

高等学校试用教材

测 量 学

Ce Liang Xue

(公路与城市道路、桥梁、隧道工程专业用)

钟孝顺 主编
聂 让
贺国宏 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材共分十三章。第一章至第五章阐述测量学的基本知识和测量仪器的操作使用方法;第六章介绍测量误差基本知识;第七章叙述小区域控制测量,包括平面控制和高程控制的施测与计算方法;第八章介绍地形图的测绘和应用,主要叙述大比例尺地形图的测绘方法和地形图在道路、桥梁、隧道工程上的应用;第九章介绍摄影测量的基本知识;第十章和十一章阐述道路中线测量、纵横断面测量;第十二章介绍桥梁测量;第十三章介绍隧道测量。

本教材可供公路与城市道路工程、桥梁工程、隧道工程等专业作为“测量学”课程的教材,也可供工程技术人员参考。

高等学校试用教材

测量学

(公路与城市道路、桥梁、隧道工程专业用)

钟孝顺 主编

聂 让

贺国宏 主审

插图设计: 正文设计:崔凤莲 责任校对:尹 静

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 字数: 千

199 年 月 第1版

199 年 月 第 版 第 次印刷

印数: 册 定价: 元

ISBN 7-114- -

前 言

本教材适用于公路与城市道路工程、桥梁工程、隧道工程专业,简明扼要地阐述测量学的基本理论以及仪器的操作和计算方法,在取材上尽量做到精练内涵,由浅入深,通俗易懂,从常规技术到新技术、新方法,较全面地介绍测量学近年来的科学技术成就,并突出介绍其在高等级公路、桥梁、隧道等工程上的应用。

本教材共分十三章。第一、二、八、九章由钟孝顺编写;第三、五、十、十一章由聂让编写;第六、十三章由张西利编写;第七、十二章由雒应编写;第四章由王湘曦编写。由钟孝顺、聂让统稿全书。

全书由长沙交通学院贺国宏审定。

编 者
1996年5月

目 录

第一章 绪论.....	1
§ 1-1 测量学的任务与作用	1
§ 1-2 测量学在道路、桥梁、隧道工程中的应用	1
§ 1-3 地球的形状和大小	2
§ 1-4 地面点位的确定	3
§ 1-5 用水平面代替水准面的限度	6
§ 1-6 测量工作的基本概念	7
思考题与习题	10
第二章 水准测量	11
§ 2-1 高程测量的概念	11
§ 2-2 水准测量的原理	11
§ 2-3 水准仪和水准尺	12
§ 2-4 水准测量的实施及成果整理	17
§ 2-5 水准仪的检验与校正	22
§ 2-6 自动安平水准仪	25
§ 2-7 精密水准仪和水准尺	27
§ 2-8 水准测量误差及注意事项	28
思考题与习题	30
第三章 角度测量	31
§ 3-1 角度测量原理	31
§ 3-2 光学经纬仪	31
§ 3-3 水平角测量	36
§ 3-4 竖直角测量	40
§ 3-5 经纬仪的检验与校正	43
§ 3-6 水平角测量误差	46
§ 3-7 光学经纬仪竖盘指标自动归零装置	49
§ 3-8 电子经纬仪测角原理	50
思考题与习题	53
第四章 距离测量和直线定向	55
§ 4-1 钢尺量距	55
§ 4-2 直线定向	61
§ 4-3 方位角测量	62
思考题与习题	67
第五章 电磁波测距仪与全站仪	68

§ 5-1	概述	68
§ 5-2	红外测距仪的基本原理	69
§ 5-3	测距仪的使用	70
§ 5-4	测距成果的改正计算	73
§ 5-5	测距仪的检验	74
§ 5-6	测距仪的测距误差分析	77
§ 5-7	全站仪	79
§ 5-8	仪器使用的注意事项和养护	91
	思考题与习题	91
第六章	测量误差基本知识	93
§ 6-1	观测误差及其分类	93
§ 6-2	偶然误差的统计特性	94
§ 6-3	评定观测值精度的标准	96
§ 6-4	误差传播定律及其应用	98
§ 6-5	直接观测平差	103
	思考题与习题	111
第七章	小区域控制测量	112
§ 7-1	概述	112
§ 7-2	导线测量	113
§ 7-3	小三角测量	123
§ 7-4	交会定点	132
§ 7-5	坐标换带计算	136
§ 7-6	GPS 卫星全球定位系统简介	138
§ 7-7	三、四等水准测量	142
§ 7-8	三角高程测量	144
	思考题与习题	146
第八章	地形图的测绘和应用	149
§ 8-1	地形图的基本知识	149
§ 8-2	大比例尺地形图的测绘	159
§ 8-3	地形图的检查、拼接与整饰	171
§ 8-4	地形图的应用	172
	思考题与习题	177
第九章	摄影测量的基本知识	179
§ 9-1	概述	179
§ 9-2	像片图的编制与调绘	182
§ 9-3	像片的立体观察与立体量测	186
§ 9-4	立体测图简介	190
§ 9-5	数字地面模型	192
§ 9-6	地面立体摄影测量	196
	思考题与习题	199

第十章 道路中线测量.....	200
§ 10-1 中线测量概述.....	200
§ 10-2 交点和转点的测设.....	200
§ 10-3 路线转角的测定和里程桩设置.....	203
§ 10-4 圆曲线的主点测设.....	205
§ 10-5 圆曲线的详细测设.....	206
§ 10-6 虚交.....	209
§ 10-7 复曲线的测设.....	212
§ 10-8 回头曲线的测设.....	212
§ 10-9 缓和曲线的测设.....	214
§ 10-10 道路中线逐桩坐标计算.....	219
§ 10-11 用全站仪测设道路中线.....	224
思考题与习题.....	225
第十一章 路线纵、横断面测量.....	227
§ 11-1 概述.....	227
§ 11-2 基平测量.....	227
§ 11-3 中平测量.....	228
§ 11-4 横断面测量.....	231
§ 11-5 道路施工测量.....	234
思考题与习题.....	237
第十二章 桥梁测量.....	239
§ 12-1 概述.....	239
§ 12-2 桥位控制测量.....	240
§ 12-3 桥轴线纵断面测量.....	246
§ 12-4 河流比降测量.....	248
§ 12-5 桥台、桥墩施工测量.....	249
§ 12-6 涵洞施工测量.....	253
思考题与习题.....	254
第十三章 隧道测量.....	255
§ 13-1 概述.....	255
§ 13-2 地面控制测量.....	255
§ 13-3 竖井联系测量.....	257
§ 13-4 地下控制测量.....	262
§ 13-5 施工测量.....	264
§ 13-6 贯通误差预计.....	268
思考题与习题.....	274
参考文献.....	275

第一章 绪 论

§ 1-1 测量学的任务与作用

测量学是研究如何测定地面点的平面位置及高程,如何将地球表面的地貌及其它信息测绘成图,如何确定地球的形状和大小,并将设计图上的工程构造物放样到地上的科学。它的任务与作用包括测绘和测设两个方面。测绘是测定地球表面的自然地貌及人工构造物的平面位置及高程,并按一定比例尺缩绘成图,供国防工程及国民经济建设的规划、设计、管理和科学研究用。测设是将设计图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。

测量学科按其研究的对象和应用的范围可分为以下几门主要课程:

普通测量学——研究将地球表面局部地区的地貌及人工构造物测绘成大比例尺地形图的基本理论和方法的科学,是测量学的基础。

大地测量学——研究地球表面大区域的点位测定以及整个地球的形状、大小和地球重力场测定的理论和方法的科学。

摄影测量学——研究利用摄影或遥感技术获取被测地表物体的信息(影形或数字),进行分析处理,绘制成地形图或数字模型的理论和方法的科学。

工程测量学——研究工程建设在规划、设计、施工、运行、管理等各阶段进行的测量工作的理论和方法的科学。

制图学——研究将地球表面的点、线经过投影变换后绘制成满足各种不同要求的地图、海图的科学。

在国民经济建设的勘测、设计、施工、竣工及养护维修等各阶段都需要测绘工作,在国防建设中也不例外,地形图便是战略部署的重要资料之一。随着科学技术的发展,测绘科学在国民经济建设和国防建设中的作用将日益扩大。近年来,在地震预测、海底资源勘测、近海油井钻探、地下电缆埋设、灾情监视与调查、宇宙空间技术以及其他科学研究方面都越来越多地用到测绘技术。

本教材主要阐述普通测量学和道路、桥梁、隧道工程的测量基本内容,简称测量学。

§ 1-2 测量学在道路、桥梁、隧道工程中的应用

测量工作在道路、桥梁、隧道工程建设中起着重要的作用。为获得一条最经济、最合理的路线,首先要进行路线勘测,绘制带状地形图和纵、横断面图,进行纸上定线和路线设计,并将设计好的路线平面位置、纵坡及路基边坡等在地面上标定出来,以便指导施工。当路线跨越河流时,拟设置桥梁跨越之前,应测绘河流两岸的地形图,测定桥轴线的长度及桥位处的河床断面,桥位处的河流比降,为桥梁方案选择及结构设计提供必要的的数据。施工时,将桥墩、桥台的位置

在实地放样到位,也要进行测设。当路线跨越高山时,为了降低路线的纵坡,减少路线的长度,多采用隧道穿越高山。在隧道修建之前,应测绘隧址处的大比例尺地形图,测定隧道轴线、洞口、竖井等的位置,为隧道设计提供必要的数据。在隧道施工过程中还需要不断地进行贯通测量,以保证隧道构造物的平面位置和高程正确贯通。

道路、桥梁、隧道工程竣工后,要编制竣工图,供验收、维修、加固之用。在营运阶段要定期进行变形观测,确保道路、桥梁、隧道构造物的安全使用。可以说,路、桥、隧的勘测、设计、施工、竣工及养护维修的各个阶段都离不开测量技术。因此,作为一位路、桥、隧的专业技术人员,必须具备测量学的基本理论、基本知识和基本技能,才能为我国的交通事业多作贡献。

§ 1-3 地球的形状和大小

地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地及海洋等起伏状态,就整个地球而言,海洋的面积约占 71%,陆地面积约占 29%。测量工作是在地球表面上进行的,所以必须知道地球的形状和大小。

地球的自然表面极不规则,世界最高的珠穆朗玛峰高达 8 848.13m,最深的马里亚纳海沟深达 11 022m。尽管有这样大的高低起伏,但它们均小于地球半径 6 371km 的 0.17%,故对地球总的形状的影响可忽略不计。由于地球表面 71% 被海水所覆盖,所以可以把海水所覆盖的

形体看作地球总的形状,设想有一个静止的海水面,向陆地延伸,形成一个封闭的曲面,这个曲面称为水准面。水准面的特性是它处处与铅垂线成正交,符合这一特性的水准面有无数个,其中通过平均海水面的那个水准面称为大地水准面。如图 1-1 所示。

由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线方向不规则变化,致使大地水准面成为一个复杂的曲面。如果将地球表

图 1-1

面上的图形投影到这个复杂的曲面上,将对测量计算和绘图带来很多困难,为此选用一个非常接近大地水准面,并可用数学式表达的几何形体来代表地球的总形状,这个数学形体称为旋转椭球体,如图 1-1c),其包围它的面称为旋转椭球面。

旋转椭球体是由一椭圆(长半轴为 a ,短半轴为 b)绕其短半轴 b 旋转而成的椭球体。椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 是决定旋转椭球体的形状和大小的元素,随着测绘科学的进步,可以越来越精确地测定这些元素。目前,国际上公认的数值为

$$\text{长半轴} \quad a = 6\,378.137\text{km}$$

$$\text{短半轴} \quad b = 6\,356.752\text{km}$$

$$\text{扁率} \quad = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.253}$$

由于地球椭球体的扁率很小,当测区不大时,可将地球当作圆球,其半径的近似值为

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6371\text{km}$$

§ 1-4 地面点位的确定

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置,通常是确定地面点在球面或平面上的投影位置,以及地面点到大地水准面的铅垂距离,也就是确定地面点的空间位置的坐标和高程。

一、地面点的坐标

地面点的坐标可根据不同的用途,在地理坐标、高斯平面直角坐标、平面直角坐标中选用。

(一) 地理坐标

在大区域内地面点的位置,以球面坐标系来表示。用经度、纬度表示地面点在球面上的位置,称为地理坐标。地理坐标又因采用的基准面、基准线及测量计算坐标方法的不同而分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

1. 天文地理坐标

用天文经度 和天文纬度 表示地面点在大地水准面上的位置,称为天文地理坐标。如图 1-2 所示,过地面上任一点铅垂线与地轴 N - S 所组成的平面称为该点的子午面,过英国格林威治天文台的子午面称为首子午面。子午面与球面的交线称为子午线或称为经线。球面上 F 点的天文经度 是过 F 点的子午面与首子午面所夹的二面角。自首子午线向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经,向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。

垂直于地轴并通过球心的平面称为赤道面。赤道面与球面的交线称为赤道。垂直于地轴且平行于赤道的平面与球面的交线称为纬线。球面上 F 点的纬度是过 F 点的铅垂线与赤道面的夹角,用 表示。纬度从赤道起向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬,向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。例如:北京市中心的天文地理坐标为东经 $116^\circ 24'$,北纬 $39^\circ 54'$ 。

图 1-2

2. 大地地理坐标

用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在旋转椭球面上的位置,称为大地地理坐标,简称大地坐标。如图 1-3 所示,地面上任意点 P 的大地经度 L 是该点的子午面与首子午面所夹的二面角;P 点的大地纬度 B 是过该点的法线(与旋转椭球面相垂直的线)与赤道面的夹角。

大地经、纬度是根据大地原点(该点的大地经、纬度与天文经、纬度相等)的起算数据,再按大地测量得的数据推算而得。我国现采用陕西省泾阳县境内的国家大地原点为起算点,由此建立新的统一坐标系,称

图 1-3

为“1980 年国家大地坐标系”。过去,我国曾采用“1954 年北京坐标系”。

(二)高斯平面直角坐标

地理坐标是球面坐标,不能直接用来测图,测量上的计算和绘图最好在平面上进行。旋转椭球面是一个曲面,不能简单展成平面,测量上将旋转椭球面上的点位换算到平面上,称为地图投影。我国采用高斯投影的方法(如图 1-4a),设想将截面为椭圆的一个圆柱面横套在旋转椭球外面,并与旋转椭球面上某一条子午线 $NO S$ 相切,同时使圆柱的轴位于赤道面内,且通过椭球中心,相切的子午线称为高斯投影面上的中央子午线。将旋转椭球面上的 M 点,投影到横圆柱面上得 m 点,将圆柱面剪开,展成平面如图 1-4b)所示,这个平面为高斯投影平面。

图 1-4

在高斯投影平面上,中央子午线投影的长度不变,其余子午线其长度大于投影前的长度,离中央子午线愈远长度变形愈大。为使长度变形不大于测量的精度范围,高斯投影的方法从格林威治零子午线(又称首子午线)起每隔经差 6° 为一带,自西向东将整个地球分成 60 个带,各带的带号 N 为阿拉伯数字 1、2、...60,如图 1-5 所示。第一个 6 带的中央子午线的经度为 3° ;任意一个带的中央子午线经度 λ_0 可按下式计算:

图 1-5

$$\lambda_0 = 6N - 3 \quad (1-1)$$

或中 N 为投影带号。

例:北京市中心的经度为 $116^\circ 24'$,求其所在高斯投影 6 带的带号 N 及该带的中央子午线经度 λ_0 。

$$N = \text{INT} \frac{116.24}{6} + 1 = 20$$

$$\lambda_0 = 6 \times 20 - 3 = 117^\circ$$

在大比例尺测图中,要求投影变形更小,则可用3带,或1.5带,如图1-5b)所示。

在高斯平面直角坐标系中,以每一带的中央子午线的投影为直角坐标的纵轴 x ,向北为正,向南为负;以赤道的投影为直角坐标的横轴 y ,向东为正,向西为负;两轴交点 O 为坐标原点。由于我国领土位于北半球,因此 x 坐标值均为正值, y 坐标可能有正有负,如图1-6a)所示, $y_a = + 148\ 680.54\text{m}$, $y_b = - 134\ 240.69\text{m}$ 。为了避免出现负值,将每一带的坐标原点向西移 500km ,则每一点的横坐标值均为正值,如图1-6b) $y_a = 500\ 000 + 148\ 680.54 = 648\ 680.54\text{m}$, $y_b = 500\ 000 - 134\ 240.69 = 365\ 759.31\text{m}$ 。为了根据横坐标值能确定某一点位于哪一个6带内,一般在横坐标前冠以带号,例如A点位于第20带,则其横坐标值为 $y_a = 20\ 648\ 680.54\text{m}$ 。

图 1-6

(三)平面直角坐标

当测区的范围较小时,可以把测区的球面当作平面看待,用平面直角坐标来确定点位。测量上采用的平面直角坐标与数学上的基本相似,如图1-7所示,但坐标轴互换,象限顺序相反。测量上取南北线为标准方向,顺时针方向量度,这样便于将三角学的公式直接应用到测量计算上。

二、地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为绝对高程,又称海拔。如图1-8中的A、B两点的绝对高程为 H_A 、 H_B 。由于海水面受海潮、风浪等影响,它的高低时刻在变化,我国在青岛设立验潮站,进行长期观测,取黄海平均海水面作为高程基准面,并自1987年起用“1985年国家高程基准”,即青岛国家水准原点的高程: 72.260m 。

在局部地区,可以假设一个高程基准面作为高程的起算面,地面点到假设高程基准面的铅垂距离,称为假定高程或相对高程。如图1-8中A、B两点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。

地面上两点高程之差称为高差,以 h 表示。图1-8中A、B两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-2)$$

图 1-7

图 1-8

§ 1-5 用水平面代替水准面的限度

水准面是一个曲面,在曲面上的图形不破裂、不起皱是不可能展成平面的。因此,严格地讲,即使极小的水准面,如把它当作平面看待,也要产生变形。由于测量和制图过程中不可避免地产生误差,若小范围的水准面当平面看待时,其产生的变形误差小于测量和制图过程中产生的误差,则在这个小范围内用水平面代替水准面是合理的。以下讨论以水平面代替水准面对距离和高程的影响,以便明确可以代替的范围。

一、对距离的影响

如图 1-9 所示,设球面 P 与水平面 P A 点相切,A、B 两点在球面上的弧长为 D,在水平面上的长度为 D',地球的半径为 R,AB 所对的球心角为 α ,则

$$D = R\alpha$$

$$D' = R \operatorname{tg} \alpha$$

以水平长度代替球面上弧长所产生的误差为

$$\Delta D = D' - D = R \operatorname{tg} \alpha - R\alpha = R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha)$$

将 $\operatorname{tg} \alpha$ 按级数展开,并略去高次项,得:

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{1}{3} \alpha^3 + \dots$$

因而近似得:

$$\Delta D = R \left(\alpha + \frac{1}{3} \alpha^3 + \dots - \alpha \right) = R \frac{\alpha^3}{3}$$

以 $\alpha = \frac{D}{R}$ 代入上式得:

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2}$$

图 1-9

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-3)$$

以地球半径 $R = 6371\text{km}$ 代入上式, 并取不同的 D 值计算, 可求得距离的相对误差 $\Delta D/D$ 如表 1-1。

表 1-1 所示当距离为 10km 时, 以平面代替曲面所产生的距离误差为 $1:122$ 万, 这样小的误差, 就是在地面上进行最精密的距离测量也是容许的。因此, 在 10km 的范围内, 即面积约 320km^2 内, 以水平面代替水准面所产生的距离误差可以忽略不计。对于精密度要求较低的测量, 还可以将这一范围扩大到 25km 。

用水平面代替水准面的距离误差和相对误差

表 1-1

距 离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{cm})$	相对误差 $\Delta D/D$	距 离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{cm})$	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1:1 220 000	50	102.7	1:49 000
25	12.8	1:200 000	100	821.2	1:12 000

二、对高程的影响

在图 1-9 中, A 、 B 两点在同一水准面上, 其高程应相等。 B 点投影到水平面上得 B' 点, 则 BB' 即为水平面代替水准面所产生的高程误差, 或称为地球曲率的影响。

设 $BB' = h$ 则

$$(R+h)^2 = R^2 + D^2$$

化简得:

$$h = \frac{D^2}{2R+h}$$

上式中, 用 D 代替 D , 同时 h 与 $2R$ 相比可略去不计, 则

$$h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-4)$$

以不同距离 D 代入上式, 得相应的高程误差值列于表 1-2 中。

由表 1-2 可知, 以水平面代替水准面, 在 1km 的距离内高程误差就有 8cm 。因此, 当进行高程测量时, 即使距离很短也必须顾及水准面曲率 (即地球曲率) 的影响。

用水平面代替水准面的高程误差

表 1-2

D (km)	0.1	1	2	5	10
h (cm)	0.08	8	31	196	785

§ 1-6 测量工作的基本概念

一、测量工作的基本原则

测量工作中将地球表面的形态分为地物和地貌两类。地面上的河流、道路、房屋等称为地物; 地面高低起伏的山峰、沟、谷等称为地貌。地物和地貌总称为地形。测量学的主要任务是测绘地形图和施工放样。不论采用何种方法, 使用何种仪器进行测量或放样, 都会给其成果带来

误差。为了防止测量误差的逐渐传递,累积增大到不能容许的程度,要求测量工作遵循在布局上“由整体到局部”、在精度上“由高级到低级”、在次序上“先控制后细部”的原则。以下分别阐述这个原则在测绘地形图和施工放样上的应用。

(一) 测绘地形图

如图 1-10a)所示,要在 A 点上测绘该测区所有的地物和地貌是不可能的,在 A 点只能测

图 1-10

量附近的地物和地貌,对位于远处的地物和山背后的地貌就观测不到,因此,需要在若干点上分区观测,最后才能拼成一幅完整的地形图(如图 1-10b)。实际测量时,应在测区范围内选择若干个具有控制意义的点(A、B、C、D、E),称为控制点,用较严密的方法、较精密的仪器测定这些控制点的平面位置和高程,再根据控制点观测周围的地物和地貌。这样可以控制测量误差的大小和传递的范围,使整个测区的地形图精度均匀。

(二) 施工放样

施工放样(又称施工测量)指把图上设计的建筑物位置在实地标定出来。如图 1-10b)所示,在控制点 A、F 附近设计的建筑物 P、Q、R(图中虚线),施工前需在实地定出它们的位置。根据控制点 A、F 及建筑物的设计坐标,可求出水平角 α_1 、 α_2 和水平距离 D_1 、 D_2 ,然后分别在控制点 A、F 上用仪器定出水平角 α_1 、 α_2 所指的方向,并沿这些方向量出水平距离 D_1 、 D_2 ,在实地定出 1、2 等点,这就是设计建筑物的实地位置。由于 A、B……E、F 是控制点,它们是一个整体,因此不论建筑物的范围多大,由各个控制点定出的建筑物位置,必能联系成为一个整体。同样可以根据控制点的高程测设建筑物的设计高程。由此可见施工放样同样需要按照“由整体到局部”的测量原则。

二、控制测量的概念

控制测量包括平面控制测量和高程控制测量。

(一)平面控制测量

平面控制测量又分为三角测量和导线测量。

三角测量是将选择的控制点连成三角形,并构成锁状和网状,如图 1-11 所示。测定三角形的三内角和其中某些边长(称为基线),然后推算控制点(三角点)的坐标;或测定三角形的三内角和三边长,同样可推算三角点的坐标。我国基本的平面控制网,主要是采用三角测量的方法建立的。三角测量分成四个等级,一等精度最高,由纵横交叉的三角锁组成,如第七章图 7-1 所示,锁段长 200km,两端基线长不小于 5km,三角形边长为 20~25km。二等三角网布置在一等三角锁环内,构成网状,边长为 13km 左右。三、四等三角网为二等三角网加密,三等三角网点的边长一般为 8km,四等为(2~6km),是在三等网点的基础上加密。三、四等三角网是地形测量和工程测量的基础。

导线测量是指将控制点依次连成折线或多边形(如图 1-12 所示),测定所有转折角和边长,从而计算导线点的坐标。导线测量按其精度分为精密导线测量和图根导线测量。精密导线测量可以代替同级的三角测量;而图根导线测量则直接用于加密测图控制点,在小区域内,也可以作为独立的测图控制。

图 1-11

图 1-12

(二)高程控制测量

高程控制测量分为水准测量和三角高程测量。

我国高程控制测量是用水准测量的方法建立的,按其精度分为四等。一等水准测量的精度最高,三、四等水准测量除了用于加密二等水准网外,还直接为地形测量和工程测量提供高程控制点。

三、测量的基本工作

测量工作有外业与内业之分。在野外利用测量仪器和工具测定地面上两点的水平距离、角度、高差,称为测量的外业工作。在室内将外业的测量成果进行数据处理、计算和绘图,称为测量的内业工作。

综上所述,测量的基本工作是测角、量距、测高差,这些量是研究地球表面上点与点之间相对位置的基础。而测图、放样、用图是路、桥、隧工程技术人员的基本功。

思考题与习题

1. 测量学的基本任务是什么? 对你所学的专业起什么作用?
2. 什么叫水平面? 什么叫水准面? 什么叫大地水准面? 它们有何区别?
3. 什么叫绝对高程(海拔)? 什么叫相对高程? 什么叫高差?
4. 表示地面点位有哪几种坐标系? 各有什么用途?
5. 测量学中的平面直角坐标系和数学中的平面直角坐标系有何不同? 为何这样规定?
6. 某地的大地经度为 $109^{\circ}20'$, 试计算它所在 6 带的带号, 以及中央子午线的经度各多少?
7. 测量工作的基本原则是什么?

第二章 水准测量

§ 2-1 高程测量的概念

在地形图的测绘和工程的勘测设计及施工放样中,都必须测定地面点的高程。高程测量是根据一点的已知高程,测定该点与未知点的高差,然后计算出未知点的高程的方法。高程测量按使用的仪器和测量方法来分有水准测量、三角高程测量、气压高程测量三种。水准测量采用水准仪和水准尺根据水平视线测定两点的高差,一般适用于平坦地区,是一种精密的高程测量方法。三角高程测量是用经纬仪(或电磁波测距仪)测量竖直角和距离,用三角学的公式,计算两点间的高差,适用于丘陵或山区。三角高程测量的精度较水准测量低。气压高程测量是利用大气压与该气层距地面的高程(海拔)成反比的原理(也就是大气压的水银柱高度随地面高程增加而减少),将两个气压计放在两个不同高程的地点,同时读出气压,由其差数可以推算出两点的高差。气压高程测量一般用于踏勘测量和路线勘测上,其测量精度较前两种低。

水准测量是高程测量中最常用的方法。本章主要介绍水准测量的原理、水准仪的构造、施测方法及成果整理等。

§ 2-2 水准测量的原理

水准测量的原理是利用水准仪的水平视线,在已知高程点和未知高程点上竖立水准尺并读取读数,测定两点间的高差,从而可由已知点的高程推算出未知点的高程。

如图 2-1 所示,欲测点 A、B 两点的高差 h_{AB} ,先在 A、B 两点间安置水准仪,在 A、B 两点上各立水准尺,利用水准仪的水平视线对 A 点水准尺读数为 a ,对 B 点水准尺读数为 b ,则 A、B 两点的高差为

$$h_{AB} = a - b \quad (2-1)$$

通常水准测量是由已知高程点推算未知高程点。如图 2-1 所示,A 点为已知高程点,向未知高程点 B 点前进,所以 A 为后视点, a 为后视读数;B 为前视点, b 为前视读数。由此可见,两点间的高差等于后视读数减前视读数。如果后视读数大于前视读数,则高差为正,表示前视点(B 点)高于后视点(A 点);反之,如果后视读数小于前视读数,则高差为负,表示前视点低于后视点。

测得两点的高差后,若已知 A 点的高程 H_A ,则 B 点的高程 H_B ,可按下式计算,即

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-2)$$

图 2-1