

高等学校教材

铁道工程测量

西南交通大学 王兆祥 主编
兰州铁道学院 宋卓民 主审

中国铁道出版社

1998年·北京

计、施工和养护中对测量又各有其特殊的要求和工作方法。因此,测量的内容十分丰富,涉及的面也很广。从事铁路、公路的工程技术人员,不但要掌握工程测量和地形测量的基本理论和技能,熟悉铁路和公路测量的主要内容,还需要具有一定的大地测量和摄影测量知识。测量学课程不仅在本专业的实际工作中占有重要地位,对本专业的后续课程也起着重要作用。铁路和公路测量的基本原理和方法还可以应用到诸如管道、渠道、架空线路等各种线型工程中。

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书共分三篇十六章。第一篇为基本知识和基本的测量工作,主要叙述测量学的基础理论和基本知识,各种仪器的构造和使用方法;第二篇为地形测量,详细介绍小区域控制测量和地形测绘的方法;第三篇为铁道工程测量,侧重介绍铁道工程中最主要的测量工作。

书中第一、二篇为基础部分,可作为土建交通类各专业本科的教学用书;第三篇为实用部分,适用于铁道工程、桥梁、隧道等专业本科用的教材。本书也可作为土建类其他专业及有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

铁道工程测量/王兆祥主编.-北京:中国铁道出版社,1997

高等学校教材

ISBN 7-113-02685-0

I. 铁… II. 王… III. 铁路测量-高等学校-教材 IV. U212.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 11556 号

中国铁道出版社出版发行

(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑 刘桂华 封面设计 薛小卉

中国铁道出版社印刷厂印

1998 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:478 千字

印数:1—3000 册

ISBN 7-113-02685-0/TU·550 定价:15.60 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

随着科学技术不断发展,在测量领域中新技术被广泛采用;又由于铁路教育的改革和发展,提出了“服务铁路,面向社会”的办学指导方针,使学生今后在面向社会方面有更大的发展余地。在这一新的形势下,测量教材的内容亟待更新改革。1993年12月在铁道部高等学校铁道、桥梁、隧道工程专业教学指导委员会第五次会议上推荐,经铁道部教卫司批准,对《铁道工程测量》教材进行重编。

编写本书的指导思想是要使学生在掌握基本理论的基础上能从事测量的实际工作。在第一章中首先指出,测量的实质是测定点位的工作,为测定点位,要进行角度、距离、方向和高程等四项基本的测量,这一思路也贯串全书。在第一篇中介绍了四种基本测量工作以及所用的仪器和方法。考虑到像自动安平水准仪、电子经纬仪、光电测距仪及陀螺经纬仪等已在生产中广泛应用,所以均作为常用仪器详细介绍。在误差理论中则引入了概率和数理统计的概念,使读者能更好地理解测量误差问题。第二篇中控制测量部分较详细地介绍了小区域内进行控制测量的各种方法,使之能适应各种测量任务的需要。地形测绘是易懂而不易掌握的内容,本书也作了较详细的叙述,以帮助读者掌握这方面的技能。第三篇铁道工程测量将铁路线路、桥梁、隧道三种主要工程的测量工作分别设章阐述,使学生学习后能达到学以致用目的,亦便于不同专业选用。考虑到变形观测在工程测量中日趋重要,GPS测量在工程测量中有着广阔的前景,本书在最后专设两章作一些基本的阐述。

本书由西南交通大学王兆祥主编,兰州铁道学院宋卓民主审。参加编写的有西南交通大学王兆祥(第一、二、五、六、七、八、九、十、十一章)、傅晓村(第三、十三、十五章)、张延寿(第四、十二、十四章)、路伯祥(第十六章)。

本书在编写过程中得到西南交通大学土木工程学院原院长万复光教授及测量工程系原系主任刘文熙教授的大力支持,在此一并致谢。

编 者
一九九七年四月

绪 论

测量学是研究如何测量和描绘地面形状的科学。“测量”一词是泛指对各种量的量测,而测量学所要量测的对象是地球的表面乃至整个的地球,这就有别于其他的测量。由于测量学一般都包含测和绘两项内容,所以这门科学又称为“测绘科学”。

测量学是一门既古老而又在不断发展的科学。按照所研究的内容不同,它可以分为以下几门主要学科:

1. 大地测量学 是研究广大区域的测量工作。具体的任务是在广大区域内测定一些点的精确位置,以建立国家大地控制网,作为各种测量工作的基础,并用来研究地球的形状和大小。大地测量必须考虑地球曲率的影响。

2. 地形测量学 是研究小范围内地面上各种物体所在位置详细情况的测量工作。它的具体任务则是测绘各种比例尺的地形图。在地形测量中不考虑地球曲率的影响。

3. 摄影测量学 是研究用摄影所得的地面相片绘制地形图的方法。它可用航空摄影或地面摄影的方法,也可用遥感的方法。

4. 工程测量学 是研究各种工程在勘测设计、施工以及运营等阶段中的各种测量工作。

此外,“地图的编制”和“测绘仪器的制造”也是测绘科学中的两个重要分支。随着科学的发展和新技术的应用,又出现了卫星大地测量、遥感技术、惯性定位系统、卫星定位系统等一些新兴的学科。

在测量工作中有两类不同性质的工作:一类是把地面上存在的各种物体,用测量的方法测出它们的位置,并绘制成图,例如测绘地形图的工作,一般称之谓**测量**;另一类工作则是把预定好的点位用测量方法标定于地面,例如各种工程的施工放样工作,它是工程测量中一项主要的工作,称之谓**测设**。前者是把地面实际的形态通过测量转化成图或数字,可认为是认识自然的过程;后者则是按设计图纸或预定的数字,通过测量方法把拟定的建筑物位置标定到地面,使设计成为现实,它是改造自然的过程。所以测量学是一门既用于认识自然又用于改造自然的科学。

测量学有着十分广泛的用途,无论在政治、经济、军事、科技和文化教育等方面,都有重要的用途。在国民经济建设和国防建设中,工程测量占有重要的地位。从事工程测量的人员在整个测绘人员中占有很大的比例。工程测量的应用涉及到国民经济的各个方面,例如城市、工厂、矿山和水利等建设,铁路、公路和水运等交通的建设,以及农业、林业的开发和建设中。任何建设项目都是测量先行,所以测绘工作者常被喻为建设的尖兵。

铁路和公路测量是工程测量中的一个重要组成部分。测绘工作在铁路和公路建设中起着十分重要的作用。在设计阶段,为了选择最经济合理的路线,要进行大量的测量工作。在施工阶段,为了把线路和各种建筑物正确地按设计位置建立起来,要进行各种测设和检测工作。在工程竣工后,对各项工程还要进行竣工测量。而在运营期间,为了管理、改建或扩建的需要,仍要进行各种测量。为保证建筑物的安全使用,对重要建筑物还要进行位移、沉陷、倾斜等变形观测。铁路或公路是一项综合工程,各种建筑物如线路、桥梁、隧道等,它们既有总的联系,在设

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 基本知识和基本的测量工作

第一章 测量学的基本知识	1
§ 1—1 进行测量的基本原则和测量工作的实质	1
§ 1—2 地面上点位的表示方法	2
§ 1—3 用水平面代替水准面的限度	4
§ 1—4 测量的基本工作和要求	5
习 题	6
第二章 高程测量	7
§ 2—1 高程测量概述	7
§ 2—2 水准测量的原理	7
§ 2—3 水准仪和水准尺	9
§ 2—4 水准测量的方法	15
§ 2—5 水准仪的检验和校正	20
§ 2—6 水准测量的误差及其消减方法	24
§ 2—7 精密水准仪和精密水准尺	26
习 题	27
第三章 角度测量	29
§ 3—1 角度测量原理	29
§ 3—2 经纬仪的构造	29
§ 3—3 水平角测量的方法	34
§ 3—4 竖直角测量的方法	37
§ 3—5 经纬仪的检验和校正	40
§ 3—6 角度测量的误差分析	44
§ 3—7 电子经纬仪	47
习 题	48
第四章 距离测量	50
§ 4—1 测量距离的仪器工具和方法	50
§ 4—2 钢尺量距的方法	51
§ 4—3 钢尺的检定	55
§ 4—4 钢尺量距的误差分析	56
§ 4—5 光电测距仪的原理和构造	57
§ 4—6 光电测距仪的检测	61

§ 4—7 光电测距仪的使用和成果计算	62
§ 4—8 光电测距的误差分析和精度评定	64
习 题	66
第五章 直线方向的测量	67
§ 5—1 直线定向	67
§ 5—2 用罗盘仪测量直线的磁方向	69
§ 5—3 用太阳高度法测量直线的真方位角	70
§ 5—4 用陀螺经纬仪测量直线的真方位角	77
习 题	81
第六章 测量误差理论	82
§ 6—1 测量误差	82
§ 6—2 偶然误差的特性	83
§ 6—3 评定精度的标准	85
§ 6—4 误差传播定律	88
§ 6—5 算术平均值及其中误差	91
§ 6—6 按最或然误差求观测值的中误差	92
§ 6—7 按真误差求观测值的中误差	94
§ 6—8 不同精度观测值的权	96
§ 6—9 不同精度观测的最或然值及其中误差	98
§ 6—10 误差理论的应用	101
习 题	105

第二篇 地 形 测 量

第七章 平面控制测量	106
§ 7—1 平面控制测量概述	106
§ 7—2 导线测量	108
§ 7—3 导线测量的内业计算	111
§ 7—4 小三角测量	121
§ 7—5 小三角测量的内业计算	123
§ 7—6 小三边测量	134
§ 7—7 解析交会测量	137
习 题	141
第八章 高程控制测量	143
§ 8—1 高程控制测量概述	143
§ 8—2 三、四等水准测量	144
§ 8—3 三角高程测量	146
§ 8—4 图根高程测量	148
§ 8—5 跨河水准测量	148
§ 8—6 高程控制网的平差计算	149
习 题	152

第九章 地形图的内容	154
§ 9—1 地形图概述.....	154
§ 9—2 地形图的比例尺.....	154
§ 9—3 地物在地形图上的表示方法.....	156
§ 9—4 地貌在地形图上的表示方法.....	158
§ 9—5 高斯投影和高斯平面直角坐标系.....	161
§ 9—6 地形图的分幅和编号.....	162
§ 9—7 图廓和注记.....	165
习 题.....	166
第十章 地形图的测绘和应用	168
§ 10—1 测图前的准备工作	168
§ 10—2 视距测量	169
§ 10—3 地形测绘的方法	172
§ 10—4 测绘地物、地貌的要求和方法.....	176
§ 10—5 地形图的拼接整饰和检查	181
§ 10—6 地形图的应用	182
§ 10—7 航空摄影测量简介	188
习 题.....	194

第三篇 铁道工程测量

第十一章 基本的测设工作	196
§ 11—1 测设水平距离的方法	196
§ 11—2 测设水平角的方法	197
§ 11—3 测设高程的方法	198
§ 11—4 测设点的平面位置的方法	199
习 题.....	202
第十二章 铁路线路测量	204
§ 12—1 铁路线路测量概述	204
§ 12—2 铁路新线初测	204
§ 12—3 铁路新线定测	212
§ 12—4 圆曲线的测设	223
§ 12—5 缓和曲线的性质	228
§ 12—6 缓和曲线连同圆曲线的测设	231
§ 12—7 遇障碍时的曲线测设方法	235
§ 12—8 长大曲线和回头曲线的测设	240
§ 12—9 曲线测设的误差	241
§ 12—10 线路施工测量.....	242
§ 12—11 既有线和既有站场的测量.....	245
习 题.....	257
第十三章 桥梁测量	260

§ 13—1	桥轴线长度所需精度的估算	260
§ 13—2	桥梁的平面和高程控制测量	261
§ 13—3	桥梁墩、台中心的测设	262
§ 13—4	墩台纵、横轴线的测设	266
§ 13—5	桥梁施工测量	266
	习 题	267
第十四章	隧道测量	269
§ 14—1	隧道洞外控制测量	269
§ 14—2	隧道洞外、洞内联系测量	272
§ 14—3	隧道洞内控制测量	276
§ 14—4	隧道洞内中线测量	278
§ 14—5	隧道施工测量	279
§ 14—6	隧道贯通误差预计	281
	习 题	284
第十五章	建筑物的变形观测	285
§ 15—1	概 述	285
§ 15—2	变形观测的精度和频率	285
§ 15—3	基准点与变形点的构造与布设	286
§ 15—4	垂直位移观测	287
§ 15—5	水平位移观测	288
§ 15—6	倾斜观测	290
§ 15—7	挠度观测	292
§ 15—8	变形观测的成果处理	292
	习 题	293
第十六章	全球定位系统(GPS)的基本知识	295
§ 16—1	概 述	295
§ 16—2	全球定位系统的组成	295
§ 16—3	GPS 卫星信号	296
§ 16—4	GPS 观测量及定位计算概述	297
§ 16—5	GPS 测量的观测工作和作业模式	299
§ 16—6	WGS-84 大地坐标系及坐标转换	301
§ 16—7	用 GPS 测定点位高程	303
§ 16—8	GPS 在铁路工程测量中的应用	304
	习 题	305
主要参考文献		

第一篇 基本知识和基本的测量工作

第一章 测量学的基本知识

§ 1—1 进行测量的基本原则和测量工作的实质

测绘地形图是测量工作的主要任务之一。把地面的形状描绘成图,是通过投影的方法来实现的。在小区域内,可把地面上各种物体投影到一个水平面上,地面的形状就是用它投影在水平面上的图形来表示。例如一幢房屋,只要把它的主要轮廓点在水平面上的投影位置描绘出来,就可以得出该房屋的平面图形。同样,道路、河流、地面起伏的形状等一切天然或人工形成的物体,只要把一些能反映出它们形状的点在水平面上投影的位置测定下来,就可以描绘出这一地区的地形图。这些需要测定的点称为**地形特征点**,如图 1—1 中的 1、2、3、……等点。测绘地形图的工作实际上就是测量一批地形特征点的工作。

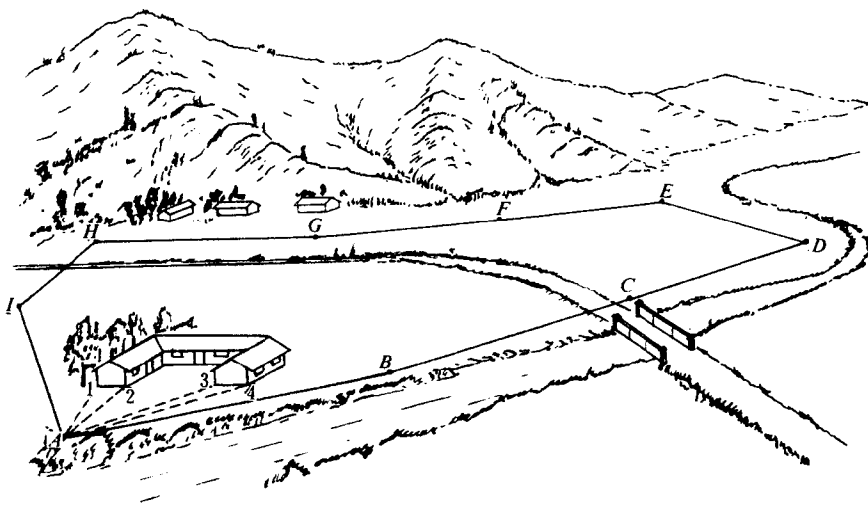


图 1—1

在地面上无论是天然或人工形成的物体,其分布多数是零乱而不规则的。那么如何来测量这些为数众多而分布又不规则的特征点呢?一般进行的程序应是先在测区范围内精确测出少数点的位置,如图 1—1 中的 A、B、C、……等。然后以这些点为基础,测量各点周围的地形特征点,得出局部的地形。图中 A、B、C、……等点构成的图形在测区中形成一个框架,起控制作用。所以这些点称为**控制点**,测量这些点的位置的工作称为**控制测量**。从控制点测量它周围地形特征点位置的工作称为**碎部测量**。利用各控制点间已测定的位置关系,就可以把从各控制点所测得的局部地形连成一个整体,从而得出这一测区的地形图,并能保证必要的精度。这种按照“从控制到碎部”的工作程序,就是进行测量工作必须遵循的“从整体到局部”的基本原则。在测设

工作中同样也要遵循这一基本原则。

从以上测图的程序或测图的原则中可以看出:无论是控制测量还是碎部测量都是在测量点的位置的工作。不但测量工作是这样,测设工作也是这样。因此可以说:“测量工作的实质就是测量(或测设)点位的工作。”任何性质的测量工作都是如此。

§ 1—2 地面上点位的表示方法

既然测量工作都是测定点位的工作,因此首先应了解地面上点位的表示方法。由于测量工作都是在地球表面上进行的,所以在讨论如何确定地面点位之前,先介绍关于地球形状和大小的知识。

一、地球的形状和大小

地球的表面极不规则,有高山、峡谷、湖泊和海洋。地球上最高的山峰珠穆朗玛峰高 8 848. 13m,最深的海沟位于西太平洋的马里亚纳海沟深 11 022m。虽然地球表面的起伏是如此之大,但与半径为 6 371km 的整个地球相比,还是微不足道的。由于地球表面上陆地只占 29%,而海洋却占 71%,所以我们可以设想:由静止的海水面所包围并延伸进大陆和岛屿后,形成一个封闭的曲面,这个曲面称为**大地水准面**,由大地水准面所包围的形体称为**大地体**,大地体可以代表地球总的形状。

任何静止的水面在测量学中称为**水准面**。水准面的特点是它处处与铅垂线相垂直,同一水准面上势能处处相等。水准面可以位于不同的高度,所以水准面可以有无数个。由于潮汐波浪关系,完全处于静止平衡状态的海水面是难以求得的。为此,人们在海岸边设立验潮站,用验潮站所测得的平均海水面来代替静止的海水面。所以就取平均海水面作为大地水准面,它是无数水准面中的一个。

由于地球外层物质分布的不均匀,引起各处铅垂线方向的不规则变化,因而大地水准面也是一个不规则的曲面。为了便于处理大地测量的成果,需要用简单的几何形体来代替大地体。从力学理论和实测结果证明地球是

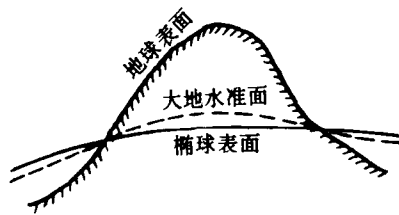


图 1—2

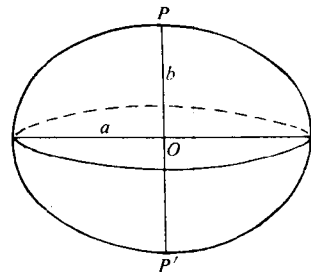


图 1—3

一个两极稍扁的球体,可以用一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体来代替大地体,称为“**椭球**”。大地水准面有些地方在椭球表面之上,有些地方则在椭球表面之下(图 1—2)。椭球的大小用长半轴 a 和短半轴 b 或扁率 $\alpha \left(\alpha = \frac{a-b}{a} \right)$ 表示(图 1—3),一般用 a 和 α 表示, a 和 α 称为椭球的元素。为了测量工作的需要,在一个国家或一个地区,需要选用一个最接近于本地区大地水准面的椭球,这样的椭球称“**参考椭球**”。我国目前采用 1975 年国际大地测量协会推荐的地球椭球,其元素值为:

$$a = 6\,378\,140\text{m}$$

$$\alpha=1:298.257$$

目前我国正利用人造卫星观测结果及大地测量资料,计算适合我国实际的参考椭球元素值。

由于地球的扁率很小,所以在一般测量工作中,可把地球看作一个圆球来处理,其半径为:

$$R=6\,371\text{km}$$

二、地面上点位的表示方法

在测量工作中,地面上的点位都用**坐标**和**高程**来表示。坐标是用两个值说明地面点在椭球面或水平面上投影的位置,也就是用来表示点的平面位置。高程则表示地面点到高程基准面的垂直距离,它们相当于数学中用三个坐标值来确定一点的空间位置。

(一)点的平面位置

当地面点投影到椭球面上时,其平面位置用**大地坐标**来表示,当投影到水平面上时,则用**平面直角坐标**表示。

1. 大地坐标

地面点的大地坐标用“大地经度”和“大地纬度”来表示。在图 1—4 中 N 、 S 分别为地球的北极和南极, NOS 为地球的短轴,又称地轴。通过球心 O 并垂直于地轴的平面称赤道平面,它与椭球面的交线称为赤道。过地面上任一点并包含椭球短轴的平面称该点的子午面,子午面与椭球面的交线称子午线。1884 年国际经度会议决议,以通过格林尼治天文台的子午线作为首子午线,即经度的起始子午线。由于极移和格林尼治天文台迁址,1968 年国际时间局改用经过国际协议原点(CIO)和原格林尼治天文台的经线延伸交于赤道圈的一点作为经度的零点,这条经线称为“本初子午线”。1977 年我国决定采用的本初子午线是过该经度零点与极原点 1968.0 的子午线。包含该子午线的子午面称为本初子午面。地面上任意一点 P 的子午面与本初子午面之间的夹角,就是 P 点的大地经度,通常用符号 L 表示。大地经度自本初子午面起向东 $0^\circ\sim 180^\circ$ 称东经,向西 $0^\circ\sim 180^\circ$ 称西经。过 P 点作椭球的法线,在 P 点的子午面内, P 点的法线与赤道平面所成的角就是 P 点的大地纬度,用符号 B 表示。大地纬度自赤道起向北 $0^\circ\sim 90^\circ$ 称北纬,向南 $0^\circ\sim 90^\circ$ 称南纬。

2. 平面直角坐标

在小区域内进行测量,可把局部椭球面看作一个水平面,点的平面位置可用直角坐标来表示。在测量学中以南北方向为 x 轴,向北为正;而东西方向为 y 轴,向东为正。象限顺序按顺时针方向计(图 1—5)。这种安排与数学中的坐标轴和象限顺序正好相反。这是因为在测量中南北方向是最重要的基本方向,直线的方向也都是从正北方向开始按顺时针方向计量的,但这种改变并不影响三角函数的应用。平面直角坐标系的坐标轴和原点可根据需要任意选择。对于大范围的测图工作,应采用与大地坐标有联系的高斯平面直角坐标系统,详见第九章。

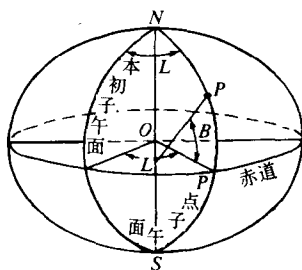


图 1—4

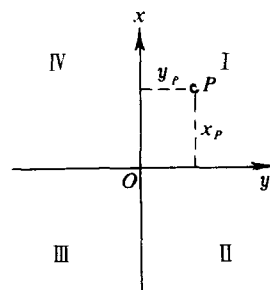


图 1—5

向,直线的方向也都是从正北方向开始按顺时针方向计量的,但这种改变并不影响三角函数的应用。平面直角坐标系的坐标轴和原点可根据需要任意选择。对于大范围的测图工作,应采用与大地坐标有联系的高斯平面直角坐标系统,详见第九章。

(二)点的高程

点的空间位置除了用它的大地坐标或平面直角坐标确定外,还需要有点的高程。任意点沿

铅垂线方向到一共同的高程基准面的距离称为该点的高程。测量工作中一般取大地水准面作为高程基准面，其高程为零，这样得出的高程称“绝对高程”，即通称的“海拔”。如果取任意一水准面作为高程基准面，得出的高程则称为“假定高程”。

两点高程之差称为高差。从图 1-6 可得

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

式中 H_A, H_B 是 A、B 点的绝对高程， H'_A, H'_B 是 A、B 点的假定高程。因此可以看出，无论用绝对高程还是用假定高程，计算高差的结果是相同的。

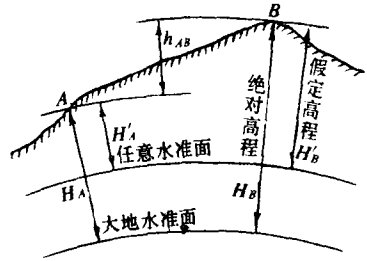


图 1-6

§ 1-3 用水平面代替水准面的限度

正确描绘地面的形状，应把地面点的位置投影到椭球面上，为简便起见，也可以投影到圆球面上。但要描绘到属于平面性质的图纸上，则其计算和绘图工作将十分复杂。所以在小范围内测图时，可把部分球面看成一个水平面，地面的图形用正射投影方法投影到水平面上，这样测绘工作将十分简便。但是用水平面代替水准面或水准面时会产生误差，测区范围愈大误差愈大。因此，要分析一下用水平面代替水准面的限度。

一、用水平面代替水准面对距离的影响

图 1-7 中 $B'C'$ 为过 A' 的水准面， $B''C''$ 为过 A' 的水平面。地面点 A、B、C 在水准面上的投影为 A', B', C' ，在水平面上的投影为 A', B'', C'' 。 $\widehat{A'B'}$ 为水准面上一段弧长，代表 A、B 两点间的水平距离 S 。若用水平面代替水准面，则相应的水平距离 D 为 $\overline{A'B''}$ 这一段。 $\overline{A'B''}$ 与 $\widehat{A'B'}$ 之差即为用水平面代替水准面所引起的距离误差 ΔS 。即：

$$\Delta S = \overline{A'B''} - \widehat{A'B'} = D - S$$

从图 1-7 可知：

$$\Delta S = R \tan \theta - R \cdot \theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-1)$$

将 $\tan \theta$ 展开成级数 $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$

因为 θ 很小，故可略去 5 次方及以上的各项，代

入(1-1)式得： $\Delta S = R(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta) = \frac{1}{3}R\theta^3$

因 $\theta = \frac{S}{R}$ ，代入上式得

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

或写成

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

式中 R 为地球的半径。用 $R=6371\text{km}$ 及不同的 S 值代入上式，可得表 1-1 所列的结果。

对于半径在 10km 范围内，用水平面代替水准面所产生的距离误差为其长度的

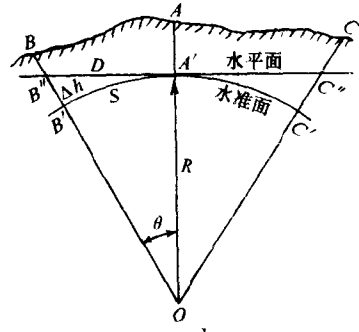


图 1-7

表 1-1 用水平面代替水准面引起的距离误差

距离 S (km)	距离的误差 ΔS (mm)	$\Delta S/S$
10	8.2	1/1 220 000
25	128.3	1/200 000
50	1026.5	1/50 000

1/1 220 000,而目前最精密的距离测量的容许误差为其长度的 1/1 000 000。因此,在半径小于 10km 的范围内,用水平面代替水准面对于测量距离所产生的影响可忽略不计。对于精度要求不高的测量工作,这个范围还可以扩大。

二、用水平面代替水准面对高程的影响

在图 1—7 中 A' 、 B' 两点位于同一水准面,其高程相同。若用水平面代替水准面,则 B' 投影到水平面上的 B'' , $B'B''=\Delta h$ 即为在高程上产生的误差。

$$\Delta h = OB'' - OB' = R(\sec\theta - 1) \quad (1-4)$$

将 $\sec\theta$ 展开成级数, $\sec\theta = 1 + \frac{1}{2}\theta^2 + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$ 舍去 4 次方及以上各项,代入(1-4)式,

$$\begin{aligned} \text{得} \quad \Delta h &= R\left(1 + \frac{1}{2}\theta^2 - 1\right) = \frac{1}{2}R\theta^2 = \\ &= \frac{1}{2}R\left(\frac{S}{R}\right)^2 \end{aligned}$$

故

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R} \quad (1-5)$$

用不同 S 值代入(1-5)式,得表 1—2 的结果。

由表 1—2 可见:即使距离很短,地球曲率对高差的影响也很明显。因此在高程测量中,即使在较小的范围内,也必须考虑地球曲率的影响。

表 1—2 用水平面代替水准面引起的高程误差

距离 S (km)	Δh (mm)
0.1	0.78
0.5	20.0
1.0	78.5

§ 1—4 测量的基本工作和要求

以上已经阐明了测量工作的若干基本概念:如测量工作可分为测量和测设两类不同性质的工作;无论是测量还是测设都要遵循从整体到局部的原则,即从控制到碎部的原则;无论是测量还是测设,控制测量还是碎部测量,所有测量工作的本质都是测定点位的工作,即测定点的平面位置和高程。测量点的平面位置的工作叫做“平面测量”,而测量点的高程的工作称为“高程测量”。

测量工作一般要经过野外观测和室内计算、绘图等程序。野外的观测工作称“外业”,室内的计算和绘图等工作称“内业”。

为了测定点的平面位置,要测量两点间的水平距离,即连接两点的直线在水平面上投影的长度,如图 1—8 中的 ab 、 bc 、……;测量相邻两直线间的水平角,即两直线在水平面上投影的夹角,如图 1—8 中的 β_A 、 β_B 、……。一般有了水平距离和水平角,就可以确定地面点水平投影的相对位置。但是为了确定点的坐标,还需要测量直线的方向。因此,水平距离、水平角、直线的方向是确定一点平面位置的三项基本要素。为了确定点在空间的位置,还需要测量点的高程。有时直接测量两点间的斜距,再测量在铅垂

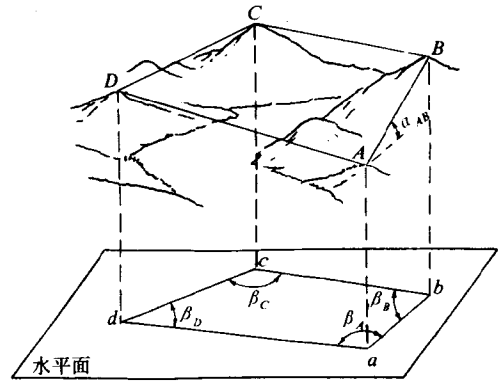


图 1—8

面内的竖直角,如图1—8中的 AB 和 α_{AB} ,然后推算 A 、 B 两点间的水平距离和高差。所以不论进行何种测量工作,在实地要测量的基本要素都是:

1. 距离(水平距离或斜距);
2. 角度(水平角和竖直角);
3. 直线的方向;
4. 高程。

所以测量这四种基本要素的工作是“基本的测量工作”。每一种基本要素的测量可以用不同的仪器和方法来进行,测量工作者应根据实际的需要和可能的条件,选用最经济合理的工作方法来满足要求。

本书首先叙述各种基本的测量工作,即第一篇的内容。然后介绍与专业密切相关的两种测量工作,即第二篇的地形测量和第三篇的铁道工程测量。

测量的成果可以应用到各个方面,影响极广。因此,工作中的任何差错都能造成不良的后果,有的甚至对工程造成巨大损失,所以保证质量是测量工作者的首要职责。为此,对野外的观测必须按规范或规程的要求来完成,不合格的必须重测;对手簿、图纸等原始资料,应保证正确、清楚和完整;对交付的成果必须经复核检验,以确保成果的质量。

学习测量必须理论联系实际,不但要掌握测量的基本理论,而且要重视对观测、计算和绘图等基本技能的训练。在学习中应养成认真负责一丝不苟的工作作风和爱护仪器设备的良好习惯。由于野外作业工作和生活条件均较艰苦,因此还必须养成能吃苦耐劳和克服困难的精神。

习 题

1. 进行测量工作应遵循的原则是什么?
2. 为什么说测量工作的实质就是测量点位的工作?
3. 什么是水准面、大地水准面、椭球和参考椭球?
4. 怎样表示地面点的位置?
5. 用水平面代替水准面对距离和高程产生什么影响?应如何考虑?
6. 基本的测量工作有哪些?为什么说这些是基本的测量工作?

第二章 高程测量

§ 2—1 高程测量概述

高程是确定地面点位置的基本要素之一,所以高程测量是四种基本测量工作之一。高程测量的目的是要获得点的高程,但一般只能直接测得两点间的高差,然后根据其中一点的已知高程推算出另一点的高程。

进行高程测量的主要方法有**水准测量**和**三角高程测量**。水准测量是利用水平视线来测量两点间的高差。由于水准测量的精度较高,所以是高程测量中最主要的方法。三角高程测量是测量两点间的水平距离或斜距和竖直角(即倾斜角),然后利用三角公式计算出两点间的高差。三角高程测量一般精度较低,只是在适当的条件下才被采用。除了上述两种方法外,还有利用大气压力的变化,测量高差的气压高程测量;利用液体的物理性质测量高差的液体静力高程测量;以及利用摄影测量的测高等方法,但此方法较少采用。

高程测量的任务是求出点的高程,即求出该点到某一基准面的垂直距离。为了建立一个全国统一的高程系统,必须确定一个统一的高程基准面,通常采用大地水准面即平均海水面作为高程基准面。解放后我国采用青岛验潮站 1950~1956 年观测结果求得的黄海平均海水面作为高程基准面,根据这个基准面得出的高程称为“1956 黄海高程系”。为了确定高程基准面的位置,在青岛建立了一个与验潮站相联系的水准原点,并测得其高程为 72.289m。水准原点作为全国高程测量的基准点。从 1989 年起,国家规定采用青岛验潮站 1952~1979 年的观测资料,计算得出的平均海水面作为新的高程基准面,称为“1985 国家高程基准”。根据新的高程基准面,得出青岛水准原点的高程为 72.260m。所以在使用已有的高程资料时,应注意到高程基准面的差异。

高程测量也是按照“从整体到局部”的原则来进行。就是先在测区内设立一些高程控制点,并精确测出它们的高程,然后根据这些高程控制点测量附近其他点的高程。这些高程控制点称**水准点**,工程上常用 BM 来标记。水准点一般用混凝土标石制成,顶部嵌有金属或瓷质的标志(图 2—1)。

标石应埋在地下,埋设地点应选在地质稳定、便于使用和便于保存的地方。在城镇居民区,也可以采用把金属标志嵌在墙上的“墙脚水准点”。临时性的水准点则可用更简便的方法来设立,例如用刻凿在岩石上的或用油漆标记在建筑物上的简易标志。

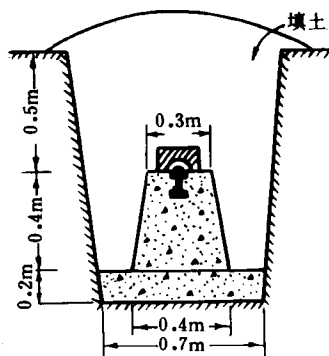


图 2—1

§ 2—2 水准测量的原理

水准测量是利用水平视线来求得两点的高差。例如图 2—2 中,为了求出 A、B 两点的高差

h_{AB} , 在 A 、 B 两个点上竖立带有分划的标尺——水准尺, 在 A 、 B 两点之间安置可提供水平视线的仪器——水准仪。当视线水平时, 在 A 、 B 两个点的标尺上分别读得读数 a 和 b , 则 A 、 B 两点的高差等于两个标尺读数之差。即:

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

如果 A 为已知高程的点, B 为待求高程的点, 则 B 点的高程为:

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

读数 a 是在已知高程点上的水准尺读数, 称为“后视读数”; b 是在待求高程点上的水准尺读数, 称为“前视读数”。高差必须是后视读数减去前视读数。高差 h_{AB} 的值可能是正也可能是负, 正值表示待求点 B 高于已知点 A , 负值表示待求点 B 低于已知点 A 。此外, 高差的正负号又与测量进行的方向有关, 例如图 2-2 中测量由 A 向 B 进行, 高差用 h_{AB} 表示, 其值为正; 反之由 B 向 A 进行, 则高差用 h_{BA} 表示, 其值为负。所以说明高差时必须标明高差的正负号, 同时要说明测量进行的方向。

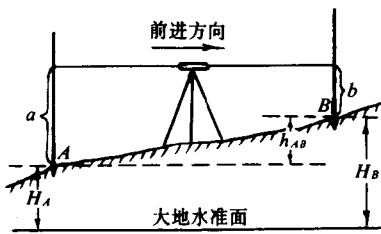


图 2-2

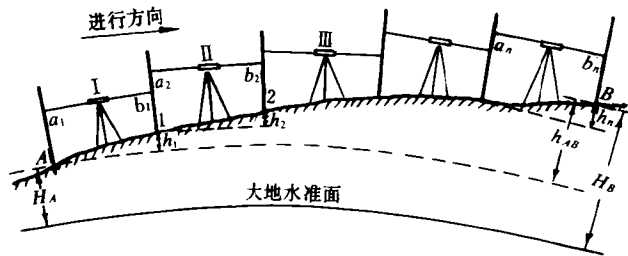


图 2-3

当两点相距较远或高差太大时, 则可分段连续进行, 从图 2-3 中可得:

$$\begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1 \\ h_2 &= a_2 - b_2 \\ &\dots\dots\dots \\ h_n &= a_n - b_n \\ \hline h_{AB} &= \sum h = \sum a - \sum b \end{aligned} \quad (2-3)$$

即两点的高差等于连续各段高差的代数和, 也等于后视读数之和减去前视读数之和。通常要同时用 $\sum h$ 和 $(\sum a - \sum b)$ 进行计算, 用来检核计算是否有误。

图 2-3 中置仪器的点 I、II、…称为测站。立标尺的点 1、2、…称为转点, 它们在前一测站先作为待求高程的点, 然后在下一测站再作为已知高程的点, 转点起传递高程的作用。转点非常重要, 转点上产生的任何差错, 都会影响到以后所有点的高程。

从以上可见: 水准测量的基本原理是利用水平视线来比较两点的高低, 求出两点的高差。

当水准测量的目的不是仅仅为了获得两点的高差, 而是要求得一系列点的高程, 例如测量沿线的地面起伏情况, 水准测量可按图 2-4 进行。此时, 水准仪在每一测站上除了要读出后视和前视读数外, 同时要对这一测站范围内需要测量高程的点上立尺读取读数, 如图中在 P_1 、 P_2 等点上立尺读出 c_1 、 c_2 等读数。则各点的高程可按下列方法计算:

$$\text{仪器在测站 I: } H_i = H_A + a_1 \quad (2-4)$$