

GONGLU GONGCHENG SHIYONG SHIGONG FANGYANG JISHU

公路工程 实用施工放样 技术

潘威 等编著 夏连学 审校



人民交通出版社

China Communications Press

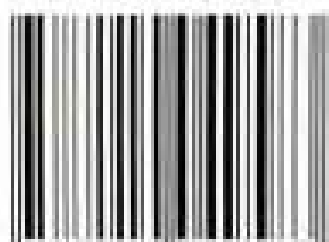
组稿编辑 / 周往莲 责任编辑 / 高秀丽 美术编辑 / 彭小秋

GONGLU GONGCHENG SHIYONG SHIGONG FANGYANG JISHU

人民交通出版社网址:

<http://www.ccpress.com.cn>

ISBN 7-114-04958-7



9 787114 049583 >

ISBN 7-114-04958-7

定价: 25.00元

华北水利水电学院图书馆



206838993

U412.2

P2431

GONGLU GONGCHENG SHIYONG SHIGONG FANGYANG JISHU

公路工程 实用施工放样 技术

潘威
等编著
夏连学 审校



人民交通出版社

683989

内 容 提 要

本书以《测量学》课程所介绍的基本测量理论、测量技术、测量手段为依据,本着实用、易懂、快速适应施工现场的原则,结合大中型施工企业的测量技术人员在施工现场多年的实践经验,分类别,按施工顺序介绍公路工程测量放样的基本方法。主要包括:公路施工控制测量,公路施工放样,桥梁施工控制测量,桥涵施工放样,桥梁墩台施工变形观测,隧道控制测量,隧道施工放样。

本书可作为公路与桥梁专业的学生在修完《测量学》课程后的选修教材,也可供从事测量工作的人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程实用施工放样技术/潘威等编著. —北京:
人民交通出版社, 2004
ISBN 7-114-04958-7

I. 公… II. 潘… III. 道路工程-工程测量
IV. U412.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 007917 号

公路工程实用施工放样技术

潘 威 等编著

夏连学 审 校

正文设计: 彭小秋 责任校对: 李 东 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本: 787×980 1/16 印张: 12.25 字数: 206 千

2004 年 3 月 第 1 版

2004 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001~5000 册 定价: 25.00 元

ISBN 7-114-04958-7

前 言

公路工程施工准备阶段的施工放样测量工作是施工质量控制的主要组成部分,从开工准备到工程开工到竣工检查,它贯穿工程施工的全过程。放样工作是工程建设者具体贯彻工程设计者的设计思想的重要环节,放样的精度不仅影响工程结构物的外形尺寸,同时它又是影响施工成本的重要因素。实践证明,精确的放样能精确地控制工程施工质量。

在现行的公路桥梁专业教材中,涉及到测量技术的,对放样测量工作特别是结构复杂的工程,譬如弯道桥的放样、隧道的施工控制及施工放样等都没有做具体的介绍。另外,随着公路测量技术的快速发展,一些常规的测设方法已经不适应高标准、高要求的公路施工的需要。近年来公路施工项目逐年增多,而公路施工单位急需公路工程施工测量人员,大多数中小施工企业招聘的施工技术人员基本上都是刚刚走出校门的大中专毕业生,施工经验缺乏。特别是施工放样,新的从业人员往往在施工现场感觉无从下手。针对这种现象,为配合路桥、养护、质检专业《测量学》的教学,使学生了解《测量学》在公路工程施工过程中的具体应用,加深学生对测量基础理论的理解,培养学生的实践能力,适应实用型技术人才的市场需求,我们总结在路桥专业教学以及在公路勘测设计和公路施工中的一些经验,编写了《公路工程实用施工放样技术》一书。

本书的第1章、第3章、第7章和附录由河南省交通学校潘威编写;第2章由商丘市豫东公路勘察设计有限公司华学礼编写;第4章由河南省高速公路发展有限责任公司陈峰编写;第5章由河南省交通学校沙炳乾编写;第6章由河南省交通学校黄铁安编写;第8章由三门峡公路勘察设计院宋朝林编写;第9章由郑州市公路局朱儒文编写。全书由河南省交通学校夏连学审校。

由于我们水平有限,同时在公路工程施工中,具体情况千差万别,实际问题复杂多样,书中所介绍的施工放样方法不一定能解决所有的问题,缺点和错误在所难免,真诚地希望同行专家和读者提出宝贵意见,以便再版时修订。

编者

2003年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1-1 概述	1
§ 1-2 公路工程施工中使用的坐标系统	2
§ 1-3 平面直角坐标的换算	5
§ 1-4 公路工程施工中使用的高程系统	8
§ 1-5 地面点定位的概念	11
第 2 章 公路施工控制测量	15
§ 2-1 公路工程施工控制网的布设	15
§ 2-2 导线与国家控制点的联测	18
§ 2-3 工程建设中地面点的坐标换带计算	30
§ 2-4 全站仪在施工控制测量中的应用	34
§ 2-5 坐标型导线的实测和近似平差计算方法	38
第 3 章 路线中线恢复放样测量	42
§ 3-1 概述	42
§ 3-2 路线中线恢复测量中涉及到的基本放样工作	43
§ 3-3 低等级公路路线导线恢复测量	50
§ 3-4 低等级公路路线中线恢复测量	53
§ 3-5 高等级公路中线恢复测量	70
第 4 章 公路施工放样	76
§ 4-1 路基放样的基本原理	76
§ 4-2 路基边桩平面位置放样方法	85
§ 4-3 路基施工阶段各层次抄平方法	86
§ 4-4 路面施工放样方法	90
第 5 章 桥梁施工控制测量	97
§ 5-1 概述	97

§ 5-2	桥梁高程控制网的建立	97
§ 5-3	过河水准测量	99
§ 5-4	桥梁中线测量	102
§ 5-5	桥梁三角网的布置及测设精度	104
§ 5-6	桥梁墩台定位与墩台轴线测量	107
第 6 章	桥涵施工放样	116
§ 6-1	桥墩、桥台及其基础标高放样	116
§ 6-2	涵洞基础定位与轴线测量	119
§ 6-3	桥涵细部施工放样	120
§ 6-4	桥梁墩台竣工测量	124
§ 6-5	桥梁上部结构的放样和施工观测	125
§ 6-6	互通式立交匝道的平面放样	132
第 7 章	桥梁墩台在施工过程中的变形观测	142
§ 7-1	概述	142
§ 7-2	梁板挠度变形观测	143
§ 7-3	桥梁墩台沉降和位移观测	147
§ 7-4	其他变形观测	149
第 8 章	隧道控制测量	151
§ 8-1	隧道贯通测量的精度要求	151
§ 8-2	隧道控制测量	153
第 9 章	隧道施工放样	169
§ 9-1	概述	169
§ 9-2	隧道开挖过程中的基本放样工作	171
§ 9-3	隧道定向定位的测量检核	175
§ 9-4	隧道开挖过程中的洞内控制测量	177
§ 9-5	地面与地下的联系测量	180
§ 9-6	隧道施工及竣工后的沉降、位移观测	182
附录	匝道坐标计算源程序	184
参考文献		187

第1章 绪 论

§ 1-1 概 述

一、公路工程施工放样的任务

公路工程施工放样的主要任务是利用测量技术将设计图纸上的工程构造物的平面位置和高程在实地标定出来,作为施工的依据。在施工过程中,检测工程构造物的几何尺寸,以实现从设计图纸到工程实物的质和量的转变。

在交通土木工程中,工程构造物主要指路基、路面、桥涵、隧道及其附属构造物和排水构造物。在路基施工前,通过测量放样确定路线中线桩、公路用地界桩,路堑坡顶,路堤坡脚、边沟等构造物的施工位置;在桥涵施工前,通过测量放样确定基坑开挖、墩台建造的施工位置;在隧道施工前,利用控制测量结果对隧道定向定位等都是通过测量放样实现的。在施工过程中,通过测量放样对工程构造物外形几何尺寸进行控制和检测,及时修正偏差,以准确体现设计意图;在工程竣工后,通过测量对工程进行质量检查和验收。实践证明,精确地测量放样能准确控制施工质量和节约工程成本。因此,施工放样是工程施工过程中的重要一环,它贯穿工程施工全过程。

二、公路工程施工放样的依据

公路工程施工放样的依据是《公路工程技术标准》,各种构造物的施工技术规范、规程,测量规范等以及工程设计图纸。测置放样工作应遵循从整体到局部的原则,先进行控制测量,再进行细部放样测量。通过控制测量,建立起平面控制点和高程控制点与工程构造物特征点之间的平面位置和高程的几何联系。以平面控制点的坐标和高程控制点的高程为依据,利用传统测量仪器进行距离、高程和角度的测量放样或者利用全站仪和 GPS 进行三维坐标放样来确定工程构造物特征点在实地上的空间位置。在放样过程中,工程设计图纸是图解控制点和工程构造物特征点之间几何关系的依据;现行的施工技术规范、规程,以及测量规范是核查放样结果精度的依据。只

有利用精度符合标准的几何数据,才能精确地测定工程构造物特征点的准确位置,以指导施工。

§ 1-2 公路工程施工中使用的坐标系

工程构造物特征点的平面位置是用坐标表示的。在施工放样以前必须了解设计资料所提供的点的坐标是用哪一种坐标系。只有在坐标系统一的条件下,才能进行坐标、距离、角度的计算和改正。在公路工程测量中有五种坐标系可供选用。

一、国家 3°带高斯正投影平面直角坐标系

工程建设是在地球曲面上进行的,工程设计计算是在平面上进行的,这样就会有曲面上的数据向平面归算的问题,高斯平面直角坐标系就是在此基础上建立起来的。利用它可以解决曲面数据与平面数据的转换问题。在离中央子午线较近,地面平均高程较低的地区,不必考虑投影变形的影响,可直接采用国家统一的 3°带高斯正投影平面直角坐标系。

1. 高斯投影的几何意义

高斯投影是高斯平面直角坐标系建立的基础,其几何意义如图 1-1 所示。

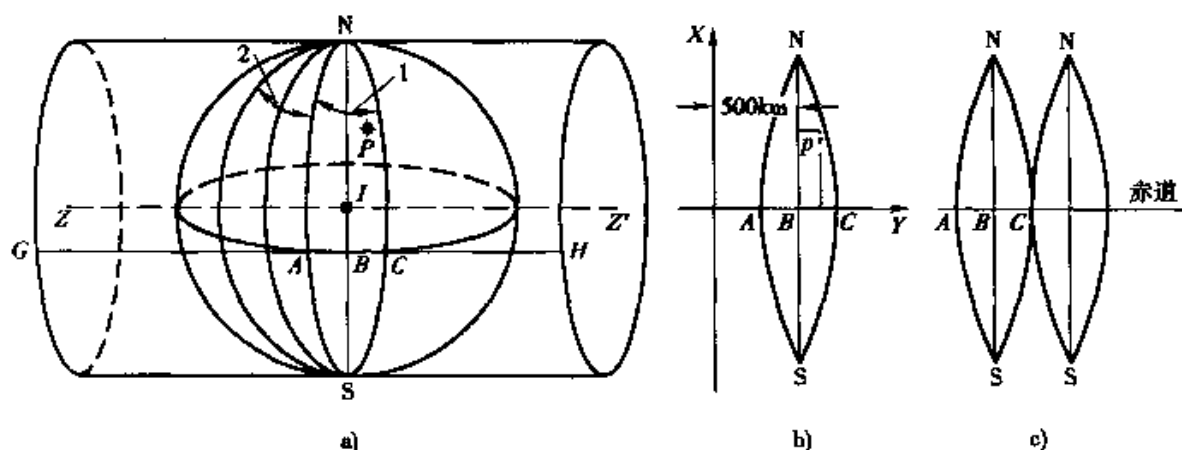


图 1-1

为了便于说明高斯投影的概念,将地球椭球体作为圆球看待。在圆球表面上选定一个子午圈,将投影面卷成一个圆柱,套在圆球上并使其与选定的子午圈相切,这条切线 NBS 称为轴子午线(中央子午线)NAS 和 NCS 是两条和 NBS 经差为 3°或 1.5°并关于 NBS 对称的子午线。这样,球面上的轴子午线就毫无变形地转移到圆柱面上。此外,将赤道面扩大使之与圆柱体相交,其交线 GH 即与轴子午线垂直。当将圆柱体从两极沿着圆柱轴线

切开,并展开成平面时,圆柱体上的这两条正交的直线,就是高斯平面直角坐标系统的坐标轴。其中由轴子午线投影的直线 NBS 是高斯平面直角坐标系的纵轴,称为 X 轴;而由赤道投影的直线 GH 是高斯平面直角坐标系的横轴,称为 Y 轴; B 为坐标原点。由子午线 NAS 、 NCS 所包围而构成的带状称为投影带,若子午线 NAS 和 NCS 经差为 6° ,称为 6° 投影带,若经差为 3° ,称为 3° 投影带。

如上所述,每一个高斯投影的 6° 带和 3° 带都带有其自己的坐标轴和坐标原点。横坐标的计算是以轴子午线以东为正,以西为负。纵坐标的计算是以赤道以北为正,以南为负。为了使横坐标均为正值,我国轴子午线的横坐标值加上 500km ,即将坐标原点向西移 500km 。如图 1-1b) 所示。

高斯平面的特点:

- (1) 投影后的中央子午线 NBS 是直线,长度不变。
- (2) 投影后的赤道 ABC 是直线,保持 ABC 垂直 NBS 。
- (3) 离开中央子午线的子午线投影是以两极为终点的弧线,离中央子午线越远,弧线的曲率越大,说明离中央子午线越远投影变形越大。

2. 高斯平面直角坐标系的建立

根据高斯平面投影带的特点,高斯平面直角坐标系按下述四个规则建立:

- (1) X 轴是中央子午线 NBS 的投影,北方为正方向;
- (2) Y 轴是赤道 ABC 的投影,东方为正方向;
- (3) 原点,即中央子午线与赤道交点,用 O 表示;
- (4) 四个象限按顺时针顺序 I、II、III、IV 排列,如图

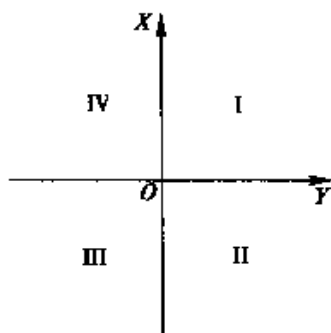


图 1-2

1-2 所示。

3. 投影带的中央子午线与编号

投影带的宽度以投影带边缘子午线之间的经度差 ΔL 表示。为避免高斯投影带的变形太大,投影带的宽度 ΔL 不能太宽,一般 ΔL 宽度取 6° 或者 3° 。高斯投影根据经差 ΔL 逐带连续进行,即将地球曲面展开成平面。

经差 ΔL 为 6° 的 6° 带高斯投影平面,将全球分为 60 个 6° 的投影带,各带的中央子午线的经度 L_0 与投影带的带号 N 有如下对应关系:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-1)$$

经差 ΔL 为 3° 的 3° 带高斯投影平面,将全球分为 120 个 3° 的投影带,各带的中央子午线的经度 L_0 与投影带的带号 N 有如下对应关系:

$$L_0 = 3N \quad (1-2)$$

根据我国在大地坐标系统中的经度位置 ($74^\circ \sim 135^\circ$),从上述公式可见,我国用到的 6° 带的带号 N 在 13 ~ 23 之间,用到的 3° 带的带号在 25 ~ 45

之间。

4. 高斯平面直角坐标表示的地面的位置

我国国家测量大地控制点均按高斯投影计算其高斯平面直角坐标。在图 1-1a) 中, 球面点 P , 大地坐标为 L_p, B_p 。在图 1-1b) 中的 P' 点是 P 的高斯投影点, 其高斯平面直角坐标是 x_p, y_p 。

它们的意义是: ① x_p 表示 P 点在高斯平面上到赤道的距离; ② y_p 包括有投影带的带号、附加值 500km 和实际坐标 Y 三个参数, 即

$$y_p = \text{带号 } N + 500\text{km} + Y_p \quad (1-3)$$

例如, 某地面点坐标 $x = 2433586.693\text{m}$, $y = 38514366.157\text{m}$ 。其中 x 表示该点在高斯平面上到赤道的距离为 2433586.693m。根据式(1-3), 该地面点所在的投影带带号 $N = 38$, 是 3° 带, 地面点 y_p 坐标的实际值 $Y_p = 14366.157\text{m}$ (即去掉原坐标中带号 38, 并减去附加值 500km), 表示该地面点在中央子午线以东 14366.157m; 若 y 坐标实际值 Y 带负号, 则表示该地面点在中央子午线以西。

根据 y_p 坐标的投影带带号, 可以按式(1-2)推算投影带中央子午线的经度为 $L_0 = 114^\circ$ 。

二、补偿投影面的 3° 带高斯正形投影平面直角坐标系

这种坐标系仍采用国家 3° 带高斯正形投影, 但是投影的高程面不用参考椭球面, 而另选用一个高程参考面, 借以补偿因高斯投影带来的长度变形。在这个高程参考面上, 投影长度变形为零。

三、任意带高斯正形投影平面直角坐标系

任意高斯正形投影平面直角坐标系仍将地面观测结果归算到参考椭球面上, 但不采用国家 3° 带统一的分带方法, 而选择过测区边缘或测区中央, 或测区内某一点的子午线作为中央子午线, 借以补偿因实测结果归算至参考椭球面带来的长度变形。

四、高程抵偿面的任意带高斯正形投影平面直角坐标系

这种坐标系通常是把投影的中央子午线选在测区的中央, 地面观测值归算至测区的平均高程面上, 按高斯正形投影计算平面直角坐标。这是综合补偿投影面的 3° 带高斯正形投影平面直角坐标系和任意带高斯正形投影平面直角坐标系这两种坐标系优点的一种任意高斯平面直角坐标系, 是工程中常用的测量坐标系统。

五、工程独立平面直角坐标系

这是一种当测区面积较小时,可以把该测区的球面当成平面看待,即可不进行方向和距离改正,将地面点直接沿铅垂线投影到水平面上,把局部地球表面作为平面而建立的独立平面直角坐标系。这种坐标系可与国家控制网联系,获取起算坐标及起始方位角;亦可采用假定坐标,《公路勘测规范》(JTJ 061—99)规定,二级(含二级)以下公路、独立桥梁、隧道及其他构造物等小测区方可采用。

在计算平面点位放样数据时,如果点的坐标处于不同的坐标系,要首先进行坐标换算(换算成统一的坐标系),再计算放样数据。

§ 1-3 平面直角坐标的换算

一、平面直角坐标换算的一般方法

如图 1-3 所示,设 X_P, Y_P 为 P 点在国家控制网坐标系中的坐标; x'_P, y'_P 为 P 点在工程独立控制网坐标系中的坐标; X_0, Y_0 为工程独立坐标系原点 O 在国家坐标系中的坐标; $\Delta\alpha$ 为两坐标系纵坐标轴的夹角。如果一条边 PM 在国家坐标系中的坐标方位角为 A ,而在工程独立坐标系中的坐标方位角为 α ,则 $\Delta\alpha$ 可按式计算:

$$\Delta\alpha = A - \alpha \quad (1-4)$$

当由工程独立坐标系中的坐标(x'_P, y'_P)换算到国家坐标系中的坐标(X_P, Y_P)时,其换算公式为

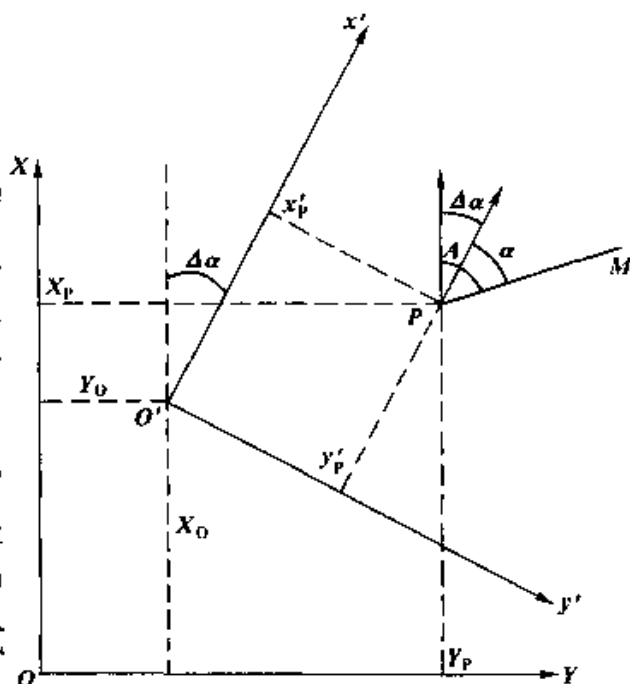


图 1-3

$$\left. \begin{aligned} X_P &= x'_P \cos \Delta\alpha - y'_P \sin \Delta\alpha + X_0 \\ Y_P &= x'_P \sin \Delta\alpha + y'_P \cos \Delta\alpha + Y_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

当由国家坐标系换算到工程独立坐标系时,也可以使用上式。换算时应将式中的 X_P, Y_P 与 x'_P, y'_P 互换,并且 $\Delta\alpha = \alpha - A$ 。

【例题】 已知 A, B 两点在国家坐标系中的坐标为: $X_A = 92562.608\text{m}$,

$Y_A = 72049.157\text{m}$; $X_B = 92529.371\text{m}$, $Y_B = 72174.555\text{m}$ 。在工程独立坐标系中的坐标为 $x'_A = 1073.382\text{m}$, $y'_A = 1199.447\text{m}$; $x'_B = 1036.841\text{m}$, $y'_B = 1323.922\text{m}$ 。试求出两坐标系的换算公式。

解: (1) 工程独立坐标系中的坐标换算到国家坐标系中的坐标的实用公式

$$A_{AB} = \arctan \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \arctan \frac{72174.555 - 72049.157}{92529.371 - 92562.608} = 104^\circ 50' 42''$$

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \arctan \frac{1323.922 - 1199.447}{1036.841 - 1073.382} = 106^\circ 21' 37''$$

由式(1-4)得:

$$\Delta\alpha = A_{AB} - \alpha_{AB} = 104^\circ 50' 42'' - 106^\circ 21' 37'' = -1^\circ 30' 55''$$

将 A 点在两坐标系中的坐标 X_A, Y_A, x'_A, y'_A 以及 $\Delta\alpha$ 之值代入式(1-5), 计算工程独立坐标系原点 O 在国家坐标系中的坐标, 得:

$$\left. \begin{aligned} X_0^{(A)} &= 91457.8838 \\ Y_0^{(A)} &= 70878.5134 \end{aligned} \right\}$$

将 B 点在两坐标系中的坐标 X_B, Y_B, x'_B, y'_B 以及 $\Delta\alpha$ 之值代入式(1-5), 计算工程独立坐标系原点 O 在国家坐标系中的坐标, 得:

$$\left. \begin{aligned} X_0^{(B)} &= 91457.8834 \\ Y_0^{(B)} &= 70878.5137 \end{aligned} \right\}$$

取由 A, B 两点算得的 X_0, Y_0 平均值:

$$X_0 = (X_0^{(A)} + X_0^{(B)})/2 = 91457.8836$$

$$Y_0 = (Y_0^{(A)} + Y_0^{(B)})/2 = 70878.5136$$

设 x, y 为某点在工程独立坐标系中的坐标, X, Y 为该点在国家坐标系中的坐标, 将 X_0, Y_0 及 $\Delta\alpha$ 三个值代入式(1-5)即得实用公式:

$$\left. \begin{aligned} X &= 0.999650309x + 0.026443504y + 91457.8836 \\ Y &= -0.026443.504x + 0.999650309y + 70878.5136 \end{aligned} \right\}$$

(2) 国家坐标系中的坐标换算到工程独立坐标中的坐标的实用公式

$$\Delta\alpha = \alpha_{AB} - A_{AB} = 106^\circ 21' 37'' - 104^\circ 50' 42'' = 1^\circ 30' 55''$$

将式(1-5)中的 X, Y 与 x, y 互换, 可得

$$\left. \begin{aligned} x'_p &= X_p \cos \Delta\alpha - Y_p \sin \Delta\alpha + X_0 \\ y'_p &= X_p \sin \Delta\alpha + Y_p \cos \Delta\alpha + Y_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

同样可算得

$$X_0 = -89551.6254$$

$$Y_0 = -73272.1948$$

将 x_0, y_0 及 $\Delta\alpha$ 三个值代入式(1-6)即得实用公式:

$$\left. \begin{aligned} x &= 0.999650309X + 0.026443504Y - 89551.6254 \\ y &= 0.026443.504X + 0.999650309Y - 73272.1948 \end{aligned} \right\}$$

式中: x, y, X, Y 的含义同上。

二、应用最小二乘法进行平面直角坐标换算

考虑到两种坐标系的长度比,将式(1-5)改写成

$$\left. \begin{aligned} X &= m \cdot x \cos \Delta\alpha - m \cdot y \sin \Delta\alpha + X_0 \\ Y &= m \cdot x \sin \Delta\alpha + m \cdot y \cos \Delta\alpha + Y_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

式中 m 为长度比,或者称为尺度因子,是指同一边长在两种坐标系中的长度之比。

由于式(1-7)中有 $X_0, Y_0, \Delta\alpha$ 和 m 四个变换参数是要确定的,所以必须有两个公共点,它们在两种坐标系中的坐标 X, Y 与 x, y 是已知的。由此列出 4 个方程,从而解出 4 个未知参数。当具有两个以上的公共点时,就要应用最小二乘法原理进行平差,解出参数 $X_0, Y_0, \Delta\alpha$ 和 m 的最或是值。

下面举例说明具体的解算方法。设有 4 个公共点 A, B, C, D , 它们在两个坐标系中的坐标 x, y, X, Y 见表 1-1。求由坐标系 x, y 换算到坐标系 X, Y 的计算公式。

(1)按下列公式求出两个坐标系的重心坐标 x_z, y_z, X_z, Y_z

$$\left. \begin{aligned} x_z &= \frac{[x]}{4} \\ y_z &= \frac{[y]}{4} \\ X_z &= \frac{[X]}{4} \\ Y_z &= \frac{[Y]}{4} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

(2)按下式计算公共点以重心坐标为原点的坐标值 x', y', X', Y'

$$\left. \begin{aligned} x' &= x - x_z \\ y' &= y - y_z \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

$$\left. \begin{aligned} X' &= X - X_z \\ Y' &= Y - Y_z \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

(3)按下列公式计算 M, N, Q

$$\left. \begin{aligned} M &= [Y'x'] - [X'y'] \\ N &= [X'x'] + [Y'y'] \\ Q &= [x'x'] + [y'y'] \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

(4)按下列公式计算换算参数

$$\left. \begin{aligned} m \sin \Delta \alpha &= \frac{M}{Q} \\ m \cos \Delta \alpha &= \frac{N}{Q} \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= X_Z - m \cdot x_z \cos \Delta \alpha + m \cdot y_z \sin \Delta \alpha \\ Y_0 &= Y_Z - m \cdot x_z \sin \Delta \alpha - m \cdot y_z \cos \Delta \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta \alpha &= \arctan \frac{M}{N} \\ m &= \frac{\sqrt{M^2 + N^2}}{Q} \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

(5)将换算参数代入式(1-7)得坐标换算的应用公式

$$\left. \begin{aligned} X &= 0.993377887x - 0.114059904y + 4058.7534 \\ Y &= 0.114059904x + 0.993377887y + 10125.9037 \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

(6)检核计算

①按求得的坐标换算应用公式(1-15)计算经平差后公共点的 X'' 、 Y'' 。

②按下列公式计算公共点的换算坐标的改正数:

$$\left. \begin{aligned} u_X &= X - X'' \\ u_Y &= Y - Y'' \end{aligned} \right\} \quad (1-16)$$

③以下列公式检核应用公式(1-15)计算结果的正确性

$$\left. \begin{aligned} [u_X] &= 0 \\ [u_Y] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-17)$$

§ 1-4 公路工程施工中使用的高程系统

一、高程系统的一般概念

地面点高程,是指地面点到某一高程基准面的铅垂距离。地面点的高程是表示地面点位置的重要参数。地面点高程基准面一经认定,地面点的高程系统就确定了。一般地,高程系统有大地高系统、正高系统和正常高系统。

1. 大地高系统

以参考椭球体面为基准面的高程系统称为大地高系统。大地高,表示地面点到参考椭球体面的垂直距离。

平面直角坐标系换算参数的平差计算

表 1-1

点号	公共点在两坐标系中的坐标			以重心坐标为坐标原点的坐标值				按应用公式计算坐标			计算坐标改正数	
	x	y	X	Y	x'	y'	X''	Y''	X''	Y''	u _x	u _y
A	2212.641	2353.61	5988.312	12716.39	-373.67	24.89	-374.012	-17.807	5988.29	12716.301	0.022	0.089
B	2611.872	2711.971	6344.121	13117.67	25.561	383.251	-18.203	383.473	6344.002	13117.826	0.119	-0.156
C	2985.42	2524.125	6736.39	12974.013	399.109	195.405	374.066	239.816	6736.502	12973.830	-0.112	0.183
D	2535.31	1725.174	6380.472	12128.714	-51.001	-603.546	18.148	-605.483	6380.501	12128.83	-0.029	-0.116
Σ	10345.243	9314.88	25449.295	50936.787	-0.001	0	-0.001	-0.001			0	0
$M = [Y'x'] - [X'y'] = 97193.120181$ $N = [X'x'] + [Y'y'] = 846480.600894$ $Q = [x'x'] + [y'y'] = 852123.458745$ $m \sin \Delta\alpha = M/Q = 0.114059904$ $m \cos \Delta\alpha = N/Q = 0.993377887$ $\Delta\alpha = \arctan(M/N) = 6^{\circ}33'00.1''$ $m = \frac{\sqrt{M^2 + N^2}}{Q} = 0.99990464$												
$x_0 = X_0 - m \cdot x_2 \cos \Delta\alpha + m \cdot y_2 \sin \Delta\alpha = 4058.7534$ $y_0 = Y_0 - m \cdot x_2 \sin \Delta\alpha - m \cdot y_2 \cos \Delta\alpha = 10125.9037$												
$X = 0.993377887x - 0.114059904y + 4058.7534$ $Y = 0.114059904x + 0.993377887y + 10125.9037$												
坐标换算应用公式												

2. 正高系统

以大地水准面为基准面的高程系统称为正高系统。正高表示地面点到大地水准面的垂直距离。

3. 正常高系统

以似大地水准面为基准面的高程系统称为正常高系统。正常高,表示地面点到似大地水准面的垂直距离。

图 1-4 表示上述三个基准面的关系,其中大地水准面是在测定平均海面中得到的高程基准面。我国在山东青岛设验潮站,长期测定海面高度,得出我国大地水准面的位置,如图 1-4 中 Q 点。通常,参考椭球体面、大地水准面、似大地水准面在 Q 处重合。但是,由于地球内部的物质不均匀性,参考椭球体面、大地水准面、似大地水准面在其他地方不重合。如图 1-4 中 P 处, h_m 是大地水准面与参考椭球体面的差距, h'_m 是似大地水准面与参考椭球体面的差距。

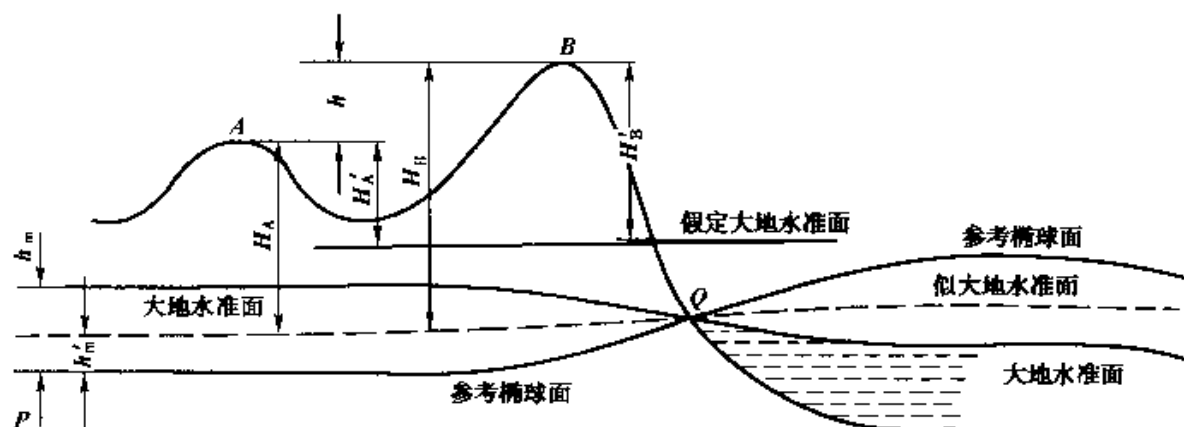


图 1-4

一般地,大地水准面与参考椭球体面的差距 h_m 难以得到,故无法将测得的地面点正高换算到参考椭球体面上。在实际测量工作中,选用的似大地水准面是一个与参考椭球体面的差距为 h'_m 的并可以得到的大地水准面。由此可见,差距 h'_m 是可以求得的,故可以将测得的地面点正常高换算到参考椭球体面上。

正常高系统是我国国家高程测量采用的高程系统。国家高程点的高程是正常高。正常高系统是以似大地水准面作为测量基准面的高程系统,我国采用黄海平均海面为似大地水准面,进而确定国家高程基准点的高程,即水准原点的高程。历史上我国采用过两种高程系统:一是 1956 国家高程基准,水准原点高程为 72.289m;一是 1985 国家高程基准,水准原点高程为 72.260m。两者相差 0.029m。这一点在引用国家水准点高程时应注意。

二、公路工程实际应用中的地面点高程的概念

在设计文件中给定的地面点的高程,通常采用两种高程系统:一种是国家统一的绝对高程系统;另一种是独立测区所采用的假定的相对高程系统。

1. 绝对高程

地面点沿其铅垂线到法定的似大地水准面的垂直距离称为绝对高程。如图 1-4 所示,定义经 Q 点的似大地水准面为法定的似大地水准面, H_A 、 H_B 表示 A 、 B 两点分别到法定的似大地水准面的绝对高程。绝对高程是正常高系统所确定的地面点高程。实际工程应用中,按国家高程点的正常高推算地面点高程,这种工程上的地面点高程属于绝对高程。

在远离国家高程控制网的偏远地区,也可采用假定的高程系统,即相对高程系统。

2. 相对高程

地面点沿其铅垂线到假定的大地水准面的垂直距离称为相对高程。如图 1-4 所示, H_A' 、 H_B' 分别表示 A 、 B 两点到假定的大地水准面的相对高程。这里所说的相对高程是以假定的大地水准面所确定的地面点高程,假定的大地水准面可理解为通过假定地面上某一点的高程,而得到假定大地水准面的位置。

例如, P 点位于偏远地区,在 P 点所在的区域没有国家高程点,工程建设中要确定该区域地面点的高程,就要建立一个统一的高程系统。通过假定 P 点的离程 H_P ,则假定大地水准面的位置在从 P 点沿铅垂线向下(上)距 P 点为 H_P 的位置上。

实际应用中,似大地水准面与参考椭球体面的差距 h_m' ,由大地测量学解决。在一般工程建设中也可以不考虑这一因素。

在计算放样点的高程数据时,应换算成统一的高程系统。

例如,某独立测区 P 点的假定高程为 $H_P' = 100\text{m}$,与国家水准点 BM_n 联测得 $h_{np} = 45.025\text{m}$,则假定大地水准面与似大地水准面的高差为 45.025m ,该测区内任一点的绝对高程应为相对高程加上 45.025m 。

§ 1-5 地面点定位的概念

一、地面点定位的技术过程

地面点定位,就是通过某种技术过程来确定地面点的空间位置。在工程建设实践中,地面点定位有以下主要技术过程。

(1)以测量技术手段测定地面点的位置,并用图像或者图形和数据等形式表示出来,这种技术过程称为测绘。通常这一技术过程是把地球球面上的地面点位表示为平面的形式。如图 1-5a)所示, M 、 N 、 P 为地面上的三个点,经过测绘过程表示为高斯平面上点的位置,如图 1-5b)所示的 m 、 n 、 p 。

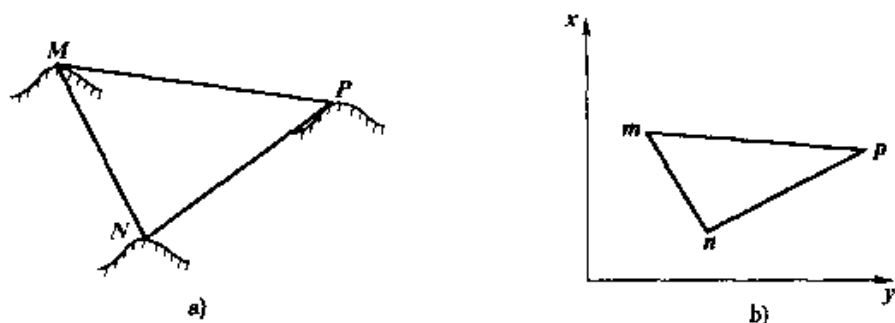


图 1-5

(2)利用测量技术手段把设计上拟定的地面点测定到实地上,这种技术过程称为测设,也称做工程放样,简称放样。图 1-6a)中 a 、 b 、 c 、 d 为设计图纸上一座建筑物的四个角点,放样技术过程就是要把它们标定在实地上,即如图 1-6b)所示 A 、 B 、 C 、 D 。

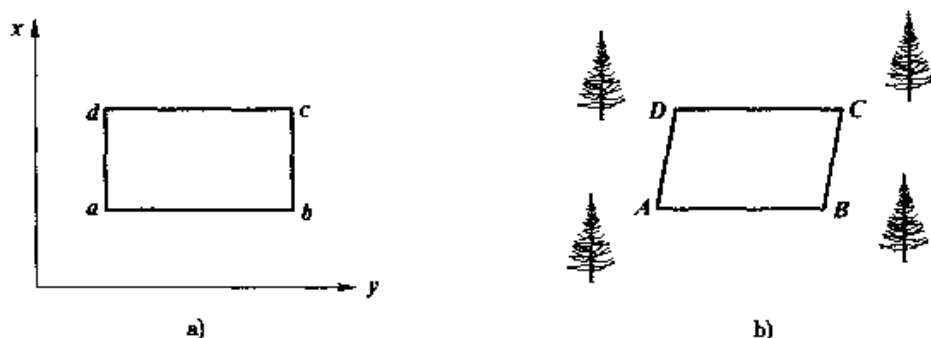


图 1-6

二、地面点的定位元素

在对地面点进行测绘和测设的过程中,地面点的位置是用坐标和高程来表示的。

以坐标(x, y)和高程(H)表示的地面点定位参数,又称为三维定位参数,其中把坐标(x, y)称为二维定位参数。

在坐标系中 m 、 n 、 p 三个地面点之间相互连线可构成一三角形,具有边长(D_1 、 D_2 、 D_3)和角度(β_1 、 β_2 、 β_3),如图 1-7 所示。根据初等数学原理,只要测量这些地面点之间的边长和角度,便可以确定 m 、 n 、 p 三点之间的相互关系。测量学的理论和实践证明,只要测得这些地面点之间的边长和角度,就可以为求得地面点的坐标参数 x 、 y 提供重要的数据基础。

由图 1-8 可见,地面点的高程 H 是通过测量点位之间的高差 h 推算得到的。 A 点为已知点,高程为 H_A , B 点为未知点,只要测得 A 点至 B 点的高差 h ,便可确定 B 点的高程,即

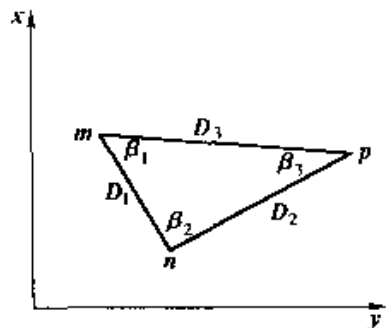


图 1-7

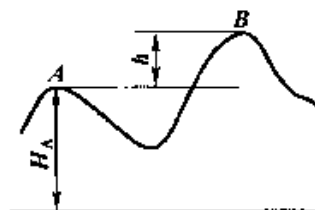


图 1-8

$$H_B = H_A + h$$

由此可见,角度测量、距离测量和高差测量是测量地面点定位的基本测量工作。测量得到的角度 β 、距离 D 、高差 h 是地面点定位的基本元素。由于这些定位元素具有独立性(即某一元素与其他同类元素之间不存在函数关系)和直接可量性(即可利用测量仪器直接测量其大小),故称之为直接定位元素。一般地,地面点的定位参数 x 、 y 、 H 不能直接测量得到,但可以利用地面点的直接定位元素按某种规定的法则推算得到,故又称地面点的定位参数 x 、 y 、 H 为间接观测量,或称为间接定位元素。

三、测量放样的工作原则

由上述内容可见,地面点定位涉及到技术过程和相应的测量技术手段。在后续的各章节中,我们将介绍与定位技术过程和技术手段相适应的基本技术工作内容。为了保证基本工作内容的实现,地面点定位必须遵循如下的工作原则。

1. 等级原则

测量技术工作的等级有三种。

(1)国家测量的技术等级,即一、二、三、四级。

(2)工程测量的基本等级和扩展等级。基本等级是二、三、四、五级,以此为基础的扩展等级是一、二、三级。

(3)工程应用等外级。此等级的规定有高低之分,技术要求的严密程度必然有差别。等级的规定是工程建设中测量技术工作成果质量的标准,也是严肃的科学态度与实际测量技术水平的象征;离开甚至违背技术等级要求的不合格测量工作是工程实际中不允许的。

2. 整体原则

所谓整体原则,一是指工程建设中的某一局部所构成的完整测量基地;二是指测定地面点位置的有关参数不是孤立的,而是从属于工程建设整体对象的参数。地面点定位的整体原则是:

(1)从工程建设的全局出发实施定位的技术过程;

(2)定位技术过程得到的点的位置必须在数学或物理关系上按等级原则符合工程建设的整体要求。

3. 控制原则

通过控制测量所建立的控制点的三维数据,是进行下一等级测量工作的基准,也是地面点定位的测量保证。一般地,只有工程建设自身整个基准设施的控制测量完成后,才有可能进行工程建设其他地面点定位的技术工作,这也是《测量学》所讲的测量工作“先控制,后碎部”的基本原则。

4. 检核原则

实现正确的地面点定位,必须通过不同的计算方法和不同的放样手段对同一个点位进行比较。通过检核可以证明定位正确与否。在施工放样过程中,没有经过检核证明放样数据和放样点位正确的放样结果是不可取的。测量放样的检核原则强调放样数据的计算检核和放样点实地位置的复核。在工程特征点的放样过程中,放样数据的精度是至关重要的。它是实现正确的地面点定位的关键所在。因此,每一个数据必须进行检核。检核原则应贯穿于整个放样过程中。

第2章 公路施工控制测量

§ 2-1 公路工程施工控制网的布设

在进行施工放样时,放样数据的计算以及搬站时测站点的坐标和高程的计算都是依据控制点的坐标和高程进行的,所以我们首先介绍公路工程控制网的布设方法及其控制测量中精度的要求。

一、公路工程施工平面控制测量概述

公路平面控制测量,包括路线平面控制测量,桥梁、隧道及其他大型建筑物等的平面控制测量。公路工程施工平面控制网的建立,可以利用原区域,如城市规划时工程勘察设计测量所建立的平面控制网作为依据,采用GPS测量、三角测量、三边测量、边角测量和导线测量等方法建立起联系,以统一坐标系。平面控制网的等级划分,三角测量、三边测量按精度依次分为二、三、四等和一、二级小三角,小三边;导线测量依次分为三、四等和一、二、三级。它们的精度要求见表2-1、表2-2和表2-3。

三角网(三角锁)主要精度要求

表 2-1

等 级	平均边长 (km)	测角中误差 (")	起始边边长相对中误差	最弱边相 对中误差
二等	9	± 1	1/25 万	1/12 万
三等	4.5	± 1.8	1/15 万(首级) 1/12 万(加密)	1/7 万
四等	2	± 2.5	1/10 万(首级) 1/7 万(加密)	1/4 万
一级小三角	1	± 5	1/4 万	1/2 万
二级小三角	0.5	± 10	1/2 万	1/1 万

各等级公路、桥梁、隧道及其他建筑物的平面控制等级参见表2-4。

当公路工程需要提供大比例地形图时,就得建立测图控制网,根据地形情况和测图要求,可选用三角测量或导线测量。如果沿路线测绘带状地形

图,则可选用导线测量。导线可作为路线中线测设的依据。

三边网主要精度要求

表 2-2

等 级	平均边长(km)	测距中误差(mm)	测距相对中误差	备 注
二等	9	36	1/25 万	
三等	4.5	30	1/15 万	
四等	2	20	1/10 万	
一级小三角	1	20	1/4 万	
二级小三角	0.5	20	1/2 万	

导线测量主要技术要求

表 2-3

等 级	附和导线长度(km)	平均边长(m)	每边测距中误差(mm)	测角中误差(″)	备 注
三等	30	2 000	± 18	1.5	1/55000
四等	20	1 000	± 18	2.5	1/35000
一级	10	500	± 15	5	1/14000
二级	5	400	± 15	8	1/6000
三级	2	200	± 15	12	1/2000

公路平面控制等级

表 2-4

等 级	路 线	桥 梁	隧 道
二等三角		> 5 000m 的特大桥	
三等三角、导线		2 000 ~ 5 000m 的特大桥	
四等三角、导线	高速公路、一级公路	1 000 ~ 2 000m 的特大桥	特长隧道
一级小三角、导线	二级及二级以上公路	500 ~ 1 000m 的特大桥	长隧道
二级小三角、导线	三级及三级以下公路	< 500m 的大、中桥	中隧道
三级导线	三级及三级以下公路		

注:①三级以下公路,在设备等条件受限制时,方可采用三级导线;

②大型互通式立交桥、服务区等工点,可参照相应公路等级采用。

在桥梁测量中,为了正确地求出桥梁轴线的长度和精确地放样出桥台、桥墩的位置,所建立的三角网应保证在桥中线方向的误差最小。因此,在布网时应将河流两岸中线上的点纳入三角网中。图 2-1 是常采用的桥梁三角网的几种形式。

在隧道工程中,为了加快施工进度,往往有几个工作面同时进行对向开挖,为使隧道在相接处准确贯通,在布网时应尽可能将隧道的洞口、竖井、斜井的控制桩作为三角点,如因地形有困难,也应作为三角锁(网)的插点,以便将坐标传递至这些点上。图 2-2 为常见的直线隧道和曲线隧道的布网形式。

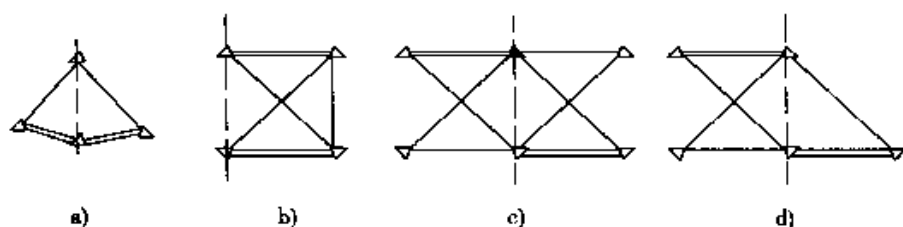


图 2-1

路线平面控制网是公路平面控制的主要控制网,沿线桥涵、隧道等各种构筑物的局部平面控制网应联系于主控制网之上。

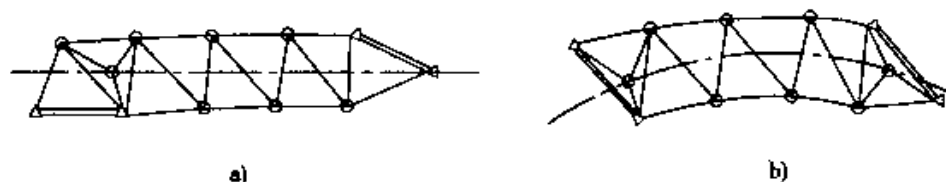


图 2-2

公路平面控制测量也可采用全球定位系统(GPS),此时应遵照《公路全球定位系统(GPS)测量规范》(JTJ/T 066—98)进行。

二、公路工程高程控制测量

公路工程高程控制测量一般应采用国家高程基准。现行《公路工程技术标准》规定,三级以下公路方可采用假定高程。公路高程测量可用水准测量和光电测距三角高程测量方法进行。公路水准测量按精度分为三、四、五等,各等级水准测量的主要技术要求见表 2-5。光电测距三角高程测量的主要技术要求见表 2-6。

各等级水准测量的主要技术要求

表 2-5

等级	每千米高差中数中误差(mm)		往返较差、附和或环线闭合差(mm)	
	偶然中误差 M_{Δ}	全中误差 M_w	平原微丘区	山岭重丘区
三	± 3	± 6	$\pm 12 \sqrt{L}$	$\pm 3.5 \sqrt{n}$
四	± 5	± 10	$\pm 20 \sqrt{L}$	$\pm 6.0 \sqrt{n}$
五	± 8	± 16	$\pm 30 \sqrt{L}$	—

注: L 为水准点间或附和及闭合环线的路线长度(km); n 为测站数。

光电测距三角高程测量的主要技术要求

表 2-6

等级	测距边测回数	竖直角测回数		指标差较差 (")	竖直角较差 (")	对向观测高差较差(mm)	附和或环线闭合差(mm)
		三丝法	中丝法				
四	对向 2	—	3	≤ 7	≤ 7	$40 \sqrt{D}$	$20 \sqrt{\sum D}$
五	1	1	2	≤ 10	≤ 10	$60 \sqrt{D}$	$30 \sqrt{\sum D}$

注: D 为光电测距边长度(km)。

对于采用边角形导线的平面控制和采用水准测量的高程控制的实测方法以及相关的计算在各类《测量学》教材中有详尽的介绍,在此不再赘述。

§ 2-2 导线与国家控制点的联测

公路平面控制测量常采用导线测量方法,进行导线计算时必须有起算数据,即必须有足够数量的已知点坐标。为了取得导线坐标和坐标方位角的起始数据,导线应与高级控制点进行联测。联测的方法有导线法、测角交会法和距离交会法等。

一、导线法

如果沿路线方向有已知高级控制点,导线可直接与其连接,构成附和导线。测转折角的同时,测出两连接角,这样就取得了坐标和坐标方位角的起算数据。

当路线方向上无已知高级控制点时,则可将导线引至附近的国家控制点连接。

如图 2-3 所示, $\cdots 7-8-9-10-11-12-13 \cdots$ 为沿路线布设的导线,从导线点 7 出发,设点 $1'$ 与国家控制点 B 、 A 连接,观测 7 、 $1'$ 、 B 点的联测角及测量边长 $71'$ 、 $1'B$,就可由 B 点坐标和 AB 边方位角推算出导线上任一点的坐标及任一边的坐标方位角。为增加导线的检核条件和提高点位的精度,导线每隔一段距离就应与附近的国家控制点进行联测。图 2-3 所示是以 12 点开始设点 $2'$ 、 $3'$ 与国家控制点 D 、 C 连接的情况。

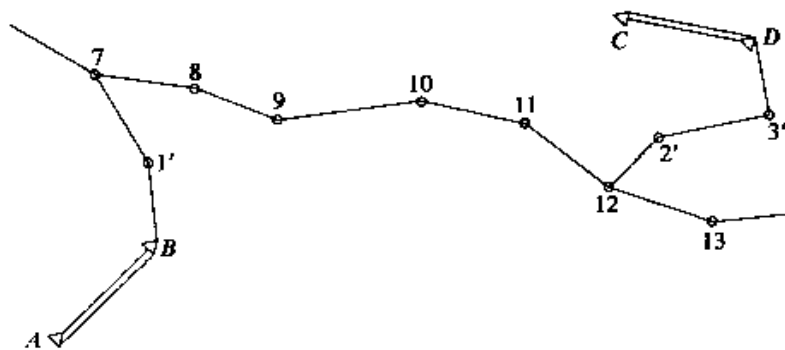


图 2-3

联测时测角和量距的精度,一般应与导线的测角、量距的精度相同。

二、测角交会法

测角交会法分为前方交会法、侧方交会法和后方交会法。

1. 前方交会法

如图 2-4 所示,在已知点 A 、 B 上设站观测水平角 α 、 β ,以解算 P 点的坐标,这种方法称之为前方交会法。

设已知点 A 、 B 的坐标为 X_A 、 Y_A 和 X_B 、 Y_B 。在 A 、 B 两点测得角度 α 和 β 。未知点 P 的坐标可按下列方法计算。

(1)按导线推算 P 点坐标

①用坐标反算公式计算 AB 边的坐标方位角 α_{AB} 及边长 D_{AB}

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}$$

$$D_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

②计算 AP 、 BP 边的坐标方位角 α_{AP} 、 α_{BP} 及边长 D_{AP} 、 D_{BP}

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \alpha$$

$$\alpha_{BP} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ + \beta$$

$$D_{AP} = \frac{D_{AB}}{\sin \gamma} \sin \beta$$

$$D_{BP} = \frac{D_{AB}}{\sin \gamma} \sin \alpha$$

式中: $\gamma = 180^\circ - \alpha - \beta$

式中的计算结果可由下式检核:

$$\alpha_{AP} - \alpha_{BP} = \gamma$$

③按坐标正算公式计算 P 点坐标

$$X_P = X_A + D_{AP} \cos \alpha_{AP} \quad (2-1)$$

$$Y_P = Y_A + D_{AP} \sin \alpha_{AP}$$

及

$$X_P = X_B + D_{BP} \cos \alpha_{BP} \quad (2-2)$$

$$Y_P = Y_B + D_{BP} \sin \alpha_{BP}$$

由上述两式计算的 P 的坐标应相等,可用于校核。由于计算小数的取位差异,计算结果可能有微小差异,可取其平均值。

(2)按余切公式计算 P 点坐标

$$X_P = \frac{X_A \cot \beta + X_B \cot \alpha - Y_A + Y_B}{\cot \alpha + \cot \beta} \quad (2-3)$$

$$Y_P = \frac{Y_A \cot \beta + Y_B \cot \alpha + X_A - X_B}{\cot \alpha + \cot \beta} \quad (2-4)$$

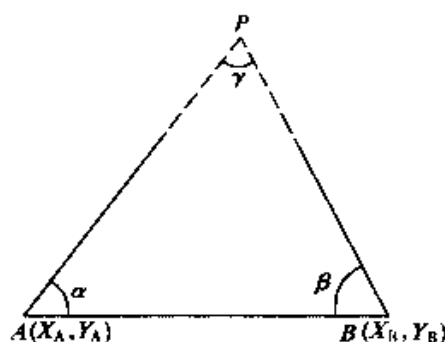


图 2-4

在运用此式计算时,三角形的点号 A 、 B 、 P 应按逆时针顺序排列,其中 A 、 B 为已知点, P 为未知点。

为了校核外业观测成果,并提高未知点 P 的精度,一般应布设成三个(或四个)已知点的前方交会,观测两组角值,分别计算未知点坐标,如图 2-5 所示。

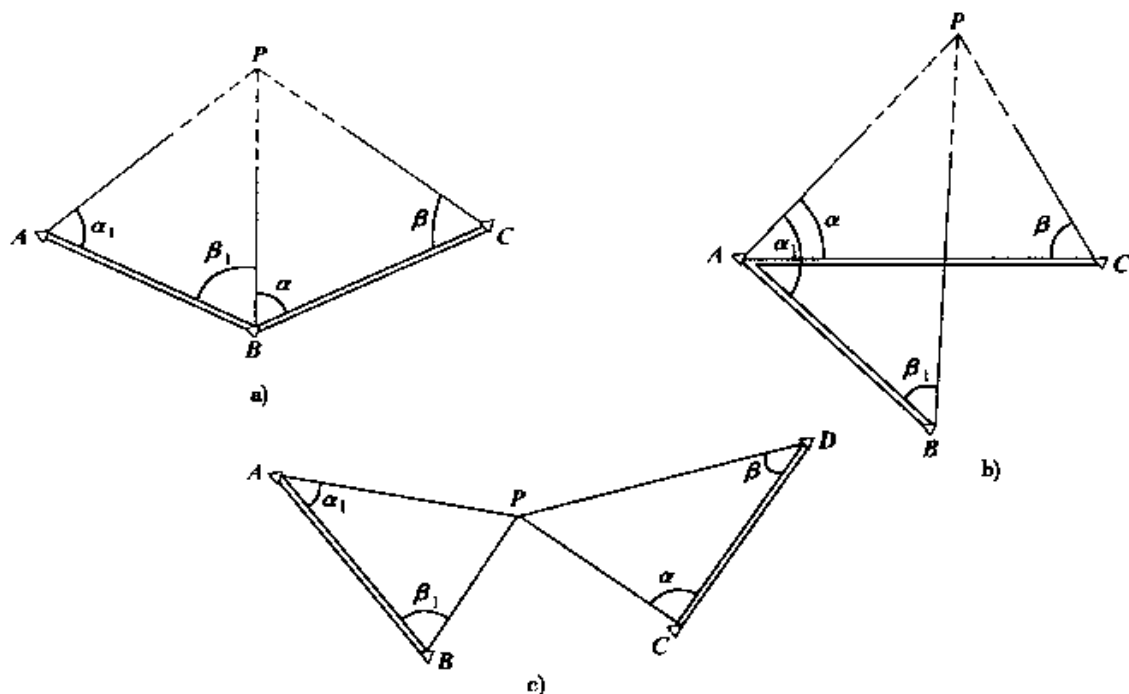


图 2-5

图 2-6 也是一种前方交会法的特殊情况。在已知点 A 、 B 测得角度 θ 、 φ , AC 和 BD 的坐标方位角 α_{AC} 和 α_{BD} 为已知,则按下列步骤计算 P 点的坐标:

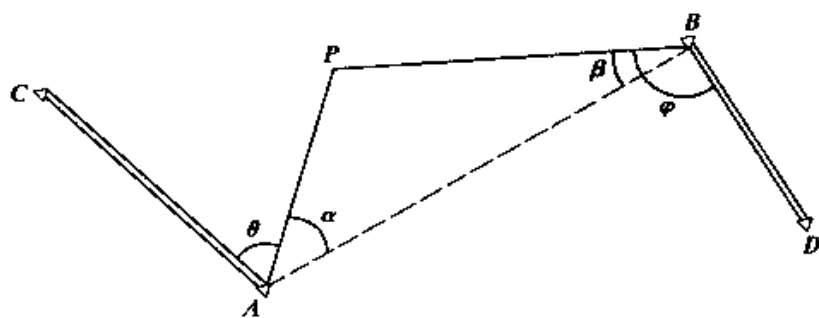


图 2-6

①由 A 、 B 两点坐标按坐标反算公式计算坐标方位角 α_{AB}

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \quad (2-5)$$

②由 α_{AB} 、 α_{AC} 、 α_{BD} 和观测角 θ 、 φ 计算 α 、 β

$$\alpha = \alpha_{AB} - \alpha_{AC} - \theta$$

$$\beta = \varphi - (\alpha_{AB} \pm 180^\circ - \alpha_{BD})$$

③按余切公式计算 P 点坐标

$$X_P = \frac{X_A \cot \beta + X_B \cot \alpha - Y_A + Y_B}{\cot \alpha + \cot \beta} \quad (2-6)$$

$$Y_P = \frac{Y_A \cot \beta + Y_B \cot \alpha + X_A - X_B}{\cot \alpha + \cot \beta} \quad (2-7)$$

对于测角交会, 交会角 γ 的大小会影响 P 点的定位精度。交会角 γ 最好接近于 90° , 一般不应小于 30° 或大于 120° 。

[例题] 如图 2-7 所示, 已知 A 、 B 、 C 三点的坐标为 $X_A = 35522.01\text{m}$, $Y_A = 41527.29\text{m}$; $X_B = 35189.35\text{m}$, $Y_B = 41116.90\text{m}$; $X_C = 34671.79\text{m}$, $Y_C = 41236.06\text{m}$; 测得两组角值为 $\alpha_1 = 59^\circ 20' 59''$, $\beta_1 = 54^\circ 09' 52''$; $\alpha_2 = 61^\circ 54' 29''$, $\beta_2 = 55^\circ 44' 54''$ 。计算 P 点坐标。

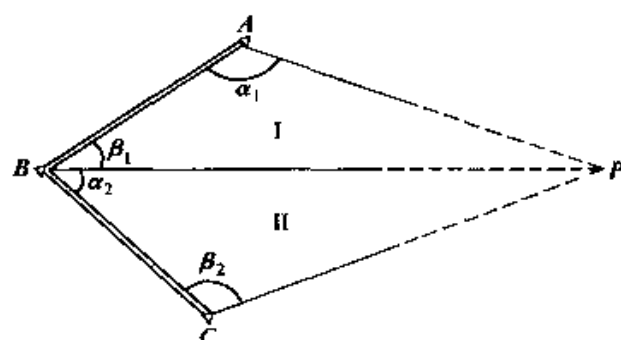


图 2-7

解: (1) 导线法

由第一个三角形计算 P 点坐标

①计算 AB 边的坐标方位角及边长

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{41116.90 - 41527.29}{35189.35 - 35522.01} = \arctan \frac{-410.39}{-322.66} = 230^\circ 58' 19''$$

$$D_{AB} = \frac{-322.66}{\cos 230^\circ 58' 19''} = 528.283(\text{m})$$

检核: $D_{AB} = \frac{-410.39}{\sin 230^\circ 58' 19''} = 528.283(\text{m})$

$$D_{AB} = \sqrt{(-322.66)^2 + (-410.39)^2} = 528.283(\text{m})$$

②计算 AP 、 BP 边的坐标方位角及边长

$$\alpha_{AP} = 230^\circ 58' 19'' - 59^\circ 20' 59'' = 171^\circ 37' 20''$$

$$\alpha_{BP} = 230^\circ 58' 19'' - 180^\circ + 54^\circ 09' 52'' = 105^\circ 08' 11''$$

又 $\gamma = 180^\circ - 59^\circ 20' 59'' - 54^\circ 09' 52'' = 66^\circ 29' 09''$

$$D_{AP} = \frac{528.283}{\sin 66^\circ 29' 09''} \sin 54^\circ 09' 52'' = 467.064(\text{m})$$

$$D_{BP} = \frac{528.283}{\sin 66^\circ 29' 09''} \sin 59^\circ 20' 59'' = 495.636(\text{m})$$

检核: $\alpha_{AP} - \alpha_{BP} = 171^\circ 37' 20'' - 105^\circ 08' 11'' = 66^\circ 29' 09'' = \gamma$

③计算 P 点坐标

由式(2-1)和式(2-2)得:

$$X_P = 35522.01 + 467.064 \cos 171^\circ 37' 20'' = 35059.930(\text{m})$$

$$Y_P = 41527.29 + 467.064 \sin 171^\circ 37' 20'' = 41595.341(\text{m})$$

$$X_P = 35189.35 + 495.636 \cos 105^\circ 08' 11'' = 35059.931(\text{m})$$

$$Y_P = 41116.90 + 495.636 \sin 105^\circ 08' 11'' = 41595.341(\text{m})$$

取两组 P 点坐标的平均值作为第一个三角形的计算结果:

$$X_P = 35059.930\text{m}$$

$$Y_P = 41595.341\text{m}$$

由第二个三角形计算 P 点坐标(计算方法与第一个三角形完全相同)

①计算 BC 边的坐标方位角和边长

$$\alpha_{BC} = \arctan \frac{41236.06 - 41116.90}{34671.79 - 35189.35} = \arctan \frac{119.16}{-517.56} = 167^\circ 02' 04''$$

$$D_{BC} = \frac{-517.56}{\cos 167^\circ 02' 04''} = 531.100(\text{m})$$

检核: $D_{BC} = \frac{119.16}{\sin 167^\circ 02' 04''} = 531.098(\text{m})$

$$D_{BC} = \sqrt{(-517.56)^2 + 119.16^2} = 531.100(\text{m})$$

②计算 BP 、 CP 边的坐标方位角和边长

$$\alpha_{BP} = 167^\circ 02' 04'' - 61^\circ 54' 29'' = 105^\circ 07' 35''$$

$$\alpha_{CP} = 167^\circ 02' 04'' - 180^\circ + 55^\circ 44' 54'' = 42^\circ 46' 58''$$

又 $\gamma = 180^\circ - 61^\circ 54' 29'' - 55^\circ 44' 54'' = 62^\circ 20' 37''$

$$D_{BP} = \frac{531.100}{\sin 62^\circ 20' 37''} \sin 55^\circ 44' 54'' = 495.619(\text{m})$$

$$D_{CP} = \frac{531.100}{\sin 62^\circ 20' 37''} \sin 61^\circ 54' 29'' = 528.969(\text{m})$$

检核: $\alpha_{BP} - \alpha_{CP} = 105^\circ 07' 35'' - 42^\circ 46' 58'' = 62^\circ 20' 37'' = \gamma$

③计算 P 点坐标

$$X_P = 35189.35 + 495.619 \cos 105^\circ 07' 35'' = 35060.018(\text{m}) \left. \vphantom{\begin{matrix} X_P \\ Y_P \end{matrix}} \right\}$$

$$Y_P = 41116.90 + 495.619 \sin 105^\circ 07' 35'' = 41595.347(\text{m}) \left. \vphantom{\begin{matrix} X_P \\ Y_P \end{matrix}} \right\}$$

$$X_P = 34671.79 + 528.969 \cos 42^\circ 46' 58'' = 35060.018(\text{m}) \left. \vphantom{\begin{matrix} X_P \\ Y_P \end{matrix}} \right\}$$

$$Y_P = 41236.06 + 528.969 \sin 42^\circ 46' 58'' = 41595.347(\text{m}) \left. \vphantom{\begin{matrix} X_P \\ Y_P \end{matrix}} \right\}$$

取两组 P 点坐标的平均值作为第二个三角形的计算结果:

$$\left. \begin{aligned} X_P &= 35060.018\text{m} \\ Y_P &= 41595.347\text{m} \end{aligned} \right\}$$

最后,取出两个三角形计算的 P 点坐标的平均值:

$$\left. \begin{aligned} X_P &= 35059.974\text{m} \\ Y_P &= 41595.344\text{m} \end{aligned} \right\}$$

(2) 余切公式计算法

由第一个三角形计算 P 点坐标

应用余切公式时,公式中的 A 、 B 、 P 点应按逆时针方向编号,故题中点号与公式相符。

$$\begin{aligned} X_P &= \frac{X_A \cot \beta_1 + X_B \cot \alpha_1 - Y_A + Y_B}{\cot \alpha_1 + \cot \beta_1} = \\ &= \frac{35522.01 \cot 54^\circ 09' 52'' + 35189.35 \cot 59^\circ 20' 59'' - 41527.29 + 41116.90}{\cot 59^\circ 20' 59'' + \cot 54^\circ 09' 52''} \\ &= 35059.931(\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_P &= \frac{Y_A \cot \beta_1 + Y_B \cot \alpha_1 + X_A - X_B}{\cot \alpha_1 + \cot \beta_1} = \\ &= \frac{41527.29 \cot 54^\circ 09' 52'' + 41116.90 \cot 59^\circ 20' 59'' + 35522.01 - 35189.35}{\cot 59^\circ 20' 59'' + \cot 54^\circ 09' 52''} \\ &= 41595.341(\text{m}) \end{aligned}$$

由第二个三角形计算 P 点坐标

第二个三角形中的 B 点对应于余切公式中的 A 点, C 点对应于公式中的 B 点。于是有

$$\begin{aligned} X_P &= \frac{X_B \cot \beta_2 + X_C \cot \alpha_2 - Y_B + Y_C}{\cot \alpha_2 + \cot \beta_2} = \\ &= \frac{35189.35 \cot 55^\circ 44' 54'' + 34671.79 \cot 61^\circ 54' 29'' - 41116.90 + 41236.06}{\cot 61^\circ 54' 29'' + \cot 55^\circ 44' 54''} \\ &= 35060.018(\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_P &= \frac{Y_B \cot \beta_2 + Y_C \cot \alpha_2 + X_B - X_C}{\cot \alpha_2 + \cot \beta_2} = \\ &= \frac{41116.90 \cot 55^\circ 44' 54'' + 41236.06 \cot 61^\circ 54' 29'' + 35189.35 - 34671.79}{\cot 61^\circ 54' 29'' + \cot 55^\circ 44' 54''} \\ &= 41595.347(\text{m}) \end{aligned}$$

两三角形解算 P 点坐标的平均值为

$$\begin{aligned} X_P &= 35059.97\text{m} \\ Y_P &= 41595.34\text{m} \end{aligned}$$

2. 侧方交会法

侧方交会法与前方交会法所不同的是,所测的两个角中,有一个角是在未知点上测得的。如图 2-8 所示,在已知点 A 上测角 α ,在未知点 P 上测角 γ ,计算 P 点坐标时,只要计算出 β 角($\beta = 180^\circ - \alpha - \gamma$),就可以按前方交会法进行计算了。

3. 后方交会法

如图 2-9 所示,后方交会法是仅仅在未知点 P 上设站,向三个已知点 A 、 B 、 C 进行观测,测出水平角 α 、 β (用方向观测法)。根据 A 、 B 、 C 三点的坐标和 α 、 β 角,即可计算出 P 点坐标。

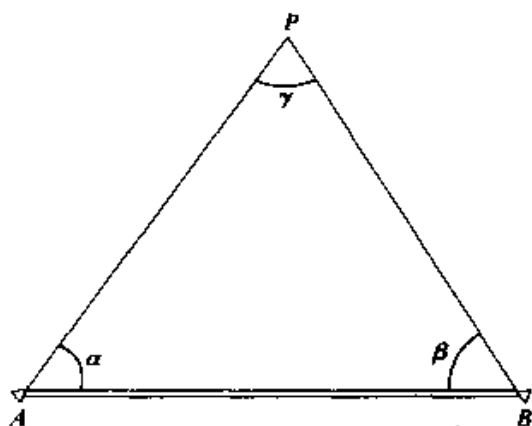


图 2-8

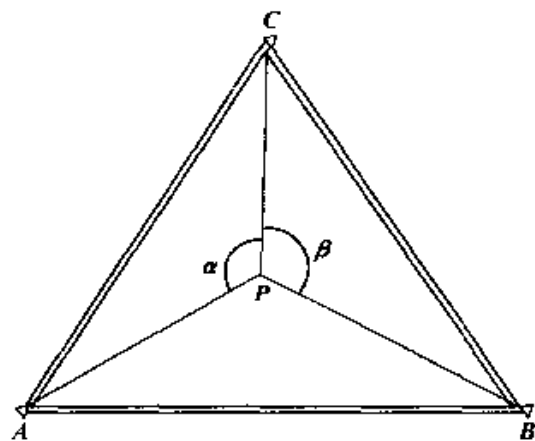


图 2-9

后方交会法计算点的坐标的方法很多,这里介绍两种方法。

(1) 余切公式计算法

① 根据已知点坐标和观测角度计算 $\cot\theta$

$$\cot\theta = \frac{(Y_C - Y_B)\cot\beta - (Y_A - Y_C)\cot\alpha - (X_A - X_B)}{(X_C - X_B)\cot\beta - (X_A - X_C)\cot\alpha + (Y_A - Y_B)} \quad (2-8)$$

② 根据已知点坐标、观测角及 $\cot\theta$ 计算参数 N

$$N = (Y_C - Y_B)(\cot\beta - \cot\theta) - (X_C - X_B)(1 + \cot\beta\cot\theta) \quad (2-9)$$

$$N = (Y_A - Y_C)(\cot\alpha + \cot\theta) - (X_A - X_C)(1 - \cot\alpha\cot\theta) \quad (2-10)$$

计算两个 N 值作为检核。

③ 计算 P 点坐标

$$x_P = x_C + \frac{N}{1 + \cot^2\theta} \quad (2-11)$$

$$y_P = y_C + \cot\theta \frac{N}{1 + \cot^2\theta} \quad (2-12)$$

在用以上公式进行计算时,只需将点与角按图 2-9 进行编号,无论未知点 P 处于什么位置,均可直接按公式计算。

(2) 伪权公式计算法

这种方法的计算公式形同加权平均值公式,因此称为仿权公式。

未知点 P 的坐标计算公式如下:

$$X_P = \frac{P_A X_A + P_B X_B + P_C X_C}{P_A + P_B + P_C} \quad (2-13)$$

$$Y_P = \frac{P_A Y_A + P_B Y_B + P_C Y_C}{P_A + P_B + P_C} \quad (2-14)$$

式中:

$$P_A = \frac{1}{\cot \angle A - \cot \alpha}$$

$$P_B = \frac{1}{\cot \angle B - \cot \beta}$$

$$P_C = \frac{1}{\cot \angle C - \cot \gamma}$$

$\angle A$ 、 $\angle B$ 、 $\angle C$ 为 A 、 B 、 C 三个已知点组成的三角形的内角。 α 、 β 、 γ 为未知点 P 上的三个角,无论 P 点在什么位置,它们均应满足下式:

$$\alpha = \alpha_{PB} - \alpha_{PC} \quad (2-15)$$

$$\beta = \alpha_{PC} - \alpha_{PA} \quad (2-16)$$

$$\gamma = \alpha_{PA} - \alpha_{PB} \quad (2-17)$$

α_{PA} 、 α_{PB} 、 α_{PC} 分别为 PA 、 PB 、 PC 方向的坐标方位角。图 2-10 所示为仿权公式的点、角对应关系图。

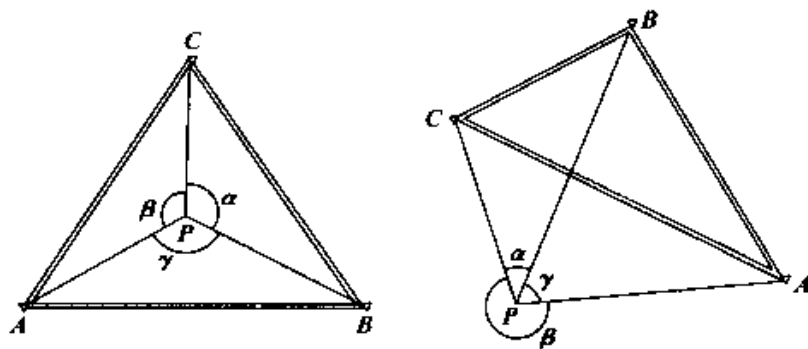


图 2-10

[例题] 如图 2-11 所示,已知 A 、 B 、 C 三点的坐标分别为 $X_A = 4564.99\text{m}$, $Y_A = 4478.36\text{m}$, $X_B = 4589.08\text{m}$, $Y_B = 4759.71\text{m}$, $X_C = 4655.73\text{m}$, $Y_C = 4623.75\text{m}$;测得的角值为 $\alpha = 47^\circ 01' 24''$ 、 $\beta = 53^\circ 45' 17''$,计算 P 点坐标。

解:(1)余切公式计算法

图 2-11 中,点与角度编号与公式要求一致,故可直接按公式计算。

①按式(2-8)计算 $\cot \theta$

$$\begin{aligned} \cot \theta &= \frac{(4623.75 - 4759.71) \cot 53^\circ 45' 17'' - (4478.36 - 4623.75) \cot 47^\circ 01' 24'' - (4564.99 - 4589.08)}{(4655.73 - 4589.08) \cot 53^\circ 45' 17'' - (4564.99 - 4655.73) \cot 47^\circ 01' 24'' + (4478.36 - 4759.71)} \\ &= -0.4047886 \end{aligned}$$

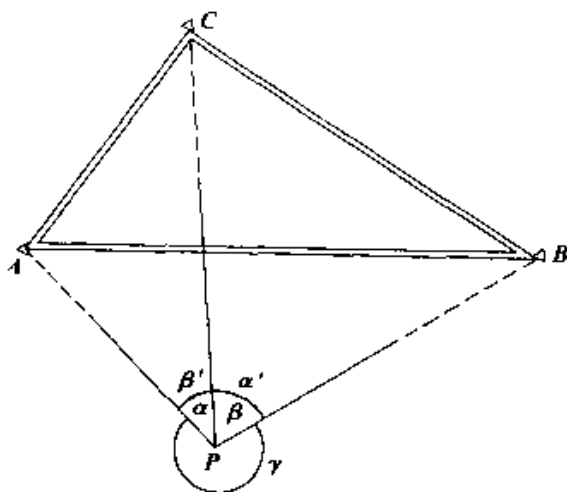


图 2-11

②按式(2-9)、式(2-10)计算 N

$$\begin{aligned} N &= (4623.75 - 4759.71)[\cot 53^\circ 45' 17'' - (-0.4047886)] \\ &\quad - (4655.73 - 4589.08)[1 + \cot 53^\circ 45' 17'' \times (-0.4047886)] \\ &= -201.5793 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= (4478.36 - 4623.75)[\cot 47^\circ 01' 24'' + (-0.4047886)] \\ &\quad - (4564.99 - 4655.73)[1 - \cot 47^\circ 01' 24'' \times (-0.4047886)] \\ &= -201.5793 \end{aligned}$$

③按式(2-11)、式(2-12)计算 P 点坐标

$$X_P = 4655.73 + \frac{-201.5793}{1 + (-0.4047886)^2} = 4482.53(\text{m})$$

$$Y_P = 4623.75 + (-0.4047886) \times \frac{-201.5793}{1 + (-0.4047886)^2} = 4693.86(\text{m})$$

(2) 仿权公式计算法

为使用仿权公式,点与角的对应关系应满足式(2-15)、式(2-16)、式(2-17)依次标出的 α 、 β 、 γ 位置(图 2-11 所标示的 α' 、 β' 、 γ')

①计算 AB 、 BC 、 CA 三边的坐标方位角

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \arctan \frac{4759.71 - 4478.36}{4589.08 - 4564.99} = 85^\circ 06' 22''$$

$$\alpha_{BC} = \arctan \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B} = \arctan \frac{4623.75 - 4759.71}{4655.73 - 4589.08} = 296^\circ 06' 54''$$

$$\alpha_{CA} = \arctan \frac{y_A - y_C}{x_A - x_C} = \arctan \frac{4478.36 - 4623.75}{4564.99 - 4655.73} = 238^\circ 01' 52''$$

②计算 $\angle A$ 、 $\angle B$ 、 $\angle C$

$$\begin{aligned} \angle A &= \alpha_{AB} - \alpha_{AC} = \alpha_{AB} - (\alpha_{CA} - 180^\circ) \\ &= 85^\circ 06' 22'' - (238^\circ 01' 52'' - 180^\circ) = 27^\circ 04' 30'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\angle B &= \alpha_{BC} - \alpha_{BA} = \alpha_{BC} - (\alpha_{AB} + 180^\circ) \\ &= 296^\circ 06' 54'' - (85^\circ 06' 22'' + 180^\circ) = 31^\circ 00' 32'' \\ \angle C &= \alpha_{CA} - \alpha_{CB} = \alpha_{CA} - (\alpha_{BC} - 180^\circ) \\ &= 238^\circ 01' 52'' - (296^\circ 06' 54'' - 180^\circ) = 121^\circ 54' 58''\end{aligned}$$

③计算 P_A 、 P_B 、 P_C

$$\gamma' = 360^\circ - \alpha' - \beta' = 360^\circ - 53^\circ 45' 17'' - 47^\circ 01' 24'' = 259^\circ 13' 19''$$

$$P_A = \frac{1}{\cot \angle A - \cot \alpha'} = \frac{1}{\cot 27^\circ 04' 30'' - \cot 53^\circ 45' 17''} = 0.8175464$$

$$P_B = \frac{1}{\cot \angle B - \cot \beta'} = \frac{1}{\cot 31^\circ 00' 32'' - \cot 47^\circ 01' 24''} = 1.3662307$$

$$P_C = \frac{1}{\cot \angle C - \cot \gamma'} = \frac{1}{\cot 121^\circ 54' 58'' - \cot 259^\circ 13' 19''} = -1.2297118$$

④计算 P 点坐标

$$\begin{aligned}X_P &= \frac{P_A X_A + P_B X_B + P_C X_C}{P_A + P_B + P_C} \\ &= \frac{0.8175464 \times 4564.99 + 1.3662307 \times 4589.08 + (-1.2297118) \times 4655.73}{0.8175464 + 1.3662307 + (-1.2297118)} \\ &= 4482.53(\text{m})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_P &= \frac{P_A Y_A + P_B Y_B + P_C Y_C}{P_A + P_B + P_C} \\ &= \frac{0.8175464 \times 4478.36 + 1.3662307 \times 4759.71 + (-1.2297118) \times 4623.75}{0.8175464 + 1.3662307 + (-1.2297118)} \\ &= 4693.86(\text{m})\end{aligned}$$

(3)后方交会的危险圆

后方交会中,过三个已知点所构成的圆称为危险圆,如图 2-12a)所示。

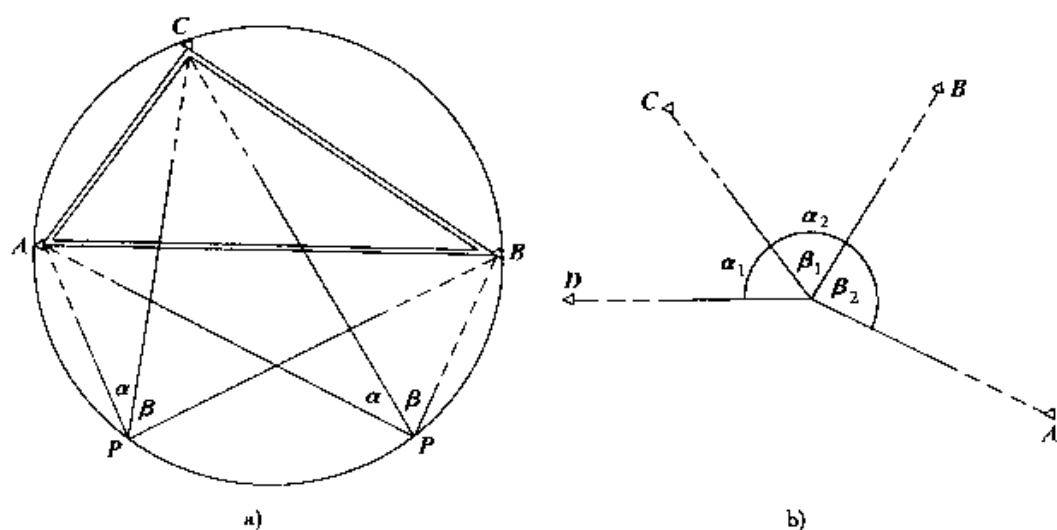


图 2-12

若未知点 P 位于危险圆上, 所测 α 、 β 角均保持不变, 故 P 点坐标为不定解。即使 P 点不在危险圆上, 但距危险圆较近, 计算出的 P 点坐标的误差也会较大。因此在实际工作中, 应给予足够的重视。为了检核和提高 P 点精度, 通常在未知点 P 上向 4 个已知点进行观测, 如图 2-12b) 所示。 A 、 B 、 C 、 D 为已知点, 在 P 点上对该 4 点进行方向观测, 可求得 3 个水平角。再将其分作两个后方交会图形, 如 A 、 B 、 C 三点为一组, B 、 C 、 D 为一组, 分别求解 P 点坐标进行核对, 然后取其平均值。

三、距离交会法

由于光电测距仪在测量工作中的广泛使用, 与测角交会法一样, 距离交会法也可获得较高的精度。如图 2-13 所示, A 、 B 两点为已知点, 测量两条边长 a 、 b , P 点坐标即可算出。

由于 A 、 B 两点坐标已知, AB 边的坐标方位角 α_{AB} 和边长 S 可通过坐标反算求得, 由余弦定理可得:

$$\angle A = \arccos\left(\frac{S^2 + b^2 - a^2}{2Sb}\right)$$

而

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \angle A$$

于是

$$X_P = X_A + b \cos \alpha_{AP}$$

$$Y_P = Y_A + b \sin \alpha_{AP}$$

以上是两边交会法。为了检核和提高 P 点坐标精度, 通常采用三边交会法, 如图 2-14 所示。三边交会观测三条边, 分两组计算 P 点坐标进行核对, 取其平均值作为最后计算结果。

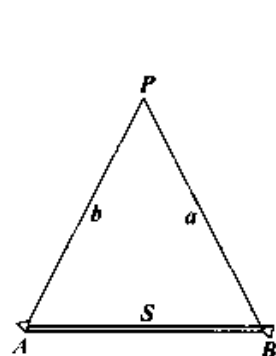


图 2-13

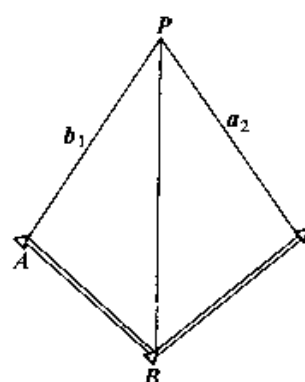


图 2-14

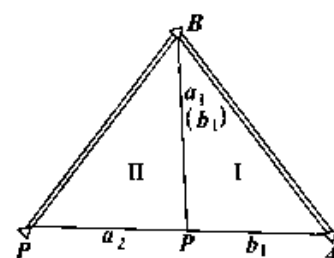


图 2-15

[例题] 图 2-15 为三边交会法示意图。 A 、 B 、 C 为已知点, 其坐标为: $X_A = 64374.87\text{m}$, $Y_A = 66564.14\text{m}$, $X_B = 65144.96\text{m}$, $Y_B = 66083.07\text{m}$, $X_C = 64512.97\text{m}$, $Y_C = 65541.71\text{m}$; 观测三条边长为: $a_1 = b_2 = 487.299\text{m}$, $b_1 = 565.685\text{m}$, $a_2 = 551.926\text{m}$ 。计算 P 点坐标。

解:(1)由第一个三角形计算 P 点坐标

①计算 AB 边的坐标方位角和边长

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \arctan \frac{66083.07 - 66564.14}{65144.96 - 64374.87} = 328^\circ 00' 26''$$

$$S_{AB} = \frac{\Delta X_{AB}}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{770.09}{\cos 328^\circ 00' 26''} = 908.002(\text{m})$$

检核:

$$S_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{-481.07}{\sin 328^\circ 00' 26''} = 908.001(\text{m})$$

$$S_{AB} = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2} = \sqrt{770.09^2 + (-481.07)^2} = 908.002(\text{m})$$

②计算 $\angle A$ 值

$$\begin{aligned}\angle A &= \arccos \left(\frac{S_{AB}^2 + b_1^2 - a_1^2}{2S_{AB}b_1} \right) \\ &= \arccos \left(\frac{980.02^2 + 565.658^2 - 487.299^2}{2 \times 908.002 \times 565.658} \right) = 28^\circ 00' 09''\end{aligned}$$

③计算 AP 边的坐标方位角

$$\begin{aligned}\alpha_{AP} &= \alpha_{AB} - \angle A \\ &= 328^\circ 00' 26'' - 28^\circ 00' 09'' = 300^\circ 00' 17''\end{aligned}$$

④计算 P 点坐标

$$\begin{aligned}X_P &= X_A + b_1 \cos \alpha_{AP} \\ &= 64374.87 + 565.658 \cos 300^\circ 00' 17'' \\ &= 64657.739(\text{m})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_P &= Y_A + b_1 \sin \alpha_{AP} \\ &= 66564.14 + 565.658 \sin 300^\circ 00' 17'' \\ &= 66074.289(\text{m})\end{aligned}$$

(2)由第二个三角形计算 P 点坐标

①计算 BC 边的坐标方位角和边长

$$\alpha_{BC} = \arctan \frac{Y_C - Y_B}{X_C - X_B} = \arctan \frac{65541.71 - 66083.07}{64512.97 - 65144.96} = 220^\circ 35' 00''$$

$$S_{BC} = \frac{\Delta X_{BC}}{\cos \alpha_{BC}} = \frac{-631.99}{\cos 220^\circ 35' 00''} = 832.156(\text{m})$$

检核:

$$S_{BC} = \frac{\Delta Y_{BC}}{\sin \alpha_{BC}} = \frac{-541.36}{\sin 220^\circ 35' 00''} = 832.155(\text{m})$$

$$S_{BC} = \sqrt{\Delta X_{BC}^2 + \Delta Y_{BC}^2} = \sqrt{(-631.99)^2 + (-541.36)^2} = 832.155(\text{m})$$

②计算 $\angle B$ 值

$$\begin{aligned}\angle B &= \arccos\left(\frac{S_{BC}^2 + b_2^2 - a_2^2}{2S_{BC}b_2}\right) \\ &= \arccos\left(\frac{832.156^2 + 487.299^2 - 551.926^2}{2 \times 832.156 \times 487.299}\right) = 39^\circ 33' 12''\end{aligned}$$

③计算 BP 边的坐标方位角

$$\begin{aligned}\alpha_{BP} &= \alpha_{BC} - \angle B \\ &= 220^\circ 35' 00'' - 39^\circ 33' 12'' = 181^\circ 01' 48''\end{aligned}$$

④计算 P 点的坐标

$$\begin{aligned}X_p &= X_B + b_2 \cos \alpha_{BP} \\ &= 65144.96 + 487.299 \times \cos 181^\circ 01' 48'' \\ &= 64657.740(\text{m}) \\ Y_p &= Y_B + b_2 \sin \alpha_{BP} \\ &= 66083.07 + 487.299 \times \sin 181^\circ 01' 48'' \\ &= 66074.310(\text{m})\end{aligned}$$

取两三角形计算的 P 点坐标的平均值:

$$\begin{aligned}X_p &= 64657.740\text{m} \\ Y_p &= 66074.300\text{m}\end{aligned}$$

以上计算方法无论是采用导线法、测角交会法还是距离交会法,在路线导线附近必须有多高级控制点。在获得起算点的坐标后,即可按常规导线或者三角计算方法计算低级控制点的坐标。

§ 2-3 工程建设中地面点的坐标换带计算

一、坐标换带计算的目的

高斯平面直角坐标系是建立于各个投影带上的,从而就产生了各相邻投影带之间点的坐标互相联系的问题,即把位于不同高斯平面直角坐标系中点的坐标换算为统一一个高斯平面直角坐标系中的坐标。然后点位之间才能进行距离、角度等有关计算。也就是通过换带计算实现不同投影带坐标系的统一。除此之外,还可以解决两点之间的距离在 6° 投影带和 3° 投影带上投影结果变形过大的问题。

1. 解决投影带坐标系的统一性

所谓投影带的统一性,是指工程建设的地面点坐标必须处于同一个坐标系中,对于高斯平面直角坐标而言,就是必须在同一个投影带上,或者说

必须处于同一个高斯投影面上。工程建设经常用到国家基础测绘已经建立的控制点,但是这些点的坐标属于各自的高斯投影带。如图 2-16a)、b)所示, M 、 N 、 O 三个地面点, M 、 O 点的坐标分别在带号为 20、21 的 6° 带中,如图 2-16c)所示,地面点 N 的坐标在带号为 40 的 3° 带中,如图 2-16d)所示。这种不同投影带的地面点的平面直角坐标不便于为工程建设所应用,因此必须进行坐标换带计算,使所需的地面点的坐标符合投影带坐标系的统一性原则。

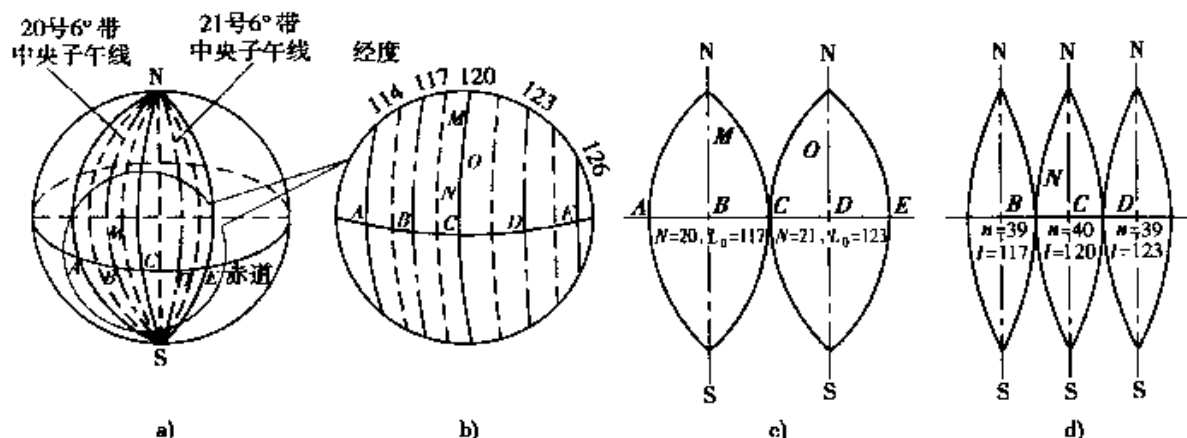


图 2-16

2. 解决投影带变形大的问题

在图 2-16b)中, M 、 N 两点投影在 20 号 6° 投影带, Y 坐标平均值为 Y_{20} 。在图 2-16c)中, M 、 N 两点可投影在 40 号 3° 带, Y 坐标平均值为 Y_{40} 。从图可见,按不同的高斯投影带的投影结果得 $|Y_{20}| > |Y_{40}|$ 。通过坐标换带计算就可解决投影变形大的问题。

二、坐标换带计算

在工程建设实践中通常有两种情况需要进行坐标换带计算:

一是当控制网中的已知点位于相邻的两个投影带上。如图 2-17 所示, M 点位于第 2 带, N 点位于第 1 带内, M 点具有西带坐标值, N 点具有东带坐标值,如果 M 和 N 点处于同一控制网上或者在同一施工区内,在进行坐标计算时就需要将它们的坐标统一于同一个坐标系中。即将 M 点坐标换算至第 1 带坐标系或者将 N 点坐标换算到第 2 带坐标系中。

二是国家控制点的坐标通常为 6° 带的坐标,而在工程测量中往往采用 3° 带或者采用 1.5° 带,这样就产生了 6° 带与 3° 带或者与 1.5° 带之间的坐标换算。

常用的坐标换带计算方法有直接换带计算和间接换带计算。直接换带计算是导出相邻两带间的平面直角坐标关系式,依据公式编制换带表,通过

查表计算得到换带后的平面直角坐标。间接换带计算是先根据第 1 带的平面直角坐标 X 、 Y 和中央子午线经度,按高斯投影反算公式求得大地坐标,即经纬度 L 、 B ,然后根据 L 、 B 和第 2 带的中央子午线经度,按高斯投影正算公式求得该点在第 2 带中的平面直角坐标。由于换带计算中,要把椭球面上的大地坐标作为过渡坐标,因此称为间接换带计算。间接换带计算其计算量较大,计算步骤繁琐,但精度高,通用性强,所以成为常用方法,对于它繁琐的计算可通过电算来实现。

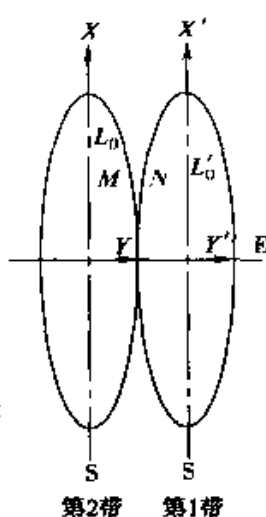


图 2-17

此处只介绍间接换带计算,直接换带计算略去。
如图 2-17 所示, N 点在第 1 带的高斯平面坐标为 (X'_n, Y'_n) , 中央子午线经度为 L'_0 , 将其换算到第 2 带的高斯平面坐标为 (X_n, Y_n) 。计算步骤如下:

1. 计算 N 点对应的底点纬度 B_f

我国从 1949 年采用克拉索夫斯基椭球面作为参考椭球面并以此为大地坐标系的基准面,并把由原苏联的坐标原点传算过来的北京地区的大地点的坐标(54 坐标系),作为我国的大地测量起算数据。克氏椭球与现今国际大地测量和物理联合会公布的地球椭球参数有较大的偏差。因此我国已经另建了 1980 年国家大地坐标系,采用“IAG—75”国际椭球,大地原点设在西安(陕西省泾阳县永乐镇)(80 坐标系)。

对于克氏椭球:

$$\begin{aligned} B_f = & 27.11115372595 + 9.02468257083(X - 3) \\ & - 0.00579740442(X - 3)^2 - 0.00043532572(X - 3)^3 \\ & + 0.00004857285(X - 3)^4 + 0.00000215727(X - 3)^5 \\ & - 0.00000019399(X - 3)^6 \end{aligned}$$

对于 IAG—75 国际椭球:

$$\begin{aligned} B_f = & 27.11162289465 + 9.02483657729(X - 3) \\ & - 0.00579850656(X - 3)^2 - 0.00043540029(X - 3)^3 \\ & + 0.00004858357(X - 3)^4 + 0.00000215769(X - 3)^5 \\ & - 0.00000019404(X - 3)^6 \end{aligned}$$

式中 X 为轴子午线上纬度等于 B 的某点至赤道的子午线弧长,以 10^3km 为单位,以 $X = X'_n$ 代入计算, B_f 的单位为度,是 $X = X'_n$ 所对应的大地纬度。

2. 根据 N 点的 Y_n' 、 B_f 及 N 点所在的投影带中央子午线的经度计算 N 点的经度 L 和纬度 B

$$B = B_f - \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\eta_f^2}{t_f} [90n^2 - 7.5(5 + 3t_f^2 + \eta_f^2 - 9\eta_f^2 t_f^2)n^4 + 0.25(61 + 90t_f^2 + 45t_f^4)n^6]$$

$$L = L_0 + \frac{1}{\pi \cos \beta_f} [180n - 30(1 + 2t_f^2 + \eta_f^2)n^3 + 1.5(5 + 28t_f^2 + 24t_f^4)n^5]$$

对于克氏椭球, 式中: $\eta_f^2 = 0.00673852541468 \cos^2 B_f$

$$t_f = \tan B_f$$

$$n = \frac{Y_n' \sqrt{1 + \eta_f^2}}{6399698.90178271}$$

对于 IAG—75 国际椭球, 式中: $\eta_f^2 = 0.00673950181947 \cos^2 B_f$

$$t_f = \tan B_f$$

$$n = \frac{Y_n' \sqrt{1 + \eta_f^2}}{6399596.65198801}$$

3. 根据 N 点的大地纬度 B 计算赤道到纬度 B 的子午弧度 x_0 之值
对于克氏椭球:

$$x_0 = 111134.8611B - (32005.7799 \sin B + 133.9238 \sin^3 B + 0.6973 \sin^5 B + 0.0039 \sin^7 B) \cos B$$

对于 IAG—75 国际椭球:

$$x_0 = 111134.0047B - (32009.8575 \sin B + 133.9602 \sin^3 B + 0.6976 \sin^5 B + 0.0039 \sin^7 B) \cos B$$

4. 根据 N 点的大地纬度 B 、经度 L 及第 2 带的中央子午线经度 L_0 计算 N 点在第 2 带的高斯平面直角坐标 (X_n, Y_n)

$$X_n = x_0 + N \cdot \tan B \left[\frac{1}{2} m^2 + \frac{1}{24} (5 - \tan^2 B + 9\eta^2 + 4\eta^4) m^4 + \frac{1}{720} (61 - 58 \tan^2 B + \tan^4 B) m^6 \right]$$

$$Y_n = N \left[m + \frac{1}{6} (1 - \tan^2 B + \eta^2) m^3 + \frac{1}{120} (5 - 18 \tan^2 B + \tan^4 B + 14\eta^2 - 58\eta^2 \tan^2 B) m^5 \right]$$

$$\text{式中: } m = \frac{(L - L_0) \pi}{180} \cos B$$

$$\text{对于克氏椭球: } N = \frac{6399698.90178271}{\sqrt{1 + \eta^2}}$$

对于 IAG—75 国际椭球: $N = \frac{6399596.65198801}{\sqrt{1 + \eta^2}}$

对于克氏椭球: $\eta^2 = 0.00673852541468 \cos^2 B$

对于 IAG—75 国际椭球: $\eta^2 = 0.00673950181947 \cos^2 B$

在工程测量中,经常会遇到 6°带与 3°带的坐标互相换带的情况。我们知道,6°带时从零度经度起,向东每 6°为一带;而 3°带是从东经 1.5°起算,向东每 3°为一带。因此有半数的 3°带(带号为奇数)的中央子午线和 6°带的中央子午线相重合,而另半数的 3°带(带号为偶数)的中央子午线和 6°带的分带子午线重合,如图 2-18 所示。对于前者,

由于中央子午线一致,所以平面坐标系也一致,点的坐标必然相同。如图中的 P_1 点,它在 6°带第 21 带的坐标与在 3°带第 41 带的坐标相同,因此在换带时不需作任何换算,只要将 Y 坐标前的带

号换一下就可以了。至于后者,如图 2-18 中 P_2 点,要将其在 6°带第 21 带的坐标换算至 3°带第 42 带的坐标。我们已经知道,6°带第 21 带的坐标即是 3°带第 41 带的坐标,所以只需将 P_2 点在 6°带第 21 带的坐标作为 3°带第 41 带的坐标,换至 3°带第 42 带的坐标即可。

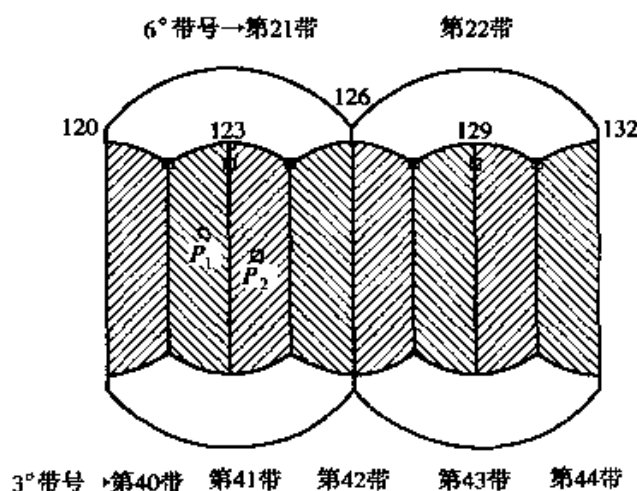


图 2-18

§ 2-4 全站仪在施工控制测量中的应用

随着我国公路建设规模的日益扩大,以及测量技术和测量仪器的快速发展,测量方法也由传统测量方法(水准仪、经纬仪和钢尺相结合的测量方式)向智能自动的测量方法(全站仪和微型计算机相结合的测量方式)过渡。全站仪就是在这种背景下迅速在工程建设中得到广泛应用的。

全站仪的全称是全站型电子速测仪,它是由光电测距仪、电子经纬仪和数据处理系统组成。它能在一个测站自动测距、测角并同时完成平距、斜距、高差、高程、坐标以及放样等方面的数据计算。

不同厂家生产的全站仪其操作方法及数据处理过程不完全相同,但是其基本原理和基本设置是一样的。

一、全站仪的安置

全站仪的测站安置基本上与经纬仪的安置相同。

(1)将三脚架安置于测站点上,使高度适合观测者,架头大致水平,其中心约在测站点的铅垂线上。

(2)从箱中取出仪器,安装在三脚架上。调整光学对中器的目镜,使分画板十字丝清晰,然后转动调焦环使测站点清晰(有的全站仪带有红外对中装置)。

(3)调整脚架,使光学对中器的十字丝交点对准测站点。

(4)伸缩三脚架架腿,使圆水准气泡居中,然后踩实脚架。

(5)用照准部水准管严格整平仪器。检查光学对中器的十字丝交点是否仍对准测站点。如果没有偏离,安置结束。

(6)当有少许偏离时,略松三脚架连接螺旋,用手轻微平移仪器(不能转动),使光学对中器十字丝交点对准测站点。

(7)再调节脚螺旋使照准部水准管严格居中。

二、全站仪的基本设置

全站仪实测仪器基本参数的设置可参照仪器使用说明书进行。以下是放样测量时需进行的通用设置。

(1)测量单位设置。

测量单位设置包括:距离单位是采用米制或者英尺,我国基本上都是采用米制;角度单位是采用 60 进制或者 10 进制;温度和气压单位设置。

(2)地球曲率和大气折光改正设置。

(3)棱镜常数设置和棱镜高设置。

(4)仪器高设置。

(5)测量结果显示方式的设置。

(6)测量数据储存方式的设置。

(7)测站点至目标点方位角设置。

(8)测站点三维坐标设置。

三、三维坐标测量

1. 仪器高的设置

在工程实践中,仪器高的设置可采用下述两种方法。

(1)利用测站点和定向点高程设置仪器高

利用全站仪在进行三维坐标测量或者进行高程放样时,需要设置仪器

高,一般教材中介绍仪器高的确定是用钢尺量取,在地形比较复杂的测站点量取仪器高时是有困难的,并且精度很难保证。其实我们可以利用测站点高程和定向点高程设置仪器高。

如图 2-19 所示,已知测站点 A 的高程 H_A 为 56.780m,定向点 B 的高程 H_B 为 105.745m,要求施测目标点 C 的高程。

设置方法如下:

①安置仪器于测站点 A ,设置仪器基本参数。

②输入测站点高程 $H_A = 56.780\text{m}$,仪器高任意假定,例如假定 $h_i' = 5\text{m}$ 。输入棱镜高 h_r 。

③转动照准部瞄准定向点 B 处的棱镜,要求棱镜严格整平,使棱镜水准盒气泡居中。按测距键,测得定向点 B 处的高程为 H_B' 。

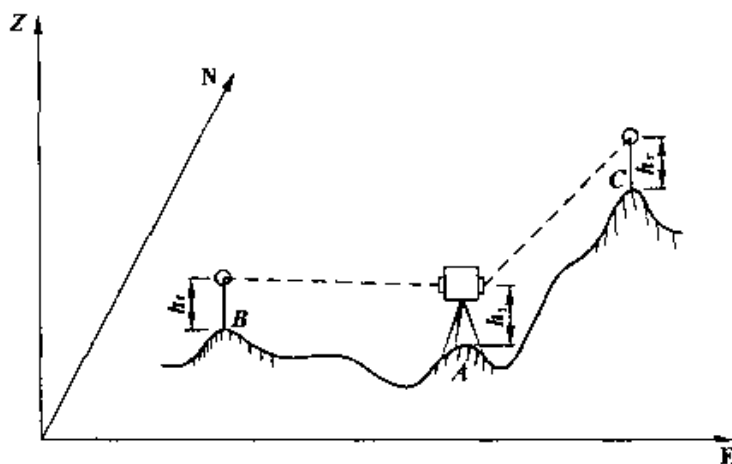


图 2-19

$$\Delta H = H_B - H_B' \text{ 则 } h_i = h_i' + \Delta H$$

④重新输入仪器高 h_i ,再瞄准 B 点,此时测得 B 点高程 H_B' 应等于 H_B ,当 $\Delta H < 1\text{mm}$ 时,仪器高设置完毕。

⑤瞄准目标点 C ,施测 C 点高程。

(2)利用两站近距离量测仪器高

在仅知道测站高程,而测站附近又没有已知高程点时,可采用此方法。如图 2-20 所示,在 A 点附近任选一点 C ,使 $CA = 4\text{m}$ 或 10m (视地形而定)。在 C 点安置仪器,整平后,瞄准测站点 A 所立棱镜,按测距键,仪器显示屏显示 Δh 值,记为 a ;保持棱镜高不变,移动棱镜至 B 点(任选地面固定标记),目测使 $BA = AC = 4\text{m}$ 或 10m (视地形而定),瞄准 B 点所立棱镜,按测距键,仪器显示屏显示 Δh 值,记为 b 。

则 AB 两点之间高差为 $h_{AB} = b - a$

搬动全站仪到测站点 A (B 点所立棱镜保持高度和位置不变),瞄准棱镜,按测距键,仪器显示屏显示 Δh 值,记为 b' 。

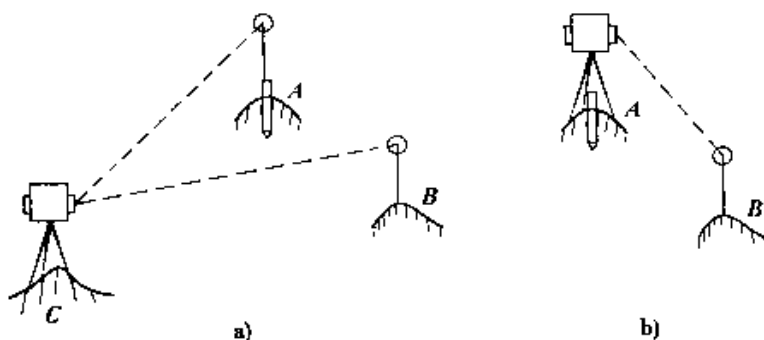


图 2-20

则仪器高 $h_i = b' + h_{AB}$ 。

2. 利用全站仪进行三维坐标测量的计算原理

如图 2-19 所示,地面上 A、B 两点的三维坐标分别为 (N_A, E_A, H_A) , (N_B, E_B, H_B) 。施测 C 点的三维坐标, A 点为测站点, B 点为定向点。

根据坐标反算公式先计算 AB 边的坐标方位角 α_{AB} 。

$$\alpha = \arctan \left| \frac{N_B - N_A}{E_B - E_A} \right| \quad \Delta E = E_B - E_A \quad \Delta N = N_B - N_A$$

$$\Delta E > 0 \quad \Delta N > 0 \quad \alpha_{AB} = \alpha$$

$$\Delta E > 0 \quad \Delta N < 0 \quad \alpha_{AB} = 180^\circ - \alpha$$

$$\Delta E < 0 \quad \Delta N < 0 \quad \alpha_{AB} = 180^\circ + \alpha$$

$$\Delta E < 0 \quad \Delta N > 0 \quad \alpha_{AB} = 360^\circ - \alpha$$

在将测站点和后视点坐标输入仪器后,仪器能自动计算。在瞄准后视点 B 后,通过键盘操作,能将水平度盘读数设置为计算出的该方向的坐标方位角,即 N 方向的水平度盘读数为 0° 。此时仪器的水平度盘读数就与坐标方位角值相一致。当仪器瞄准 C 点,显示的水平角就是测站至 C 点的坐标方位角值。测出测站点至 C 点的距离后, C 点的坐标即可按下列公式计算:

$$N_C = N_A + S \sin Z \cos \alpha$$

$$E_C = E_A + S \sin Z \sin \alpha$$

$$Z_C = Z_A + S \cos Z + h_i - h_r$$

式中: N_A, E_A, Z_A ——测站坐标;

N_C, E_C, Z_C ——测点坐标;

S ——测站点至测点的斜距;

Z ——棱镜中心的天顶距;

α ——测站点至测点方向的坐标方位角;

h_i ——仪器高;

h_r ——目标高(棱镜高)。

实际上上述计算是由全站仪机内软件自动完成的,通过操作键盘即可直接得到测点坐标。

3. 实测方法

实际测量时,需要设置测量模式和棱镜常数,输入仪器高、棱镜高,测站点、后视点坐标或已知方向坐标方位角。不同型号的全站仪其设置方法是不一样的,使用前应详细阅读仪器使用说明书。下面以徕卡 TC1610 全站仪为例说明其三维坐标测量方法(不同形式的全站仪其操作方法不尽相同,可参照其仪器说明书进行)。

(1)如图 2-19 所示,选择 A 为测站点安置仪器,在测点上安置棱镜,按照前述方法设置仪器高 h_i 和棱镜高 h_r 。

(2)开机后,将坐标元素 E 、 N 、 H 设置为在同一显示屏显示。按 DSP、3、2 键设置显示元素 E 、 N 、 H ,再按 DSP、4 键设置屏幕显示次序。

(3)瞄准定向点 B,按 MENU、1、1 键,用数字键输入测站点到定向点的坐标方位角,按 ENTR 键确认,并返回测量模式。

(4)输入测站点坐标。按 MENU、1、2 键,用数字键输入测站点横坐标 E_A 值,按 ENTR 键,再用数字键输入测站点纵坐标 N_A 值,按 ENTR 键,再按 CONT 键确认并返回测量模式。

(5)按 MENU、1、3 键,用数字键输入测站点高程 H_A 值,按 ENTR 键,再用数字键输入仪器高 h_i 值,按 ENTR 键,再按 CONT 键确认并返回测量模式。

(6)按 MENU、1、4 键,用数字键输入棱镜高 h_r 值,按 ENTR 键确认并返回测量模式。

(7)按 MENU、1、6、2 键和 MENU、1、6、3 键输入气象数据和棱镜常数。

(8)瞄准测点,按 DIST 键,数秒后显示屏显示测点坐标。

(9)将棱镜移至下一个测点上,如果棱镜高、气象数据和棱镜常数没有变化,则按 DIST 键测取测点坐标,如果有变化,应先输入新值,再按 DIST 键测取测点坐标。

§ 2-5 坐标型导线的实测和近似平差计算方法

目前,全站仪在公路工程测量中已广泛应用,具有坐标测量功能,可以直接测定测点的坐标值。在进行成果处理时,可直接对观测点的观测坐标

值进行近似平差计算。

如图 2-21 所示附和导线，用全站仪进行观测。观测时，先置仪器于 B ，以 A 作为定向点观测 2 点坐标，再将仪器置于 2 点，观测 3 点坐标，如此依次观测，最后得到 C 点坐标观测值。设 C 点的坐标观测值为 X'_C 、 Y'_C ，与其已知坐标值 X_C 、 Y_C 相比较，则纵横坐标闭合差 f_x 、 f_y 分别为：

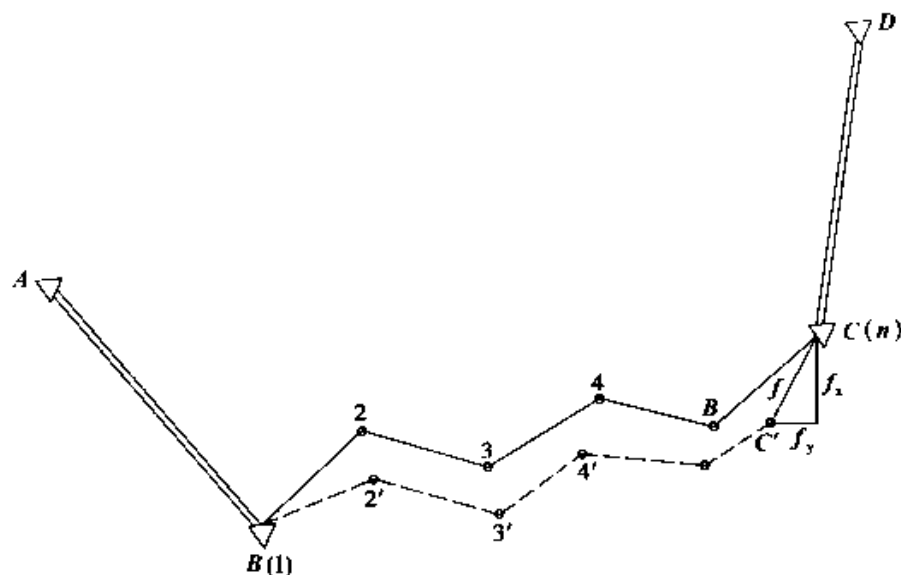


图 2-21

$$f_x = X'_C - X_C$$

$$f_y = Y'_C - Y_C$$

同样可以算出导线全长闭合差 f_D ：

$$f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

导线全长相对闭合差 K ：

$$K = \frac{1}{\sum D/f}$$

式中 $\sum D$ 为导线全长，在观测各点坐标时可以同时得到。

当导线全长相对闭合差不大于规范规定的该等级导线全长相对闭合差容许值时，即可按下式计算各点坐标的改正数：

$$v_{xi} = - \frac{f_x}{\sum D} \cdot (D_1 + D_2 + \cdots D_{i-1})$$

$$v_{yi} = - \frac{f_y}{\sum D} \cdot (D_1 + D_2 + \cdots D_{i-1})$$

式中： $\sum D$ ——导线各边长(包含连接边、不包含高级边)之代数和；

D_i ——第 i 点之前导线边长。

改正后各点坐标为:

$$X_i = X_i' + v_{xi}$$

$$Y_i = Y_i' + v_{yi}$$

式中 X_i' 、 Y_i' 为第 i 点的坐标观测值。

由于用全站仪测量可以同时测算导线点的坐标和高程,因此高程的计算可与坐标的计算一并进行。高程闭合差为:

$$f_H = H_C' - H_C$$

式中 H_C' —— C 点的高程观测值;

H_C —— C 点已知高程。

各导线点的高程改正数为:

$$v_{Hi} = - \frac{f_H}{\sum D} \cdot D_i$$

改正后各点的高程为:

$$H_i = H_i' + v_{Hi}$$

式中 H_i' 为第 i 点的高程观测值。

以坐标为观测值的近似平差计算见表 2-7。

第3章 路线中线恢复放样测量

§ 3-1 概 述

放样点的平面位置和高程的确定是依据公路勘测设计阶段所建立的平面控制点的平面位置和高程控制点的高程来确定的。所以进行上述桩点放样以前应首先检核控制点的精度,并建立控制点与放样点之间的几何联系,从而确定放样点的放样数据。

任何一类的建筑物、构筑物设计完成之后,就要按照设计图纸及相应的技术说明进行施工。设计图纸中主要点位及其相互关系表示建筑物、构筑物的位置、形状和大小。施工放样的目的就是把设计图纸上的点位测定到实地并标定出来,作为施工的依据。这些经过施工测量在实地表示出来的点位称为“放样点”。对于公路工程而言,放样点是指标定路线平面位置的路线中心线上的中心桩,路基中心施工桩、路基边缘施工桩、路堤坡脚填筑位置桩和路堑坡顶开挖位置桩、路面中心桩、路面边缘桩等桩点的平面位置和高程。

一般公路工程的施工放样分为四个阶段:第一阶段是施工以前,施工现场和设计图纸、设计相关说明的熟悉了解阶段;第二阶段是施工点位的测量放样阶段;第三阶段是施工过程中,施工点位的检查阶段;第四阶段是施工完成后的质量验收阶段。为保证各阶段施工放样的顺利进行,应首先作好下列工作。

一、施工放样测量的精度

施工放样测量的精度取决于公路等级和设计要求以及施工控制测量精度。施工放样测量的精度最终体现在施工点的精度上。测量时应从工程的设计和施工的精度需要出发,确定与之相匹配的测量技术相应的精度等级,确定满足精度要求的施工放样测量方案,使实地放样点的精度满足施工的需要。

二、施工放样测量的工作原则

施工放样测量工作必须遵循测量工作的基本原则,即“等级、整体、控

制、检验”四项基本原则。

等级原则是指实施测量时根据公路等级要求应满足的平面控制测量和高程控制测量精度。等级的规定是施工控制测量技术工作成果质量的标准。若不满足精度要求,就会出现放样点的实地点位与设计点位的出入。

整体原则是指兼顾工程的全局性和技术要求的完整性。施工控制测量作为施工放样测量的工作基础,必须从整体原则出发,尽量实现多用性和有效性。多用性即施工控制测量应满足工程设计及其施工放样测量所确定的要求,尽量避免重复控制测量。有效性即施工控制测量所建立的控制点点位应明显、无损、可靠,便于应用,点位参数准确,符合应用要求。

随着我国基本建设规模不断扩大,要求工程具有高速度、高精度、高质量,做好施工控制测量这一工程前期工作,是高速度、高精度、高质量的重要保证之一。

三、施工放样测量工作的基本要求

1. 紧密结合施工

为紧密结合施工的需要,测量技术人员应做好下列工作:

- (1)熟悉设计图纸,理解有关图纸的设计思路。
- (2)检查图纸,核实图纸的有关数据,做好施工测量的数据准备。
- (3)了解施工工作计划和安排,协调测量和施工进度的关系,落实施工测量工艺。

2. 熟悉施工现场

施工测量技术人员熟悉现场是搞好放样工作的基本条件。

(1)核查并检测有关的控制点在实地的位置,并和设计资料中的点之记相对照,确认点位准确可靠。若原控制点点位丢失,应按照原控制等级进行恢复,并满足精度要求。

(2)了解施工现场的地貌形态和地物分布情况。

(3)做好控制点的复测工作。

3. 加强测量标志的管理、保护,注意受损测量标志的恢复。测量标志包括控制点标志和放样点标志。

§ 3-2 路线中线恢复测量中涉及到的基本放样工作

在公路中线恢复测量中涉及到的基本测量放样工作主要包括距离放样、角度放样、高程放样、坐标放样四类基本放样测量工作。由于全站仪在公路工程中的广泛应用,所以在本书介绍的测量放样工作基本都是利用全

站仪进行的。

一、距离放样

如图 3-1 所示,已知直线 AB 在实地上的方向即方位角和 A 点在地面上的位置以及 AB 两点之间的距离 D_{AB} ,确定 B 点在地面上的位置。

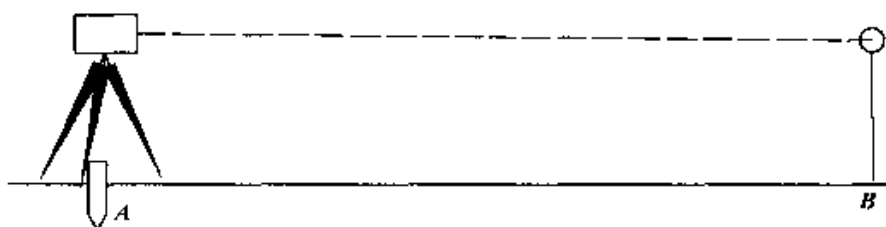


图 3-1

安置全站仪于 A 点,转动照准部瞄准 AB 直线方向,沿此方向线立棱镜,观测者指挥持镜者前后左右移动,将棱镜安置于 AB 直线方向上,假定初次立镜于 B' ,施测 AB' 两点之间的距离 D'_{AB} 。

$$\Delta = D_{AB} - D'_{AB}$$

观测者指挥持镜者前后移动(指挥持镜者“移近”或“移远”)使 $\Delta = 0$,此时棱镜位置即为 B 点在地面上的实际位置。

二、角度放样

如图 3-2 所示, O 、 A 点为已定点, OB 为待定方向。已知 OA 与待定方向 OB 的夹角 $\angle AOB$,确定待定方向 OB 。

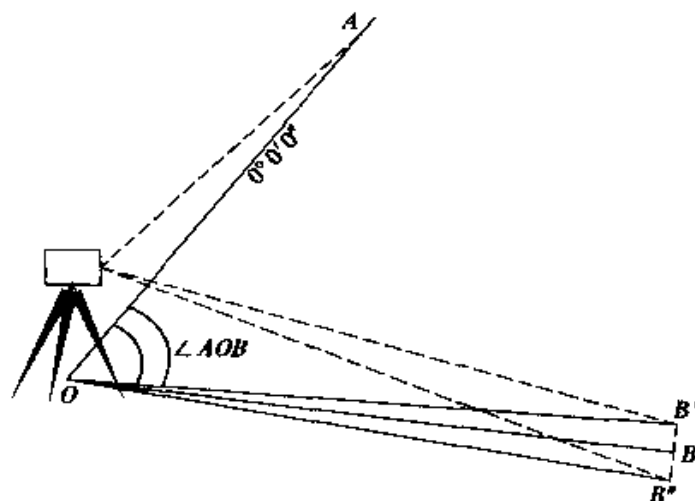


图 3-2

选择 O 点为测站点,置全站仪于盘左位置,后视 A 点,配置水平度盘读数为 $0^{\circ}00'00''$,判断待定边 OB 是在 OA 边的左侧还是在 OA 边的右侧。若在 OA 边的右侧应顺时针转动照准部拨角 $\angle AOB$ 得盘左放样点 B' ,若在

OA 边的左侧应逆时针转动照准部拨角 $\angle AOB$ 得盘左放样点 B' ; 按同样的方法, 可得盘右放样点 B'' , 取 $B'B''$ 的中点 B 即 OB 方向为最终放样成果。最后, 再实测角度 AOB 进行校核。

三、高程放样

高程放样和高程测量的不同点是高程测量是已知后视点高程, 通过施测已知后视高程点和前视未知高程点两点之间的高差来计算未知高程点的高程, 施测时分别在这两点立水准尺, 两点之间安置水准仪读取后视读数和前视读数, 利用这两个读数计算这两点高差; 而高程放样是已知两点高程和这两点在地面上的平面位置及一个已知高程点的高程面, 要确定另一个高程点所在的高程面, 施测时先计算水准仪在放样高程点所立水准尺的读数, 利用这个读数来确定水准尺底部所在的高程面。其施测的思路正好是互逆的。

进行高程放样时, 可利用水准仪或全站仪进行。

1. 利用水准仪进行高程放样

水准仪放样高程适用于放样点所处的地势比较平坦, 相对高差不大的情况。

如图 3-3a) 所示, 已知水准点 BM 的高程为 H_{BM} , 路基顶面 B 点的设计标高为 H_B , 试在木杆上标定高程为 H_B 的位置。

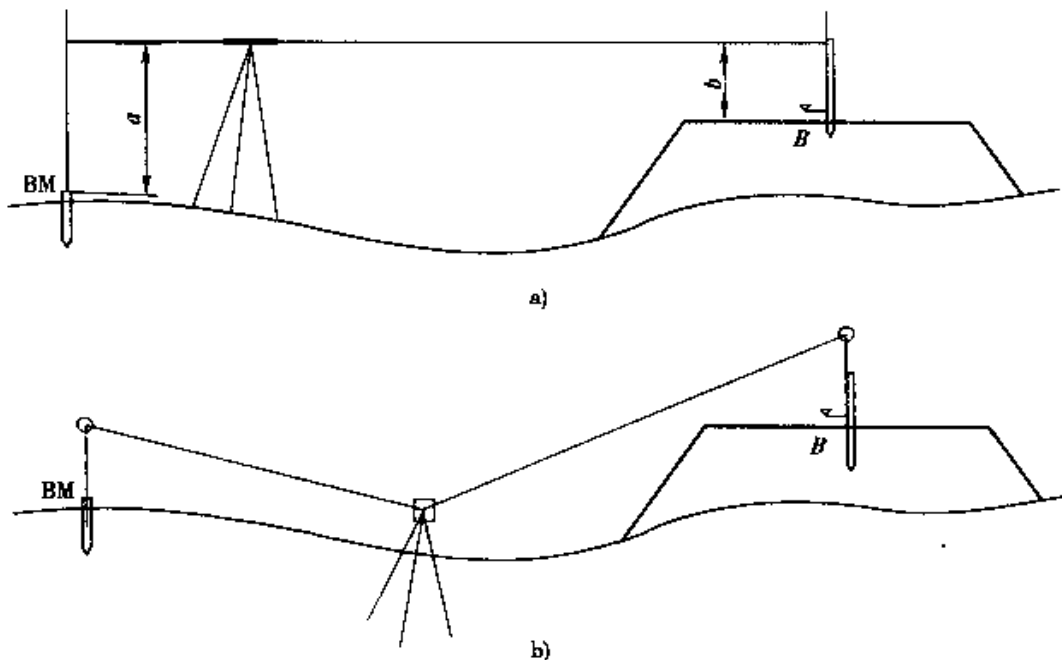


图 3-3

安置水准仪于 BM 和 B 两点之间, 在 BM 和 B 两点立水准尺, 后视 BM 点所立水准尺读数为 a , 计算在 B 点所立水准尺底面高程恰为 H_B 时所对

应的水准尺读数 b 。

$$b = a - (H_B - H_{BM}) \quad (3-1)$$

在 B 点钉设一木杆,让水准尺紧贴木杆,保持水准尺铅垂上下移动,当读数为 b 时,该水准尺底面所对应的位置即为高程为 H_B 的位置。

2. 利用全站仪进行高程放样

利用全站仪进行高程放样适用于相对高差较大的地形。

如图 3-3b)所示,已知水准点 BM 的高程为 H_{BM} , B 点的设计高程为 H_B ,要求放样 B 点所在的高程面。

由已知条件可知,水准点与放样点 B 之间的高差为:

$$\Delta h = H_B - H_{BM}$$

第一步:选择地势较高点,并能与水准点和放样点通视的位置安置全站仪,利用第二章第四节所介绍的方法设置仪器高,输入棱镜常数和棱镜高。

第二步:瞄准水准点所立棱镜,按测距键,显示屏显示测站点与水准点之间的高差 Δh_1 ,则仪器中心点高程为:

$$H_i = H_{BM} - \Delta h_1$$

第三步:保持棱镜高不变,将棱镜从水准点移到 B 点,瞄准 B 点所立棱镜,高差读数 Δh_2 应为:

$$\Delta h_2 = H_B - H_i$$

上下移动棱镜,当高差读数为 Δh_2 时,棱镜底端位置即为放样点 B 所在的高程面。

四、坐标放样

由于全站仪的型号不同,其操作方法有一定的区别,我们仅以徕卡 TC 1610 全站仪为例说明坐标放样的方法,对于其他型号的全站仪可参照其说明书进行操作。

1. 坐标放样的基本原理

如图 3-4 所示,已知 A 、 B 、 C 三点坐标为 (X_A, Y_A) 、 (X_B, Y_B) 、 (X_C, Y_C) ,其中 A 、 B 两点在地面上的位置已确定, C 点的地面位置为待定。 A 点为测站点, B 点为后视点, C 点为放样点。安置全站仪于 A 点,后视 B 点,计算 AB 直线的坐标方位角 α_{AB} :

$$\alpha = \arctan \frac{|Y_B - Y_A|}{|X_B - X_A|} \quad (3-2)$$

$$\Delta Y = Y_B - Y_A$$

$$\Delta X = X_B - X_A$$

$$\Delta X > 0 \text{ and } \Delta Y > 0 \quad \alpha_{AB} = \alpha$$

$$\Delta X > 0 \text{ and } \Delta Y < 0 \quad \alpha_{AB} = 360^\circ - \alpha$$

$$\Delta X < 0 \text{ and } \Delta Y < 0 \quad \alpha_{AB} = 180^\circ + \alpha$$

$$\Delta X < 0 \text{ and } \Delta Y > 0 \quad \alpha_{AB} = 180^\circ - \alpha$$

同理可计算 AC 直线坐标方位角

α_{AC}

则: $\angle BAC = \alpha_{AC} - \alpha_{AB}$

$$D_{AC} = \sqrt{\Delta Y_{AC}^2 + \Delta X_{AC}^2}$$

输入后视方向 AB 的坐标方位角和放样点 P 的坐标后,仪器自动计算并显示放样的角度 $\angle BAC$ 和放样的距离 D_{AC} 、高差。

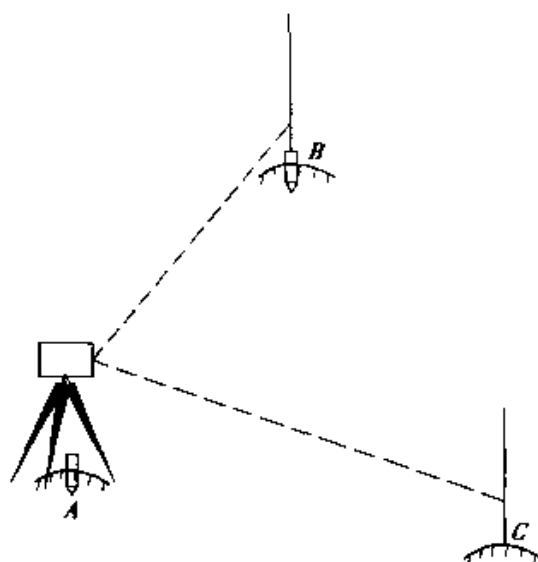


图 3-4

2. 坐标放样以前的基本设置工作

- (1) 测量模式的选择和棱镜常数的设置。
- (2) 仪器高和目标高的输入。
- (3) 测站点坐标和高程的输入。
- (4) 已知测站点至定向点坐标方位角的设置,或者输入定向点的坐标。
- (5) 大气改正数的输入。

之后即可进行坐标放样。

3. 坐标放样基本操作步骤(图 3-5)

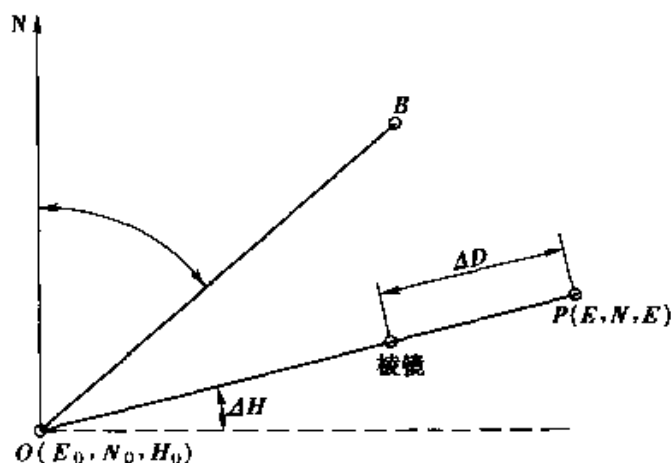


图 3-5

(1) 安置仪器于测站点 O 点,进行对中、整平等基本操作,对仪器进行基本设置,包括棱镜常数、仪器高、棱镜高、角度单位、距离单位、显示格式、测站坐标。

(2) 按 PROG 键调用仪器内部点位放样程序 SETTING OUT; 屏幕显示:

```

PROG:
> Coord. Input 1
Set Station 2
Orientation 3

```

调用此程序的方法有两种：

①输入用行号末尾给出的号码直接调用。

②用↑键或者↓键使箭头指向所要的程序行,并按 CONT 键确认即可,确认后显示屏显示:

```

^
v SETTING OUT
Eo: 123.000
No: 456.000
→Ho: 401.000

```

(3)检查输入的测站点坐标,在放样状态只能对前面设置的测站坐标、仪器高、棱镜高等参数进行检核,不能修改。如检查发现参数输入错误,可退出放样程序回到基本测量模式重新输入,检查无误确认后按 CONT 键显示:

```

^
v SETTING OUT
→PrNr: 91
hr: 2.200
offs:0.000

```

(4)按↓键使箭头指在 h_r 行,如果目标高(棱镜高)为 2.2m,则按↓键使箭头指在 offs 行。否则用数字键输入棱镜高 h_r 值,按 ENTR 键,使箭头指向 offs 行。

(5)offs 值为竖直方向偏距,输入“0”,按 ENTR 键(如果 offs 值已经等于零,可按↓键,显示屏显示:

```

^
SETTING OUT
hr: 2.200
→offs: 0.000
Get CORD > Modul

```

(6)由于采用键盘输入按←键或者→键,使显示 Keyb,按 CONT 键确认并显示:

V	SETTING OUT
E:	...
N:	...
→H:	...

(7)输入放样点的坐标。设放样点坐标为： $E = 223$, $N = 666$, $H = 408$ 。用数字键输入 223,按 ENTR 键。用数字键输入 666,按 ENTR 键确认。用数字键输入 408,按 ENTR 键确认。检查无误后,按 CONT 键确认后显示屏显示:

SETTING OUT 1
PtNr: 91
ΔHZ : -4.3310
ΔD :

(8)松开水平制动螺旋,转动仪器照准部,使“ ΔHZ ”的值接近于 0° ,然后水平制动,再调节水平微动螺旋使“ ΔHZ ”的值等于 $0^\circ 0' 0''$ 。

(9)保持望远镜视线水平方向不变,指挥持棱镜者将棱镜置于此水平方向上,并且使棱镜至测站的距离大致等于放样点的距离。按 DIST 键,显示屏显示:

SETTING OUT 1
PtNr: 91
ΔHZ : 0.000
ΔD : 2.966

(10)沿此视线方向“向远”移动棱镜(ΔD 为正值,“向远”移动棱镜; ΔD 为负值,“向近”移动棱镜),直至 ΔD 等于 0。此时立棱镜点即为放样点的平面位置。

(11)按 DSP 键显示屏显示:

SETTING OUT 1
PtNr: 91
ΔH : 0.870
H: 407.130

(12)保持放样点的平面位置不变,钉设标志,在标志上上下下移动棱镜(ΔH 为正,向上移动棱镜; ΔH 为负,向下移动棱镜),使测出的 ΔH 等于 0,此时 H 等于 408m(本例),最后定出放样点。

§ 3-3 低等级公路路线导线恢复测量

一、路线导线恢复测量的主要任务

低等级公路在勘测阶段通常采用实地定线的方法来确定路线导线,路线导线的位置一旦确定,组成公路中心线的直线段的位置也就确定了。曲线段的位置由平面线形设计时所采用的曲线要素确定。因此低等级公路在恢复中线时一般是先恢复路线导线。路线导线在实地上的位置是由路线导线的交点和传递直线方向的转点决定的。所以路线导线的恢复就是交点和转点的恢复,从这个意义上讲,路线导线恢复测量的主要任务是交点和转点的恢复。

路线导线恢复的依据是路线平面图和设计文件中的点的标记和固定桩等有关资料。路线导线恢复的具体工作就是根据设计文件提供的点的标记和栓桩的资料,找寻路线导线交、转点的位置。由于从勘测设计到施工,相距的时间可能较长,在这期间,部分交点、转点可能丢失,对于这种情况,可根据丢失的交、转点与前后邻近的交点或转点的位置关系通过测量进行恢复。路线导线的恢复可从路线的起点开始,也可按标段分段进行恢复,分段恢复时要和邻近的交点或者转点进行附合。恢复测量以前应根据设计文件提供的路线平面设计资料,从路线起点开始逐点核查路线起点桩、交点桩、转点桩在实地的位置,并绘制草图以供后续测量放样备查。

二、路线导线交点和转点桩的恢复

图 3-6 和图 3-7 所示为路线导线控制点的标记和栓桩的资料,根据点的标记所描绘的交点或转点与周围邻近地物的相关关系和栓桩的资料所记录的有关数据,到实地查寻交点或转点的位置。

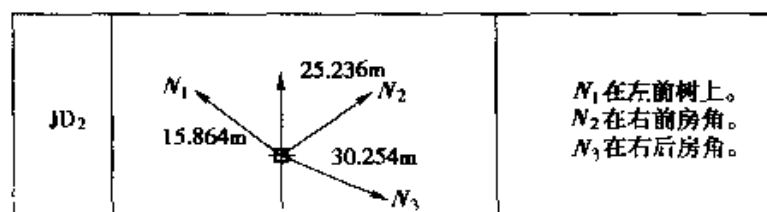


图 3-6

查寻时由设计单位派出设计代表带领测量技术人员到实地找寻交点桩和转点桩在实地的位置。例如先找到 JD₂ 的栓桩标记 N_1 、 N_2 、 N_3 , 分别将尺零点置于各标记处, 以已知距离为半径在地面上画弧线, 各弧线的交点位

置,即为 JD_2 的大致位置,在此位置仔细寻找,即可快速找到 JD_2 。对于在实地找不到的交点桩或转点桩,如果数量较多,可采用下列方法进行恢复。

图 3-8 所示为路线平面图上路线导线和路中线的局部,假定 JD_1 和 ZD_2 在实地上的位置丢失,使用全站仪进行恢复。方法如下:

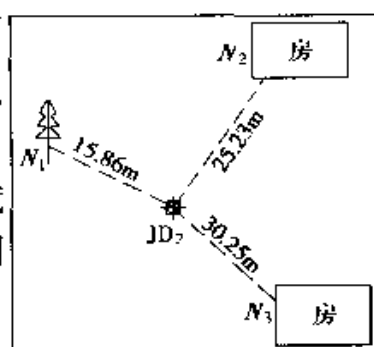


图 3-7

如图 3-9 所示,使用正倒镜分中法恢复 JD_1 。

(1)选择 ZD_1 为测站点安置全站仪。

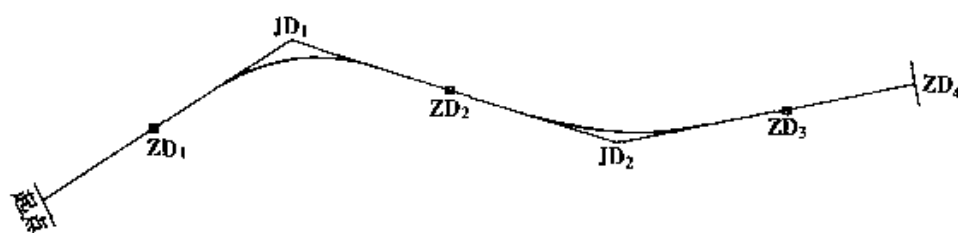


图 3-8

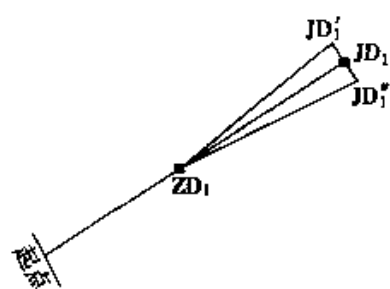


图 3-9

(2)置仪器于盘左位置,后视起点,水平制动仪器。

(3)从设计图纸上查取 ZD_1 至 JD_1 的距离 D ($D = JD_1$ 桩号 - ZD_1 桩号)。

(4)倒转望远镜延长直线,沿此直线方向立棱镜,施测测站点至立镜点的距离 D' 。

$$\Delta = D - D'$$

若 $\Delta > 0$,沿直线方向背向仪器移动棱镜,称为“移远”,重新测量测站点至立镜点的距离,直至 $\Delta = 0$ 。

若 $\Delta < 0$,沿直线方向朝向仪器移动棱镜,称为“移近”,重新测量测站点至立镜点的距离,直至 $\Delta = 0$ 。

这样得到盘左方向点 JD_1' 。

(5)置仪器于盘右位置重复第 4 步,重新放样 JD_1 位置,得 JD_1'' 。

如图 3-9 所示,取 JD_1' 和 JD_1'' 中点即为 JD_1 在实地上的位置,设立标志加以固定。

恢复 ZD_2 。

如图 3-10 所示, ZD_2 在实地上的位置丢失, JD_1 和 JD_2 之间不通视,采用拨角放线法恢复 ZD_2 。方法如下:

(1)安置全站仪于 JD_1 ,置仪器于盘左位置,后视 ZD_1 ,水平制动仪器。

(2)从路线平面图的直曲转角表上查取 JD_1 的转角 α 及 ZD_2 的桩号,则 JD_1 至 ZD_2 距离 $D = ZD_2$ 桩号 - JD_1 的圆直(缓直)桩号 + JD_1 的切线长。

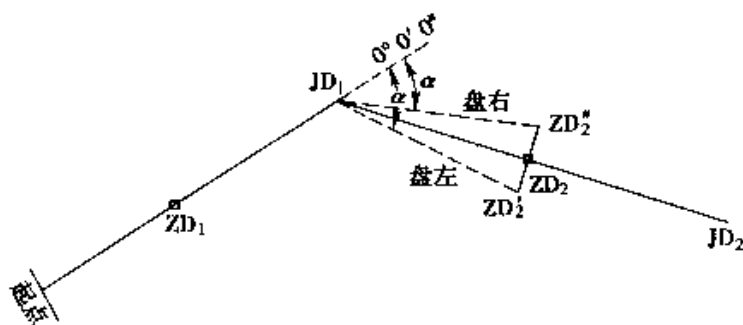


图 3-10

(3)倒转望远镜,设置水平度盘读数为 $0^{\circ}0'0''$ (一般全站仪上水平度盘读数用“ZA”表示)。

(4)松开水平制动,顺时针转动照准部,使水平度盘读数为 JD_1 的转角 α 。

(5)沿此方向线立棱镜,同时施测测站点至立镜点距离 D' , $\Delta = D - D'$,前后移动棱镜直至 $\Delta = 0$,此放样点为 ZD_2' 。

(6)置仪器于盘右位置,采用上述同样方法放出 ZD_2'' ,取 ZD_2' 和 ZD_2'' 的中点为最后放样点 ZD_2 在实地的位置,设立标志加以固定。

需要说明的是,在拨角 α 时,如果路线在交点处右转,顺时针转动照准部当水平度盘读数等于 α 时,此方向即为放样方向;如果路线在交点处左转,应逆时针转动照准部,当水平度盘读数为 $360^{\circ} - \alpha$ 时,此方向即为放样方向。

交点桩和转点桩在实地恢复完成后,还应实测各交点转角和路线导线各段长度。实测结果和设计文件提供的数据相比较,如果有出入,应由主管部门协调设计单位和施工单位找出原因,加以确认。

三、路线导线交点桩和转点桩的固定

在施工过程中,随着路基施工高度的不断变化,中线位置施工桩需要不断地放样。路线导线方向上的交点桩和中线方向上的转点桩是中线位置桩的测设依据,在施工过程中,这些桩点会被掩埋或者被挖掉,因此需要对其进行固定,以便在施工时能很快利用它们恢复中线桩点的点位。固定方法如下:

(1)交点桩的固定

如图 3-11 所示,交点 JD_1 在实地上的位置测定以后,需要加以固定。在 JD_1 的前后两条导线的延长线上,分别设置 N_1 、 N_2 和 M_1 、 M_2 等四个栓桩,将全站仪安置于交点,测定这 4 个点相互之间的距离 Dn_1 、 Dn_2 、 Dm_1 、 Dm_2 。在施工时若 JD_1 的位置被破坏,可将全站仪安置在 M_1 点,利用 N_1 和 N_2 点

进行复核。上述四个桩桩应设置在路基施工影响范围以外宜保存的地方。

(2)转点桩的固定

如图 3-12 所示, ZD_1 、 ZD_2 、 ZD_3 为已经在实地标定的路线导线转点, 利用它们可以随时恢复直线段上施工控制桩。为避免被破坏应加以固定, 可采用两种方法: 第一种:

ZD_1 固定时, 在 ZD_1 安置全站仪后视 ZD_2 , 向路线左侧拨 90° 设置桩桩 N_1 、 N_2 , 同时测定它们之间的距离 d_1 、 d_2 ; 向路线右侧拨角 90° 设置桩桩 N_3 、 N_4 , 同时测定它们之间的距离 d_3 、 d_4 。恢复时利用全站仪安置在 N_1 , 利用 N_4 定向测设 ZD_1 。第二种: ZD_2 固定, 如果在 ZD_2 的右侧不便设置桩桩, 可在 ZD_2 的左侧设置两个桩桩, 如图 3-5 所示的 M_1 、 M_2 。设置方法为: 在 ZD_2 的左侧施工影响范围以外设置 M_1 和 M_2 点, 把 M_1 作为测站点, M_2 为定向点, 施测 α_1 和 M_1 至 ZD_2 的距离 d_1 ; 再把 M_2 作为测站点, M_1 作为定向点施测 α_2 和 M_2 至 ZD_2 的距离 d_2 。恢复时, 安置全站仪于 M_1 点后视 M_2 , 拨角 α_1 , 量距 d_1 得放样点 ZD_2 ; 再将仪器安置于 M_2 , 用同样的方法进行校核。

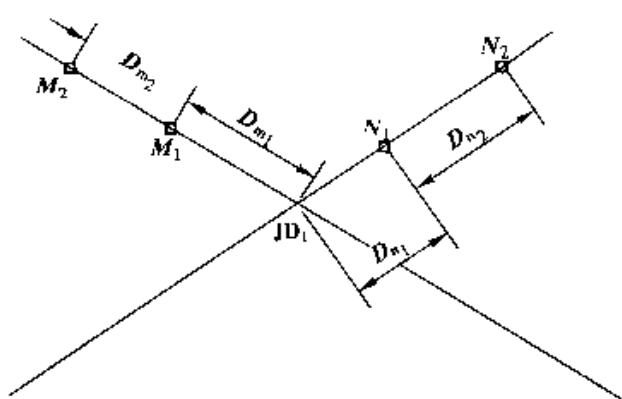


图 3-11

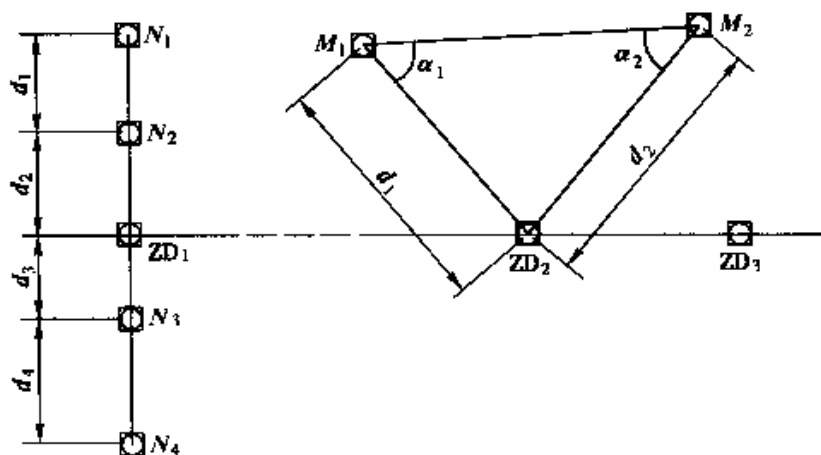


图 3-12

固定后, 绘制草图以供随时恢复查寻。

§ 3-4 低等级公路路线中线恢复测量

一、路线中线恢复测量的主要任务

路线中线恢复测量的任务是根据设计文件提供的路线平面图和路线中

线逐桩坐标、点的标记、固定桩以及已经恢复的交点桩和转点桩等有关资料,按照施工要求的加桩密度,在实地测定设计的公路中线施工控制桩的位置,作为路基施工的依据。

二、低等级公路路线中线恢复测量的方法

在进行公路中线勘测设计时,根据公路的等级不同,设计文件提供的设计资料是不一样的。对于高等级公路如高速公路、一级路和部分二级路,设计文件中包括路线中线逐桩坐标表,可用坐标法进行放样;对于低等级公路,设计文件中没有路线中线逐桩坐标表,可利用路线导线上的控制点如转点和交点通过距离和角度的放样进行直线段测设,对于曲线段可以建立局部计算坐标系,计算曲线段上各施工控制桩的坐标,利用坐标法进行放样。因此进行中线放线时,根据设计资料不同,所采用的放样方法也是不一样的。但是坐标法已经成为目前放样的基本方法。

1. 低等级公路的中线恢复测量的资料

对于低等级公路,公路平面设计文件和资料主要包括:①路线平面图;②路线交点和转点固定桩资料;③路线交点和转点的标记;④计算各曲线段施工控制桩在局部坐标系中的坐标。

2. 中线上直线段施工控制桩的恢复

恢复施工控制桩根据已经标定在实地上的交点桩和转点桩的位置和桩号,可分段进行恢复,按照施工要求确定加桩桩距,先恢复中线直线段,再恢复中线曲线段,曲线段先测设主点桩,再按桩距测设加桩。

如图 3-13 所示, ZD_1 、 ZD_2 为某一段路线导线上相邻的两个路线导线控制桩,要求放出 ZD_1 、 ZD_2 之间桩号为 10m 整数倍的中线施工控制桩。测设方法如下:

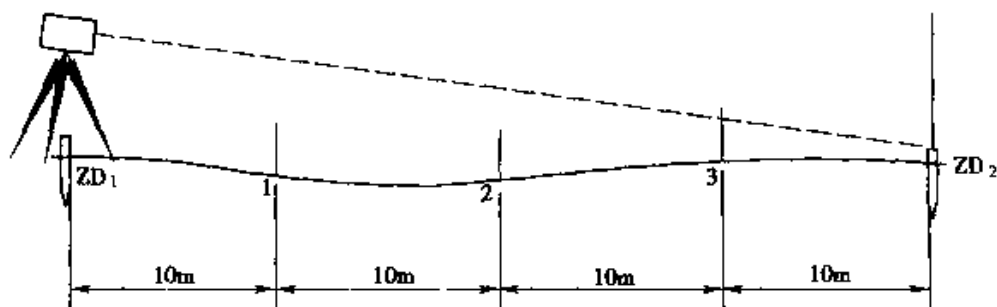


图 3-13

安置全站仪于 ZD_1 瞄准 ZD_2 , 水平制动, 计算放样点距 ZD_1 的水平距离 (桩号差), 沿此方向线每隔 10m 立棱镜, 观测者指挥立镜者前后左右移动棱镜, 使棱镜处于望远镜的视线方向上, 同时按距离放样方法使测站点至放样点的距离等于其桩号差。按此方法每隔 10m 设桩。

3. 曲线段施工控制桩的恢复

对于低等级公路由于平面线形标准低,所以在交点处的平曲线线形在受地形限制时,平曲线的线形形式较多。在采用坐标法放样时,曲线上施工控制桩的坐标计算有不同的特点,现分述如下。

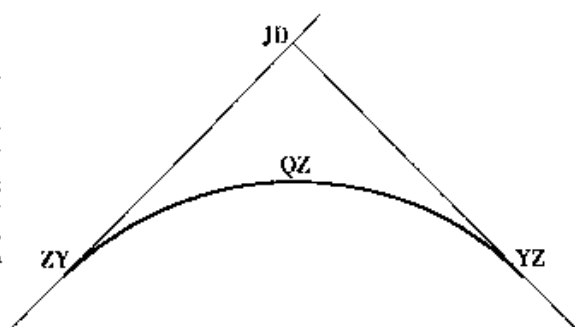


图 3-14 单圆曲线

(1) 低等级公路平曲线的主要类型

①单交点平曲线 包括单圆曲线(图 3-14)、对称式带缓和曲线的圆曲线(图 3-15)和非对称式带缓和曲线的圆曲线(图 3-16)。

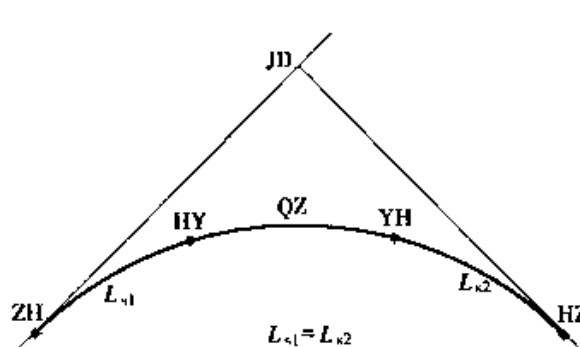


图 3-15 对称式带有缓和曲线的单圆曲线

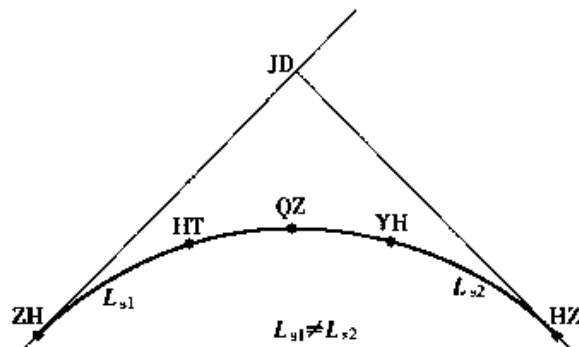


图 3-16 非对称式带有缓和曲线的单圆曲线

②虚交点平曲线 虚交点平曲线的类型和单交点一样,但计算时应注意虚交点的形式。常见的虚交点包括两点虚交、三点虚交、四点虚交等,如图 3-17a)、b)、c)所示。

在图 3-17a), 中 JD_A 和 JD_B 的转向与实际交点的转向相同, $\alpha = \alpha_A + \alpha_B$; 在图 3-17b)中, JD_A 、 JD_B 和 JD_C 三个虚交点的转向和实际交点的转向相同, $\alpha = \alpha_A + \alpha_B + \alpha_C$; 在图 3-17c)中, JD_A 、 JD_C 和 JD_D 三个虚交点的转向与实际交点的转向相同, JD_B 的转向与实际交点的转向相反, $\alpha = \alpha_A - \alpha_B + \alpha_C + \alpha_D$ 。在复核总转角时应注意各虚交点与实际交点的转向。

③复曲线 复曲线包括两种:一种如图 3-18a)所示,主曲线和副曲线之间没有缓和曲线段;一种如图 3-18b)所示,主曲线和副曲线之间带有缓和曲线段。

④凸曲线 如图 3-19 所示,凸曲线是由两段缓和曲线段直接对接,在两段缓和曲线之间没有圆曲线段。

⑤回头曲线 回头曲线有三种基本形式:圆心角小于 180° 的小头线、圆

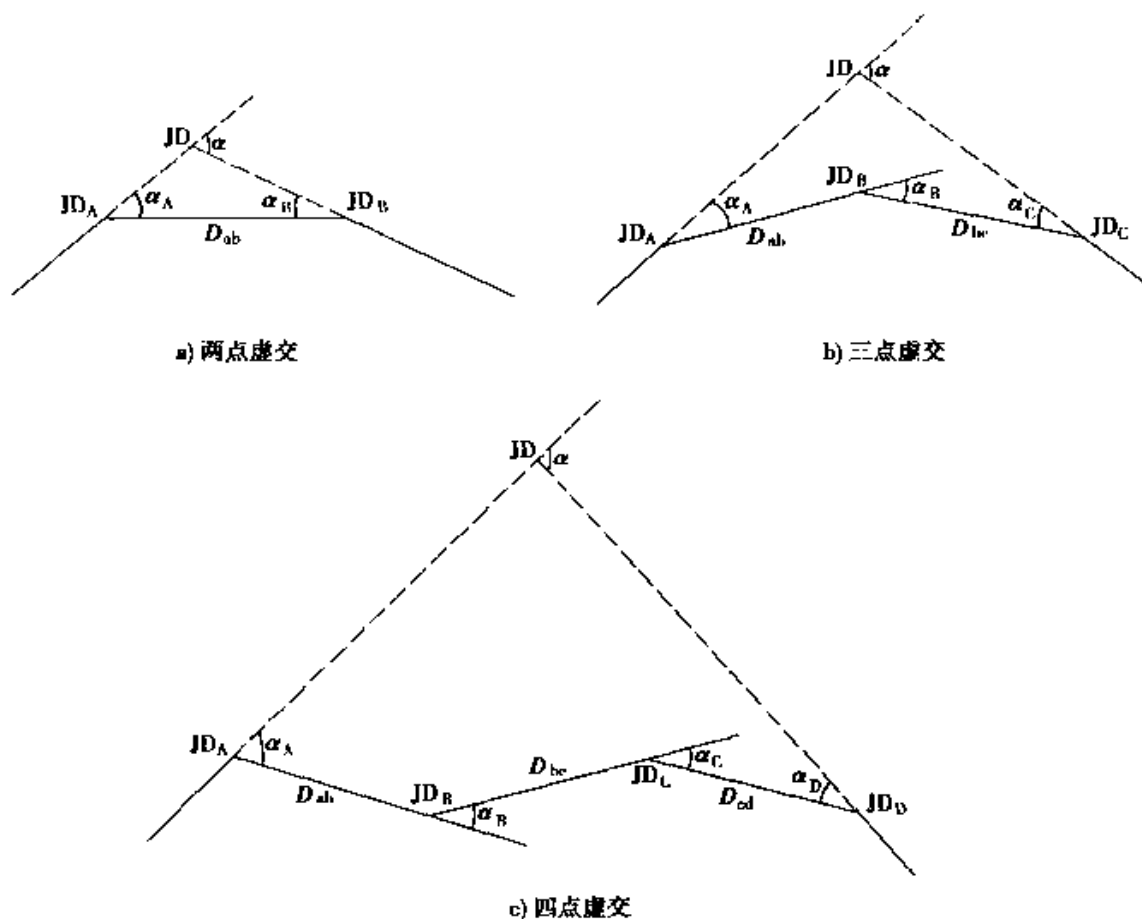


图 3-17

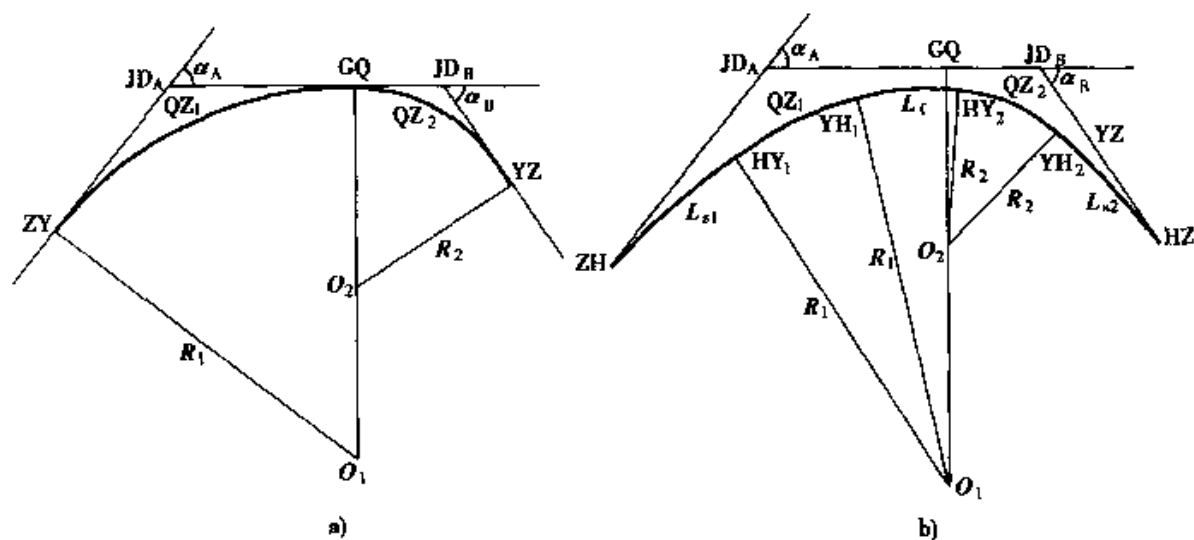


图 3-18

心角等于 180° 的平头线和圆心角大于 180° 的大头线, 分别如图 3-20a)、b)、c) 所示。

(2) 各种曲线上施工控制桩的坐标计算

① 单圆曲线上施工控制桩的坐标计算

如图 3-21 所示, 交点处所设平曲线为单圆曲线, 从直曲转角表中可查

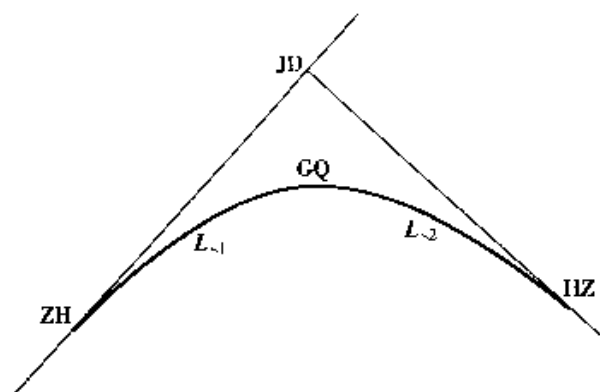


图 3-19

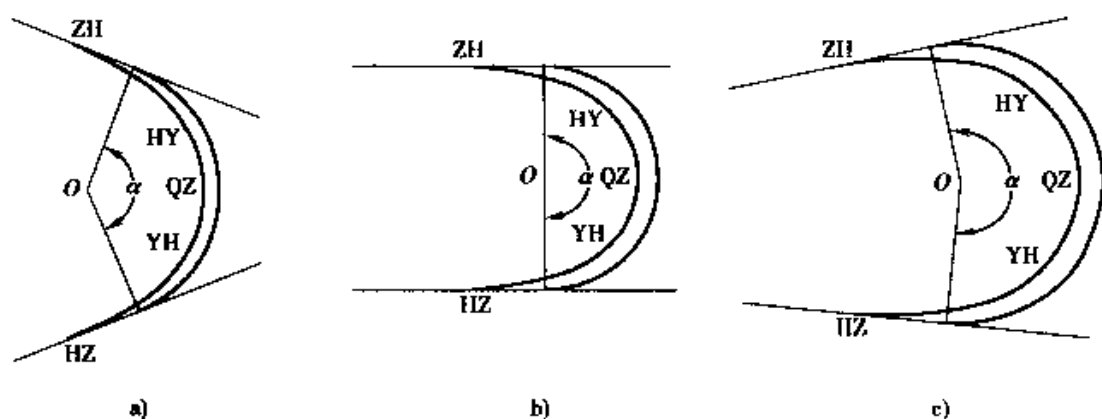


图 3-20

取曲线要素:JD 桩号,曲线主点桩号,曲线半径 R ,曲线长 L 等。现通过建立平面直角坐标系计算曲线上各施工控制桩在该坐标系中的坐标。图中 P_1 、 P_2 为任意两个施工控制桩。

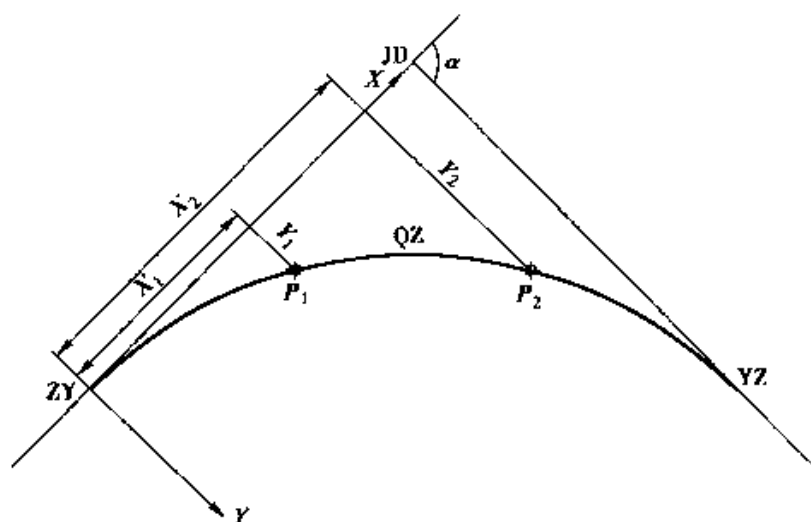


图 3-21

以 ZY 点(或者 YZ 点)为坐标原点,以 ZY ~ JD 方向为 X 轴,以过 ZY 点的曲率半径方向为 Y 轴建立坐标系。

则 P_1 、 P_2 点的坐标可按下式计算:

$$X = R \sin \frac{L}{R}$$

$$Y = R - R \cos \frac{L}{R}$$

式中: L ——待测桩点到 ZY 点的弧长, $L = \text{待测桩点桩号} - \text{ZY 点桩号}$ 。

②对称式带缓和曲线的圆曲线上施工控制桩的坐标计算

如图 3-22 所示,该交点处所设平曲线为对称式,即 $L_{s1} = L_{s2}$,从平面图上的直曲转角表中查取曲线元素:交点桩号、交点转角 α 、缓和曲线长 L_s 、圆曲线长 L_y 、曲线主点桩号、圆曲线半径 R 、切线长 T_h 、切线增长值 q 、圆曲线内移值 p 等。以 ZH 点(或者 HZ 点)为坐标原点,以 ZH~JD 方向为 X 轴,以过 ZH 点的曲率半径方向为 Y 轴建立平面直角坐标系。计算曲线上任意一点在该坐标系中的坐标。如图所示, P_1 、 P_2 、 P_3 分别为第一缓和段、HY~YH 圆曲线段、第二缓和段上的任意施工控制桩。

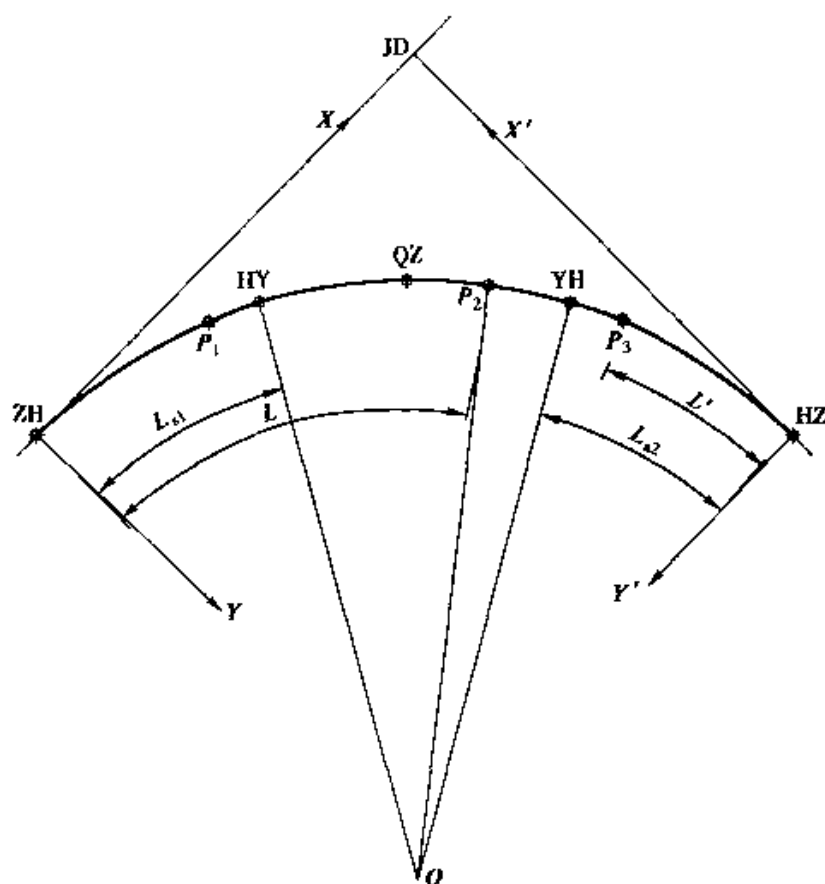


图 3-22

第一缓和段上施工控制桩 P_1 点的坐标:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= L - \frac{L^5}{40R^2L_s^2} \\ Y_1 &= \frac{L^3}{6RL_s} \end{aligned} \right\} \quad (3-3)$$

式中: L —— P_1 点至 ZH 点的弧长, $L = P_1$ 点桩号 - ZH 点桩号
HY ~ YH 圆曲线段上施工控制桩 P_2 点的坐标:

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= R \sin \frac{\left(L - \frac{L_s}{2}\right)}{R} + q \\ Y_2 &= R - R \cos \frac{\left(L - \frac{L_s}{2}\right)}{R} + p \end{aligned} \right\} \quad (3-4)$$

$$\left. \begin{aligned} p &= \frac{L_s^2}{24R} \\ q &= \frac{L_s}{2} - \frac{L_s^3}{240R^2} \end{aligned} \right\} \quad (3-5)$$

式中: L —— P_2 点至 ZH 点的弧长, $L = P_2$ 点桩号 - ZH 点桩号;

L_s ——缓和曲线长;

q ——切线增长值;

p ——圆曲线的内移值。

第二缓和段上施工控制桩 P_3 点的坐标:

先计算 P_3 点在以 HZ 点为坐标原点的 $X'O'Y'$ 坐标系中坐标 (X', Y') , 然后再转化为以 ZH 点为坐标原点的 XOY 坐标系中的坐标 (X_3, Y_3) 。

$$\left. \begin{aligned} X' &= L' - \frac{L'^5}{40R^2L_s^2} \\ Y' &= \frac{L'^3}{6RL_s} \end{aligned} \right\} \quad (3-6)$$

式中: L' —— P_3 点至 HZ 点的弧长, $L' = \text{HZ 点桩号} - P_3$ 点桩号。

将 P_3 点的 (X', Y') 坐标转化为以 ZH 点为坐标原点的坐标 (X_3, Y_3) 。

$$\left. \begin{aligned} X_3 &= X_{\text{HZ}} + X' \cos(\alpha + 180^\circ) + Y' \cos(\alpha + 90^\circ) \\ Y_3 &= Y_{\text{HZ}} + X' \sin(\alpha + 180^\circ) + Y' \sin(\alpha + 90^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (3-7)$$

式中: α ——交点的转角;

$X_{\text{HZ}}, Y_{\text{HZ}}$ ——HZ 点在以 ZH 点为坐标原点的坐标系中的坐标,

$$\left. \begin{aligned} X_{\text{HZ}} &= T_h + T_h \cos \alpha \\ Y_{\text{HZ}} &= T_h \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (3-8)$$

③非对称式带缓和曲线的圆曲线上施工控制桩的坐标计算

如图 3-23 所示, 交点处所设曲线为非对称式带有缓和曲线的圆曲线, 其中, $L_{s1} > L_{s2}$ 。QZ 点不在右角角平分线上, 而是偏向缓和曲线短的一侧。图中 P_1, P_2, P_3 分别为第一缓和段、中间圆曲线、第二缓和段上的任意施工控制桩。

对于非对称式带有缓和曲线的圆曲线,先计算前、后半部分曲线的内移值 p_1 、 p_2 和切线增长值 q_1 、 q_2 。

$$p_1 = \frac{L_{s1}^2}{24R} \quad p_2 = \frac{L_{s2}^2}{24R}$$

$$q_1 = \frac{L_{s1}}{2} - \frac{L_{s1}^3}{240R^2} \quad q_2 = \frac{L_{s2}}{2} - \frac{L_{s2}^3}{240R^2}$$

前、后半部分曲线切线长 T_{h1} 、 T_{h2} 的计算:

$$T_{h1} = \frac{R + p_2 - (R + p_1)\cos\alpha}{\sin\alpha} + q_1$$

$$T_{h2} = \frac{R + p_1 - (R + p_2)\cos\alpha}{\sin\alpha} + q_2$$

中间圆曲线长: $L_y = \frac{\pi}{180^\circ}\alpha R - \frac{L_{s1}}{2} - \frac{L_{s2}}{2}$

第一缓和段上 P_1 点在 XOY 坐标系中的坐标:

$$X_1 = L - \frac{L^5}{40R^2L_{s1}^2} \quad (3-9)$$

$$Y_1 = \frac{L^3}{6RL_{s1}}$$

式中: L —— P_1 点至 ZH 点的弧长, $L = P_1$ 点桩号 - ZH 点桩号;

L_{s1} ——第一缓和段的缓和曲线长。

中间圆曲线上 P_2 点在 XOY 坐标系中的坐标:

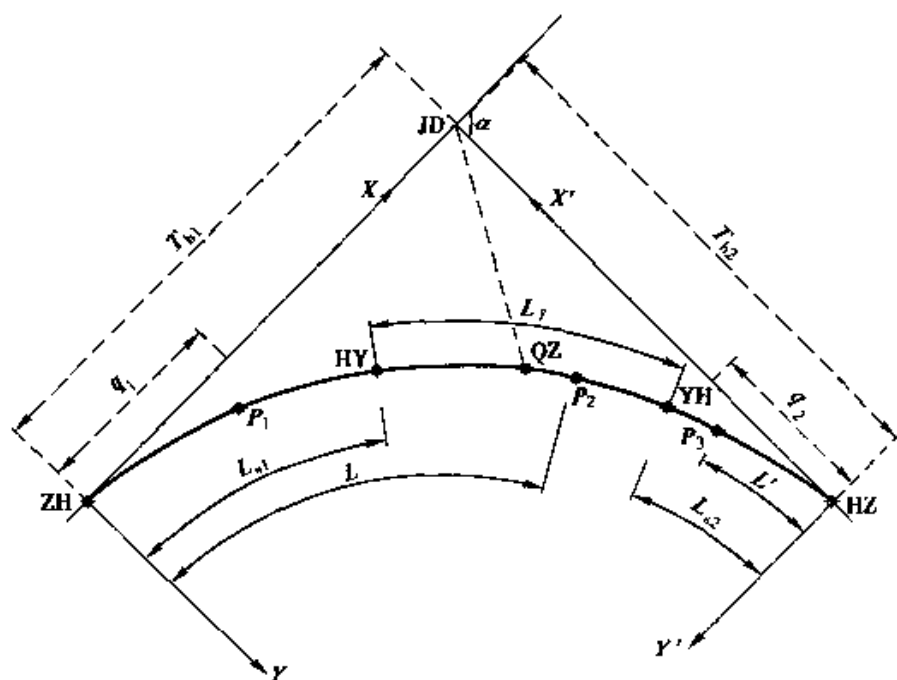


图 3-23

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= R \sin \frac{L - \frac{L_{s1}}{2}}{R} + q_1 \\ Y_2 &= R - R \cos \frac{L - \frac{L_{s1}}{2}}{R} + p_1 \end{aligned} \right\} \quad (3-10)$$

式中： L_{s1} ——第一缓和段缓和曲线长；

q_1 ——第一缓和段的切线增长值；

p_1 ——前半部分圆曲线内移值；

L —— P_2 点至 ZH 点的弧长， $L = P_2$ 点桩号 - ZH 点桩号。

第二缓和段上 P_3 点的坐标：

先计算 P_3 点在以 HZ 点为坐标原点的 $X'O'Y'$ 坐标系中的坐标 (X'_3, Y'_3) ，再将其转化为在以 ZH 点为坐标原点的 XOY 坐标系中的坐标 (X_3, Y_3) 。

P_3 点在 $X'O'Y'$ 坐标系中的坐标：

$$\begin{aligned} X'_3 &= L' - \frac{L'^5}{40R^2L_2^2} \\ Y'_3 &= \frac{L'^3}{6RL_2} \end{aligned}$$

式中： L' —— P_3 点至 HZ 点的弧长， $L' = \text{HZ 点桩号} - P_3$ 点桩号；

L_2 ——第二缓和段缓和曲线长。

再转化为在 XOY 坐标系中的坐标：

$$\begin{aligned} X_3 &= X_{\text{HZ}} + X'_3 \cos(\alpha + 180^\circ) + Y'_3 \sin(\alpha + 90^\circ) \\ Y_3 &= Y_{\text{HZ}} + X'_3 \sin(\alpha + 180^\circ) + Y'_3 \cos(\alpha + 90^\circ) \\ X_{\text{HZ}} &= T_{h1} + T_{h2} \cos \alpha \\ Y_{\text{HZ}} &= T_{h2} \sin \alpha \end{aligned}$$

式中： α 为交点转角；

$X_{\text{HZ}}, Y_{\text{HZ}}$ ——HZ 点在 XOY 坐标系中的坐标。

① 不带缓和曲线的复曲线上施工控制桩的坐标计算

如图 3-24 所示，交点处所设曲线为不带缓和曲线的复曲线。以 ZY 点为坐标原点，以 ZY ~ JD 方向为 X 轴，以过 ZY 点的曲线的曲率半径方向为 Y 轴，建立平面直角坐标系。计算该曲线上任意施工控制桩在该坐标系中的坐标。

ZY ~ CQ 段上任意点 P_1 坐标：

$$\begin{aligned} X_1 &= R_1 \sin \frac{L}{R_1} \\ Y_1 &= R_1 \left(1 - \cos \frac{L}{R_1} \right) \end{aligned}$$

式中: L —— P_1 点至 ZY 点的弧长, $L = P_1$ 点桩号 - ZY 点桩号;

R_1 ——前曲线半径。

$CQ \sim YZ$ 段上任意点 P_2 坐标:

先计算 P_2 点在以 YZ 点为坐标原点的 $X'O'Y'$ 坐标系中的坐标 (X', Y') 。

$$X' = R_2 \sin \frac{L'}{R_2}$$

$$Y' = R_2 - R_2 \cos \frac{L'}{R_2}$$

式中: R_2 ——后曲线半径;

L' —— P_2 点至 YZ 点的弧长, $L' = YZ$ 点桩号 - P_2 点桩号。

再转换为以 ZY 点为坐标原点的 XOY 坐标系中的坐标 (X_2, Y_2) 。

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= X_{YZ} + X' \cos(\alpha_A + \alpha_B + 180^\circ) + Y' \cos(\alpha_A + \alpha_B + 90^\circ) \\ Y_2 &= Y_{YZ} + X' \sin(\alpha_A + \alpha_B + 180^\circ) + Y' \sin(\alpha_A + \alpha_B + 90^\circ) \end{aligned} \right\} (3-11)$$

$$X_{YZ} = T_1 + AB \cos \alpha + T_2 \cos(\alpha_A + \alpha_B)$$

$$Y_{YZ} = AB \sin \alpha + T_2 \sin(\alpha_A + \alpha_B)$$

式中: α_A, α_B ——分别为 JD_A 和 JD_B 的转角;

X_{YZ}, Y_{YZ} —— YZ 点在 XY 坐标系中的坐标;

T_1, T_2 ——分别为前曲线和后曲线的切线长;

AB —— JD_A 和 JD_B 之间的距离。

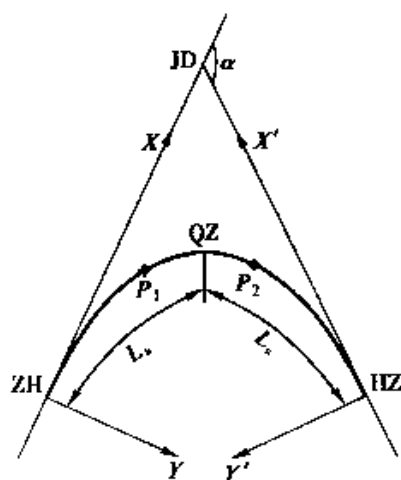


图 3-25

⑤凸曲线上施工控制桩的坐标计算

如图 3-25 所示, 交点处的平曲线为凸形曲线, 查平面图直曲转角表可知三个主点桩号, 缓和曲线长 L_s , 缓和曲线终点的半径 R , 回旋线参数 A , 交点转角 α 。以 ZH 点为坐标原点, 以 $ZH \sim JD$ 方向为 X 轴, 以过 ZH 点的曲率半径方向为 Y 轴建立平面直角坐标系, 计算曲线上各施工控制桩的坐标。

$ZH \sim QZ$ 段任意点 P_1 的坐标:

$$X = L - \frac{L^5}{40R^2L_s^2}$$

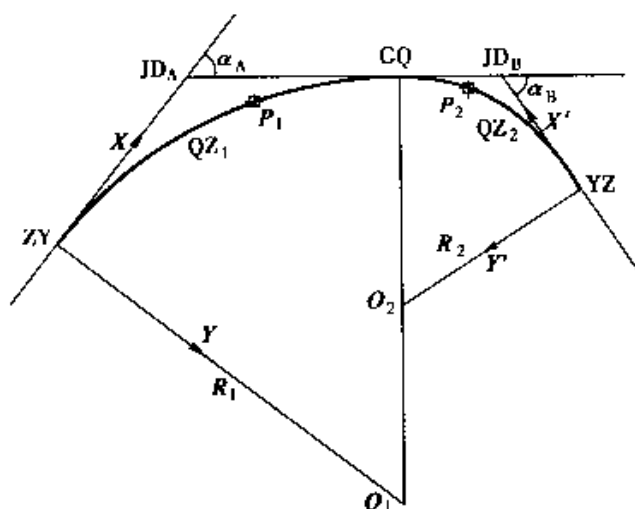


图 3-24

$$Y = \frac{L^3}{6RL_s} - \frac{L^7}{336R^3L_s^3}$$

式中: L —— P_1 至 ZH 点的弧长, $L = P_1$ 点桩号 - ZH 点桩号;

R ——QZ 点所对应的缓和曲线的曲率半径, $R = A/L_s$ 。

QZ ~ HZ 段任意点 P_2 的坐标:

先计算 P_2 点在以 HZ 点为坐标原点的 $X'O'Y'$ 坐标系中的坐标(X' , Y'), 再转化为以 ZH 点为坐标原点的 XOY 坐标系中的坐标(X_2 , Y_2)。

$$X' = L' - \frac{L'^5}{40R^2L_s^2}$$

$$Y' = \frac{L'^3}{6RL_s} - \frac{L'^7}{336R^3L_s^3}$$

再将其转化为 XOY 坐标系中的坐标:

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= X_{HZ} + X' \cos(\alpha + 180^\circ) + Y' \cos(\alpha + 90^\circ) \\ Y_2 &= Y_{HZ} + X' \sin(\alpha + 180^\circ) + Y' \sin(\alpha + 90^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (3-12)$$

$$X_{HZ} = T_h + T_h \cos \alpha$$

$$Y_{HZ} = T_h \sin \alpha$$

式中: α ——交点的转角;

T_h ——切线长;

X_{HZ} , Y_{HZ} ——HZ 点在 XY 坐标系中的坐标。

⑥卵形曲线上施工控制桩的坐标计算

卵形曲线由前后两条曲线组成, 前曲线的第一缓和段和后曲线的第二缓和段单独设置, 前后曲线之间插入一段缓和曲线。如图 3-26 所示, JD_A 和

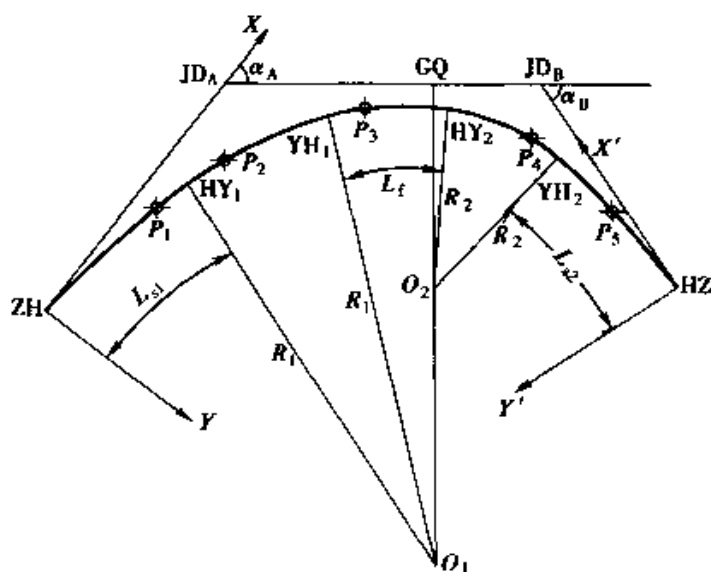


图 3-26

JD_B 为相距较近并且转向相同的两个交点。从平面图直曲转角表中可查取各主点桩号、前曲线第一缓和段长 L_{s1} 、前后曲线之间的缓和曲线长 L_f 、后曲线的第二缓和段 L_{s2} 、前曲线半径 R_1 、后曲线半径 R_2 。以 ZH 点为坐标原点,以 ZH~JD 方向为 X 轴,以过 ZH 点的曲率半径方向为 Y 轴建立平面直角坐标系,计算曲线上施工控制桩的坐标。

前曲线第一缓和段上任意点 P_1 的坐标:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= L_1 - \frac{L_1^5}{40R^2L_{s1}^2} \\ Y_1 &= \frac{L_1^3}{6RL_{s1}} - \frac{L_1^7}{336R^3L_{s1}^3} \end{aligned} \right\} \quad (3-13)$$

式中: L_1 —— P_1 点至 ZH 点的弧长, $L = P_1$ 点桩号 - ZH 点桩号。

前曲线圆曲线段上任意点 P_2 的坐标:

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= R_1 \sin \frac{L_2 - \frac{L_{s1}}{2}}{R_1} + q_1 \\ Y_2 &= R_1 \left(1 - \cos \frac{L_2 - \frac{L_{s1}}{2}}{R_1} \right) + p_1 \end{aligned} \right\} \quad (3-14)$$

式中: R_1 ——前曲线半径;

L_2 —— P_2 点至 ZH 点的弧长, $L_2 = P_2$ 点桩号 - ZH 点桩号;

L_{s1} ——前曲线第一缓和段长度;

q_1 ——前曲线切线增长值;

p_1 ——前曲线圆曲线的内移值。

前后曲线之间缓和曲线段上任意点 P_3 的坐标计算:

在计算前后曲线之间的缓和曲线上任意点的坐标时有两种情况,一是 $R_1 > R_2$, 中间缓和曲线沿路线前进方向曲率半径逐渐减小;二是 $R_1 < R_2$, 中间缓和曲线沿路线前进方向曲率半径逐渐增大。

考虑这两种情况,引进符号函数:

$$\Delta = \text{SGN}(R_1 - R_2) = \begin{cases} 1 & (R_1 - R_2 > 0) \\ 0 & (R_1 - R_2 = 0) \\ -1 & (R_1 - R_2 < 0) \end{cases}$$

第一种情况 $R_1 > R_2$:

中间缓和曲线段上 P_3 的坐标计算。

如图 3-27 所示, Q 为回旋线的起点, τ_0 为过 YH_1 的切线与 X 轴所夹水平角,中间缓和段的长度为 L_f ,前曲线的第一缓和段长度为 L_{s1} ,前曲线的

圆曲线长为 L_{y1} , 后曲线的第二缓和段长度为 L_{s2} 。

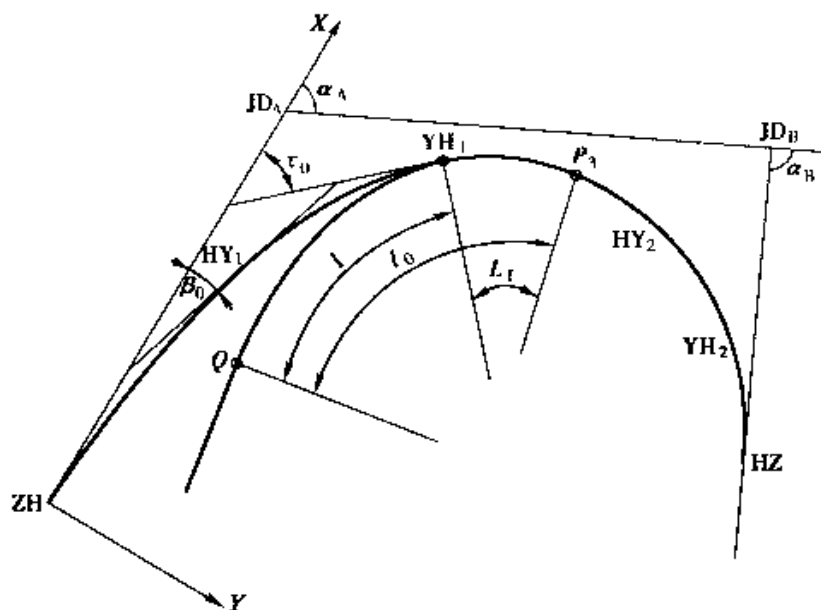


图 3-27

中间缓和曲线曲率变化率 C 的计算:

$$C = \left| \frac{L_f R_1 R_2}{R_1 - R_2} \right|$$

式中: L_f ——中间缓和曲线长;

R_1 、 R_2 ——分别为前圆曲线和后圆曲线的半径。

计算 τ_0 :

$$\beta_0 = \frac{L_{s1}}{2R_1}$$

$$\tau_0 = \alpha + \beta_0$$

式中: α ——前曲线圆曲线所对圆心角, $\alpha = \frac{L_{y1}}{R_1}$;

β_0 —— HY_1 的切线角;

τ_0 ——过 HY_1 的切线与路线导线所夹角;

L_{y1} ——前圆曲线的曲线长, $L_{y1} = YH_1$ 的桩号 - HY_1 的桩号。

计算 P_3 点在以 ZH 为坐标原点, 以 $ZH \sim JD_A$ 方向为 X 轴正方向, 以过 ZH 的曲率半径方向为 Y 轴正方向的 XY 坐标系中的坐标:

$$X = X_0 + A \cos T - B \sin T$$

$$Y = Y_0 + A \sin T - B \cos T$$

$$A = (l - l_0) - \frac{l^5 - l_0^5}{40C^2};$$

$$B = \frac{l^3 - l_0^3}{6C} - \frac{l^7 - l_0^7}{336C^3};$$

$$T = \tau_0 - \frac{l_0^2}{2C};$$

式中: X_0, Y_0 —— YH_1 在 XY 坐标系中的坐标;

l_0 —— YH_1 到 Q 点的曲线长, $l_0 = \frac{C}{R_1}$;

l —— P_3 点到 Q 点的曲线长, $l = P_3$ 点桩号 - YH_1 桩号 + l_0 。

第二种情况 $R_1 < R_2$:

如图 3-28 所示, P_3 点的坐标为:

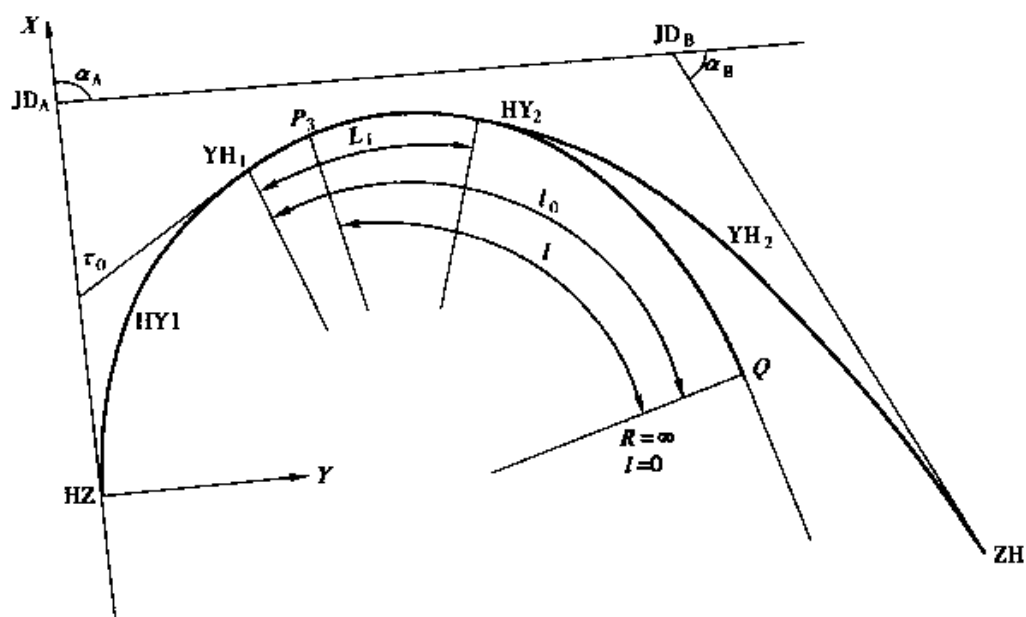


图 3-28

$$X_3 = X_0 - A \cos T - B \sin T$$

$$Y_3 = Y_0 - A \sin T - B \cos T$$

$$A = (l - l_0) - \frac{l^5 - l_0^5}{40C^2}$$

$$B = \frac{l^3 - l_0^3}{6C} - \frac{l^7 - l_0^7}{336C^3}$$

$$T = \tau_0 - \frac{l_0^2}{2C}$$

式中: X_0, Y_0 —— YH_1 在 XY 坐标系中的坐标;

l_0 —— YH_1 到 Q 点的曲线长, $l_0 = \frac{C}{R_1}$;

l —— P_3 点到 Q 点的曲线长, $l = l_0 - (P_3 \text{ 点桩号} - YH_1 \text{ 的桩号})$;

C, τ_0, α 同第一种情况。

应加以说明的是,对于上述两种情况计算公式中的圆曲线半径 R_1, R_2 ,

当路线右转时取正值,当路线左转时取负值。

后曲线上圆曲线段任意点 P_4 的坐标计算:

如图 3-29 所示,先计算 P_4 点在以 HZ 点为坐标原点的辅助坐标系 $X'O'Y'$ 中的坐标,然后再转化为在以 ZH 点为坐标原点的 XY 坐标系中的坐标。

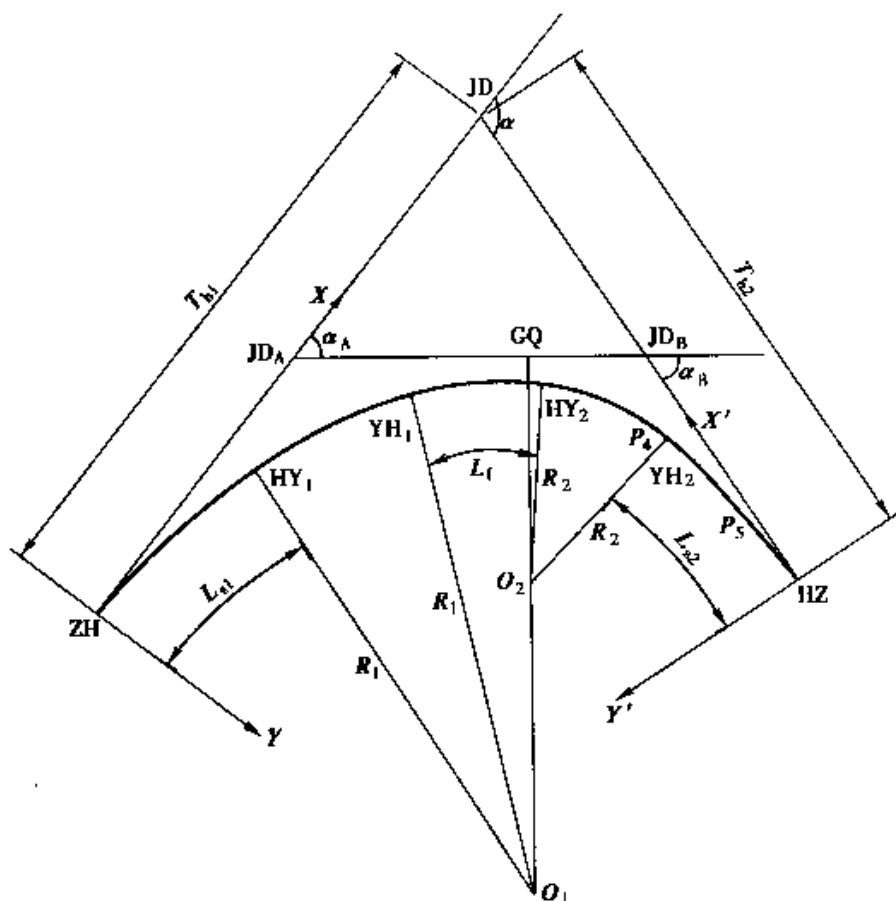


图 3-29

P_4 点在 $X'Y'$ 坐标系中坐标为:

$$X' = R_2 \sin \frac{L' - \frac{L_{s2}}{2}}{R_2} + q_2$$

$$Y' = R_2 \left(1 - \cos \frac{L' - \frac{L_{s2}}{2}}{R_2} \right) + p_2$$

式中: L' —— P_4 点到 HZ 点的弧长, $L' = \text{HZ 点的桩号} - P_4 \text{ 点的桩号}$;

q_2 ——后曲线的切线增长值;

p_2 ——后曲线的圆曲线内移值。

将 (X', Y') 转化为在 XY 坐标系中的坐标 (X_4, Y_4) :

$$X_4 = X_{HZ} + X' \cos(\alpha_A + \alpha_B + 180^\circ) + Y' \cos(\alpha_A + \alpha_B + 90^\circ)$$

$$Y_4 = Y_{HZ} + X' \sin(\alpha_A + \alpha_B + 180^\circ) + Y' \sin(\alpha_A + \alpha_B + 90^\circ)$$

式中: X_{HZ}, Y_{HZ} ——HZ 点在 XOY 坐标系中的坐标;

$$X_{HZ} = T_{h1} + T_{h2} \cos \alpha$$

$$Y_{HZ} = T_{h2} \sin \alpha$$

$$\alpha = \alpha_A + \alpha_B$$

T_{h1} ——前曲线 JD ~ ZH 点的切线长;

T_{h2} ——后曲线 JD ~ HZ 点的切线长。

后曲线 $YH_2 \sim HZ$ 段上任意点 P_5 的坐标计算:

如图 3-29 所示,先计算 P_5 点在以 HZ 点为坐标原点的辅助坐标系 $X'O'Y'$ 中的坐标 (X', Y') ,然后再转化为在以 ZH 点为坐标原点的 XOY 坐标系中的坐标 (X_5, Y_5) 。

$$X' = L' - \frac{L'^5}{40R_2^2L_2^2}$$

$$Y_1 = \frac{L'^3}{6R_2L_2} - \frac{L'^7}{336R_2^3L_2^3}$$

式中: L' —— P_5 点到 HZ 点的弧长, $L' = \text{HZ 点桩号} - P_5 \text{点桩号}$ 。

$$X_5 = X_{HZ} + X' \cos(\alpha_A + \alpha_B + 180^\circ) + Y' \cos(\alpha_A + \alpha_B + 90^\circ)$$

$$Y_5 = Y_{HZ} + X' \sin(\alpha_A + \alpha_B + 180^\circ) + Y' \sin(\alpha_A + \alpha_B + 90^\circ)$$

式中: X_{HZ}, Y_{HZ} ——HZ 点在 XOY 坐标系中的坐标;

$$X_{HZ} = T_{h1} + T_{h2} \cos \alpha$$

$$Y_{HZ} = T_{h2} \sin \alpha$$

式中: T_{h1} ——前曲线 JD ~ ZH 点的切线长;

T_{h2} ——后曲线 JD ~ HZ 点的切线长。

⑦回头曲线上施工控制桩的坐标计算

回头曲线的线形有三种,即大回头、小回头、平头,这三种回头曲线的计算方法是相同的,现以大回头为例加以介绍。

如图 3-30 所示,以 ZH 点为坐标原点,以 ZH ~ E 方向为 X 轴,以过 ZH 点的曲率半径方向为 Y 轴建立平面直角坐标系,计算各段曲线上施工控制桩的坐标。

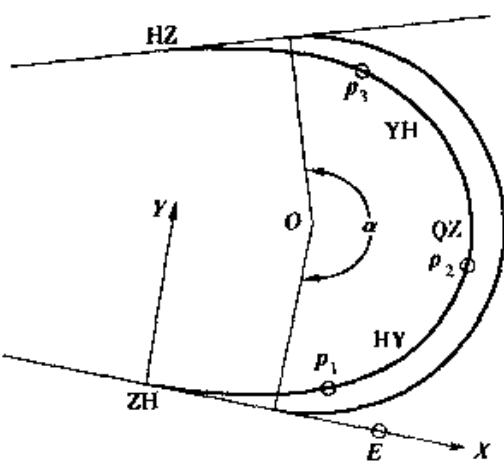


图 3-30

第一缓和段上任意点 P_1 的坐标:

$$X_1 = L - \frac{L^5}{40R^2L_s^2}$$

$$Y_1 = \frac{L^3}{3RL_s} - \frac{L^7}{336R^3L_s^3}$$

式中: L —— P_1 点到 ZH 点的弧长, $L = P_1$ 点的桩号 - ZH 点的桩号。

中间圆曲线上任意点 P_2 的坐标:

$$X_2 = R \sin \frac{L - \frac{L_s}{2}}{R} + q$$

$$Y_2 = R \left(1 - \cos \frac{L - \frac{L_s}{2}}{R} \right) + p$$

式中: L —— P_2 点到 ZH 点的弧长, $L = P_2$ 点的桩号 - ZH 点的桩号;

q ——切线增长值, $q = \frac{L_s}{2} - \frac{l_s^3}{240R^2}$;

p ——圆曲线的内移值, $p = \frac{L_s^2}{24R}$ 。

第二缓和段上任意点 P_3 的坐标:

先以 HZ 点为坐标原点建立辅助坐标系 $X'O'Y'$, 计算 P_3 点在辅助坐标系中的坐标(X' , Y')。

$$X' = L' - \frac{L'^5}{40R^2L_s^2}$$

$$Y' = \frac{L'}{6RL_s} - \frac{L'^7}{336R^3L_s^3}$$

式中: L' —— P_3 点到 HZ 点的弧长, $L' = \text{HZ 点桩号} - P_3 \text{ 点的桩号}$ 。

将(X' , Y')转换为 XOY 坐标系中的坐标(X_3 , Y_3)。

$$X_3 = X_{\text{HZ}} + X' \cos(\alpha + 180^\circ) + Y' \cos(\alpha + 90^\circ)$$

$$Y_3 = Y_{\text{HZ}} + X' \sin(\alpha + 180^\circ) + Y' \sin(\alpha + 90^\circ)$$

式中: α ——缓和曲线以前的单圆曲线所对应的圆心角。

$$X_{\text{HZ}} = q + (R + p) \cos(\alpha - 90^\circ) + q \cos \alpha$$

$$Y_{\text{HZ}} = R + p + (R + p) \sin(\alpha - 90^\circ) + q \sin \alpha$$

§ 3-5 高等级公路中线恢复测量

一、概 述

要进行高等级公路的放样测量,首先必须了解高等级公路的测设过程。高等级公路测设时要采用两阶段设计或者采用三阶段设计。两阶段设计是指先进行纸上定线,即在大比例尺(一般是1:2 000或者1:5 000)地形图上根据地形特点确定路线走向、路线导线主要控制点。按路线等级进行路线平面设计、纵断面设计、横断面设计等初步设计和相应的方案比选,然后再根据批准的初步设计方案进行实地放线,通过详细测量进行施工图设计;三阶段设计是针对技术复杂、基础资料缺乏和不足的建设项目或建设项目中的特大桥,互通式立体交叉,隧道,高速公路和一级公路的交通工程及沿线设施中的机电设备等在完成初步设计后进行技术设计,最后进行施工图设计。

随着公路测量技术和测量手段的不断发展,对于高等级公路的勘测不管是两阶段设计还是三阶段设计,一般在勘测阶段都要在实地布设三维控制点,利用三维控制点测绘大比例尺地形图和利用三维控制点在踏勘时控制路线导线的走向和路线导线的位置。因此高等级公路在勘测阶段不是在实地确定路线导线的位置,而是通过选择三维控制点来控制路线中线的位置。控制点的位置确定后进行三维坐标测量获得控制点的三维坐标。在施工图上尽管标有路线导线的交点,但是在实地并没有这些点的标志。所以中线放样是根据三维控制点在实地的位置及其坐标和设计文件提供的中桩坐标进行的。

1. 三维控制点的恢复

在进行中线恢复测量以前应首先恢复三维控制点。按照设计文件提供的三维控制点的标记和固定桩资料到实地核查控制点的实地位置并设立标志进行加固。具体方法同低等级公路交点和转点的实地核查恢复方法相同。

对于丢失的控制点可根据与其相邻的控制点的位置,采用第二章第二节介绍的测站点加密方法,加密控制点。

2. 利用三维控制点恢复中线

对于高等级公路由于在实地没有定设交点和转点,所有中桩位置的确定都是依据三维控制点和中桩坐标。具体做法可参照本章第二节坐标放样。为减少放样测量误差,放样时应边放边校核。先放曲线段的主点桩、曲线起终点和直线段的起终点进行闭合检查。

二、控制点三维坐标复测

控制点三维坐标复测是施工放样以前必不可少的准备工作。它包括导线控制点和路中线控制桩的复测;另外由于人为和其他自然因素的影响,导线控制点和路线中线控制桩可能丢失或者被破坏,因此施工放线前,应对其进行复测;对于在路基施工范围以内的导线点,需要将其移至路基施工范围以外。只有当这些工作都完成后,才能进行施工放样。

1. 导线控制点和路中线控制桩的复测

(1) 导线点的复测

导线点的复测主要是检查它的坐标和高程是否正确。检测的方法如下(图 3-31)。

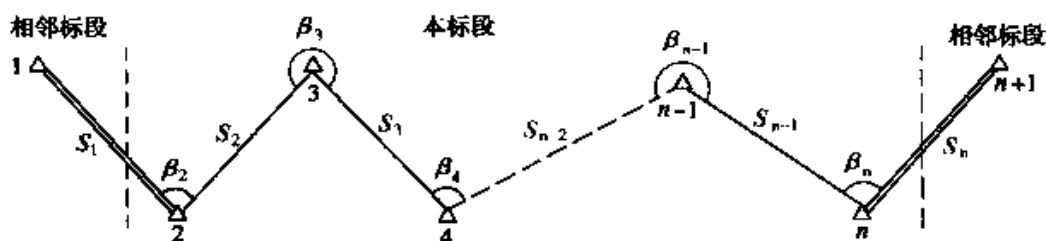


图 3-31

第一步:根据导线点 1 ~ n 的坐标反算转角(左角) $\beta_2 \sim \beta_{n-1}$ 和导线边长 $S_1 \sim S_{n-1}$ 。

$$\alpha_{i+1,i} = \arctan \frac{Y_i - Y_{i+1}}{X_i - X_{i+1}} \quad (3-15)$$

$$\alpha_{i+1,i+2} = \arctan \frac{Y_{i+2} - Y_{i+1}}{X_{i+2} - X_{i+1}} \quad (3-16)$$

$$\beta_{i+1} = \alpha_{i+1,i+2} - \alpha_{i+1,i} \quad (3-17)$$

$$S_i = \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2} \quad (3-18)$$

第二步:实地观测各左角 β'_{i+1} 及导线边长 S'_i 。角度观测可取一个测回平均值,边长测量可取连续观测 3 ~ 4 次的平均值。当观测值和计算值满足式(3-19)时,则认为点的平面坐标和位置是正确的。

$$\begin{aligned} |\beta_{i+1} - \beta'_{i+1}| &\leq 2m_\beta = 16'' \\ \left| \frac{S_i - S'_i}{S_i} \right| &\leq \frac{1}{15000} \end{aligned} \quad (3-19)$$

另外还要对导线进行检查,检查时可将图 3-31 中的 1、2 和 n、n+1 点作为已知点, $\alpha_{1,2}$ 和 $\alpha_{n,n+1}$ 作为已知坐标方位角,按二级导线的方位角闭合差和导线全长闭合差的精度要求进行控制。

第三步:水准点高程的检测。在使用水准点之前应仔细校核,并与国家水准点闭合。水准点高程的检测和测量学所介绍的水准测量方法一样。高速公路和一级公路的水准点闭合差按四等水准测量($20\sqrt{l}$)控制,二级以下公路水准点闭合差按五等水准测量($30\sqrt{l}$)控制。大桥附近的水准点闭合差应按《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)的规定执行。若满足精度要求,则认为点的高程是正确的。

一般情况下,公路两旁布设的导线点,其坐标和高程均在同一点上。因此,在复测坐标的同时可利用三角高程测量的方法检测高程。

水准点间距不宜大于 1km。在人工结构物附近、高填深挖地段、工程量集中和地形复杂地段应增设临时水准点。临时水准点的观测必须符合精度要求,并与相邻路段的水准点闭合。

必须强调的是,有的施工单位在复测导线点时,只检查本标段的控制点,而忽视了前后相邻标段控制点的检查,这样就有可能在邻近标段衔接处出现路中线错位或者出现断高。所以,在复测导线时,必须和相邻标段的导线闭合。另外,施工单位复测时,业主和监理单位也会随时检查施工单位的复测导线的精度。

(2) 路线控制桩的复测

路线控制桩的复测主要是检查其平面位置是否正确。通常有两种情况。

第一种情况:路线控制桩本来就是由导线点坐标放样的。检测的方法可根据放样的原始资料进行,检测 S 、 α ,精度控制按式(3-19)处理。精度满足要求,则认为该控制桩位置是正确的。还可以根据 S 、 α 重新放出该点,新放的点位与原点位的偏差不应大于 $\pm 3\text{cm}$ 。

第二种情况:路线两旁没有布设导线点,或者施工单位没有测距仪。这种情况下中线直线段用普通钢尺量距来检查路线控制桩是否正确,曲线段可按常规的偏角法来复测桩位,其精度应满足要求。对于曲线还可以用检查偏角的方法来复测桩位。

如图 3-32 所示,1、2、3 是半径为 R 的圆曲线上的三个控制桩,其桩号分别为 l_1 、 l_2 、 l_3 ($l_1 < l_2 < l_3$),欲检查其位置是否正确,在点 2 架设经纬仪测量角 α 的大小。 α 的理论值应为:

$$\alpha' = \frac{l_3 - l_1}{R} \quad (3-20)$$

当观测值与理论值满足式(3-21)时,则可认为控制桩的位置是正确的。

$$|\alpha - \alpha'| \leq 40 \quad (3-21)$$

路线控制桩经检测无误后,应及时对其采取保护措施,避免丢失或

破坏；

2. 导线控制点的补测和移位

由于人为或者其他原因,造成导线控制点丢失或者遭到破坏,如果是间断性的丢失,则可采用交会法进行补测。补测的导线点应在原导线点附近;如果导线点连续丢失数点,则必须采用导线测量的方法进行补测。如果仅仅是将路基施工范围内的导线点移至路基施

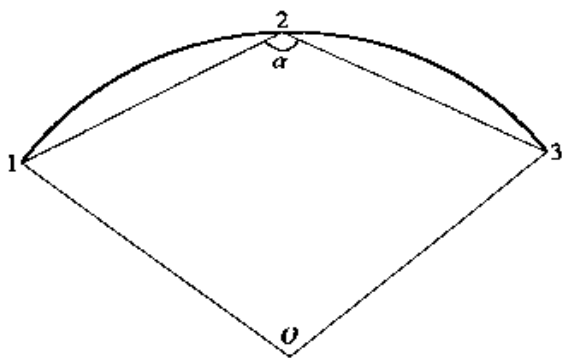


图 3-32

工范围以外,可根据移点的多少分别采用交会法或导线测量的方法。移动的和补测的导线点的高程用水准测量或三角高程测量的方法进行测定。

应特别强调的是,在补点时应尽量将点位选在路线一侧地势较高处,以避免路基填土达到一定施工高度时影响导线点之间的通视。施工期间应定期(一般半年)对导线控制点(特别是水准点)进行复测。季节性冻融地区,在解冻以后也要进行复测。

对于高等级公路,路线中桩坐标在设计文件中已经给出,一般不需要放线人员自己计算,所以当控制点的复测工作完成后,即可根据控制点和待放中桩点的坐标按坐标放样方法进行中线放样。

三、在采用坐标法放样中线桩时特殊情况的处理

1. 测站点与放样点不通视

当施工单位进场恢复中线时,现场情况通常是除路基范围内的建筑物拆除外,沿线的地形、地貌基本上是保持原样。所以,在恢复中线时会遇到导线点与放样点之间不通视等问题。另外,当路基填挖达到一定高度和深度时,有很多导线点之间也不通视;或者导线点之间通视,但由于路基填筑过高或路堑开挖过深时,导线点和中线点之间不通视。遇到这种情况,通常

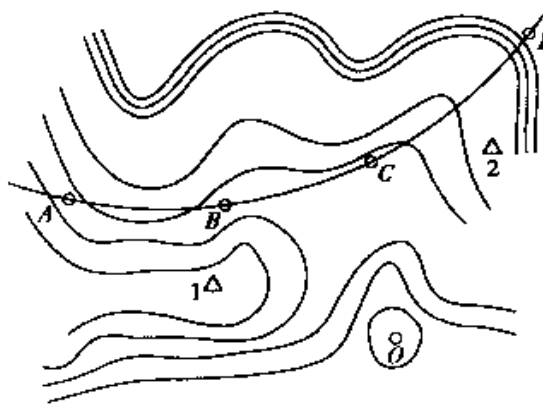


图 3-33

采用的方法是选择视线条件好的地势建立任意测站点。如图 3-33 所示,在 1、2 两个导线点上只能放出 AB 和 CD 段上的中线点,对于 BC 段上的中线点由于不通视,则无法测设。在 1、2 两点设站一次只能放出有限的几个点,效率较低,精度也差。如果在 O 点设站,则可以将 AD 段上的所有中桩放出。这就需要解算任意测站点 O 的坐标。

O 点的坐标可按第二章第二节所介绍的导线法和交会法确定。

2. 虚拟测站法放样中线

在涵洞、分离式立交等工程构造物施工放样中,有时按设计文件上给出的中心桩号进行放样时,在实地放出的位置不一定正好是水沟中间或路线交叉的中心,有时相差很大,往往要试算很多次,才能放出准确的位置。如果采用虚拟测站法则可以一次准确地确定这些构造物的中心位置。

如图 3-34 所示,假设欲放样路线中线 CD 与某条道路的中心线交点为 P ,现在要求精确放出 P 点的位置并求出 P 点的桩号。

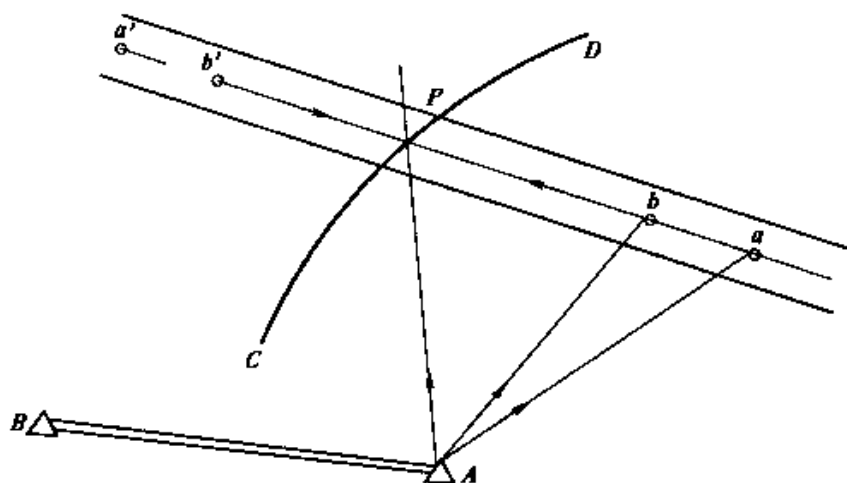


图 3-34

第一种情况,设 CD 为直线段。

在被交道路中心线上选择两点 a 、 b (或 a' 、 b'),在 A 点设站测定 a 、 b 两点的坐标,假设为 $a(X_a, Y_a)$ 、 $b(X_b, Y_b)$

则被交道路中心线的方程为:

$$Y - Y_a = k(X - X_a) \quad (3-22)$$

k 为中心线的斜率。

设 CD 直线的方程为:

$$Y - Y_0 = k_0(X - X_0) \quad (3-23)$$

由式(3-22)和式(3-23)可解得 P 点坐标 (X_P, Y_P) 。

由 P 点坐标即可在 A 点设站放出 P 点的位置,同时可求 P 点的桩号。

第二种情况,设 CD 段为圆曲线。

由曲线上任意点的坐标 (X_i, Y_i) 和曲线的半径 R ,可得圆曲线的方程为:

$$(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 = R^2 \quad (3-24)$$

将式(3-22)和式(3-24)联立求解,即可求出 P 点的坐标 (X_P, Y_P) 。再求

得 P 点和曲线上任意桩点 M 之间的弧长,即可求出 P 点的桩号。

第三种情况,设 CD 段为缓和曲线。

同直线段和圆曲线段一样,将式(3-22)代入缓和曲线的坐标表达式中即可求得交点 P 的坐标。由于缓和曲线的坐标表达式是高次方程,所以不能直接求解交点的坐标,必须采用牛顿迭代法、二次插值法或二分法进行求解。

第4章 公路施工放样

§ 4-1 路基放样的基本原理

一、路基路面设计的基本参数

在公路的中心施工控制桩恢复完成后,即可进行路基的土石方施工。路基施工前,应首先在地面上把路基的轮廓表示出来,即把路堤坡脚点和路堑坡顶点找出来,钉上边桩,同时还应把边坡的坡度表示出来,为路堤填筑和路堑的开挖提供施工依据。在进行路基路面施工放样以前应首先了解路基路面设计的基本参数,以便在进行放样测量时计算放样数据。路基路面的设计是在横断面测量的基础上进行的,其中的设计参数主要包括路基宽度 B 、路面宽度 b 、排水沟宽度 s (梯形排水沟的边坡坡度)、填挖高度 h 、路基路堑的边坡坡度 m 、路基超高 Δ 和加宽等基本参数。

1. 路基宽度

公路路基宽度是指行车道与路肩宽度之和。当设有中间带、变速车道、爬坡车道、应急停车带时,还包括这些设施的宽度。如图 4-1 所示。

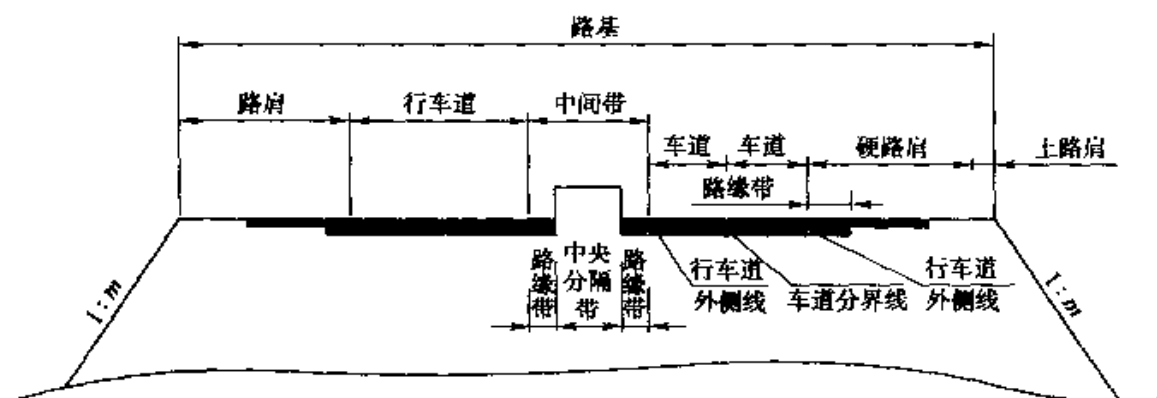


图 4-1

2. 边坡率

公路的路基路面设计涉及填挖成型的路基边坡坡度,如图 4-2 所示, AD 是地面线, BC 是设计路基顶面, h 是设计的填方高度, AB 、 CD 是路基的边坡。

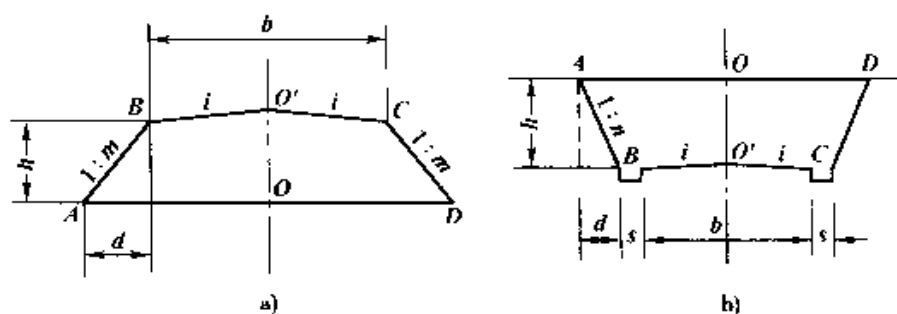


图 4-2

路基边坡的坡度通常用 $1:m$ 的形式表示,即:

$$i = \frac{h}{d} = \frac{1}{m} \quad (4-1)$$

$$m = \frac{d}{h} \quad (4-2)$$

式中 m 称为边坡率,或称为陡度。

由式(4-2)可见,取 $h = 1\text{m}$,则 $d = m$,即高差 h 是 1m 时,边坡水平长度 d 在数量上等于边坡率。如图 4-3 所示, AB 的边坡率为 $1:0.5$, $h = 1\text{m}$,则 $d = 0.5\text{m}$ 。边坡率越小,水平长度越短,边坡越陡。

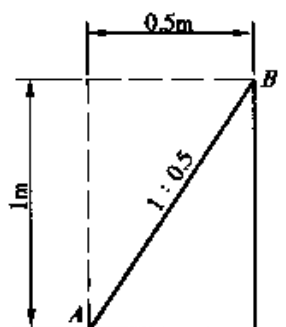


图 4-3

3. 超高

在图 4-2a)中, O 点是公路中心线在地面上的位置, O' 是中心线在设计路面上的位置, B 、 C 是公路中心线两侧的路基边界点。根据路基路面的设计要求,在公路直线段边缘点 B 、 C 处于同一高度,路面横断面由路中心向两侧略向下倾斜形成双向横坡面,如图 4-4a)所示的阴影部分。但是汽车在曲线路段行驶,由于曲线运行的离心力存在,汽车在这种路面上运行的稳定性将受到影响。为了保证汽车在曲线段行驶的安全,在公路曲线半径小于表 4-1 规定的情况下,路基路面设计曲线段的路面边缘点 B 、 C 连线在曲线半径方向上形成倾角为 α 的横坡面。如图 4-4 所示,这时 B 、 C 两点之间的高差为:

各级公路最小平曲线半径

表 4-1

公路等级	高速公路				一		二		三		四	
计算行车速度(km/h)	120	100	80	60	100	60	80	40	60	30	40	20
极限最小半径(m)	650	400	250	125	400	125	250	60	125	30	60	15
一般最小半径(m)	1 000	700	400	200	700	200	400	100	200	65	100	30
不设超高最小半径(m)	5 500	4 000	2 500	1 500	4 000	1 500	2 500	600	1 500	350	600	150

$$2\Delta = b \times \tan\alpha = b \times i \quad (4-3)$$

式中: 2Δ ——超高值;

- α ——超高角；
 i ——路面超高横坡度；
 b ——路面 BC 的设计宽度。

由于超高的存在,设计上 B 、 C 不在同一个高程面上,一般 B 点的超高值为 $-\Delta$,则 C 点的超高值为 $+\Delta$ 。圆曲线段路面的设计超高值是常数,路面倾斜形成单向横坡,如图 4-4b)所示。缓和曲线段的路面超高值随着在缓和曲线上的长度的不同而变化,路面横坡倾斜由双向横坡面向单向横坡面逐步过渡。

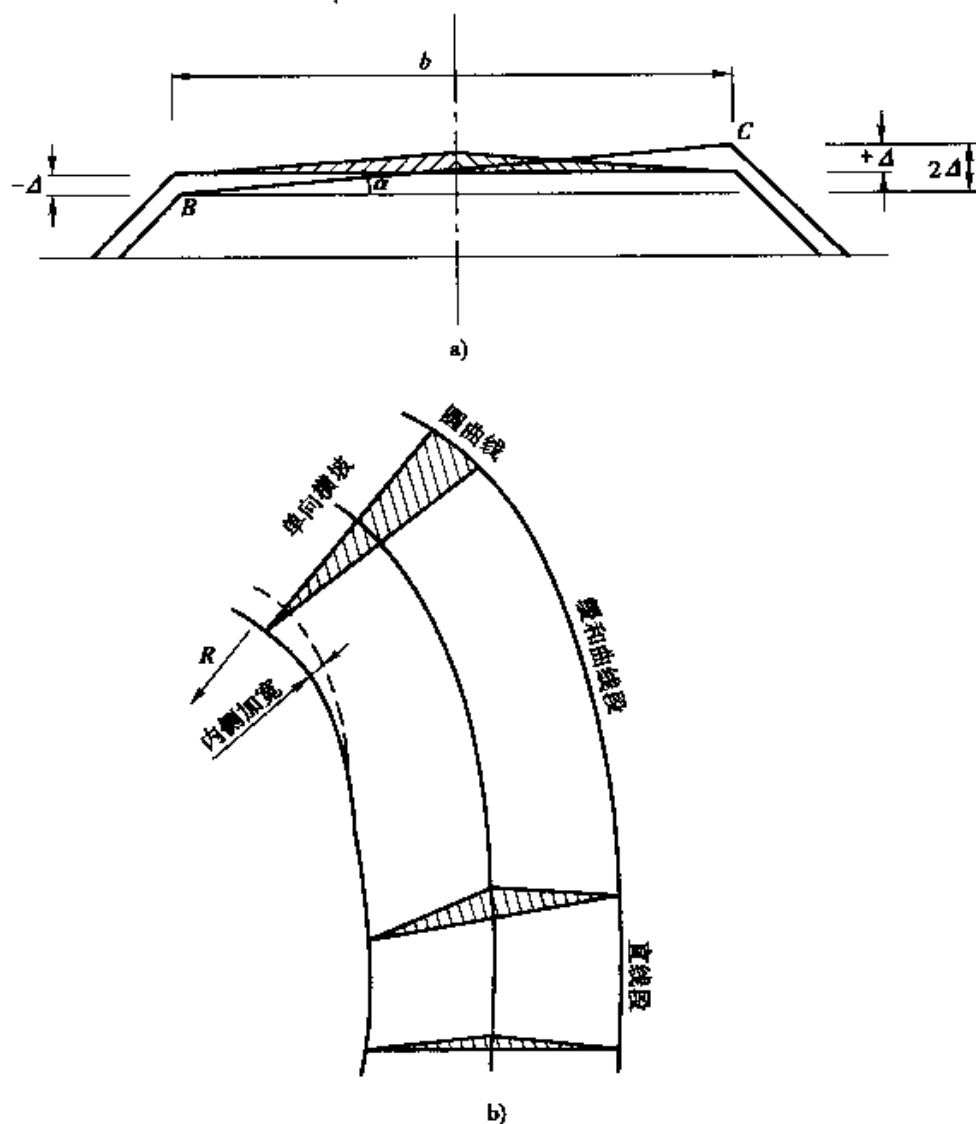


图 4-4

4. 加宽

汽车在平曲线上行驶时,需要比直线部分更大的行车宽度,当圆曲线半径小于或等于 250m 时,在圆曲线段应按规定设置加宽,同时在曲线两端设置加宽缓和段。曲线上的加宽值可从设计文件查取。

若圆曲线的加宽值为 B_j ,加宽缓和段内任一中桩的加宽值可按下式

计算:

当加宽缓和段为直线过渡时,

$$B_{jx} = \frac{X}{L_c} B_j$$

当加宽缓和段为高次抛物线过渡时,

$$B_{jx} = \left[4 \left(\frac{X}{L_c} B_j \right)^3 - 3 \left(\frac{X}{L_c} B_j \right)^4 \right] B_j$$

式中: B_{jx} ——加宽缓和段内任一中桩的加宽值;

x ——对应于 B_{jx} 的中桩到加宽缓和段起点的长度;

L_c ——加宽缓和段(或缓和曲线段)的长度。

二、路基路面施工放样有关待求参数的计算

1. 公路用地面积的计算

(1) 公路用地面积的构成

图 4-5 所示是一段公路全景透视图,从图中可以看出,公路实际用地面积包括:路基宽度及由边坡率所决定的填方路基(图 4-5 中的 AB 段)扩张面积,公路排水沟面积,由边坡率决定的挖方路堑(图 4-5 中的 BC 段)开挖面积以及路线转弯处的内侧加宽面积(如图 4-4b)等。图 4-6a)是路基路面设计的平面图,公路

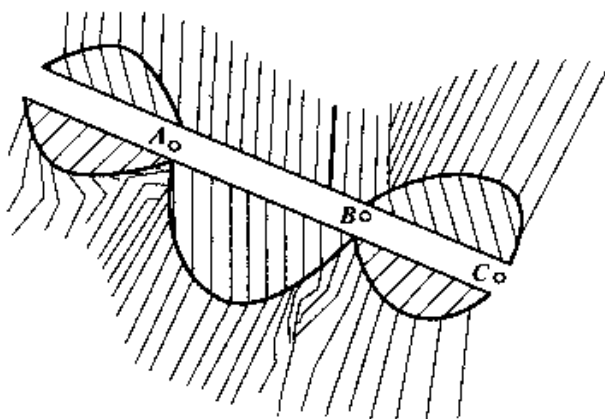


图 4-5

用地面积包括在平面图中的 1、2……8 及 1'、2'……8' 所围成的区域,这是根据公路设计确定的基本用地面积。如果在公路建设上顾及景观美化和绿带的需要,还应在基本用地基础上增加绿化带等用地面积。

另外,城市道路用地范围具有上述公路用地的内容,同时根据城市规划建设的需要,还应包括行车道、人行道、绿带、停车带等部分的面积,如图 4-7 所示。

(2) 用地边界位置参数的测算

① 对称填高的用地边界点位置参数的计算:如图 4-6a)所示,地面 AD 平坦, BC 是以中线桩 O 为对称点设计的路面, b 是路面设计宽度, m 是边坡率, h 是路基填筑高度(简称填高)。对称填高的用地边界点位置参数,即离开中线桩的距离 dd :

$$dd = b + 2D = b + 2mh \quad (4-4)$$

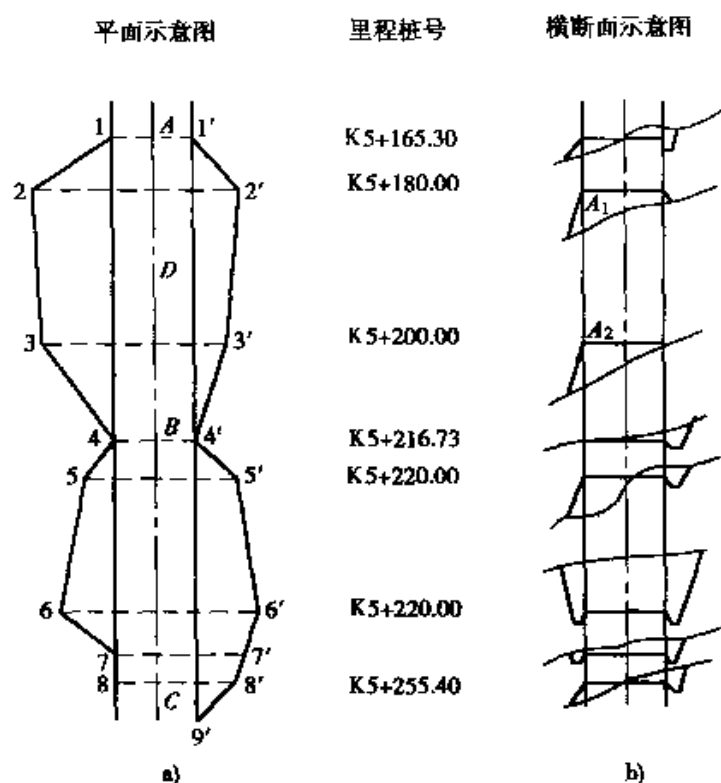


图 4-6

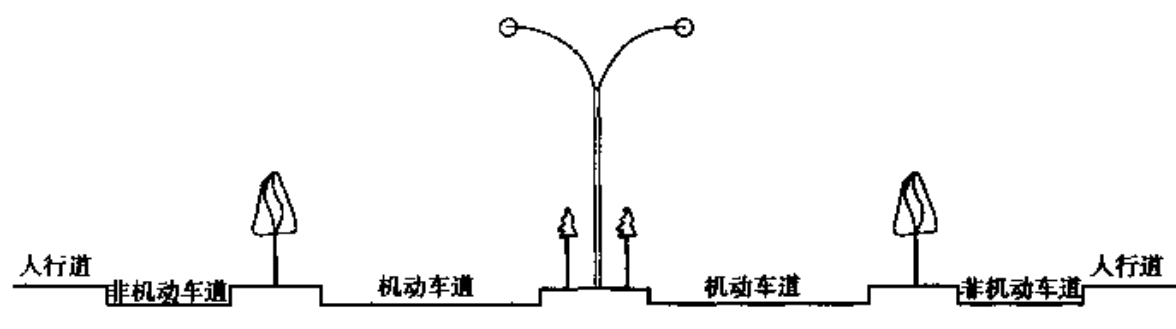


图 4-7

②对于挖低的路堑路段的用地边界点位置参数的计算:如图 4-6b)所示,地面 AD 地势平坦, BC 是以中线桩 O 为对称设计的路面, s 是排水沟的宽度, h 是开挖的路堑深度(简称挖低),其他符号同图 4-6a)。对称挖低的用地边界点位置参数 dd :

$$dd = b + 2s + 2mh \quad (4-5)$$

③不规则填挖地段用地边界点位置参数的测算,如图 4-8 所示,中线桩 O 附近是不规则地面。

解析法:

a. 设立一个 $h-d$ 坐标系,如图 4-8 所示, h 轴(高差)在公路

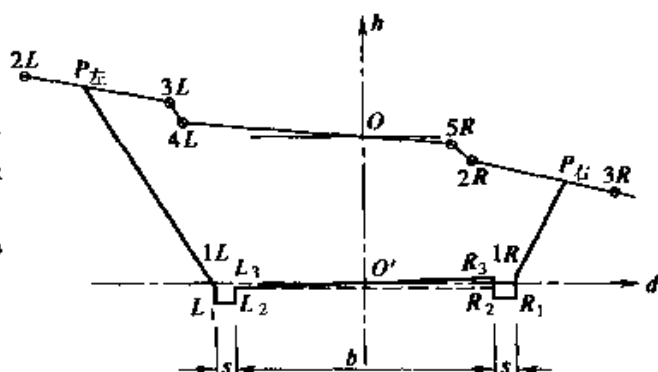


图 4-8

中心线点 O 的垂线上, d 轴(横向距离)通过设计路面标高处 O' 。

b. 设路面边界点 P 的坐标为 (h, d) , 按公式求解。

据推证, P 点的坐标应满足下式, 即

$$AZ + L = 0 \quad (4-5)$$

式中:

$$Z = \begin{bmatrix} h \\ d \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} h_3 - h_2 & -d_3 + d_2 \\ 1 & -m \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} -h_2d_3 + h_3d_2 \\ -h_1 + d_1m \end{bmatrix}$$

解算式(4-5)得

$$Z = -A^{-1}L \quad (4-6)$$

式中: h_1, d_1 ——路面边界点 1 的坐标, 可从路面设计中得到的参数;

h_2, d_2, h_3, d_3 ——地面点 2、3 的坐标, 均是横断面测量得到的数据;

h, d ——设计的填方路基(或者挖方路堑)边界点 P 的待求坐标, 其中 d 的绝对值是路堤(或者路堑)的边界点到公路中心线的距离。

按上述坐标系计算时应注意: 计算填方路基右边界点的坐标, 或者计算挖方路堑左边界点的坐标时, 边坡率 m 应取负值。为了更加详细地说明计算方法, 在此给出计算示例。

如图 4-8 所示, 计算结果见表 4-2。

不规则填挖地段用地边界点位置参数计算结果

表 4-2

里程桩号	K1+35.00	设计挖(或填)高差 $h+4.86$		边坡率 0.7		
项 目	左 侧			右 侧		
	点号	$h(m)$	$d(m)$	点号	$h(m)$	$d(m)$
横断面测量 地面点坐标	2L	3.01+4.86	-14.02	5R	-0.41+4.86	4.93
	3L	2.08+4.86	-8.31	2R	-4.70+4.86	6.2
	4L	1.02+4.86	-7.81	3R	-1.98+4.86	10.81
路边点坐标	1L	超高 -0.23	-7.5	1R	超高 0.23	7.5
填(或挖)边界	(P_A)	7.71	-13.06	P_B	2.96	9.41
点参数	距离	(P_A)	13.06		(P_B)	9.41

图解估计: 从图 4-8 可以看出, 用地边界点 P_A 、 P_B 的位置可利用作图的方法求得。

a. 以路面设计宽度 b 及边坡率 m 等参数为依据作边坡线, 可得边坡线与地面线的交点 P 。

b. 在图上量取中线点到 P 点的图上长度。

c. 按绘图比例把图上长度换算为实际长度, 得到边界点距离路中线的实际距离。

(3) 用地面积测算

测算公路用地面积(包括城市道路用地面积), 可利用设计图纸的设计边界线所围成的图形, 按几何法或者利用求积仪求得。为了准确测算, 一般公路面积测算多用梯形法、解析法。

①梯形法。如图 4-6a) 所示, 2 、 3 、 $3'$ 、 $2'$ 四个边界点构成梯形, 梯形的面积:

$$A_{\text{梯}} = 0.5 \Delta S (dd_2 + dd_3) \quad (4-7)$$

式中: $A_{\text{梯}}$ ——梯形 $233'2'$ 的面积;

dd_2 、 dd_3 ——分别是 $22'$ 、 $33'$ 的边界宽度;

ΔS —— $22'$ 与 $33'$ 的里程差。

②按多边形面积计算公式计算面积。这时应计算公路左右边界点的坐标, 然后用下式计算面积:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i-1} - y_{i+1}) \quad (4-8)$$

式中: x_i , y_i ——边界点在图上的坐标。

2. 路基设计横断面面积的计算

图 4-6b) 为各里程桩位路基设计的横断面示意图。从图中可以看出, 横断面面积涉及路基的填挖高度(h)、路面宽度(b)、排水沟宽度(s)、边坡率(m)、路面超高(Δ)以及地面实际地面线, 情况比较复杂。横断面的计算应根据不同情况采取不同的方法。

(1) 对称填高横断面面积的计算

如图 4-2a) 所示, 填高横断面面积 A 为:

$$A = 0.5 [b + (b + 2mh)]h + 0.5^2 i \times b^2 = bh + mh^2 + 0.5^2 ib^2 \quad (4-9)$$

(2) 对称挖低横断面面积的计算

如图 4-2b) 所示, 挖低横断面面积 A 为:

$$\begin{aligned} A &= 0.5 [(b + 2s) + (b + 2s + 2mh)]h + 2s\Delta h - 0.5^2 ib^2 \\ &= bh + mh^2 + 2s(h + \Delta h) - 0.5^2 ib^2 \end{aligned} \quad (4-10)$$

式中: Δh ——排水沟的深度;

i ——横坡度。

(3) 不规则填挖横断面面积的计算

根据横断面测量结果和路基路面设计参数(h 、 m 、 Δ 等),绘出不规则填挖横断面图,如图4-8所示。显然这种不规则横断面图随着情况不同而异,以该图为例,横断面面积仍然可利用图中的边界线所围成的图形,按几何法或者利用求积仪求得,也可利用图上的各个连接点的坐标按解析法公式(4-8)计算。如图4-8所示,根据测算结果及设计参数得出横断面各点的坐标及面积,其计算结果列与表4-3中。

横断面各点的坐标及面积计算结果

表4-3

左 侧			右 侧		
点 号	$h(m)$	$d(m)$	点 号	$h(m)$	$d(m)$
4L	1.02 + 4.87	- 7.81	5R	- 0.41 + 4.86	4.93
3L	2.08 + 4.87	- 8.31	2R	- 1.70 + 4.86	6.2
$P_{左}$	7.71	- 13.06	$P_{右}$	2.96	9.41
1L	- 0.23	- 7.5	1R	0.23	7.5
L_1	- 0.53	- 7.5	R_1	- 0.07	7.5
L_2	- 0.53	- 7	R_2	- 0.07	7
L_3	- 0.23	- 7	R_3	0.23	7
面积	117.79m ²				

3. 土石方的测算

公路土石方,指的是设计公路的填挖土石方。挖方段是指从天然地表挖除的土石方;填方段是指填筑压实的土石方。公路土石方的计算一般采用断面法,即根据路基设计横断面面积及断面之间的距离求取土石方数量。如图4-6b)所示,各个填、挖横断面面积为已知,横断面之间的距离可利用两端断面所对应的中线里程桩号求得,则天然地表坡度相近的横断面之间的土石方体积 V 为:

$$V = 0.5(A_1 + A_2)D \quad (4-11)$$

式中: A_1 、 A_2 ——相邻两个填、挖横断面的面积;

D ——相邻两个横断面之间的距离。

比较精确的计算公式可采用棱台计算公式,即:

$$V = \frac{1}{3}D[A_1 + A_2 + \sqrt{A_1A_2}] \quad (4-12)$$

三、路基边桩放样的一般要求

公路路基的边桩包括路堤的填宽边界点和路堑的开挖边界点。除此以

外在路基土石方施工以前还应把公路红线界桩和公路工程界桩也要在地面上标定。

路基填挖边界点是指路堤(或路堑)边坡与自然地面的交点。

公路红线界桩是指为保证公路工程设施的正常使用和行车安全,根据公路勘测设计规范所确定的公路占用土地的分界用地界桩。公路用地在土地管理中属于公用地籍,界桩的设立将标明公路用地的边界范围,界桩之间连成的线称为红线。公路红线界桩确定了公路用地的范围、归属和用途,具有保护公路用地不受侵犯的法律效力。

公路工程界桩是根据公路设计的要求,标明路基路面、涵洞、挡土墙等边界点位实际位置的桩位,如公路的路基界桩、绿化带界桩等。公路工程界桩有时可能在公路用地的边界上,这种公路工程界桩兼有红线界桩的性质。

1. 公路界桩放样的基本要求

(1)公路路基边桩和公路界桩放样以前,一般是先测设红线界桩,然后再测设公路工程界桩。在公路规划勘测以及初测定测的过程中,公路主管部门应与当地被征用土地的有关部门协商确认公路红线界址以及红线走向所确定的公路用地范围,办理土地征用手续。测设红线界桩确认土地征用范围,此后按公路设计文件所设计的位置测设公路工程界桩。

(2)根据界桩的性质和用途设立标志。红线界桩属于混凝土柱型永久性界桩,要求埋设稳固,长期保存。公路工程界桩,若没有兼用红线界桩的用途,则属于实用性界桩,用于指示公路修筑的位置。

(3)伴随公路施工过程及时准确测设界桩。由于公路路面等级的差异,公路路面的结构层次的等级类型各不相同,公路界桩的测设往往不是一次完成的,而是通过多次测设实现的。在较高等级的公路施工中,一般有填挖土方阶段的界桩测设;在铺筑路基路面阶段有各结构层的界桩测设,有路基各结构层、绿化带等的界桩测设。这些界桩的测设为不同等级的公路施工提供准确的平面位置和标高位置,伴随公路施工的不断深入而完成。

2. 横断面的复查

在进行路基边桩放样以前,应首先核查横断面的地面线。核查方法:按施工要求的施工控制桩间距每隔一个桩距进行横断面测量,实测方法同《测量学》所介绍的横断面测量方法一样。

复查横断面的目的是为精确确定路基边桩的实地位置提供准确的计算依据,也可作为计算实际填挖土石方数量的依据。

§ 4-2 路基边桩平面位置放样方法

一、平坦地面的边桩放样

如图 4-9 所示, H 为中心填高, 宽度为 B 。右侧设有护坡道, 高为 h , 宽度为 b 。则两侧坡脚到中心桩的平距 L_1 、 L_2 分别为:

$$L_1 = h \cdot n + b + (H - h) \cdot m + \frac{B}{2}$$

$$L_2 = H \cdot m + \frac{B}{2}$$

从对应的中桩开始, 沿横断面方向分别放样距离 L_1 、 L_2 , 钉出边桩在实地的位置。在曲线段, 可从曲线内侧的平距 L 上再加上一个加宽值 W 。沿纵向连接各边桩, 得到放样边坡界线。

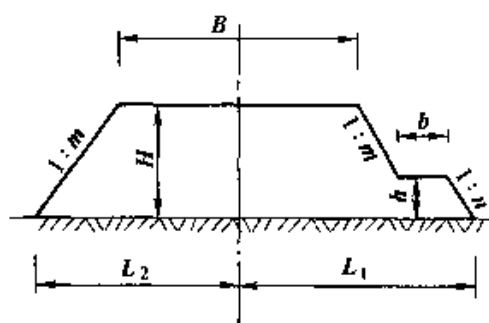


图 4-9

二、倾斜地面的边桩放样

对于倾斜地面上的边桩可采用极坐标法进行放样。先按第一节所介绍的方法计算两侧边桩的坐标, 然后再用坐标放样的方法确定边桩的位置。

三、机械化施工路基横断面的掌握

1. 路堤边坡与填高的掌握方法

(1) 机械填土时, 应按铺土厚度及边坡坡度保持每层间向内收缩一定的距离, 并且不可按自然的堆土坡度向上填土, 这样会造成超填而浪费土方。

(2) 每填高 1m 左右或者填至距路肩 1m 时, 要重新恢复中线、放样高程、放铺筑面边桩, 并用石灰显示铺筑面边线的位置, 并将标杆移至铺筑面边上。

(3) 距离路肩 1m 以下的边坡, 通常按设计宽度每侧多填 0.25m 掌握; 距离路肩 1m 以内的边坡, 则按稍陡于设计坡度掌握, 使路基面有足够的宽度, 以便整修边坡时铲除超宽的松土层后, 能保证路肩部分的压实度。

(4) 填至路肩标高时, 应将大部分地段(填高 4m 以下的路堤)设计标高进行实地检测; 填高大于 4m 的地段, 应按土质和填高不同考虑预留沉降量, 使粗平后的路基面无缺土现象。最后测设中线桩及路肩桩, 抄平后计算

整修工作量。

2. 路堑边坡及挖深的掌握方法

路堑机械开挖过程中,一般都需要配合人工同时进行整修边坡工作。

(1)机械挖土时,应按每层挖土厚度及边坡坡度保持层与层之间的向内回收的宽度,防止挖伤边坡或留土过多。

(2)每挖深 1m 左右,应测设边坡、复核路基宽度,并将标杆下移至挖掘面的正确边线上。每挖 3~4m 或距路基面 20~30cm 时,应复测中线、高程、放样路基面宽度。

按以上的做法,可及时控制填方超填和挖方超挖现象的出现。

§ 4-3 路基施工阶段各层次抄平方法

一、填方路堤各层的抄平

填方路基在施工过程中是分层进行填筑的,各结构层的厚度又各不相同。这就需要在填筑之前先测定各结构层的顶面高程。如图 4-10 所示,图中 h 为松铺厚度, h' 为压实厚度。在填筑以前需要先标定松铺厚度 E 点的位置。

(1)如图 4-11 所示, A' 、 B' 、 C' 、 D' 为路基的坡脚放线位置, A 、 B 、 C 、 D 为某结构层顶面松铺厚度顶面的放样位置。 $A'A$ ($B'B$ 、 $C'C$ 、 $D'D$) 之间的高差为松铺厚度 h , AD 、 BC 的长度为该结构层顶面的宽度。

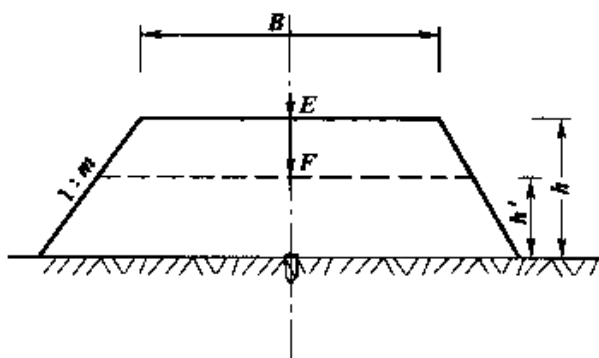


图 4-10

(2)由试验路段可得该结构层所对应的松铺系数 k 。

$$k = \frac{h}{h'}$$

$$h = kh'$$

(3)结构层松铺厚度的顶面高程为 H 。

$$H = H_d + h$$

式中 H_d 为该结构层底面高程。

(4)采用高程放样方法用木桩标定出 A 、 B 、 C 、 D 的位置,使木桩顶面的高程等于该结构层松铺厚度的顶面高程 H 。

(5)在各木桩顶面钉上小钉子,在钉子之间拉上细线作为填筑的依据。

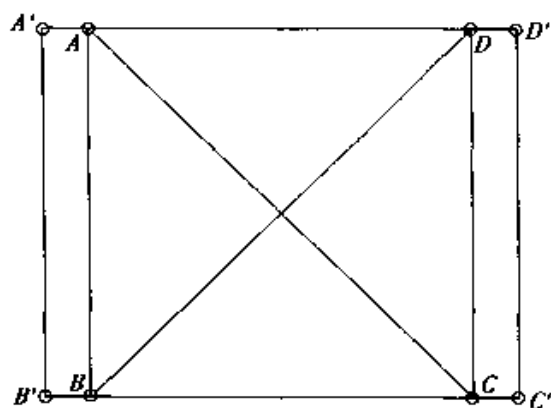


图 4-11

(6)当该结构层压实后,再用高程放样方法检查该结构层顶面的高程。

二、直线段路基顶面的抄平

当路基施工高度达到设计高程后,应检查路基中心顶面的高程及路基两侧边缘的设计高程。路面横坡度的形成,一般在路基顶面施工时就应该作成横向坡度。路基顶面的横坡和路面的横坡是一致的。

如图 4-12、图 4-13 所示,图 4-12 为路基断面图,图 4-13 为路基平面图。在图 4-13 中, A、B、C、D 为路基中线施工控制桩, E、F、G、H 和 M、N、O、P 为与路中线施工控制桩相对应的路基边线。

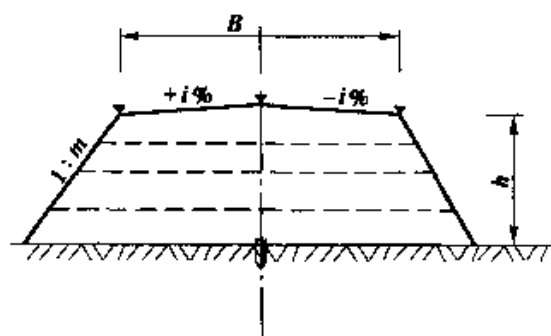


图 4-12

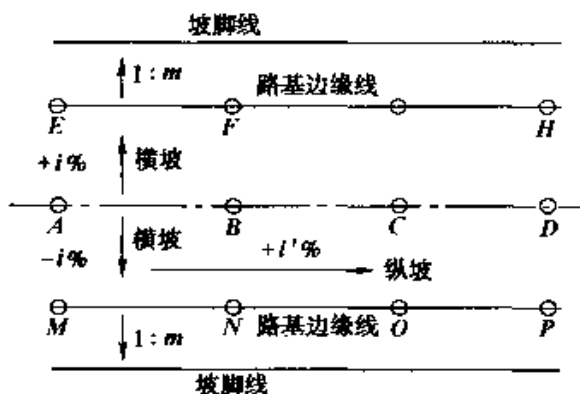


图 4-13

1. 先检查路基顶面中线施工控制桩的设计标高

假定 A 点的设计标高为 H_A , 路线纵坡为 $+i'\%$, 施工控制桩间距为 10m。则 B、C、D 点的设计标高分别为:

H_A = 路面顶面中心 A 点的设计标高 - 路面结构层厚度

$$H_B = H_A + (+i'\%) \times 10$$

$$H_C = H_B + (+i'\%) \times 10$$

$$H_D = H_C + (+i'\%) \times 10$$

在已知高程为 H_{BM} 的水准点和 A 点立水准尺, 水准仪后视水准点所立水准尺读数为 a , 前视 A 点所立水准尺读数为 b_A 。

$$H'_A = H_{BM} + (a - b_A)$$

$$\Delta A = H'_A - H_A$$

若 $\Delta A < 0$, A 点应填高, 填高值为 ΔA ; 若 $\Delta A > 0$, 则 A 点应挖低, 挖低

值为 ΔA 。

依次在 B 、 C 、 D 点立水准尺,读数分别为 b_B 、 b_C 、 b_D ,按同样的方法分别计算 ΔB 、 ΔC 、 ΔD ,对 B 、 C 、 D 点进行高程检查和重新放样。

2. 检查路基边线设计标高

计算和路基中心施工控制桩 A 点对应的两侧路基边桩 E 点和 M 点的设计标高。如图 4-13 所示, E 点和 M 点是关于 A 点对称的两个路基边缘点,设路面横坡为 $i\%$,则 E 点和 M 点的设计高程为:

$$H_E = H_A - i\% \cdot \frac{B}{2}$$

$$H_M = H_A - i\% \cdot \frac{B}{2}$$

式中: B ——路基宽度;

$i\%$ ——路面横坡度。

将水准尺立于 E 点和 M 点,读数分别为 b_E 、 b_M 。

$$H_E' = H_{BM} + (a - b_E)$$

$$H_M' = H_{BM} + (a - b_M)$$

$$\Delta E = H_E' - H_E$$

$$\Delta M = H_M' - H_M$$

若 $\Delta E < 0$,则 E 点应填高 ΔE ;若 $\Delta E > 0$,则 E 点应挖低 ΔE 。对于 M 点采用同样的方法检查。

对于路基两侧的其他各点,可采用同样方法进行检查。

三、曲线段路基顶面的抄平

对于曲线段由于存在超高和加宽,计算要相对复杂一点。在路基设计表中曲线段的加宽和超高值已经给出,在进行放样时只需直接引用即可。在计算路基边线上的施工检查点的高程和坐标时,为计算方便一般是以与其对应的在同一个横断面方向上中线施工控制点的坐标和高程为基准。检查方法同直线段。

四、竖曲线段路基顶面设计标高的计算

如图 4-14 所示,在进行路线纵坡设计时,确定了路线起终点的设计标高和各变坡点的桩号、设计标高、竖曲线半径,根据这些资料即可计算竖曲线上任意一个中桩的设计标高。

相邻变坡点之间的坡度为:

$$i_j = \frac{H_j - H_{j-1}}{L_j - L_{j-1}} \times 100\%$$

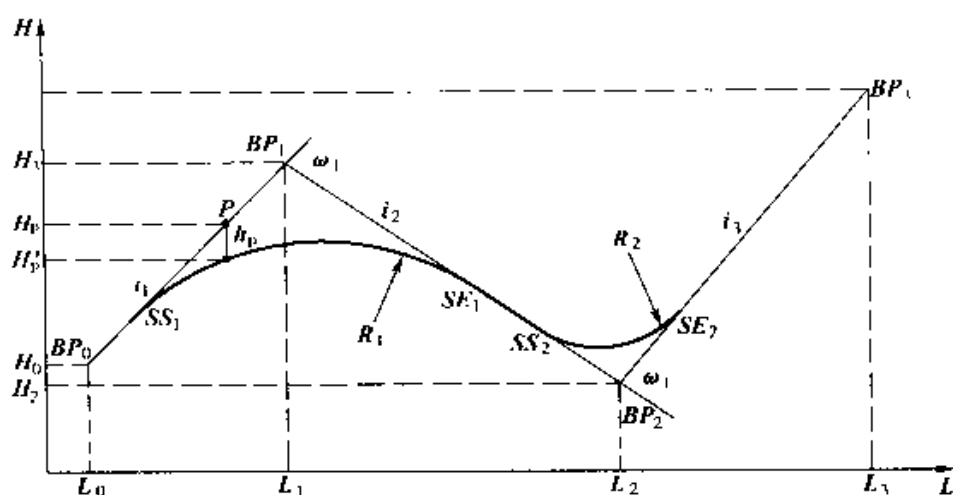


图 4-14

式中： i_j ——第 $(j-1)$ 到 j 号变坡点之间的坡度；

H_{j-1}, H_j ——第 $(j-1)$ 和 j 号变坡点的设计标高；

L_{j-1}, L_j ——第 $(j-1)$ 和 j 号变坡点的里程桩号。

若某中桩位于第 $(j-1)$ 和 j 号变坡点之间，桩号为 L ，则其设计标高为：

$$H = H_{j-1} + (L - L_{j-1}) i_j$$

第 j 号变坡点的竖曲线半径为 R_j ，竖曲线要素为：

转坡角 $\omega_j = |i_j - i_{j+1}|$ (弧度)

切线长 $T_j = \frac{R_j \omega_j}{2}$

外距 $E_j = \frac{T_j^2}{2R_j}$

竖曲线起点的桩号 $SS_j = L_j - T_j$

竖曲线终点的桩号 $SE_j = L_j + T_j$

当中桩位于竖曲线范围内，应对其设计标高进行修正。竖曲线范围内切线上任一点与竖曲线之间的竖向距离为：

$$h = \pm \frac{l^2}{2R_j}$$

式中 l 为竖曲线上相应于 h 的点到竖曲线起(终)点的距离。

对于凸形竖曲线， h 取负值；凹形竖曲线， h 取正值。

【例题】如图 4-14 所示， P 点位于 BP_1 所对应的竖曲线范围内，其设计标高为 H_p 。求其修正以后的设计标高。

解：(1) 计算竖向间距

$l_p = BP_1$ 桩号 - P 点桩号

$$h_p = -\frac{l_p^2}{2R_1}$$

(2) 计算 P 点对应于竖曲线上的设计高程 H_p'

$$H_p' = H_p + h_p$$

§ 4-4 路面施工放样方法

路面施工是公路施工的最后一个环节,也是最重要最关键的一个环节。因此,对路面施工放样的精度要求要比路基施工阶段放样的精度高。为了保证精度,便于测量,通常在路面施工之前,将线路两侧的导线点和水准点引测到路基上,一般设置在不易被破坏的桥梁、通道的桥台上或涵洞的压顶石上。引测的导线点和水准点要和高一级的导线点和水准点进行附合或闭合,精度应满足一、二级导线和五等水准测量的要求。

路面施工阶段的测量放样工作仍然包括恢复中线、放样高程和测量边线。

路面施工是在路基土石方施工完成以后进行的。在路面底基层(或者垫层)施工前,首先应进行路槽放样。路槽放样包括两方面的内容:中线施工控制桩恢复放样和中平测量;路槽横坡放样。除面层外,各结构层横坡按直线形式进行放样。

一、路槽放样

如图 4-15 所示,在粗平的路基顶面上恢复中线,每隔 10m 加密中桩,再

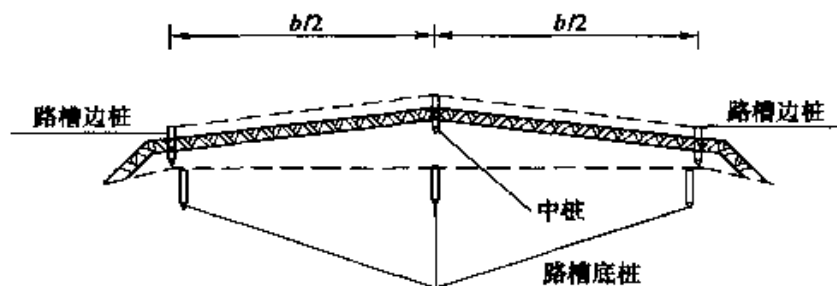


图 4-15

沿各中桩的横断面方向向两侧量出路槽宽度的一半 $C/2$ 得到路槽的边桩,量出 $B/2$ 得到路肩边桩(曲线段设置加宽时,要在加宽的一侧增加加宽值 W),然后用放样已知点高程的方法使中桩、路槽边桩、路肩边桩的桩顶面高程等于路面施工完成后的路面标高(要考虑路面和路肩的横坡以及超高)。在上述这些边桩的旁边挖一个小坑,在坑中钉桩,然后用放样已知点高程的方法使桩顶高程附合于考虑过路槽横向坡度后的槽底的高程(要考虑因压

实而加入一定的虚方厚度),以指导路槽的开挖和整修。低等级公路一般采用挖路槽的路面施工方式,路槽修整完毕后,便可进行培路肩和路面施工。高等级公路一般采用培路肩的路面施工方式,所以路槽开挖整修要进行到路肩的边缘。

机械施工时,木桩不易保存,因此路中心和路槽边的路面高程可不放样,而在路槽整修完成后,在路槽底面上放置相当于路面加虚方厚度的木块作为路面施工的标准。

路拱(面层顶面横坡)类型由抛物线形、屋顶线形和折线形三种。下面介绍这三种路拱型式的放样数据计算方法。

二、路面放样

路面各结构层的放样方法仍然是先恢复中线,然后由中线控制边线,再放样高程控制各结构层的标高。除面层外,各结构层横坡按直线形式放样。要注意的是路面的加宽和超高。

1. 路面边桩放样

路面边桩的放样可以先放出中线,再根据中线的位置和横断面方向用钢尺丈量放出边桩。

在高等级公路路面施工中,有时不放中桩而直接根据边桩的坐标放样边桩。

(1) 边桩坐标的计算

如图 4-16 所示,路线中线上任一点 P 桩号为 l_p ,坐标为 (X_P, Y_P) ,切线坐标方位角为 $\alpha_{切}$ 。过 P 点的法线坐标方位角 $\alpha_{法}$ 按下式计算求得:

$$\alpha_{法} = \alpha_{切} + 90^\circ$$

为计算方便,规定 $\alpha_{法}$ 方向总是指向中线右侧,左右两侧是相对于路线前进方向而言。

横断面方向(即法线方向)上任一点 D ,距离中线的距离(即横支距)为 S_D ,规定:中线左侧横支距为负,中线右侧横支距为正。则横断面方向上 D 点的坐标由下式计算:

$$X_D = X_i + S_D \cos \alpha_{法}$$

$$Y_D = Y_i + S_D \sin \alpha_{法}$$

(2) 边桩放样

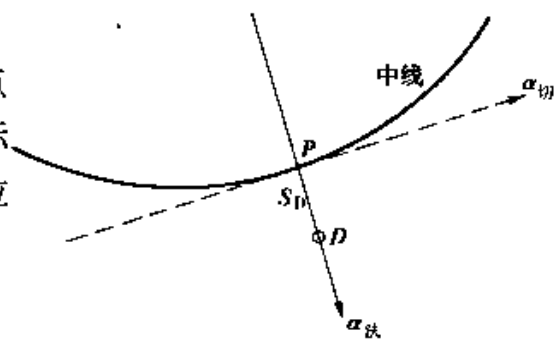


图 4-16

已知横断面方向上 D 点的坐标, 便可以利用导线点采用坐标放样的方法放出边桩。

2. 路拱放样

对于水泥路面或者中间有分隔带的沥青路面, 其路拱(即路面顶面横坡)按直线形式放样。

对于中间没有分隔带的沥青路面, 其路拱(面层顶面横坡)一般有如下几种形式:

(1) 抛物线形路拱

① 二次抛物线路拱

如图 4-17 所示, 从中线开始, 按图示坐标形式放样, 一般把路幅宽分为 10 等分。计算公式如下:

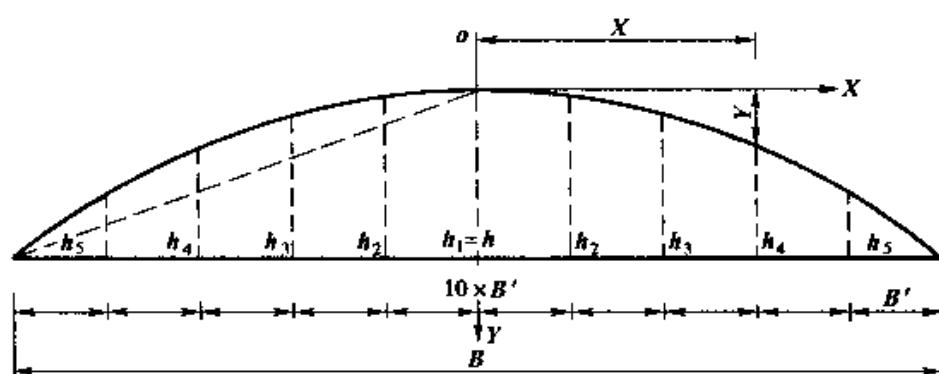


图 4-17

$$Y = \frac{4h}{B^2} \cdot X^2$$

$$B' = \frac{B}{10}, h_1 = h = \frac{B}{2} \cdot i, h_2 = 0.96h_1$$

$$h_3 = 0.84h_1, h_4 = 0.64h_1, h_5 = 0.36h_1$$

式中: X ——离中线横向距离;

Y ——相应于 X 各点的竖向距离;

B ——车道宽度(即路面宽);

h ——路拱高;

i ——平均横坡度(%)。

② 改进的二次抛物线路拱

参见图 4-17。计算公式如下:

$$Y = \frac{2h}{B} \cdot X^2 + \frac{h}{B} \cdot X$$

$$B' = \frac{B'}{10}, h_1 = h = \frac{B}{2} \cdot i, h_2 = 0.88h_1$$

$$h_3 = 0.72h_1, h_4 = 0.52h_1, h_5 = 0.28h_1$$

③半立方次(一次半)抛物线路拱

参见图 4-17。计算公式如下:

$$Y = h \left(\frac{2X}{B} \right)^{3/2}$$

$$B' = \frac{B}{10}, h_1 = h = \frac{B}{2} \cdot i, h_2 = 0.91h_1$$

$$h_3 = 0.75h_1, h_4 = 0.54h_1, h_5 = 0.29h_1$$

④改进的三次抛物线路拱

参见图 4-17, 计算公式如下:

$$Y = \frac{4Y}{B^3} \cdot X^3 + \frac{h}{B} \cdot X$$

$$B' = \frac{B}{10}, h_1 = h = \frac{B}{2} \cdot i, h_2 = 0.90h_1$$

$$h_3 = 0.77h_1, h_4 = 0.59h_1, h_5 = 0.34h_1$$

(2) 屋顶线形路拱

①倾斜直线形路拱(图 4-18)

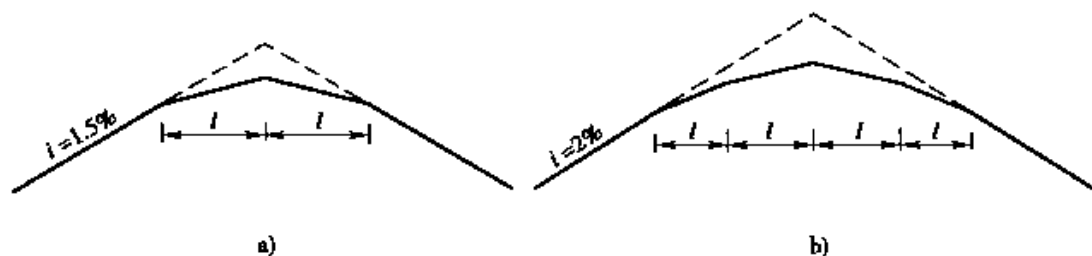


图 4-18

a. 当路面横坡采用 1.5% 时, 在路拱中心插入一对横坡度为 0.8% ~ 1.0% 的对称连接线。

b. 当路拱横坡采用 2% 时, 在路拱中心插入两对对称的连接线, 其横坡度分别为 1.5% 和 0.8% ~ 1.0%。

c. 图 4-18 中的 l 值一般取路面宽度的 $1/2$ 或 $1/4$ 。

②圆顶直线形路拱(图 4-19)

中间的圆顶部分用圆曲线或者抛物线连接, 所用圆曲线长度一般不小于路面宽度的十分之一, 半径不小于 50m。拱高 h 可采用下式计算:

$$h = \left(\frac{b}{2} - \frac{l_1}{4} \right) i$$

式中 l_1 为曲线段的水平距离, 一般以 2m 计。

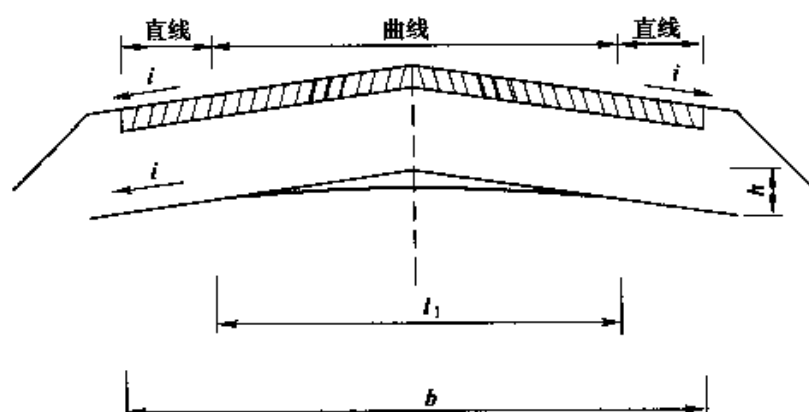


图 4-19

中间没有分隔带的沥青路面,其路面路拱的放样一般采用路拱样板进行,在施工过程中逐段检查。

【例题】 图 4-20 所示为水泥混凝土路面的横断面形式,其中中间带宽度为 4.50m,半幅行车道宽度为 8.50m,基层厚度为 18cm,面层厚度为 25cm。

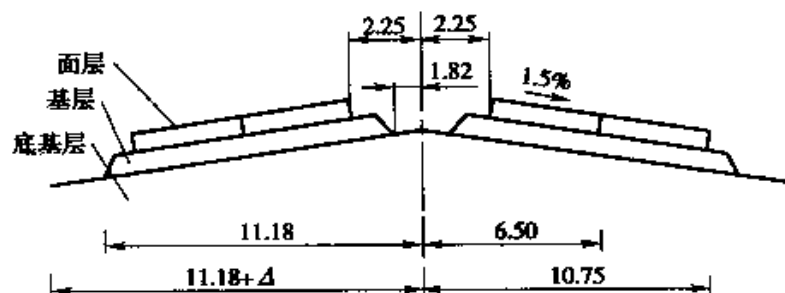


图 4-20

解:(1)基层施工测量

设基层设计标高为 $H = h + 0.18\text{m}$ (h 为底基层中心设计标高),则距中心 1.82m、11.18m、11.43m 处的基层设计标高分别为:

$$H_{1.82} = H - 1.82 \times i$$

$$H_{11.18} = H - 11.18 \times i$$

$$H_{11.43} = H - 11.43 \times i$$

式中 i 为路拱横坡,取 1.5%。

将以上计算的设计标高放样到实地,便可指导基层施工。

以上设计标高中:

$H_{1.82}$ 、 $H_{11.18}$ 是在摊料时所用,其虚厚按不同的路面结构形式掌握。一般灰土基层虚厚为 6cm。

H 、 $H_{11.43}$ 是在推土机初步压实后为找平时所用,其虚厚按不同的路面结构形式掌握。一般灰土基层虚厚为 2.5cm。

基层施工误差主要来自测量误差、施工误差、虚厚误差三个方面。

施工误差主要指:当某一区域摊料过多,摊料人员为了省力,将料摊铺得过实,甚至将施工挂线提一提;当堆料过少时,又会将料摊铺得虚,或者将施工桩向下钉一钉。因而要求施工员要有高度的责任心,保护好施工桩,严格控制摊铺质量。

虚厚误差主要包括:粘土的密实度差别,摊铺有的被压实,有的松散,路槽标高的误差引起底基层的厚度不一。主要的消除方法是人工摊铺,机械充分拌和,用推土机初步压实后再次找平。

(2)水泥混凝土面层施工测量

如图 4-20 所示,由中线控制桩量出 2.25m、6.50m、10.75m 处边线,钉入钢钉,测出桩顶标高,根据水泥混凝土面层的设计标高得出模板顶标高。当模板支好后,用经纬仪对顺直度,用水准仪对模板标高进行复测,不合格者予以调整,然后开始铺筑混凝土。

水泥混凝土面层标高误差产生的原因主要是由测量误差和施工误差造成的。施工误差主要包括挂线误差和模板误差。

挂线误差:用钢尺所量的高度不准,施工挂线没有系牢、拉紧,出现中间下凹的现象。

模板误差:模板支得不坚固,振捣时引起模板下沉;模板上的残余混凝土没有清除干净;模板变形引起其顺直度达不到标准。

(3)折线形路拱

折线形路拱一般也分成 10 等分进行放样。

3. 路面放样的精度要求

路面放样的精度要求,应按照对不同路面的相应规定执行。具体可按《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—98)的相关条款执行。参见表 4-4、表 4-5。

路面面层放样精度要求

表 4-4(A)

序号	检查项目		水泥混凝土面层		沥青混凝土面层	
			高速公路或一级路	其他公路	高速公路或一级路	其他公路
1	中线平面偏位(mm)		± 20		± 20	
2	纵断高程(mm)		± 10	± 15	± 15	± 20
3	宽度(mm)	有侧石	± 20		± 20	± 30
		无侧石			不小于设计值	
4	横坡(%)		± 0.15	± 0.25	± 0.3	± 0.5

注:表中数据为规定值或允许偏差。

路面面层放样精度要求

表 4-4(B)

序号	检查项目		沥青贯入式面层	沥青表面处治面层
1	中线平面偏位(mm)		± 30	± 30
2	纵断高程(mm)		± 20	± 20
3	宽度(mm)	有侧石	± 30	± 30
		无侧石	不小于设计值	不小于设计值
4	横坡(%)		± 0.5	± 0.5

注:表中数据为规定值或允许偏差。

石灰土基层和底基层放样精度要求

表 4-5(A)

序号	检查项目	基 层		底 基 层	
		高速公路或一级路	其他公路	高速公路或一级路	其他公路
1	中线平面偏位(mm)	± 50		± 50	
2	纵断高程(mm)		+5, -15	+5, -15	+5, -20
3	宽度(mm)	不小于设计值		不小于设计值	
4	横坡(%)		± 0.5	± 0.3	± 0.5

注:表中数据为规定值或允许偏差。

水泥稳定粒料基层和底基层放样精度要求

表 4-5(B)

序号	检查项目	基 层		底 基 层	
		高速公路或一级路	其他公路	高速公路或一级路	其他公路
1	中线平面偏位(mm)	± 50		± 50	
2	纵断高程(mm)	+5, -10	+5, -15	+5, -15	+5, -20
3	宽度(mm)	不小于设计值		不小于设计值	
4	横坡(%)	± 0.3	± 0.5	± 0.3	± 0.5

注:表中数据为规定值或允许偏差。

第5章 桥梁施工控制测量

§ 5-1 概 述

桥涵施工控制测量的主要任务是建立桥涵高程控制网、补充施工需要的水准点、精确地测定墩台中心位置、桥轴线测量、构造物各细部构造的定位和放样以及桥台和墩台的竣工测量。对大型桥梁来讲,首先必须建立平面控制网、高程控制系统并测量桥轴线的长度,以确保桥梁走向、跨距、高程等符合规范和设计要求。

实施桥涵测量前应查对监理单位所交付的桥涵中线位置三角网基点及水准基点等桩志和有关测量资料,如有桩志不足、不妥、位置移动或精度与要求不符,均须进行补测、加固,并将校测结果通知监理单位及业主。为使测量工作顺利进行,测量人员必须重视测量工作,要有熟练的操作技能、良好的协作精神及严格遵守测量规范的良好习惯,并做好测量人员的分工、仪器的校验、测设步骤的制订等项准备工作。

§ 5-2 桥梁高程控制网的建立

桥梁高程控制网是桥梁施工中墩台高程放样的依据。在桥梁建成投入运营之后,还要作为沉陷变形观测的高程依据。

桥梁高程控制网就是在桥址附近设立一系列基本水准点和施工水准点。基本水准点是桥梁高程的基本控制点。为了获取可靠的高程起算数据,江河网岸的基本水准点应与桥址附近的国家高级水准点进行联测。通过过河水准测量,将两岸高程联系起来,以此可检核两岸国家水准点有无变动,并从中选取一稳固可靠、精度较高的国家水准点作为桥梁高程控制网的高程起算点。由于桥梁各墩、台在施工中一般是由两岸较为靠近的水准点引测高程,为了确保两岸水准点高程的相对精度,应进行精密过河水准测量。

由于基本水准点在桥梁施工期间用于墩、台的高程放样,在桥梁建成后作为检测桥梁墩、台沉陷变形的依据,因此需永久保留。基本水准点应选在

地质条件好、地基稳定、使用方便、在施工中不易破坏的地方。一般在正桥两岸桥头附近都应设置基本水准点,每岸至少应设置一个。如果引桥长于1km时,还应在引桥起、终点及其他合适位置设立。

基本水准点的埋设应坚实稳定,根据不同的地质条件可埋设不同类型的标识。如果地面覆盖层较浅,可埋设普通混凝土、钢管标识或直接设置在岩石上的岩石标识。当地面覆盖层较厚且覆盖物较疏松时,则应埋设深层标识,如管柱标识、钻孔桩标识以及基岩标识等。无论采用何种类型的标识,均应在标识上嵌入不锈蚀的铜质或不锈钢凸形标志。

标识埋设后不能立即用于水准测量,应有10~15d以上的稳定期,之后才能进行观测。

为了满足桥梁墩、台施工高程放样的要求,在基本水准点的基础上,尚需增设一定数量的施工水准点;标识的埋设标准可略低于基本水准点,按普通水准点标识的要求,测量等级也可略低于基本水准点。

过河水准测量在桥梁高程控制测量中极为重要,应采用精密的方法测定。对于特大桥,一般采用倾斜螺旋法和经纬仪倾角法。当跨河视线短于500m,则可采用光学测微法。跨河视线短于300m的三、四等水准测量,也可采用水准仪直读法。此外,根据跨河视线长度的不同,可采用单线过河或双线过河。当跨河视线短于300m时采用单线过河,超过300m时必须双线过河,并在两岸用等精度联测,形成过河水准闭合环。

基本水准点间的水准测量,包括与国家高程点的联测,其精度等级一般要求与过河水准测量相同。基本水准点应与水利、水文、航运等部门设立的水准点进行联测,以便利用这些部门有关的高程资料,但由于精度要求不高,故联测精度可适当降低。

所有水准点,包括基本水准点和施工水准点,都应定期进行测量,检验其稳定性,以保证桥梁墩、台及其他施工高程放样测量的精度。在水准点标识埋设初期,检测的时间间隔宜短些,随着标识逐渐稳定,时间间隔可适当放长。

桥梁高程控制网所采用的高程基准应与公路跨线的高程基准相一致,一般应采用国家高程基准。目前,我国采用“1985年国家高程基准”,青岛水准原点的高程为72.260m。1987年9月以前使用的是“1956年国家高程基准”,青岛水准原点的高程原为72.289m。在利用过去旧的高程测量成果时,应注意高程基准的统一和换算。此外,我国各江河流域会有不同的高程基准,如吴淞基准等,遇此情况时,国家水准点应与其进行联测,以获取两高程基准间的高程换算值。

下面以长江某特大桥桥梁高程控制网为例,说明桥梁高程控制网的布

设和测量方法。

该桥桥址处江面很宽,过河水准测量采用双线过河,如图 5-1 所示。

水准过河地点分别选在桥轴线上游 300 余米和下游 600 余米水面较窄处,过江视线长度分别为 1 600 余米和 1 750 余米。用两台 S_{05} 精密水准仪进行对向观测,每线观测 8 个双测回,并平均分配在上、下午进行。观测结果上游线的高差中误差为 $\pm 1.26\text{mm}$;下游线为 $\pm 1.76\text{mm}$ 。两岸用相同精度联测形成过河水准闭合环。闭合环在南岸除设有基本水准点 BM_7 之外,还包含一个已知二等水准点城建₅₁;在北岸则埋设有两个基本水准点 BM_5 和 BM_6 。闭合环联测后经平差所得闭合环高差中误差为 $\pm 2.98\text{mm}$,精度介于国家一、二等水准测量之间。

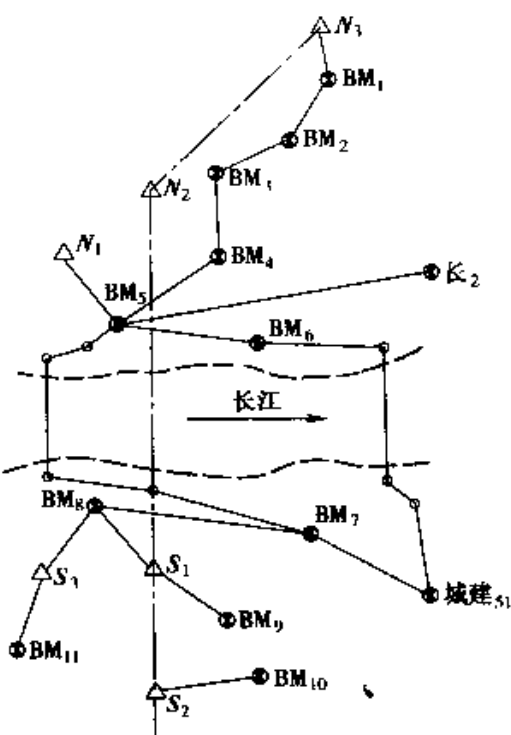


图 5-1 长江某大桥高程控制网

此外,在北岸距基本水准点 BM_5 约 3.5km 处有一已知二等水准点长₂。为了检核,从 BM_5 联测至长₂,以此推算出长₂ 的高程,与长₂ 的已知高程值只相差 3.6mm。由于 BM_5 至长₂ 的测程较长,观测误差会较大,因而只将已知水准点城建₅₁作为高程起算点,不再考虑这一差值。

在基本水准点建立的基础上,在两岸引桥附近按普通水准点标识预埋了一系列施工水准点,如南岸的 BM_6 、 BM_9 、 BM_{10} 、 BM_{11} 等,北岸的 BM_1 、 BM_2 、 BM_3 、 BM_4 等。这些施工水准点的高程分别由两岸基本水准点 BM_7 和 BM_5 ,用 S_3 水准仪进行三等水准测量。在施测过程中,将一些平面控制点如南岸 S_1 、 S_2 、 S_3 和北岸 N_1 、 N_2 、 N_3 等也纳入水准测量,作为施工水准点应用。

§ 5-3 过河水准测量

一、选择过河地点的原则

选择过河地点一般应遵循如下原则:

- (1)应尽可能选在桥址附近河面狭窄的地方,使过河视线为最短。
- (2)视线尽可能避开草丛、干丘、沙滩的上方,以减弱大气折光的影响。
- (3)河两岸仪器的水平视线,距水面的高度应接近相等。当跨河视线长

度在 300m 以下时,视线距水面的高度应不小于 2m;视线长度在 300m 以上时,视线距水面的高度应不小于 3m。若视线高度不能满足上述要求时,须埋设高木桩并建造牢固的观测台。

(4)两岸仪器至水边的一段河岸,其距离应相等,地形、土质也应相似。同时,仪器位置应选在开阔、通风的地方,不能选在墙壁、石堆、山坡跟前。

二、过河水准测量的布设形式

由于过河水准的前视、后视的视线长度不能相等且相差很大,同时过河视线又很长(数百米至几公里),因此仪器 i 角误差及地球曲率和大气折光误差对高差的影响将很大。为消除或减弱上述误差的影响,过河水准测量应将仪器与水准尺在两岸的安置点位布设成平行四边形、等腰梯形或“Z”字形,如图 5-2 所示。

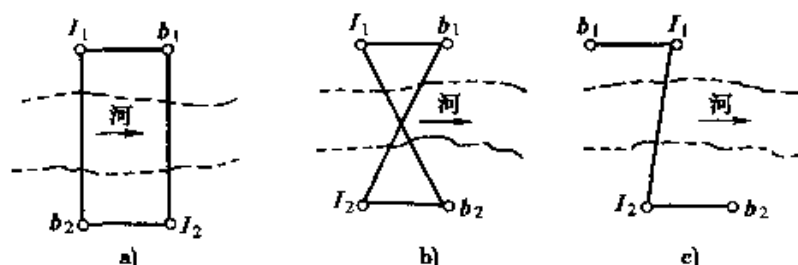


图 5-2 过河水准测量布设形式

当用两台仪器同时观测时,可采用图 5-2 中 a)或 b)所示的形式。

图中 I_1 、 I_2 分别为两岸的测站点,安置仪器; b_1 、 b_2 分别为两岸的立尺点,竖立水准尺。过河视线 I_1b_2 与 I_2b_1 的长度应力求相等,岸上视线 I_1b_1 与 I_2b_2 的长度不得短于 10m,且应彼此相等。

当用一台仪器观测时,宜采用图 5-2c)所示的形式。图中岸上视线 I_1b_1 与 I_2b_2 的长度应相等,并不得短于 10m。此时除 b_1 、 b_2 要立尺外,测站点 I_1 、 I_2 在观测中也要作为立尺点立尺。在 I_1 、 I_2 分别观测, b_1 、 I_2 两点高差、 b_2 、 I_1 两点高差,在两岸以一般水准测量方法分别测出 b_2 、 I_2 两点高差, b_1 、 I_1 两点高差,即可求得两立尺点 b_1 、 b_2 间的高差。

立尺点应设置木桩,木桩顶面直径应大于 10cm,长度一般应不小于 50cm。打入地下后,桩顶应高出地面 10cm,并在其上钉圆帽钉。

为了传递高程和检核立尺点的高程是否发生变化,应在距过河地点不远于 300m 的水准路线上埋设水准标识。

三、过河水准测量注意事项

(1)过河水准测量最好选在风力微弱、气温变化小的阴天进行。风力在

四级以上或风由一岸吹向另一岸时,均不宜观测。

(2)如果是晴天,观测时间上午为日出后 1h 至上午 9 点半左右,下午为 15 点至日落前 1h。可根据地区季节情况适当调整。阴天时,只要成像清晰稳定,即可观测。

(3)观测前应提前将仪器从箱中取出,以适应外界气温。观测时要用白色测伞遮阳。

(4)水准尺要用支架撑稳,观测过程中圆水准气泡应严格居中,使尺处于铅垂位置。

(5)仪器在调换河岸时,不得碰动对光螺旋和目镜,以保证两次观测其对岸尺时望远镜视准轴不变。

(6)仪器调岸的同时,水准尺也应调岸,但当一对尺子的零点差之差不大时,则可只在全部测回进行一半时调换一次。

(7)过河水准测量的全部测回,应平均安排在上半和下午进行。

(8)过河水准测量前,立尺点应与水准路线上埋设的水准标识进行联测。在过河水准测量进行过程中,应对其进行检测,以检查立尺点高程有无变动。

四、过河水准测量的方法

过河水准测量的方法有水准仪倾斜螺旋法、经纬仪倾角法、光学测微法、水准仪直读法、冰上水准测量法、静水面传递高程跨河水准测量法、激光水准仪法等几种。其中水准仪倾斜螺旋法和经纬仪倾角法适用于任何过河视线长度的过河水准测量;光学测微法适用于过河视线长度短于 500m 的过河水准测量;水准仪直读法适用于三、四等水准路线跨越宽度在 300m 的过河水准测量且能直接在水准尺上读数;冰上水准测量法适用于冰冻地区的河流在严寒季节进行的过河水准测量。因篇幅限制我们仅介绍常用的水准仪直读法。

水准仪直读法在进行过河水准测量时,过河地点一般布设成“Z”字形,如图 5-2c)所示。施测时,先以一般水准测量方法分别测出 b_1 、 I_1 两点高差,再将水准仪置于 I_1 点上,使水准管气泡居中,照准本岸 b_1 点近尺按中丝读取黑、红面读数各一次。然后照准对岸 I_2 点远尺,按中丝读取黑、红面读数各两次。以上为上半测回。上半测回结束后,应立即将仪器迁至对岸,在 I_2 点上安置,并将 b_1 点和 I_2 点的水准尺分别移至 b_2 点和 I_1 点上,按上半测回观测的相反次序,即先对岸远尺后本岸近尺进行操作,最后再以一般水准测量方法测出 I_2 、 b_2 两点高差,此为下半测回。

以上操作组成一个测回。一般需观测两测回。通过计算即可求得两立

尺点 b_1 、 b_2 间的高差。在有两台仪器作业的情况下,可按图 5-2a)、b) 所示布设,两台仪器从两岸同时各观测一个测回。两测回间高差不符值,三等应不超过 8mm,四等应不超过 16mm。

如果观测对岸远尺进行直接读数有困难,为提高读数精度,亦可在远尺上安装觇板,由操作水准仪者指挥将觇板沿尺上、下移动,使觇板指标线位于仪器水平视线上,然后按指标线在尺上读取读数。

§ 5-4 桥梁中线测量

桥位中线(桥轴线)及其长度是用来作为设计与测设墩台位置的依据,所以测量桥位中线的目的,是控制中线的长度和方向,从而确保墩台位置的正确。因此保证桥轴线测量的必要精度是十分重要的。

桥涵中线一般用 4 个(中小桥梁可只用 2 个,涵洞可用转角点桩代替)分设于两岸埋设牢固的桩标固定起来,如图 5-3 所示。选择其中位于地势较高河岸的一个桩标作为全部施工期内架设经纬仪核对墩台位置的依据。如果地势较低不能在整个施工期内从此桩标上用仪器看到施工中墩台的顶面时,可以在此桩标上搭设坚固的塔架,并将标点位置引上塔架。

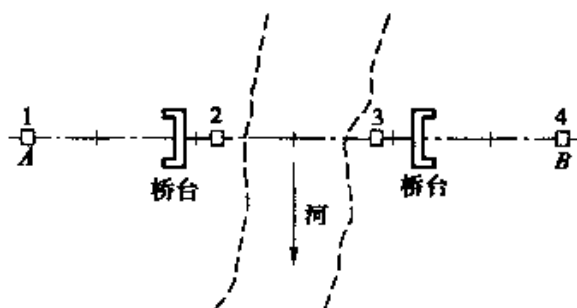


图 5-3 桥轴线桩标平面布置示意图

小桥和涵洞中线位置的桩间距离及墩间距离,可用钢尺直接丈量。大中桥中线位置的桩间距离的检查校核以及墩台位置的放样,当有良好的丈量条件(例如:桥梁位于旱地、桥侧建有便桥、桥梁的浅滩部分或冬季河流封冻等)时,均应直接丈量。

当沿桥梁中线直接丈量有困难(例如:河面宽阔、常年有水、冬季不封冻等)或不能保证必要的精度时,各位置桩间与各墩台间的距离可用光电测距法(目前使用电子全站仪测量更为方便)、三角网法等。

对于直线桥梁可以直接采用此三种方法中任一种进行测量;对于曲线桥梁,应结合曲线桥梁的轴线在曲线上的位置而定。

1. 直接丈量法

沿桥轴线方向,地势平坦、旱桥或河水较浅能够用钢尺直接丈量、可以通视时,可采取直接丈量法测量桥轴线长度。这种方法所用设备简单,精度也可靠,是一般中小桥施工测量中常用的方法。

为了保证施工期间的长度丈量精度和量距精度的一致性,在量距之前

应对所用的钢尺进行严格的检定,取得尺长改正数 Δ_l 。

用钢尺量距的方法如下:

(1)清理中线范围内场地。

(2)如沿中线两侧的地面平坦时可在桩标上安置经纬仪,沿桥轴线 AB 方向用经纬仪定线,钉出一系列木桩如图 5-4 所示,桩的标志中心偏离直线最大不得超过 $\pm 1\text{cm}$,桩顶打至与地面齐平。为了便于丈量,桩间距应比钢尺的全长略为短一些(约 2cm)。

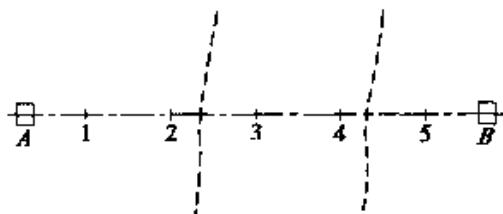


图 5-4 桥轴线方向定向图

(3)用水准仪测出相邻桩顶间的高差,为了校核应测两次,读至 mm ,两次高差之差应不超过 2mm 。

(4)丈量时应对钢尺施以标准拉力,每一尺段可连续测量三次,每次读数时均应变换钢尺的前后位置,以防差错。读数取至 0.1mm ,三次测量结果的较差不得超过 $1 \sim 2\text{mm}$ 。在测量距离的同时应记下当时的温度,以便进行温度改正。

(5)计算桥轴线长度。每一尺段的丈量结果应进行尺长改正 Δ_l ,温度改正 Δ_t 以及倾斜改正 Δ_h ,即:

$$l_i = l'_i + \Delta_l + \Delta_t + \Delta_h \quad (5-1)$$

式中: l_i ——各尺段经过各项改正后的长度;

l'_i ——各尺段未经过各项改正的长度;

Δ_l ——尺长改正数, $\Delta_l = L_0 - L$, L_0 为检定时的标准长度, L 为名义长

度,当为零尺段时, $\Delta_l = \frac{L_0 - L}{L} \cdot l'$;

Δ_t ——温度改正数, $\Delta_t = l'_i \alpha (t - 20^\circ\text{C})$, α 钢尺线膨胀系数, t 为测量时的温度;

Δ'_h ——倾斜改正值, $\Delta_h = -\frac{h^2}{2l'_i}$, h 为相邻桩顶高差。

桥轴线一次测量的总长为

$$L_i = l_1 + l_2 + \cdots + l_n \quad (5-2)$$

取各次丈量结果的平均值,即为桥轴线的长度。

(6)评定丈量的精度。

桥轴线的中误差为

$$M = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n(n-1)}} \quad (5-3)$$

桥轴线的相对中误差为

$$\frac{M}{L} = \frac{1}{k} \quad (5-4)$$

式中： L ——桥轴线的平均长度；

V ——桥轴线的平均长度与每次观测值之差；

n ——丈量的次数。

丈量结果的相对中误差应满足估算精度的要求。

2. 光电测距法

近年来光电测距仪已得到广泛应用,因其精度高、操作快、计算简便、在通视方面不受地形限制,成为测定桥轴线比较好的一种仪器。

光电测距时应在气象比较稳定,大气透明度好,附近没有光电信号干扰的情况下进行,且应在不同的时间进行往返观测。观测时间的选择,应注意不要使反光镜镜面正对太阳的方向。

当照准方向时,待显示读数变化稳定后,测 3、4 次,取平均值,此平均值即为斜距。为了得到平距,还应读取垂直角,经倾斜改正后,即为单方向的水平距离观测值(如果用的是电子全站仪,可直接得到平距)。如果往返观测值之差在容许范围之内,则取往返观测值的平均值作为该边的距离观测值。

3. 三角网法

采用直接丈量法有困难,或不能保证必要的精度时,可采用间接丈量法测定桥轴线,如图 5-5 所示。即把桥轴线 AB 作为三角网的一个边长,测量基线长度 AC 、 AD ,用三角测量的原理测量并解算,即可得出桥轴线的长度 AB 。

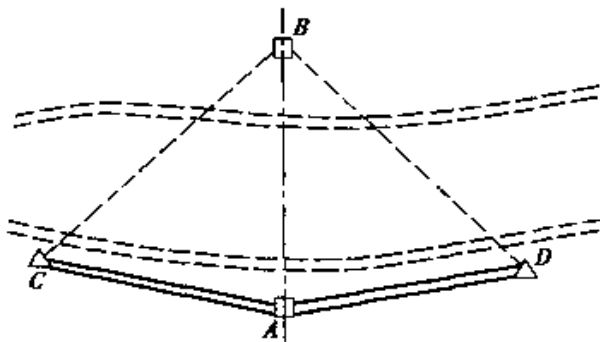


图 5-5 桥涵三角网图

§ 5-5 桥梁三角网的布置及测设精度

一、布设桥梁三角网的目的及形式

布设桥梁三角网的目的是为了求出桥轴线长度及交会处墩台的位置,因此,布网时应注意以下几点:

- (1)三角点之间视野应开阔,通视要良好。
- (2)三角点不应位于可能被淹没及土壤松软地区。
- (3)三角网图形要简单,三角点基础应具有足够的强度。

(4)桥轴线应为三角网的一条边,并与基线的一端相连,以确保桥轴线的精度。

(5)桥梁三角网的边长与跨越障碍物的宽度有关,如跨河桥梁则与河宽有关,一般在0.5~1.5倍障碍物宽度范围内变动;由于桥梁三角网边长一般较短,故三边网的精度不及三角网和边角网的精度;测角网能控制横向误差,测边网能控制纵向误差,故把两者的优点结合起来,布设成带有基线的边角网为最好。

(6)三角网基线应选在地势平坦处,纵向坡度应不大于5%,困难地区可放宽至10%。

(7)为了校核起见,应至少布设两条基线,桥长超过500m时,两岸均应设置基线。基线长度应为桥轴线长度的0.7~0.8倍。基线与桥轴线接近垂直或略小于 90° ,求距角不小于 30° 。

桥梁三角网的基本图形为大地四边形和三角形,并以控制跨越河流的正桥部分为主,应用较多的网形为双三角形、大地四边形、双大地四边形及大地四边形与三角形相结合的图形,如图5-6所示。a)、b)两种网形适用于桥长较短,需要交会的水中墩、台数量不多的情况;c)、d)两种网形的控制点数多,图形坚强,精度高,便于交会墩、台位,适用于特大桥。

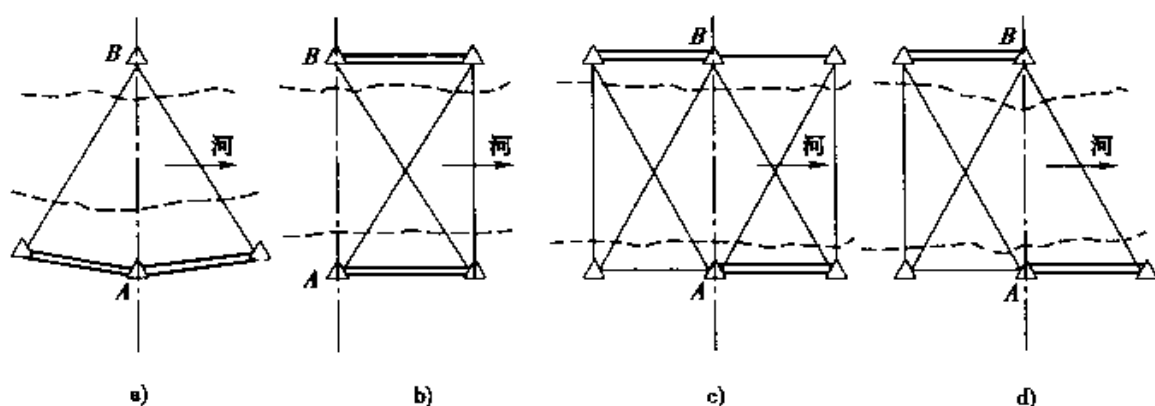


图 5-6 桥梁三角控制网各种图形

a)双三角形;b)单四边形;c)双四边形;d)四边形与三角形结合

二、桥梁三角网必要精度的确定

根据桥轴线的不同精度要求,控制网的测角和测边精度也有所差异,在《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)中分为五个等级,见表5-1、表5-2和表5-3。

三角网的基线以前通常用瓦线尺丈量,现在多数用高精度的光电测距仪或电子全站仪测量。若用丈量的方法,则丈量精度应不低于下列规定:

桥长200m以内者,1/10 000;

桥长200~500m以内者,1/25 000;

桥长500m及以上者,1/50 000。

水平角方向观测法的技术要求

表 5-1

等级	仪器型号	光学测微器两次重合读数之差	半测回归零差(″)	一测回中 2 倍照准差较差(″)	同一方向值各测回较差(″)
四等及以上	DJ ₁	1	6	9	6
	DJ ₂	3	8	13	9
一级	DJ ₂	—	12	18	12
及以下	DJ ₆	—	18	—	24

注:当观测方向的垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 的范围时,该方向一测回中 2 倍照准差较差,可按同一观测时段内相邻测回同方向进行比较。

桥梁三角网一般可测两条基线,其他边长则根据基线及角度推算。在平差时只改正角度,不改正基线,即认为基线误差与角度误差相比较可略而不计。为了保证桥轴线有可靠的精度,所以基线精度比桥轴线的精度高出 2~3 倍。而边角网的情况则不同,它不是只测两条基线,而是测量所有的边长,故平差时不但改正角度,也要改正边长。

测距的主要技术要求

表 5-2

平面控制网等级	测距仪精度等级	观测次数		总测回数	一测回读数较差(mm)	单程各测回较差(mm)	往返较差
		往	返				
二、三等	I	1	1	6	≤ 5	≤ 7	$\leq \sqrt{2}(\alpha + bD)$
	II			8	≤ 10	≤ 15	
四等	I	1	1	4~6	≤ 5	≤ 7	
	II			4~8	≤ 10	≤ 15	
一级	II	1	—	2	≤ 10	≤ 15	
	III			4	≤ 20	≤ 30	
二级	II	1	—	1~2	≤ 10	≤ 15	
	III			2	≤ 20	≤ 30	

注:①测回指照准目标 1 次,读数 2~4 次的过程;

②根据具体情况,测边可采取不同时间段观测代替往返观测;

③ α ——标称精度中的固定误差,mm;

b ——标称精度中的比例误差系数,mm/km;

D ——测距长度,km。

测量精度等级

表 5-3

测距仪精度等级	每公里测距中误差	
I 级	$m_D \leq 5$	$m_D = \pm (\alpha + bD)$
II 级	$5 < m_D \leq 10$	
III 级	$10 < m_D \leq 20$	

注:表中符号意义同前。

外业工作结束以后,应对观测的成果进行验算,基线的相对中误差应满足相应等级控制网的要求,角度误差可按三角形闭合差计算。按照控制网的等级,三角形闭合差的限差见表 5-4。

三角测量中误差

表 5-4

等级	平均边长 (km)	测角中误差 (")	起始边边长 相对中误差	最弱边边长 相对中误差	测回数			三角形最大 闭合差(")
					DJ ₁	DJ ₂	DJ ₆	
二等	3.0	±1.0	1/250 000	≤1/120 000	12	-	-	±3.5
三等	2.0	±1.8	≤1/150 000	≤1/70 000	6	9	-	±7.0
四等	1.0	±2.5	≤1/100 000	≤1/40 000	4	6	-	±9.0
一级小三角	0.5	±5.0	≤1/40 000	≤1/20 000	-	3	4	±15.0
二级小三角	0.3	±10.0	≤1/20 000	≤1/10 000	-	1	3	±30.0

外业成果验算好以后,就转到内业平差及坐标的计算。由于桥梁控制通常是独立网,要求网本身相对位置的精度较高,所以有时虽与附近的城市网联测,但并不强制附合到城市网上,而只是取得坐标的相互关系而已,故桥梁控制网本身的平差还是作为独立网来处理。桥梁控制网的平差方法可采用条件观测平差或间接观测平差。

§ 5-6 桥梁墩台定位与墩台轴线测量

在桥梁施工测量中,最主要的工作是准确地定出桥梁墩、台的中心位置和它的纵横轴线,这些工作称为墩台定位。直线桥梁墩台定位所依据的原始资料为桥轴线控制桩的里程和墩、台中心的设计里程,根据里程算出它们之间的距离,按照这些距离即可定出墩、台中心的位置。曲线桥所依据的原始资料,除了控制桩及墩、台中心的里程外,尚有桥梁偏角、偏距及墩距或结合曲线要素计算出的墩、台中心的坐标值。

水中桥墩的基础施工定位时,由于水中桥墩基础的目标处于不稳定状态,在其上无法使测量仪器稳定,一般采用方向交会法;如果墩位在干枯或浅水河床上,可用直接定位法;在已稳固的墩台基础上定位,可以采用方向交会法、距离交会法、极坐标法或直角坐标法。

一、直线桥梁的墩台定位

位于直线段上的桥梁,其墩、台中心一般都位于桥轴线上。根据桥轴线控制桩 A、B(图 5-7)及各墩、台中心的里程,即可求得其间的距离。墩位的测设,根据条件可采用直接丈量法、光电测距法或交会法。

1. 直接丈量法

当桥墩位于地势平坦、可以通视、人可以方便通过的地方且用钢尺可以丈量时,可采用这种方法,如图 5-7 所示。丈量前钢尺要检定,丈量方法与测定桥轴线相同。不同的只是此处是测设已知长度,在测设前应将尺长改正数、温度改正数及倾斜改正数考虑在内,将已知长度转化为钢尺丈量长度。

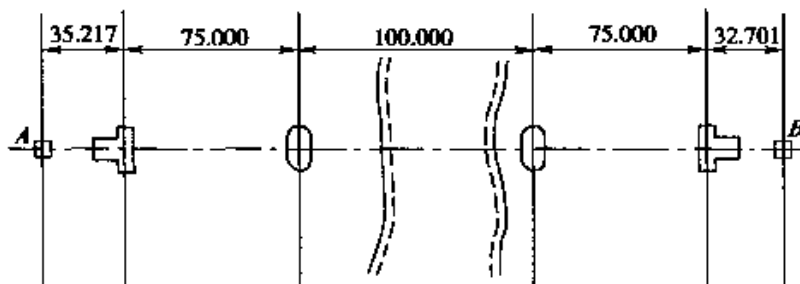


图 5-7 直线桥梁墩台直接丈量定位图

为了保证丈量精度,施测时的钢尺拉力应与检定时钢尺拉力相同。

2. 光电测距法

只要墩台中心处能安置反光镜,且经纬仪和反光镜之间能通视,则用此法是迅速方便的。但测设时应根据当时测出的气压、温度和测设距离,通过气象改正,得出测设的显示斜距。

在测设出斜距并根据垂直角折算为平距后,与应有的(即设计的)平距进行比较,看两者是否相等。根据其差值前后移动反光镜,直至两者相符,则反光镜处即为要测设的墩位。

3. 方向交会法

方向交会法是利用三角网的数据,算出各交会角的角度,然后利用 3 台经纬仪从不同的点交会,即可得到桥墩台的位置。现介绍两种基本方法:

(1)一岸交会施测法。如图 5-8a)所示,在原设三角网中,已知基线 BC 和 BD 长度为 d 、 d_1 、基线与桥轴线夹角为 θ_1 和 θ_2 、基线上中线控制点 B 点至各墩、台的距离,则可计算出各交会角 α 、 β ,将其制成图表供施工使用。

施测过程中须从三个方向交会,即将仪器安置在 C 、 D 两点拨出 α 、 β 角,再将仪器置于 B 点与桥轴线方向构成一误差三角形,再于此误差三角形内取一点作为欲求之墩、台位置(误差三角形内容见下面内容)。

各交会角应介于 $30^\circ \sim 120^\circ$ 之间,且 γ 角 $\geq 90^\circ$,否则须设辅助点 C_1 、 D_1 以交会靠近 B 端之墩台。

α 、 β 角按下列公式计算:

$$\alpha = \arctan \frac{l \sin \theta_1}{d - l \cos \theta_1}$$

$$\beta = \arctan \frac{l \sin \theta_2}{d_1 - l \cos \theta_2}$$

式中： l ——中线控制点 B 至墩中心之距离；

d, d_1 ——基线长度。

(2)两岸交会施测法。如图 5-8b) 所示,在原设三角网中,已知基线 AD 和 BC 长度,基线与桥轴线夹角 θ_1 和 θ_2 ,基线上中线控制点 B, A 至各墩、台的距离,则可计算出各交会角 α, β ,将其制成图表供施工使用。

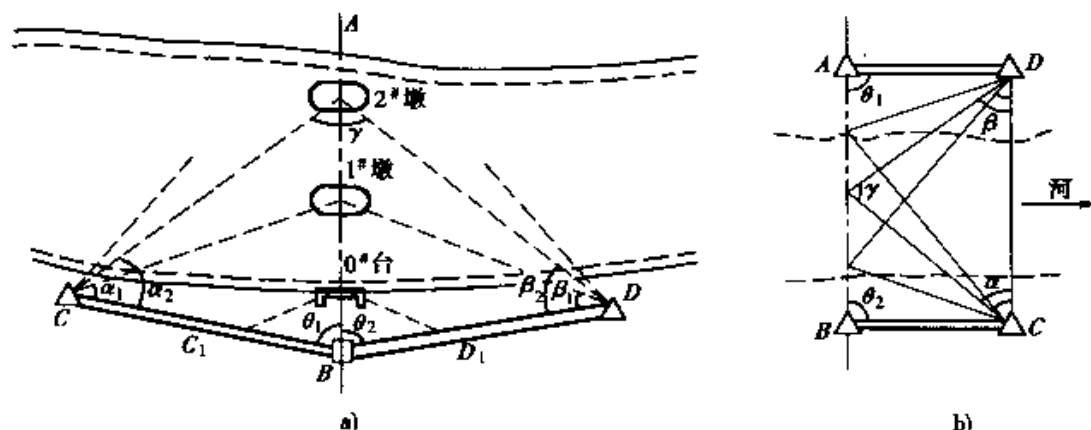


图 5-8 交会法控制墩台位置图

施测时于 C, D 点置镜,拨出 α, β 角则与中线构成误差三角形,取点时必须以桥轴线方向为准,在其他两个方向线的相交处作垂直桥轴线的交点,即为欲求之墩心位置。

交角 α, β 应介于 $30^\circ \sim 120^\circ$ 之间,中间墩之交角 γ 最好在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间。

交会误差的改正与检查——误差三角形。不论一岸交会或两岸交会,最好用三架 J_1 或 J_2 型经纬仪同时自三个方向交会,以加快速度。

自基线端点(或置镜点)所得两条视线之交点必然会偏出桥轴线一微小距离,或左或右,此误差三角形的改正与检查简述如下:如图 5-9 所示(两岸交会亦同理),置镜于 A, B 两点,拨出 α, β 角,两交会线与桥轴中线构成误差三角形,以桥轴线方向为准,将两交会线的交点投影于桥轴线上得一点即为桥墩中心位置。误差三角形的边长 $C_2 C_3$,对墩身底部不宜超过 2.5cm ,对墩顶不宜超过 1.5cm 。

利用此法可就地在桩上(或墩台砌体上),用折尺或三角板进行。如误差三角形过锐,则应先找出三角形的重心然后将重心点投影于桥轴线上,投影点即为墩台中心。

交会误差之检查:如图 5-9 所示,在得出 C 点后,置镜于 A, B 点测量 $\angle DAC$ 及 $\angle DBC$ 各 2~3 个测回。设观测结果为 α 及 β 。根据 α 与 β 值计

算 DC 的距离(如按 α 与 β 值分别计算的 DC 不同时,取其平均值)。设理论上该墩台中心至 D 点距离为 DC' ,则 $D C' - DC$ 为该墩交会点在桥轴线上的误差。此值如超过规定容许误差时(容许误差根据桥长大小而定,一般为 $2 \sim 3\text{cm}$),应采用 C' 为桥墩、台中心。

在桥墩施工中,随着桥墩的逐渐筑高,中心的放样工作需要重复进行,且要求迅速和准确。为此,在第一次求得正确的桥墩中心位置 P_1 以后,将 CP_1 和 DP_1 方向线延长到对岸,设立固定的瞄准标志 C' 和 D' ,如图 5-10 所示。以后每次作方向交会放样时,从 $C、D$ 点直接瞄准 $C'、D'$ 点,即可恢复点的交会方向。

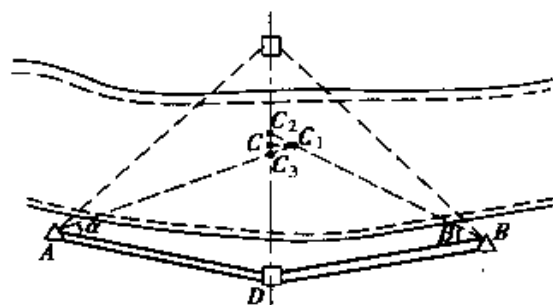


图 5-9 三方向交会法的误差三角形

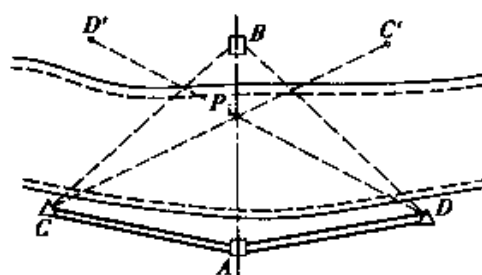


图 5-10 方向交会法的固定瞄准标志

4. 极坐标及直角坐标法

在使用经纬仪加测距仪(或使用全站仪),并在被测设点位上可以安置棱镜的条件下,若用坐标法放出桥墩中心位置,则更为精确和方便。

对于极坐标法,原则上可以将仪器置于任何控制点上,按计算的放样数据——角度和距离测设点位。

对于全站仪,则还可以根据测站点、后视点及待放点的直角坐标,自动计算出待放点相对于测站点的极坐标数据,再以此测设点位。

但若是测设桥墩中心位置,最好是将仪器安置于桥轴线点 A 或 B 上(以图 5-10 为例),瞄准另一轴线点作为定向,然后指挥棱镜安置在该方向上测设 AP_1 或 BP_1 的距离,即可定出桥墩中心位置 P_1 点。

二、曲线桥梁的墩台定位

在山岭地区,路线设弯道较多,桥位要随路线而定,需要架设曲线桥。在现代化的高速公路上,为了使路线顺畅,也需要修建曲线桥,在设计时往往根据具体条件采用不同的处理方法:一是曲线上的桥梁,线形虽然是曲线,但各孔的梁或板仍采用直线,将各孔的梁或板连接起来实际是折线,各墩的中心即是折线的交点;二是为了美观、协调和线形的顺畅,根据路线的需要设计成弯拱、弯板或弯梁桥。

由于跨径、曲线半径、缓和曲线的不同和设置超高、加宽等因素的变化,曲线桥的布置也不尽相同、因此在测量之前,必须详细了解设计文件及有关图表资料,并复核设计图中有关数据,然后进行现场的测量工作。

曲线桥墩台中线的测量方法:

位于干旱河沟的桥梁,可根据设计平面图按精密导线测设方法,用钢尺量距,经纬仪测角以偏角法来测定墩台中心位置,并根据各墩的横向中心线与梁的中心线的偏角定出墩台横向中心线并设立护桩。量距的要求同前,可不计算拉力与温度改正,测角应以不低于 J_2 级经纬仪测设两测回。

凡属曲线大桥和有水不能直接丈量的桥墩、台,均应布设控制三角网,用前方交会法控制墩位。对三角网的要求、测设和计算如前所述。现将几种常用的曲线桥测量方法分述如下:

(1)一部分为直线,一部分为曲线,曲线在岸上或浅滩上如图 5-11a)所示。

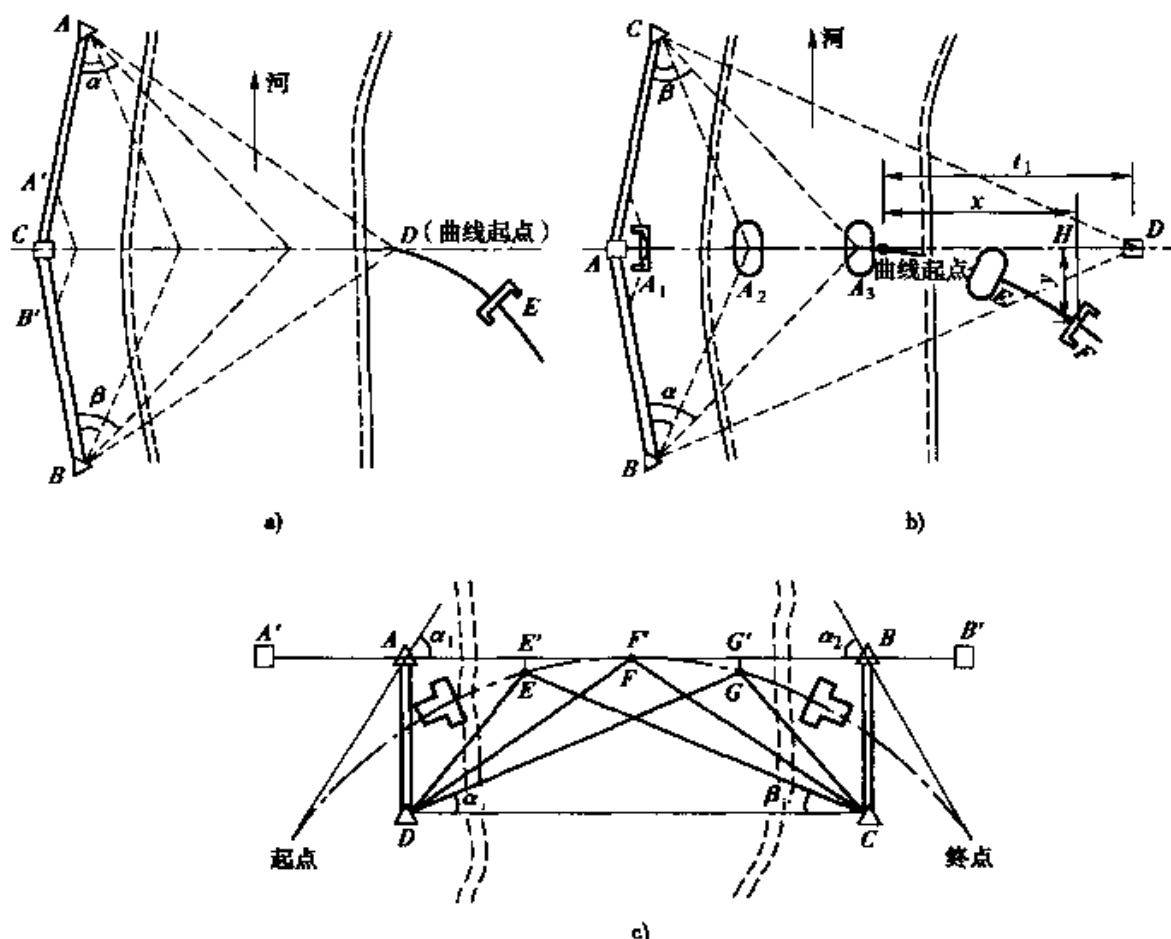


图 5-11 曲线桥墩台放样图

测量时由基线 A 、 B 、 C 三角点上交会河中网墩,施测的详细方法见前部分内容。对岸曲线上的桥台可自曲线起点(也即三角点 D)用精密导线直接丈量法测定,本岸桥台用直接丈量法或由辅助点 A' 、 B' 交会亦可。

(2)一部分为直线,一部分为曲线,曲线起点(或终点)在河中,如图 5-11b)所示。

在直线延长线上设 D 点,由三角网 $BACD$ 中测算 AD 长度, AD 减去 A 至曲线起点距离得 t_1 ,再计算 F 台在切线上的投影 x 及支距 y ,由 D 点在直线上丈量 $t_1 - x$ 得点 H ,量支距 y 得 F 台。同样用支距法定出 E 墩,或置镜于 F 点用偏角法定出 E 墩。

(3)桥梁全部在曲线上,如图 5-11c)所示。

这时应先在室内按比例绘制出全桥在曲线上的平面位置图,拟定 AB 辅助切线。 AB 最好切于某一墩中心,以减少部分计算。选择 $A、B$ (或 $A'、B'$)点要能通视各墩,便于交会。然后算出:曲线起点至 A 点距离,曲线终点至 B 点距离,偏角 $\alpha_1、\alpha_2$, AB 长度, AB 至各墩之垂足 $E'、F'、G' \cdots$ 之间的距离, $E'E、F'F、G'G \cdots$ 各墩的切线支距。然后进行现场实测,由起点和终点引出 $A、B$ 两点;设置基线 $AD、BC$,从三角网 $ABCD$ 中测算 AB 长,量出 $\alpha_1、\alpha_2$ 角值。这时测算值与图上算得值不符时,应检查错误,改正后重测。只有当这些数值无误后,方能计算由 $C、D$ 三角点至 $E'、F'、G' \cdots$ 点之交会角 $\alpha_i、\beta_i$ 以交会出各墩垂足,再从垂足用支距法引出墩中心。如支距过长,可算出墩中心坐标,由 $C、D$ 点直接交会。桥台位于岸上,用偏角法或切线支距法测设均可。

一般路线设计中常用的有圆曲线和缓和曲线,它们的曲线要素有较为固定的计算公式。

在设计文件已给定墩、台定位有关数据时,只需重新复核无误即可按其进行放样定位。但数据通常并不能满足施工的需要,应按路线测设资料、曲线有关要素,求出各墩台中心为顶点的直线,再用偏角进行定位。

对于坐标值的计算,一般在直角坐标系中的应用较为普遍、简便。可以先建立以墩台中心为原点、切线及法线方向为坐标轴的局部坐标系,在局部坐标系中确立待放点局部坐标值;再利用墩台中心的路线坐标值将局部坐标值转换至路线坐标中。

墩、台定位的方法,根据不同的条件可采用偏角法、长弦偏角法、利用坐标的交会法和坐标法等。曲线桥的放样工作,主要是对放样数据进行计算,基本步骤的差异并不大,在此不再详述。

三、墩台纵横轴线的测设

墩台中心测设定位以后,尚需测设墩台的纵横轴线,作为墩台细部放样的依据。在直线桥上,墩台的横轴线与桥的纵轴线重合,而且各墩台一致,所以可以利用桥轴线两端控制桩来标志横轴线的方向,而不再另行测设标

志桩。

在测设桥墩台纵轴线时,应将经纬仪安置在墩台中心点上,然后盘左、盘右以桥轴线方向作为后视,然后旋转 90° (或 270°),取其平均位置作为纵轴线方向,如图 5-12 所示。因为施工过程中经常要在墩台上恢复纵横轴线的位置,所以应于桥轴线两侧各布设两个固定的护桩。

在水中的桥墩,因不能架设仪器,也不能钉设护桩,则暂不测设轴线,等筑岛、围堰或沉井露出水面以后,再利用它们钉设护桩,准确地测设出墩台中心及纵横轴线。

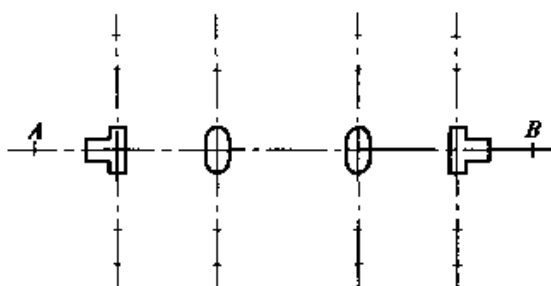


图 5-12 直线桥梁纵横轴线图

对于曲线桥,由于路线中线是曲线,而所用的梁板是直的,因此路线中线与梁的中线不能完全一致,如图 5-13 所示,梁在曲线上的布置是使各跨梁的中线连接起来,成为与路中线相符合的折线,这条折线成为桥梁的工作线。墩、台中心一般就位于这条折线转折角的顶点上。放样曲线桥的墩、台中心,就是测设这些顶点的位置。在桥梁设计中,梁中心线的两端并不位于路线中线上,而是向曲线外侧偏移一段距离 E ,这段距离 E 称为偏距;相邻两跨梁中心线的交角 α 称为偏角;每段折线的长度 L 称为桥梁中心距。这些数据在桥梁设计图纸上已经标定出来,可直接查用。

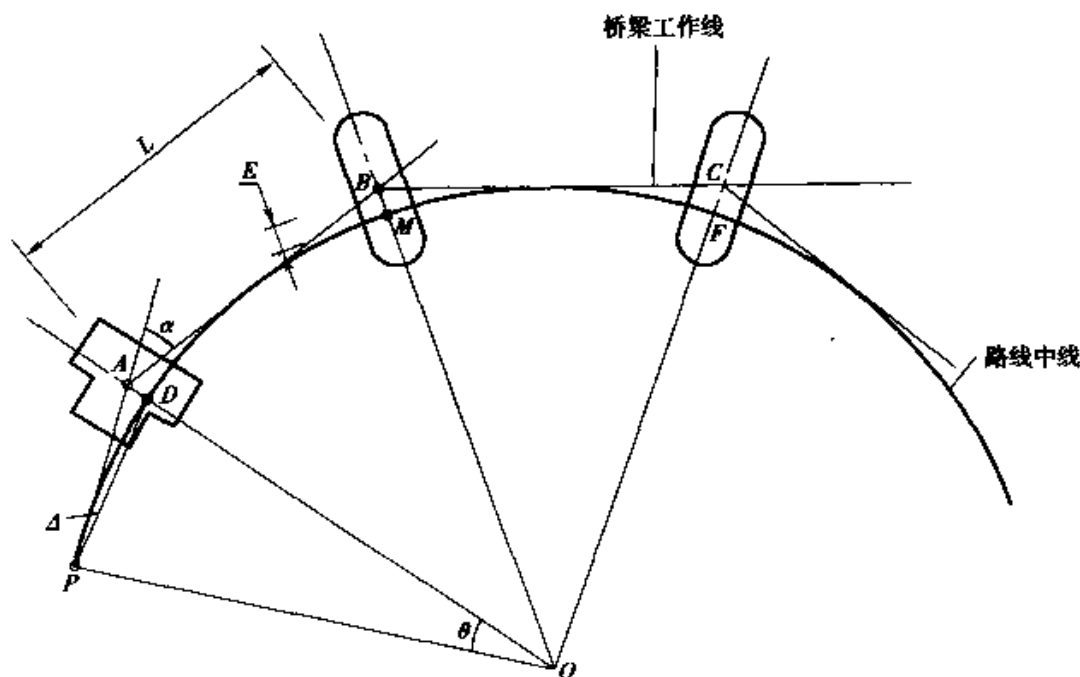


图 5-13

曲线桥在设计时,根据施工工艺可设计成预制板装配曲线桥或者现浇曲线桥,对于前者桥墩台中心与路线中心线不重合,桥墩台中心与路中线有

一个偏距 E 。如图 5-13 所示;对于后者,如图 5-14 所示,桥墩台中心与路线中线重合,在放样时要注意。

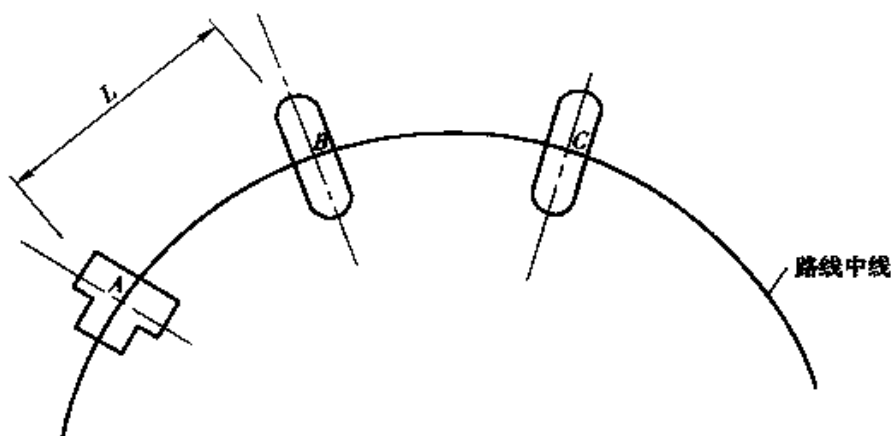


图 5-14

对于预制板装配曲线桥放样时,可根据墩台标准跨径计算墩台横轴线与路中线的交点坐标,放出交点后,再沿横轴线方向量取偏距 E 得墩台中心位置,或者直接计算墩台中心的坐标,直接放样墩台中心位置;对于现浇曲线桥,因为路中线与桥墩台中心重合,可以计算墩台中心的坐标,根据坐标放样墩台中心位置。

1. 预制装配曲线桥墩台中心放样

(1) 计算墩台横轴线与中线的交点坐标

如图 5-13 所示, P 点为圆曲线曲线起点,坐标为 (X_P, Y_P) ,桩号为 S_0 , PA 、 AB 、 BC 为桥梁工作线(桥梁工作线与路中线相切), D 、 M 、 F 为路中线与墩台横轴线的交点,曲线半径为 R ,桥梁平均跨径为 L ,路基宽度为 B , D 、 M 、 F 的桩号可从设计图纸查取,分别为 S_1 、 S_2 、 S_3 ,设 PA 方位角为 α_{PA} ,则 D 点的坐标可按下式计算:

$$l_{PD} = S_1 - S_0$$

$$PD = l_{PD} - \frac{l_{PD}^3}{24R^2}$$

$$\theta = \frac{l_{PD}}{R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\Delta = \theta/2$$

$$\alpha_{PD} = \alpha_{PA} - \Delta + 180^\circ$$

$$X_D = X_P + PD \cdot \cos \alpha_{PD}$$

$$Y_D = Y_P + PD \cdot \sin \alpha_{PD}$$

同理可求 M 点、 F 点的坐标。

(2) 直接计算墩台中心坐标

$$PA = \sqrt{R^2 + (R + E)^2 - 2R(R + E)\cos\theta}$$

$$X_A = X_P + PA \cdot \cos\alpha_{PA}$$

$$Y_A = Y_P + PA \cdot \sin\alpha_{PA}$$

同理可求 B 点、 C 点的坐标。

2. 现浇曲线桥墩台中心放样

对于现浇曲线桥由于墩台中心位于中线上,所以可由中心桩号按第 3 章 § 3-4 节所介绍的曲线上任意点坐标的计算方法计算。

桥梁施工放样,一般都采用全站仪,可采用第 3 章 § 3-2 节所介绍的坐标放样的方法进行测设。

第6章 桥涵施工放样

§ 6-1 桥墩、桥台及其基础标高放样

一、桥墩、桥台标高放样

对于砌石(或混凝土)桥墩、桥台,当施工到一定高度后,应及时放样墩、台顶面标高,以确定墩、台顶面距设计标高的差值。由于此时墩、台顶距地面已有相当高度,用常规的水准测量方法已无法施测,需用特殊方法,如图 6-1、图 6-2 所示。图 6-1 适用于桥墩、桥台侧面垂直于地面的情况,图 6-2 适用于桥墩、桥台侧面是斜面的情况。

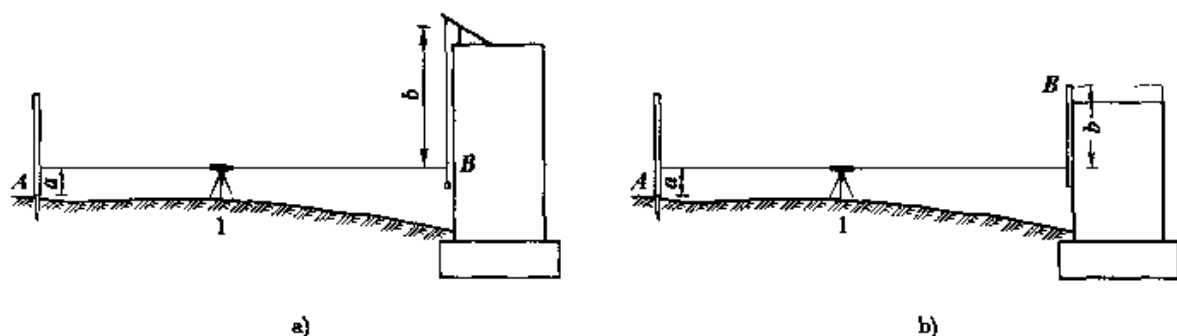


图 6-1 桥墩、桥台铅垂时高程放样图

如图 6-1a)所示,桥墩或桥台侧面垂直于地面, A 为已知水准点,墩、台顶面的设计高程在设计文件中已知,这时可采用钢尺直接量取垂距(如图 6-1a)所示)或采用“倒尺”(如图 6-1b)所示)两种方法。

图 6-1a)适用于较高的墩、台高程放样。施测时,先在 1 点立水准仪,后视水准尺并读数,然后前视墩、台身,并在钢尺上读数,假设 A 点高程为 H_A ,墩、台顶面待放样高程为 $H_{待}$,则可算出钢尺上垂距 b ,即 $b = H_{待} - H_A - a$,就可用钢尺直接在墩、台上量出待放样高程。

图 6-1b)适用于待放样高程位置不超过水准尺工作长度的墩、台高程放样。施测时,先在 1 点安置水准仪,后视水准尺并读数,按前面公式 $b = H_{待} - H_A - a$ 计算出 B 处水准尺应有的前视读数 b 值,然后将水准尺倒立,上下移动水准尺,当水准仪的前视读数恰好为 b 时,水准尺零端处即为 B 处

放样点高程位置。

如图 6-2 所示,桥墩或桥台的侧面为斜面, A 为已知水准点,墩、台顶面的设计高程在设计文件中已知,施测前,先在墩、台上立一支架并悬挂钢尺,钢尺下悬挂重物。施测时,先在 1 处安置水准仪,后视 A 处水准尺读数 a 并记录,然后前视钢尺读数并记录,把水准仪移至墩台顶 2 处,后视钢尺读数并记录,然后将水准尺放在检测点 B 上,水准仪瞄准水准尺并读数 b ,则 B 处高程 $h_B = h_A + a + h_1 - b$,式中 h_1 为钢尺两次读数差的绝对值。根据墩台顶面的设计高程与 B 点高程 H_B 的大小即可判定墩台身顶面标高是否满足设计要求。

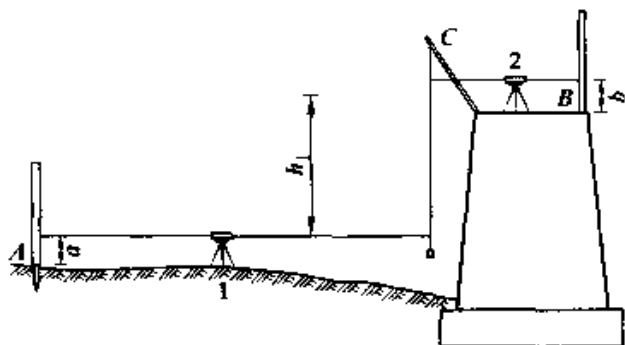


图 6-2 桥墩、桥台为斜面时高程放样图

二、桥涵基础标高放样

桥涵基础标高放样分为水下和旱地两种,现分述如下。

1. 水下基础标高放样(如钻孔灌注桩基础)

一般采用测绳下悬重物进行施测。现以钻孔灌注桩基础为例来说明桩底标高的确定。

如图 6-3 所示(钻机未画出), A 为已知水准点,施测时先将 A 处水准点

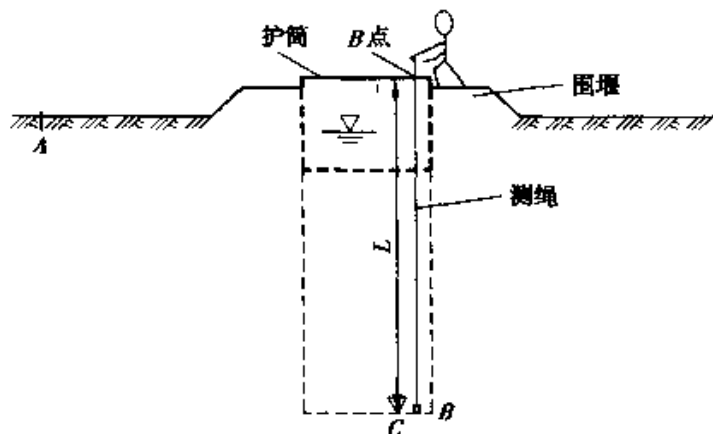


图 6-3 桥涵基础标高放样(水下)

高程引至护筒顶 B 处(B 处高程需常复测),并在 B 处作一标志。钻孔过程中可根据该标志以下的钻杆长度(每节钻杆均为定长)判定是否已经钻到设计高程。清孔结束及浇筑混凝土前均可用测绳检测孔底标高,方法是:在测绳零端悬挂一锥形铁块,从 B 处放下测绳,当感觉测绳变轻(注意不要让测绳太靠近钻杆或钢筋笼)后,读取测绳读数(由于测绳每米一刻划,故应量取

尺尾零长度并加上尺头重物长), 则桩底 C 处高程 = 护筒 B 处高程 - 测绳长度 L 。

2. 旱地基础标高放样

旱地基础标高放样分为浅基础和深基础两种情况, 如图 6-4 所示。

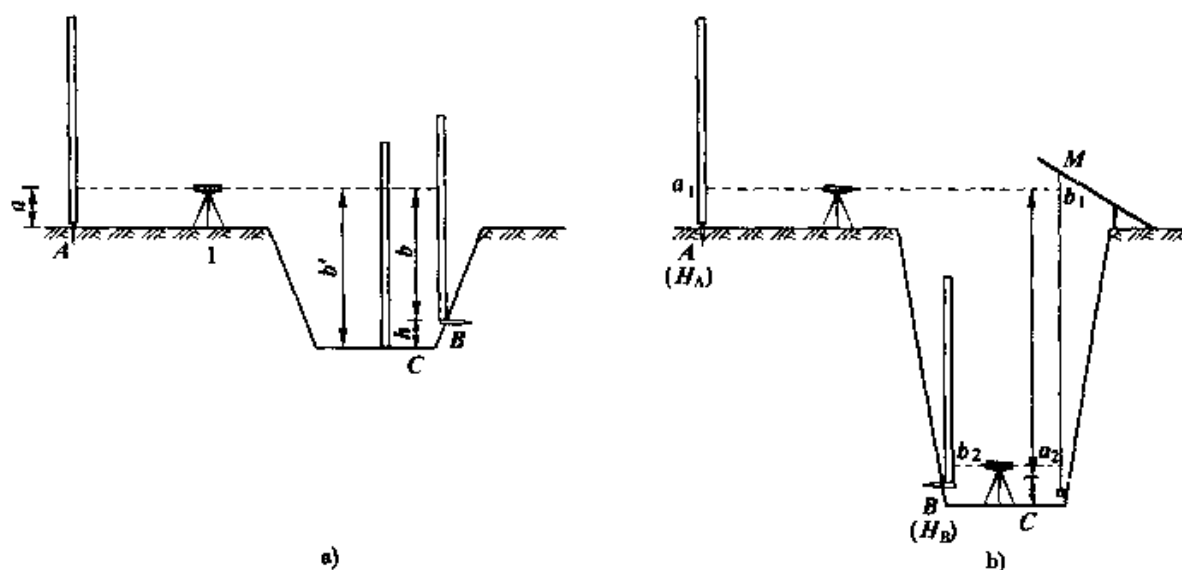


图 6-4 桥涵基础标高放样图(旱地)

(1) 浅基础

如图 6-4a) 所示, 桥涵基础较浅, 则直接在基底或基础侧壁立水准尺。A 为一已知水准点。施测时, 水准仪安置在 1 处, 后视 A 处已知水准点上立的水准尺读数 a 并记录, 前视基础底部 C 处或基础侧壁 B 处所立水准尺读数并记录, 则可得基础底部 C 处高程或基础侧壁高程。基底 C 处高程 $H_C = H_A + a - b'$, 基础侧壁高程 $H_B = H_A + a - b$, 其中图上 h 值可直接量得。

(2) 深基础

如图 6-4b) 所示, 当基坑开挖较深时, 基底设计高程与基坑边已知水准点高程相差较大并超出了水准尺的工作长度, 这时可采用水准仪配合悬挂钢尺的方法向下传递高程。如图 6-4b) 所示, A 为已知水准点, 其已知高程为 H_A , B 为放样点位置, 其放样高程为 H_B (H_B 应根据放样时基坑实际开挖深度选择, H_B 往往比基底设计高程高出一个定值, 如 1m 整), 在基坑边用支架悬挂钢尺, 钢尺零端点朝下并悬挂 10kg 重锤, 放样时最好用两台水准仪同时观测, 具体方法如下:

在 A 点立水准尺, 基坑边的水准仪后视 A 尺并读数 a_1 , 前视钢尺读数 b_1 的同时, 基坑底的水准仪后视钢尺读数 a_2 , 然后计算 B 处水准尺应有的前视读数为:

$$b_2 = H_A + a_1 - b_1 + a_2 - H_B$$

这时上下移动 B 处的水准尺,直到水准仪前视读数恰好等于 b_2 时标定点位。为了控制基坑开挖深度,还需要在基坑四周壁上放样出一系列高程均为 H_B 的点,如果 H_B 比基坑设计高程高出一个定值 ΔH ,施工人员就可借助一把定长为 ΔH 的小尺子方便地检查基底标高是否达到了设计值。

§ 6-2 涵洞基础定位与轴线测量

对于涵洞,设计资料一般会给出中心桩号、斜交角、涵长等,根据这些资料,可以测设涵洞中心桩以及轴线。涵洞施工中的测量工作主要是测设涵洞中心桩位以及涵洞轴线方向。

涵洞大多位于干沟或小溪流中,施工定位比较简单,涵洞基础定位即测设涵洞中心桩。通常可以利用离桥涵最近的已经测设的中桩位置,计算涵洞中心到前后中桩的距离,采用直接丈量的方法测设,如图 6-5 所示。

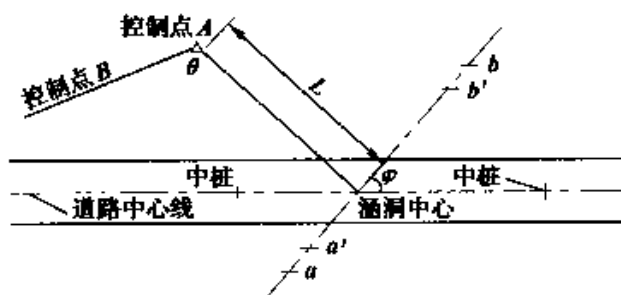


图 6-5 涵洞中心桩位及轴线测设

对于附近有可以利用的导线点时,也可利用路线附近的导线,根据计算的涵洞中心坐标,计算距离和夹角。采用极坐标的放样

方法测设涵洞中心。如图 6-5 所示,将经纬仪安置在导线点 A 上,后视导线点 B ,然后将照准部旋转 θ 角,即为涵洞中心所在方向,在此方向上从 A 点开始量取水平距离 L 所得就是要测设的涵洞中心。

根据涵洞轴线与路线方向是否垂直,涵洞分为正交涵洞与斜交涵洞。正交涵洞的轴线是垂直于路线中线的,而斜交涵洞的轴线是与路线中线前进方向的右侧成斜交角的直线。按路线前进方向与水流方向的右侧交角 θ ,测出涵洞轴线方向如图 6-6 所示。

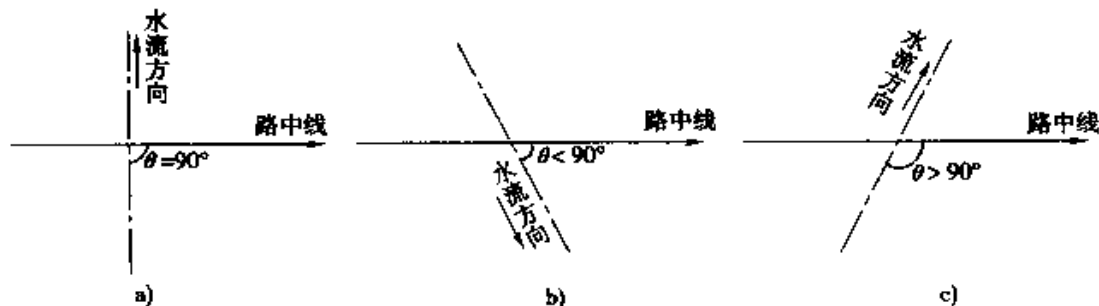


图 6-6

对于正交涵洞,在涵洞中心位置确定以后,将经纬仪架设在涵洞中心桩

处,后视路线方向,盘左、盘右旋转 90° (或 270°),取其平均位置,即为涵洞轴线方向。为了方便在施工过程中恢复轴线,一般在轴线方向设立护桩。

对于斜交涵洞,可将经纬仪架设在涵洞中心桩处,后视路线方向,盘左、盘右旋转 θ (或 $180^\circ - \theta$),取其平均位置,即为涵洞轴线方向。

如果附近有导线点可以利用,也可根据设计资料,确定轴线上某两点 a 和 b (即确定涵洞中心沿轴线到 a 、 b 的距离, a 、 b 应在涵洞边线外侧) 的坐标,然后可以用极坐标的方法测设 a 和 b 的实际位置。

§ 6-3 桥涵细部施工放样

桥涵细部施工放样内容很多,不同结构形式放样方法也各异,下面主要叙述桥梁墩台细部的放样工作以及架梁时的测量工作。

一、桥梁细部施工放样

1. 明挖基础的施工放样

在地基较好、基础不深的情况下,常常采用明挖基础。

在基础开挖前,应首先根据基底尺寸、开挖深度、放坡情况等计算出原地面的开挖边线,然后根据墩台中心及其纵横轴线即可放出基坑的边线。当基坑开挖到设计标高以后,应进行基底平整或基底处理,再在基底上放出墩台中心及其纵横轴线,作为安装模板、浇筑混凝土基础及墩身的依据。

注意基坑底部尺寸应根据实际情况较设计尺寸每边增加 $50 \sim 100\text{cm}$ 的富余量,以便于支撑、排水与立模板。

基础或承台模板中心偏离墩台中心不得大于 $\pm 2\text{cm}$,墩身模板中心偏离不得大于 $\pm 1\text{cm}$ 。

2. 桩基础的施工放样

在墩基础的中心及纵模轴线已经测设完成的情况下,可以纵横轴线为坐标轴,根据设计提供的桩与墩中心的相对位置,用支距法放出各桩的中心位置,其限差为 $\pm 2\text{cm}$,如图 6-7 所示。放出的桩位经复核后方可进行施工。对于单排桩,桩数较少,也可根据已知资料,以极坐标法放样。水中桩位或沉井位置的放样,可参照水中墩位的施工放样方法,在水中平台、围堰或围堰等构造中定测桩或沉井的位置,经复测后方可进行基础施工。

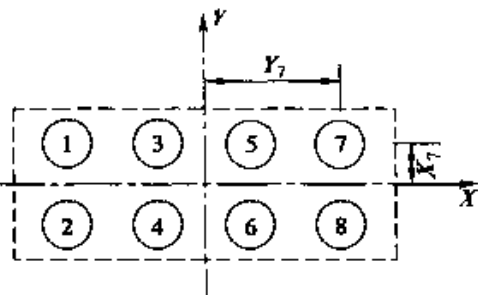


图 6-7 纵横轴线坐标图

3. 桥梁墩台的细部放样

墩身和台身的细部放样,也是主要以它的纵横轴线为依据,在立模板的外面需要预先画出它的中心线,然后在纵横轴线的控制桩上架设经纬仪,照准该轴线方向上的另一控制桩,根据这一方向校正模板的位置,直至模板中心线位于视线的方向上。

在施工过程中,经常要利用控制桩恢复墩、台的纵横轴线,即在墩、台身一侧的控制桩上架设经纬仪,照准另一侧的控制桩。但墩身筑高以后,视线被阻,就无法进行,此时,可在墩身尚未阻挡视线以前,将轴线方向用油漆标记在已成的墩身上,以后恢复轴线时可在控制桩上架设仪器,照准这个标志即可。

如果桥墩位于水中,无法标示出桥墩的纵横轴线时,可用光电测距仪或交会法恢复墩中心的位置。在用光电测距仪时,墩的横轴线方向是利用桥轴线的控制桩来确定的。在桥轴线一端的控制桩上安置仪器,照准另一端的控制桩,则视线方向即为桥轴线方向,也是墩的横轴线方向(直线桥)。在此视线方向上,在墩中心的大致位置立棱镜,根据测得的水平距离与已知水平距离的差值,沿视线方向移动棱镜,至测得的水平距离与已知的水平距离相等或很接近时钉设标桩(若精度要求不高,此时钉设的标桩位置即可作为桥墩中的位置);若精度要求高,可由仪器指挥在桩顶画出桥轴线方向,并在桩顶中心位置画垂直于桥轴线的垂线,轴线与垂线的交点为 C' ,在 C' 置棱镜,测定 $B C'$ 之间的水平距离 D' 。

计算两距离的差值 $\Delta D = D - D'$,根据 ΔD 用钢卷尺在桩顶修正点位。如图 6-8 所示。

利用交会法测设墩中心时,同前所述,应至少选三个以上的方向进行交会。误差三角形最大边在墩的下部不超过 25mm,在墩的上部不超过 15mm,取三角形的重心作为墩中心的位置。

在墩、台帽模板安装到位后应再一次进行复测,确保墩、台帽位置符合设计要求。模板位置中心的偏差不得大于 1cm,并在模板上标出墩顶标高,以便控制浇筑混凝土的标高。当混凝土浇筑完成后,应在墩台帽顶放出墩台轴线及路中线方向,并在墩台帽顶设临时水准点并测定其高程,作为安放支座垫石及支座的依据,如图 6-9 所示。

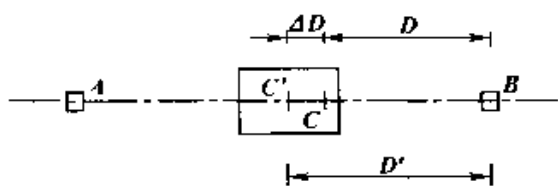


图 6-8 利用光电测距仪定出墩中心位置

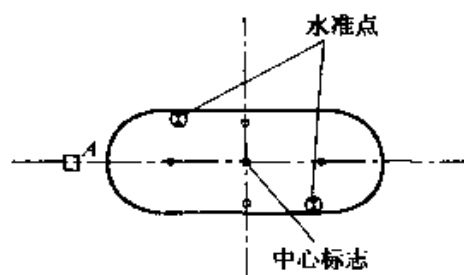


图 6-9 在墩顶埋设中心及水准点标志图

墩台各部分的高程,一般是通过设在墩、台身或围堰上的临时水准点来控制的,可直接由临时水准点用钢尺向上或向下量取距离来确定所需的高程,也可以采用水准仪,从已浇筑的邻近墩台上设置的临时水准点测量来控制。但是在墩台顶的最后施工阶段,应该采用水准仪直接施测来控制高程。

4. 梁体施工时的测量工作

梁体施工是桥梁主体结构施工的最后道工序。桥梁上部结构较为复杂,要求对墩台方向、距离和高程以较高的精度测定。由于各种桥梁结构不同,使得施工时的控制方法各异,在此仅做粗略说明。

墩台施工时,对其中心点位、中线方向和垂直方向以及墩顶高程都作了精密测定,但当时是以各墩台为单元独立进行的。梁体施工需要将相邻墩台联系起来,考虑其相关精度,中心点间的方向、距离和高差应符合设计要求。

桥梁中心线方向测定,在直线部分采用准直法,用经纬仪正倒镜观测,刻画方向线。如果跨距较大($>100\text{m}$),应逐墩观测左、右角。在曲线部分,则采用测定偏角或坐标法。

相邻墩中心点间的距离用光电测距仪观测,在已刻画的方向线的大致位置上,适当调整使中心点里程与设计里程完全一致。在中心点架设经纬仪放出里程线,与方向线正交,形成墩台十字中心线。以此精确放出支座底板中心线,并以墨线弹出。

墩台顶面高程用精密水准测定,构成水准路线,附合到两岸基本水准点上。

梁体施工过程中的测量工作有:

(1)对大跨度钢桁架或连续梁采用悬臂或半悬臂安装架设的桥梁,在拼装架设前,应在梁顶部和底部分中点作出标志,架梁时用以测量梁体中心线与桥梁中心线的偏差值。在梁的拼装开始后,应通过不断的测量,保证梁体在正确的平面位置上。高程控制一般以大节点挠度和整跨拱度为主要控制。对需要在跨中合龙的桥梁,合龙前的控制重点应放在两端悬臂的相对位置上。

(2)对于预制安装的箱梁、板梁、T梁等,测量的主要工作在于平面位置的控制上。在架设前,应在梁顶部和底部分中点作出标志,架梁时用以测量梁体中心线与支座中心线的偏差值。在梁体安装基本到位后,应通过不断的微调保证梁体在正确的平面位置上。

(3)对于支架现浇的梁体结构,测量的主要工作在于高程的控制上。对于支架预压前后的高程应进行连续测量,以测得弹性变形,消除塑性变形;同时应根据设计保留一定的预拱度。在梁体现浇的过程中,应对支架的变形进行跟踪测量,如果变形过大,则应暂停施工,并采取相应的措施。

(4)对于悬臂施工的梁体结构,测量的主要工作在于高程的控制上。对于挂篮预加荷载前后的高程应进行测量,测得弹性变形,消除塑性变形;同

时在不同节段浇筑前,应根据施工图中不同节段预拱度的设计值,并结合已浇筑的前一节段的高程,调整相应的预拱度,使合龙前两端悬臂的相对位置满足要求,没有积累误差。

二、锥坡放样

涵洞中心桩位以及涵洞轴线方向测设在前面已叙及,下面就涵洞施工中锥体护坡的细部测量作简单介绍。

桥(涵)台锥坡一般在平面上呈 $1/4$ 椭圆形,立面呈锥体,其边坡根据路堤填土高度有两种边坡或只有一种,按规定小于 6m 只设一种边坡,大于 6m 就需设置两种边坡,底层较缓,上层可以较陡,中间有变坡点。锥坡护坡放样,应先求出坡脚椭圆形的轨迹线,再将轨迹线测设到地面上。

涵洞锥体护坡在施工时要按设计准确放样,尤其是斜交涵洞的洞口施工。

锥坡护坡及坡脚放样方法很多,如支距法、图解法、坐标值量距法、经纬仪设角法、放射线式放样法。对于斜桥锥坡还应考虑到斜度系数,可以采用纵横等分图解法进行放样。

以上方法均先求出坡脚椭圆形的轨迹线,测设到地面上,然后再按规定的边坡放出样线,据以施工。这里只对常用的支距放样法、纵横分解图法进行介绍。

1. 支距放样法

本方法适用于锥坡不高、地势平坦、桥位中线与水流正交的情况,如图 6-10 所示,支距数值见表 6-1。

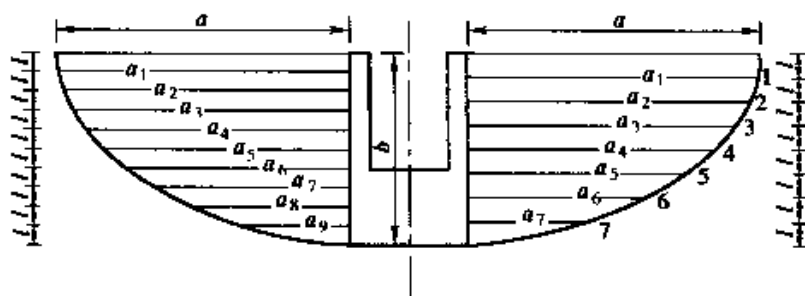


图 6-10 支距法锥坡放样图

将 b 分为 n 等分(一般为 10 或 8 等分),则可求得各点对应的支距 a 值,然后根据各点在 b 方向的分量和在 a 方向的分量 a 值可在现场放出各点。

将 b 分 8 等分时: $l = \frac{1}{8}b$; 将 b 分 10 等分时: $l = \frac{1}{10}b$ 。 $H \leq 6\text{m}$ 时: $b = H$; $H = 6 \sim 12\text{m}$ 时: $b = 1.25H \sim 1.5H$, 尺寸单位以 m 计。

2. 纵横等分图解法

如图 6-11 所示,按 a 和 b 的长度引一平行四边形;将 a' 和 b' 均分为 10

等分,并将各点顺序编号;由 b' 之 0 点连 a' 之 1 点,由 b' 之 1 点连 a' 之 2 点……依此类推,最后由 b' 之 9 点连 a' 之 10 点,即形成锥坡之底线。此法也适用于正桥。

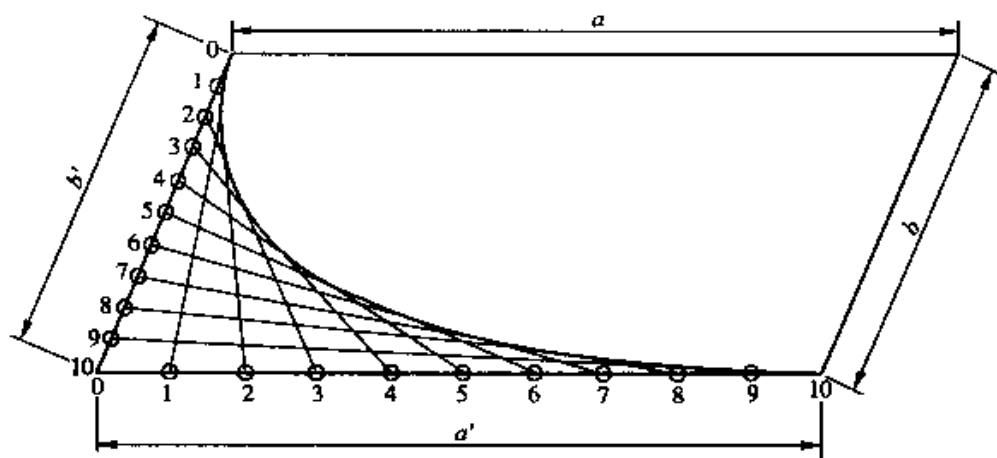


图 6-11

锥坡放样支距

表 6-1

锥坡高度(m) 支距(m)	$H \leq 6$		$H = 6 \sim 12$	
	十分法	八分法	十分法	八分法
a	$1.50H$	$1.50H$	$1.75H - 1.5$	$1.75H - 1.5$
a_1	$1.49H$	$1.49H$	$1.74H - 1.5$	$1.70H - 1.5$
a_2	$1.47H$	$1.45H$	$1.72H - 1.5$	$1.69H - 1.45$
a_3	$1.43H$	$1.39H$	$1.67H - 1.4$	$1.62H - 1.4$
a_4	$1.37H$	$1.30H$	$1.60H - 1.4$	$1.52H - 1.3$
a_5	$1.30H$	$1.17H$	$1.52H - 1.3$	$1.37H - 1.2$
a_6	$1.20H$	$0.99H$	$1.40H - 1.2$	$1.16H - 1.0$
a_7	$1.07H$	$0.73H$	$1.25H - 1.1$	$0.85H - 0.73$
a_8	$0.90H$	—	$1.05H - 0.9$	—
a_9	$0.65H$	—	$0.75H - 0.65$	—

放出样线,主要是为在锥坡挖基、修筑基础以及砌筑坡面时,便于悬挂准绳,使铺砌式样尺寸符合标准。在施工过程中应随时防止样线走动或脱开样线铺砌,从而进行必要的检查复核工作。

§ 6-4 桥梁墩台竣工测量

全桥墩台竣工以后,为了查明墩台的各主要部分的平面位置和高程是否符合设计要求,需要进行竣工测量,如实地将墩台完工部分的实际位置和尺寸测绘出来。为下一阶段桥梁上部构造的定位和安装提供可靠的原始数据。竣工测量的主要内容有:测定各墩台中心的实际坐标及其间距,进行检

查性的水准测量,检查垫石及墩帽各处的高程、丈量墩台各部分的尺寸。

当布有桥梁三角网时,可以用三角测量的方法来测算桥墩中心的坐标。为此可以将每一桥墩与其最近的两个三角点至少连接成两个三角形。如图6-12所示,最小的角度不得小于 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$,三角形的内角采用不低于 $2''$ 级的经纬仪或者全站仪观测 $3 \sim 4$ 个测回。三角形平差后计算出中心坐标。再根据坐标求出桥墩中心间距,与设计值相比较,并按下式评定观测精度:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$$

式中: Δ ——实际距离与设计距离之差;

n ——间隔数目。

如果用前方交会法放样桥墩中心的中误差为 1.5cm ,则两桥墩间距离的中误差应不超过 $1.5\sqrt{2} = 2\text{cm}$ 。

检查性的水准测量,应自一岸的永久水准点经过桥墩闭合到对岸的永久水准点,其高程闭合差应不超过下列公式所计算的数值:

$$f_h = \pm 4\sqrt{n} \quad (\text{mm})$$

式中: n ——测站数目。

在进行这种水准测量时,应测定墩顶水准点、拱座或垫石顶面的高程,以及墩顶其他各点的高程。

桥墩细部测量是根据桥墩的纵横轴线进行的,主要是丈量拱座或垫石的尺寸和位置以及墩顶的长和宽。这些尺寸对于设计数据的偏差不应超过 2cm 。

最后,根据上述竣工测量的资料编绘墩台竣工图、墩台中心距离一览表、墩顶水准点高程一览表等,为桥梁上部结构的安装和架设提供可靠的原始数据。

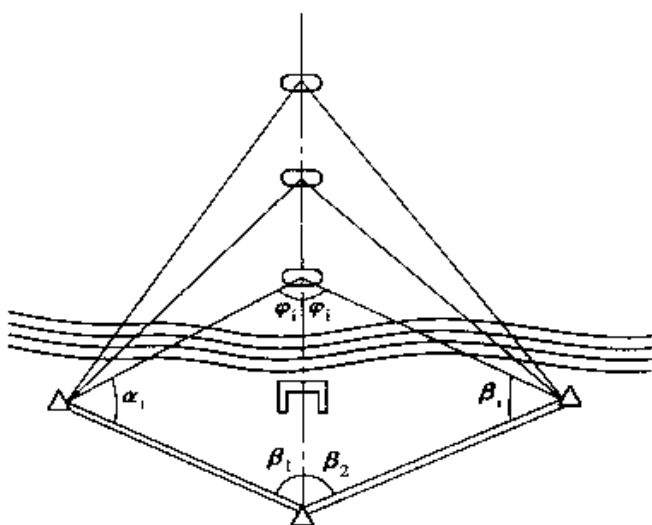


图 6-12

§ 6-5 桥梁上部结构的放样和施工观测

桥梁上部的结构形式很多,在一般的公路工程中多采用梁桥或拱桥。

梁桥上部施工放样,主要是根据墩帽上已有的纵横轴线放样支承垫石(或支座垫石)安装支座,并标定各梁的中线位置,在安装过程中用仪器控制和检查其平面及高程位置。

桥梁上部结构的施工与安装以拱桥较为复杂,拱桥中又以双曲拱桥施工观测项目较为全面,精度要求也比较高,具有代表性。拱桥的施工与安装分为有支架施工和无支架施工。下面以双曲拱桥为例重点介绍上部构造的放样与施工观测方法。

一、有支架施工

双曲拱桥的支架一般均由立柱式排架组成。要用仪器放出排架中线及排架在起拱线上的高程。在支架安装完成后,应检查支架位置的准确性。起拱线以上部分的支架立柱纵横轴在平面内与设计位置的偏差不宜超过 $\pm 30\text{mm}$;拱肋与桥中心线间的偏差不宜超过 $\pm 10\text{mm}$ 。拱肋模板安装在支架上。拱肋底板须用水准仪测定高程,其误差不得超过 $+10\text{mm}$ 或 -5mm 。

拱肋底模经检查无误后,先安装拱肋钢筋,再安装拱肋侧模,经检查无误后即可浇筑混凝土。在混凝土浇筑后及其凝固过程中,还要定期观测拱肋 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 跨径处观测点高程,以检查拱圈成形是否符合设计要求,并观测拱架的纵向位移、横向位移及拱架和支架基础的沉陷。

二、无支架施工

双曲拱桥无支架施工通常采用缆索吊装。而拱肋缆索吊装,是双曲拱桥上部构造施工中一项极为关键的工序。对中、小跨径的双曲拱桥可采用整根拱肋预制吊装或两段预制吊装。对大、中跨径双曲拱桥可将每根拱肋分三段或五段预制吊装。吊装时拱肋合龙定位及合龙后松索成拱的全过程都必须用经纬仪观测和控制其中线偏差,用水准仪观测和控制各接头点及拱顶等处高程的变化。以保证拱肋从悬挂的支承状态逐渐过渡到完全成拱的稳定状态(图 6-13)。

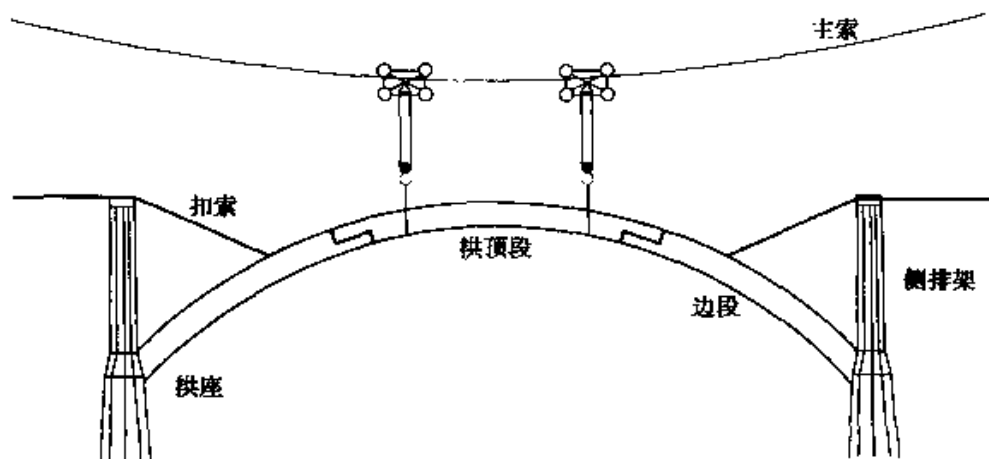


图 6-13

1. 吊装前的准备工作

为了确保吊装施工的质量与安全,在吊装前应对拱肋、墩台拱座进行检查,以及吊装缆索设备在试吊中进行塔架位移、主索垂度的观测。

(1)各段拱肋尺寸检查。拱肋中线标定及其上下弦长的丈量。拱肋接头和肋端可用样板校正,突出部分应予以凿除,凹陷部分用环氧树脂砂浆抹平。要保证端面与拱肋中线相垂直,接头面的倾斜度正确。螺栓孔要用样板套孔,规格不合时用挫扩孔。同时在接头及肋端面上要标定中线,并应复核拱肋的上下弦长,以保证安装精度。若上下弦长度不符合设计尺寸时,应将长度大的弧长凿短。最后,用经纬仪将拱肋中线在拱背上用墨线标定出来。

(2)桥台拱座的检查。墩台拱座修凿后,检查时要求拱座水平面高程略低于设计高程,预留长度应不小于计算值,拱座后端面应与水平面垂直,并平行于桥墩中线。同时在两个面上标示出拱肋安装位置的合口线和中线。每个拱座在肋宽范围内左右均应丈量复核。拱肋预制的长度和墩台之间净跨的施工误差可用拱座垫铁板的方法来调整跨径,以使安装后的拱肋不发生上下张口的现象。

在图 6-14 中,拱座之间的净跨为 L , S_1 、 S_2 、 S_3 为预制肋段的下弧弦长, α_1 、 α_2 为边段拱肋弦线的设计倾斜角,可从大样图中查得。则:

$$l_1 = s_1 \cos \alpha_1$$

$$l_2 = s_3 \cos \alpha_2$$

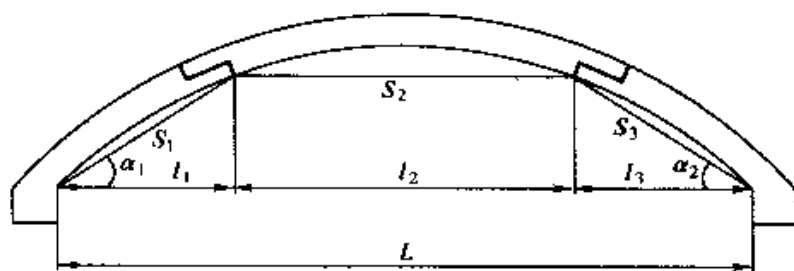


图 6-14

当 $L = l_1 + l_2 + l_3 = \sum l$ 时,说明拱肋的预制长度与拱座面的位置符合要求,纵向尺寸不需调整;若 $L > \sum l$ 时,则说明拱肋长度小于净跨,需要在拱座背面加垫铁板调整,且两拱座的后垫板厚度为 $\frac{1}{2}(L - \sum l)$;若 $L < \sum l$ 时,则需将拱座面混凝土的多余部分凿除,且两拱座后端面凿去的混凝土厚度为 $\frac{1}{2}(\sum l - L)$ 。拱座修凿后,还应施测拱脚高程线,用油漆标志,以供吊装时使用。

(3)计算拱肋就位时观测点的高程。当拱脚弦线没有纵坡,成水平状态时,如图 6-15 所示,则欲测点 P 的高程为:

$$H_P = H_A + Y_P$$

式中: H_A ——拱脚 A 点的高程;

Y_P ——P 点的纵坐标值,可从设计文件上查取。

当拱脚弦线具有纵向坡度时,如图 6-16 所示,则 P 点的高程为:

$$H_P = H_A + h_{AP}$$

而 $h_{AP} = ab + bc = X_P \sin \alpha + Y_P \cos \alpha$

所以 $H_P = H_A + h_{AP} = H_A + X_P \sin \alpha + Y_P \cos \alpha$

式中: X_P, Y_P ——P 点的纵横坐标;

α ——弦线 AB 的倾斜角,可从纵坡求得。

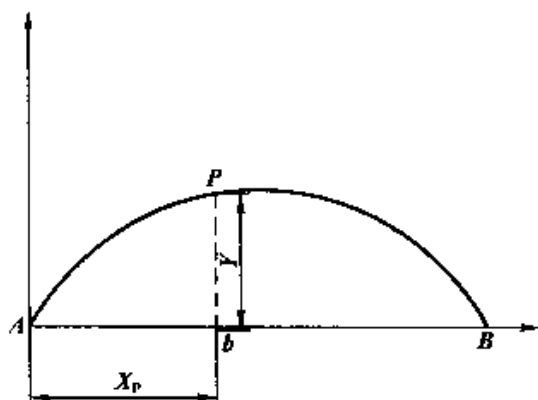


图 6-15

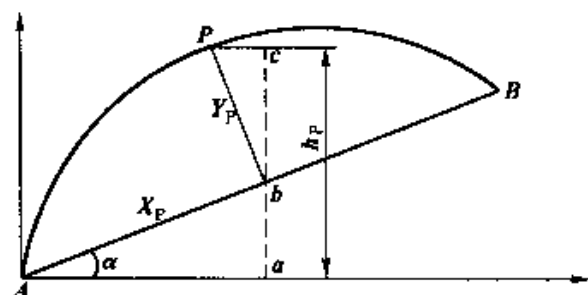


图 6-16

(4) 缆索设备的检查与试吊。

在此项工作中应注意观测塔架位移和主索安装垂度与吊装垂度。

2. 主索垂度和塔架位移的观测

主索垂度可以在跑车上安置吊绳直接测量,也可以用经纬仪测定仰角来计算,后者较为方便,其方法如图 6-17 所示。

则经纬仪至跑车的距离为 $S_1 = \sqrt{a^2 + b_1^2}$;

经纬仪中心和跑车间的高差为 $h = s_1 \tan \alpha_1$;

缆索弦长跨中高程为 $H_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}(H_A + H_B)$;

跑车的高程为 $H = H_0 + h$;

主索跨中垂度为 $f = H_{\frac{1}{2}} - H$ 。

塔架的安全常用位移的大小来检查。当塔架高度不大,风力较弱时,可在塔架顶吊一垂线下挂重物来测量塔顶的位移。但当塔架很高,风力较大时,可在塔顶安装一固定标尺,在有利于观测的地方安置经纬仪测出位移前、后的读数,两读数之差即为塔架位移值。

3. 拱肋吊装时的定位观测

(1) 中线观测。一般将经纬仪架设在桥墩(台)上观测中线较为方便。

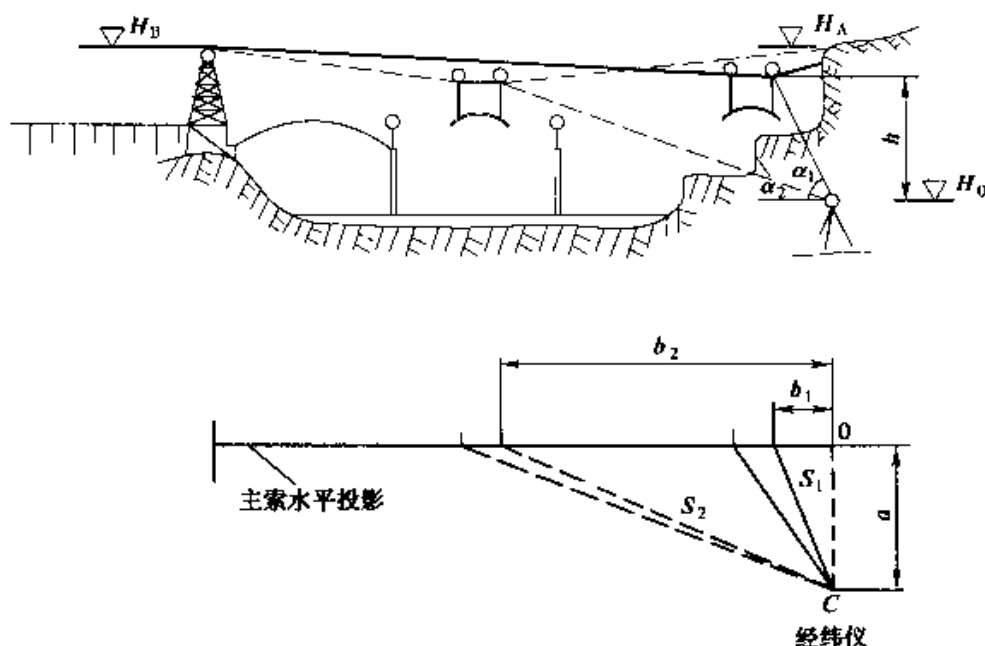


图 6-17

α -经纬仪架设位置至主索的垂直距离; b_1 -跑车位置至 O 点的距离; α -观测时的
竖直角; H_A 、 H_B -两个塔架顶的高程; H_0 -经纬仪仪器中心的高程

当桥墩、桥台顶面高程大于拱肋接头高程时,可将经纬仪架在拱肋中线方向上,直接观测拱肋上面所标示的中线位置。此法的优点是在拱肋上面不需要另外设置水准尺,观测也比较简便。但由于拱肋为一弧线,所以只能观测到一半,并且常被拱肋上方的吊索、吊钩和扣环等障碍物阻挡视线,为了克服上述缺点,可将经纬仪架在两拱肋位置的中间,在每根拱肋接头附近垂直拱肋方向横向安设一支带有刻度的水平标尺(其长度应大于拱肋间距的一半)如图6-18所示,观测水平尺上的数值,以测定拱肋中线位置。这种方法通视条件好,不易受扣索、夹木等的影响,同时一台经纬仪可进行两条拱肋中线的就位观测。就位的拱肋其中线偏差不应大于 $1 \sim 2\text{cm}$ 。

(2)高程观测。拱肋就位的高程观测,一般只控制拱肋接头处的高程即可。但在大跨径拱肋吊装时,还应检查拱顶高程,可用水准测量方法进行。根据桥跨度的具体情况和地形条件,测站可设置在不同位置。若观测台离测点太远,可采用望远镜放大率较大的精密水准仪进行观测。

①在河流两岸架设观测台(其高程应略低于拱肋接头高程),直接观测拱肋下方的水准尺。当使用普通水准仪时,其视线长不宜超过 150m 。

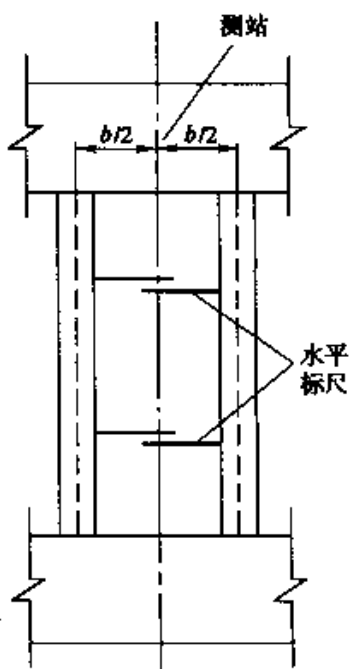


图 6-18

②在靠近观测点的墩台上设置测站,观测拱肋接头下方悬挂的标尺。此种方法所需要的水准尺较长,可用钢筋或角钢做尺身,再在水准仪读数范围内安置一标尺,安设时,尺身与拱肋、标尺与尺身,不宜固定死,使其自由摆动呈铅垂状态。

拱肋上安装标尺的形式通常有以下几种方法:

粘贴法。即将尺通过活动扣安在木柄上,而木柄用环氧树脂粘贴在拱肋上,如图 6-19a)所示。

检夹法:将尺用螺栓扣框架夹在拱肋观测点上,如图 6-19b)所示。

悬挂法。将尺吊在一条细长的钢筋上,而钢筋又挂在预埋在拱肋上的铁钉上,如图 6-19c)所示。

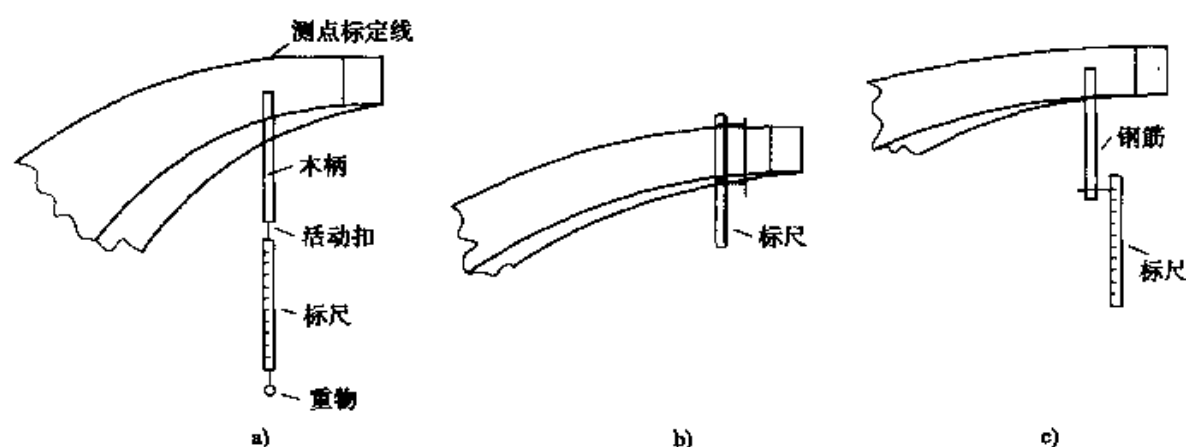


图 6-19

这种在墩台上设置测站,观测拱肋接头下方悬挂标尺的方法,观测视距短,指挥灵便,克服了河宽、水深不能设置观测台的困难,便于多孔双曲拱桥的拱肋吊装时采用。其缺点是在风力较大时,标尺容易摆动,拱波合龙后因视线受阻而不能继续观测。

③计算吊尺的前视应读数。如图 6-20 所示,仪器安置于桥墩上,后视墩上水准点 BM 所立水准尺得后视读数 a ,根据观测点 P 得设计高程 H_P ,可按下式计算 P 点吊尺应读数 b 。即:

$$b = H_P - (H_{BM} + a + l)$$

式中: H_{BM} ——水准点高程;
 l ——吊尺的钢筋长度(挂尺时已经量得)。

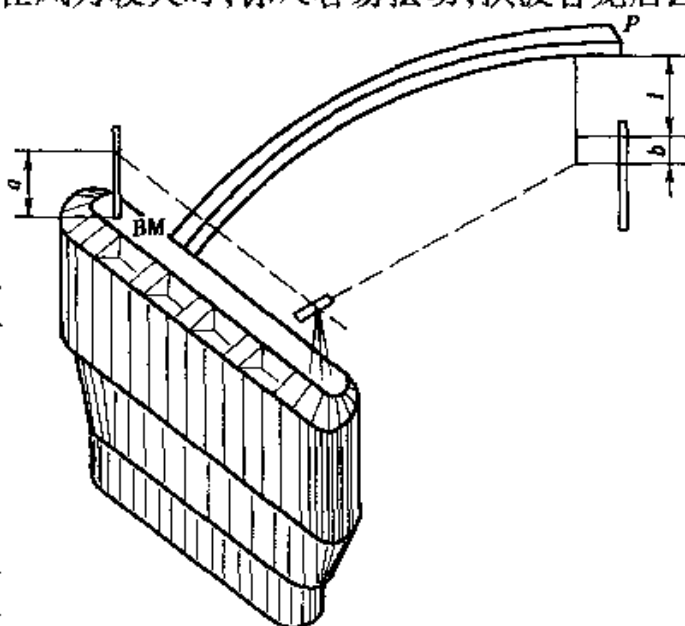


图 6-20

读数时应当注意,吊尺的零点在上。求得 b 值后,可前视吊尺,若读数恰好等于 b 值,则表明拱肋观测点的高程已经达到设计数值,否则应予以调整。

由于拱肋吊装是分段进行的,在合龙前,边段是用扣索控制暂时稳定的。吊装合龙定位过程中,为了在与拱顶段合龙时起调节作用,边段接头点高程应调整到高于设计高程(包括预加拱度值在内)10~20cm,合龙时,用仪器配合,按设计值控制边段高程,使拱顶段与边段准确合龙。

按规范规定进行合龙时,其中线和高程应控制在下面范围内,方可松索成拱:

拱肋中线的左右偏移:0.5~1.0cm;

拱肋顶部高程: +1.0~+0.3cm(+号表示抬高);

两对应接头点高差:2.0cm。

4. 拱圈轴线纵横变位观测

双曲拱桥拱圈(特别是拱肋)柔性较大,在外力作用下容易产生变形。在无支架吊装时,拱肋松索成拱后,还应以 1/4 点、1/3 点和拱顶作为观测点,对于较大跨径的双曲拱桥,应在腹孔墩的位置增设测点,继续进行拱肋(圈)的纵横变位观测。在拱肋(圈)及拱上建筑施工过程中,特别是在安砌拱波、拱板前后,也必须进行观测。拱肋吊装定位时观测中线、高程的方法均可选用。此外,观测拱轴线纵向变位时还可将水准仪架在桥台或桥墩立墙顶面上,观察拱肋背上竖立的水准尺,水准尺捆扎在粗钢筋上,再将钢筋与拱肋的锚固筋电焊固定,如图 6-21 所示。

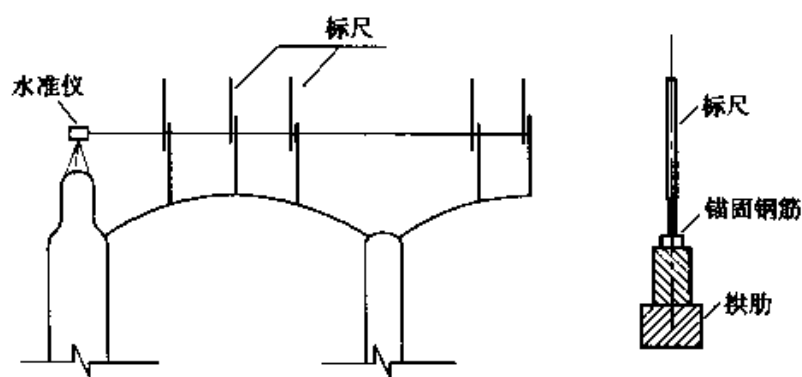


图 6-21

拱肋(圈)的变位,一般要用较精密的水准仪进行观测。有条件时也可以用结构检验用的百分表、钢丝挠度仪等仪表进行观测。当发现拱圈的不均匀及不对称的变形超过容许值时,应及时进行分析,调整施工程序并采取有效的措施。使拱轴线基本上符合设计要求,拱圈有良好的受力条件。

§ 6-6 互通式立交匝道的平面放样

一、互通式立交的基本组成

以完全互通式立交为代表,其基本组成如图 6-22 所示,包括跨线桥(或地道)、主线、匝道、出入口和变速车道等。组成立交的基本单元是匝道,它是在立交处连接立交上下道路的单车道单方向的转弯道路。

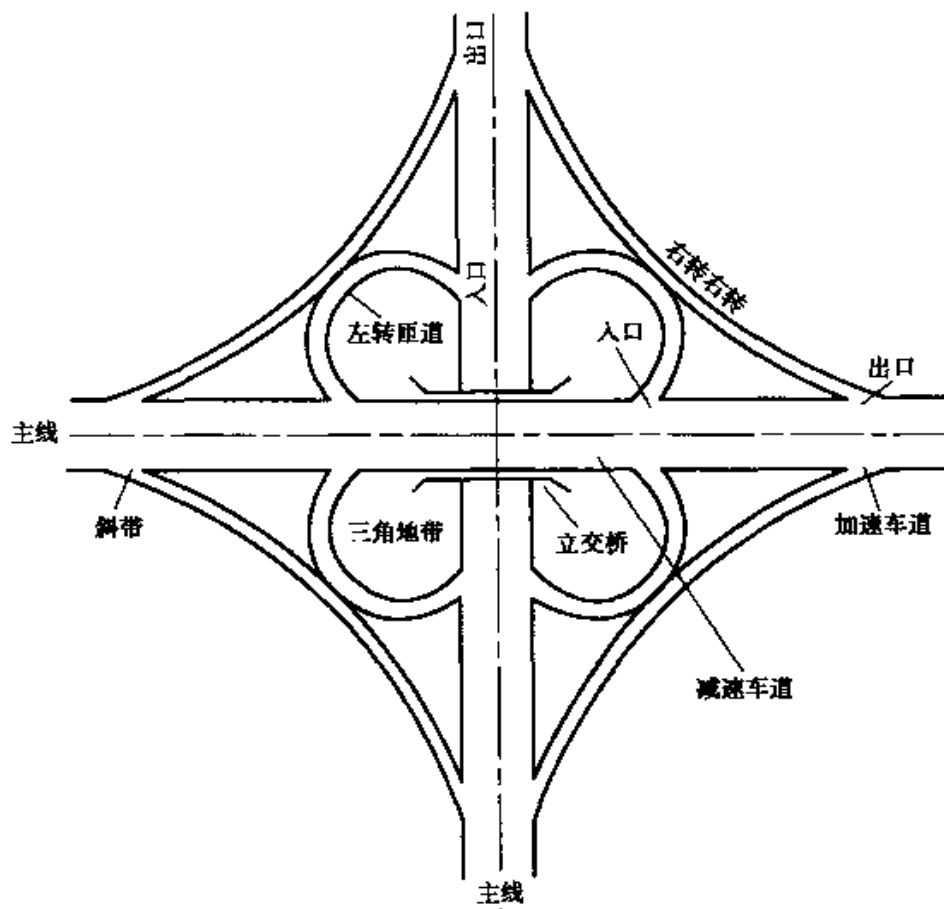


图 6-22

二、匝道的形式

互通式立体交叉设置的匝道根据交通组织以及车流的流向所设置的形式有很多种,但其基本功能是连接上下道路,所以从转弯的行驶状况可划分为四种基本形式:

(1)右转弯匝道。车辆从干线向右转弯驶出的匝道,如图 6-23a)所示。

(2)环形匝道。车辆从干线右侧驶出,右转弯大约 270° ,完成左转弯行驶所采用的一种匝道形式,如图 6-23b)所示。

(3)定向式匝道。也称为直接式匝道。车辆从干线左侧驶出,左转弯以

短捷的路线直接驶入连接的下线,如图 6-23c)所示。

(4)迂回式匝道。车辆从干线右侧驶出,向右迂回绕行以完成左转弯,如图 6-23d)所示。

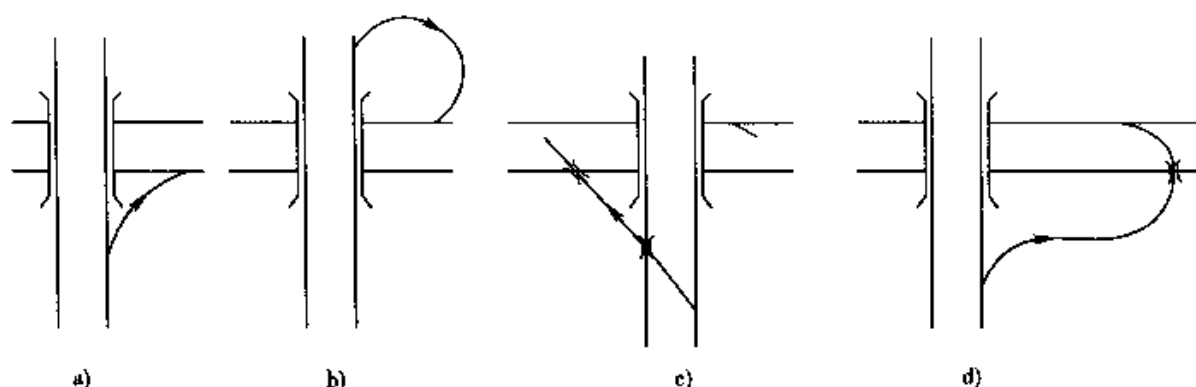


图 6-23

三、匝道的计算

匝道的平面线形一般是由直线段、圆曲线段和缓和曲线段所组成,我们把每一个曲线段称为一个曲线元,即匝道的平面线形是由直线元、圆曲线元、缓和曲线元组成。当每一个曲线元的两端点坐标、曲线长度和曲线的半径确定后,该曲线元的形状和几何尺寸也就确定了。

1. 直线元的坐标计算

如图 6-24 所示,设直线元的起点的坐标为 X_0, Y_0 。直线的坐标方位角为 τ_0 (顺时针偏右为正,逆时针偏左为负),直线起点的里程桩号为 S_0 ,直线上任意一点的桩号为 S ,则该点的坐标为:

$$X = X_0 + (S - S_0)\cos\tau_0$$

$$Y = Y_0 + (S - S_0)\sin\tau_0$$

2. 圆曲线元的坐标计算

如图 6-25 所示,设圆曲线元的起点坐标为 X_0, Y_0 。起点和圆曲线上任

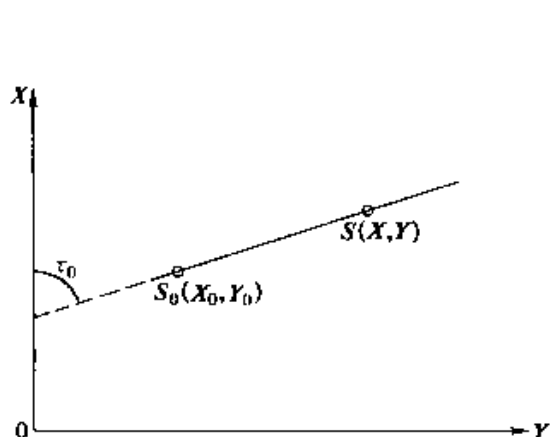


图 6-24 直线元坐标计算

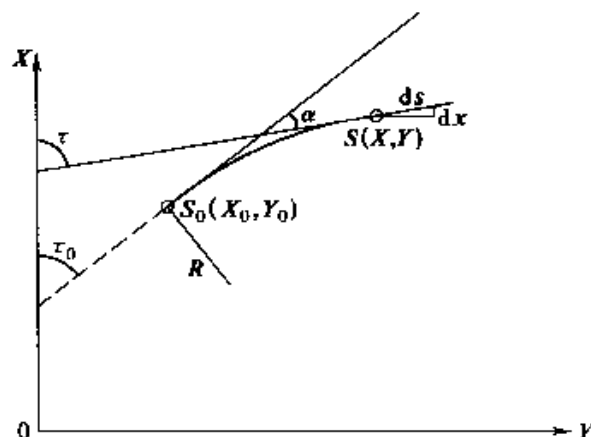


图 6-25 圆曲线元坐标计算

意一点的切线的坐标方位角分别为 τ_0 和 τ , 两切线之间的夹角为 α (顺时针偏右为正, 逆时针偏左为负), 起点里程桩号为 S_0 , 圆曲线上任一点的里程桩号为 S , 圆曲线的半径为 R , 由图可知:

$$dx = \cos\tau ds$$

$$dy = \sin\tau ds$$

$$\tau = \tau_0 + \alpha$$

因为当曲线右转时, α 为正; 曲线左转时, α 为负。所以, 令曲线右转时, R 取正值; 曲线左转时, R 取负值。于是有:

$$\alpha = \frac{S - S_0}{R}$$

$$dx = \cos\left(\tau_0 + \frac{S - S_0}{R}\right) ds$$

$$dy = \sin\left(\tau_0 + \frac{S - S_0}{R}\right) ds$$

积分可得圆曲线元上任一点的坐标计算公式为:

$$X = X_0 + R \left[\sin\left(\tau_0 + \frac{S - S_0}{R}\right) - \sin\tau_0 \right]$$

$$Y = Y_0 - R \left[\cos\left(\tau_0 + \frac{S - S_0}{R}\right) - \cos\tau_0 \right]$$

3. 缓和曲线元的坐标计算

如图 6-26 所示, 回旋曲线的参数方程为:

$$l = \frac{C}{\rho}$$

式中: ρ ——回旋曲线上任一点的曲率半径;

l ——该点到回旋线起点 $Q(\rho = \infty)$ 的曲线长度;

C ——回旋线参数。

$$\text{由图得: } d\alpha = \frac{dl}{\rho} = \frac{l}{C} dl$$

考虑到回旋线曲率半径增大方向与路线前进方向相反和相同两种情况 (如图 6-26a)、b) 所示), 引进符号函数:

$$\text{SGN}(\rho_0 - \rho) = \begin{cases} 1 & (\rho_0 - \rho) > 0 \\ 0 & (\rho_0 - \rho) = 0 \\ -1 & (\rho_0 - \rho) < 0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{则} \quad \alpha &= \int_0^l \frac{l}{C} dl \cdot \text{SGN}(\rho_0 - \rho) \\ &= \frac{1}{2C} (l^2 - l_0^2) \cdot \text{SGN}(\rho_0 - \rho) \end{aligned}$$

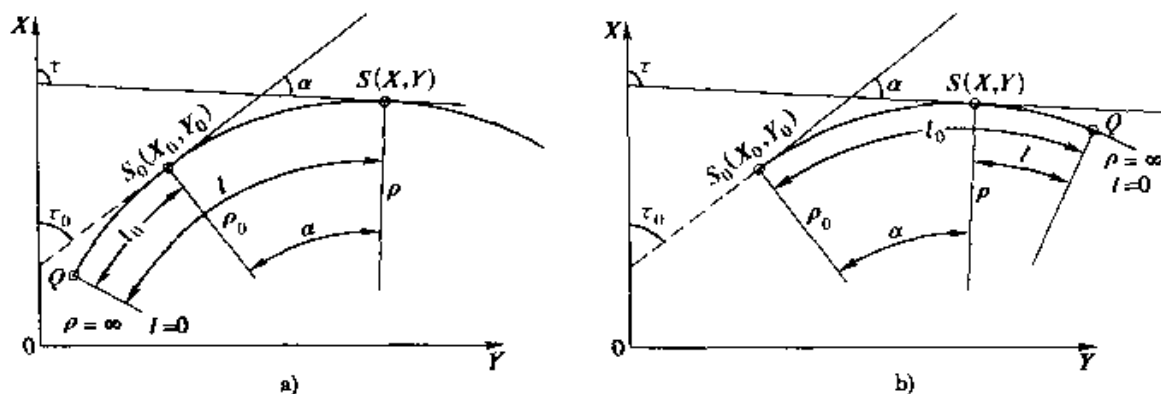


图 6-26 缓和曲线元坐标计算

又
$$l + l_0 = \frac{C}{\rho} + \frac{C}{\rho_0} = C / \frac{\rho\rho_0}{\rho + \rho_0}$$

令 $R_e = \frac{\rho\rho_0}{\rho + \rho_0}$, 称为该曲线的换算半径, 则 $l + l_0 = \frac{C}{R_e}$

所以 $\alpha = \frac{S - S_0}{2R_e}$

参照圆曲线元的计算方法, 可得回旋线元上任一点的坐标计算公式:

$$X = X_0 + \Delta A \cos T - B \sin T$$

$$Y = Y_0 + \Delta A \sin T + B \cos T$$

式中: $A = (l - l_0) - \frac{l^5 - l_0^5}{40C} + \frac{l^9 - l_0^9}{3456C^4}$

$$B = \frac{l^3 - l_0^3}{6C} - \frac{l^7 - l_0^7}{336C^3}$$

$$T = \tau_0 - \Delta \frac{l_0^2}{2C}$$

$$\Delta = \text{SGN}(\rho - \rho_0)$$

应当指出, Δ 在计算中只用于判定 ρ_0 是否大于 ρ 。同时还应注意曲线半径的符号, 路线右转时取正号; 左转时取负号。

另外, 曲线半径变化率 C 可按式计算:

$$C = \left| \frac{(S_2 - S_1)\rho_1\rho_2}{\rho_1 - \rho_2} \right|$$

式中 S_1 、 ρ_1 和 S_2 、 ρ_2 分别为回旋线曲线元两端点的里程桩号和曲率半径。

当 ρ_1 趋于无穷大时, 则

$$C = |\rho_2(S_2 - S_1)|$$

当 ρ_2 趋于无穷大时, 则

$$C = |\rho_1(S_2 - S_1)|$$

4. 采用曲线元法计算匝道上任一点坐标的步骤

一条匝道是由直线元、圆曲线元和回旋曲线元组合而成,只要给出匝道起点的直角坐标 X_0 、 Y_0 和起点切线与 X 轴的夹角 τ_0 ,以及各曲线元的分界点的里程桩号 S_i 和分界点的曲率半径 ρ_i ,就可以计算出匝道上各点的坐标。

(1)根据曲线元两端点的曲率半径判别各曲线元的性质,当曲线元两端点的曲率半径为无穷大时为直线元;相等时为圆曲线元;不等时为回旋曲线元。

(2)从匝道起点开始,按照曲线元的性质,运用相应的曲线元坐标计算公式,依次计算各桩点的直角坐标。

计算公式中的角度采用弧度制。

5. 计算示例

图 6-27 所示是一座喇叭形立交。现以其环形匝道为例说明其计算方法。

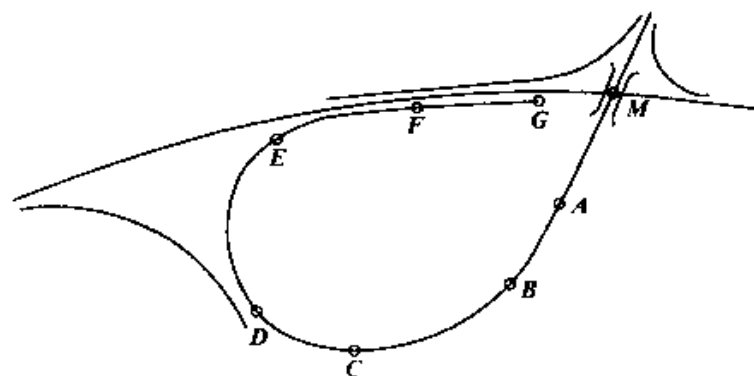


图 6-27 喇叭形立交

图 6-27 中环形匝道为水滴形,与主线的交叉点 M 的里程桩号为 $K0 + 116$, M 点坐标为 $X_m = 1378.214\text{m}$, $Y_m = 2822.950\text{m}$ 。 MA 直线的坐标方位角为 $\alpha_{MA} = 200^\circ$ 。该环形匝道的组成为 MA 为直线段, $L_{MA} = 34\text{m}$; AB 段为回旋曲线段, $L_{AB} = 74.00\text{m}$, $C_{AB} = 9176$; BC 段为圆曲线段, $L_{BC} = 117.840\text{m}$, 半径 $R_{BC} = 124\text{m}$; CD 段为回旋曲线段, $L_{CD} = 65.81\text{m}$, $C_{CD} = 7650.41$; DE 段为圆曲线, $L_{DE} = 88.176\text{m}$, 半径 $R_{DE} = 60\text{m}$; EF 段为回旋曲线, $L_{EF} = 81.667\text{m}$, $C_{EF} = 4900.02$; FG 段为直线段, $L_{FG} = 62.507\text{m}$ 。取桩距为 20m ,计算该环形匝道上各桩点的坐标。为简捷起见,每一曲线元我们举例计算一个桩点的坐标。

(1)各曲线元端点桩号

$M: S_m = K0 + 116$

$A: S_A = S_m + L_{MA} = K0 + 116 + 34 = K0 + 150$

$$B: S_B = S_A + L_{AB} = K0 + 150 + 74 = K0 + 224$$

$$C: S_C = S_B + L_{BC} = K0 + 224 + 117.840 = K0 + 341.84$$

$$D: S_D = S_C + L_{CD} = K0 + 341.84 + 65.81 = K0 + 407.65$$

$$E: S_E = S_D + L_{DE} = K0 + 407.6 + 88.176 = K0 + 495.826$$

$$F: S_F = S_E + L_{EF} = K0 + 495.826 + 81.667 = K0 + 577.493$$

$$G: S_G = S_F + L_{FG} = K0 + 577.493 + 62.507 = K0 + 640$$

(2) MA 段直线元上任一点的坐标

设 P_1 为 MA 段上任一个桩点, 其桩号 $S_{P_1} = K0 + 140$

由已知条件知: $\tau_m = 200^\circ$

由直线元坐标计算公式得:

$$\begin{aligned} X_{P_1} &= X_M + (S_{P_1} - S_M) \cos \tau_m \\ &= 1378.214 + (140 - 116) \cdot \cos 200^\circ \\ &= 1355.661 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{P_1} &= Y_M + (S_{P_1} - S_M) \sin \tau_m \\ &= 2822.950 + (140 - 116) \sin 200^\circ \\ &= 2814.741 \end{aligned}$$

直线终点 A 的坐标为:

$$\begin{aligned} X_A &= X_M + (S_A - S_M) \cos \tau_m \\ &= 1378.214 + (150 - 116) \cdot \cos 200^\circ \\ &= 1346.261 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_A &= Y_M + (S_A - S_M) \sin \tau_m \\ &= 2822.950 + (150 - 116) \sin 200^\circ \\ &= 2811.321 \end{aligned}$$

其他各桩点的坐标计算同 P_1 点。

(3) AB 段回旋曲线元上桩点的坐标计算

AB 段为回旋曲线元, 桩点坐标计算公式为:

$$X_i = X_A + \Delta \cdot A_i \cdot \cos T - B_i \cdot \sin T$$

$$Y_i = Y_A + \Delta \cdot A_i \cdot \sin T - B_i \cdot \cos T$$

先判定 Δ 的符号: 由 $\rho_A = \infty$, $\rho_B = R_{BC} = 124$, 可确定回旋线曲率半径增大方向与路线前进方向相反, 所以 $\Delta > 0$ 。

计算过 B 点的切线与 X 轴正方向的夹角 τ_B 。

因为 A 点为回旋线起点, 所以 $l_0 = 0$ 。则换算半径:

$$R_e = C_{AB} / (l_{AB} + l_0) = C_{AB} / l_{AB} = 9176 / 74 = 124$$

$$\alpha_{AB} = \frac{S_B - S_A}{2R_c} = \frac{74}{2 \times 124} \times \frac{180}{\pi} = 17^\circ 06' 18''$$

$$\tau_B = \tau_A + \alpha_B = 217^\circ 06' 18''$$

设 P_2 点为 AB 段回旋曲线上任一点加桩, 桩号为 $S_{P_2} = K0 + 200$, 则

$$A_{P_2} = (l_{P_2} - l_0) - \frac{l_{P_2}^5 - l_0^5}{40 C_{AB}^2}$$

$$B_{P_2} = \frac{l_{P_2}^3 - l_0^3}{6 C_{AB}} - \frac{l_{P_2}^7 - l_0^7}{336 C_{AB}^3}$$

式中 l_{P_2} 为 P_2 点到回旋曲线起点的曲线长, 因为 A 点为该回旋线的起点, 所以:

$$l_{P_2} = S_{P_2} - S_A = 50$$

l_0 为回旋线端点 A 到回旋线起点的曲线长, $l_0 = 0$ 。

$$A_{P_2} = 50 - \frac{50^5}{40 \times 9176^2} = 49.91$$

$$B_{P_2} = \frac{50^3}{6 \times 9176} - \frac{50^7}{336 \times 9176^3} = 2.267$$

$$T_{AB} = \tau_A - \Delta \cdot \frac{l_0^2}{2 C_{AB}} \times \frac{180^\circ}{\pi} = \tau_A = \tau_m = 200^\circ$$

由回旋线上任一点的坐标计算公式得:

$$\begin{aligned} X_{P_2} &= X_A + \Delta A_{P_2} \cos T_{AB} - B_{P_2} \sin T_{AB} \\ &= 1346.264 + 49.91 \times \cos 200^\circ - 2.267 \times \sin 200^\circ \\ &= 1300.139 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{P_2} &= Y_A + \Delta A_{P_2} \sin T_{AB} + B_{P_2} \cos T_{AB} \\ &= 1346.264 + 49.91 \times \sin 200^\circ + 2.267 \times \cos 200^\circ \\ &= 2792.121 \end{aligned}$$

其他各桩点坐标的计算同 P_2 点。

AB 段端点 B 的坐标:

$$A_B = (l_B - l_0) - \frac{l_B^5 - l_0^5}{40 C_{AB}^2}$$

$$B_B = \frac{l_B^3 - l_0^3}{6 C_{AB}} - \frac{l_B^7 - l_0^7}{336 C_{AB}^3}$$

式中 l_B 为 B 点到回旋线起点的曲线长, 因为 A 点为 AB 段回旋线起点, 所以:

$$l_B = S_B - S_A = 74$$

$$l_0 = 0$$

$$A_B = 74 - \frac{74^5}{40 \times 9176^2} = 73.341$$

$$B_B = \frac{74^3}{6 \times 9176} - \frac{74^7}{336 \times 9176^3} = 7.313$$

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + \Delta A_B \cos T_{AB} - B_B \sin T_{AB} \\ &= 1346.264 + 73.341 \times \cos 200^\circ - 7.313 \times \sin 200^\circ \\ &= 1279.847 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_B &= Y_A + \Delta A_B \sin T_{AB} + B_B \cos T_{AB} \\ &= 1346.264 + 73.341 \times \sin 200^\circ + 7.313 \times \cos 200^\circ \\ &= 2779.363 \end{aligned}$$

(4) BC 段圆曲线元上各桩点的坐标

设 P_3 为 BC 段圆曲线元上任一桩点, 其桩号为 $S_{P_3} = K0 + 280$, 由第三步的计算结果可知: $\tau_B = 217.105^\circ$ 。

由圆曲线元坐标计算基本公式得:

$$\begin{aligned} X_{P_3} &= X_B + R_{BC} \left[\sin \left(\tau_B + \frac{S_{P_3} - S_B}{R_{BC}} \right) - \sin \tau_{BC} \right] \\ &= 1279.847 + 124 \times \left[\sin \left(217.105^\circ + \frac{56}{124} \times \frac{180^\circ}{\pi} \right) - \sin 217.105^\circ \right] \\ &= 1244.169 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{P_3} &= Y_B - R_{BC} \left[\cos \left(\tau_B + \frac{S_{P_3} - S_B}{R_{BC}} \right) - \cos \tau_{BC} \right] \\ &= 2779.363 - 124 \times \left[\cos \left(217.105^\circ + \frac{56}{124} \times \frac{180^\circ}{\pi} \right) - \cos 217.105^\circ \right] \\ &= 2736.974 \end{aligned}$$

该段上其他各桩点的坐标计算同 P_3 点。

计算 BC 段的端点 C 的坐标:

$$\begin{aligned} X_C &= X_B + R_{BC} \left[\sin \left(\tau_B + \frac{S_C - S_B}{R_{BC}} \right) - \sin \tau_{BC} \right] \\ &= 1279.847 + 124 \times \left[\sin \left(217.105^\circ + \frac{117.84}{124} \times \frac{180^\circ}{\pi} \right) - \sin 217.105^\circ \right] \\ &= 1230.682 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_C &= Y_B - R_{BC} \left[\cos \left(\tau_B + \frac{S_C - S_B}{R_{BC}} \right) - \cos \tau_{BC} \right] \\ &= 2779.363 - 124 \times \left[\cos \left(217.105^\circ + \frac{117.84}{124} \times \frac{180^\circ}{\pi} \right) - \cos 217.105^\circ \right] \end{aligned}$$

$$= 2677.113$$

计算 BC 段圆曲线端点 C 的切线角 τ_C 。

$$\tau_C = \tau_B + \alpha$$

$$\alpha = \frac{S_C - S_B}{R_{BC}}$$

$$\tau_C = \tau_B + \frac{S_C - S_B}{R_{BC}} = 217.105^\circ + \frac{117.84}{124} \times \frac{180^\circ}{\pi} = 271.582^\circ$$

(5) CD 段回旋曲线元上桩点的坐标

先判定 Δ 的符号: 由 $\rho_C = R_{BC} = 124$, $\rho_D = R_{DE} = 60$ 可知:

$$\rho_C > \rho_D$$

由此, 可确定该段回旋线曲率半径增大方向与路线前进方向相反, 则

$$\Delta > 0$$

设 P_4 点为 CD 段上任一桩点, 其桩号为 $S_{P_4} = K0 + 380$, 在该段上, l_0 为 C 点到该回旋线起点的曲线长:

$$l_0 = \frac{C_{CD}}{R_C} = 7650.41/124 = 61.697$$

$$l_{P_4} = l_0 + (S_{P_4} - S_C) = 61.697 + 38.16 = 99.857$$

则:

$$\begin{aligned} A_{P_4} &= (l_{P_4} - l_0) - \frac{l_{P_4}^5 - l_0^5}{40 C_{CD}^2} \\ &= 38.16 - \frac{99.857^5 - 61.697^5}{40 \times 7650.41^2} = 34.301 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{P_4} &= \frac{l_{P_4}^3 - l_0^3}{6 C_{CD}} - \frac{l_{P_4}^7 - l_0^7}{336 C_{CD}^3} \\ &= \frac{99.858^3 - 61.697^3}{6 \times 7650.41} - \frac{99.857^7 - 61.697^7}{336 \times 7650.41^3} = 15.941 \end{aligned}$$

$$T_{CD} = \tau_C - \Delta \cdot \frac{l_0^2}{2 C_{CD}} = 271.582^\circ - \frac{61.697^2}{2 \times 7650.41} \times \frac{180^\circ}{\pi} = 257.321^\circ$$

由回旋线元坐标计算公式得:

$$\begin{aligned} X_{P_4} &= X_C + \Delta A_{P_4} \cos T_{CD} - B_{P_4} \sin T_{CD} \\ &= 1230.682 + 34.301 \times \cos 257.321^\circ - 15.941 \times \sin 257.321^\circ \\ &= 1238.694 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{P_4} &= Y_C + \Delta A_{P_4} \sin T_{CD} + B_{P_4} \cos T_{CD} \\ &= 2677.113 + 34.301 \times \sin 257.321^\circ + 15.947 \times \cos 257.321^\circ \end{aligned}$$

$$= 2640.077$$

该段上其他各桩点坐标的计算同 P_4 。

计算 CD 段端点 D 的坐标:

$$l_D = l_0 + (S_D - S_C) = 61.697 + 65.81 = 127.507$$

$$A = (l_C - l_0) - \frac{l_C^5 - l_0^5}{40C_{CD}^2}$$

$$= 65.81 - \frac{127.507^5 - 61.697^5}{40 \times 7650.41^2} = 51.796$$

$$B_D = \frac{l_D^3 - l_0^3}{6C_{CD}} - \frac{l_D^7 - l_0^7}{336C_{CD}^3}$$

$$= \frac{127.507^3 - 61.697^3}{6 \times 7650.41} - \frac{127.507^5 - 61.697^5}{336 \times 7650.41^3} = 26.031$$

$$X_D = X_C + \Delta A_D \cos T_{CD} - B_D \sin T_{CD}$$

$$= 1230.682 + 51.796 \times \cos 257.321^\circ - 26.031 \times \sin 257.321^\circ$$

$$= 1254.824$$

$$Y_D = Y_C + \Delta A_D \sin T_{CD} + B_D \cos T_{CD}$$

$$= 2677.113 + 51.796 \times \sin 257.321^\circ + 26.031 \times \cos 257.321^\circ$$

$$= 2617.841$$

剩余 DE 段圆曲线元、 EF 段回旋曲线元和 FG 段直线元,请读者参照上述计算方法进行计算练习。

匝道上各桩点的坐标计算比较繁琐,在计算过程中很容易出错。为简化计算过程,可利用 BASIC 程序进行计算,在本书的附录中有匝道坐标计算源程序。

在计算出匝道上各桩点的坐标后,同样可采用坐标放样方法,将全站仪安置于控制点进行放样,在此不再赘述。

第7章 桥梁墩台在施工过程中的变形观测

§ 7-1 概 述

一、变形的概念

变形是指建造的建筑物或者构筑物没有维持原有设计的形状、位置或大小,或者是建造的结果引起周围地表及其附属物发生变化的现象。如桥墩的下沉、倾斜,路堤路堑边坡下滑等。

为了及时发现上述变形现象的发生,避免由于变形造成施工过程中的安全事故和工程交工后在使用阶段出现质量事故,可采取变形观测的方法,即以测量技术手段对结构的有关工点进行观测,从中找到观测点位参数与该点位的原设计参数的差异,从而判定施工的工程质量,变形的程度和变形的发展趋势,及时纠正施工偏差和采取相应的技术措施。

结构在施工和使用阶段的变形,不仅反映施工质量,同时也是结构承载能力和受力性能的反映。因此,对结构的变形观测在结构施工和工程质量检测中具有重要的意义。

结构的变形观测方法很多,如采用百分表、电阻应变计、电阻式位移传感器、差动电感式位移传感器等。在结构的大位移观测中利用这些仪器进行观测,仪器安装就位的技术要求高,粘贴的难度大,观测的速度慢,准备工作时间长,环境因素影响大,比较繁琐。本章主要介绍利用精密水准仪观测桥梁构造物的梁板和拱的挠度变形、梁板裂缝、墩台沉降和位移。利用精密水准仪进行变形观测速度快,环境因素影响小,精度也能够满足要求。

二、变形观测的工作类型

变形观测是一种精密的测量技术。首先,变形测量必须有精密的测量仪器,如精密水准仪、精密经纬仪或精密全站仪等。其次,变形观测必须有精密的控制测量以及稳定可靠的控制点。

根据建筑物、构筑物变形的性质,变形测量的工作类型有:沉陷观测、倾斜观测、挠度观测、裂缝观测等。

§ 7-2 梁板挠度变形观测

一、观测的目的

挠度变形观测的目的是检验梁板结构和拱在施工和使用阶段变形是否符合设计和规范的要求。对梁板结构的使用质量给出定量的评价。

二、观测的内容

观测梁板和拱结构挠度和竖向位移。

三、观测前的准备工作

1. 观测孔或墩的选择

对多孔桥梁中跨径相同的桥孔或墩可选择 1~3 个具有代表性的桥孔或墩进行观测。选择时应考虑以下因素：

- (1) 该孔或墩计算受力最不利。
- (2) 该孔或墩施工质量较差。
- (3) 该孔或墩便于搭设脚手架, 便于设置测点。

2. 加载方案的制定和测点的设置

- (1) 根据观测的目的不同, 制定相应的加载方案。
- (2) 测点的选择和布置应符合以下几条原则:
 - ① 在满足观测目的的前提下, 测点宜少不宜多, 以便使观测工作重点突出。
 - ② 测点的位置必须有代表性。
 - ③ 为了保证观测数据的可靠性, 也可适当布置一定数量的校核性测点。
- (3) 测点布置注意事项。

对于受弯或偏心受压构件的挠度测点应布置在构件跨度方向的中点或最大挠度部位, 包括支座变形测点在内, 不宜少于 5 处; 对于受弯或偏心受压构件, 挠度测点应沿构件两侧对称布置; 对于有边肋的单向板, 除应量测构件边肋的挠度外, 还应量测板宽中央的挠度; 对于双向板、空间薄壳结构等双向受力结构, 挠度测点应沿两个跨度方向或主曲率方向的跨中或挠度较大的部位布置。

3. 控制点

建立不低于三等水准测量精度要求的高程控制点。

四、仪器的准备

变形观测使用的水准仪应为精密水准仪, 配备特制长度为 50cm、最小

刻度为 5mm 的铟钢尺,利用精密水准仪的测微器,直读精确到 0.1mm,可估读 0.01mm。可以满足挠度观测和竖向位移观测的精度。

五、观测方法

选择好测点后,在测点粘贴尺座,尺座如图 7-1 所示。

把测点位置用砂布打磨平整,除去泥灰再用细砂纸磨光,然后用棉球沾酒精清洗干净,画出桥轴中线方向,涂抹粘结剂(502 快干胶或者环氧树脂),对粘结剂的要求是:粘结强度高(剪切强度不低于 3~4MPa),化学稳定性及工艺性能好等。

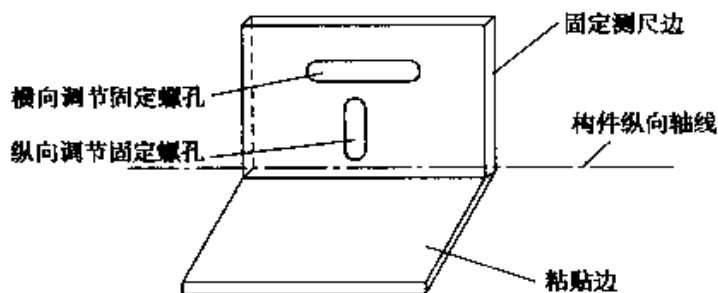


图 7-1

把尺子用螺栓固定在尺座上,不要太紧,以便调整尺子在水平方向和铅垂方向的位置。把尺座粘贴在测点上,待稳定后,用铅垂检查尺子的位置,通过调整固定螺栓,使尺子的轴线处于铅垂线位置上,以便保证测读的精度。

在距离测点 15m 左右的位置搭设脚手架,安置水准仪。脚手架的顶面铺设木板,要求铺设平坦稳定。顶面标高以距测点 2m 为宜。

六、加载(静载)与观测

1. 稳定观测

仪器安装就位后,一般在加载观测之前应对各测点进行一段时间的稳定观测,中间可每隔 10 min 读数一次。

2. 加载程序

加载应在指挥人员指挥下严格按计划程序进行。公路桥梁的挠度变形观测,一载采用车辆加载,先由零载加至第一级荷载,卸载至零载;再由零载加至第二级荷载,卸至零载……,直至所有荷载施加完毕。每级荷载施加次序为纵向先施加重车,后施加两侧标准车;横向先施加桥中心的车辆,后施加外侧的车辆。

3. 加载稳定时间控制

为控制加载稳定时间,应选择一个控制观测点,在每级加载(或卸载)后立即测读一次,计算其与加载前(或卸载前)测读值之差 S_k ,然后每隔 2min 测读一次,计算前后读数的差值 ΔS ,并按下式计算相对读数差值 m :

$$m = \Delta S / S_g$$

当 m 值小于 1% 时,即认为结构基本稳定,可进行各观测点的观测。另外对于尚未投入运营的新桥应适当延长加载稳定时间。

4. 观测数据记录

七、试验数据分析

1. 观测资料的修正

(1) 测值修正

根据水准仪标定的结果进行测值的修正。如水准仪的视准轴误差,读数误差等。

(2) 温度影响的修正

由于温度影响修正比较困难,一般不进行这项工作,可采取缩短加载时间、选择温度稳定性较好的时间进行观测的办法,以尽量减少温度对观测结果的影响。

(3) 支点沉降影响的修正

当支点沉降量较大时,应修正其对挠度值的影响,修正量 C 可按下式计算:

$$C = (L - X)a/L + Xb/L$$

式中: C ——测点的支点沉降影响修正量;

L —— A 支点到 B 支点的距离;

X ——挠度测点 A 支点的距离;

a —— A 支点沉降量;

b —— B 支点沉降量。

2. 各测点变位(挠度、位移、沉降)的计算

根据量测数据作以下计算:

总变位(或总应变) $S_t = S_l - S_l$

弹性变位(或弹性应变) $S_e = S_l - S_u$

残余变位(或残余应变) $S_p = S_l - S_e = S_u - S_l$

式中: S_l ——加载前的测值;

S_l ——加载达到稳定时的测值;

S_u ——卸载后达到稳定时的测值。

引入相对残余变位(或应变)的概念描述结构整体或局部进入塑性工作状态的程度。

$$S_p = S_p / S_l \times 100\%$$

式中 S_p 为相对残余变位(或应变)。

3. 试验结果和理论分析的比较

为了评定结构的整体受力性能,需对桥梁荷载的试验结果与理论分析值比较,以检验新建桥是否达到设计要求的荷载标准,或判断旧桥的承载能力。比较时将结构位移、应变等试验值与理论计算值列表进行比较,并绘出荷载位移曲线,荷载应力曲线。为了量化,以及描述观测值与理论分析值比较的结果,引入结构校验系数:

$$\eta = S_e/S_s$$

式中: S_e ——试验荷载作用下的弹性变位值;

S_s ——试验荷载作用下的理论计算变位值

八、结构工作性能的评定

1. 校验系数 η

校验系数 η 是评定结构工作状态、确定桥梁承载能力的一个重要指标。不同结构形式的桥梁其 η 值常不相同。 η 值常见范围参考值见表7-1。一般要求 η 不大于1。 η 值越小结构的安全储备越大。如 η 值过大,可能说明组成结构的材料强度较低,结构各部分联结性较差,刚度较低等。 η 值过小,可能说明材料的实际强度及弹性模量较高,桥梁的混凝土桥面铺装及人行道等与主梁共同受力,拱桥拱上建筑与拱圈共同作用,支座摩阻力对结构受力具有有利影响,计算理论或简化的计算式偏于安全等。

桥梁校验系数常值

表 7-1

桥梁类型	应变或应力校验系数	挠度校验系数
钢筋混凝土板桥	0.20 ~ 0.40	0.20 ~ 0.50
钢筋混凝土梁桥	0.40 ~ 0.80	0.50 ~ 0.90
预应力混凝土桥	0.60 ~ 0.90	0.70 ~ 1.00
圬工拱桥	0.70 ~ 1.00	0.80 ~ 1.00

2. 实测值与理论值的关系曲线

由于理论的变位一般按线性关系计算,所以如测点实测弹性变位与理论计算值成正比,其关系曲线接近于直线,说明结构处于良好的弹性工作状态。

3. 相对残余变位

测点在控制荷载作用下的相对残余变位 S_p/S_t 越小说明结构越接近弹性工作状态。一般要求 S_p/S_t 值不大于20%,当 S_p/S_t 大于20%时,应查明原因。如确系桥梁强度不足,应在评定时,酌情降低桥梁的承载力。

4. 结构刚度

在试验荷载作用下,主要测点挠度校验系数 η 应不大于1。各点的挠

度不超过现行桥梁设计规范规定的允许值。

圬工拱桥：一个桥孔范围内正负挠度的最大绝对值之和不大于 $L/1000$ 。

钢筋混凝土桥：梁桥主梁跨中 $< L/600$

梁桥主梁悬臂端 $< L/300$

桁架、拱桥 $< L/300$

§ 7-3 桥梁墩台沉降和位移观测

桥梁墩台的沉降和位移如果超过一定的限度，给上部构造带来的附加应力是很可观的，会使上部结构产生裂缝，降低其承载能力，影响桥梁的使用寿命，严重的甚至会产生塌桥事故。为了查明沉降和位移量，必须进行观测，特别是对于地质情况不良的大桥更为重要。观测的周期在施工期间和桥梁竣工初期应该短一些。当已经初步掌握变形规律后，观测周期可适当放长。在发生地震、洪水等特殊情况时，应该增加观测次数。

为了进行沉降观测，应在桥墩两边各埋设一个顶端为球形的标志，作为高程控制点，如果墩顶水准点符合这个条件，也可以利用。然后沿着这些水准点进行精密水准测量。水准路线闭合在两岸的永久水准点上。同一个桥墩的两个水准点，有时因为上部构造的阻挡不能通视，这时墩顶水准点要用两条水准路线连接起来。如图 7-2 所示，一条在上游一方，一条在下游一方。因为水准仪及水准尺只能隔一个桥墩摆一站，所以图中的每一条水准路线实际上必须施测两次。每一次将仪器及水准尺摆在不同的桥墩上，才能把所有的墩顶水准点与岸上的水准点连接起来。由此可知图 7-2 中上游（或下游）一方的水准路线实际上是两条水准路线。

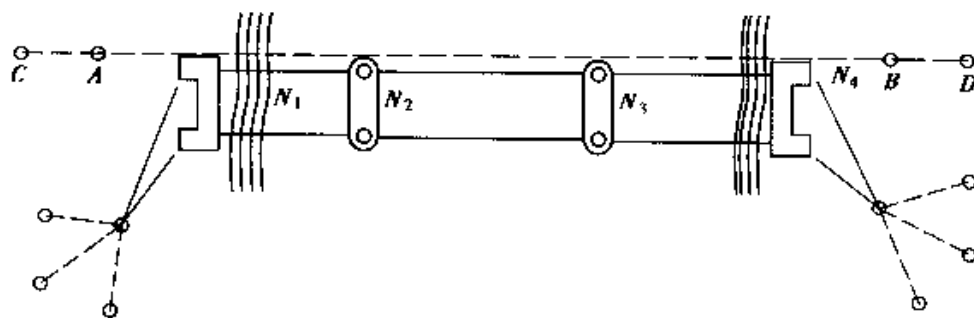


图 7-2

对于特别重要的桥梁，为检查水准点本身的高程是否变动，可将其成组地埋设，通常每组三点，形成图 7-3 所示的形状：水准点 BM_1 、 BM_2 、 BM_3 位于同一个圆弧上，其中心测站用 CZ 表示，每次观测时，仪器在固定位置观测

三点之间的高差,则可判断各水准点的高程有无改变。这些水准点应设置在稳定岩石上。

为了使所得的沉降值可靠,每次观测时,水准路线与永久水准点连接的方法应相同,如有可能,最好使用同一台水准仪。所测各墩顶水准点高程的变化,就是这段时期各墩台的沉降。根据各个时期的观测结果,可编绘各墩台沉降一览表及沉降曲线,明确地表示出沉降的相对数值和速度。

桥梁墩台的位移主要是由于水流的冲击而引起的,因而主要是垂直于桥中线的位移,但顺着桥梁中线方向也可能发生位移。观测顺着桥梁中线的位移可定期精密测定各桥墩中心的距离,根据前后两次的观测结果,就可以求出这段时期中各桥墩顺着桥梁中线的位移。

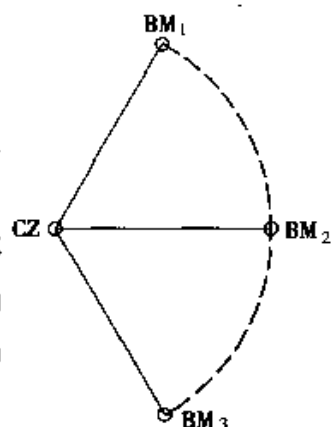


图 7-3

观测桥墩垂直于桥梁中线方向的位移时,可使用方向线法(也叫视准线法)。在各桥墩的上游或下游一方,设置一条方向线,其两端在两岸上,每一岸上在土壤稳定处埋设两个坚固的标志,如图 7-2 中的 C 点及 A、B 和 D 点。在此线经过各桥墩的地方,在桥墩上做出标志。每次观测时,先自 C 点观测 D 点,再检查 A 点和 B 点是否仍然与 CD 在一条直线上,如有变动,应求出其数值,以使用来改正下述观测结果。

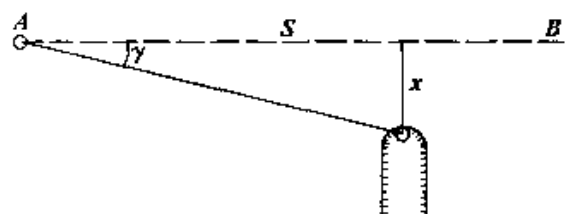


图 7-4

进行观测时,在 A 点放置高精度经纬仪,在 B 点安置觇牌。观测桥墩所作标志与 AB 所夹的角度 γ (如图 7-4 所示),所需测回数依据仪器的精度而定。一般要求测角中误差为 $0.8'' \sim 1.0''$ 。

如图 7-4 所示,由角度 γ 及仪器到该墩的距离 S ,即可求出位移值 x :

$$x = \frac{\gamma}{\rho} \cdot S$$

上式中, $\rho = 206265''$, S 可用丈量的方法或用其他方法求得, x 的误差主要来自 γ 的误差,由此可知:

$$m_x = S \cdot \frac{m_\gamma}{\rho}$$

因为 x 的中误差 m_x 与 S 成正比,所以在 A 点观测距离 A 点较近的各墩上的标志后,将 A 点及 B 点的仪器和觇牌对换,再观测距离 B 点较近的

各桥墩上的标志。

§ 7-4 其他变形观测

一、倾斜观测

倾斜观测是用于观测柱体构筑物如烟囪、水塔、高架桥桩柱、高墩等倾斜变形的测量工作。如图 7-5 所示,柱体上下两个中心点 O_2 、 O_1 不在同一铅垂线上,则柱体存在倾斜状态。这里介绍采用前方交会法进行倾斜观测的方法。

(1) 观测底点标志,求取底面中心 O_1 的坐标

如图 7-6 所示,设 A 、 B 两点为已知坐标点,柱底面四个角点 1、2、3、4 为观测点,分别安置仪器于 A 、 B 两点观测 α_1 、 α_2 、 β_3 、 β_4 。

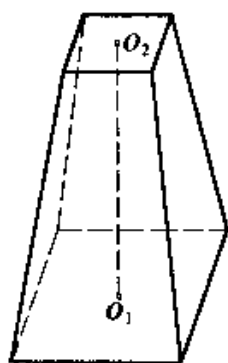


图 7-5

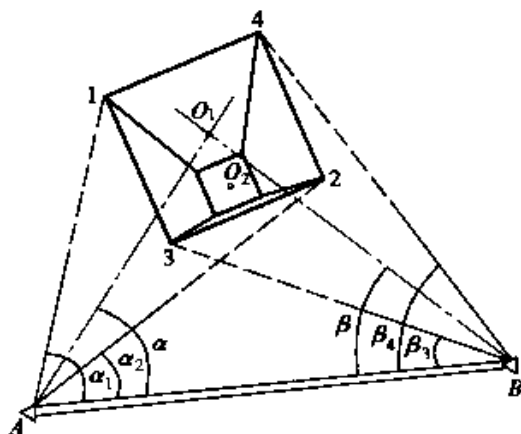


图 7-6

根据柱体的对称性可知,在 A 、 B 观测 O_1 的角度分别为:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$$

$$\beta = \frac{\beta_3 + \beta_4}{2}$$

根据 α 、 β 的值用下式计算 O_1 点的坐标 X_1 、 Y_1 :

$$X_1 = \frac{X_A \cot \beta + X_B \cot \alpha + (Y_B - Y_A)}{\cot \alpha + \cot \beta}$$

$$Y_1 = \frac{Y_A \cot \beta + Y_B \cot \alpha + (X_B - X_A)}{\cot \alpha + \cot \beta}$$

(2) 观测顶面标志,求顶面中心点 O_2 坐标

根据观测底点标志求底面中心 O_1 的坐标的原理同样可以求得顶面中心点 O_2 的坐标 X_2 、 Y_2 。

(3)计算倾斜度

步骤如下:

①计算 ΔX 、 ΔY

即 $\Delta X = X_1 - X_2, \Delta Y = Y_1 - Y_2$;

②计算偏心距 e

即 $e = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$;

③计算倾斜度 i

即 $i = e/H$

式中 H 是柱体的高度。

二、裂缝观测

裂缝观测的技术要点(图 7-7)。

- (1)在发生裂缝的两侧设立观测标志。
- (2)按时观测两标志之间的间隔 S 的变化情况。
- (3)分析裂缝的宽度变化和变化速度。

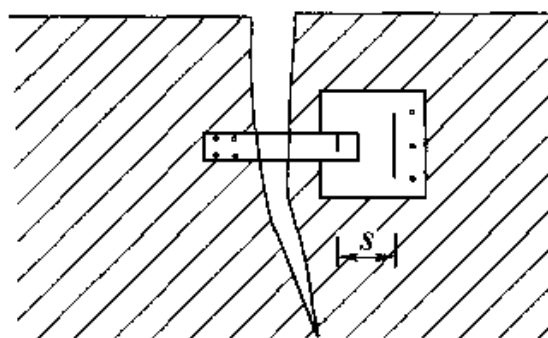


图 7-7

第8章 隧道控制测量

§ 8-1 隧道贯通测量的精度要求

在隧道施工过程中,由于地面控制测量、联系测量、洞内控制测量以及细部放样所产生的误差,使得两个相向开挖的工作面的施工中线,不能理想地衔接而产生错开的现象,即所谓贯通误差。贯通误差在路线中线方向上的投影长度称为纵向贯通误差;在垂直于中线方向的投影长度称为横向贯通误差;在高程方向上的投影长度称为高程贯通误差。纵向贯通误差影响隧道中线的长度,只要它不低于路线中线测量的精度(一般取小于或等于 $\frac{L}{2000}$, L 为隧道两开挖洞口间的长度),就不会影响到路线纵坡。因此公路勘测规范未对纵向贯通误差做出要求。高程贯通误差影响到隧道的纵坡,一般应采用水准测量的方法测定,限差容易满足。横向贯通误差的精度至关重要。如果横向贯通误差过大,就会引起隧道中线几何形状的改变,严重者会使衬砌部分侵入到建筑限界内,影响施工质量,造成经济损失。

《公路勘测规范》(JTJ 061—99)对隧道两相向开挖施工中线在贯通面上的极限误差(取两倍中误差)作出如下规定,见表 8-1。

表 8-1

两相向开挖洞口间长度(m)	< 3 000	3 000 ~ 6 000	> 6 000
横向贯通误差限差(mm)	150	200	视仪器设备及施工需要另行规定并报有关部门批准
高程贯通误差限差(mm)	70		

隧道贯通误差主要来源于地面控制测量、洞内控制测量误差及竖井联系测量误差。

对于没有竖井的隧通,横向贯通误差主要来自地面控制测量和洞内导线测量。一般情况下,地面上的观测条件要优越于洞内的观测条件,因此对于地面控制测量的精度要求要高一些。而将洞内导线测量的精度要求适当降低。现行规范是将地面控制测量的误差作为影响隧道贯通误差的一个独立因素来考虑,而将地下两相向开挖的洞内导线测量误差作为一个独立因

素来考虑。设隧道总的横向贯通中误差的容许误差为 $M_{\text{横}}$, 按照等影响原则, 洞外地面控制测量误差所产生的横向贯通误差的容许值 $m_{\text{外}}$ 为

$$m_{\text{外}} = \frac{M_{\text{横}}}{\sqrt{3}} = 0.58 M_{\text{横}} \quad (8-1)$$

根据上述公式, 规范对地面和洞内控制测量误差所产生的横向贯通中误差的容许值作出如下规定, 见表 8-2。

表 8-2

测 量 部 位	横向中误差(mm)		高程中误差 (mm)
	两开挖洞口之间长度(m)		
	< 3 000	3 000 ~ 6 000	
洞外	45	55	25
洞内	60	80	25
总的横向(高程)中误差	75	100	35

对于通过竖井开挖的隧道, 横向贯通误差受竖井联系测量的影响也很大, 通常将竖井联系测量的误差也作为一个独立因素, 并按等影响原则分配。如通过洞口和一个竖井开挖时, 则

$$m_{\text{外}} = \frac{M_{\text{横}}}{\sqrt{4}} = 0.50 M_{\text{横}} \quad (8-2)$$

当通过洞口和两个竖井开挖时, 则

$$m_{\text{外}} = \frac{M_{\text{横}}}{\sqrt{5}} = 0.450 M_{\text{横}} \quad (8-3)$$

高程贯通误差来源于地面和洞内水准测量误差。洞内的水准测量路线短、高差变化较小, 这些方面比地面水准测量有利, 而洞内也有水汽、烟尘、光亮度差及施工干扰等不利因素, 因此规范将洞内与地面水准测量误差均作为影响高程贯通误差的一个独立的因素。设隧道总的高程贯通中误差的容许值为 M_{H} , 按照等影响原则, 则地面与洞内水准测量误差所产生的高程贯通中误差的容许值相同, 均为

$$m_{\text{H}} = \frac{M_{\text{H}}}{\sqrt{2}} = 0.71 M_{\text{H}} \quad (8-4)$$

根据式(8-4), 规范中规定的高程中误差容许误差见表 8-2。无论隧道有多长, 高程贯通中误差的容许值不变。

如果隧道通过竖井开挖, 可将竖井传递高程的测量误差也作为影响高程贯通误差的一个独立因素, 则一个竖井高程贯通中误差容许值为:

$$m_{\text{H}} = \frac{M_{\text{H}}}{\sqrt{3}} = 0.58 M_{\text{H}} \quad (8-5)$$

两个竖井高程贯通中误差容许值为:

$$m_H = \frac{M_H}{\sqrt{4}} = 0.50 M_H \quad (8-6)$$

§ 8-2 隧道控制测量

一、隧道施工地面控制测量

1. 平面控制测量

隧道地面控制测量应根据隧道的形状、长度、地形情况、施工方法、辅助坑道的布设情况,以及现有的仪器设备和人员的技术水平等因素,选用中线、导线、三角锁(网)等形式作为平面控制。为保证控制网自身的精度,均应采用独立网。

(1) 中线控制

以路线中线作为隧道的平面控制,就是把路线中线的位置用控制桩标定在洞顶上。如图 8-1 所示。

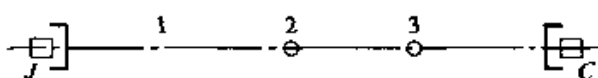


图 8-1

对于曲线隧道,一般是在隧道洞顶测设曲线切线,必要时也可在洞顶测设曲线点。如果曲线交点无法标定或者不便利用,也可以采用虚交的方式,如图 8-2 所示。施工时,可利用切线方向和曲线测设元素将中线延伸到洞内。

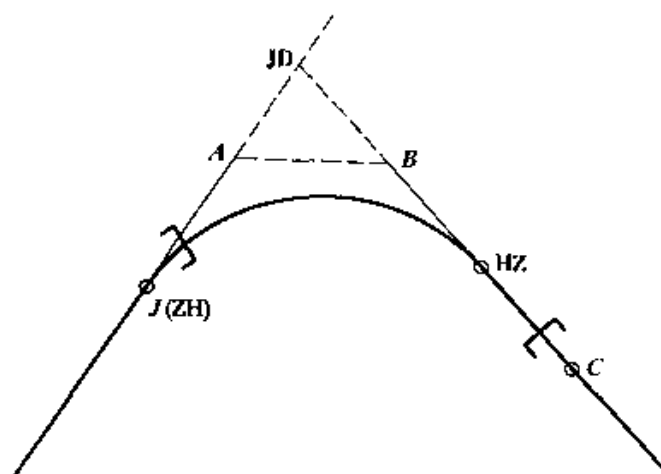


图 8-2

由于所有的控制桩都要设置在路线中线上,使选点工作受到较大限制。山岭地区地形复杂,中线点之间的通视就比较困难。因此中线控制只宜作为较短隧道的地面控制,一般可用于小于 1km 的直线隧道和小于 500m 的曲线隧道。

(2) 导线控制

由于导线点比中线点受中线位置的约束相对较小,在布设导线点时更能适应地形的变化,所以导线测量成为当前隧道施工地面控制的主要方法。地面导线的布设形式主要有以下几种:

① 单导线

单导线又称为自由导线,如图 8-3 所示。图中 J 、 C 为隧道进出口控制点,1、2 为导线点,靠近隧道中线布设。这样 J 、 C 、1、2 就构成了单导线。单导线本身不具备检核条件,故测角、测边均应进行往返观测,以确保测量成果的可靠性。

单导线适用于只布设少数导线点的短隧道。各导线点的坐标计算同《测量学》中介绍的支导线。

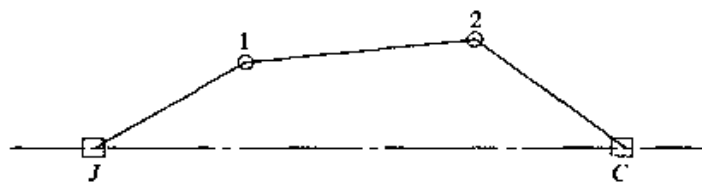


图 8-3

②主、副导线环

如图 8-4 所示,在隧道进出口控制点 J 、 C 之间,沿隧道中线布设主导线 J 、1、2、3、 C ,在其一侧布设副导线 J 、1'、2'、 C ,构成主副导线环。观测闭合环的所有内角,进行角度校核;只测主导线的边长而不测副导线的边长,因此不构成坐标闭合条件,可靠性不及闭合导线。闭合环的边数不宜过多,如果主导线较长时,可每隔 2~4 条边构成一个闭合环,形成连续的主副导线环,如图 8-5 所示。

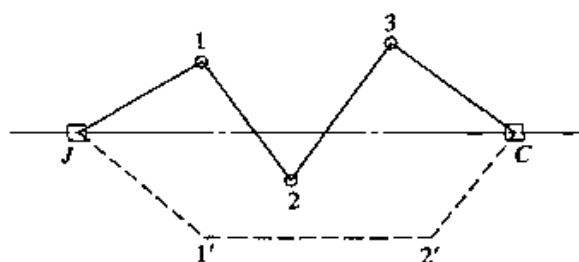


图 8-4

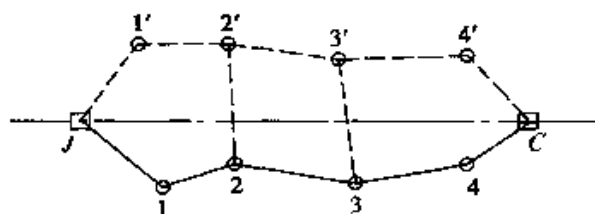


图 8-5

对于只有一个闭合环的主副导线环,在计算坐标时,在角度闭合差不超限的情况下,可先将角度闭合差反号平均分配至各内角上,然后沿主导线,利用调整后的内角值及边长观测值计算主导线点坐标。

如果是多个闭合环所组成的主副导线环,则可按多边形平差法求取各环内角的平差值,然后沿主导线计算主导线各点的坐标。角度按《测量学》中的闭合导线的平差方法进行平差。

主副导线的形式由于精度的原因主要用于较短的隧道控制。

③导线网

导线网一般布设成闭合图形,测量全部内角和边长,构成角度和坐标闭合条件,可有效地对导线测量成果进行校核。

较短的隧道可布设成单一闭合导线;长隧道或者有斜井、横洞等辅助坑道的隧道,可布设成由闭合环组成的导线网,如图 8-6 所示。导线网一般由数个条件闭合环连接而成,在隧道两洞口之间,沿纵向布设。每个环中,导

线点的数目不能太多,环的横向连接一般应设在有辅助坑道的地方。导线边长也不宜相差太大,应避免设置过短的边,一般情况下,边长不应小于200m。

隧道导线网的平差,对于较短的隧道,一般网形小,可采用近似平差的方法。对于较长的隧道,则应采用严密平差的方法进行平差,如条件平差、坐标平差等。由于篇幅有限,严密平差的方法在此不作介绍,可参看

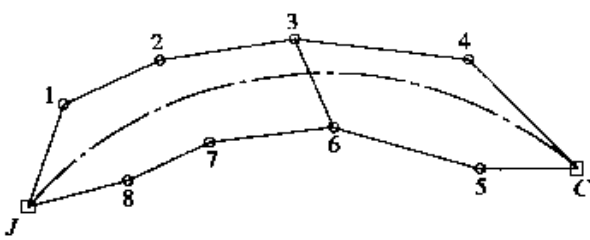


图 8-6

有关书籍。对于近似平差,在《测量学》教材中有详细的介绍,此处不再赘述。

无论是哪一种导线形式用于隧道地面控制,对于直线型隧道,应尽可能将导线沿着隧道中线布设,以减少导线测量距离误差对隧道横向贯通的影响;而且导线点的个数不宜过多,以减少测角误差对横向贯通的影响。对于曲线隧道,导线也应沿两端洞口连线布设成直伸导线,并将曲线的起终点以及曲线切线上的两点作为导线点。这样,曲线的转角即可根据导线的测量结果计算出来,据此便可将路线定测时所测得的转角加以修正,从而获得更为精确的曲线测设元素。在有横洞、竖井和斜井的情况下,导线应经过这些洞口,以减少洞口设点。

此外,为了减少仪器误差对测角的影响,导线点之间的相对高差不宜过大,视线应高出和偏离障碍物或者高出地面1m以上,以减小地面折光和旁折光的影响。对于相对高差较大的导线点,在测角时可采用每次观测都重新整平仪器的方法进行多组观测,取多组观测值的平均值作为该站的最后观测结果。

导线的水平角观测,一般应以总测回数的奇数回和偶数回分别观测导线的左角和右角,并在测左角起始方向上配置水平度盘位置,测站的圆周角闭合差 f 按下式计算:

$$f = \text{左角平均值} + \text{右角平均值} - 360^\circ \quad (8-7)$$

对于二、三、四等导线, f 的限差可取 $\pm 2''$ 、 $\pm 3.5''$ 、 $\pm 5.0''$ 。

导线环角度闭合差的限差可按下式计算:

$$W_{\text{限}} = 2m_{\beta}\sqrt{n} \quad (8-8)$$

式中: m_{β} ——测角中误差,以秒为单位;

n ——导线环内角的个数。

导线环的测角中误差可按下式计算:

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{\left(\frac{f_{\beta}^2}{n}\right)}{N}}$$

式中： f_{β} ——导线环的角度闭合差，以秒为单位；

n ——导线环内角个数；

N ——导线环的个数。

导线的边长可采用全站仪观测。仪器在使用时应考虑气象改正和棱镜常数的改正。

(3)三角控制

三角测量使用于长大隧道的地面控制，一般布设成三角锁，测量 1~2 条基线 and 全部角度。随着高精度全站仪在工程建设中的普及，也可采用测全部边长的三边网或者采用边角网。

三角网在布设控制点时尽可能布设为与贯通面相垂直的直伸三角锁，并且使三角锁的一侧靠近隧道线路中线，如图 8-7 所示。此外还应将隧道两端洞外的主要控制点纳入网中。这样布设可以减少起始点、起始方向以及测边误差对横向贯通的影响。三角锁的图形一般为三角形，传距角一般小于 30° 。每个洞口附近应布设不少于三个三角点。

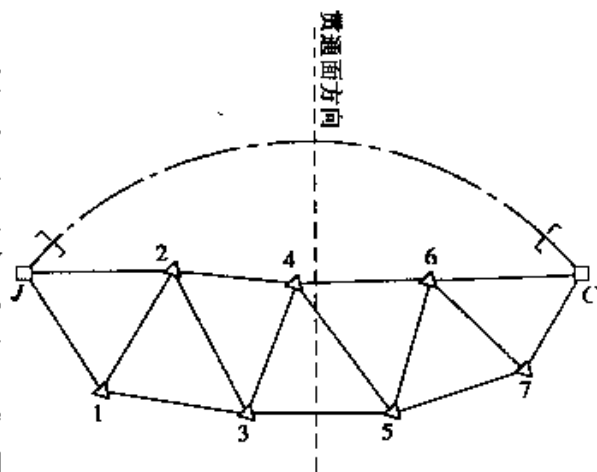


图 8-7

布网时还应考虑与路线中线控制桩的联测方式，如路线交点、转点以及曲线主点等应尽可能纳入主网或作为插点。当洞口控制桩在曲线上时，还应顾及切线方向的标定问题。

隧道三角网的平差通常采用按方向条件平差法，也可采用间接平差法和坐标平差法。

二、三角锁地面控制测量条件平差示例

导线控制测量在《测量学》教材中有详尽叙述，在此不再论及。这里给出三角锁控制测量的平差示例。

隧道地面平面控制网，一般采用方向观测法进行观测和测站平差，因此按方向比按角度平差更为严密。

平面控制网为三角锁如图 8-8 所示，锁的两端各布设一条基线，进口端基线 AJ 长度为 1104.550 05m，相对误差为 1/196 000；出口端基线 CI 长度

为 743.947 06m, 相对误差为 1/1 050 000。网中 J 、 C 为隧道进出口点。各点的方向观测值列于表 8-3。

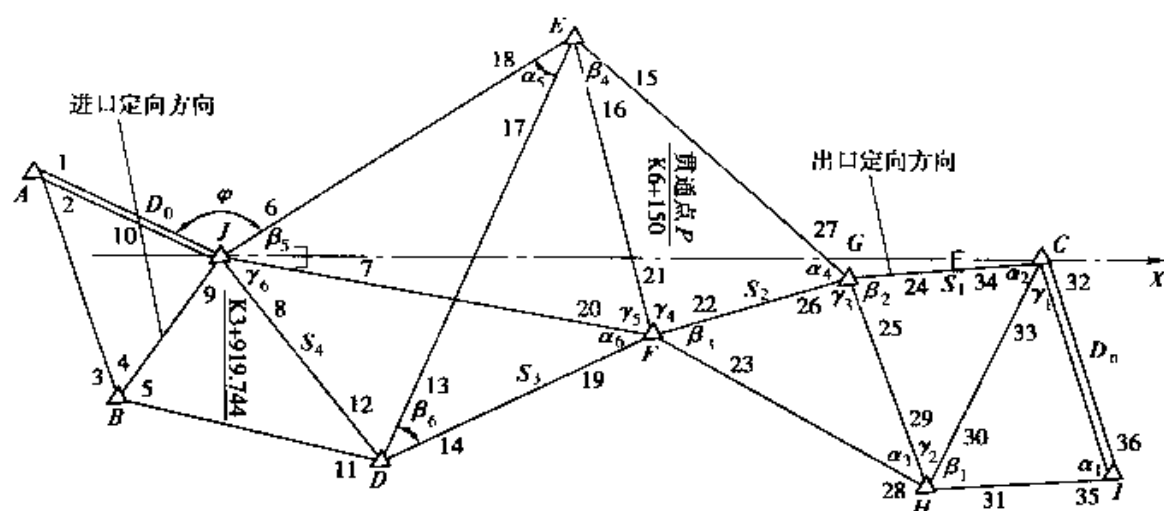


图 8-8

表 8-3

测站	照准点	方向编号	方向观测值 (° ' ")			测站	照准点	方向编号	方向观测值 (° ' ")		
A	J	1	0	00	00.0	F	D	19	0	00	00.0
	B	2	53	44	22.9		J	20	32	52	09.4
B	A	3	0	00	00.0		E	21	101	45	43.6
	J	4	68	04	44.7		G	22	175	19	13.8
	D	5	126	39	55.3		H	23	209	35	44.9
J	E	6	0	00	00.0	G	C	24	0	00	00.0
	F	7	42	23	35.5		H	25	61	17	36.2
	D	8	86	01	36.3		F	26	161	39	43.4
	B	9	162	28	33.7		E	27	222	22	19.6
	A	10	220	39	25.2	H	F	28	0	00	00.0
D	B	11	0	00	00.0		G	29	45	21	19.5
	J	12	44	57	51.0		C	30	119	44	27.1
	E	13	108	53	22.6		I	31	157	04	40.2
E	F	14	148	27	42.9	C	I	32	0	00	00.0
	G	15	0	00	00.0		H	33	53	59	18.5
	F	16	45	43	54.9		G	34	98	18	33.2
	D	17	84	23	52.2	I	H	35	0	00	00.0
	J	18	114	26	47.1		C	36	88	40	29.0

1. 确定条件方程的个数

按独立三角网, 角度数 $n = 26$, 三角点总数 $p = 10$, 则条件数为:

$$r_{\text{独}} = n - 2(P - 2) = 26 - 2 \times (10 - 2) = 10$$

由于三角锁有两条基线, 还有一个基线条件。所以条件总数为:

$$r = 10 + 1 = 11 \text{ 个}$$

其中图形条件 9 个, 极条件 1 个, 基线条件 1 个。

2. 列出条件方程

(1) 图形条件方程

根据表 8-4 中的方向编号及三角形角度闭合差, 可列出方向改正数条件方程:

表 8-4

三角形号	顶点号	方向号	角度观测值 (° ' ")	三角形号	顶点号	方向号	角度观测值 (° ' ")
1	A	2-1	53 44 22.9	6	E	16-15	45 43 54.9
	B	4-3	68 04 44.7		F	22-21	73 33 30.2
	J	10-9	58 10 51.5		G	27-26	60 42 36.2
		$w = -0.9''$	179 59 59.1			$w = 1.3''$	180 00 01.3
2	B	5-4	58 35 10.6	7	E	23-22	34 16 31.1
	D	12-11	44 57 51.0		G	26-25	100 22 07.02
	J	9-8	76 26 57.4		H	29-28	45 21 19.5
		$w = -1.0''$	179 59 59.0			$w = -2.2''$	179 59 57.8
3	I	8-7	43 38 00.8	8	G	25-24	61 17 36.2
	D	14-12	103 29 51.9		H	30-29	74 23 07.6
	F	20-19	32 52 09.4		C	34-33	44 19 14.7
		$w = 2.1''$	180 00 02.1			$w = -1.5''$	179 59 58.5
4	J	7-6	42 23 35.5		H	31-30	37 20 13.1
	E	18-16	68 42 52.5		C	33-32	53 59 18.5
	F	21-20	68 53 34.2		I	36-35	88 40 29.0
		$w = 1.9''$	180 00 01.9			$w = 0.6''$	180 11 00.6
5	D	14-13	39 34 20.3				
	E	17-16	38 39 57.3				
	F	21-19	101 45 43.6				
		$w = 1.2''$	180 00 01.2				

$$-v_1 + v_2 - v_3 + v_4 - v_9 + v_{10} - 0.9'' = 0 \quad (\text{a})$$

$$-v_4 + v_5 - v_8 + v_9 - v_{11} + v_{12} - 1.0'' = 0 \quad (\text{b})$$

$$-v_7 + v_8 - v_{12} + v_{14} - v_{19} + v_{20} + 2.1'' = 0 \quad (\text{c})$$

$$-v_6 + v_7 - v_{16} + v_{18} - v_{20} + v_{21} - 1.9'' = 0 \quad (\text{d})$$

$$-v_{13} + v_{14} - v_{16} + v_{17} - v_{19} + v_{21} - 1.2'' = 0 \quad (\text{e})$$

$$-v_{15} + v_{16} - v_{21} + v_{22} - v_{26} + v_{27} - 1.3'' = 0 \quad (\text{g})$$

$$-v_{22} + v_{23} - v_{25} + v_{26} - v_{28} + v_{29} - 2.2'' = 0 \quad (\text{h})$$

$$-v_{24} + v_{25} - v_{29} + v_{30} - v_{33} + v_{34} - 1.5'' = 0 \quad (\text{i})$$

$$-v_{30} + v_{31} - v_{32} + v_{33} - v_{35} + v_{36} + 0.6'' = 0 \quad (\text{j})$$

(2) 极条件方程

在大地四边形 $JEFD$ 中,以 F 为极点,则有:

$$\frac{\sin(7-6)\sin(14-12)\sin(17-16)}{\sin(18-16)\sin(8-7)\sin(14-13)} = 0$$

其线性式为:

$$\begin{aligned} & \cot(7-6)(v_7 - v_6) + \cot(14-12)(v_{14} - v_{12}) + \cot(17-16)(v_{17} - v_{16}) \\ & - \cot(18-16)(v_{18} - v_{16}) - \cot(8-7)(v_8 - v_7) - \cot(14-13)(v_{14} - v_{13}) \\ & + w = 0 \end{aligned}$$

$$\text{式中: } w = \rho \left[1 - \frac{\sin(18-16)\sin(8-7)\sin(14-13)}{\sin(7-6)\sin(14-12)\sin(17-16)} \right]$$

将角度观测值代入上式,并合并同类项,得极条件方程:

$$\begin{aligned} & -1.10v_6 + 2.15v_7 - 1.05v_8 + 0.24v_{12} + 1.21v_{13} - 1.45v_{14} - 0.86v_{16} \\ & + 1.25v_{17} - 0.39v_{18} - 2.91'' = 0 \end{aligned} \quad (\text{k})$$

(3) 基线条件方程

按图 8-8 列出基线条件方程:

$$D_n = D_0 \frac{\sin(2-1)\sin(5-4)\sin(14-12)\sin(7-6)\sin(16-15)\sin(23-22)\sin(25-24)\sin(31-30)}{\sin(4-3)\sin(12-11)\sin(20-19)\sin(18-16)\sin(27-26)\sin(29-28)\sin(34-33)\sin(36-35)}$$

其线性式为:

$$\begin{aligned} & \cot(2-1)(v_2 - v_1) + \cot(5-4)(v_5 - v_4) + \cot(14-12)(v_{14} - v_{12}) \\ & + \cot(7-6)(v_7 - v_6) + \cot(16-15)(v_{16} - v_{15}) + \cot(23-22)(v_{23} - v_{22}) \\ & + \cot(25-24)(v_{25} - v_{24}) + \cot(31-30)(v_{31} - v_{30}) - \cot(4-3)(v_4 - v_3) \\ & - \cot(12-11)(v_{12} - v_{11}) - \cot(20-19)(v_{20} - v_{19}) - \cot(18-16)(v_{18} - v_{16}) \\ & - \cot(27-26)(v_{27} - v_{26}) - \cot(29-28)(v_{29} - v_{28}) - \cot(34-33)(v_{34} - v_{33}) \\ & - \cot(36-35)(v_{36} - v_{35}) + w = 0 \end{aligned}$$

式中:

$$w = \rho \left(1 - \frac{D_n \sin(4.3) \sin(12.11) \sin(20.19) \sin(18.16) \sin(27.26) \sin(29.28) \sin(34.33) \sin(36.35)}{D_b \sin(2.1) \sin(5.4) \sin(14.12) \sin(7.6) \sin(16.15) \sin(23.22) \sin(25.24) \sin(31.30)} \right)$$

将角度观测值和基线边长代入上式,并合并同类项,得基线方程:

$$\begin{aligned} & -0.73v_1 + 0.73v_2 + 0.40v_3 - 1.01v_4 + 0.61v_5 - 1.10v_6 + 1.10v_7 \\ & + 1.00v_{11} - 0.76v_{12} - 0.24v_{14} - 0.97v_{15} + 1.36v_{16} - 0.39v_{18} \\ & + 1.55v_{19} - 1.55v_{20} - 1.47v_{22} + 1.47v_{23} - 0.55v_{24} + 0.55v_{25} \\ & + 0.56v_{26} - 0.56v_{27} + 0.99v_{28} - 0.99v_{29} - 1.31v_{30} + 1.31v_{31} \\ & + 1.02v_{33} - 1.02v_{34} + 0.02v_{35} - 0.02v_{36} + 4.38'' = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

3. 列出横向贯通误差影响值权函数式

对于隧道地面三角锁,不应以最弱边的相对精度为准,而应以满足横向贯通精度的要求为准,因此这里列出横向贯通误差影响值权函数式。

(1)为便于列出横向贯通误差影响值权函数式,可由起始边(基线边)开始,分别向进出口端依次推算边长,按此推算路线标出传距角 α_i 、 β_i 和间隔角 γ_i 。

如果有数条基线边,可任选一条基线作为起始边。本例以基线 CI 为起始边,因而仅向进口端推算,并据此标出各传距角和间隔角的位置,如图 8-8 所示。

(2)任意选定一条推算路线。本例以 $J \sim D \sim F \sim G \sim C$ 为推算路线,其所经各边以 S'_i 表示。

(3)隧道控制网一般为独立网,其纵坐标轴 X 与贯通面垂直;横坐标轴 Y 与贯通面平行。

本例为直线隧道,取路线中线方向,即 JC 方向为纵坐标轴。以进口点 J 的里程为其纵坐标,即 $X_j = 3\,919.744\text{m}$ 。

(4)计算推算路线上各点的近似坐标。本例根据基线 AJ 与路线中线方向的夹角 $\varphi = 166^\circ 17' 46.8''$,推算 AJ 边的坐标方位角。

$$\alpha_{AJ} = \alpha_{JC} - \varphi + 180^\circ = 0^\circ - 166^\circ 17' 46.8'' + 180^\circ = 13^\circ 42' 13.2''$$

然后根据角度观测值,按推算路线推算各 S 边的坐标方位角:

$$\alpha_{JD} = 13^\circ 42' 13.2'' + 180^\circ - 134^\circ 37' 48.9'' = 59^\circ 04' 24.3''$$

$$\alpha_{DF} = 59^\circ 04' 24.3'' + 180^\circ + 103^\circ 29' 51.9'' = 342^\circ 34' 16.3''$$

$$\alpha_{FG} = 342^\circ 34' 16.2'' - 180^\circ + 175^\circ 19' 13.8'' = 337^\circ 53' 30.0''$$

$$\alpha_{GC} = 337^\circ 53' 30.0'' + 180^\circ - 161^\circ 39' 43.4'' = 356^\circ 13' 46.6''$$

各 S 边由基线 AJ 开始,根据角度观测值依次推算:

$$S_4 = 1104.55005 \times \frac{\sin 53^\circ 44' 22.9'' \sin 58^\circ 35' 10.6''}{\sin 68^\circ 04' 44.7'' \sin 44^\circ 57' 51.0''} = 1159.439$$

$$S_3 = 1159.439 \times \frac{\sin 43^\circ 38' 00.8''}{\sin 32^\circ 52' 09.4''} = 1474.162$$

$$S_2 = 1474.162 \times \frac{\sin 39^\circ 34' 20.3'' \sin 45^\circ 43' 54.9''}{\sin 38^\circ 39' 57.3'' \sin 60^\circ 42' 36.2''} = 1234.134$$

$$S_1 = 1234.134 \times \frac{\sin 34^\circ 16' 31.1'' \sin 74^\circ 23' 07.6''}{\sin 45^\circ 21' 19.5'' \sin 44^\circ 19' 14.7''} = 1346.584$$

根据进口点 J 的坐标(3919.744,0)计算传算路线上各点坐标:

$$X_D = 3919.744 + 1159.439 \cos 59^\circ 04' 24.3'' = 4515.625$$

$$Y_D = 0 + 1159.439 \sin 59^\circ 04' 24.3'' = 994.598$$

$$X_F = 4515.625 + 1474.162 \cos 342^\circ 34' 16.2'' = 5922.108$$

$$Y_F = 994.598 + 1474.162 \sin 342^\circ 34' 16.2'' = 553.055$$

$$X_G = 5922.108 + 1234.134 \cos 337^\circ 53' 30.0'' = 7065.501$$

$$Y_G = 553.055 + 1234.134 \sin 337^\circ 53' 30.0'' = 88.578$$

$$X_C = 7065.501 + 1346.584 \cos 356^\circ 13' 46.6'' = 8409.170$$

$$Y_C = 88.578 + 1346.584 \sin 356^\circ 13' 46.6'' = 0.029$$

(5) 列出横向贯通误差影响值权函数式

由于纵坐标轴 X 与贯通面垂直,所以可分别从进出口控制点 J 和 C 根据观测值推算贯通点 P 的横坐标,其差 $\Delta Y_P = Y_{PC} - Y_{PJ}$ 为中误差,即为横向贯通误差影响值。式中 Y_{PJ} 、 Y_{PC} 分别为由进出口点推算的贯通点 P 的横坐标。

横向贯通误差影响值权函数式为:

$$\begin{aligned} d(Y_{PC} - Y_{PJ}) = & 0 - \frac{1}{\rho} \{ (Y_J - Y_C)(\cot \alpha_1 d\alpha_1 - \cot \beta_1 d\beta_1 - \cot \beta_2 d\beta_2) \\ & + (Y_J - Y_C)(\cot \alpha_2 d\alpha_2 - \cot \alpha_3 d\alpha_3 - \cot \beta_3 d\beta_3) + (Y_J \\ & - Y_F)(\cot \alpha_4 d\alpha_4 - \cot \beta_4 d\beta_4 + \cot \alpha_5 d\alpha_5 - \cot \beta_5 d\beta_5 \\ & - \cot \beta_6 d\beta_6) + (Y_J - Y_D) \cot \alpha_6 d\alpha_6 + (Y_C - Y_C) \cot \gamma_2 d\gamma_2 \\ & + (Y_D - Y_F) \cot \gamma_6 d\gamma_6 \} + \frac{1}{\rho''} \{ (X_P - X_J)(d[8] - d[9]) \\ & + (X_P - X_D)(d[4] - d[12]) + (X_P - X_F)(d[22] - d[19]) \\ & + (X_P - X_C)(d[24] - d[26]) \} \end{aligned}$$

将各点近似坐标和贯通点坐标 $X_P = 6150\text{m}$, $Y_P = 0\text{m}$ (计算时单位取 mm), 以及角度观测值代入上式, 并将角度微分化为方向微分, 且以相应的改正数代替, 整理得:

$$\begin{aligned} V_{\Delta Y_P} = & 2.9v_6 - 0.69v_7 + 8.57v_8 - 10.81v_9 - 8.57v_{12} + 8.57v_{14} \\ & + 2.6v_{15} - 3.66v_{16} + 1.05v_{18} - 8.57v_{19} + 7.46v_{20} + 1.74v_{22} \end{aligned}$$

$$-0.63v_{23} - 4.44v_{24} + 2.93v_{26} + 1.50v_{27} - 0.42v_{28} + \\ 0.54v_{29} - 0.12v_{30} - 0.44v_{33} + 0.44v_{34}$$

4. 组成条件方程系数及权函数系数表

根据以上列出的条件方程及权函数式,将其系数列于表 8-5 中。

按方向平差,各条件方程及权函数式的系数之和均等于零, S 之和也应该等于零,可用以校核。

表 8-5

方向 编号	a	b	c	d	e	g	h	i	j	k	l	f	s	v (")
	0.148	-0.012	-0.508	-0.652	0.007	-0.253	0.456	0.413	0.174	0.251	-0.227			
1	-1										-0.73		-1.73	0.02
2	1										0.73		1.73	-0.02
3	-1										0.4		-0.6	-0.24
4	1	-1									-1.01		-1.01	0.39
5		1									0.61		1.61	-0.15
6				-1						-1.1	-1.1	2.94	-0.26	0.63
7			-1	1						2.15	1.1	-0.69	2.56	0.15
8		-1	1							-1.05		8.57	7.52	-0.76
9	-1	1										-10.81	-10.81	-0.16
10	1												1	0.15
11		-1									1		0	-0.21
12		1	-1							0.24	-0.76	-8.57	-9.09	0.73
13					-1					1.21			0.21	0.3
14			1		1					-1.45	-0.24	8.57	8.88	-0.81
15						-1					-0.97	2.61	0.64	0.47
16				-1	-1	1				-0.86	1.36	-3.66	-4.16	-0.13
17					1					1.25			2.25	0.32
18				1						-0.39	-0.39	1.05	1.27	-0.66
19			-1		-1						1.55	-8.57	-9.02	0.15
20			1	-1							-1.55	7.46	5.91	0.5
21				1	1	-1							1	-0.39
22						1	-1				-1.47	1.74	0.27	-0.38
23							1				1.47	-0.63	1.84	0.12
24								-1			-0.55	-4.44	-5.99	-0.29

续上表

方向 编号	a	b	c	d	e	g	h	i	j	k	l	f	s	v (°)
25	0.148	-0.012	-0.508	-0.652	0.007	-0.253	0.456	0.413	0.174	0.251	-0.227	0.55	0.55	-0.17
26						-1	1				0.56	2.93	3.49	0.58
27						1					-0.56	1.5	1.94	-0.13
28							-1				0.99	-0.42	-0.43	-0.68
29							1	-1			-0.99	0.54	-0.45	0.27
30								1	-1		-1.31	-0.12	-1.43	0.54
31									1		1.31		2.31	-0.12
32									-1				-1	-0.17
33								-1	1		1.02	-0.44	0.58	-0.47
34								1			-1.02	0.44	0.42	0.64
35									-1		0.02		-0.98	-0.18
36									1		-0.02		0.98	0.18
Σ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(w) = 5.99

5. 组成法方程系数(表 8-6)

表 8-6

	a]	b]	c]	d]	e]	g]	h]	i]	j]	k]	l]	f]	s]
[a	6	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	10.81	14.86
[b		6	-2	0	0	0	0	0	0	1.29	-0.14	-27.95	-24.8
[c			6	-2	2	0	0	0	0	-4.89	-3.68	42.43	37.86
[d				6	2	-2	0	0	0	3.72	2	-6.38	3.34
[e					6	-2	2	0	0	-0.55	-3.15	20.8	25.1
[g						6	-2	0	0	-0.86	-0.26	-5.96	-7.08
[h							6	-2	0	0	0.97	1.52	4.49
[i								6	-2	0	-1.26	4.66	5.4
[j									6	0	3.6	-0.32	7.28
[k										13.01	2.72	-25.46	-11.02
[l											27.45	-34.23	-5.93
[f												531.56	511.48

6. 求解法方程(表 8-7)

表 8-7

行的 符号	(a) /Ka	(b) /Kb	(c) /Kc	(d) /Kd	(e) /Ke	(g) /Kg	(h) /Kh	(i) /Ki	(j) /Kj	(k) /Kk	(l) /Kl	w	f	检核	
														$\sum$	Δ
a	6	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	-0.9	10.81	13.96	13.96
E		0.333	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.008	0.15	-1.802	-2.327	-2.327
b		6	-2	0	0	0	0	0	0	1.29	-0.14	-1	-27.95	-25.8	-25.8
b·1		5.33	-2	0	0	0	0	0	0	1.29	-0.12	-1.3	-24.35	-21.15	-21.15
E·1			0.375	0	0	0	0	0	0	-0.242	0.023	0.244	4.568	3.968	3.968
c			6	-2	2	0	0	0	0	-4.89	-3.68	201	42.43	39.96	39.96
c·2			5.25	-2	2	0	0	0	0	-4.41	-3.73	1.61	33.3	32.02	32.02
E·2				0.381	-0.381	0	0	0	0	0.84	0.71	-0.307	-6.343	-6.1	-6.099
d				6	2	-2	0	0	0	3.72	2	1.9	-6.38	5.24	5.24
d·3				5.24	2.76	-2	0	0	0	2.04	0.58	2.51	6.31	17.44	17.44
E·3					-0.52	0.382	0	0	0	-0.389	-0.111	-0.479	-1.204	-3.328	-3.328
e					6	-2	0	0	0	-0.55	-3.15	1.2	20.8	26.3	26.3
e·4					3.78	-0.95	0	0	0	0.06	-2.08	-0.74	-4.79	4.91	4.91
E·4						0.251	0	0	0	-0.016	0.537	0.196	-1.267	-1.299	-1.299
g						6	-2	0	0	-0.85	-0.26	1.3	-5.96	-5.78	-5.78
g·5						5	-2	0	0	-0.07	-0.55	2.07	-2.35	2.1	2.11
E·5							0.4	0	0	0.014	0.11	-0.414	0.47	-0.42	-0.42
h							6	-2	0	0	0.97	-2.2	1.52	2.29	2.29
h·6							5.2	-2	0	-0.03	0.75	-1.37	0.58	3.13	3.13
E·6								0.385	0	0.006	-0.144	0.263	-0.112	-0.602	-0.602
i								6	-2	0	-1.26	-1.5	4.66	3.9	3.9
i·7								5.23	-2	-0.01	-0.97	-2.03	4.88	5.1	5.11
E·7									0.382	0.02	0.185	0.388	-0.933	-0.976	-0.975
j									6	0	3.6	0.6	-0.32	7.88	7.88
j·8									5.24	0	3.23	-0.18	1.54	9.83	9.83
E·8										0	-0.616	0.084	-0.294	-1.876	-1.876
k										13.01	2.72	-2.91	-25.46	-13.93	-13.93
k·9										8.2	-0.58	-2.91	5.85	11.28	11.28
E·9											0.071	0.267	-0.713	-1.375	-1.376
l											27.45	4.38	-34.23	-1.55	-1.55
l·10											21.27	4.38	-9.33	16.77	16.76
E·10												-0.227	0.439	-0.788	-0.788
w												0	531.56	511.48	511.48
w·11												-5.99	161.52		
关系 数 k	0.148	-0.002	-0.508	-0.651	0.007	-0.253	0.456	0.413	0.174	0.251	-0.227				

7. 计算各方向观测值改正数

根据求得的联系数和条件方程的系数,按 $v_i = a_i k_a + b_i k_b + \cdots + l_i k_l$ ($i = 1, 2, \cdots, 36$) 计算各方向观测值改正数,结果见表 8-5。

8. 计算平差值

方向平差值、角度平差值和边长平差值结果见表 8-8 和表 8-9。

表 8-8

测站	照准点	方向编号	方向观测值			改正数 (")	归零方向值改正数 (")	方向平差值		
			(°	'	")			(°	'	")
A	J	1	00	00	00	0.02	0	0	00	00
	B	2	53	44	22.9	-0.02	-0.04	53	44	22.86
B	A	3	0	00	00	-0.24	0	0	00	00
	J	4	68	04	44.7	0.39	0.63	68	04	45.33
	D	5	126	39	55.3	-0.15	0.09	126	39	55.39
J	E	6	0	00	0	0.63	0	0	00	00
	F	7	42	23	35.5	0.15	-0.48	42	23	35.02
	D	8	86	01	36.3	-0.76	-1.39	86	01	34.91
	B	9	162	28	33.7	-0.16	-0.79	162	28	32.91
	A	10	22	39	35.2	0.15	-0.48	220	39	24.72
D	B	11	0	00	00	-0.21	0	0	00	00
	J	12	44	57	51	0.73	0.94	44	57	51.94
	E	13	108	53	22.6	0.3	0.51	108	53	23.11
	F	14	148	27	42.9	-0.81	-0.6	148	27	42.3
E	G	15	0	00	0	0.47	0	0	00	00
	F	16	45	43	54.9	-0.13	-0.6	45	43	54.3
	D	17	84	23	52.2	0.32	-0.15	84	23	52.05
	J	18	114	26	47.1	-0.66	-1.13	114	26	45.97
F	D	19	0	00	00	0.15	0	0	00	00
	J	20	32	52	09.4	0.5	0.35	32	52	09.75
	E	21	101	45	43.6	-0.39	-0.54	101	45	43.06
	G	22	175	19	13.8	-0.38	-0.53	175	19	13.27
	H	23	209	35	44.9	0.12	-0.03	209	35	44.87
G	C	24	0	00	00	-0.29	0	0	00	00
	H	25	61	17	36.2	-0.17	0.12	61	17	36.32
	F	26	161	39	43.4	0.58	0.87	161	39	44.27
	E	27	222	22	19.6	-0.13	0.16	222	22	19.76

续上表

测站	照准点	方向编号	方向观测值 (° ' ")			改正数 (")	归零方向值改正数 (")	方向平差值 (° ' ")		
H	F	28	0	00	0	-0.68	0	0	00	00
	G	29	45	21	19.5	0.27	0.95	45	21	20.45
	C	30	119	44	27.1	0.54	1.22	119	44	28.32
	I	31	157	04	40.2	-0.12	0.56	157	05	40.76
C	I	32	0	00	00	-0.17	0	0	00	00
	H	33	53	59	18.5	-0.47	-0.3	53	59	18.20
	G	34	98	18	33.2	0.64	0.84	98	18	34.01
I	H	35	0	00	00	-0.18	0	0	00	00
	C	36	88	40	29.0	0.18	0.36	88	40	29.36

表 8-9

三角形号	顶点号	方向号	角度平差值 (° ' ")			边长平差值 (m)
1	A	2-1	53	44	22.86	960.051 4
	B	4-3	68	04	45.33	1 104.550 05
	J	10-9	58	10	51.81	1 011.701 4
2	B	5-4	58	35	10.06	1 159.429 8
	D	12-11	44	57	51.94	960.051 4
	J	9-8	76	26	58	1 320.743 9
3	J	8-7	43	37	59.89	1 474.139 7
	D	14-12	103	29	50.36	2 077.306 3
	F	20-19	32	52	09.75	1 159.429 8
4	J	7-6	42	23	35.02	1 503.083 9
	E	18-16	68	42	51.67	2 077.306 3
	F	21-20	68	53	33.31	2 079.813 8
5	D	14-13	39	34	19.19	1 503.083 9
	E	17-16	38	39	57.75	1 474.139 7
	F	21-19	101	45	43.06	2 309.912 4
6	E	16-15	45	43	54.30	1 234.103 7
	F	22-21	73	33	30.21	1 652.944
	G	27-26	60	42	35.49	1 503.083 9

续上表

三角形号	顶点号	方向号	角度平差值			边长平差值 (m)
			(°	'	"	
7	F	23-22	34	16	31.60	976.851
	G	26-25	100	22	07.95	1 706.225 6
	H	29-28	45	21	20.45	1 234.103 7
8	G	25-24	61	17	36.32	1 226.297 2
	H	30-29	74	23	07.87	1 346.542 3
	C	34-33	44	19	15.81	976.851
9	H	31-30	37	20	12.44	743.947 05
	C	33-32	53	59	18.20	992.214 6
	I	36-35	88	40	29.36	1 226.297 2

9. 计算三角点坐标

(1) 起算点坐标方位角的修正

选取传算路线 $J-E-G-C$ 。由起算坐标方位角 $\alpha_{AJ} = 13^\circ 42' 13.2''$, 及角度平差值计算 JE 、 EG 和 GC 三边的坐标方位角:

$$\alpha_{JE} = 13^\circ 42' 13.2'' + 180^\circ - 220^\circ 39' 24.72'' + 360^\circ = 333^\circ 02' 48.48''$$

$$\alpha_{EG} = 333^\circ 02' 48.48'' - 180^\circ - 114^\circ 26' 45.97'' = 38^\circ 36' 02.51''$$

$$\alpha_{GC} = 38^\circ 36' 02.51'' + 180^\circ - 222^\circ 22' 19.76'' + 360^\circ = 356^\circ 13' 42.75''$$

由此三边的坐标方位角及边长平差值计算 C 点坐标:

$$\begin{aligned} X_C &= 3919.744 + 2079.8138 \times \cos 333^\circ 02' 48.48'' + 1652.9440 \\ &\quad \times \cos 38^\circ 36' 02.51'' + 1346.5423 \times \cos 356^\circ 13' 42.75'' \\ &= 8409.0655 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_C &= 0 + 2079.8138 \times \sin 333^\circ 02' 48.48'' + 1652.9440 \\ &\quad \times \sin 38^\circ 36' 02.51'' + 1346.5423 \times \sin 356^\circ 13' 42.75'' \\ &= -0.0193 \end{aligned}$$

由 J 、 C 坐标计算 JC 方向的坐标方位角:

$$\alpha_{JC} = \arctan\left(\frac{-0.0193 - 0}{8409.0655 - 3919.744}\right) = 359^\circ 59' 59.11''$$

由于 JC 方向为坐标纵轴方向, α_{JC} 应等于 $0^\circ 00' 00''$, 因此需要对起算坐标方位角进行修正:

$$\alpha_{AJ} = 13^\circ 42' 13.2'' + (360^\circ - 359^\circ 59' 59.11'') = 143^\circ 42' 14.09''$$

(2) 计算三角点的坐标

按闭合导线 $J-A-B-D-F-H-I-C-G-E-F-J$ 推算各三角点坐标, 计算结果见

表 8-10。

表 8-10

三角点号	角度 (° ' ")	坐标方位角 (° ' ")	边长 (m)	坐标增量(m)		坐标(m)	
				ΔX	ΔY	X	Y
J		193 42 14.09	1 104.550 05	-1 073.106 8	-261.6729	3 919.744	0
A	53 44 22.86	67 26 36.95	1 011.701 4	388.081 3	934.308 6	2 846.637 2	-261.672 9
B	126 39 55.39	14 06 32.34	1 320.743 9	1 280.902 1	321.953 9	3 234.718 5	672.635 7
D	148 27 42.30	342 34 14.64	1 474.139 7	1 406.458 2	-441.546 4	4 515.620 6	994.589 6
F	209 35 44.87	12 09 59.51	1 706.225 6	1 667.902 4	359.593 5	5 922.078 8	553.043 2
H	157 04 40.76	349 14 40.27	992.214 6	974.783 9	-185.165 1	7 589.981 2	912.636 7
I	88 40 29.36	257 55 09.63	743.947 06	-155.699 5	-727.471 6	8 564.765 1	727.471 6
C	98 18 34.01	176 13 43.64	1 346.542 3	-1 343.626 6	88.565 5	8 409.065 6	0
G	222 22 19.76	218 36 03.40	1 652.944 0	-1 291.792 6	-1 081.259 3	7 065.439 0	88.565 5
E	114 26 45.97	153 02 49.37	2 079.813 8	-1 853.902 4	942.693 7	5 773.646 4	-942.693 8
J	220 39 24.72	193 42 14.09				3 919.744	-0.000 1
A							

10. 计算单位权中误差

由表 8-5 计算得 $[w] = 5.99$ 。

单位权中误差: $\mu = \pm \sqrt{\frac{5.99}{11}} = \pm 0.74''$

11. 计算横向贯通误差影响值

由于基线测量的相对精度较高,其对横向贯通的影响可忽略不计,故横向贯通误差影响值为:

$$m = \mu \sqrt{\frac{1}{p_{\Delta Y_p}}} = \pm 0.74 \sqrt{161.52} = \pm 9.4(\text{mm})$$

第9章 隧道施工放样

§ 9-1 概 述

一、隧道工程和隧道测量

隧道是一种穿通山岭,贯穿海峡、河道,盘绕城市地下的交通结构物。按不同的工程用途,隧道可分为公路隧道、铁路隧道、城市地下铁道、地下水道等。本章主要介绍公路隧道施工放样的一般方法。

通常隧道的开挖从两端洞口开始,也就是隧道开挖只有两个开拓工作面。如图 9-1 所示。A、B 两处为相对开拓的隧道正洞。如果隧道工程量较大,为了加快隧道开挖速度,必须根据需求和地形条件设立辅助坑道,增加新的开挖工作面。如图 9-1 中的横洞、平行导坑、竖井、斜井等都是属于辅助坑道新工作面的型式。隧道的正洞和辅助坑道都是整个隧道工程的组成部分。

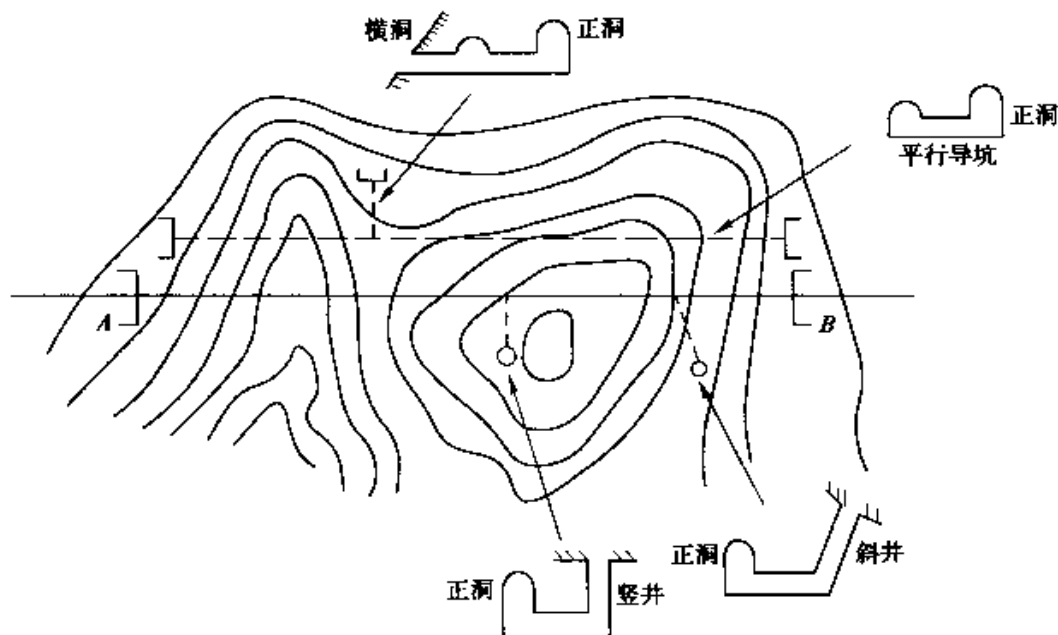


图 9-1

隧道施工测量的主要任务是在地下测设出设计中轴线的方向;保证两

个相对开挖面的方向与高程按要求的精度贯通。在隧道没有贯通前,中心线只能以支导线的型式向前伸展。一般采用往返观测。测设数据的计算和测量工作都要特别细心。在进行隧道施工测量中,因为施工现场场地狭窄,测量与施工相互干扰,给测量工作带来很多不便。

隧道工程施工测量的精度要求,主要是指对向开挖的隧道贯通的横向和高程误差。

隧道施工测量工作主要有以下内容:

(1)在所选定隧道工程范围内布设控制网,进行控制测量,建立精确的基准点、基准方向。

(2)提供隧道工程设计所需的带状地形图、隧道洞口工点地形图、纵横断面图。

(3)根据隧道工程设计所提供的图纸和有关的参数,在实地通过放样确定隧道的开挖与修筑的标志,保证隧道工程的正常作业和精确贯通。

(4)开挖中的测量工作,根据隧道开挖的进展情况,不断在隧道的开挖巷道中建立洞内控制点,进行洞内的平面和高程控制测量,提高测设的可靠性,检测隧道开挖的质量。

(5)竣工图测绘工作。

二、公路隧道的类型和设计阶段

公路隧道的类型按隧道长短可分为四种,见表 9-1。

公路隧道类型

表 9-1

公路隧道分级	特长隧道	长隧道	中隧道	短隧道
直线隧道	$L > 3\,000\text{m}$	$1\,000\text{m} < L < 3\,000\text{m}$	$500\text{m} < L < 1\,000\text{m}$	$L < 500\text{m}$
曲线隧道	$L > 1\,500\text{m}$	$500\text{m} < L < 1\,500\text{m}$	$250\text{m} < L < 500\text{m}$	$L < 250\text{m}$

一般地,特长隧道和对路线有控制作用的长隧道,以及地形、地质状况比较复杂的隧道,在勘测设计上采用两阶段设计,隧道的测量工作也包括初测和定测两个阶段。

1. 初测的主要任务和要求

初测的主要任务是根据隧道选线的初步结果,在选定的隧道地域进行控制测量、地形测量、纵断面测量,为地质填图和隧道的深入研究和设计提供点位参数、地形图条件及技术说明。

初测的基本要求是:

(1)布设控制点,进行控制测量。隧道控制测量必须与路线控制测量进行衔接,按所需的技术等级和第八章所介绍的方法进行控制测量,为路线与隧道形成系统一致的整体提供基准保证。

(2)按隧道选定方案进行带状地形图测量。带宽一般为200~400m(视具体需要可加宽)。

(3)按隧道中线地面走向测量纵断面图。用于测量纵断面图的里程桩(包括地形加桩)应预先测设在隧道中线上。

2. 定测的主要任务

根据批准的初步设计文件确定隧道洞口位置,测定隧道洞口上面的隧道路线,进行洞外控制测量。

§ 9-2 隧道开挖过程中的基本放样工作

在隧道开挖过程中要进行下面几项放样测量工作:隧道中线方向、曲线、隧道坡度与高程、隧道横断面形状。

一、隧道中线方向和曲线方向的定向定位

在隧道开挖过程中,一般每隔5m测设一个中线桩,以标定开挖方向,控制开挖断面形状,衬砌时定出拱模位置,保证正确、安全地掘进。曲线隧道在开挖过程中不断改变方向,按路线平面线位的放样方法进行。隧道掘进的定向定位一般采用两种方法:一是经纬仪或全站仪拨角法;二是目测法。

1. 经纬仪法

实质上是以极坐标法原理测设隧道中线点的方法。随着隧道的不断开拓延伸,利用经纬仪拨角在隧道内测设中线点位,不断指示隧道掘进的方向和位置。

隧道内的中线点有顶板中线点和地面中线点。顶板中线点的设立如图9-2所示。将木桩打入预先在顶板上测设并钻好的洞内,顶板中线点就用小铁钉设在木桩上,钉上挂有垂球线。隧道地面的中线点应埋设在地面10cm以下。

为了避免对隧道的掘进工作和洞内施工运输的影响,中线点的设立可设在隧道中线的一侧形成边线。边线平行于隧道中线,用以代替中线指示隧道的掘进方向。如图9-3所示。

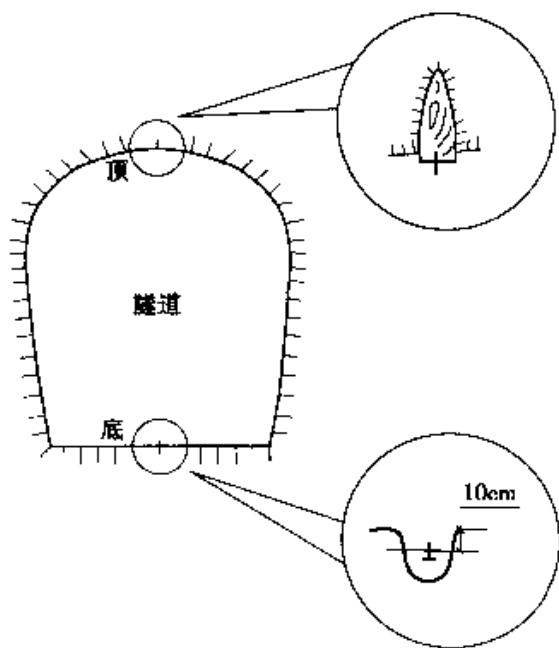


图 9-2

2. 目测法

如图 9-4 所示, A 、 B 、 C 是测量人员根据经纬仪法在隧道顶板设立的一组中线点, 垂球线分别挂有垂球, 按三点成线原理, 工作人员站在巷道的 M 处目测三条垂线可确定定位灯 P 点的方向, 确定 P 点处的开挖位置和进尺长度。

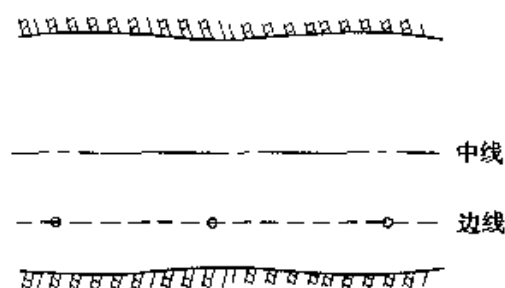


图 9-3

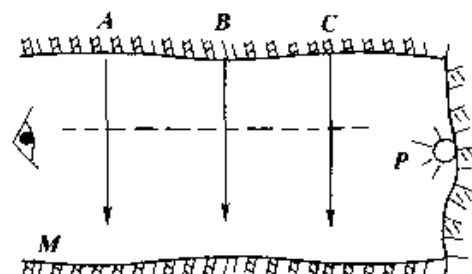


图 9-4

3. 曲线隧道的定向和定位

对于曲线隧道一般采用弦线法。如图 9-5 所示, AB 是一段圆曲线, 半径为 R , 转角为 α 。现以 AP_1 为例说明曲线的测设方法。

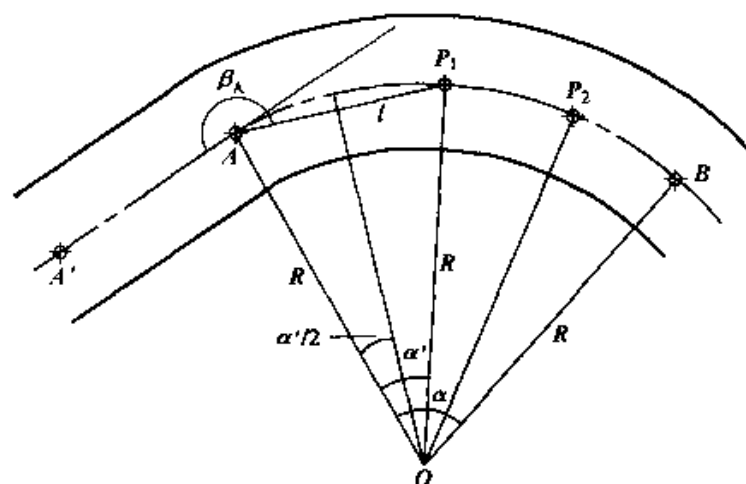


图 9-5

(1) 计算弦 AP_1 方向的角度 β_A

① 按照隧道净宽 D 求取 AP_1 的弦长 l , 即

$$l = 2\sqrt{R^2 - (R - S)^2} \quad (9-1)$$

式中 S 是弓弦高。由图 9-6 可知, 为了使弦线 l 不受隧道内侧的影响, 必须使 $S < D/2$ 。

② 求 $\alpha'/2$, 即

$$\frac{\alpha'}{2} = \arcsin\left(\frac{l}{2R}\right) \quad (9-2)$$

③ 求 β_A , 即

$$\beta_A = 180^\circ + \frac{\alpha'}{2} \quad (9-3)$$

式中 α' 是弦 l 所对应的圆心角。

(2) 放样

在 A 点安置经纬仪瞄准 A' (图 9-5), 拨角 β_A 给出隧道开挖的方向线 AP_1 , 同时随时丈量开挖的隧道长度, 直至开挖长度为 l 时, 设立中线点 P_1 。

(3) 按 P_1 点的定位测设方法, 依次测设 P_1P_2 、 P_2P_3 ……, 逐步解决隧道开挖的定向定位。

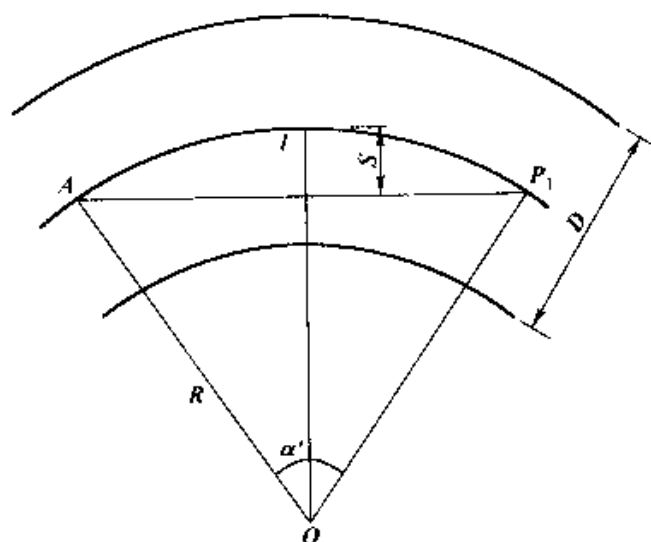


图 9-6

曲线隧道的开挖定向方法有多种弦线法。如图 9-7 所示, P_1 、 P_2 是曲线隧道中线上的点, l_1 是曲线 P_1P_2 的弦长。利用 l_1 及 d 交会出 P 点, 则以 PP_2 可确定 P_2P_3 的方向。其中 d 为:

$$d = 2l_1 \sin \frac{\alpha'}{2} \quad (9-4)$$

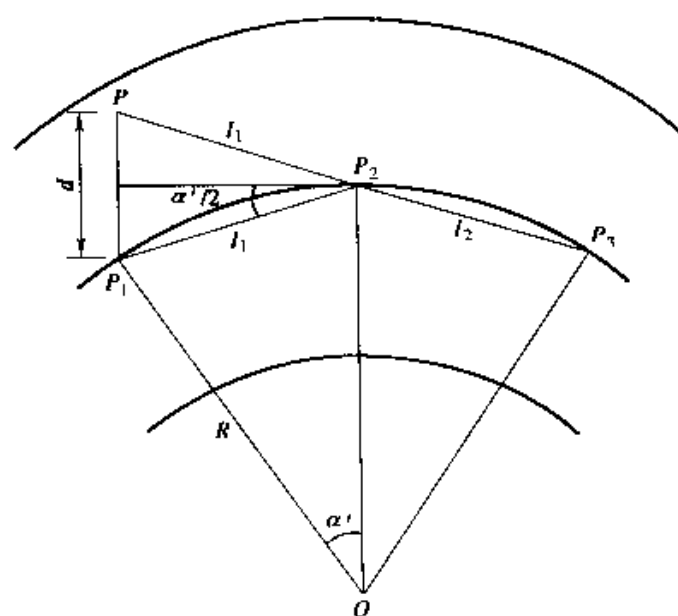


图 9-7

二、隧道坡度和高程

考虑隧道纵断面的视距问题,一般纵断面设计成单一坡度,竖曲线设在洞口或洞外,根据施工方法,一般采用控制隧道腰线或洞顶高程进行放样测量。如图 9-8 所示,该示意图为先开挖洞底,后开挖洞顶。这种开挖方式一般采用腰线控制隧道的坡度。

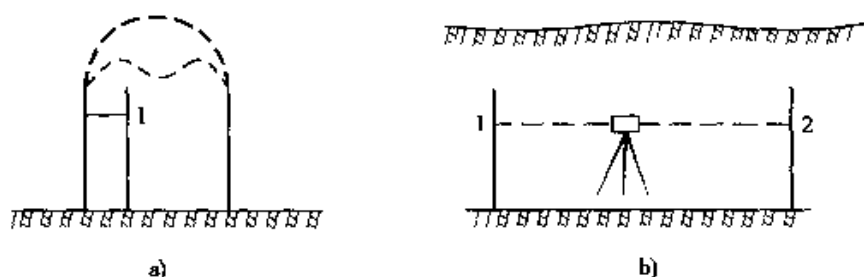


图 9-8
a)横断面;b)纵断面

如图 9-8 所示,先在洞身侧墙上定出 1 点,2 点在侧墙上标出临时点位,量取 1、2 两点之间的距离 D ,从设计图纸上查取洞身的设计纵坡 i ,则 1、2 两点之间的高差应为:

$$h = D \cdot i$$

测设时,在 1 点立水准尺,读数 a ,则 2 点的读数为 b 时,1、2 两点连续线的纵坡为 i , b 值为:

$$b = a \pm h = a \pm D \cdot i$$

在 2 点立水准尺,在读数为 b 的位置上准确标定 2 点的位置。从 2 点开始,可按上述方法依次标定示意坡度线的 3、4…各点。

如图 9-9 所示,先开挖洞顶时,隧道坡度可用图示方法测量洞顶高程进行控制。

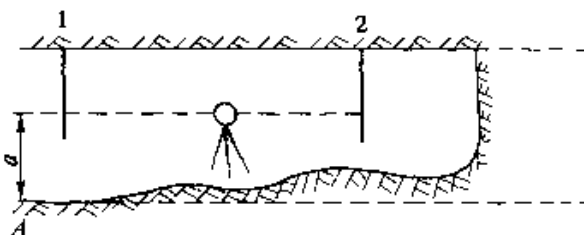


图 9-9

设洞顶有两个中桩点 1、2,由洞顶设计高程推算出其高程为 H_1 、 H_2 , A 点为洞内的一个水准点,高程为 H_A ,则水准尺零端放在 1、2 点时,两点读数应为

$$b_1 = H_1 - H_A - a$$

$$b_2 = H_2 - H_A - a$$

a 值为在水准点 A 立尺的读数。放样时,如 1、2 两点的水准尺读数比 b_1 、 b_2 的值大,说明洞顶已经超挖,否则为少挖。

三、隧道横断面形状

隧道开挖时,可用直角坐标法测设断面。断面的起拱线、腰线、路面底、顶面等洞的几何尺寸由设计图纸得到,测设时,以中线和起拱线为依据。用直角坐标法,按上述数据进行横断面形状控制。也可采用极坐标法,从起拱线高程起,按角度和距离控制半圆形的拱断面。如图 9-10 所示。

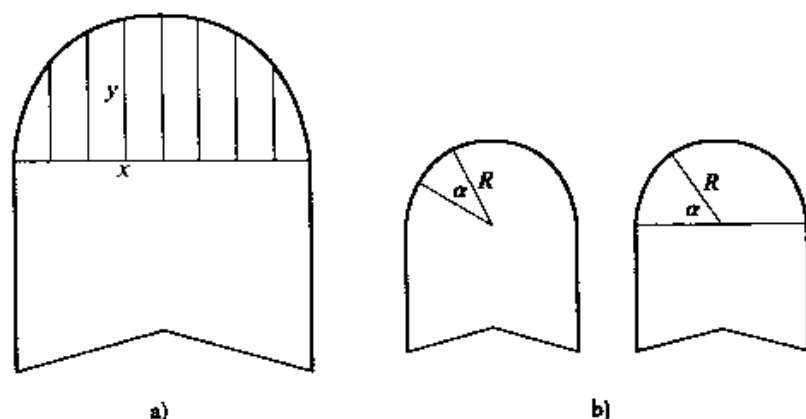


图 9-10

a) 直角坐标法; b) 极坐标法

四、隧道衬砌放样

在隧道的横断面尺寸满足要求后,可按里程将每隔 5m 或 10m 的断面列表,列出该断面的拱顶高程、边墙底高程以及衬砌断面的支距,以供放样时使用。

中线两侧衬砌的放样,是以中线点和水准点为依据。放样的部位有起拱线、边墙线、边墙脚等的位置。拱顶内缘、拱脚、边墙脚等的设计高程均应用水准仪放出,并加以标志。

拱部衬砌放样的任务是将拱架安置在正确的位置上,拱架定位并固定好后,即可铺设模板,灌注混凝土。在灌注混凝土的过程中,应经常检查拱架和模板的位置是否移动。若移动值超过允许限度,应在混凝土初凝前加以纠正。

边墙衬砌的放样,若为直墙,可从校准的中线按规定的尺寸放出支距,即可安装模板;若为曲线墙,可从中线按计算好的支距安设带有曲面的模型板,并加以支撑固定,即可开始衬砌。

§ 9-3 隧道定向定位的测量检核

隧道施工放样中的进洞定向定位测量工作为隧道洞口开挖、巷道开挖提供了准确的方向和掘进长度。

隧道定向定位的测量是决定隧道按设计施工,准确贯通的重要工作。为了保证隧道定向定位测设的准确性和可靠性,必须强调“检核”的原则,为此应采取如下措施:

(1)定向定位测量之前必须详细阅读设计图纸,检查验算各种与定向定位有密切关系的数据。阅读和验算是定向定位测量之前必不可少的工作。

(2)深入现场,检查定向定位的点和线的可靠性,复查有关测设数据及数据与点位的对应关系的准确性。

如图 9-11 所示,在近井点 A 安置经纬仪, AM 、 AN 、 AO 三方向都可作为洞口 B 定向定位的起始方向。起始方向不同,确定 AB 方向的角度也不同。在定向时不能混淆起始方向与角度的一一对应关系,否则

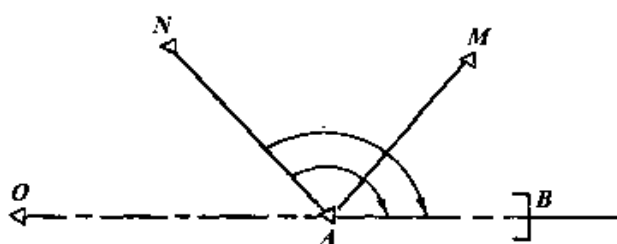


图 9-11

必然造成定向错误。又如图 9-12 所示,横洞是增加隧道 AB 开挖工作面的辅助坑道,为获得横洞中隧道开挖点 F ,从近井点 C 及洞内点 E ,分别按角度 α 、 β 和边长 S_1 、 S_2 确定 AB 线上的 F 点位。在洞内场地条件较差的情况下,特别应清楚地辨识点位及相应的数据关系。

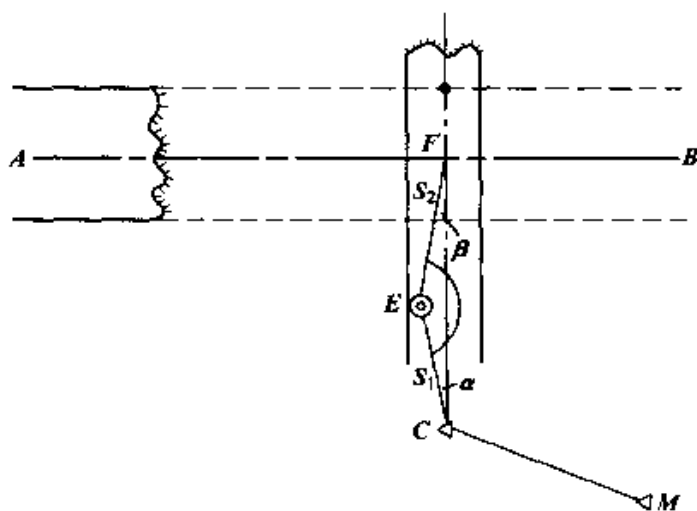


图 9-12

(3)精心测设,严密把关。隧道的定向定位正确与否对隧道的开挖效率与安全关系极大,万一数据有误,测设过失,轻者隧道开挖质量达不到要求,重者给隧道开挖带来严重后果。如图 9-13a)所示, A 、 B 两个工作面的开挖结果造成隧道中线方向不一致,达不到隧道正确贯通的基本要求;如图 9-13b)所示, A 、 B 两个工作面不贯通,造成所谓的“穿袖子”现象;如图 9-13c)所示,贯通位置估计错误,把贯通点当作一般的开挖位置进行爆破作业,造成 A 端工作面的安全隐患。

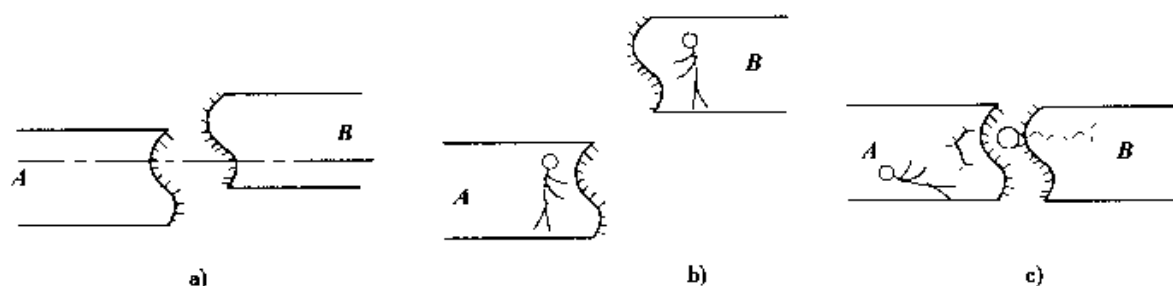


图 9-13

§ 9-4 隧道开挖过程中的洞内控制测量

一、隧道洞内导线测量

隧道在施工过程中不断向前延伸,在测量过程中所产生的误差也不断累积。为了限制误差的累积传递,以免使隧道前进方向的定向定位出现偏差,必须在洞内进行导线控制测量。洞内导线控制测量一般按图 9-14 所示的形式进行。

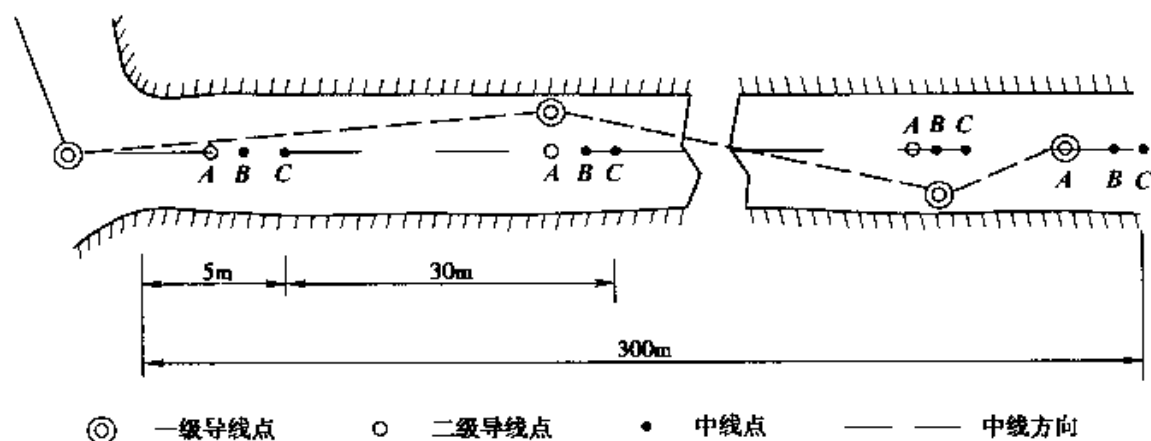


图 9-14

(1)隧道开挖超过 30m,应设立二级导线点,进行导线测量。图 9-14 中的小圆点既是中线点,又是二级导线点。

(2)以二级导线测量的成果检查原有中线点,指示隧道开挖的正确方向,设立新的中线点,同时进行隧道开挖面的碎部测量,绘制草图。

(3)隧道内的二级导线向前推进超过 300m,应设立一级导线点,进行一级导线测量,检查二级导线点,为隧道开挖建立高级平面控制。图 9-14 中的双圆点是一级导线点。一、二级导线点与一般中线点可以共用同一个点。若点位为一级导线点,必须加固保存。

上述测量过程是定向与控制交替结合进行的过程,控制为定向提供可

靠的基础,定向开挖为控制点的建立提供场地条件。

为了加强洞内导线测量的可靠性,导线布设可采用主副导线的布设形式,形成主付导线闭合环。如图 9-15 所示,图中的双圆点是主导线点,双线是主导线边。单圆点是副导线点,单线是副导线边。主导线测角、测边,用于传递坐标和方位角。副导线只测角不测边,用于角度闭合。

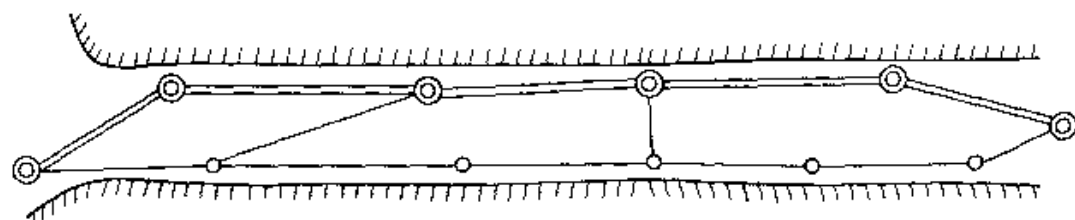


图 9-15

这种形式具有闭合导线的优点,即导线环经角度平差后,可以提高导线端点的横向点位精度,并对角度测量进行检核,根据角度闭合差还可以评定测角精度,同时减少大量的量距工作。角度闭合差分配后,按改正的角值计算主导线各点的坐标,最后按主导线点的坐标来测设中线点的位置。对设有辅助坑道的隧道,则可将正洞导线和辅助坑道导线相连接,形成闭合导线。

在观测导线短边夹角时,应尽可能减少仪器对中误差及目标偏心误差的影响。由于洞内光线暗淡,要利用灯光照明。在洞口内外的两个测站测角时,为了克服目标成像不稳定和避免折光的影响,宜选择在阴天或夜间进行。隧道长度在 2km 以内时,导线量边精度应达到 $1/4\ 000$,测角误差应小于 $5''$ 。

二、隧道高程测量

1. 洞外高程控制测量

一般以水准测量方法进行洞外高程控制测量。当洞口之间的水准路线比较短时,可按五等水准测量的要求施测;当隧道洞口之间的水准路线长度大于 10km 时,应按四等或者四等以上的水准测量要求施测。施测时在隧道洞口应埋设两个水准点,以备使用过程中的互相检核。

2. 洞内高程传递的特点

洞内高程的传递采用水准测量的方法进行,但其实测方法与一般的水准测量相比较有下列不同之处:

(1) 由于隧道中线点位有顶板中线点和地面中线点之分,所以立尺的形式则有正立和倒立两种。如图 9-16 所示,第一站的后视尺倒立在后中线点,前视尺正立在前中线点。

(2) 立尺的形式不同,高差的计算公式也不一样。图 9-16 中四个测站

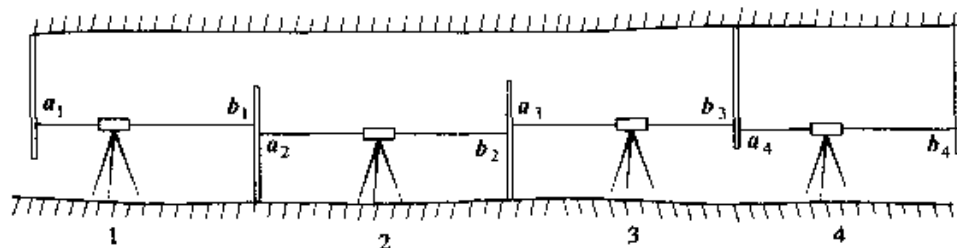


图 9-16

高差的计算公式如下:

$$h_1 = -a_1 - b_1 = -(a_1 + b_1)$$

$$h_2 = a_2 - b_2$$

$$h_3 = a_3 - (-b_3) = a_3 + b_3$$

$$h_4 = -a_4 - (-b_4) = -(a_4 - b_4)$$

上述公式表明:正立标尺,标尺读数取正号;倒立标尺,标尺读数取负号。

3. 测量腰线表示隧道的坡度

在隧道掘进中,洞内中线点的高程测设,一方面测设中线点的高程位置,一方面按 5~10m 的间隔在隧道洞壁上测设用于表示坡度的高程点。如图 9-17 所示,这些高程点设在离隧道地面 1.3m 左右的隧道洞壁上,这些高程点表示隧道坡度的腰线。

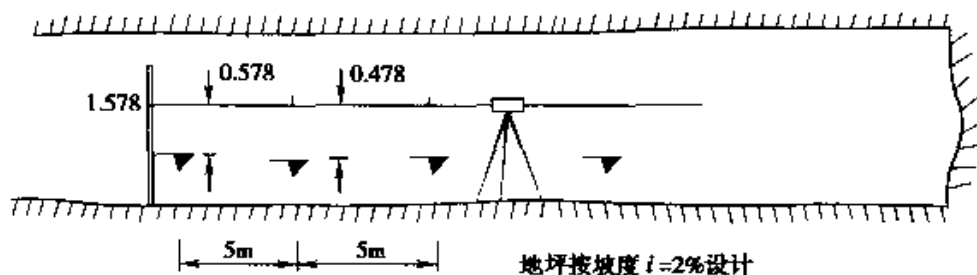


图 9-17

4. 洞内高程控制测量

如同在隧道内进行导线测量一样,洞内高程控制测量是中线点高程测设的基础,按腰线坡度开挖的隧道为高程控制的建立提供了条件。洞内高程控制测量可按三等水准测量的要求进行。在隧道开挖 30~80m 时,应设立稳固的四等水准点,进行四等水准测量,严格检测中线点的高程,精确测定水准点的高程。在隧道开挖超过 300m 时,应设立稳固的三等水准点,进行三等水准测量,严格检测中线点和四等水准点的高程,精确测定三等水准点的高程。为后续的四等水准测量和隧道开挖提供起算高程。

§ 9-5 地面与地下的联系测量

进洞测量,按其性质应从属于洞外控制测量。通过洞外控制测量,可控制开挖方向或洞口定位的洞外中线点(直线隧道设置一点,曲线隧道沿切线方向设置两点,以便为进洞测量提供依据。洞内起始点位和起始方向是地线平面和高程控制的起算数据。隧道开挖初期,洞内的施工是由进洞测量引进的临时中线点控制,当延伸几个正式中线点的距离后,在临时点的基础上正式建立中线和导线控制,根据施工方法不同,分为平洞、斜井联测和竖井联测)。

一、平洞、斜井联测

用平洞或斜井开挖隧道,联测时一般可按路线测量方法进行。

二、竖井联测

用竖井施工的隧道,地下起始点坐标、高程和起始边方向,均由竖井传递到地下。

1. 竖井高程传递

井深测量采用如图 9-18 所示的钢丝导入法的场地布置形式,钢丝通过绞车、比长台、转轮悬挂在竖井中,下端挂有垂球,比长台上按一定拉力摆有长度为 L_0 的钢尺,通过测量井深,将井上地面水准点的高程传递到井下水

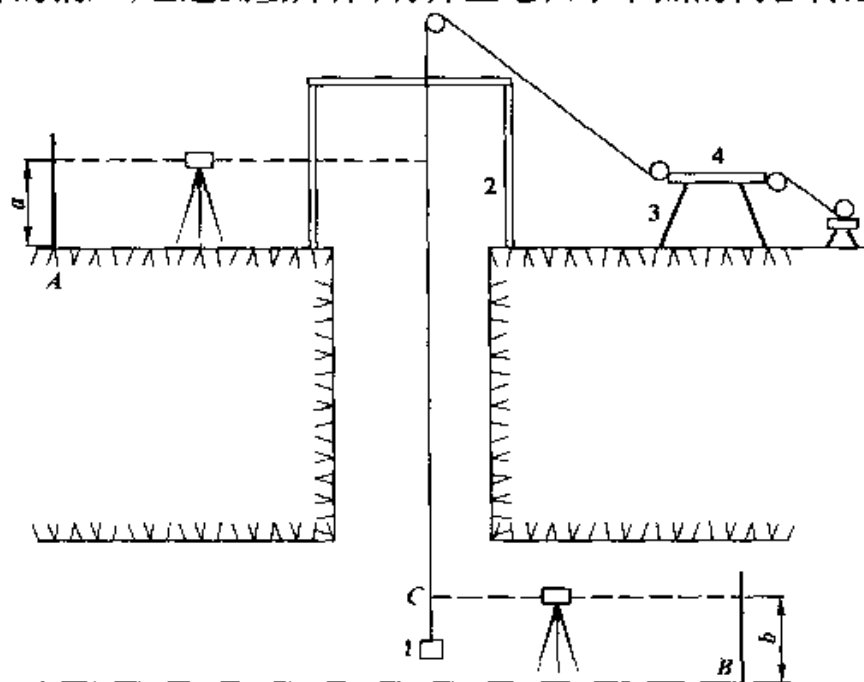


图 9-18

1-重锤(15~20kg);2-支架;3-比长器木架;4-滚动钢丝支架

准点。

图中 A 点为井上水准点, B 点为新设井下水准点。

(1) 实施测量

先通过井下水准仪在钢丝上标定 C 点, 夹上夹子, 同时读取井下所立水准尺读数 b 。与此同时, 在比长器木架钢尺端点夹上夹子 D, 当上述工作完成后, 通过 4 提升钢丝, 夹子 D 在比长器木架上的行程 n 可通过钢尺读数读出, 读数值即为一次提升钢丝长。重新把夹子 D 移至钢尺端点, 继续提升钢丝, 读出 n 。重复进行, 直至夹子 C 到达井上水准仪视线高, 同时读出井上所立水准尺读数 a 。

(2) 计算

井上、井下两台水准仪视线高之间的钢丝长度为:

$$l = \sum_{i=1}^n n_i + \Delta l$$

则
$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n n_i + \Delta l + b - a$$

最后井下水准点的高程为:

$$H_B = H_A - h_{AB}$$

一般应进行两次测量, 较差应不大于 5mm, 最后取两次测量结果的平均值。

2. 竖井定向测量

竖井定向测量是将地面控制网的坐标和方位角传递到井下导线起算点和导线起算边。通常有三种方法, 分别介绍如下:

(1) 直接连接法

该法用于短隧道定向, 操作和计算比较简便, 精度较低, 只能满足一般地下施工要求。

如图 9-19 所示, 在井上 1 点安置经纬仪, 瞄准 3 点或者 4 点 (隧道地面中线点), 把两极重锤线调到该视线方向上。井下在两重锤线方向安置经纬仪, 定出 B、C 两点, 尽量使 d_1 、 d_2 相等, 量出 $1a_1$ 、 a_1B 、 BC 各段距离, 按导线法可算出 BC 点坐标和方位角。

(2) 联系三角法

如图 9-20 所示, D 点坐标、DE 边方位角为已知, 用经纬仪观

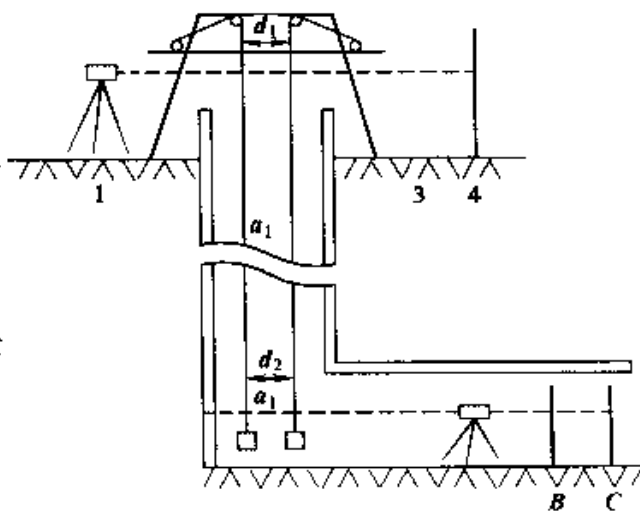


图 9-19

测连接角 φ 、 ψ 和地面三角形内角 γ , 用钢尺丈量边长 a 、 b 、 c , 计算 A 、 B 点坐标和井下联测方位角。在井下观测 φ_1 、 ψ_1 和 γ_1 , 用钢尺量取 a_1 、 b_1 、 c_1 , 则可计算 D_1 点坐标和 D_1E_1 边的坐标方位角。

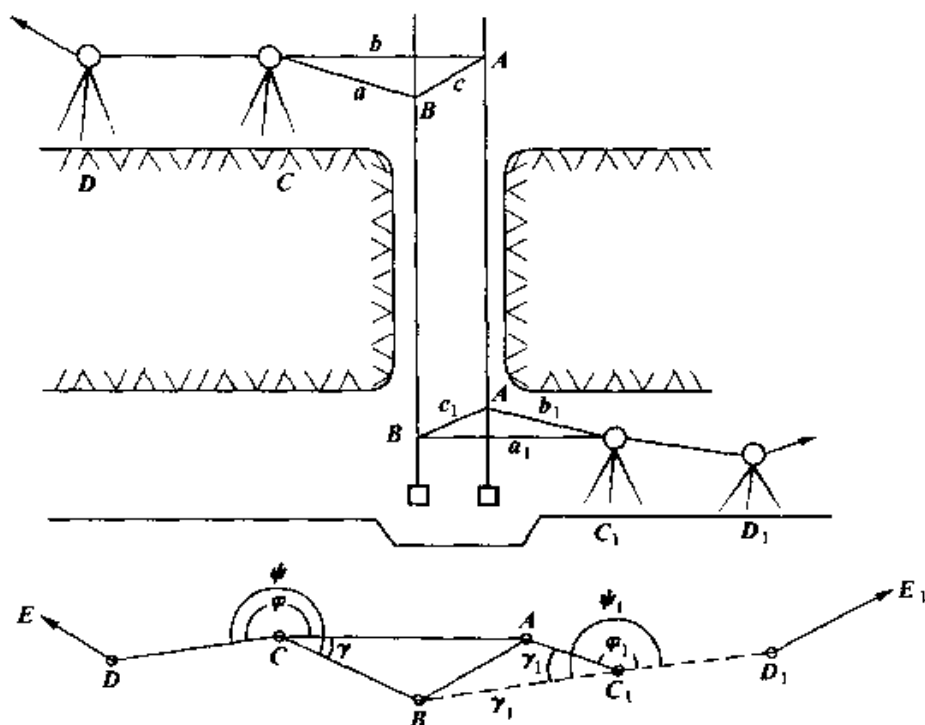


图 9-20

(3) 陀螺经纬仪竖井定向

利用陀螺经纬仪可以直接在地面上测定某一方向的真方位角 A , 同时根据该点的坐标可以计算子午线收敛角 γ , 所以按下式可以计算该点到某一方向的坐标方位角 α 。

$$\alpha = A - \gamma$$

如图 9-20 所示, 在 C_1 点安置陀螺经纬仪可以测定 C_1D_1 边的坐标方位角, 方便精确地为隧道中线定向。近年来陀螺经纬仪在自动化和高精度等方面有较大的发展, 使陀螺经纬仪在竖井隧道自动测定方位角方面有更大的应用。

§ 9-6 隧道施工及竣工后的沉降、位移观测

隧道在施工及竣工后的使用过程中, 由于周围所处的地质条件不同, 所受的外力影响也不同, 加上隧道各部分开挖及施工顺序有先后, 各种结构物的强度与自重不同等原因, 均可使隧道结构物产生沉陷和位移。这种沉陷和位移若超过允许限度, 就会影响隧道结构物的正常施工和使用, 严重时可能导致隧道结构物破坏。因此在隧道施工及使用期间必须进行沉陷及位移

观测。

施工过程中的隧道变形,可在对洞内外所布置的三角点、导线点、中线和水准点的复测中,观测到变形的大小和方向。

在坑道开挖、扩大开挖、支撑和衬砌的过程中,因地质条件不良,可能产生较大的沉陷,两侧岩壁内挤、底部隆起,甚至产生土石坍塌、衬砌断裂、局部地段被推移的情况。一般情况下,用观察的方法,可从开挖后表面的变形、支撑受力后的情况(棚板弯曲、梁背嵌入板面、横撑嵌入立柱、梁柱压裂等),可以大致判断变形情况。必要时,可设置变形观测标志进行观测,取得变形的大小、方向和速度的定量资料,以便采取相应的防护措施。

隧道衬砌完成后,在地质不良地段,隧道结构物可能发生沉陷及位移,应在此变形区设置变形观测标志(测标),进行周期性的观测,一直到变形停止 2~3 个月为止。

变形观测的标志可设在隧道的顶部、侧部和底部。测标布置的密度应视变形情况而定,一般每隔 10~15m 上下左右各设一个测标。若变形程度不是很大,也可每隔 50m 设标。各测标应按里程统一编号,同时,应在变形区 50m 以外设立稳固的控制点。

测标的高程变位可用水准测量的方法进行观测。测标的水平位移可采用准直法(即方向线法)和测角法进行观测。

准直法:即将一排测标都设在一条直线(准直方向线)上,根据测标偏离这条直线的垂距大小,可求出测标的横向位移;根据测标至直线上某控制点的水平距离,可以求出测标的纵向位移。这条准直方向线可以用经纬仪或激光准直仪设出,或在某固定两端点间设置细弦线标志,这个方法在设置点位时较麻烦,但点位设好后,若某些点没有严格在直线上,可用小测微尺量出测标到弦线的垂距,观察该垂距的变化,即可判断位移的变化。

测角法:是采用在固定测站上观测固定的控制点与测标之间的水平角的一种方法。设第一次观测某测标的角值是 β_1 ,第二次观测的角值是 β_2 ,则按两角的差值($\beta_2 - \beta_1$)的符号,即可判断该测标水平位移的左右方向,位移值为: $\frac{\beta_2 - \beta_1}{\rho} L$, L 为测站至测标的水平距离。每一次置镜可以观测一排点的水平角。

观测后,应将观测数据整理填入表格,必要时还要对某些测标绘制变形曲线,以便分析和研究变形规律。

附录 匝道坐标计算源程序

```

1: CLEAR
2: PAI # = 3.141592653589793 #
10: INPUT "Lx - - - - - 0)z    1)y    2)h    3)END"; Lx
20: IF Lx = 0 THEN GOSUB 50
30: IF Lx = 1 THEN GOSUB 180
40: IF Lx = 2 THEN GOSUB 330
45: IF Lx = 3 GOTO 540
50: REM ZHIXIAN
60: INPUT "qd zhuang hao = "; zhuanghao
70: INPUT "
FW = "; FW: D = INT(FW): F = INT(FW * 100 - D * 100 + 0.1): S = FW *
10000 - D * 10000 - F * 100
75: FW = (D + F/60 + S/3600) * PAI/180
80: IF FW > 180 THEN FW = - (360 - FW)
90: INPUT "qd zuo biao(X0, Y0): X0 = "; X0
100: INPUT " Y0 = "; Y0
110: INPUT "qd zhuang hao(S0): S0 = "; S0
120: INPUT "Jia zhuang zhuang hao(S): S = "; S
125: IF S = - 1 GOTO 10
130: X = X0 + (S - S0) * COS(FW)
140: Y = Y0 + (S - S0) * SIN(FW)
150: PRINT "X = "; X
160: PRINT "Y = "; Y
170: GOTO 120
180: REM YUANQUXIAN
190: INPUT "R = "; R
200: INPUT "S0 # = "; S0 #
210: INPUT "t0 # = "; t0 #: D # = INT(t0 #): F # = INT(t0 # * 100 - D #
* 100 + 0.1): S # = t0 # * 10000 - D # * 10000 - F # * 100

```

```

215: t0 # = D # + F # / 60 + S # / 3600
230: INPUT "qd(X0, Y0): X0 # = "; X0 #
240: INPUT "Y0 # = "; Y0 #
250: INPUT "ZX - - - - 1) Z 2) Y"; ZX
260: IF ZX = 1 THEN R = - R
261: INPUT "S = "; S
262: IF S = - 1 GOTO 10
270: X = X0 # + R * (SIN(t0 # * PAI # / 180 + (S - S0 #) / R) - SIN(t0 #
* PAI # / 180))
280: Y = Y0 # - R * (COS(t0 # * PAI # / 180 + (S - S0 #) / R) - COS(t0 #
* PAI # / 180))
300: tz # = t0 # + ((S - S0 #) / R)
* 180 / PAI # ; D1 # = INT(tz #); F1 # = INT((tz # - D1 #) * 60)
303: S1 # = INT(((tz # - D1 #) * 60 - F1 #) * 60 + 0.1)
305: tz # = D1 # + F1 # / 100 + S1 # / 10000
310: PRINT "X = "; X; "Y = "; Y; "tz # = "; tz #
320: GOTO 261
330: REM HUANHEQUXIAN
340: INPUT "qd : R1 = "; R1
350: INPUT "zd : R2 = "; R2
355: INPUT "ZX - - - - 1) Z 2) Y"; ZX
356: IF Z = 1 THEN R1 = - R1 AND R2 = - R2
360: Re # = R1 * R2 / (R1 + R2)
370: K # = SGN(R1 - R2)
380: INPUT "qd zhuang hao (S1): S1 = "; S1
390: INPUT "zd zhuang hao (S2): S2 = "; S2
395: INPUT "qd zuo biao : X0 # = "; X0 #
396: INPUT "Y0 # = "; Y0 #
397: W = 100000
400: C # = ABS((S2 - S1) * R1 * R2 / (R1 - R2))
405: IF R1 > W THEN C # = ABS(R2 * (S2 - S1))
410: IF R2 > W THEN C # = ABS(R1 * (S2 - S1))
425: INPUT "qd FW # : FW # = "; FW # ; D # = INT(FW #); F # = INT(FW
# * 100 - D # * 100 + 0.1); S # = FW # * 10000 - D # * 10000 - F # * 100
430: FW # = D # + F # / 60 + S # / 3600

```

```

440: INPUT "zhuang hao(S):S=";S
441: IF R1 > R2 THEN L0 # = C # /R1 : L # = (S - S1) + L0 #
442: IF R1 < R2 THEN L0 # = C # /R1 : L # = L0 # - (S - S1)
445: IF S = - 1 GOTO 10
450: T # = FW # * PAI # /180 - ((K # * L0 # ^2)/(2 * C # ))
460: A # = (L # - L0 # ) - (L # ^5 - L0 # ^5)/(40 * C # ^2) + (L # ^9 - L0 # ^9)/(3456 * C # ^4)
470: B # = (L # ^3 - L0 # ^3)/(6 * C # ) - (L # ^7 - L0 # ^7)/(336 * C # ^3) + (L # ^11 - L0 # ^11)/(42240 * C # ^5)
480: X = X0 # + K # * A # * COS(T # ) - B # * SIN(T # )
490: Y = Y0 # + K # * A # * SIN(T # ) + B # * COS(T # )
500: tz # = FW # + (S2 - S1)/(2 * Re # ) * 180/PAI #
505: D1 # = INT(tz # );F1 # = INT((tz # - D1 # ) * 60)
506: S1 # = INT(((tz # - D1 # ) * 60 - F1 # ) * 60 + 0.1)
507: tz = D1 # + F1 # /100 + S1 # /10000
510: PRINT "X=";X;"Y=";Y;"tz=";tz
520: GOTO 440
540: END

```

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001

参 考 文 献

- 1 王文锐,秦建平.公路工程实用测绘技术.北京:人民交通出版社,1996
- 2 张坤宜.交通土木工程测量学.北京:人民交通出版社,2000
- 3 北京工业大学.测量学.北京:人民交通出版社,1983
- 4 王平安.公路工程实用计算技术与电算程序.北京:人民交通出版社,2001
- 5 聂让.全站仪与高等级公路测量.北京:人民交通出版社,1999
- 6 聂让.高等级公路控制测量.北京:人民交通出版社,2000
- 7 公路工程设计规范汇编.北京:人民交通出版社,2001
- 8 刘自明,王邦楣.桥梁工程检测手册.北京:人民交通出版社,2001
- 9 钟孝顺,聂让.测量学.北京:人民交通出版社,1997
- 10 於宗俦,鲁林成.测量平差基础.北京:测绘出版社,1983
- 11 吴俊昶,刘大杰.控制网测量平差.北京:测绘出版社,1985
- 12 孔祥元,梅是义.控制测量学.北京:测绘出版社,1991
- 13 武勇义,徐尤龙.公路弯斜坡桥涵几何设计.北京:人民交通出版社,1995
- 14 徐培华,陈忠达.路基路面试验检测技术.北京:人民交通出版社,2000
- 15 宋文.公路施工测量.北京:人民交通出版社,2001
- 16 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室.控制测量学(上、下册).北京:测绘出版社,1986
- 17 廖正环.公路施工与管理.北京:人民交通出版社,2000
- 18 胡长顺,黄辉华.高等级公路路基路面施工技术.北京:人民交通出版社,2001