

GONGLU GONGCHENG SHIGONG JISHU YIBENTONG

公路工程 施工技术一本通



张宁 杭明升 主编

本书主要介绍了公路施工的基本施工方法、公路路基施工技术、路面施工技术及桥涵施工技术



时代出版传媒股份有限公司
安徽科学技术出版社

ISBN 7-310-02538-8
I·4105
53-853

公路工程施工技术一本通

张 宁 杭明升 主编



时代出版传媒股份有限公司
安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

公路工程施工技术一本通/张宁,杭明升主编. —合肥:
安徽科学技术出版社, 2016. 1
ISBN 978-7-5337-6823-2

I. ①公… II. ①张…②杭… III. ①道路工程—工程
施工 IV. ①U415

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 263439 号

公路工程施工技术一本通

张宁 杭明升 主编

出版人: 黄和平

选题策划: 叶兆恺

责任编辑: 叶兆恺

责任校对: 刘凯

责任印制: 廖小青

封面设计: 王天然

出版发行: 时代出版传媒股份有限公司 <http://www.press-mart.com>

安徽科学技术出版社

<http://www.ahstp.net>

(合肥市政务文化新区翡翠路 1118 号出版传媒广场, 邮编: 230071)

电话: (0551)63533323

印制: 合肥创新印务有限公司

电话: (0551)64321190

(如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与印刷厂商联系调换)

开本: 787×960 1/16

印张: 14.5

字数: 315 千

版次: 2016 年 1 月第 1 版

2016 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5337-6823-2

定价: 29.50 元

版权所有, 侵权必究

目 录

第一章 公路工程施工放样	1
第一节 施工放样的基本方法	2
一、已知水平距离的放样	2
二、已知水平角的放样	3
三、已知高程的放样	3
四、平面点位的放样	4
第二节 路线中线的施工放样	5
一、利用导线点进行中线放样	6
二、中桩坐标计算	8
三、利用路线控制桩进行中线放样	13
第三节 路基路面的施工放样	14
一、路基横断面施工放样	14
二、路基施工阶段各层次的抄平方法	19
三、路面施工放样	21
四、构造物施工放样	24
五、沿线取土坑、弃土堆占地面积及土方量计算	26
第四节 桥梁施工控制测量	28
一、施工控制测量	28
二、桥梁中线测量	39
三、桥梁墩(台)定位与墩(台)轴线测量	42
第二章 公路路基施工技术	49
第一节 概述	49
一、路基工程的特点及重要性	49
二、路基施工的基本方法	50
三、路基土方作业的基本类型	50
四、施工准备工作	50
第二节 路基工程施工机械	52
一、推土机	52
二、铲运机	53
三、平地机	53
四、挖掘机	53
五、装载机	55
六、松土机械和凿岩机械	55

第三节 一般路基施工	56
一、路基挖方施工	56
二、路堤填筑施工	60
三、路基压实施工	63
第四节 路基排水施工	72
一、地面排水设施施工	73
二、地下排水设施施工	76
第五节 软土地基路基施工	79
一、软土地基概述	79
二、软土地基的加固措施与施工	82
第三章 路面施工技术	86
第一节 概述	86
一、路面的概念、结构与分类	86
二、路面施工的特点和基本要求	88
三、路面施工用材料	90
四、路面施工的基本方法	92
五、路面工程试验路段	93
第二节 路面工程主要施工机械	94
一、稳定土拌和机	94
二、稳定土厂拌设备	95
三、沥青洒布车	96
四、石屑撒布机和粉料撒布机	98
五、沥青混合料搅拌设备	99
六、沥青混合料摊铺机	104
七、水泥混凝土滑模摊铺机	105
第三节 路面基层施工技术	106
一、无机结合料稳定类路面基层施工技术	106
二、粒料类基层施工技术	120
三、其他柔性基层施工	125
第四节 沥青面层施工技术	125
一、简述	125
二、热拌沥青混合料	126
三、沥青表处和封层	139
四、沥青贯入式路面	142
五、冷拌沥青混合料	144
六、透层与黏层	144
第五节 水泥混凝土路面施工技术	145
一、概述	145

二、原材料及配合比	146
三、混凝土路面的施工	148
四、特殊水泥混凝土路面施工	158
第四章 桥涵施工技术	164
第一节 概述	164
一、上部结构施工方法简介	164
二、下部结构施工方法简介	167
三、桥梁施工方法的选择原则	168
第二节 桥梁施工机械	168
一、起重机械	168
二、打桩、拔桩机械	173
三、排水设备	187
第三节 基础施工	189
一、常见的几种基础	189
二、桩基础施工工艺	191
第四节 涵洞施工	194
一、管涵施工	194
二、混凝土和钢筋混凝土拱涵、盖板涵和箱涵施工	199
三、桥涵顶进(入)法施工	202
四、墩台的砌筑	211
五、墩(台)帽施工	213
第五节 梁桥施工	214
一、概述	214
二、简支梁桥的施工工艺	215
三、钢筋混凝土简支梁桥的制造工艺	215
四、预应力混凝土简支梁桥的制造工艺	219
五、装配式梁桥的运输及安装	219
六、桥面工作	222
参考文献	223

第一章 公路工程施工放样

施工放样就是在公路施工过程中,利用现代测量技术和仪器设备,依据交通部颁发的有关公路施工技术规范 and 经过批准的公路施工设计文件、图纸,将图纸上的点位放样于实地,由点构成线,由线构成面,进而形成公路的整体轮廓,以指导公路施工。

公路工程施工放样之前要做以下几项准备工作。

1. 资料收集

通常情况下,施工单位应收集的设计文件图表主要有:

- (1)公路平面总体设计图,即路线平面图。
- (2)路线纵断面图。
- (3)路基横断面图。
- (4)路面横断面结构图(也称路面结构图)。
- (5)路基设计表。
- (6)直线、曲线及转角表。
- (7)埋石点成果表(包括导线点成果表、水准点成果表)。
- (8)逐桩坐标表。
- (9)路基标准横断面图。

技术人员应全面熟悉设计文件、图纸,如发现错误,应及时向业主或监理报告,并由设计单位加以修改。

2. 现场勘查

在施工队伍进驻施工现场后,技术人员还应到施工现场勘查核对,其主要内容包括:

- (1)搞清施工标段路线起点里程桩的实地位置以及该标段四周的地貌概况,以确定取土、弃土运输便道的位置及制定临时排水措施等。
- (2)对照路线设计纵断面及横断面图查看沿线地形,搞清挖方、填方地段。
- (3)查看公路沿线平面控制导线点位、交点点位和高程控制水准点位的实地位置、完好程度,以及各点通视情况能否满足放样需要。
- (4)查看公路设计定测时的中线桩点位情况,为恢复中桩做准备。
- (5)考察该施工标段沿线应加密的施工导线点、施工水准点的实地位置,并拟订联测已知导线点、水准点的方案。
- (6)考察沿线盖板涵、通道、圆管涵、桥梁等附属构造物实地现状,拟订放样方案。
- (7)经过实地勘查,如发现施工现场存在与设计图表文件内容不符的地方,应及时向业主或监理报告,并根据施工现场实况,拟订施工测量方案。

3. 公路施工测量的仪器设备及材料准备

(1) 公路施工测量的仪器。

① 全站仪: 用于导线测量, 坐标放样。

② 水准仪: 用于水准测量, 高程放样。

③ 经纬仪配测距仪: 用于导线测量, 坐标放样。

④ 对讲机: 用于放样联络。

⑤ 经纬仪配视距尺(水准标尺): 用于路基施工初期点的放样, 路堑边坡顶放样等。

(2) 公路施工测量的器具。

① 量具: 钢尺(30~50 m)、皮尺(30~50 m)、小钢尺、fx-4500PA 计算机。

② 标尺: 水准尺(双面)一对或塔尺(3 m 或 5 m)、尺垫、坡度尺(控制边坡)。

(3) 公路施工测量的材料。

包括竹签、铁钉(钢钉)、记号笔(油性)、粉笔、石灰、红布(或红塑料袋)、铁锤、油漆、细绳、凿子等。

(4) 测量仪器的检验、校正。

第一节 施工放样的基本方法

一、已知水平距离的放样

距离放样不同于距离丈量。距离丈量是先用钢尺量出两定点之间的尺面长度, 然后加上钢尺的尺长、温度和倾斜等项改正, 求得两点间的水平距离。而距离放样则是根据给定的水平距离, 结合现场情况, 先进行钢尺的各项改正, 反算出放样的尺面长度, 然后按照这一长度从起点开始, 沿已知方向定出重点位置。因此, 放样时的程序和改正数的符号, 恰恰与距离丈量时相反。

例如, 放样的水平距离 S 为 30.000 m, 已知钢尺名义长度 D 为 30.000 m, 经检定, 钢尺实长 30.003 m, 检定时温度 t_0 为 20℃, 拉力为 100 N; 放样时钢尺温度 t 为 30℃, 拉力采用 100 N。

概量距离后, 测得两放样端点的高差 h 为 1.00 m, 则三项改正数计算如下:

尺长改正数: $\Delta D_1 = 30.000 - 30.003 = -0.003(\text{m})$

温度改正数: $\Delta D_2 = \alpha D(t_0 - t) = 0.000012 \times 30.000 \times (20 - 30) = -0.004(\text{m})$

高差改正数: $\Delta D_3 = h^2 / 2S = 1^2 / 2 \times 30.000 = 0.017(\text{m})$

式中 α ——温度改正系数, 0.000012 m/(℃m)。

沿倾斜地面放样时尺的另一端读数应为:

$$30.000 - 0.003 - 0.004 + 0.017 = 30.010(\text{m})$$

当放样的距离大于一个正尺段时, 应按地形情况分段施测, 并求取分段应量长度, 然后

分段标定,最后将终点放样于实地。

距离放样时,应使用拉力计,要求钢尺所施拉力等于检定时拉力,故无须进行拉力改正。

二、已知水平角的放样

1. 粗略放样

如图 1-1(a) 所示,角顶点 A 及方向线 AB 已确定,拟在 A 点从 AB 开始顺时针方向设置水平角 β , 定出 AC 方向。放样时,多采用正倒镜分中法。在 A 点安置经纬仪,先以盘左位置照准 B 点,使水平度盘读数为零,转动照准部,使读数为 β , 在视线方向定出 C' 点;在用盘右位置以同样方法放样出 β 角,定出 C'' 点;然后定出 $C'C''$ 中点 C , 则 AC 即为放样的方向线, $\angle BAC$ 为放样角 β 。

2. 精确放样

若需精确放样 β 角,可按图 1-1(b) 进行。先按上法定出 $\angle BAC$, 再用经纬仪观测 $\angle BAC$ 数个测回,取其平均值 β' 作为观测结果。令观测值 β' 与放样角值 β 之差为 $\Delta\beta$ (单位为 $''$), 则可根据 AC 长度和 $\Delta\beta$ 技术垂距 CC_1 , 即

$$CC_1 = AC \frac{\Delta\beta}{\rho''}$$

式中 $\rho'' = 206265''$ 。

过 C 作 AC 的垂线,在垂线上按 CC_1 定出 C_1 点,则 $\angle BAC_1$ 即为所放样之 β 角。若 $\Delta\beta$ 为正,则按逆时针方向改正点位; $\Delta\beta$ 为负,则按顺时针方向改正点位。

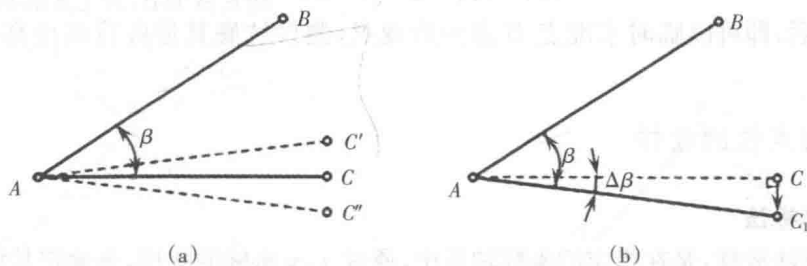


图 1-1 已知水平角的放样

三、已知高程的放样

已知高程的放样,是根据已知水准点及放样点的高程,用水准测量的方向进行。

如图 1-2 所示,设水准点 A 的已知高程为 $H_A = 40.359$ m, 在 B 点放样高程为 $H_B = 41.000$ m, 则 A 、 B 间安置水准仪,后视 A 尺得读数 $\alpha = 2.468$ m, 仪器视线高程为

$$H_i = 40.359 + 2.468 = 42.827(\text{m})$$

B 点的尺读数应为

$$\begin{aligned}
 B &= H_i - H_B \\
 &= 42.827 - 41.000 \\
 &= 1.827(\text{m})
 \end{aligned}$$

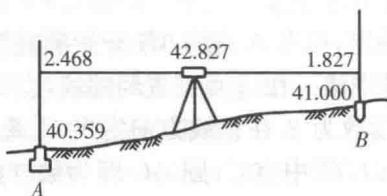


图 1-2 已知高程的放样

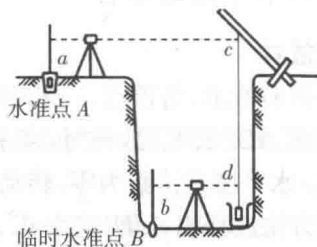


图 1-3 高程传递

操作时,在 B 点徐徐打入木桩(或先打下木桩,紧贴木桩侧面上下移动标尺),直至前视读数 b 恰为 1.827 m 为止(或沿尺底在木桩侧面划一水平线),即可得放样的点 B 高程。

若待测高程点的设计高程与已知高程点的高程相差较大,如测较深的基坑标高或测高层建筑物的标高,只用标尺已无法测设,此时可借助钢尺将地面水准点的高程传递到在坑底或高楼上所设置的临时水准点上,然后再根据临时水准点测设其他各点的设计高程。

如图 1-3 所示,是将地面水准点 A 的高程传递到基坑临时水准点 B 上。在坑边木杆上悬挂经过检定的钢尺,零点在下端并挂 10 kg 重锤。为减少摆动,重锤放入盛废机油或水的桶内。在地面上和坑内分别安置水准仪,瞄准水准尺和钢尺的读数 a 、 b 和 c 、 d ,则

$$H_B = H_A + a - (c - d) - b$$

H_B 求出后,即可以临时水准点 B 点为后视点,测设坑底其他各待测设高程点的设计高程。

四、平面点位的放样

1. 直角坐标法

直角坐标法放样,是在指定的坐标系中,通过 x 、 y 坐标的放样,来确定其放样点位的。

在现场,通常是以导线边施工基线和建筑物的主轴线为 x 轴,某一固定点为坐标原点。放样时,从原点开始,沿 x 轴用钢尺量出 x 值得垂足点,然后在垂足点安置经纬仪,设置垂线,沿垂线方向量出 y 值,即得放样点的位置。

2. 极坐标法

当放样点距已知直线上某定点(如导线点)不远,且易于量距测角时,宜采用极坐标法定点。如图 1-4 所示, P 为待放样点, A 、 B 为控制点。如以 A 为极点,则可根据 A 、 P 坐标反算出极距 d 和 AP 方位角 α_{AP} ,同理也可反算出 AB 方位角 α_{AB} 。由图可

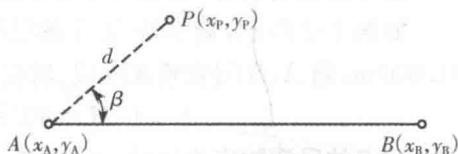


图 1-4 极坐标法放样

知, α_{AB} 与 α_{AP} 之差即为所求的极角 β 。使用经纬仪和钢尺把极角 β 、极距 d 放样到地面上去, 即可确定 P 点位置。

$$d = \sqrt{(x_P - x_A)^2 + (y_P - y_A)^2}$$

$$R_{Ai} = \arctan \left| \frac{y_i - y_A}{x_i - x_A} \right|, i = B, P$$

$$a_{Ai} = R_{Ai} \quad R_{Ai} \text{ 在 I 象限}$$

$$a_{Ai} = 180 - R_{Ai} \quad R_{Ai} \text{ 在 II 象限}$$

$$a_{Ai} = 180 + R_{Ai} \quad R_{Ai} \text{ 在 III 象限}$$

$$a_{Ai} = 360 - R_{Ai} \quad R_{Ai} \text{ 在 IV 象限。}$$

3. 角度交会法

角度交会法放样点位如图 1-5 所示, 先根据控制点 A 、 B 和放样点 P 的坐标, 反算出水平 β_1 、 β_2 。再在 A 、 B 点上安置经纬仪分别放出 β_1 、 β_2 , 定出两条方向线, 跑尺者手拿花杆, A 、 B 两台经纬仪的观测者同时指挥跑尺者, 直到花杆同时落在望远镜的竖丝上为止, 花杆的位置即为放样出的平面点位。为了保证交会点的精度, 交会角值应在 $30^\circ \sim 150^\circ$ 。此法适用于地面不平或丈量距离困难的地段。

4. 距离交会法

如图 1-6 所示, 先根据控制点 A 、 B 和待放样点 P 的坐标, 反算出水平距离 d_1 和 d_2 。设时, 需同时用两把钢尺分别将零点对准 A 与 B , 将钢尺拉平且使尺上的读数 d_1 及 d_2 的分划线交于一点, 则该点即是欲放样的 P 点。此法在便于量距、且放样点至控制点的距离不超过钢尺长度的情况下使用较为方便。

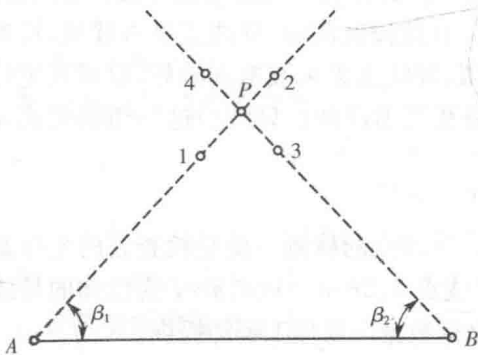


图 1-5 角度交会法

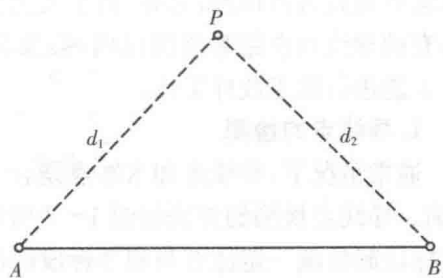


图 1-6 距离交会法

第二节 路线中线的施工放样

路线中线的施工放样就是利用测量仪器和设备, 按设计图纸中的各项元素(如公路平、纵、横元素)和控制点坐标(或路线控制桩), 将公路的“中心线”准确无误地放到实地, 指导施

工作业,习惯上称为中线放样。

路线中线的施工放样是保证施工质量的一个重要环节。这是一项严肃认真、精确细致的工作,稍有不慎,就有可能发生错误。一旦发生错误,又未能及时发现,就会影响下一步工作,影响工作进度,甚至造成损失。因此,要严格按照有关规范、规程的要求,对测量数据进行认真复核和检查,不合格的成果一定要返工重测。为确保施工测量质量,在施工前必须对导线控制点和路线控制桩进行复测,施工过程中也要定期检查。放样时应尽量使用精良的测量设备,采用先进的测设方法。

路线中线的施工放样又称为恢复中线。一般有两种放样方法,即导线控制点放样和路线控制桩(交点桩、转点桩)放样。

用导线控制点放样中线,放样精度能得到充分的保障。在测量技术飞速发展的今天,测距仪的使用非常普遍,几乎所有的施工单位都有测距仪或全站仪,因而这种方法得到了广泛的应用,成为恢复中线的主要手段。二级及二级以上的公路必须采用导线控制点放样中线。

用路线控制桩来恢复中线有两种情况:一种情况是公路两旁未布设导线控制点,公路中线均用交点桩号、曲线元素(转角、半径、缓和曲线长)标定,施工单位只能根据路线控制桩来恢复中线;另外一种情况是由于施工单位没有测距仪,无法利用控制点,因此只能利用路线控制桩恢复中线。二级以下的公路可以用路线控制桩来恢复中线。

一、利用导线点进行中线放样

(一)导线点检测

施工现场的导线点是测设单位在进行路线设计时埋设的,期间还要经历设计、招投标等一系列活动,往往要经过很长一段时间才能施工。在这段时间内,导线点是否移位,精度如何,需要对其进行检测;另外,由于人为或其他原因,导线点丢失或遭到破坏,要对其进行补测;有的导线点在路基范围以内,需要将其移至路基范围以外。只有当这一切都完成无误时,方能进行施工放样工作。

1. 导线点的检测

通常情况下,导线点和水准点是合二为一的。导线点的检测主要是检查它的坐标是否正确。导线点检测的方法如图 1-7 所示,图中导线点 1、2...n-1、n、n+1 为已知的导线点(在标段起始端一定要注意与相邻标段的衔接),其坐标数据由监理工程师提供。

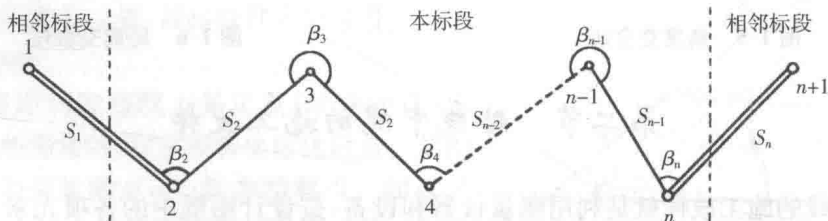


图 1-7 导线点的检测

线点检测分为测站检测和测段检测。测站检测主要检查相邻导线点之间的相对关系(角度、距离)与反算值的差值是否在误差容许的范围内。测段检查方法是在实测导线点转角和导线长的基础上,按测段全长对应的导线等级进行导线点的平差计算。

(1)测站检测。第一步:根据导线点 $1\sim n+1$ 的坐标(图纸提供的坐标数据)反算转角和导线边长。

首先计算出各条导线的坐标方位角(沿导线前进方向),再计算出导线的转角。

若转角为左角,则

$$\beta_{\text{左}} = \alpha_{\text{前}} - \alpha_{\text{后}} + 180^\circ$$

若转角为右角,则

$$\beta_{\text{右}} = \alpha_{\text{后}} - \alpha_{\text{前}} + 180^\circ$$

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

第二步:实地观测各转角 β_{i+1} 及导线边长 S_i ,当观测值与计算值满足下式时,则认为点的平面坐标和位置是正确的。施工单位可以利用现场的导线点以及图纸提供的每个导线点的坐标数据,进行平面点位放样。

$$|\beta_{i+1} - \overline{\beta_{i+1}}| \leq 2m_\beta = 16''$$

$$\left| \frac{S_i - \overline{S_i}}{S_i} \right| \leq \frac{1}{15000}$$

(2)测段检查。在测站检测的基础上,如果想使平面放样更加精确一些,还要把整条导线作为附合导线,进行导线测量,并按对应的导线等级的方位角闭合差和全长相对闭合差的精度要求进行控制,(下面各式中仅按二级导线精度介绍)进行计算,求出导线点 $3\sim n-1$ 的坐标。

具体做法如下。

第一步:计算角度闭合差。

$$f_\beta = (\alpha_{\text{始}} - \alpha_{\text{终}}) + \sum \beta_{\text{左}} - 180^\circ n$$

$$f_\beta = (\alpha_{\text{始}} - \alpha_{\text{终}}) + \sum \beta_{\text{右}} - 180^\circ n$$

$$f_\beta \leq f_{\beta\text{容许}} = \pm 16 \sqrt{n} \quad (\text{单位:}'')$$

第二步:导线全长相对闭合差。

①计算坐标增量闭合差。

$$f_x = \sum \Delta_{x\text{测}} - (x_{\text{终}} - x_{\text{始}})$$

$$f_y = \sum \Delta_{y\text{测}} - (y_{\text{终}} - y_{\text{始}})$$

②计算导线全长闭合差。

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

③计算导线全长相对闭合差。

$$K = \frac{f}{\sum D} \leq \frac{1}{10000} \quad (D \text{ 为导线边长})$$

第三步:计算出导线点 $3 \sim n-1$ 的坐标。

第四步:导线成果整理,报监理工程师审批。审批后,施工单位即可以利用现场的导线点以及成果表上每个导线点的坐标数据,进行平面点位放样。

注意事项:

①检测导线时,必须与相邻标段的导线闭合。

②防止在标段衔接处出现路中线错位或断高。

③在施工前的第一次检测如果坐标值改动很小,则不需要改变导线点坐标值,如果改动值较大,就应该检查相对关系变化大的段落,重新分段,找出可能移动的导线点,并修改其坐标值。

④施工开始后的联测不要轻易再改变导线点的坐标,以免对已建成的部分产生影响。

2. 导线控制点的补测与移位

由于人为或其他的原因,导线控制点可能丢失或遭到破坏。如果是间断性的丢失,则可利用前方交会、支点等方法补测该点,或采用任意测站方法补测导线点。如果是连续丢失数点,则要用导线测量的方法补测。若将路基范围内的导线点移至路基范围以外,可根据移点的多少分别采用交会法或导线法,也可采用“骑马桩”法加以保护。

施工期间应定期(一般半年)对导线控制点进行检测。季节冻融地区,在冻融以后也要进行检测。发现导线控制点丢失后应及时补上,并做好对导线控制点(特别是原始点)的保护工作。

3. 高程控制测量

利用水准点进行高程放样之前,必须对水准点进行检测。通常情况下,导线点和水准点是合二为一的。水准点的检测主要是检查它的高程是否正确。只有水准点的高程是正确的,高程放样才准确可信。

水准点高程的检测和水准测量的方法一样,按照附合水准路线计算水准点高差闭合差 f_h ,当 $f_h \leq f_{\text{容许}}$ 时,进行高差闭合差的平差计算,算出每一个水准点的高程。进行水准点成果整理,报监理工程师审批。审批后,施工单位就可以利用现场的水准点以及成果表上每个水准点的高程数据进行高程放样了。高速公路和一级公路的水准点闭合差按四等水准 ($20\sqrt{L}$) 控制,二级以下公路水准点闭合差按五等水准 ($30\sqrt{L}$) 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》(JTJ041—2000) 的规定办理。若满足精度要求,则认为点的高程是正确的。

二、中桩坐标计算

(一)点 P 在直线段上

如图 1-8 所示, JD_n 的坐标为 (x_n, Y_n) , $JD_n \sim JD_{n+1}$ 的坐标方位角为 $\alpha_{n \sim n+1}$, 点 P 在 JD_n 与 JD_{n+1} 的直线段上, 则点 P 的坐标按下式求得:

$$X = X_n + (T_n + L_i - L) \cos \alpha_{n \sim n+1}$$

$$Y = Y_n + (T_n + L_i - L) \sin \alpha_{n \sim n+1}$$

式中 L_i, L —— P 点和 YZ (或 HZ)点的里程桩号;
 T_n ——切线长。

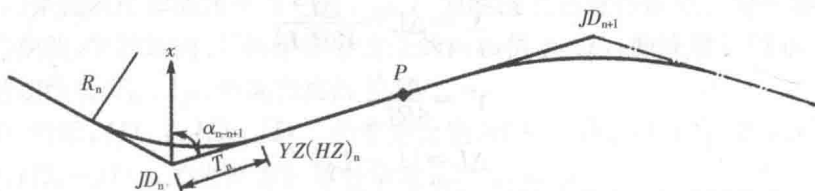


图 1-8 直线段坐标的计算

(二) 点 P 在平曲线段上

1. 点 P 在带有对称式缓和曲线的平曲线段上

如图 1-9 所示, JD_{n-1}, JD_n, JD_{n+1} 的坐标分别为 $(X_{n-1}, Y_{n-1}), (X_n, Y_n), (X_{n+1}, Y_{n+1})$, $JD_{n-1} \sim JD_n, JD_n \sim JD_{n+1}$ 的坐标方位角分别为 $\alpha_{n-1 \sim n}, \alpha_{n \sim n+1}$ 。

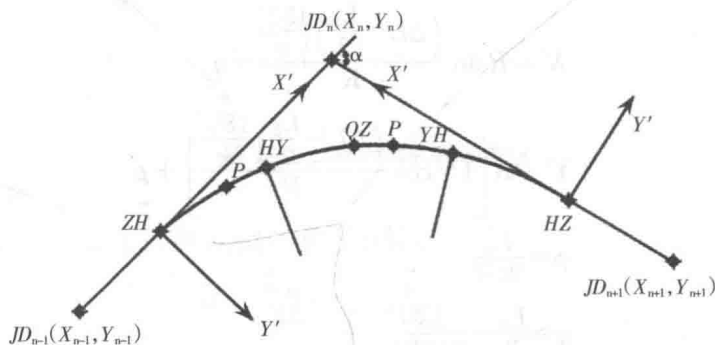


图 1-9 对称式缓和曲线

(1) 转角的计算。

转角 $\alpha = \alpha_{n \sim n+1} - \alpha_{n-1 \sim n}$, 负为左转, 正为右转。

(2) 中桩坐标的计算。

先根据交点的坐标、切线的坐标方位角与切线长, 采用导线坐标的计算方法, 计算主点 ZH, HZ 的坐标, 然后以 ZH 或 HZ 为坐标原点, 以向 JD_n 的切线为 X' 轴, 过原点的法线为 Y' 轴, 建立 $X'O'Y'$ 辅助坐标系(如图 1-9), 计算点 P 在辅助坐标系中的坐标 (X', Y') , 再利用坐标平移和旋转的方法将此坐标转化为路线坐标系中的坐标 (X, Y) 。

1) 主点坐标的计算。

$$X_{ZH} = X_n + T_h \cos(\alpha_{n-1, n} + 180^\circ)$$

$$Y_{ZH} = Y_n + T_h \sin(\alpha_{n-1, n} + 180^\circ)$$

$$X_{HZ} = X_n + T_h \cos \alpha_{n,n+1}$$

$$Y_{HZ} = Y_n + T_h \sin \alpha_{n,n+1}$$

2) 计算点 P 在坐标系 $X'O'Y'$ 中的坐标 (X', Y') 。

① 点 P 在缓和曲线段内, 则

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

$$Y' = \frac{\Delta L^3}{6RL_s}$$

$$\Delta L = |L_i - L_0|$$

式中 ΔL —— P 点到切点 (ZH 或 HZ) 间的曲线长度;

L_i —— P 点桩号;

L_0 —— ZH 或 HZ 桩号;

R ——圆曲线半径;

L_s ——缓和曲线长度。

② 点 P 在圆曲线段内, 则

$$X' = R \sin \left[\frac{(\Delta L - \frac{L_s}{2}) \frac{180^\circ}{\pi}}{R} \right] + q$$

$$Y' = R \left[1 - \cos \left[\frac{(\Delta L - \frac{L_s}{2}) \frac{180^\circ}{\pi}}{R} \right] \right] + p$$

$$p = \frac{L_s^2}{24R}$$

$$q = \frac{L_s}{2} - \frac{L_s^3}{240R^2}$$

式中 p ——内移值;

q ——切线增长值;

其余符号意义同前。

3) 坐标转换。

① 对于前半个曲线, 有

$$X = X_{ZH} + X' \cos \alpha_{n-1,n} - Y' \sin \alpha_{n-1,n}$$

$$Y = Y_{ZH} + X' \sin \alpha_{n-1,n} + Y' \cos \alpha_{n-1,n}$$

② 对于后半个曲线, 有

$$X = X_{HZ} + X' \cos(\alpha_{n,n+1} + 180^\circ) - Y' \sin(\alpha_{n,n+1} + 180^\circ)$$

$$Y = Y_{HZ} + X' \sin(\alpha_{n,n+1} + 180^\circ) + Y' \cos(\alpha_{n,n+1} + 180^\circ)$$

其中, 为了辅助坐标系旋转至大地坐标系, Y' 的符号有正有负, 当起点为 ZH 点, 曲线为

左偏时, Y' 取负值, 曲线为右偏时, Y' 取正值; 当起点为 HZ 点, 曲线为左偏时, Y' 取正值, 曲线为右偏时, Y' 取负值。

2. 点 P 在带有非对称式缓和曲线的平曲线段上

在 JD_n 处所设曲线为非对称式带有缓和曲线的平曲线, 其中 $L_{S1} > L_{S2}$ 。曲中点不在右角平分线上, 而是偏向缓和曲线短的一侧。点 P 为曲线上任意待放点。对于非对称式带有缓和曲线的平曲线, 先计算前、后半部分曲线的内移值 p_1 、 p_2 , 曲线增长值 q_1 、 q_2 , 前、后半部分曲线的切线长 T_{h1} 、 T_{h2} , 中间圆曲线长 L_Y 。

如图 1-10 所示, JD_{n-1} 、 JD_n 、 JD_{n+1} 的坐标分别为 (X_{n-1}, Y_{n-1}) 、 (X_n, Y_n) 、 (X_{n+1}, Y_{n+1}) , $JD_{n-1} \sim JD_n$ 、 $JD_n \sim JD_{n+1}$ 的坐标方位角分别为 $\alpha_{n-1 \sim n}$ 、 $\alpha_{n \sim n+1}$ 。

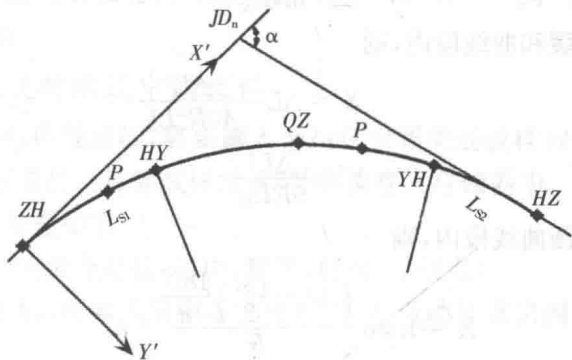


图 1-10 非对称式缓和曲线

(1) 基本计算。

转角 $\alpha = \alpha_{n \sim n+1} - \alpha_{n-1 \sim n}$, 负为左转, 正为右转。

$$p_1 = \frac{L_{S1}^2}{24R}, p_2 = \frac{L_{S2}^2}{24R}$$

$$q_1 = \frac{L_{S1}^2}{2} - \frac{L_{S1}^3}{240R^2}, q_2 = \frac{L_{S2}^2}{2} - \frac{L_{S2}^3}{240R^2}$$

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

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

$$L_Y = \frac{\pi}{180} \alpha R - \frac{L_{S1}}{2} - \frac{L_{S2}}{2}$$

(2) 中桩坐标的计算。

先根据交点的坐标、切线的坐标方位角与切线长, 采用导线坐标的计算方法, 计算主点 ZH、HZ 的坐标, 然后以 ZH 或 HZ 为坐标原点, 以向 JD_n 的切线为 X' 轴, 过原点的法线为 Y' 轴, 建立 $X'O'Y'$ 辅助坐标系, 计算点 P 在辅助坐标系中的坐标 (X', Y') , 再利用坐标平移和旋转的方法将此坐标转化为路线坐标系中的坐标 (X, Y) 。