

■ 高等学校理工科土木工程类规划教材

道路工程测量

ROAD SURVEY

伊晓东 编著



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

■ 高等学校理工科土木工程类规划教材

道路工程测量

ROAD SURVEY

伊晓东 编著



青 宋: 封面设计

定价: 24.00元

ISBN 958-5-2611-3883-0



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

道路工程测量/伊晓东编著. —大连:大连理工大学出版社, 2008. 5

ISBN 978-7-5611-3883-0

Ⅳ. U412.24 Ⅲ. 伊晓东. Ⅱ. 道路测量—高等学校—教材

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 011447 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

电话:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84704166

E-mail: dulp@dulp.cn URL: <http://www.dulp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm
2008 年 5 月第 1 版

印张: 11 字数: 243 千字
2008 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑: 梁 锋 唐立敏

责任校对: 黎 玉

封面设计: 宋 蕾

ISBN 978-7-5611-3883-0

定 价: 24.00 元

前 言

道路(线路)测量是道路工程施工中重要的组成部分,无论是从前期的道路勘测、设计,到中期的道路的施工开挖,再到后期的道路的运营和维护,都需要测量技术的支持和配合。道路工程测量应用的范围也非常广,从不同等级的公路、铁路建设,到不同地域包括陆地、水上、地下的分布,道路测量的技术呈现出多样性并与工程实际结合的特点。

本书以道路测量的理论为基础,以道路从勘测选线到施工、验收为主线,阐述了道路(桥梁)测量的基本理论和应用的基本技能。

近年来,测量新技术、新设备的不断出现,给道路施工测量带来了全新的工作模式。结合工程实际的发展,本书增加了与新设备和新技术紧密结合的内容,如全站仪任意设站、GPS 线路设计和定位等,以期用尽量简洁的语言和典型的工程实例,使学生在学习了本课程的基本知识后,在道路工程测量应用领域的知识面能得到进一步的拓展。

本书是在校内讲义基础上修改增补完成的,适于非测量专业的土木、交通类学生教学使用,也可供相关行业工程技术人员参考。

由于本人水平有限,错误和不足之处在所难免,望读者给予指正。

编者

2008 年 5 月

目 录

第1章 道路工程测量概论 /1

- 1.1 工程测量介绍 /1
- 1.2 道路工程测量浅析 /2
- 1.3 道路施工放样测量的一般方法 /4
- 思考题与习题 /9

第2章 道路工程测量的控制方法 /10

- 2.1 测量控制网及施工控制网 /10
- 2.2 测量坐标系与施工坐标系 /11
- 2.3 道桥施工控制网布设一般要求 /12
- 思考题与习题 /13

第3章 道路勘测及中线定线 /14

- 3.1 带状地形图测绘 /14
- 3.2 中线测量 /15
- 3.3 线路中线测量其他方法 /18
 - 3.3.1 任意测站的建立及坐标解算 /18
 - 3.3.2 任意测站的精度分析 /20
- 3.4 高斯投影换带及不同基准下的坐标转换 /21
 - 3.4.1 高斯-克吕格投影 /21
 - 3.4.2 不同基准下坐标转换 /24
- 思考题与习题 /26

第4章 道路工程纵横断面测量 /27

- 4.1 纵断面图测绘 /27
- 4.2 横断面图的测绘 /30
- 4.3 数字地面模型(DTM)在线路设计中应用 /34
- 思考题与习题 /36

第5章 道路平曲线测设 /39

- 5.1 概述 /39

5.2 圆曲线测设 /40

- 5.2.1 圆曲线要素及计算 /40
- 5.2.2 主点里程计算 /40
- 5.2.3 主点测设 /40
- 5.2.4 圆曲线细部测设 /41

5.3 复曲线、回头曲线测设 /45

- 5.3.1 复曲线测设 /45
- 5.3.2 回头曲线 /47

5.4 缓和曲线测设 /49

- 5.4.1 缓和曲线建立的方法 /49
- 5.4.2 有缓和曲线的圆曲线详细测设 /53

5.5 困难地段曲线测设 /57

- 5.5.1 虚交 /57
- 5.5.2 偏角法视线受阻 /59
- 5.5.3 曲线起点或终点遇障碍 /60
- 5.5.4 偏角法测设缓和曲线越过障碍方法 /61
- 5.5.5 缓和曲线 ZH 及 HZ 不能安置仪器情况 /62
- 5.5.6 长大曲线的测设 /63

5.6 限制条件下的各种曲线测设 /64

- 5.6.1 非完全缓和曲线 /64
- 5.6.2 解析法求解复曲线 /65
- 5.6.3 限定条件下的缓和曲线求解 /66

5.7 任意条件下自由测站曲线测设 /67

- 5.7.1 基于测站方向线与曲线交会放样方法 /67
- 5.7.2 基于虚拟测站方向线与曲线交会放样 /69

思考题与习题 /70

第6章 竖曲线测设 /72

- 6.1 抛物线型竖曲线测设 /72

道路工程测量

6.2 圆曲线代替竖曲线测设 /75

思考题与习题 /78

第7章 道路施工测量 /79

7.1 道路施工测量概述及规范 /79

7.2 施工测量主要方法 /79

7.2.1 路基放线 /80

7.2.2 施工边桩的测设 /81

7.2.3 竖曲线测设 /83

7.2.4 路面放线 /83

7.2.5 涵洞施工测量 /84

7.2.6 道路工程施工特点及注意事项 /85

思考题与习题 /86

第8章 桥梁工程施工测量 /87

8.1 桥梁工程测量概述及技术规范 /87

8.2 钢混结构桥梁施工测量方法 /88

8.2.1 小型桥梁的施工测量 /88

8.2.2 中型桥梁的施工测量 /91

8.3 钢结构斜拉桥梁施工测量方法 /94

8.3.1 桥梁施工测量基准与

施工控制 /95

8.3.2 缆索管精密定位测量 /96

8.3.3 上盖梁施工定位测量 /98

8.4 桥梁竣工测量及营运检测 /98

8.4.1 竣工测量 /98

8.4.2 营运检测 /100

思考题与习题 /102

第9章 道路竣工测量 /103

9.1 铁路工程竣工测量 /103

9.2 公路竣工测量 /105

思考题与习题 /109

第10章 地下线路工程测量 /110

10.1 隧道施工测量 /110

10.1.1 隧道施工控制 /110

10.1.2 隧道施工测量 /115

10.2 地下管线(沟)测量 /122

10.2.1 管道中线测量 /122

10.2.2 管道纵横断面测量 /123

10.2.3 明挖管道施工测量 /124

10.2.4 顶管施工测量 /128

10.2.5 管道竣工测量 /129

思考题与习题 /131

第11章 GPS在线路工程测量中的应用 /132

11.1 GPS原理及方法 /132

11.1.1 GPS系统组成 /132

11.1.2 GPS坐标系统 /132

11.1.3 GPS时间系统 /133

11.1.4 GPS定位基本原理 /134

11.2 GPS静态数据的采集与处理 /141

11.2.1 GPS控制网建立 /141

11.2.2 GPS观测误差来源 /142

11.2.3 GPS基线处理方法 /143

11.2.4 GPS坐标成果解算 /145

11.3 GPS线路设计与测量方法实现 /147

11.3.1 概述 /147

11.3.2 GPS线路设计 /147

11.3.3 用GPS-RTK放样

线路设计数据 /150

11.4 GPS线路测量实施 /151

11.4.1 概述 /151

11.4.2 线路GPS控制网的建立 /151

11.4.3 隧道工程中GPS控制

网建立方法 /152

11.4.4 地铁精密导线GPS测量 /153

11.4.5 基于RTK下的GPS道路

施工测量 /154

11.4.6 GPS用于桥梁施工结构检测 /155

思考题与习题 /156

第12章 线路测量实验 /157

实验一 偏角法放样缓和曲线 /157

实验二 弦基线法放样复曲线主点 /159

实验三 GPS-RTK线路中线放样认识 /162

附录

附录1 /166

附录2 /167

参考文献 /168

道路工程测量概论

1.1 工程测量介绍

测量学是一门具有悠久历史的实践性很强并服务于国民经济建设各个领域的信息学科,以 3S 技术(GPS、RS、GIS)和 4D 产品(DLG、DOM、DRG、DEM)为代表的当代测绘成果正为未来中国数字化的建设提供坚实的保障和基础,其中工程测量是其中主要的组成部分。

随着现代科技手段的进步和社会的发展,工程建设的项目愈来愈多,规模愈来愈大,内容也越来越复杂,这样对测量的工作也提出了更高、更有针对性的要求,而工程测量学学科也是在这种需求下不断形成和充实的。

国际测量工作者联合会 FIG(International Federation of Surveyors)设立的工程测量专业委员会(第六委员会),目的就是在世界范围内交流成就、探讨发展、寻求一种新的行业统一标准。图 1-1 为其组织结构图。

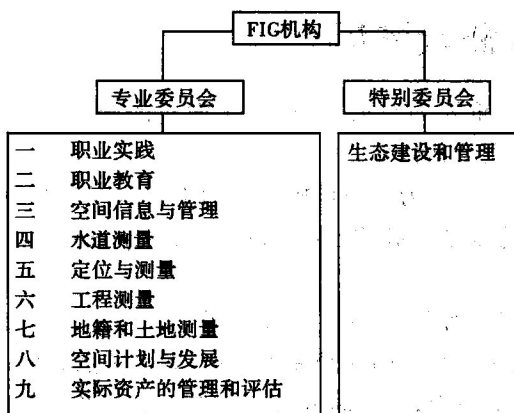


图 1-1 FIG 组织结构图

工程测量学,就其面对的对象范畴而言,包括工业建设测量、道路测量、桥涵测量、地下工程测量、水电测量及城市市政建设测量等,而在实际测量实践中,这些内容和方法之间又是相互联系的。

一般讲,工程测量的实施要包含在三个阶段中,即

(1)规划设计阶段:为项目规划的实施提供各种比例尺的地形图与相关的地形数据资料

和属性资料,并为施工准备期的地质勘探及水文测验提供位置及标高等。

(2)施工阶段:经过设计论证及勘测后,项目进入施工阶段。工程测量任务首先要将所设计的工程建筑物,按施工的要求在现场标定出来,作为实地修建的根据。首先,根据工地地形、工程性质及施工计划等,建立不同形式的施工控制网,作为定线放样的基础。之后,按照施工进度需求,采用各种放样方法,将图纸上设计的内容转移到实地。

在工程收尾完工时,还要进行工程的竣工测量,作为工程日后运行期间维护、管理的主要依据。

(3)经营管理阶段:在工程建筑物营运期间,为了了解其安全及稳定情况,确定其设计是否合理,需定期对工程建筑物位移、沉降、倾斜及摆动等实行变形观测。

设计图纸是工程师的语言,一般的工程结构都是通过各种图纸来反映,所以承担工程测量,必须善于识图与读图,才不至于工作得盲目和不合理。如规划测量前首先要了解该项工程的作用,总体布置特点及与周围环境关系。再如施工放样前,要了解工程的结构,掌握其各部分关系,熟悉施工的步骤、方法、现场的布置条件、工程的作用及要求,由此确定工程放样精度方案及放样的点与线,找出其间关系,算出它们的平面与高程位置等。

除此之外,作为为工程建设提供质量保障的测量工作还需做到以下几点:

(1)树立严格求实的态度,为保证测量成果的正确可靠,坚持做到测量、运算的质量保证体系,不符合技术规定的成果,一定要剔除并返工重测。

(2)测量人员要和施工人员紧密配合,了解工程的进展和工程设计的临时变更,以及对测量工作的不同要求,保证施工的顺利进行。

(3)测绘仪器是实施测量的工具,加强仪器的检核制度,保证设备工作的完好状态,是测量工作顺利完成的保障。

1.2 道路工程测量浅析

道路测量是工程测量重要的组成部分,由于面对的施工对象是公路、铁路、隧道、桥梁等,因而测量方法的处理也有其特点。

从广义上说,道路测量是指为交通设施进行的平面定线和竖直定线测量。一般来说,交通设施包括人员和货物的传输网络,即各等级的公路铁路、快速传输导轨、地上管线、地下管线及其配套工程。

道路交通是一个城市的血脉,经济的发展也需要道路建设带动。改革开放尤其是近20年以来,我国道路建设进入一个新的蓬勃发展时期,其中公路是整个网络中发展最快的交通设施,各种等级的公路应运而生,单是高速公路通车的里程数目前已排在世界第二位。而且伴随着技术的进步和经验的积累,施工的速度和道路的质量也有所提高。从沈大高速到广深高速,从杨浦大桥到青马大桥,从兰新复线到京九铁路,建设者们在不断地创造奇迹,而这些工程都具有施工标准高、建设周期短等特点,由此也给道路测量工作提出了更高的要求(图1-2,图1-3)。

道路的建设过程,要经过勘测、设计及施工几个阶段。勘测阶段包括踏勘、选线、中线测量、纵横断面测量、绘制线路平面图等主要内容。经过设计阶段的论证,在图纸上选定好线路后,再进行实际的地面上定线测量及施工放样;而在道路施工过程中测量所承担的工作包

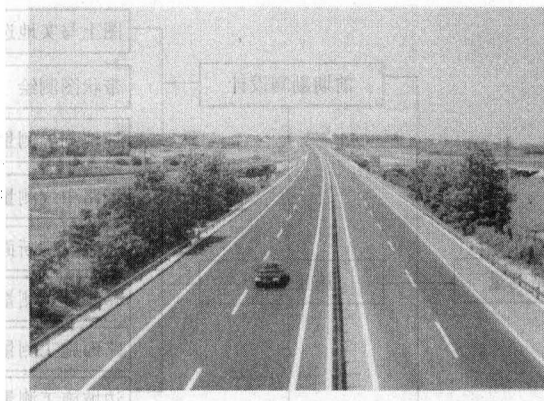


图 1-2 高速公路景观



图 1-3 杨浦大桥夜景

括线路土石开挖标高的检查,线路坡度及曲线的检查,桥梁、挡土墙、护坡等人工构造物的结构定位和标高的检查以及变形观测等;在施工完成后还需进行竣工测量以便绘制竣工图,确定所在工程竣工后的实际情况,为以后的改造或维护提供基础资料。另外的测量任务还有桥梁施工中桥墩桥台位置及跨越结构的工程各个部分定位,以及隧道、地铁开挖贯通定向等。

由此可知,从道路工程的规划、设计到竣工管理过程都需要测量工作。下面以公路测量在工程中所承担的主要任务为例简述测量所承担的角色:

- (1)熟悉图纸和施工现场;
- (2)公路中心线复测;
- (3)测设施工控制桩;
- (4)水准路线复测;
- (5)路基边坡桩的放样;
- (6)路面的放样;
- (7)其他。

图 1-4 反映了道路测量中各阶段测量内容的相互关系。

施工测量的方法既有它普遍的规律性,又有针对某些工程自身的特性,这主要是受设计

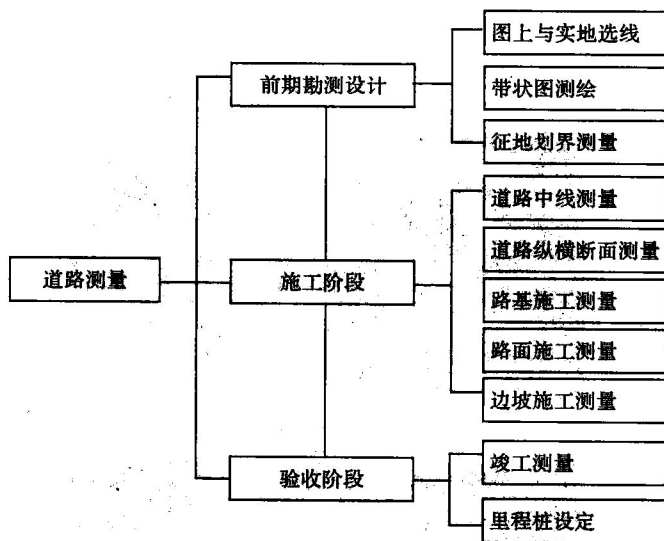


图 1-4 道路测量的过程

的对象、内容、标准以及施工现场条件等制约,因而实践中需要针对不同的条件来选取及创新,国内外有不少这方面宝贵经验可以借鉴。

仪器的改进,不仅使测量的质量得到更高保证,而且能把传统上较为复杂的问题化简,提高了效率,减少了测量的劳动强度,更能满足现代工程建设所要求的条件。如 GPS 在道路选线阶段的应用,可以使选线更灵活、快捷,并提高整体控制精度,全站仪的应用,不仅使各种道路曲线测设简化了不少,而且点位精度也提高了很多,而目前 GPS-RTK 的技术(卫星载波实时定位技术,如图 1-5 所示),更使道路施工测量在效率上达到了一个新的层次。

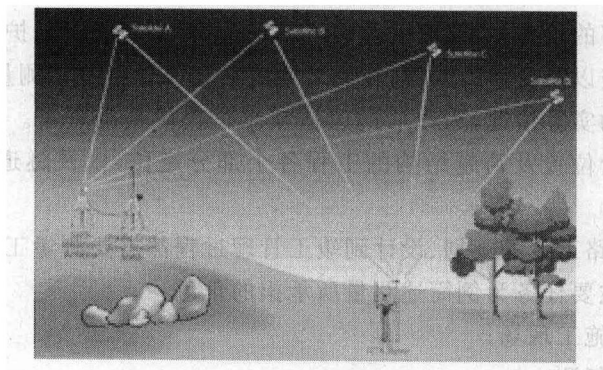


图 1-5 GPS-RTK 道路测量

本书主要讲述道路测量中一些最常遇见的问题及处理方法,以及不同性质道路工程施工中的一般过程,当然也会介绍现代测量技术在道路工程中的应用及其发展前景。

1.3 道路施工放样测量的一般方法

将图纸上选定的线路方案在实地标定出来就是道路放样主要工作,针对不同的施工内容和对象,道路放样选取的方法不同。关于放样的内容在一般参考书中均有介绍,本节仅介

绍每种放样方法的基本原理、适用条件及所达到的精度。

1. 极坐标法

这是道路测量中最经典的观测方法,也是一般工程放样常采用的方法。

本方法测站架设灵活,适于流动性作业,如图 1-6 所示。

在测量坐标系 xO_1y 中选取某控制点 O 为极点(测站点),其坐标为 $O(x_0, y_0)$,与另一已知点 A 的连线构成的起始方向为极轴(零方向线),起始方位角为 α_{OA} ,欲放样道路上某点 $P(x_P, y_P)$,则极坐标法实质就是确定 OP 的矢量大小,即

$$s_{OP} = |OP| = \sqrt{(x_P - x_0)^2 + (y_P - y_0)^2} \quad (1-1)$$

$$\alpha_{OP} = \arctan \frac{(y_P - y_0)}{(x_P - x_0)} \quad (1-2)$$

这种方法需要两个已知点 O, A 互相通视。如果采用全站仪实施,则放样更方便。

放样点点位中误差估算公式为

$$M_P = \pm \sqrt{m_s^2 + \left(\frac{m_\alpha}{\rho} s_{OP}\right)^2 + \tau^2 + m_e^2} \quad (1-3)$$

这里放样参数为 (α_{OP}, s_{OP}) , s_{OP} 为测站到放样点水平距离, α_{OP} 为测站到放样点坐标方位角, m_e 为测站对中误差, τ 为放样点标定误差, m_s 为测距误差, m_α 为测角中误差。

2. 直角坐标法

实际上直角坐标法是极坐标的一种特殊形式,此时有两条起始方向线互成 90° (或两彼此垂直的轴线)。如图 1-7 所示,放样时在交点 O 设测站并定义为坐标原点,顺序沿 x, y 方向量出 s_x 和 s_y 的长度,即定出 P 点,其中:

$$\begin{aligned} s_x &= x_P - x_0 \\ s_y &= y_P - y_0 \end{aligned} \quad (1-4)$$

本方法使用简单,对仪器要求不高,但须地势平坦、便于量距,适用于大型建筑场地施工等项目。

放样点点位中误差估算公式:

$$M_P = \pm \sqrt{m_s^2 (s_x^2 + s_y^2) + \tau^2 + m_e^2} \quad (1-5)$$

这里的放样参数为 (s_x, s_y) , m_s 为每 km 测距误差, s_x, s_y 均以 km 为单位。其余符号同上。

3. 方向线(角度)交会法

方向线交会适于大型工程尤其是桥梁工程中桥墩中心的放样。如图 1-8 所示, A, B 为已知控制点, P 为欲放样点,计算得到与 AP, BP 方向线对应的 α, β 角, AP 与 BP 交会处即欲放样点 P 。按前方交会公式, P 点坐标为

$$\begin{cases} x_P = \frac{x_A \cot \beta + x_B \cot \alpha + \Delta y_{AB}}{\cot \alpha + \cot \beta} \\ y_P = \frac{y_A \cot \beta + y_B \cot \alpha - \Delta x_{AB}}{\cot \alpha + \cot \beta} \end{cases} \quad (1-6)$$

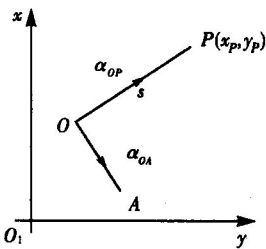


图 1-6 极坐标法

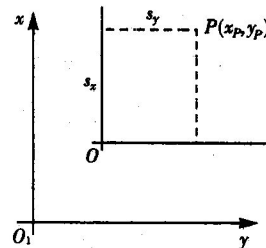


图 1-7 直角坐标法

而放样水平角变量 α, β 角按下式计算:

$$\begin{cases} \alpha = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} - \arctan \frac{y_P - y_A}{x_P - x_A} \pm 360^\circ \\ \beta = \arctan \frac{y_P - y_B}{x_P - x_B} - \arctan \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B} \pm 360^\circ \end{cases} \quad (1-7)$$

放样参数 (α, β) 为两交向边 (AP, BP) 与已知边 AB 夹角, 可根据放样精度的需要取相应的最小值。本方法适于不便量距的地方。

其放样点点位中误差按下式估算:

$$M_P = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \pm \frac{m_\alpha}{\rho} s \frac{\sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}}{\sin^2 \gamma} \quad (1-8)$$

式中, m_α 为测角精度; s 为 A, B 两点水平距离, $\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$ 。

另外要注意本方法精度选取具有方向性, 方向与交会角 γ 大小有关, 如图 1-9 所示, 测角误差椭圆显示的是交会角 γ 变化对 m_x, m_y 的影响。当 $\gamma < 30^\circ$ 时, 垂直于已知测站基线方向的误差 m_x 急剧增大, 而当 $\gamma > 150^\circ$ 时, m_y 则急剧增大, $\gamma = 90^\circ$ 时, 精度是分布在半径为 $r = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$ 的圆上, 即精度是均匀的。可以看出 γ 值必须在一定的限度内, 方能保证所需交会方向的定位精度。

4. 正倒镜投点法

本方法适于控制点间有障碍或方向线两端点无法安置仪器(如密集施工的桥梁工程中)的情形。一般选取其方向线连线上一点, 再进行放样点测设, 如图 1-10 所示, 首先在 AB 线附近一点设站 O' , 由于经纬仪视准轴 $2C$ 误差, 盘左、盘右后视瞄准 A 后, 须用倒镜投点, 分别可以得到 B_1, B_2 点, 如 O' 在 AB 线上, $B_1 B_2$ 之中点必与 B 重合, 否则需重定点 O' 。这种投点逐渐趋近法, 就是正倒镜投点法主要思想。

如图 1-11 所示, 最后结果是仪器由 O' 点定向于 O 点。

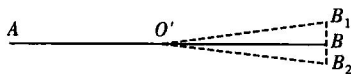


图 1-10 正倒镜投点法

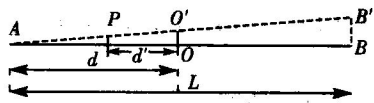


图 1-11 投点逐渐趋近

$$OO' = \frac{d}{L} BB' \quad (1-9)$$

忽略其他误差, 本方法放样点位误差主要为瞄准投点误差:

$$m = \pm \frac{60'' \sqrt{2}}{\rho V L} \sqrt{(d - d')^2 (L - d)^2 + L^2 d'^2} \quad (1-10)$$

式中, d' 为测站到放样点水平距离; V 为望远镜放大倍率, $\rho = 206\,265$ 。

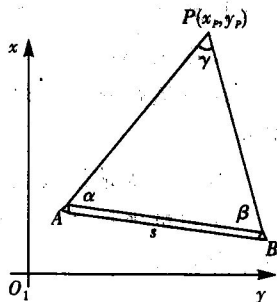


图 1-8 前方交会

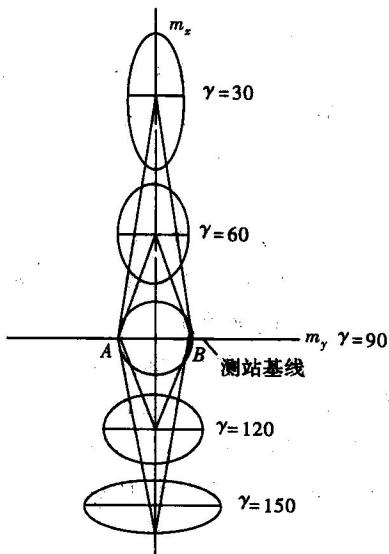


图 1-9 测角交会误差椭圆

本方法的放样参数为经纬仪盘左盘右投点时的方向线(l_L, l_R),它们需要较好的通视条件,精度与仪器本身及到瞄准目标的距离(包括测站口到后视点A的距离 d 与到前视放样点P的距离 d')有关。

附

式(1-10)的推证:

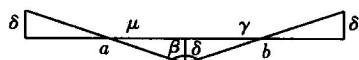


图 1-12

如图 1-12 所示, $\mu = \frac{\delta}{a} \rho''$, $\gamma = \frac{\delta}{b} \rho''$

$$180^\circ - \beta = \mu + \gamma = 2\delta \rho'' \left(\frac{a+b}{ab} \right)$$

$$\delta = \frac{ab}{2(a+b)} \frac{(180^\circ - \beta)}{\rho''}$$

结合图 1-11, $a+b=L$, $a=d$, $b=L-d$ 。

$$\delta = \frac{d(L-d)}{2L} \Delta\beta = \frac{L'(\mu+\gamma)}{2}$$

$$m_\delta = \frac{L}{\sqrt{2}} m_v$$

式中, $m_v = \frac{60''}{V}$

仪器本身投点瞄准过程误差:

$$m_{\text{瞄}} = \frac{60''\sqrt{2}}{\rho''V} d' = Kd' \quad (K = \frac{60''\sqrt{2}}{\rho''V})$$

测站偏心对投点P误差:

$$m_{\text{偏}} = \frac{d-d'}{d} m_\delta \text{ (测站相对瞄准点)}$$

而偏心引起的A、B点瞄准投点误差:

$$m_\delta = K \frac{d(L-d)}{L}$$

$$m = \sqrt{m_{\text{瞄}}^2 + m_{\text{偏}}^2}$$

$$= K \sqrt{d'^2 + \frac{d^2(L-d)^2(d-d')^2}{L^2 d^2}}$$

$$= \frac{K}{L} \sqrt{L^2 d'^2 + (d-d')^2 (L-d)^2}$$

5. 距离交会法

适于场地平整,量距短(最好在一个整尺段内)且方便的情况。如图 1-13 所示,AB 距离 s ,分别由已知点 A、B 向 P 交会距离 s_1, s_2 。 s_1, s_2 可由 P 点设计坐标与 A、B 点坐标按两点式计算。

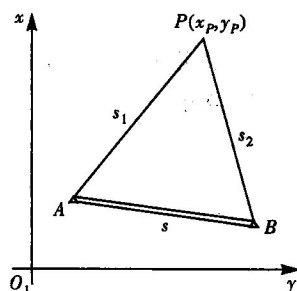


图 1-13 距离交会

利用距离交会公式,可以得到 P 点坐标式:

$$\begin{cases} x_P = x_A + (t\Delta x_{AB} - h\Delta y_{AB})/s \\ y_P = y_A + (t\Delta y_{AB} + h\Delta x_{AB})/s \end{cases} \quad (1-11)$$

式中, $t = \frac{1}{2s}(s^2 + s_2^2 - s_1^2)$, $h = \pm \sqrt{s_2^2 - t^2}$ 。(当三角形 APB 顺时针编号时取正,反之取负)

放样点点位中误差:

$$M_P = \frac{m_s}{s \sin \gamma} \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \quad (1-12)$$

放样参数为 (s_1, s_2) , s 以 km 为单位, s_1, s_2 为轴线上两已知点 A 、 B 至放样点 P 水平距离,而

$$\gamma = \arccos \frac{s_1^2 + s_2^2 - s^2}{2s_1 s_2}$$

距离交会法精度也有方向性,同样与交会角 γ 大小有关。比较图 1-9 的角度交会中误差椭圆随 γ 变化规律,距离交会中 γ 大小的变化对 m_x 、 m_y 影响方向正好与其相反。如图 1-14 所示, $\gamma > 150^\circ$ 时,垂直于已知测站基线方向的误差 m_x 急剧增大,而当 $\gamma < 30^\circ$ 时, m_y 则急剧增大。

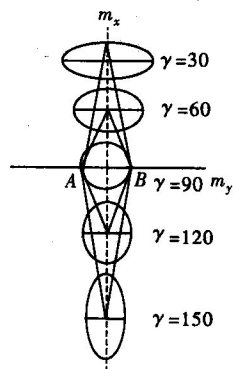


图 1-14 测边交会误差椭圆

【例 1-1】如图 1-15 所示,欲放某桥墩中心 P ,若不考虑已知点误差、对中误差和投点误差,设仪器方向观测中误差 $m_L = \pm 15''$, $D_{AB} = 950$ m。测距精度 $m_s = 5$ mm + 5 ppm,试计算 P 点坐标及 P 点点位中误差,已知点 $A(1\ 000, 1\ 000)$, $B(1\ 671.751, 1\ 671.751)$ 。

解 利用

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

可推求 $\alpha_{AB} = 45^\circ 00'$ 。再利用式(1-6),可以求得 P 点平面坐标:

$$x_P = 1\ 497.526, \quad y_P = 888.030$$

又

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

$$\beta_B = \alpha_{BP} - \alpha_{BA}$$

验算得 $\beta_A = 57^\circ 41'$, $\beta_B = 32^\circ 28'$, 则 $\beta_P = 89^\circ 51'$ 。

$$m_\beta^2 = m_{\alpha_{AB}}^2 + m_{\alpha_{AP}}^2 = 2m_L^2, \quad m_\beta = \sqrt{2} \times 15''$$

将相应数据代入上述不同放样方法的精度估算公式。

极坐标法:

由于

$$m_a = m_L, \quad \tau = 0, \quad m_e = 0, \quad m_s = 5 + 0.95 \times 5 = 9.75 \text{ mm}$$

$$M_P = \pm \sqrt{m_s^2 + \left(\frac{m_a D}{\rho}\right)^2 + \tau^2 + m_e^2} = \pm 0.070 \text{ m}$$

角度交会法:

$$M_P = \pm \frac{s_{AB} m_{\beta_A} \sqrt{\sin^2 \beta_A + \sin^2 \beta_B}}{\rho \sin^2 (\beta_A + \beta_B)} = \pm 0.097 \text{ m}$$

距离交会法:

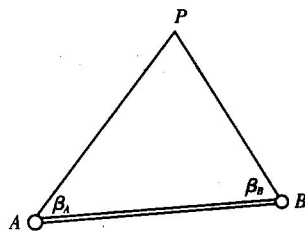


图 1-15

根据已知和设计坐标, $s_1 = 509.97 \text{ m}$, $s_2 = 802.85 \text{ m}$, 则

$$M_P = \pm \frac{m_s}{s \sin \gamma} \sqrt{s_1^2 + s_2^2} = \pm 0.010 \text{ m}$$

通过对上述几种放样方法和精度的分析, 结合道路测量的实际作业手段和环境, 可以总结如下:

(1) 相比其他方法, 极坐标法操作简单、灵活, 受地形限制少, 需要的起算数据和通视方向最少;

(2) 极坐标法对导线控制网条件的要求低, 放样的点位精度均匀。而交会法受图形形状约束大, 起算点精度要求也高;

(3) 极坐标法计算数据、人员设备需求少, 工作效率高。

因此本书后面介绍的线路放样方法以极坐标法为主。

近些年, GPS 定位技术已在公路勘测施工中逐渐推广, 其中 RTK 实时定位 (Real Time Kinematic) 技术给道路施工放样带来了革命性的变化, 就此本书后面也会有所介绍。

思考题与习题

1. 工程测量面对的对象有哪些? 主要贯穿在哪几个阶段?
2. 简述道路工程测量的内容及意义。
3. 如图 1-16 所示, 若不考虑已知点误差, 设测角中误差 $m_\beta = \pm 15''$, $D_{AB} = 150 \text{ m}$, 试计算 P 点坐标并估算其精度。
4. 分析现代道路施工技术发展对测量提出了什么条件和要求。
5. 如图 1-17 所示, 按方向交会法放样某桥墩中心 P , A 、 B 互相为零方向, 并设方向测量中误差 $m_L = \pm 20''$, $\alpha_{AB} = 75^\circ 00'$, 估算 P 点坐标及 P 点点位中误差, 已知点 A 坐标 $(1\ 000, 1\ 000)$ 。

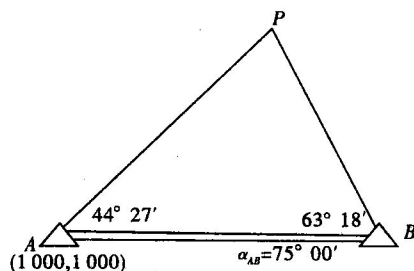


图 1-16

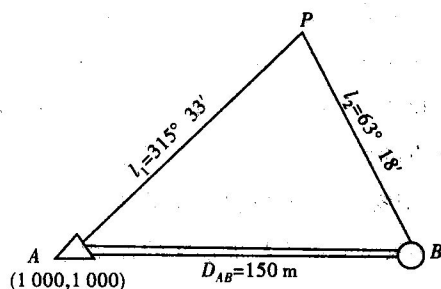


图 1-17

道路工程测量的控制方法

2.1 测量控制网及施工控制网

按第1章所述,工程测量要贯穿于整个施工过程,包括前期勘测到后期的管理,每一步的实施都需要以控制网的建立为基础。

无论是勘测阶段的地形图测绘还是工程施工时的定线放样,测量的实质即点位置的确定,为避免误差的累积,保证施测的各点之间都具有必要的精度,提高施工的质量和进度,在测量阶段与施工放样阶段,都提出了测量工作的基本原则,即“从整体到局部,先控制后碎部(细部)”的过程。

勘测阶段,首先在测区内,选定一些起骨干作用的点位,组成一定的几何图形,使用较精密的仪器和方法,测定其平面位置与高程。当然,方法及图形选取要依实际情况定夺。如在城区,由于通视困难,宜采用导线网方式,而在视野开阔的郊区或山区,宜采用三角网测量的方式,两者互有优缺点,有时也可以互为补充。通过后期的测量数据处理(测量平差),所获得的点位坐标精度较高,起着整体控制的骨干作用,即为控制点,而这些点所构成的网形称为控制网,从工作的分类有平面与高程控制测量。

所有的控制测量工作最后都要与高级控制点(已知点)联测,后者是由国家与城市控制网组成,其中国家控制网是按“由高级到低级”的原则逐级布设,分为一、二、三、四四个等级,城市控制网是在国家网基础上扩展加密的控制网,这些点的资料都可从城规等部门获得。

对于施工测量阶段,其主要内容包括:(1)施工前的施工控制网建立;(2)建筑物的放样工作;(3)检查、验收工作;(4)变形观测工作。

可看出,其应遵循总体到局部的原则,首先建立面向施工对象的专门施工控制网,然后进行主要部位的轴线定线工作,再后,由这些建筑轴线进行工程的更细部的放样。

施工控制网布设形式也是多样的,这与面对的工程性质及周围条件有关,应根据总平面设计图与施工地形条件确定。如对跨河的桥梁工程宜采用三角网(大地四边形)形式,如图2-1所示;对于工业场地开发采用规则矩形格网(建筑方格网)形式,如图2-2所示;对于道路勘测则采用附和导线形式,如图2-3所示,等。

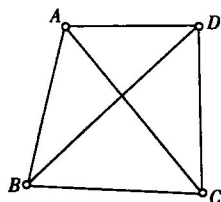


图 2-1 大地四边形

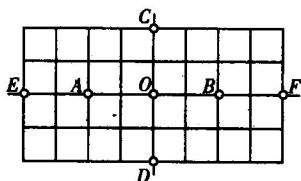


图 2-2 建筑方格网

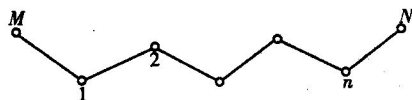


图 2-3 附和导线

有时也可以采用先期测量控制网的数据作为部分施工测量的根据。当然两者之间也是有区别的。如测图控制网,建立的目的是为测图服务,点位选取由地形条件确定,它不可能考虑建筑物总体布置,因而点位分布及密度方面都不能满足施工放样需求。从精度说,测图控制网由测图比例尺决定,施工控制网则考虑工程对象的性质,一般其精度要高于前者。另外相对于测图控制网,一般的施工控制网有如下特点:

- (1) 控制的范围小,控制点的密度大,精度要求高;
- (2) 使用频繁;
- (3) 受施工干扰。

因而施工控制网布设应作为整个工程施工设计的一部分,布网时,要考虑到施工的程序、方法以及施工场地的布置情况。

2.2 测量坐标系与施工坐标系

测量坐标系采用高斯投影改化后的高斯平面直角坐标系,而在实际施工时,由于在设计总平面图上,建筑物的平面位置尺寸主要依轴线间平行垂直关系标定,故为施工放样方便,要建立以建筑物的主要轴线作为坐标轴的局部坐标系,亦即施工坐标系。例如在道路施工中,可以道路中线为坐标轴实施,曲线隧道用其一条切线,当两者发生联系时,应进行坐标换算,使不同坐标系坐标统一,按图 2-4 所示,则应有式(2-1)的换算关系:

$$\begin{cases} x = x_{O_1} + A \cos \alpha - B \sin \alpha \\ y = y_{O_1} + A \sin \alpha + B \cos \alpha \end{cases} \quad (2-1)$$

$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_{O_1} \\ y - y_{O_1} \end{pmatrix} \quad (2-2)$$

式中, α 为两坐标系共边时的坐标方位角之差, $\alpha = \alpha_{xy} - \alpha_{AB}$, 或上图中 a 轴的坐标方位角。

利用双点共点坐标成果,代入式(2-1),并进行换算,得

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta A & -\Delta B \\ \Delta B & \Delta A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix} \quad (2-3)$$

式中, $\Delta A = A_2 - A_1$; $\Delta B = B_2 - B_1$, 1, 2 为任选两点。

可求出 $\sin \alpha, \cos \alpha$:

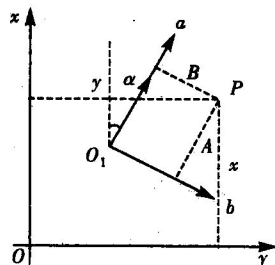


图 2-4 两种坐标系关系