丙烯酸树脂漆或氯化橡胶漆	500	450
	3	底层	环氧树脂封闭漆	无厚度要求	无厚度要求
		面层	环氧树脂或聚氨酯煤焦油沥青漆	500	500
10	1	底层	环氧树脂封闭漆	无厚度要求	无厚度要求
		中间层	环氧树脂漆	250	200
		面层	I 丙烯酸树脂漆或氯化橡胶漆	100	100
			II 聚氨酯磁漆	50	50
			III 乙烯树脂漆	100	100
	2	底层	丙烯酸树脂封闭漆	15	15
		面层	丙烯酸树脂漆或氯化橡胶漆	350	320
	3	底层	环氧树脂封闭漆	无厚度要求	无厚度要求
		面层	环氧树脂或聚氨酯煤焦油沥青漆	300	280

(4) 涂装工艺、质量控制、检查、验收及维修应符合 JTJ 275—2000 附录 D 的规定。

## 2. 混凝土表面硅烷浸渍

### 1) 措施原理

混凝土表面硅烷浸渍为用硅烷类液体浸渍混凝土表层,使该表层具有低吸水率、低氯离子渗透率和高透气性的防腐措施。

浸渍硅烷适用于海港工程浪溅区混凝土结构表面的防腐蚀保护。宜采用异丁烯三乙氧基硅烷单体作为硅烷浸渍材料,其他硅烷浸渍材料经论证也可以采用。

混凝土硅烷浸渍防护技术原理是利用硅烷特殊的小分子结构,穿透混凝土的表层,渗入混凝土表面深层,分布在混凝土毛细孔内壁,与暴露在酸性和碱性环境中的空气及基底中的水分产生化学反应,在毛细孔的内壁及表面形成防腐渗透斥水层。通过抵消毛细孔的强制吸力,硅烷混凝土防护剂可以防止水分及可溶解盐类,如氯盐的渗入,可有效防止基材因渗水、日照、酸雨和海水的侵蚀而对混凝土及内部钢筋结构的腐蚀、疏松、剥落、霉变而引发的病变,还有很好的抗紫外线和抗氧化性能,能够提供长期持久的保护,提高建筑物的使用寿命。处理后的基材形成了远低于水的表面张力,并产生毛细逆气压现象,且不堵塞毛

细孔,既防水又保持混凝土结构的“呼吸”。同时,因化学反应形成的硅酮高分子与混凝土有机结合为一整体,使基材具有了一定的韧性,能够防止基材开裂且能弥补 0.2mm 的裂缝。当防水表面由于非正常原因导致破损(如外力作用),其破损面上的硅烷与水分继续反应,使破损表面的防水层具有自我修复功能。除了公认的憎水性,硅烷混凝土防护剂也不会受到新浇混凝土碱性环境的破坏。相反,碱性环境如浇筑不久的混凝土,会刺激该反应并加速斥水表面的形成。理论上,硅烷可以和混凝土同样持久,且混凝土强度越强使用寿命可能越长。

硅烷是一种新型的混凝土结构用有机防腐材料。从工程应用效果来看,硅烷不断向膏体化、凝胶化方向发展。硅烷浸渍防腐技术是一种有效提高混凝土结构防水、防护功能,延长混凝土工程使用寿命的新技术,具有广阔的应用前景。

## 2) 适用条件及技术要求

(1) 硅烷浸渍适用于海港工程浪溅区混凝土结构表面的防腐蚀保护。宜采用异丁烯三乙氧基硅烷单体作为硅烷浸渍材料,其他硅烷浸渍材料经论证也可采用。异丁烯三乙氧基硅烷质量应满足下列要求:

- ① 异丁烯三乙氧基硅烷含量不应小于 98.9%;
- ② 硅氧烷含量不应大于 0.3%;
- ③ 可水解的氯化物含量不应 1/10 000;
- ④ 密度应为  $0.88\text{g}/\text{cm}^3$ ;
- ⑤ 活性应为 100%,不得以溶剂或其他液体稀释。

(2) 浸渍硅烷前应进行喷涂试验。试验区面积应为  $1 \sim 5\text{m}^2$ ,施工工艺应符合规范附录 E 的规定。完成试验区的喷涂工作后,应按附录 E 规定的方法,在试验区随机钻取六个芯样,并各取两个芯样分别进行吸水率、硅烷浸渍深度和氯化物吸收量的降低效果测试。当测试结果符合规范规定的合格判定标准时,方可在结构上浸渍硅烷。

(3) 浸渍硅烷质量的验收应以每  $500\text{m}^2$  浸渍面积为一个浸渍质量的验收批。浸渍硅烷工作完成后,按附录 E 规定的方法各取两个芯样进行吸水率、硅烷浸渍深度、氯化物吸收量的降低效果的测试。当任一验收批硅烷浸渍质量的三项测试结果中任意一项不满足下列要求时,该验收批应重新浸渍硅烷:

- ① 吸水率平均值不应大于  $0.01\text{mm}/\text{min}^{1/2}$ ;
- ② 对强度等级不大于 C45 的混凝土,浸渍深度应达到  $3 \sim 4\text{mm}$ ;对强度等级大于 C45 的混凝土,浸渍深度应达到  $2 \sim 3\text{mm}$ 。
- ③ 氯化物吸收量的降低效果平均值不小于 90%。

(4) 硅烷的浸渍深度宜采用染料指示法评定。浸渍硅烷前的喷涂试验可采用热分解气相色谱法,当硅烷喷涂施工中对染料指示法的检测结果有疑问时,也可采用热分解色谱法进行最终结果评定。

## 3. 环氧涂层钢筋

### 1) 措施原理

将填料、热固环氧树脂与交联剂等外加剂制成的粉末,在严格控制的工厂流水线上,采用静电喷涂工艺喷涂于表面处理过的预热的钢筋上,形成具有一层坚韧、不渗透、连续的绝缘涂层的钢筋,从而达到防止钢筋的腐蚀的目的。

## 2) 适用条件及技术要求:

(1) 环氧涂层钢筋适用于海港工程混凝土结构浪溅区和水位变动区。

(2) 采用环氧涂层钢筋的混凝土,应为优质混凝土或高性能混凝土,可同时掺加钢筋阻锈剂,但不得与外加电流阴极保护联合使用。

(3) 环氧涂层钢筋制作所采用的材料和加工工艺应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》(JG 3042)的有关规定。

(4) 环氧涂层钢筋的涂层厚度、连续性和柔韧性应符合下列规定:

① 固化后的无破损环氧涂层厚度应为  $180 \sim 300 \mu\text{m}$ , 在每根被测钢筋的全部厚度记录值中,应有不少于 95% 的厚度记录值在上述规定范围内,且不得有低于  $130 \mu\text{m}$  的厚度记录值。

② 环氧涂层的连续性,应在进行弯曲试验前检查环氧涂层的针孔数,每米长度上检测出的针孔数不应超过 4 个,且不得有肉眼可见的裂缝、孔隙、剥离等缺陷。

③ 环氧涂层的柔韧性,应在环氧涂层钢筋弯曲后,检查弯曲外凸面的针孔数,每米长度上检测出的针孔数不应超过 4 个,且不得有肉眼可见的裂缝、孔隙、剥离等缺陷。

④ 弯曲试验方法应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》的有关规定。

(5) 环氧涂层钢筋的检验应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》的有关规定,但每一检验批应由同一条生产线连续生产出的同一尺寸的涂层钢筋组成。每一检验批钢筋的试验样品应在生产线上随机抽取,涂层厚度、连续性和柔韧性的检验数量每 1h 应各不少于 1 根。

(6) 环氧涂层钢筋验收应符合下列规定:

① 直径不大于 20mm 的宜 2t 为一验收批,直径大于 20mm 的宜 4t 为一验收批;

② 每一验收批随机应至少抽取 1 根涂层钢筋进行涂层厚度、连续性和柔韧性的复检;

③ 每米涂层钢筋上涂层缺陷总面积最大不得超过钢筋表面积的 0.05%。

## 4. 钢筋阻锈剂

## 1) 原理

钢筋阻锈剂是能抑制钢筋电化学腐蚀的混凝土外加剂。

## 2) 适用条件及技术要求

(1) 下列情况宜掺加亚硝酸钙阻锈剂,或以亚硝酸钙为主剂的复合阻锈剂以及质量符合规定的其他阻锈剂:

① 因条件限制,混凝土构件的保护层偏薄;

② 混凝土氯离子含量超过表 15-7 规定的;

混凝土拌和物中氯离子的最高限值(按水泥质量百分率计)

表 15-7

预应力混凝土	钢筋混凝土
0.06	0.10

③ 恶劣环境中的重要工程,其浪溅区和水位变化区,要求进一步提高优质混凝土或高性能混凝土的护筋性。

(2) 阻锈剂质量验证试验应符合表 15-8 的规定。

阻锈剂质量验证试验标准 表 15-8

试 验 项 目	试 验 方 法	规 定
钢筋在砂浆中的阳极极化试验	按《水运工程混凝土试验规程》。砂浆的氯化钠掺量为 1.5%，阻锈剂掺量按生产厂家的规定采用。当单掺亚硝酸钙时，其掺量应为 1.5%	电极通电后 15min，电位跌落值不得超过 50mV。先进行新拌砂浆中的试验，若不合格再进行硬化砂浆中的试验，若仍不合格则应判为不合格
盐水浸烘试验	按《水运工程混凝土试验规程》	浸烘 8 次后，掺阻锈剂比未掺阻锈剂的混凝土试件中钢筋腐蚀失重率减少 40% 以上
掺阻锈剂与未掺阻锈剂的优质或高性能混凝土抗压强度比	按《水运工程混凝土试验规程》	≥90%
掺阻锈剂与未掺阻锈剂的水泥初凝时间差和终凝时间差	按《水运工程混凝土试验规程》	均在 ±60min 内
掺阻锈剂与未掺阻锈剂的优质混凝土的抗氯离子渗透性	按《水运工程混凝土试验规程》	不降低

(3) 浓度为 30% 的亚硝酸钙阻锈剂溶液推荐掺量，可按表 15-9 的规定值选取。所选定的亚硝酸钙掺量应符合盐水浸烘试验的质量合格标准。其他阻锈剂的掺量，应按生产厂家建议值和预期的氯化物含量，通过盐水浸烘试验确定。

浓度为 30% 的亚硝酸钙溶液阻锈剂的推荐掺量 表 15-9

钢筋周围混凝土的酸溶性氯化物含量预期值 (kg/m <sup>3</sup> )	阻锈剂掺量 (L/m <sup>3</sup> )
1.2	5
2.4	10
3.6	15
4.8	20
5.9	25
7.2	30

(4) 在特殊情况下，混凝土拌和物的氯化物含量超过规定值需掺加阻锈剂时，应进行阻锈剂掺量的验证试验，并应将预期渗入的氯化物含量加上该混凝土拌和物已有的氯化物含量，作为验证试验所采用的氯化物掺量。

(5) 阻锈剂可与高性能混凝土、环氧涂层钢筋、混凝土表面涂层、硅烷浸渍等联合使用，并具有叠加保护效果。

(6) 采用阻锈剂溶液时，混凝土拌和物的搅拌时间应延长 1min；采用阻锈剂粉剂时，应延长 3min。

二、海港工程钢结构特殊防腐蚀措施

1. 相关规定

钢结构防腐蚀措施应根据结构的部位、保护年限、施工、维护管理、安全要求和技术经济效益等因素确定，并应符合下列规定：

(1) 大气区的防腐蚀应采用涂层或金属喷涂层保护。陆域结构型式复杂或厚度小于 1mm

的薄壁钢结构可采用热浸镀锌或电镀锌加涂料保护。

(2) 浪溅区和水位变动区的防腐蚀宜采用重防蚀涂层或金属热喷涂层加封闭涂层保护,也可采用树脂砂浆或包覆有机复合层、复合耐蚀金属层保护。

(3) 水下区的防腐蚀可采用阴极保护和涂层联合保护或单独采用阴极保护。当单独采用阴极保护时,应考虑施工期的防腐蚀措施。

(4) 泥下区的防腐蚀应采用阴极保护。当将牺牲阳极埋设于海泥中时,应选用适当的阳极材料,并应考虑其驱动电压和电流效率的下降。

(5) 钢板桩岸侧、锚固桩及拉杆等海港埋地钢结构的防腐蚀宜采用外加电流阴极保护和涂层联合保护,也可采用牺牲阳极阴极保护和涂层联合保护。钢拉杆的防腐蚀可采用阴极保护和包缠有机防腐蚀材料联合保护。

## 2. 涂层保护措施有关材料方面的规定

(1) 防腐蚀涂料宜选用经过工程实践证明其综合性能良好的产品,选用新产品应进行技术和经济论证。

(2) 同一涂装配套中的底、中、面漆宜选用同一厂家的产品。

(3) 涂料应有完备的材质证明资料。

(4) 涂料应符合涂装施工的环境条件。

(5) 大气区采用的防腐蚀涂料应具有良好的耐候性。大气区的涂层系统可按表 15-10 选用。

大气区涂层系统

表 15-10

设计使用年限(年)	配套涂料名称			平均涂层厚度( $\mu\text{m}$ )
10 ~ 20	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧云铁防锈漆	100
		面层	聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆、氟碳涂料	100 ~ 150
	同品种配套			300 ~ 350
5 ~ 10	组合 配套	底层	富锌漆	50
		中间层	环氧云铁防锈漆	80
		面层	氯化橡胶漆、聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆	80 ~ 120
	同品种 配套			220 ~ 250

(6) 浪溅区和水位变动区采用的防腐蚀涂料应能适应干湿交替变化,并应具有耐磨损、耐冲击和耐候的性能。浪溅区和水位变动区的涂层系统可按表 15-11 选用。

浪溅区和水位变动区涂层系统

表 15-11

设计使用年限(年)	配套涂料名称			平均涂层厚度(μm)
10 ~ 20	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧树脂漆、环氧云铁防锈漆	300
		面层	厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆	100 ~ 125
	同品种配套		厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆、环氧沥青漆	450 ~ 500

续上表

设计使用年限(年)	配套涂料名称			平均涂层厚度( $\mu\text{m}$ )
5~10	组合 配套	底层	富锌漆	40
		中间层	环氧树脂漆、聚氨酯漆、氯化橡胶漆	200
		面层	厚浆型环氧漆、氯化橡胶漆、聚氨酯漆、丙烯酸树脂漆	75~100
	同品种配套		厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、氯化橡胶漆、环氧沥青漆	300~350

(7) 水下区和水位变动区采用的防腐蚀涂料应能与阴极保护配套, 具有较好的耐电位性和耐碱性。水下区的涂层系统可按表 15-12 选用。

(8) 设计使用年限 20 年以上的防腐涂装应采用重防腐涂层, 涂层系统可参照表 15-13 选用。

(9) 设计使用年限 30 年以上的防腐技术应根据涂装配套、工艺要求和环境适应性分析确定, 可选择包覆厚度不小于 1mm 耐腐蚀合金、包覆厚度不小于 5mm 的热塑性聚乙烯复合包覆层、包覆厚度不小于 3mm 的环氧玻璃钢包覆层和包缠矿脂胶带防腐系统。

水下区涂层系统

表 15-12

设计使用年限(年)	配套涂料名称			平均涂层厚度( $\mu\text{m}$ )
10~20	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧树脂漆、聚氨酯漆	250~300
		面层	厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、氯化橡胶漆	125
	同品种配套		厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、环氧沥青漆	450~500
5~10	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧树脂漆、聚氨酯漆、氯化橡胶漆	150
		面层	厚浆型环氧漆、氯化橡胶漆、聚氨酯漆	75~100
	同品种配套		厚浆型环氧漆、聚氨酯漆、氯化橡胶漆、环氧沥青漆	300~350

设计使用年限 20 年以上的涂层系统

表 15-13

环境区域	配套涂料名称			平均涂层厚度( $\mu\text{m}$ )
大气区	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧云铁涂料、环氧玻璃鳞片涂料	350~400
		面层	氟碳涂料	100
浪溅区、水位变动区、水下区	组合 配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧云铁涂料	400
			环氧玻璃鳞片涂料	350
		面层	环氧重型防腐涂料、厚浆型聚氨酯涂料、厚浆型环氧玻璃鳞片涂料	250~300



续上表

环境区域	配套涂料名称			平均涂层厚度(μm)
浪溅区、水位变动区、水下区	同品种底面层配套	环氧重型防腐涂料	800	
		厚浆型聚氨酯涂料	800	
		厚浆型环氧玻璃磷片涂料	700	
	组合配套	底层	富锌漆	75
		中间层	环氧云铁涂料	400
			环氧玻璃磷片涂料	350
		面层	环氧重型防腐涂料、厚浆型聚氨酯涂料、厚浆型环氧玻璃磷片涂料	250 ~ 300
	同品种底面层配套	环氧重型防腐涂料		800
		厚浆型聚氨酯涂料		800
		厚浆型环氧玻璃磷片涂料		700

(10)设计使用年限 10 年以上的防腐蚀涂层性能应符合表 15-14 的规定。

设计使用年限 10 年以上的防腐蚀涂层性能 表 15-14

性能	指标	测试方法执行标准
耐盐雾(h)	4 000	漆膜耐盐雾测定法(GB 1771)
耐老化(h)	2 000	漆膜老化测定法(GB 1865)
耐湿热(h)	4 000	漆膜耐湿热测定法(GB 1740)
附着力(MPa)	4	色漆和清漆拉开法附着力试验(GB 5210)
耐电位(V)	-1.20	船舶及海洋工程阳极屏涂料通用技术条件(GB 7788)

注:①耐电位指标为相对于银/氯化银电极;  
②当采用外加电流阴极保护时配套涂层耐阴极电位为-1.50V。

3. 金属热喷涂措施有关材料方面的规定

- (1)金属热喷涂保护系统应包括金属喷涂层和封闭层,复合保护系统还应包括涂层。
- (2)金属热喷涂方法可采用气喷涂或电喷涂法。
- (3)采用金属热喷涂的钢结构表面必须进行喷射或抛射处理,表面清洁度和表面粗糙度应符合规定。
- (4)热喷涂金属丝应光洁、无锈、无油、无折痕,金属丝直径宜为 2.0mm 或 3.0mm。
- (5)喷涂用金属材料应符合规定。

锌应符合现行国家标准《锌锭》(GB/T 470)中规定的 Zn99.99 的质量要求。  
铝应符合现行国家标准《变形铝及铝合金化学成分》(GB/T 3190)中规定的质量要求。  
锌铝合金的金属组成应为锌 85% ~ 87%,铝 13% ~ 15%。锌铝合金中锌应符合现行国家标准《锌锭》(GB/T 470)中规定的 Zn99.99 的质量要求,铝应符合现行国家标准《变形铝及铝合金化学成分》(GB/T 3190)中规定的质量要求。

铝镁合金的金属组成应为镁 4.8% ~5.5% ,铝 94.5% ~95.2%。

Ac 铝的金属组成应为铝 0.1% ~0.3% ,铝 99.7% ~99.9%。

(6)采用金属热喷涂层的钢结构件应与未喷涂构件电绝缘或对未喷涂部位实施阴极保护。

(7)封闭剂应具有较低的粘度,并应与金属涂层具有良好的相容性。涂层涂料应与封闭层有相容性,并应有良好的耐蚀性。金属热喷涂常用的封闭剂、封闭涂料和涂装涂料可参见标准的附录 A。

(8)金属热喷涂系统可参照表 15-15 和表 15-16 选用。并应符合下列规定:

热喷涂材料宜选用铝、铝合金或锌合金。

腐蚀严重和维护困难的部位应增加金属涂层的厚度。

大气区金属热喷涂系统 表 15-15

设计使用年限(年)	喷涂系统	最小局部厚度(mm)
≥20	喷锌+封闭	250+60
	喷铝+封闭	200+60
	喷 Ac 铝+封闭	150+60
	喷锌+封闭+涂装	250+30+100
	喷铝+封闭+涂装	200+30+100
	喷 Ac 铝+封闭+涂装	150+30+100
10~20	喷锌+封闭	160+60
	喷铝+封闭	120+60
	喷 Ac 铝+封闭	100+60
	喷锌+封闭+涂装	160+30+100
	喷铝+封闭+涂装	120+30+100
	喷 Ac 铝+封闭+涂装	100+30+100

浪溅区、水位变动区金属热喷涂系统 表 15-16

设计使用年限(年)	喷涂系统	最小局部厚度(mm)
≥20	喷铝+封闭	250+60
	喷 Ac 铝+封闭	200+60
	喷铝+封闭+涂装	250+30+100
	喷 Ac 铝+封闭	200+30+100
10~20	喷铝+封闭	150+60
	喷 Ac 铝+封闭	150+60
	喷 Ac 铝+封闭+涂装	150+60+100
	喷铝+封闭+涂装	150+30+100
5~10	喷铝+封闭	100+30
	喷 Ac 铝+封闭	100+30
	喷铝+封闭+涂装	100+30+60
	喷 Ac 铝+封闭+涂装	100+30+60

## 4. 阴极保护措施有关材料方面的规定

(1) 阴极保护可采用牺牲阳极阴极保护、外加电流阴极保护或两种保护的联合, 牺牲阳极阴极保护可适用于电阻率小于  $500\Omega \cdot \text{cm}$  的海水或淡水中的钢结构防腐。

(2) 预应力桩与钢桩混合使用的工程宜采用牺牲阳极阴极保护。采用外加电流阴极保护时, 严禁出现过保护现象。

(3) 阴极保护设计应收集如下资料, 必要时可进行现场测定:

- ① 钢结构的材质、外形尺寸、表面状况, 与相邻结构物的关系;
- ② 介质的盐度或化学成分;
- ③ 介质的温度、含氧量、电阻率和 pH 值;
- ④ 波浪、潮位、海水流速和水中泥沙含量等;
- ⑤ 介质的污染情况等。

(4) 阴极保护测量用参比电极应具有极化小、稳定性好、不易损坏、使用寿命长和适用环境介质等特性。参比电极类型及主要技术性能可参照现行国家标准《船用参比电极技术条件》(GB 7387) 和表 15-17 选用。

常用参比电极主要技术性能

表 15-17

名 称	电位(V)	适用环境
饱和甘汞电极	+0.242	淡水、海水
饱和硫酸铜电极	+0.316	海水、淡水、土壤
海水氯化银电极	+0.250	海水
锌合金电极	-0.784	海水、淡水、土壤

注: 电极电位的参照电极为标准氢电极。

(5) 海港工程钢结构的保护电位应符合表 15-18 的规定。

钢结构的保护电位

表 15-18

环境、材质		保护电位(V)		
		饱和硫酸铜 电极	海水氯化银 电极	锌合金 电极
含氧环境中的钢	最正值	-0.85	-0.78	+0.25
	最负值	-1.10	-1.05	+0.00
缺氧环境中的钢(有硫酸盐还原菌腐蚀)	最正值	-0.95	-0.90	+0.15
	最负值	-1.10	-1.05	+0.00
高强钢(以 700MPa)	最正值	-0.85	-0.78	+0.25
	最负值	-1.00	-0.95	+0.10

(6) 海港工程钢结构的初期保护电流密度可参照表 15-19 选值, 必要时可通过现场试验确定。有防腐涂层的钢结构初期保护电流密度应在表 15-19 中的选值的基础上乘以涂层破损系数, 涂层破损系数应按标准的附录 B 确定。

海港工程钢结构的初期保护电流密度 表 15-19

环境介质	钢结构表面状态	保护电流密度 (mA)		
		初始值	维持值	末期值
静止海水	裸钢	100 ~ 130	55 ~ 70	70 ~ 90
流动海水	裸钢	150 ~ 180	60 ~ 80	80 ~ 100
海泥	裸钢	25	20	20
海水堆石	裸钢	60 ~ 90	40 ~ 50	50 ~ 75
海水中混凝土或水泥砂浆包覆	裸钢	10 ~ 25		
水位变动区混凝土	钢筋	5 ~ 20		

(7)牺牲阳极材料可采用铝合金或锌合金,其品种、化学成分、电化学性能、金相组织和表面质量等应符合现行国家标准《铝—锌—铟系合金牺牲阳极》(GB 4948)和《锌—铝—镉合金牺牲阳极》(GB 4950)的有关规定。

(8)牺牲阳极材料应根据环境介质条件和经济因素综合确定,铝合金材料在海泥中应慎用。

(9)辅助阳极的材料和几何形状应根据设计使用年限、使用条件、被保护钢结构型式、阳极材料的性能和适用性综合确定。采用埋地式高硅铸铁阳极时,其化学成分和力学性能应符合现行国家标准《高硅耐蚀铸铁件》(GB 8491)的有关规定。

第三节 混凝土及钢结构特殊防腐蚀措施的试验检测

一、检测项目

水运工程混凝土及钢结构采用特殊防腐措施时应对其进行检测,以保证特殊防腐措施的效果,避免混凝土及钢结构结构在设计服役寿命内腐蚀破坏的发生,提高海港工程的结构稳定性。

1. 混凝土特殊防腐蚀措施的检测项目 (表 15-20)

表 15-20

措 施	检测材料	检 测 参 数
混凝土表面涂层	涂料	比重、固体含量、湿膜与干膜厚度的关系
	涂装层	平均干膜厚度、耐碱性试验、抗氯离子渗透性、涂层粘结力
混凝土表面硅烷浸渍	硅烷浸渍后的混凝土	吸水率、硅烷浸渍深度
环氧钢筋	涂层	厚度、连续性、柔韧性
掺钢筋阻锈剂	混凝土	(1) 钢筋在砂浆中的阳极极化试验; (2) 盐水浸烘试验; (3) 掺阻锈剂与未掺阻锈剂的优质或高性能混凝土抗压强度比; (4) 掺阻锈剂与未掺阻锈剂的水泥初凝时间差和终凝时间差; (5) 掺阻锈剂与未掺阻锈剂的优质混凝土的抗氯离子渗透性

## 2. 钢结构特殊防腐蚀措施的检测项目(表 15-21)

表 15-21

措 施	检测材料	项 目
表面预处理	钢材	表面清洁度、表面粗糙度
防腐涂层	涂层	附着力、干膜厚度、外观检测
	作业环境	温度、湿度
金属热喷涂保护系统	喷涂层	外观、平均厚度、最小局部厚度、结合性能
	作业环境	温度、湿度
阴极保护		(1)牺牲阳极的化学成分; (2)牺牲阳极的表面尺寸、重量、表面状态; (3)阴极保护电位

## 二、混凝土防腐蚀措施检验方法

## (一) 表面涂层

## 1. 平均干膜厚度及涂层粘结力试验

涂层粘结力试验系采用直接拉脱试验方法测定涂层与被涂物体之间的粘结力。此法既适用于室内试验,也适用于现场试验。

## 1) 试验设备

拉脱式涂层粘结力测试仪

湿膜厚度规

显微镜式测厚仪

## 2) 室内试验的步骤

(1) 制作  $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 50\text{mm}$  的 C30 混凝土试件 10 件,标准条件下养护 28d。

(2) 对每试件的  $500\text{mm} \times 500\text{mm}$  的非浇筑面进行表面处理。使其符合要求。

(3) 需要进行湿固化涂料粘结力试验的 5 件表湿试件,表面处理后浸泡在清水中,其他 5 件表干试件则放置在室内阴干。

(4) 对处理后的  $500\text{mm} \times 500\text{mm}$  非浇筑面的涂装,按设计的涂层系统和涂料产品使用说明书的要求,依次按底层、中间层和面层涂装。涂装过程用称重法核实各层涂料的涂布率,并用湿膜规测量各层湿膜厚度。对表干试件,先将涂装面的灰尘吹干净,而表湿试件,从水中捞起后,用湿布抹除涂装面的水滴,然后进行涂装。涂装方法,可以是刷涂、滚涂或喷涂。表湿试件,每涂一道涂层后,经 4h,浸没 3% 食盐水中。

(5) 涂装完成以后,表湿试件经 4h 后,浸没在 3% 食盐水中,12h 后捞起,再过 12h 又浸没,如此反复进行养护 7d;而表干试件放置在室内自然养护 7d。

(6) 取经 7d 养护的表干或表湿试件各 3 件,在每一试件的涂层面上随机找 3 个点,每点约  $30\text{mm} \times 30\text{mm}$  大小的面积,用零号细砂纸将每一点的涂层面轻轻打磨粗糙,并用丙酮或酒精等溶剂除油;同时,也对粘结力测试仪的铝合金铆钉头型圆盘座作同样打磨、除油处理。最后用粘结剂把铝圆盘座粘到处理好的涂层面上。

(7) 待粘结剂硬化 24h,用拉脱式涂层粘结力测试仪的配件套筒式割刀,将圆盘座的周边

涂层切除,使其与周边外围的涂层分离开。

(8)将粘结力仪配件的钢环支座片套住圆盘座,然后把粘结力仪的手轮作反时针旋转,使仪器的爪具松下并嵌入铝合金铆钉头型圆盘座,令仪器的三只支撑柱立在钢环支座片上,将仪器的指针拨到“0”的刻度位置;最后,顺时针方向旋紧手轮,一直持续到涂层断裂为止,并立即记录指针的读数。按本步骤重复试验,将每一铝合金铆钉头型圆盘座拔下来,并记录每一次拉拔的读数。

(9)用显微镜式测厚仪测定余下4个试件的涂层干膜厚度。每个试件至少测量30个点,以计算干膜厚度平均值。

### 3)对现场喷涂的涂层面粘结力的测试

应在涂层涂装完毕经7d后进行。按每 $50\text{m}^2$ 面积随机找三个测点进行检测,具体试验方法应参照室内试验方法的有关规定进行。

### 4)试验结果的评定方法

(1)试验后立即观察铝合金铆钉头型圆盘座的底面粘结物的情况,如果底面有75%以上的面积粘附着涂层或混凝土等物体,则试验数据有效。

(2)如果底面只有75%以下的面积粘有涂层或混凝土等物体,而且拉力小于 $1.5\text{MPa}$ ,则可在该测点的附近涂层面上重做粘结力试验。

(3)表干或表湿试件各取9个试验点的实测数据分别计算其算术平均值代表涂层的粘结力。

### 5)试验结果报告的内容

- (1)涂层涂料生产厂的名称;
- (2)各种涂料的名称、牌号、生产批号;
- (3)每一种涂料的涂布率( $\text{kg}/\text{m}^2$ 或 $\text{L}/\text{m}^2$ );
- (4)干膜厚度的最大值、最小值和平均值;
- (5)涂料涂层的粘结力。

## 2. 涂层耐碱性试验

### 1)设备

- (1)试模,尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ;
- (2)涂层湿膜厚度规,量程为 $0 \sim 500\mu\text{m}$ ;
- (3)显微镜式测厚仪。

### 2)试验步骤

(1)试验用混凝土块应采用不低于C25的混凝土,水泥宜采用32.5级普通硅酸盐水泥,用 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 试模成型6个混凝土块,并标准养护28d。

(2)涂层试件的制作,每个混凝土块的任一个非成型面,用饮用水和钢丝刷刷洗。如有气孔,用普通硅酸盐水泥砂浆填补。处理完毕后,置于室内,用纸覆盖,自然干燥7d,即可涂装;将试验的配套涂料,依照其使用说明书要求,按底层、中间层、面层的顺序分别涂装,同时控制涂层的干膜总厚度为 $250 \sim 300\mu\text{m}$ ,涂装过程用湿膜厚度规检测各层的湿膜厚度,并用称重法核实各层涂料的涂布率( $\text{kg}/\text{m}^2$ 或 $\text{L}/\text{m}^2$ )。试件制成后,置于室内自然养护7d。

(3)耐碱性试验,取3个试件,如图15-1所示,涂料涂层面朝上,半浸于水或饱和氢氧化钙溶液中30d。试验过程中,每隔1~2d检查涂层外观是否起泡、开裂或剥离等。

(4) 将余下的 3 件涂层试件, 用显微镜式测厚仪检测涂层干膜总厚度, 并计算至少 30 个测点的平均厚度。

### 3) 试验结果报告的内容

- (1) 涂料生产厂的名称;
- (2) 各种涂料的名称、牌号、生产批号;
- (3) 每一种涂料的涂布率 ( $\text{kg}/\text{m}^2$  或  $\text{L}/\text{m}^2$ );
- (4) 干膜厚度的最大值、最小值和平均值;
- (5) 耐碱试验后涂层的外观状态描述。

### 3. 涂层抗氯离子渗透试验

#### 1) 设备

- (1) 内径为 40 ~ 50mm 的有机玻璃试验槽;
- (2) 湿膜厚度规;
- (3) 磁性测厚仪。

#### 2) 试验步骤

(1) 制作涂层片: 试验用的活动涂层片的制作系采用  $150\text{mm} \times 150\text{mm}$  的涂料细度纸作增强材料, 将其平铺于玻璃板上, 将试验的配套涂料, 依照使用说明书的要求, 先涂底层涂料一道, 再涂中间层涂料两道、面层涂料一道。每一道涂膜施涂后, 应立即将细度纸掀离玻璃板并悬挂在绳子上, 经 24h 再涂下一道, 如此反复施涂, 用湿膜规控制涂料形成的涂层干膜总厚度为  $250 \sim 300\mu\text{m}$ 。按此方法共制作三张活动涂层片。制成后, 悬挂在室内自然养护 28d, 再用磁性测厚仪测量涂层片的厚度供试验。

(2) 将制得的活动涂层片剪成直径为 60mm 的试件, 按图 15-2 所示方法进行抗氯离子渗透性试验。使试件涂漆的一面朝向 3% 食盐水; 细度纸的另一面朝向蒸馏水。共用三组装置。置于室内常温条件下进行试验, 经 30d 试验终结后, 测定蒸馏水中的氯离子含量。

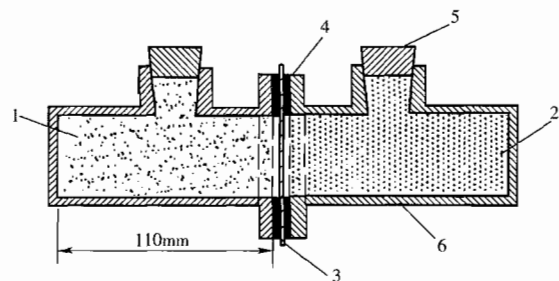


图 15-2 涂层抗氯离子渗透性试验装置示意图

1-3% 食盐水; 2-蒸馏水; 3-试件 (活动涂层片); 4-硅橡胶填料; 5-硅橡胶塞; 6-内径为 40 ~ 50mm 试验槽

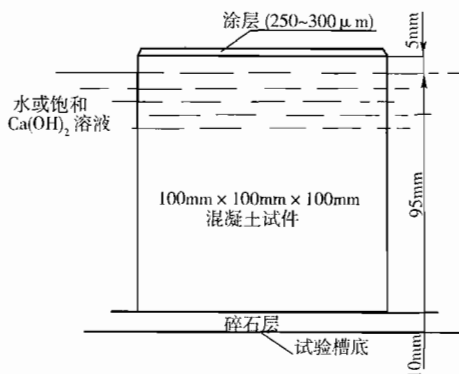


图 15-1 涂层耐碱性试验示意图

### 3) 试验结果报告的内容

- (1) 涂料生产厂的名称;
- (2) 各种涂料的名称、牌号、生产批号;
- (3) 氯离子穿过涂层片的渗透量 ( $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ )。

### 4. 混凝土抗氯离子渗透性标准试验方法

#### 1) 适用范围

(1) 本试验方法以电量指标来快速测定混凝土的抗氯离子渗透性。适用于检验混凝土原材料和配合比对混凝土抗氯离子渗透性的影响。

(2) 本试验方法适用于直径为  $95 \pm 2\text{mm}$ , 厚度为  $51 \pm 3\text{mm}$  的素混凝土试件或芯样。

(3) 本试验方法不适用于掺亚硝酸钙的混凝土。掺其他外加剂或表面处理过的混凝土, 当有疑问时, 应进行氯化物溶液的长期浸渍试验。

## 2) 试验基本原理

在直流电压作用下,氯离子能通过混凝土试件向正极方向移动,以测量流过混凝土的电荷量反映渗透混凝土的氯离子量。

## 3) 试验设备及材料

### (1) 试验装置(图 15-3)

### (2) 仪器设备应满足的要求

直流稳压电源,可输出 60V 直流电压,精度  $\pm 0.1\text{V}$ ;

塑料或有机玻璃试验槽,其结构尺寸如图 15-4 所示;

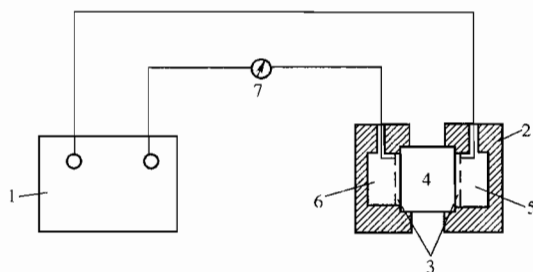


图 15-3 试验装置示意图

1-直流稳压电源;2-试验槽;3-铜网;4-混凝土试件;5-3%

NaCl 溶液;6-0.3mol NaOH 溶液;7-数字式电流表

铜网为 20 目;

数字式电流表,量程 20A,精度  $\pm 1.0\%$ ;

真空泵,真空度可达 133Pa 以下;

真空干燥器,内径  $\geq 250\text{mm}$ 。

### (3) 试验应采用下列材料:

分析纯试剂配制的 3.0% 氯化钠溶液;

用纯试剂配制的 0.3mol 氢氧化钠溶液;

硅橡胶密封材料。

### 4) 试验步骤

(1) 制作直径为 95mm,厚度为 51mm 的混凝土试件,在标准条件下养护 28d 或 90d,试验时以三块试件为一组。

(2) 将试件暴露于空气中至表面干燥,以硅橡胶或树脂密封材料施涂于试件侧面,必要时填补涂层中的孔洞以保证试件侧面完全密封。

(3) 测试前应进行真空饱水。将试件放入 1 000mL 烧杯中,然后一起放入真空干燥器中,启动真空泵,数分钟内真空度达 133Pa 以下,保持真空 3h 后,维持这一真空度注入足够的蒸馏水,直至淹没试件,试件浸泡 1h 后恢复常压,再继续浸泡  $18 \pm 2\text{h}$ 。

(4) 从水中取出试件,抹掉多余水分,将试件安装于试验槽内,用橡胶密封环或其他密封胶密封,并用螺杆将两试验槽和试件夹紧,以确保不会渗漏,然后将试验装置放在  $20 \sim 23^\circ\text{C}$  的流动冷水槽中,其水面宜低于装置顶面 5mm,试验应在  $20 \sim 25^\circ\text{C}$  恒温室内进行。

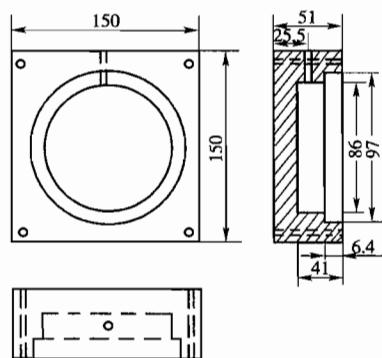


图 15-4 试验槽结构图(单位:mm)



(5)将浓度为3.0%的NaCl溶液和0.3mol的NaOH溶液分别注入试件两侧的试验槽中,注入NaCl溶液的试验槽内的铜网连接电源负极,注入NaOH溶液的试验槽中的铜网连接电源正极。

(6)接通电源,对上述两铜网施加60V直流恒电压,并记录电流初始读数%,通电并保持试验槽中充满溶液。开始时每隔5min记录一次电流值,当电流值变化不大时,每隔10min记录一次电流值,当电流变化很小时,每隔30min记录一次电流值,直至通电6h。

### 5) 试验结果计算

(1)绘制电流与时间的关系图。将各点数据以光滑曲线连接起来,对曲线作面积积分,或按梯形法进行面积积分,即可得试验6h通过的电量。当试件直径不等于95mm时,则所得电量应按截面面积比的正比关系换算成直径为95mm的标准值。

(2)取同组3个试件通过的电量的平均值,作为该组试件的通电量来评定混凝土抗氯离子渗透性。

## (二) 混凝土表面硅烷浸渍检测

### 1. 硅烷浸渍后混凝土表面吸水率测试方法

吸水率的测试应在最后一次喷涂硅烷后至少7d,钻取直径为50mm、深度为 $40 \pm 5$ mm的芯样。除原表面外,其余各面包括原表面上小于5mm的周边,均涂以无溶剂环氧涂料,若该涂层有针孔,尚应加涂予以密封。全部芯样在40℃下烘48h后称重。在适当的容器底部,放置多根直径100mm的玻璃棒,将这些芯样原表面朝下放在这些玻璃棒上,注入23℃的水,使水面在玻璃棒上1~2mm,以5、10、30、60、120和140min的时间间隔,取出芯样,称重后立即放回去,直到完成所有这些间隔时间的吸水增量,折算为吸水高度(mm),然后以吸水高度为纵坐标,以该时间间隔平方根为横坐标作图,取该关系直线的斜率( $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$ )为吸水率值。

### 2. 硅烷浸渍深度测试方法

硅烷的浸渍深度宜采用染料指示法评定。浸渍硅烷前的喷涂试验可采用热分解气相色谱法,当硅烷喷涂施工中对染料指示法的评测结果有疑问时,也可采用热分解色谱法进行最终结果评定。烷浸渍深度可采用下列方法进行测试:

#### (1) 染料指示法

应在最后一次喷涂硅烷后至少7d,钻取直径为50mm、深度为 $40 \pm 5$ mm的芯样,用密封袋封好。试验时,芯样在40℃下烘24h,然后将芯样沿直径方向劈开,在劈开表面上喷涂水基短效涂料,不吸收染料的区域表明硅烷的渗透深度。

#### (2) 热分解气相色谱法

应在最后一次喷涂硅烷后至少3d,钻取芯样。在离原表面的深度为3~4mm(强度等级 $\leq$ C45的混凝土)或2~3mm(强度等级 $>$ C45的混凝土)处,劈开芯样。从该芯样新暴露面的各处,取数份粉样,热分解这些粉样为等离子气体,用气相色谱仪分析,求的其硅烷占水泥浆体粉样的重量百分率的平均值。浸渍区域内的硅烷占水泥浆体粉样重量的百分率应不小于0.1%。

### 3. 氯化物的吸收量的降低效果检测方法

测试氯化物吸收量的降低效果应在最后一次喷涂硅烷后至少7d钻取芯样。除芯样原表面外,其余各面包括原表面上小于5mm的周边,均涂以无溶剂环氧涂料加以密封。将芯样原表面朝下放在合适的容器中,注入温度为23℃的5mol的NaCl溶液,其液面在芯样上10mm。24h后取出芯样,在40℃下烘24h,然后从该芯样的深度2mm处切片,弃去该切片,将原芯样上

的新切片,磨到深度为 10mm,按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》的混凝土酸溶性氯化物含量测定法分析所得粉样的氯化物含量。在深度为 11 ~ 20mm 和 21 ~ 30mm 处,重复上述程序。氯化物吸收量的降低效果可按下式计算:

$$\Delta CU = \frac{CU - CU_1}{CU} \times 100\%$$

式中: $\Delta CU$ ——氯化物吸收量的降低效果,%;

$CU$ ——对比组的氯化物平均含量,为每个芯样 3 个深度氯化物吸收量的平均值;

$CU_1$ ——浸渍硅烷组的氯化物平均含量,为每个芯样 3 个深度氯化物吸收量的平均值。

### (三) 环氧钢筋检测

#### 1. 涂层厚度

固化后的无破损环氧涂层厚度应为 180 ~ 300 $\mu\text{m}$ ,在每根被测钢筋的全部厚度记录值中,应有不少于 95% 的厚度记录值在上述规定范围内,且不得有低于 130 $\mu\text{m}$  的厚度记录值。

#### 2. 涂层连续性

应在进行弯曲试验前检查环氧涂层的针孔数,每米长度上检测出的针孔数不应超过 4 个,且不得有肉眼可见的裂缝、孔隙、剥离等缺陷。

#### 3. 柔韧性

应在环氧涂层钢筋弯曲后,检查弯曲外凸面的针孔数,每米长度上检测出的针孔数不应超过 4 个,且不得有肉眼可见的裂缝、孔隙、剥离等缺陷。

### (四) 钢筋阻锈剂

#### 1. 钢筋在砂浆中的阳极极化试验

按《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270—98)7.7 节和 7.8 节的试验方法进行试验。砂浆的氯化钠掺量为 1.5%,阻锈剂掺量按生产厂家的规定采用。当单掺亚硝酸钙时,其掺量应为 1.5%。

技术指标要求是:电极通电后 15min,电位跌落值不得超过 50mV。

先进行新拌砂浆中的试验,若不合格再进行硬化砂浆中的试验,若仍不合格则应判为不合格。

#### 1) 钢筋在砂浆拌和物中的阳极极化试验

##### (1) 目的和适用范围

研究外加剂或水泥对混凝土中钢筋腐蚀的影响,本方法适用于水泥初凝时间大于 45min 的砂浆。

##### (2) 试验基本原理

在图 15-5 所示的装置中,由于外加电压的作用,接直流电源正极的钢筋表面上就会模拟出钢筋腐蚀的阳极过程。

利用这种装置测量钢筋阳极在通电后电位的变化,可定性地判断钢筋在混凝土中钝化膜的好坏,以此初步判断外加剂或水泥的影响。

##### (3) 试验设备

试验所有的设备如图 15-6 所示。恒电流阳极极化试验仪,或有恒电流装置的恒电位仪,电流表量程 1 000 $\mu\text{A}$ ,精度 10 $\mu\text{A}$ ;毫伏表量程 1 200 ~ 1 500mV,精度 10mV。

铜—硫酸铜电极:构造如图 15-7 所示。

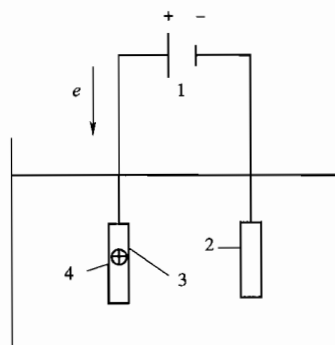


图 15-5 阳极极化装置示意图

1-直流电源;2-钢筋阴极;3-砂浆拌和物;4-钢筋阳极

试模:用木或塑料等绝缘材料加工而成,尺寸  $40\text{mm} \times 100\text{mm}/150\text{mm}$  (高  $\times$  宽  $\times$  长)。

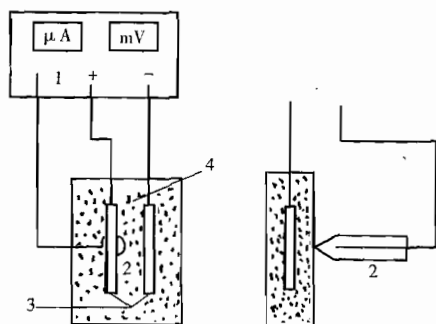


图 15-6 试验装置示意图

1-恒电流阳极极化测试仪;2-铜硫酸铜电极;  
3-钢筋;4-砂浆拌和物



图 15-7 铜-硫酸铜电极

1-导线;2-紫铜棒;3-饱和硫酸铜溶液;  
4-玻璃管;5-多孔瓷棒

#### (4) 试验步骤

①用长  $100\text{mm}$ 、直径  $6\text{mm}$  的未锈钢筋制作钢筋电极。钢筋应经酸洗,酸洗液可用盐酸溶液(工业盐酸:水 =  $1:1$ 。另加纯盐酸量的  $2\% \sim 3\%$  的六次甲基四胺),中和液可用  $3\%$  碳酸钠溶液。将钢筋泡入酸洗液中,待表面氧化皮溶解后取出。每根钢筋依次放在水、中和液中摇动几下,再放入另一盘中和液中浸泡。然后取出用水冲洗,再用干毛巾擦干,放入已预先升至  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱内烘  $5\text{min}$ ,至此酸洗完毕。再用粗、细砂布(2号、0号)先后摩擦钢筋表面至光亮。在钢筋的一端焊上导线,再将钢筋两头浸涂石蜡,使中间暴露段长  $70\text{mm}$  (焊线端涂  $25\text{mm}$ ,另一端涂  $5\text{mm}$ )。用丙酮去脂,放在干燥器内备用。

注:钢筋暴露段应保持清洁,焊线时应及时擦去焊油,钢筋表面用砂布处理后,宜当天投入试验。

②按试验要求的配合比(在无特定要求时,可采取水灰比  $0.5$ ,灰砂比  $1:2.2$ )配制砂浆,湿拌时间  $2\text{min}$ 。检验外加剂时,外加剂按比例随拌和水加入。无特定要求时,采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

注:当拌和用水含较多有害杂质时,应改用蒸馏水拌和。

③把拌制好的砂浆浇入试模中,先浇一半(厚  $20\text{mm}$  左右)。将两个钢筋电极平行放在砂浆层上面,间距约为  $40\text{mm}$ ,各离侧模板  $25\text{mm}$  左右,然后灌满砂浆,拉出导线,在两边轻轻插捣几下,使钢筋表面全部与砂浆接触。

④以一根钢筋作为试验电极,另一根作为辅助电极,用阳极极化测试仪,测定试验电极的自然电位。测量时,硫酸铜电极的下端应对准试验电极的中点位置,与砂浆拌和物表面接触,并垂直于砂浆表面(图 15-6)。

⑤按图 15-6 的线路通直流电,试验电极接仪器正极,辅助电极接负极。按试验电极暴露面积计算的电流密度,保持恒定为  $0.5\mu\text{A}/\text{mm}^2$ 。

⑥在通电的同时,开始计算时间。分别在  $2, 6, 10, 15\text{min}$  时记录试验电极极化电位  $V_2, V_6, V_{10}, V_{15}$ 。

⑦更换试验电极,辅助电极可不更换,照以上步骤,进行重复测量。取两次测量结果的平均值作为测定值。在电位-时间坐标图上绘出电极阳极极化电位-时间曲线。

注:若两个试验电极测量结果出现矛盾,即一个处于钝化状态,另一个处于非钝化状态,则此组试验作废,应重新进行试验。

### (5) 试验结果分析

若电极通电后,电位迅速向正方向移动, $V_2$  达 +500mV 左右,且经过 15min 电位跌落不超过 50mV (即  $V_2 - V_{15}$  不大于 50mV,则为钝化电极(见图 15-8 中的 1 号曲线)。可以认为所用的外加剂和水泥本身不含有对钢筋有害的物质。

若曲线很平缓或电位先向正方向移动,后又改向负方向移动,这两种情况均表明钢筋钝化膜已损坏(见图 15-8 中的 2、3、4 号曲线)。这时对所用的外加剂或水泥还不能下明确的结论,对它们还需用砂浆中的阳极极化法作进一步检验。

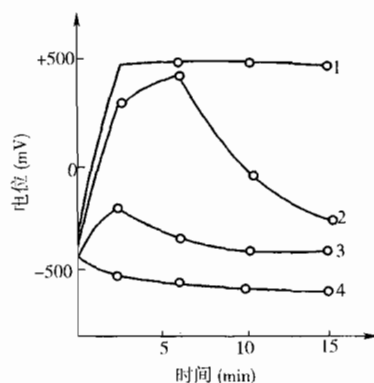


图 15-8 阳极极化电位—时间曲线

(1 为钝化曲线;2 为钝化和活化之间的曲线,3 和 4 为活化曲线)

## 2) 钢筋在砂浆中的阳极极化试验

### (1) 目的和适用范围

研究外加剂和水泥对混凝土中钢筋腐蚀的影响。当用砂浆拌和物中的阳极极化法试验后,尚不能对所研究的外加剂或水泥作出结论时,可用本方法进行试验。水泥终凝时间不应大于 48h。

### (2) 试验基本原理

在砂浆硬化早期,水泥已结合部分外加剂,这时采用 100℃ 的温度烘 24h 加速腐蚀,并用阳极极化法测定钢筋表面钝化膜的状况,由此判断外加剂或水泥对钢筋腐蚀的影响。

### (3) 试验设备

- ①试验所用的设备如图 15-9 所示;
- ②恒电流阳极极化试验仪,或有恒电流装置的恒电位仪;
- ③铜—硫酸铜电极;
- ④玻璃缸:尺寸可采用 120mm × 160mm × 190mm (宽 × 长 × 高);
- ⑤辅助电极:可采用 150mm 长的不锈钢尺。

### (4) 试验步骤

①钢筋砂浆电极(以下简称电极),尺寸为 30mm × 30mm × 94mm,正中埋设一根长 100mm、直径 6mm 的未锈钢筋(图 15-10)。钢筋预先经酸洗、擦锈、去脂。钢筋擦锈采用细钢丝刷刷光的方法。按试验要求的配合比(在无特定要求时,可采取水灰比 0.5,灰砂比 1:2.2)配制砂浆。湿拌时间 2min,1 组 3 个试件。检验外加剂时,外加剂按比例随拌和水加入。无特定要求时,采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。用振动台或跳桌成型。成型时,钢筋由两端模板上的凹洞保证其正中位置。电极成型后,连同模子一起放入标准养护室,盖上湿布养护。经 22h 拆模(需延长脱模时间时,报告中注明),用水泥浆涂电极两端,使钢筋的两端裸露部分埋于水泥浆中,以后仍放在标准养护室,盖上湿布。再养护 48h。

注:钢筋表面处理后,应及时埋入砂浆。

②电极养护后取出,在  $100 \pm 2^\circ\text{C}$  的温度下烘 24h。烘后取出电极,敲去两端硬化水泥浆。在钢筋的一端焊上导线。试件两端涂蜡,使暴露长度为 85mm,如图 15-9 所示。

③将 1 组的 3 个砂浆电极放在 1 000mL 烧杯中,用饱和氢氧化钙溶液浸泡 2~4h。

④电极移入盛有饱和氢氧化钙溶液的玻璃缸内,使电极浸入溶液的深度为 85mm(图 15-

9) 用阳极极化试验仪测量电极的自然电位  $V_0$ 。

⑤按图 15-9 的线路通过直流电。电极接阳极极化仪正极,辅助电极接负极。通过浸入溶液 85mm 长的钢筋表面的电流密度保持恒定为  $0.5\mu\text{A}/\text{mm}^2$ 。

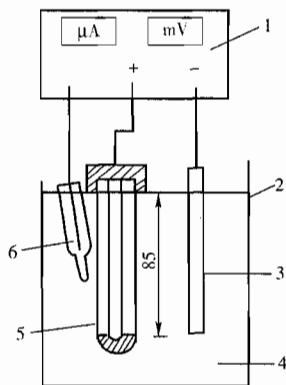


图 15-9 试验装置示意图(单位:mm)

1-恒电流阳极极化试验仪;2-玻璃缸;3-不锈钢片;4-饱和氢氧化钙溶液;5-钢筋砂浆电极;6-铜—硫酸铜电极

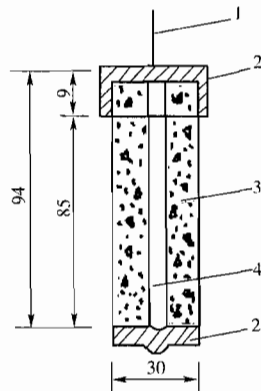


图 15-10 钢筋砂浆

1-导线;2-石蜡;3-砂浆;4-钢筋

⑥在通电的同时开始计算时间,分别在 2、6、10、15min 时记录电极极化电位  $V_2$ 、 $V_6$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{15}$ 。

⑦取 3 个电极测量结果的平均值作为测定值,点绘在电位—时间坐标图上,画出电极的阳极极化电位—时间曲线。

#### (5) 试验结果分析

结果分析基本上与本上法规定相同。 $V_2$  达 +650mV 左右、经过 15min 电位跌落不超过 50mV 的电极,可以认为是钝化电极,所用的外加剂或水泥不含有对钢筋有害的物质。若经过 15min,电位跌落超过 50mV,为介于钝化与活化之间的电极,说明钢筋的钝化膜已受损坏。损坏程度可用  $V_2 \sim V_{15}$  段曲线的斜率,即电位向负方向移动的斜率来判断,斜率愈大,损坏愈甚。

若电极通电后, $V_2$  小于 +650mV,并很快地向负方向下落,表明钝化膜破坏较厉害,为活化电极,其活化程度,可用  $V_2$  来衡量。 $V_2$  值下降越大活化越强。

对于活化电极和介于钝化与活化之间的电极,可以初步认为所用的外加剂或水泥对钢筋是有害的。其有害作用的大小,可从钝化膜的破坏程度来定性地进行比较。

#### 2. 盐水浸烘试验(即混凝土中钢筋腐蚀快速试验)

合格判定:浸烘 8 次后,掺阻锈剂比未掺阻锈剂的混凝土试件中钢筋腐蚀失重率减少 40% 以上。

##### 1) 目的和适用范围

比较海工混凝土防止钢筋腐蚀的性能。适用于浪溅区和水位变动区钢筋混凝土。

##### 2) 试验基本原理

模拟海工浪溅区和水位变动区混凝土中钢筋的腐蚀环境,即海水干湿交替,并且用适当提高温度的方法,加速腐蚀速度。

##### 3) 试验设备和化学药品

电热鼓风箱:101—4 型,鼓风与加热同步;

塑料箱:尺寸可采用 500mm×600mm×900mm(高×宽×长),带盖;

分析天平:称量 100g,感量 0.1mg;

试模:断面尺寸 100mm×100mm,长度 200~400mm;

工业盐酸、碳酸钠、食盐等。

#### 4) 试验步骤

##### (1) 钢筋的准备

把直径 6mm 的未锈钢筋用木锤敲直,按每根 100mm 长剪断,挑选比较光滑平直的作为钢筋试样,然后按有关规定进行酸洗。用细钢丝刷(或砂布)摩擦钢筋表面,使之光亮。在天平上称得钢筋初始重,最后移入干燥器中备用。

##### (2) 试件成型

每种技术条件制作 4 个试件(为了在试验过程中观察锈况,对比基准组一般多制 4~6 个)。试件尺寸为 100mm×100mm×200mm,分两次浇制(图 15-11)。先用混凝土浇制 100mm 长的中间段。浇制时,两头采用端头板和木楔固定钢筋,以保证钢筋的保护层(从试件底面到钢筋表面的距离)为 30mm 或 40mm(根据试验要求)。混凝土装入试模后,在振动台上振动至出浆。接着卸去木楔和端头板,在两头浇灌水灰比小于中间混凝土的富配比砂浆,用油灰刀仔细插捣,使其密实。

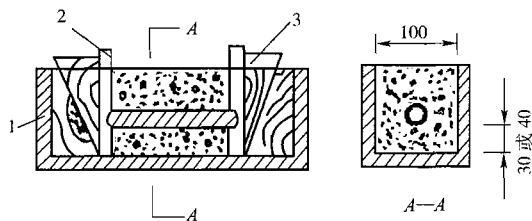


图 15-11 试件成型示意图

1-试模;2-端头板;3-木楔

注:(1)粗骨料的最大粒径与混凝土保护层厚度之比不得大于 3/4。试件成型后,在  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  的温度下盖湿布养护 24h,然后拆模。把试件放入标准养护室再养护 13d 后进行试验。

(2)比较水泥品种不同的混凝土时,试件应养护至龄期 28d,比较水泥品种相同的混凝土时,试件可养护至 14d。

##### (3) 浸烘循环

试件养护后,放入烘箱,在  $80 \pm 2^\circ\text{C}$  的温度下烘 4d。冷却后放入塑料箱中,用浓度为 3.5% 的食盐水浸泡 24h 后取出,再放入烘箱,在  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  的温度下烘 13d。从开始泡盐水至烘毕,共历时 14d,为一次循环。以后照此循环不断往复。经过一定循环次数(8 次)后,劈开 1 块对比基准组试件,观察钢筋锈况,如未生锈,仍应继续进行浸烘循环;如已生锈(锈积率大于 15%),则对试件进行检查。塑料箱中的食盐水浓度须经常检查使保持恒定。

##### (4) 检查项目

###### ① 混凝土保护层厚度

沿钢筋劈开试件,用钢尺量测钢筋两端的混凝土保护层厚度(精确至 1mm),取其平均值作为该试件的混凝土保护层厚度。

###### ② 锈积率

取出钢筋,用玻璃纸描绘钢筋表面的锈蚀面积,然后复印在方格纸上,计算锈蚀面积。锈积率按下式计算:

$$P = \frac{S_n}{S_0} \times 100\%$$

式中:  $P$ ——钢筋锈积率, %;

$S_0$ —— $n$  次循环后钢筋锈蚀面积,  $\text{mm}^2$ ;

$S_n$ ——钢筋表面积,  $\text{mm}^2$ 。

### ③失重率

先酸洗钢筋, 把腐蚀产物洗掉。酸洗时, 洗液中放入两根尺寸相同的同类无锈钢筋作空白校正。酸洗、烘干后, 称重。

钢筋失重率按下式计算:

$$M = \frac{W_0 - W - \frac{(W_{01} - W_1) + (W_{02} - W_2)}{2}}{W_0} \times 100\%$$

式中:  $M$ ——钢筋失重率, %;

$W_{01}$ 、 $W_{02}$ ——空白校正用的两根钢筋的初始重量, g;

$W_1$ 、 $W_2$ ——空白校正用的两根钢筋酸洗后相应的重量, g;

$W_0$ ——试验钢筋初始重量, g;

$W$ ——试验后钢筋重量, g。

### 5) 试验结果分析

混凝土保护层厚度小于原设计试件保护层厚度的 80%, 该试件作废。根据试验所得同组 4 个试件的钢筋锈积率、失重率平均值的大小, 比较各组试件防止钢筋腐蚀的性能。

#### 3. 掺阻锈剂与未掺阻锈剂的优质或高性能混凝土抗压强度比

分别成型掺与不掺阻锈剂的施工配合比混凝土抗压试件, 28 天龄期后测其抗压强度, 计算两者的比值。要求强度比不低于 90%。

#### 4. 掺阻锈剂与未掺阻锈剂的水泥初凝时间差和终凝时间差

参照水泥凝结时间的测定方法, 分别试验掺与不掺阻锈剂的施工用水泥的初凝时间和终凝时间, 比较两者之差。要求两者之差在  $\pm 60\text{min}$  的范围内。

#### 5. 掺阻锈剂与未掺阻锈剂的优质混凝土的抗氯离子渗透性

分别成型掺与不掺阻锈剂的施工配合比混凝土抗氯离子渗透性试验的试件, 测定电通量, 要求抗氯离子渗透性能不降低。

## 三、钢结构特殊防腐措施的检验方法

### (一) 表面预处理

#### 1. 表面清洁度

按现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》(GB 8923) 中相应的照片进行目视对照检查。检验数量应符合表 15-22 的规定。

表面清洁度检验数量

表 15-22

钢结构名称	检 验 数 量
小型钢构件	不少于构件总数的 10%, 且每工班不少于 5 件
大型、整体钢结构	每 50m <sup>2</sup> 对照检查 1 次, 且每工班检查次数不少于 1 次
钢管桩、钢板桩	不少于钢桩总数的 10%, 且每工班不少于 1 根

(2) 如无专门规定,热喷涂涂层的厚度应报告有效表面上测得的最小局部厚度。

2. 结合性能

1) 金属热喷涂涂层结合性能检验应按现行国家标准《金属和其他无机覆盖层热喷涂锌、铝及其合金》(GB/T 9793)的有关规定执行。结合性能检验数量钢管桩或钢板桩每 10 根桩应检验 1 根,其他钢结构每 200m<sup>2</sup> 检测数量不得少于 1 次,且总检测数量不得少于 3 次。

2) 栅格法试验结合强度:

(1) 原理:将涂层切断至基体,使之形成一个具有给定尺寸的方形格子,涂层不应产生剥离。

(2) 装置:具有硬质刃口的切割工具,其形状如图 15-13 所示。

3) 试验步骤

①使用图 15-13 规定的刀具,切出表 15-24 中的规定格子尺寸。

②切痕深度,要求必须将涂层切断至基体金属。

③如有可能,切割成格子后,采用供需双方协商认可的一种合适粘胶带,借助一个辊子施以 5N 的载荷将粘胶带压紧在这部分涂层上,然后沿垂直涂层表面的方向快速将粘胶带拉开。

④如果不能使用此法,则测量涂层结合强度的方法就必须取得供需双方同意。

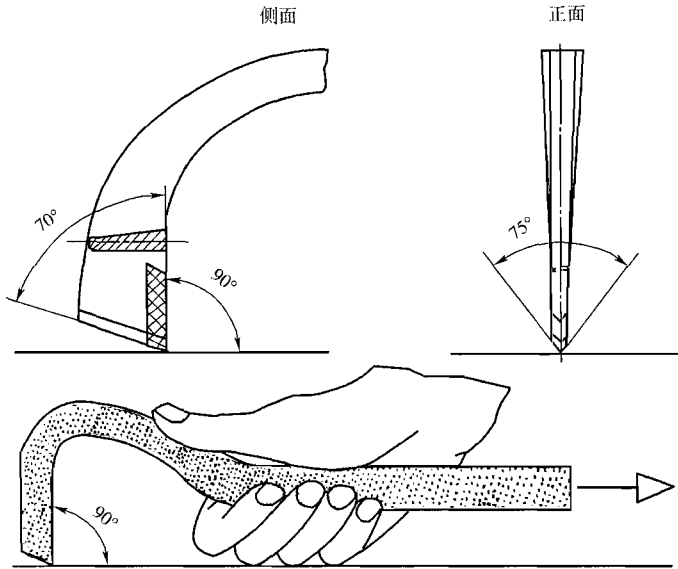


图 15-13 切割工具

格子尺寸

表 15-24

覆盖格子的近似表面	检查的涂层厚度	划痕之间距离
15mm × 15mm	≤200	3
25mm × 25mm	> 200	5

4) 结果解释

应无涂层从基体金属上剥离。假如在每个方形格子内,涂层的一部分仍然粘附在基体上,而其余部分粘在粘胶带上,损坏发生在涂层的层间而不是发生在涂层与基体界面处,则认为



合格。

#### 5) 拉伸试验法测结合强度

(1) 用切割工具, 沿着一个圆切割涂层直至基体金属, 该圆的直径与用于试验的圆柱直径一致。

(2) 仔细地清理试验面, 用粘结剂将圆柱粘到涂层上。采用的粘结剂对涂层的粘结力应比涂层与基体金属的结合力更大。在涂粘结剂前, 先用蚀洗涂料覆盖在涂层上, 并渗入涂层孔隙中, 以免粘结剂渗透到基体。

(3) 当粘结剂固化后, 将圆柱体周围的过量粘结剂去除。

(4) 在垂直于圆柱截面的方向, 逐渐加力至圆柱体拉脱, 以此测量涂层从基体上剥离的拉力。

由于这种试验在两个不同实验室很难重现, 比较它们的试验结果是不实际的。因此这种试验方法仅用于同一实验室作为比较涂层结合规律或考核上岗人员时用。而且应在同样设备条件下, 由同一个操作者在同类的涂层使用同一种粘结剂进行试验。

### (四) 阴极保护

#### 1. 牺牲阳极的化学成分、表面尺寸、重量、表面状态

牺牲阳极材料可采用铝合金或锌合金, 其品种、化学成分、电化性能、金相组织和表面质量等应符合现行国家标准《铝—锌—铟系合金牺牲阳极》(GB 4948) 和《锌—铝—镉合金牺牲阳极》(GB 4950) 的有关规定。

牺牲阳极的化学成分应在现场取样, 送检测单位进行检测。检验数量每批次不得少于 1.5%, 且不得少于 1 件。

牺牲阳极的尺寸、重量和表面状态应进行现场抽样检查。检查数量每批次不得少于 5%, 且不得少于 3 件。

#### 2. 钢结构自然腐蚀电位及阴极保护电位检测

通过检测钢结构的自然腐蚀电位或阴极保护电位, 作为评价该结构所处环境腐蚀性的参数。阴极保护电位应对每一个单元构件进行现场检测。

##### 1) 检测仪器

电位检测仪器应采用最小分辨率 1mV、内阻大于 10M $\Omega$  的高内阻数字万用表和符合现行国家标准《常用参比电极技术条件》(GB/T 7387) 有关规定的 Ag/AgCl 参比电极或 Cu/饱和 CuSO<sub>4</sub> 参比电极。

##### 2) 检测方法步骤

(1) 将参比电极放入水中, 并靠近待测钢结构的表面;

(2) 用导线将参比电极、万用表和所测钢结构形成回路, 用万用表读取测试数据。

##### 3) 试验注意事项

电位测量时参比电极应放置到被测钢结构的表面附近, 且不得与被测钢结构直接接触。

## 第十六章 结构混凝土强度及缺陷现场检测

由于受原材料及配合比、施工工艺、天气情况、施工人员技术水平等多种因素影响,在工程中混凝土强度和成型质量常常处于不稳定状态。现场塌落度检查和同条件立方体抗压强度试块也往往不能真实的反映结构混凝土的强度和成型质量。所以,为了能直接反映结构混凝土的真实强度等质量指标,保证工程质量,人们越来越重视利用非破损检测方法对结构混凝土的进行现场检测。

结构混凝土的现场检测方法大体可以分为四类:第一类是以检测混凝土强度为目的,常见的有回弹法、回弹超声综合法、振动法等无损检测方法,以及取芯、拔出、射击等半破损检测方法;第二类是以检测混凝土内部缺陷为目的,属于这一类的方法主要有超声脉冲法、射线法、介电法、微波吸收和雷达扫描法等等;第三类是以检测结构混凝土受力历史和受力损伤程度为目的,这是混凝土现场检测的一个新领域,主要方法是声发射法和超声法的综合利用;第四类是以检测结构混凝土其他性能为目的,例如弹性模量、粘塑性指标、密实度、抗冻性等,常常使用超声、取芯等方法。

《港口工程混凝土非破损检测技术规程》(JTJ/T 272—99)规定:

1)在混凝土工程施工过程中出现下列情况时,可按本规程规定的方法和标准对实际建筑物混凝土进行检测和评定:

- (1)当试件的试验结果不能满足设计要求时;
- (2)当混凝土试件强度缺乏代表性或试件数量不足时;
- (3)对试件的试验结果有怀疑或争议时;
- (4)发生混凝土工程质量事故,或对施工质量有争议时;
- (5)监控混凝土工程建造过程中的施工质量。

2)对已建成的或将进行维修的混凝土工程为达到下述目的时,亦可利用非破损检测方法检测和评定混凝土结构或构件的质量:

- (1)日常技术管理;
- (2)大、中、小修或抢修工程;
- (3)改变使用条件、改建或扩建等工程;
- (4)确定遭受事故或灾害后的损伤程度,制定修复或加固方案时。

3)水运工程结构混凝土强度及缺陷现场检测应采用抽样检验方法,并应符合下列规定:

(1)批量检测

从验收批中,应随机抽取构件总数或结构面积的30%,且不宜少于3个构件组成样本,以此判定验收批的结构或构件混凝土质量。当抽检的结构或构件,经检验出现不合格批时,应从剩余的构件中,再抽取构件总数的30%组成新的样本,进行检测。当检验结果中仍出现不合格批时,则应检测剩余的全部构件。非受力结构,且构件数量较多,抽检的构件数量和其代表性可与有关方面协商确定。

(2)单个检测

单个检测适用于单独结构或构件的检测。当批量检测出现不合格批时应按单个检测对构件逐个判定,每个构件测区数不宜少于 5 个。

4) 对抽检的结构或构件应按下列规定进行检测:

(1) 随机布置测区和测点。每个测区和测点应符合下列规定:

应标有明晰标志和编号;

应清除表面残留的浮浆和油垢等杂物。

(2) 应按设计图纸绘制简图,并标出测区编号、测点编号、质量可疑部位和表观缺陷位置。

(3) 检测数据应记录于检测表格内。当检测中出现可疑现象时,应填绘于简图中。

5) 检测结构或构件中混凝土强度,宜采用回弹法、超声一回弹综合法等非破损方法或钻取芯样的微破损方法,其检测结果可作为评定混凝土强度的依据。

6) 用回弹法和超声一回弹综合法等检测结构或构件中混凝土强度,应按本规程规定的方法预先建立混凝土强度与回弹值的相关关系或混凝土强度与回弹值混凝土声速之间的相关关系,作为换算结构中混凝土强度的依据。

7) 用非破损方法检测的结构中混凝土强度,适用于 C10 ~ C60 的范围,推定的强度值相当于边长为 150mm 立方体试件抗压强度。

8) 用取芯法钻取的混凝土芯样试件,制备成高度与直径均为 100mm 的芯样抗压强度试件,按《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)规定方法测得抗压强度值,其尺寸效应相当于边长 150mm 立方体试件的抗压强度。

9) 对采用非破损方法推定的混凝土强度结果有怀疑时,可钻取少量芯样试件进行校核修正。

## 第一节 回弹法检测混凝土强度

回弹法是目下在现场检测混凝土强度最简便也最常用的一种方法,这种方法在我国的应用已达 50 余年。目前,我国是对回弹法检测混凝土强度研究最深入的国家,国内对回弹法的应用作出具体规范的行业标准有《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2001)、《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270—98)、《港口工程混凝土非破损检测技术规程》(JTJ/T 272—99)。上述规范中对混凝土回弹仪、适用范围、操作规程、数据处理都作出了具体规定,但在一些细节和参数选用上还是有所区别的。考虑到本书的适用范围、阅读对象,本章节主要内容主要依据《港口工程混凝土非破损检测技术规程》(JTJ/T 272—99),但建议读者详细了解其他两本规范,以作补充。

### 一、回弹法的基本原理

回弹法是用一个弹簧驱动的重锤,通过弹击杆,弹击混凝土表面,并测出重锤被弹回来的距离,以回弹值作为与强度相关的指标来推定混凝土强度的一种方法,属于表面硬度法的一种。

回弹法适用于普通混凝土抗压强度的检测:被测混凝土强度应在 C10 ~ C60 之间,不得用于表层与内部质量有明显差异或内部存在缺陷的混凝土结构和构件。

## 二、检测仪器

回弹法检测混凝土抗压强度需要的仪器设备包括回弹仪、压力机、标定回弹仪的钢钻,以及钢卷尺。

### 1. 回弹仪的构造和分类

测定回弹值的仪器,宜采用示值系统为指针直读式的混凝土回弹仪。回弹仪由弹击杆、弹击拉簧、指示系统、保护壳等 23 个部件组成。根据其冲击动能及用途,可分为下列类型:

中型,冲击能 2.207J,适用于 C10 ~ C45 的普通混凝土

重型,冲击动能 26.42J,适用于大体积混凝土或骨料粒径大于 50mm 的混凝土;

高强度回弹仪:适用于 C50 ~ C60 混凝土。

### 2. 回弹仪的技术要求

(1)水平弹击时,弹击锤脱钩的瞬间,回弹仪的标准能量应为 2.207J。

(2)弹击锤与弹击杆碰撞的瞬间,弹击拉簧应处于自由状态,此时弹击锤起跳点应相应于指针指示刻度尺上“0”处。

(3)在洛氏硬度 HRC 为  $60 \pm 2$  的钢砧上,弹击杆端部球面与砧芯接触,向下弹击;分 4 次旋转弹击杆,每次转  $90^\circ$ ,弹击 6 次,共计 24 次,每次率定值  $R_N$  应符合表 16-1 的标准。

不同型号回弹仪率定值

表 16-1

回弹仪型号	中 型	重 型	高 强 度 型
率定值	$80 \pm 2$	$63 \pm 2$	$80 \pm 2$

### 3. 回弹仪的保养

当回弹仪出现下列情况之一时,应进行常规保养:

(1)弹击次数超过 3000 次;

(2)对检测值有怀疑时;

(3)率定值  $R_N$  不合格。

### 4. 回弹仪的检定

回弹仪出现下列情况之一时,应送主管部门认可的单位检定:

(1)新回弹仪启用前;

(2)超过检定有效期限;

(3)累计弹击次数超过 6 000 次;

(4)按常规保养后钢钻率定值不合格;

(5)遭受严重撞击或其他损害。

## 三、回弹检测技术

### 1. 一般规定

在被测混凝土结构或构件上均匀布置测区,测区数不小于 3 个。相邻两侧区的间距不宜大于 2.0m。测区应均匀分布,表面应清洁,平整、干燥,不应有接缝、饰面层、粉刷层、浮浆、油垢、蜂窝和麻面等表观缺陷,并应避开钢筋和铁制预埋件。测区面积:中型回弹仪为  $400\text{cm}^2$ ;重型回弹仪为  $2500\text{cm}^2$  (混凝土结构或构件厚度不大于 60cm,或最大粒径不大于 40mm,宜选

用中型回弹仪;厚度大于 60cm,或骨料最大粒径大于 40mm,宜选用重型回弹仪)。

## 2. 回弹值测量

回弹值测量时的技术要求如下:

(1) 回弹仪宜处于水平方向测试混凝土浇筑的侧面,当不能满足这一要求时,亦可按非水平方向测试。

(2) 每个测区应弹击 16 个测点。当测区具有两个侧面时,每个侧面可弹击 8 个测点;当不具有两个侧面时,可在一个侧面上弹击 16 个测点。

(3) 弹击回弹值测点时,应避开气孔或外露石子。一个回弹值测点只允许弹击一次,回弹值测点间的间距不宜小于 30mm。

(4) 回弹仪的轴线垂直于结构或构件的混凝土表面,缓慢均匀施压,不宜用力过猛或冲击。

(5) 一个回弹测点测试完毕,可将回弹仪的弹击杆压在混凝土表面,读取回弹测点值,亦可按下回弹仪上的按钮,锁住机芯读数。

(6) 读数完毕后,应使回弹仪的弹击杆自机壳内伸出,挂钩挂上弹击锤,待测定下一个回弹测点。

## 3. 碳化深度值测量

碳化深度测定应符合下列规定:

(1) 应采用电动冲击锤在回弹值的测区内,钻一个直径为 20mm,深约 80mm 的孔洞。

(2) 应清除孔洞内混凝土粉末,用 1% 酚酞溶液滴在孔洞内壁的边缘处,用 0.5mm 精度的钢直尺测量混凝土表面至不变色交界处的垂直距离 2~3 次,计算其碳化深度平均值,即为混凝土碳化深度。

(3) 当测定的碳化深度值小于 1.0mm 时,可按无碳化处理。

## 4. 回弹数据整理

测试数据整理应符合下列规定:

(1) 测区回弹值应以回弹仪水平方向测试混凝土浇筑侧面的测值为基准。

(2) 测区回弹平均值的计算,应在 16 个回弹测点值中,剔除 3 个最大值和 3 个最小值后,剩余 10 个回弹值,计算测区平均回弹值。

(3) 当回弹仪在非水平方向测试时,应按式(16-1)换算成水平方向回弹平均值;

$$mR = mR_{\alpha} + \Delta R_{\alpha} \quad (16-1)$$

式中: $mR_{\alpha}$ ——回弹仪与水平方向成  $\alpha$  角测试时测区的平均回弹值;

$\Delta R_{\alpha}$ ——按相关规范角度修正表查出的不同测试角度  $\alpha$  的回弹修正值,计算至 0.1。

# 四、推定混凝土强度

## 1. 测强曲线

测强曲线是检测值与混凝土强度推定值之间一组函数关系。一般通过制作大量不同强度的混凝土试件,利用最小二乘法统计分析回弹法等无损检测方法的测试结果与混凝土抗压强度之间的函数关系。测强曲线分为:

(1) 统一测强曲线:由全国有代表性的材料、成型养护工艺配制的混凝土试件,通过试验所建立的曲线;

(2)地区测强曲线:由本地区常用的材料、成型养护工艺配制的混凝土试件,通过试验所建立的曲线;

(3)专用测强曲线:由与结构或构件混凝土相同的材料、成型养护工艺配制的混凝土试件,通过试验所建立的曲线。

## 2. 换算混凝土强度

地区和专用测强曲线的强度误差值均小于全国统一测强曲线,因此当有专用测强曲线时,应优先选用。当无专用测强曲线时,可根据回弹仪型号,按下列混凝土强度相关关系式进行换算:

(1)中型回弹仪:

$$\text{普通混凝土强度 } f_{\text{cuRo}} = 0.024\ 97 m_R^{2.010\ 6} \quad (16-2)$$

$$\text{引气混凝土强度 } f_{\text{cuRo}} = 15 m_R - 152 \quad (16-3)$$

(2)重型回弹仪:

$$f_{\text{cuRo}} = 77 \times 0.04^{m_R} \quad (16-4)$$

(3)高强度回弹仪:

$$f_{\text{cuRo}} = f(R_{\text{Ni}}) \quad (16-5)$$

当混凝土结构或构件碳化至一定深度时,须将推定的混凝土强度按下面公式修正:

$$f_{\text{cuRom}} = \eta_m f_{\text{cuRo}} \quad (16-6)$$

式中:  $f_{\text{cuRom}}$ ——碳化深度修正后的混凝土强度,MPa;

$f_{\text{cuRo}}$ ——按公式推定的混凝土强度值,MPa;

$\eta_m$ ——碳化深度修正值。

## 3. 推定混凝土强度

经碳化修正后的混凝土强度换算值,按下式推定混凝土强度:

$$f_{\text{cuRe}} = f_{\text{cuRom}} (1 - t \delta_e) \quad (16-7)$$

式中:  $f_{\text{cuRe}}$ ——回弹法的混凝土强度推定值;

$t$ ——正态分布概率度。对于专用测强相关关系式,  $t = 0.5$ ; 对于通用测强相关关系式,  $t = 1.0$ ;

$\delta_e$ ——剩余变异系数。对于专用测强相关关系式,  $\delta_e$  可自行求得; 对于通用测强相关关系式, 取  $\delta_e = 0.14$ 。

# 第二节 超声一回弹综合法检测混凝土强度

## 一、基本原理

超声一回弹综合法是建立在超声波传播速度和回弹值与混凝土抗压强度之间相关关系的基础上,是以声速和回弹值综合反映混凝土抗压强度的一种非破损方法。和单一的超声波法或回弹法相比,超声波一回弹综合法具有检测效率高、费用低廉、能同时反映混凝土内部和表层质量、能消除碳化影响等优点,是目前较为准确的混凝土强度无损检测方法。

超声一回弹综合法的适用条件与回弹法基本相同,不宜用于遭受冻害、化学腐蚀、火灾损伤、埋有块石的混凝土以及经超声波法检测判定混凝土均匀性不合格的结构或构件。

## 二、检测仪器

### 1. 回弹仪

与上一节中的回弹仪构造、技术要求、保养、检定方法均一致。

### 2. 超声波仪

超声一回弹综合法所使用的超声波仪、换能器应满足下列要求：

(1) 仪器设备应采用低频超声仪测试。应具有显示稳定和清晰的示屏装置及手动游标测读装置,或经鉴定认可的自动检测、数据采集、记录存储、结果分析、显示打印于一体的智能化超声检测分析仪;

(2) 计时器的最小读数应为  $0.1\mu\text{s}$ , 计时范围应为  $0.5 \sim 5\,000\mu\text{s}$ ; 声时调节范围应在  $20 \sim 30\mu\text{s}$ , 2h 内数字变化不宜大于  $\pm 0.2\mu\text{s}$ ;

(3) 衰减器的最小分度应为 1dB; 接收放大器的频率范围为  $10 \sim 500\text{kHz}$ , 总增益不应小于 100dB;

(4) 当温度为  $-10 \sim +40^\circ\text{C}$  时, 相对湿度应小于或等于 90%, 电源电压应在  $200\text{V} \pm 10\%$  的环境条件下能正常工作;

(5) 换能器频率范围应在  $20 \sim 250\text{kHz}$ , 实测频率与标称频率相差不宜大于  $\pm 10\%$ 。

## 三、试验步骤

### 1. 布置测区、测点

(1) 每个构件不应少于 3 个测区;

(2) 一个测区应是一个矩形网格或正方形网格, 网格面积约  $225 \sim 2\,500\text{cm}^2$ ;

(3) 一个测区上由 4 个超声波测点和 16 个回弹值测点组成, 如图 16-1 所示;

(4) 测区回弹值可按上节所述步骤进行。

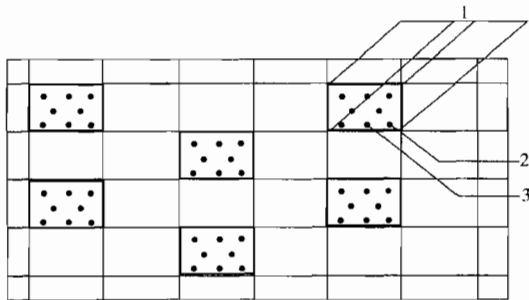


图 16-1 超声回弹综合法测点、测区示意图

1-超声波测点;2-回弹测点;3-测区

### 2. 声速检测步骤

(1) 应修整表面有缺陷的测点并在测点上涂抹耦合剂;

(2) 测量结构或构件的厚度, 以下简称测距, 应精确至 1.0%;

(3) 应根据测试对象和测距选择换能器的类型和频率;

(4) 应将“发射”和“接收”两个换能器的辐射面上涂抹耦合剂, 耦合在标准棒的两端, 将“发射”电压旋钮调至所需电压位置, 调节“增益”旋钮至合适位置, 读出声时值  $T$ , 并按下式计

算声时初读数  $T_0$ ;

$$T_0 = T - T_s \quad (16-8)$$

式中:  $T_0$ ——声时初读数, s;

$T_s$ ——标准棒声时值, s;

$T$ ——声时值, s。

声时初读数产生的主要原因是声延迟、电延迟以及电声转换问题。

(5) 应将“发射”和“接收”两个换能器分别耦合在同一测距两端对应的测点上, 用力将耦合剂挤出。调节超声波检测仪上的功能旋钮至合适位置后固定;

(6) 测得的声时值  $T$  应记录于测试表格内;

(7) 在测试过程中, 当出现下列情况之一时, 应重复测量 3 次;

①两个测点声时值的相对误差大于 15.0%;

②首波振幅  $A_0$  值小于 3mm;

③接收讯号的波形不规则。

(8) 混凝土声速值可按下式计算;

$$V = L(T \pm T_0) \quad (16-9)$$

式中:  $V$ ——混凝土声速值, m/s;

$L$ ——两个换能器之间的距离, m;

$T_0$ ——声时初读数, s。

(9) 计算测区声速平均值。

### 3. 检测结果整理

混凝土强度换算值的确定应采用下列公式:

(1) 中型回弹仪:

$$\text{普通混凝土强度 } f_{\text{cuRo}} = 0.008m_v^{1.72}m_R^{1.57} \quad (16-10)$$

$$\text{引气混凝土强度 } f_{\text{cuRo}} = 0.04m_v^{1.54}m_R^{1.3} \quad (16-11)$$

(2) 重型回弹仪:

$$f_{\text{cuRo}} = 0.022m_v^{1.99}m_R^{1.19} \quad (16-12)$$

(3) 高强度回弹仪:

$$f_{\text{cuRo}} = f(V_1 \cdot R_{Nt}) \quad (16-13)$$

### 4. 推定混凝土强度

与本章第一节推定方法、公式、参数值均一致。

## 第三节 钻芯法检测混凝土强度

钻芯法系指在混凝土结构或构件上钻取混凝土芯样试件, 直接测定混凝土强度的一种半破损现场检测方法。由于钻芯法的测定值就是圆柱状芯样的抗压强度, 它与立方体试件抗压强度之间, 除了需进行必要的形状修正外, 无需进行某种物理量与强度之间的换算, 因此, 普遍认为这是一种较为直观、可靠的方法。但是钻芯法属于一种半破损检验方法, 会对结构造成一定的破坏, 如按照规范规定的方法, 用钻芯法评价混凝土强度, 需要钻取的芯样较多, 对结构有一定的影响, 因此常被用来对回弹法或超声回弹综合法进行校核。取芯法检测取样率应与当



单独采用芯样试件强度判定单个结构中混凝土强度时,钻取的芯样试件不宜少于 3 个。

### 1. 芯样的钻取

(1) 芯样钻取前,应在选定位置用钢筋探测仪进行扫查,以避免受力钢筋位置。选取钻头直径不应小于粗骨料最大粒径的 2 倍。

(2) 取芯样试件的位置应符合下列原则:

① 应在混凝土质量具有代表性的部位;

② 应在受力较小部位;

③ 应避开主筋,不得在预埋铁件和管线等位置;

④ 当用于修正非破损检测结果时,应在非破损方法计算所得的混凝土强度推定值的平均值邻近测区钻取;

⑤ 芯样试件钻取完毕后,应取出芯样试件,编号;

⑥ 钻取芯样试件留下的空穴,应及时修补。

### 2. 芯样的加工

(1) 混凝土芯样抗压强度试件(抗压试件)的高径比宜以 1.0 为基准,亦可采用高径比 0.8~1.2 的试件。

(2) 从每个钻孔中钻取的芯样,应按表 16-2 的规定制备试件数量。

(3) 抗压试件不得在蜂窝、麻面、孔洞、掉石和裂缝等缺陷部位制取。

芯样试件数量表

表 16-2

芯样直径(mm)	$\geq 100$	75 ~ 65	60 ~ 50
抗压试件数量	1	3	5

(4) 芯样中钢筋允许含量应满足下列要求:

① 芯样直径  $\geq 100\text{mm}$  的试件,可含一根直径  $\leq 22\text{mm}$  的钢筋,且与试件受压面平行;

② 芯样直径  $< 100\text{mm}$  的试件,可含一根直径  $\leq 6.0\text{mm}$  的钢筋,且与试件受压面平行。

(5) 芯样试件的两个端面宜用高强砂浆、硫磺砂浆或 107 胶和水泥混合成胶液修整,其厚度不宜超过 1.5mm。

(6) 修整完毕的芯样试件应静置 24h,移至标准养护室内或  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  的水中养护 48h,取出作抗压强度试验。

### 3. 抗压强度试验

抗压强度试验应按《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)规定的方法进行。进行抗压强度试验前,应首先对试件进行下列几何尺寸的测量,并作好记录:

(1) 直径,用游标卡尺测量试件中部,在相互垂直的两个位置上,测量两次,计算其算术平均值,精确至 0.5mm;

(2) 高度,用钢板尺在芯样由面至底的两个相互垂直位置上,测量两次,计算其算术平均值,精确至 1.0mm;

(3) 垂直度,用游标量角器测量两个端面与母线的夹角,精确至  $0.1^\circ$ ;

(4) 平整度,用钢板尺或角尺紧靠在试件端面上,用塞尺测量与试件端面的间隙。

试件破型后,检查破碎的抗压强度试件,当出现下列情况之一时,应剔除该试件的试验结果:

- ①含有大于芯样直径 0.5 倍粒径的粗骨料;
- ②含有蜂窝和孔洞等缺陷;
- ③端面出现裂缝或抹平层分离;
- ④试件侧面出现斜向裂缝。

#### 4. 试验结果处理

应按下式计算抗压强度测试值:

$$f_{\text{curo}} = 1.273 \frac{N}{\phi^2} \cdot \eta_A \cdot \eta_k \quad (16-14)$$

式中:  $f_{\text{curo}}$ ——混凝土抗压强度测试值, MPa;

$N$ ——极限抗压荷载, N;

$\phi$ ——芯样直径, mm;

$\eta_A$ ——不同高径比芯样试件强度换算系数, 可按表 16-3 选取;

$\eta$ ——换算系数, 当芯样直径小于 100mm 时, 抗压强度试件的抗压强度值应乘以  $\eta_R$ , 换算成直径与高度均为 100mm 的抗压强度值,  $\eta_k = 1.12$ 。

$\eta_A$  值

表 16-3

高径比	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$\eta_A$	0.90	0.95	1.00	1.04	1.07

按表 16-2 规定制取的芯样试件数量, 其抗压强度代表值应按下列方法确定:

(1) 制备 1 个抗压试件的芯样, 其测试值应为抗压强度代表值;

(2) 制备 3 个抗压试件的芯样, 其抗压强度代表值应按下列方法确定:

①以 3 个试件抗压强度测试值的算术平均值为钻孔芯样的强度代表值;

②当 3 个试件抗压强度测试值中出现的最大值或最小值与中间值相差超过 15% 时, 取中间值为芯样试件强度代表值;

③当 3 个试件抗压强度中出现的最大值和最小值与中间值相差均超过 15% 时, 该钻孔芯样无强度代表值。

(3) 制备 5 个抗压试件的芯样, 其抗压强度代表值应按下列步骤确定:

①剔除芯样试件强度最小值或最大值, 按下式计算剩余芯样抗压试件强度平均值:

$$mf'_{\text{curo}} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 f_{\text{curo}i} \quad (16-15)$$

②计算  $t$  值:

$$t = \frac{mf'_{\text{curo}} - f_{\text{curo}min}}{\frac{mf'_{\text{curo}} \times 6}{100} \sqrt{1 + \frac{1}{n_0 - 1}}} \quad (16-16)$$

式中:  $mf'_{\text{curo}}$ ——剔除最小值或最大值后剩余芯样的强度平均值, MPa;

$n_0$ ——剩余芯样数。

③抗压强度代表值的确定:

当  $t \leq 2.4$  时, 以 5 个芯样试件强度的算术平均值为芯样强度代表值; 当  $t > 2.4$  时, 对剩余 4 个芯样强度值再按上述方法进行检验, 当检验结果  $t \leq 2.9$  时, 则以 4 个芯样试件强度的算术平均值为强度代表值; 当  $t > 2.9$  时, 则该钻孔芯样无强度代表值。

(4) 当判定钻孔钻取的芯样无强度代表值时,应在原结构或构件上补充钻取芯样试件,再作抗压强度试验。

混凝土芯样试件强度代表值应按式(16-17)计算试件抗压强度推定值;

$$f_{\text{cure}} = f_{\text{cur}} / K_0 \quad (16-17)$$

式中:  $f_{\text{cure}}$ ——相当于边长 150mm 立方体试件的抗压强度推定值, MPa;

$f_{\text{cur}}$ ——芯样试件抗压强度代表值, MPa;

$K_0$ ——换算系数,按表 16-4 中选取。

$K_0$  值

表 16-4

强度等级	≤ C20	C25 ~ C30	C35 ~ C45	C50 ~ C60
$K_0$	0.82	0.85	0.88	0.90

## 第四节 混凝土强度的合格判定

本章前三节介绍的三种无损或半破损检测方法,检测结果经计算最后给出的混凝土强度推定值仅为单个构件上的一个测区或批量构件中的一个构件的强度推定值,利用单个构件上多个测区或批量构件中多个随机构件的强度推定值可以进行单个构件或整批构件的混凝土强度的合格判定。

混凝土强度的合格判定,宜采用超声一回弹综合法,当不具备条件时,也可采用回弹法。混凝土强度的合格判定的程序一般为初步判定;当验收批或单个构件被判定为不合格时;当复验结果仍判该验收批为不合格时,应进行再检验。

### 一、混凝土强度的初步判定

#### 1. 验收批判定

当测区数  $n \geq 5$  时,能同时满足式(16-18)和式(16-19),可判为合格,反之,则初步判为不合格。

$$m_{\text{fcue}} - S_{\text{fcue}} \geq f_{\text{cu},k} \quad (16-18)$$

$$f_{\text{cuemin}} \geq f_{\text{cu},k} - \eta_c [\sigma_0] \quad (16-19)$$

式中:  $m_{\text{fcue}}$ ——同一验收批的,按测区强度或芯样强度推定值统计的混凝土抗压强度平均值, MPa;

$S_{\text{fcue}}$ ——同一验收批内,按测区强度或芯样强度推定值统计的标准差, MPa;

$f_{\text{cu},k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值, MPa;

$f_{\text{cuemin}}$ ——同一验收批内测区混凝土强度推定值中的最小值, MPa;

$[\sigma_0]$ ——混凝土立方体强度的标准差平均水平, MPa,可按表 16-5 选取;

$\eta_c$ ——系数,按表 16-6 选取。

#### 2. 单个构件判定

当构件内的测区数或芯样数  $n = 3 \sim 4$  个时,同时满足式(16-20)和式(16-21),可判为合格,反之,则判为不合格。

$$m_{\text{fcue}} \geq f_{\text{cu},k} + \eta_D \quad (16-20)$$

$$f_{\text{cuemin}} \geq f_{\text{cu,k}} - 0.5\eta_D \quad (16-21)$$

式中: $\eta_D$ ——系数,取值与表 16-5 值 $[\sigma_0]$ 相同。

$[\sigma_0]$  值 表 16-5

强度等级	$\leq \text{C20}$	C25 ~ C40	$\geq \text{C45}$
$[\sigma_0]$ (MPa)	3.5	4.5	5.5

$\eta_c$  值 表 16-6

测区数量(个)	5 ~ 9	10 ~ 19	$\geq 20$
$\eta_c$	0.7	0.9	1.0

## 二、混凝土强度合格判定的复验

采用非破损检测方法时,当验收批或单个构件被判定为不合格时,可用取芯法进行复验,即在非破损方法推定的测区强度平均值的邻近测区内钻取芯样抗压试件,钻取芯样数量不宜少于 5 个。

(1) 首先按本章第三节方法作芯样抗压强度试验,换算成立方体强度推定值。并按下式计算校核系数;

$$\psi = m_{\text{fcure}} / m_{\text{fcuvR}} \quad (16-22)$$

式中: $\psi$ ——校准系数;

$m_{\text{fcure}}$ ——验收批或单个构件内用芯样强度推定的立方强度平均值,MPa;

$m_{\text{fcuvR}}$ ——验收批或单个构件内用非破损方法推定的立方强度平均值,MPa。

(2) 应按下式逐个修正非破损方法推定的测区强度推定值 $f_{\text{cuvR}}'$ :

$$f_{\text{cuvR}}' = \psi \cdot f_{\text{cuvR}} \quad (16-23)$$

(3) 以修正后的非破损方法强度推定值作为验收批或单个构件中的样本强度代表值,再按混凝土强度的初步判定进行混凝土强度合格判定。

## 三、混凝土强度合格判定的再检验

当复验结果仍判该验收批为不合格时,应按下列规定进行再检验:

(1) 应在其未抽检部分的构件组成新的验收批,随机抽取 30% 的构件,并按混凝土强度的初步判定程序进行混凝土强度合格判定。

(2) 当再抽取的构件中仍出现不合格构件时,则应检测剩余的全部构件,并对全部检测的构件,按单个构件逐个进行合格判定。

## 第五节 超声法检测混凝土缺陷

在混凝土结构物的施工及使用过程中,往往会对混凝土构成一些缺陷,混凝土缺陷是指破坏混凝土的连续性和完整性,并在一定程度上降低混凝土的强度和耐久性的不密实区、空洞、裂缝或夹杂泥砂、杂物等。混凝土表面缺陷大致有下列几种:露筋、空洞、缝隙夹渣、裂缝、蜂窝、麻面、砂斑、砂线等。其中露筋、空洞、缝隙夹渣,将会严重影响工程的结构性能和耐久性,属于严重缺陷。

造成这些缺陷和损伤的原因有四个方面:

- (1) 施工原因,如因振捣不足、钢筋过密而骨料的最大粒径选择不当、模板漏浆、桩孔壁塌方等造成的内部孔洞、断桩、不密实、蜂窝麻面、钢筋外露等;
- (2) 混凝土成型过程中,温度应力或过快失水造成的表面裂缝;
- (3) 长期在腐蚀介质或冻融作用下形成的表层缺陷或表层脱落;
- (4) 受外力作用产生的裂缝。

工程中为避免产生混凝土内部缺陷,从材料、混凝土配合比、施工工艺、管理制度等多个方面对混凝土进行质量控制。对混凝土缺陷的检测常采用外观检查、超声波检测、取芯检查等方法。其中超声法检测混凝土内部缺陷因其方法简便、对混凝土破坏小、能区分缺陷类型、缺陷范围、缺陷的严重程度而成为首选方法,必要时也可以钻取少量芯样试件验证。

### 一、超声法检测混凝土缺陷基本原理

混凝土超声探伤采用以下4点作为判别缺陷的基本依据:

- (1) 根据低频超声在混凝土中遇到缺陷时的绕射现象,按声时及声程的变化,判别和计算缺陷的大小;
- (2) 根据超声波在缺陷界面上产生散射,抵达接收探头时能量显著衰减的现象判断缺陷的存在和大小;
- (3) 根据超声脉冲各频率成分在遇到缺陷时衰减的程度不同,接收频率明显降低,或接收波频谱与反射波频谱产生的差异,也可判别内部缺陷;
- (4) 根据超声波在缺陷处的波形转换和叠加,造成接收波形畸变的现象判别缺陷。

以上4点可以单独运用,也可以综合运用。根据以上原理,在进行混凝土内部缺陷检测时,所需测量的物理量是声程、声时、衰减量、接收波形以及频谱,所以,凡是有波形显示的混凝土超声波检测仪均可以用于探伤。而无波形显示的数显式声速仪,虽然也可以用于探伤,但它只能提供声时和声速作为唯一的判别依据,因而容易造成误判。

### 二、检测仪器设备

#### 1. 超声波仪和换能器

混凝土缺陷检测用超声波仪与换能器与本章第三节超声一回弹综合法所用设备的规格、技术要求均一致。当采用厚度式换能器时,声时初读数的测试和计算方法也与前节要求一致。当采用柱状径向换能器测量时,可按下式计算声时初读数:

$$T_0 = (D + d)/V_s + (d - d')/V_w \quad (16-24)$$

式中:  $T_0$ ——声时初读数, s;

$D$ ——声测管外径, m;

$d$ ——声测管内径, m;

$d'$ ——换能器外径, m;

$V_s$ ——钢管声速(约 5 500 m/s);

$V_w$ ——水的声速, m/s。

#### 2. 其他设备

测量裂缝宽度可用塞尺和目测放大镜,测量裂缝长度及走向可用钢卷尺,钻取芯样可采用

取芯机。

### 三、混凝土均匀性检测

混凝土均匀性检测应在结构或构件上布置超声波测点,测点数不宜少于 30 个,测点间距不宜大于 0.5m,并应进行编号。测点布置应避免与声波传播方向相一致的主钢筋。

#### 1. 检测步骤

- (1)应修整表面有缺陷的测点并在测点上涂抹耦合剂。
- (2)测量结构或构件的厚度,以下简称测距,应精确至 1.0%。
- (3)应根据测试对象和测距选择换能器的类型和频率。
- (4)测定声时初读数  $T_0$ 。

(5)应将“发射”和“接收”两个换能器分别耦合在同一测距两端对应的测点上,用力将耦合剂挤出。调节超声波检测仪上的功能旋钮至合适位置后固定。在下一个测试中不得随意调节功能旋钮。

(6)测得的声时值  $T_0$  在测试过程中,当出现下列情况之一时,应重复测量 3 次:

- ①两个测点声时值的相对误差大于 15.0%;
- ②首波振幅  $A_0$  值小于 3mm;
- ③接收讯号的波形不规则。

当数值和前测数值无变化时,应将该数据记录于测试表格内,并标记于简图中,按可疑值参与混凝土缺陷的分析。

(7)混凝土声速值可按下式计算:

$$V = L / (T \pm T_0) \quad (16-25)$$

式中:  $V$ ——混凝土声速值, m/s;

$L$ ——两个换能器之间的距离, m;

$T_0$ ——声时初读数, s。

#### 2. 混凝土均匀性判定

从混凝土结构或构件上测得的声速值,计算混凝土声速平均值、声速标准差和变异系数。当计算所得的混凝土声速平均值和变异系数能同时满足下式要求时,可判定混凝土均匀性合格,反之则判定为不合格;

$$m_v \geq 3\,500 \quad (16-26)$$

$$\delta_v \leq 5.0 \quad (16-27)$$

式中:  $m_v$ ——混凝土声速平均值, m/s;

$\delta_v$ ——混凝土声速变异系数, %。

### 四、缺陷鉴别

#### 1. 可疑值的确定

$$V_{\min} \leq m_v - \eta_1 \cdot S_v \quad (16-28)$$

式中:  $V_{\min}$ ——混凝土结构或构件中的声速最小值, m/s;

$\eta_1$ ——修正系数,可查表得;

$S_v$ ——混凝土声速标准差, m/s。

## 2. 警告值的确定

$$V_{\min} \leq m_v - \eta_2 \cdot S_v \quad (16-29)$$

式中:  $\eta_2$ ——修正系数, 可查表得。

对判定为可疑和警告的测点, 应分析原因, 按测点编号描绘于简图中, 并按下列方法进行核实。当可疑的测点是孤立测点时, 应在其附近补加测点确定其范围。当相邻测点均为可疑点, 或单个测点是警告点, 则可判定混凝土该部位有缺陷。

## 五、空洞或不密实区域检测

1. 当出现下列情况时, 应进行混凝土空洞和不密实区域检测;

- (1) 在混凝土均匀性检测中, 被判定为可疑的区域或警告的测点;
- (2) 表观质量较差的区域;
- (3) 对施工质量有怀疑的结构或构件。

## 2. 测试步骤

空洞或不密实区域检测应根据结构或构件的测试条件, 采用不同测试方法。当结构或构件具有两个相互平行的测试面时, 可采用对测法、斜测法和汇交法。

当测距较大时, 可在测试面的适当位置钻取直径 40 ~ 50mm 测试孔, 其深度应根据构件厚度而定; 在测试孔中注水, 悬放径向振动式换能器。用厚度振动式换能器安放于测试面的测点上, 用耦合剂耦合。

混凝土空洞和不密实区域的检测应符合下列规定:

- (1) 布置测试区域应大于可疑区域 2 ~ 3 倍;
- (2) 测点间距不宜大于 100mm;
- (3) 测点联线(声通路)不宜与主钢筋平行。

## 3. 不密实区域和空洞的判定

判定不密实区域和空洞的声学参数应包括声时值、首波振幅值和接收信号的波形。对被判定为混凝土不密实的区域或空洞, 必要时应钻取芯样验证。不密实区域和空洞应按下列方法进行判定:

- (1) 图示法, 将测试的数值描绘成简图, 估算混凝土不密实区域的范围和空洞的位置;
- (2) 计算法, 用测得的数据按下式估算混凝土空洞直径;

$$D = \frac{L}{2} \sqrt{\left[ \frac{T_{\max}}{m_T} \right]^2 - 1} \quad (16-30)$$

式中:  $T_{\max}$ ——最大声时值, s;

$m_T$ ——混凝土声时平均值;

$D$ ——混凝土空洞直径, m。

## 六、表面损伤层厚度检测

1. 混凝土表面损伤层厚度的检测应按下列步骤进行。

(1) 根据结构或构件的损伤程度, 结合表观质量状况, 选取有代表性的部位布置测区进行检测, 其数量不宜少于 3 个。

(2) 测区内的测点不宜少于 10 个。

(3) 布置测点时,应符合下列规定;

①测试面应处于干燥状态;

②测点的接触面应平整、无缝和无饰面层;

③两个测点的联线,不宜与主钢筋平行。

(4) 测试时,应将“发射”和“接收”两个换能器耦合在同一测试面上,间距 0.1m;

(5) 固定“发射”换能器应保持不变,“接收”换能器应按 0.1m 的等距离直线方向移动,读取相应的声时值;

(6) 当测定的损伤层厚度不均匀时,可适当增加测试区域。

## 2. 混凝土损伤层厚度的判定

(1) 将测试区域中各测点的声时值和相应的测距值,绘制“时—距”坐标图。

(2) 根据图中声时值所形成的拐点,按下列公式计算损伤层厚度混凝土声速值和未损伤层混凝土的声速值;

$$V_1 = \cot \alpha \frac{L_{i+1} - L_i}{T_{i+1} - T_i} \quad (16-31)$$

$$V'_1 = \cot \beta \frac{L'_{i+1} - L'_i}{T'_{i+1} - T'_i} \quad (16-32)$$

式中:  $V_1$ ——损伤层厚度混凝土声速值;

$V'_1$ ——未损伤层混凝土的声速值;

$V'_{i+1}$ 、 $L_i$ 、 $L'_{i+1}$ 、 $L'_i$ ——拐点前后各测点的测距,m;

$T_{i+1}$ 、 $T_i$ 、 $T'_{i+1}$ 、 $T'_i$ ——相应于测距  $L_{i+1}$ 、 $L_i$ 、 $L'_{i+1}$ 、 $L'_i$  的声时值,s。

(3) 损伤层厚度可按式计算:

$$d_L = \frac{L_a}{2} \sqrt{\frac{V_i - V'_1}{V'_1 + V_i}} \quad (16-33)$$

式中: $d_L$ ——损伤层厚度,m;

$L_a$ ——声速产生突变时的测距,m。

## 七、混凝土结合面质量检测

混凝土在施工过程中,由于浇注的连续性不能保证,会形成新浇注的混凝土与已经终凝的混凝土直接出现结合面。结合面会极大地削弱混凝土的抗拉和抗剪强度,因此混凝土结合面的质量检测也非常重要。

混凝土的结合面从构件外观上可以观察到,一般以冷缝的形式存在。检测混凝土结合面质量前,应查明结合面位置、走向及表观质量,填绘于简图。混凝土结合面的质量检测可采用下列测试方法:

### 1. 双面斜测法

当结合面具有一对相对测试面时,应按下列方法进行测定:

(1) 超声波测点应跨越结合面的两个相对面布置,测点边线的夹角相等;

(2) 声通路方向应避开与构件主钢筋平行和预埋铁件;

(3) 测点间的间距可根据结构或构件的尺寸而定,宜控制在 0.1~0.25m。



## 2. 单面斜测法

当结合面只具有单个测试面时,可按下列方法进行测试:

(1)在距结合面 0.05 ~ 0.10m 位置的平面上,钻取一个直径 50mm 芯样,其深度为构件厚度的 2/3;

(2)在芯样的孔穴内,置放一个柱状换能器,在跨越距结合面 0.05 ~ 0.10m 的平面上安放一个换能器;

(3)移动平面换能器应与结合面成平行,其间距应根据结构或构件的尺寸及换能器的效率而定,宜控制在 0.10 ~ 0.25m。

## 3. 判定方法

根据本节第四部分的规定判定结合面的缺陷可疑点和警告点。对混凝土结合面被判定有缺陷的区域,必要时应通过钻取芯样或采用压水法进行验证。

# 八、灌注桩缺陷检测

超声波法检测混凝土灌注桩质量,系指对桩径大于 0.6m 混凝土灌注桩的桩身完整性的检测。检测所得的混凝土声速值不得直接推定桩中混凝土强度。

超声波法实在桩内预埋纵向声测管道,将超声探头通过声测管直接伸入桩身内部逐段探测。因此,超声波透射法对桩身混凝土缺陷的判断比其他低应变动力法更为直观可靠,尤其是当桩内具有多层缺陷时可避免其他低应变动力法对下层混凝土缺陷的误判和漏判。

## 1. 声波检测管(声测管)应满足的要求

(1)声测管应选用钢质管,其内径应大于径向换能器直径的 1.5 倍。声测管的质量可用压水法检验。

(2)声测管的上端应加盖帽,末端应封闭,管与管间可用螺纹连接或焊接连接。

(3)声测管的预埋应符合下列规定:

①桩径在 0.6 ~ 2.0m 时应埋设 3 根声测管;桩径大于 2.0m 时应埋设 4 根声测管。

②声测管应焊接在钢筋笼的内侧,声测管之间应保持平行。

## 2. 换能器

换能器应采用柱状径向换能器,并符合下列规定:

(1)频率宜为 25 ~ 50kHz,长度不宜大于 0.2m。

(2)水密性应满足在 1.0 MPa 水压下不漏水。

(3)当测试深度大于 30m 时,或桩径大于 1.5m 时,可选用装有前置放大器的换能器检测,其频率宽度宜为 5 ~ 50kHz。

(4)换能器电缆线应有清晰的测距标志。

## 3. 检测步骤

缺陷检测应按下列步骤进行:

(1)旋开声测管上端的盖帽,在声测管内注满清水,用一个与换能器相同直径的钢锥,测量声测管的长度,并清除管壁上的杂质,保持其通畅。

(2)当声测管内有泥浆堵塞时,可采用高压水冲洗,或用抽真空的方法将泥浆排除干净。

(3)接收和发射换能器应安装扶正器。

(4)应将 2 根声测管编为一组,分组进行测试。

(5) 根据测试要求可采用下列方法进行测试:

① 对测法, 将发射和接收换能器置于同一标高;

② 斜测法, 将发射和接收换能器置于不同标高, 声通路与水平方向成  $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。

(6) 测点间的间距应根据桩的浇筑质量而定, 宜控制在  $0.25 \sim 0.5\text{m}$ 。

(7) 检测宜从声测管顶部开始, 发射和接收换能器应同步下降, 读取各测点的声时值和首波振幅值, 记录于测试表格内。当发射和接收换能器抵达声测管底部后, 仍应保持同步上升至顶部, 记录各测点的声时值和首波振幅值。

(8) 检测完毕后, 每组声测管有两次测读数据, 可按下式分别计算声时相对标准差和振幅相对标准差:

$$S_T = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \left[ \frac{T_i - T_{ji}}{m_T} \right] / 2n \right]^2} \quad (16-34)$$

$$S_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \left[ \frac{A_i - A_{ji}}{m_A} \right] / 2n \right]^2} \quad (16-35)$$

$$m_T = \frac{T_i + T_{ji}}{2} \quad (16-36)$$

$$m_A = \frac{A_i + A_{ji}}{2} \quad (16-37)$$

式中:  $S_T$ ——声时相对标准差, %;

$T_i$ ——第  $i$  个测点声时测试值, s;

$T_{ji}$ ——第  $i$  个测点第  $j$  次声时值, s;

$S_A$ ——振幅相对标准差, %;

$A_i$ ——第  $i$  个测点振幅值, mm 或 dB;

$A_{ji}$ ——第  $i$  个测点第  $j$  次振幅值, mm 或 dB。

4. 当检测过程中出现下列情况之一时, 应进行复测

(1) 当声时相对标准差大于 5% 或振幅相对标准差大于 10%, 应查明原因, 并进行复测。

(2) 当在测试过程中发现声时值异常或振幅值异常时, 应测量 3 次, 当证实测试无误时, 将该异常值记录于表格内, 并填绘于简图。

(3) 复测时, 应在异常值周围加密测点, 确定缺陷的范围及性质。

5. 桩身完整性的判定

检测数据的整理和桩身完整性的判定应符合下列规定:

(1) 检测数据整理计算方法应符合附录 C 的规定。

(2) 应根据计算结果, 按本节第四部分规定的方法判定混凝土缺陷可疑区域。

(3) 当判定桩身有缺陷可疑区域时, 应采用多种测试方法综合判定混凝土缺陷的性质, 必要时可钻取芯样验证。

## 九、裂缝检测

混凝土裂缝的宽度和走向可以利用长度尺和读数显微镜来进行测试, 裂缝的深度往往无法通过直接的方法测得, 取芯法也只能对垂直的浅裂缝进行检测, 而且因为取芯对混凝土的破坏作用只能测量少量的部位。因此, 利用超声波法进行混凝土裂缝深度的测量就具有重大的

意义。超声波法测混凝土裂缝宽度常采用穿透法和平测法。

### 1. 混凝土裂缝检测前应进行前期调查的内容

- (1) 裂缝周围混凝土质量、裂缝的长度及走向;
- (2) 使用材料的品质、混凝土配合比、浇筑和养护方法;
- (3) 缝隙内有无异物和积水;
- (4) 荷载条件及周围环境条件,包括温度和湿度变化;
- (5) 开裂时间及开裂过程中变化;
- (6) 设计图纸和计算书必要的校核。

### 2. 裂缝测试区布置应符合的规定

- (1) 每条裂缝的测试区不宜少于 3 个;
- (2) 测试区内的测点不宜少于 4 个,测点间的间距应通过试验确定;
- (3) 测试区内的测点应避开钢筋。

### 3. 裂缝宽度的测量可采用的方法

- (1) 塞尺测量,将塞尺插于裂缝缝隙间,读取塞尺上所标量值,记录于测试表格。
- (2) 目测放大镜测量,将目测放大镜跨越于缝隙的两个边缘,读取测试值,记录于测试表格。

- (3) 测得的裂缝宽度、长度及走向应填绘于简图。

- (4) 在同一条裂缝上测得的最大测试值应为裂缝宽度代表值。

### 4. 检测混凝土裂缝深度应根据测试条件确定下列测试方法

- (1) 当混凝土结构或构件上的裂缝具有一个可测试面时,预估裂缝深度小于或等于 500mm,可采用单面平测法测量。测试步骤如下;

① 不跨缝测量,将“接收”和“发射”两个换能器置于裂缝邻近的同一侧面,以两个换能器边缘间距  $L' = 100\text{mm}, 150\text{mm}, 200\text{mm}, 250\text{mm}, \dots$  距离移动,分别读取声时值  $T_i$ ,绘制时—距坐标图。

亦可用回归分析方法,求出下列关系式;

$$L_i = L'_i - a \quad (16-38)$$

式中:  $L_i$ ——第  $i$  点的超声实际传播距离, m;

$L'_i$ ——第  $i$  点的“接收”和“发射”两个换能器的边缘间距, m;

$a$ ——回归系数。

② 跨缝测量,将“接收”和“发射”两个换能器分别置于裂缝为轴线的对称两侧,其中心连线垂直于裂缝走向,以  $L' = 100\text{mm}, 150\text{mm}, 200\text{mm}, 250\text{mm}, \dots$  距离移动,分别读取相应的声时值  $T_{di}$ 。

③ 裂缝深度可按式进行计算;

$$d_h = \frac{L_i}{2} \sqrt{\left[ \frac{T_{di}}{T_i} \right]^2 - 1} \quad (16-39)$$

式中:  $d_h$ ——裂缝深度, m;

$T_{di}$ ——跨越裂缝时第  $i$  点声时测试值, s;

$T_i$ ——不跨越裂缝时第  $i$  点声时测试值, s;

$L_i$ ——第  $i$  测点两个换能器内边缘间距, m。

(2)当混凝土结构或构件的裂缝部位具有多个相互平行的测试表面时,可采用双面斜测法测试。裂缝深度应根据声时、首波振幅和波形等数据综合判定。

(3)检测大体积混凝土结构中的裂缝或构件厚度大于 50cm 的混凝土裂缝深度可采用钻孔法,钻取测试孔和测试步骤应符合下列要求:

①应在裂缝部位附近钻测试孔 3 个,其间距不宜小于 1.0m。

②跨越于裂缝两侧的测试孔,其深度应大于裂缝深度,并与混凝土表面相垂直。

③不跨越裂缝的测试孔为校准孔,其深度约 500mm。

④孔径应比换能器直径大 5 ~ 10mm。

⑤测试孔内不应存有泥浆等杂质。

⑥应选用频率为 20 ~ 36kHz 径向振动式换能器;在换能器的电缆线上标出等距离标志,宜为 0.1 ~ 0.5m;

⑦测试孔中应注满清水,将“接收”和“发射”换能器分别置于裂缝两侧的对测孔中,以同一高程等间距从上至下同步移动,读取声时、首波波幅。

(4)裂缝深度判定应符合下列规定:

①绘制换能器深度与相应的首波波幅值的  $A_i \sim d/h$  和声时值的  $T_i \sim d/h_i$  的坐标图;

②根据坐标图上趋于稳定的最小声时值和最大值对应于该点的深度应为裂缝深度测试值。

(5)裂缝测试结果处理应满足下列要求:

①应将裂缝宽度和深度的代表值以及长度及走向结构简图;

②应选取有代表性部位,5mm × 30mm 石膏楔子,观察裂缝裂状态的变化。