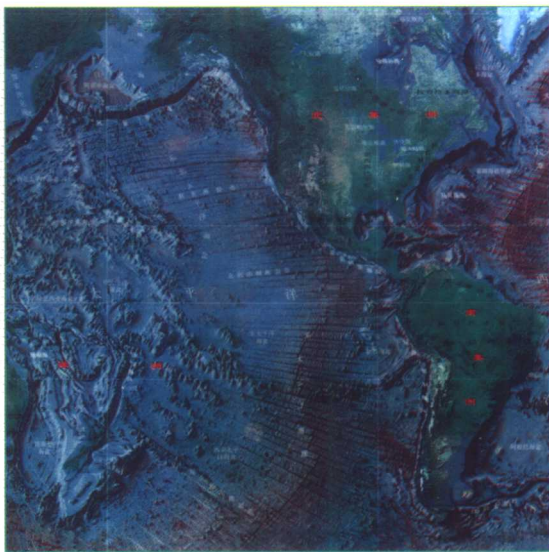


测量学



河海大学《测量学》编写组



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书在论述测量学基本概念和基本理论的基础上,系统地介绍了测量工作的实际操作方法。通过本教材的学习,学生能较好地掌握测量学的基本知识和技能。

本书结合已在各种工程建设中广泛应用的现代测绘技术,在新仪器方面重点介绍全站仪、电子水准仪和 GPS 技术;在测量数据处理方面,引入了最小二乘平差的概念;在地形图及专题图测绘中,介绍了电子平板测图技术、水下地形测绘技术及摄影测量与遥感制图的概念和基本原理;在工程测量方面,详细阐述了施工测量的基本技术与方法,介绍了测量在港口与交通工程、水利工程、工业与民用建筑等各种工程建设中的应用,以期读者能运用所学的测量理论、方法和技术解决工程中有关的测量问题。

本书是高等院校土木、交通、港航、水文、海洋、地质及水利水电等非测绘专业的测量学教材,亦可供有关工程技术人员学习参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

测量学/河海大学《测量学》编写组编. —北京:国防工业出版社,2006.11

ISBN 7-118-04808-9

I. 测... II. 河... III. 测量学—高等学校—教材
IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 118651 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 字数 359 千字

2006 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

与我国国民经济建设和科技的飞速发展相适应,现代测绘技术正在发生根本性的变革,并在我国社会、经济的可持续发展及各种工程建设中,发挥了极为重要的作用。

测量学是测绘学科的重要基础课程和应用技术的基本体现。现代测绘技术的发展使测量学在内容、方法、技术以及服务对象等诸多方面均有着全新的涵义。继承经典理论的精华,摒弃陈旧的教学内容,吸纳先进的技术,培养掌握现代测绘技能的人才,适应现代经济建设的需要,是测绘教学工作面临的重要任务。

编者根据测量学的教学大纲和深化测量学教学改革的要求,结合现代工程建设中广泛使用的先进测量技术和方法,编写了本教材。以期在教学内容中更好地体现出测量学科的特色,较好地掌握服务于现代工程建设所需的测量科学基本理论与技术。

本书重点突出了对测量学基本理论的学习,以便读者对测量学重要原理的掌握,并为实际工作的灵活应用打下基础。此外,有重点地吸纳了有实际应用价值的现代先进测量技术,使读者对现代测量理论与方法有较深层次的认识和理解。根据教学的需要列举了众多的测量实例及具体作业过程,使本教材的内容更为丰富和生动,也有利于培养及提高读者的实际操作技能和分析解决问题的能力。为适应深化教学改革的要求,对教学内容进行优化安排,也是本书编写的一个出发点。

本书共 12 章。其中,第 1 章~3 章由田林亚编写;第 4 章和第 11 章由兰孝奇编写;第 5 章、6 章由岳东杰编写;第 7 章由黄张裕编写;第 8 章由黄晓时编写;第 9 章、10 章由李浩编写;第 12 章由岳建平编写。全书由华锡生教授审阅定稿。由于作者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

河海大学《测量学》编写组

2006 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测量学的研究对象及其作用	1
1.2 地球的形状与大小	2
1.3 地面点位置的表示方法	3
1.4 地球曲率对测量工作的影响	7
1.5 测量的基本工作和原则	8
思考题	9
第 2 章 水准测量	11
2.1 水准测量原理	11
2.2 水准仪及其使用	12
2.3 水准测量的基本方法	17
2.4 水准仪的检验与校正	22
2.5 水准测量的误差来源与注意事项	25
思考题	29
第 3 章 角度测量	30
3.1 角度测量原理	30
3.2 经纬仪及其使用	31
3.3 角度测量方法	38
3.4 经纬仪的检验与校正	46
3.5 角度测量的误差来源与注意事项	49
思考题	52
第 4 章 距离测量	53
4.1 钢尺量距	53
4.2 视距测量	59
4.3 光电测距	62
4.4 全站仪	68
思考题	72
第 5 章 测量误差的基本知识	73
5.1 测量误差的概念	73
5.2 衡量精度的指标	77
5.3 误差传播定律	82
5.4 观测值的算术平均值及其中误差	84

5.5	观测值的加权平均值及其中误差	87
5.6	测量误差理论的应用	88
	思考题	90
第6章	控制测量	91
6.1	概述	91
6.2	方位角及坐标正反算	93
6.3	导线测量	96
6.4	三角测量	103
6.5	交会定点	104
6.6	高程控制测量	107
	思考题	112
第7章	GPS定位测量	113
7.1	概述	113
7.2	GPS信号和基本定位原理	117
7.3	GPS静态控制测量及数据处理	121
7.4	GPS实时动态测量及应用	126
	思考题	132
第8章	地形图的测绘	133
8.1	地形图的基本知识	133
8.2	经纬仪测图	141
8.3	数字测图	146
8.4	水下地形图的测绘	150
	思考题	153
第9章	摄影测量与遥感	154
9.1	摄影测量学及其作用	154
9.2	摄影测量的基本原理及方法	157
9.3	遥感的基本原理和应用	162
9.4	遥感专题制图	166
	思考题	169
第10章	地形图的应用	170
10.1	地形图的基本信息	170
10.2	工程用图的选择	171
10.3	地形图在工程建设中的应用	172
10.4	地形图的面积量算	176
	思考题	179
第11章	工程测量的基本工作	180
11.1	概述	180
11.2	施工测量	180
11.3	变形监测	189

11.4 竣工测量	193
思考题	194
第 12 章 测量在工程建设中的应用	195
12.1 测量在水利工程建设中的应用	195
12.2 测量在港口工程建设中的应用	201
12.3 测量在桥梁工程建设中的应用	207
12.4 测量在工业与民用建筑施工中的应用	213
12.5 测量在线路工程建设中的应用	217
思考题	223
附录 习题及实验指导	224
参考文献	242

第 1 章 绪 论

1.1 测量学的研究对象及其作用

测量学是研究地球的形状、大小以及地球表面各种形态的科学,其任务主要表现为:确定地球的形状和大小;确定地面点的平面位置和高程;将地球表面的起伏状态和其它信息测绘成图。

随着社会生产的发展和科学技术的进步,测量学随之发展成多个分支:

大地测量学——研究在地球表面大范围内建立国家大地控制网,精确测定地球形状和大小以及地球重力场的理论、技术和方法的学科。随着卫星定位技术的发展,大地测量学不仅为空间科学和军事服务,还将为研究地球的形状、大小以及地表形变和地震预报等提供可靠的资料。

地形测量学——研究将地球表面的起伏状态和其它信息测绘成图的理论、技术和方法的学科。各种比例尺地形图的测绘,为社会发展的规划设计提供了重要的资料。随着社会和经济的发展,地籍测量和房地产测量也得到迅猛发展,为地籍管理和房地产管理提供了有力的保障。

摄影测量学——研究利用摄影像片等手段测定物体的形状、大小及其空间位置的学科。由于摄影像片包含的信息全面细致,现已广泛应用于其它科学领域。根据获取像片方式的不同,又分为地面摄影测量、航空摄影测量、航天摄影测量、水下摄影测量等。

工程测量学——研究各项工程建设在规划设计、施工和竣工运营阶段所进行的各种测量工作的学科。它把各种测量理论应用于不同的工程建设,并研究各种测量新技术和新方法。

地图制图学——研究地图及其制作理论、工艺和应用的学科。根据已测得的成果成图,编制各种基本图和专业地图,完成各种地图的复制和印刷出版。

测量学在我国现代化建设中起着非常重要的作用,它不仅体现在国防建设中,更多体现在地质采矿、农田水利、交通运输及各种城市建设工程中,还体现在对地震、滑坡等灾害的监测和预测中。从工程建设的角度出发,其作用主要表现在工程建设的三个阶段,即规划设计阶段提供所需的地形资料和地形图,施工阶段进行必要的施工放样与施工监测,运营阶段进行建筑物的稳定性监测和变形情况分析等。

测量学是一门古老的科学。相传早在公元前 21 世纪夏禹治水时,就已采用了准、绳、规、矩等简单的测量工具,公元前 18 世纪,古埃及就进行过土地丈量。中国人发明的指南针、浑天仪,外国人发明的望远镜、显微镜和水准器,以及三角学的应用和地图投影技术的改进,大大推动了测量学的发展。特别是近几十年来,电子学和空间技术的飞速发展,使测量技术逐步趋于自动化和数字化,使数据处理趋于程序化。可以期待,测量学这门历史悠久的学科,必将焕发出新的活力。

1.2 地球的形状与大小

测量工作是在地球表面上进行的,要确定地面点之间的相互关系,将地球表面测绘成图,需了解地球的形状和大小,这也是测量学研究的重要内容之一。

地球的自然表面高低起伏,是一个复杂的不规则的表面。海洋面积约占地球表面积的71%,而陆地约占29%。世界上最高的珠穆朗玛峰高出海平面8844.43m,最低的马里亚纳海沟低于海平面11022m。因地球的半径约为6371km,故地表起伏相对于庞大的地球来说是微不足道的。由于地球表面上大部分为海洋,所以海水所包围的形体基本表示了地球的形状。假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。由于海水面受潮汐影响而有涨有落,所以水准面有无数个。为此,人们在海滨设立验潮站,通过长期观测,求出通过平均高度的海水面,这个水准面与重力方向处处垂直,称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体,大地体即代表地球的一般形状。

由于地球表面起伏不平和地球内部质量分布不均匀,地面上各点的铅垂线方向呈现出不规则的变化,大地水准面仍然是一个十分复杂和不规则的曲面,目前尚不能用数学模型表达,在这个曲面上也无法进行有关的测量计算。为了测量计算和制图的方便,人们选择一个非常接近大地水准面且能用数学模型表达的曲面代替大地水准面,这个曲面称作旋转椭球面。旋转椭球面所包围的数学形体称作旋转椭球体。旋转椭球体是由椭球面绕其短轴NS旋转而成的形体,其形状和大小取决于长半径 a 、短半径 b 和扁率 $\alpha = (a - b)/a$ 。目前我国主要采用1975年第16届国际大地测量与地球物理协会联合推荐的椭球体参数,即 $a = 6378140\text{m}$, $b = 6356740\text{m}$, $\alpha = 1/298.257$ 。

为了将观测成果准确地换算到椭球面上,一些国家根据本国的实际情况,采用与大地体非常接近的椭球体,采用单点或多点定位方式使椭球旋转定位。如图1-1所示,地面上选一点 P ,令 P 的铅垂线和椭球面上相应 P_0 点的法线重合,并使 P_0 点的椭球面与大地水准面相切,这就是单点定位方式。这里的 P 点称为大地原点,旋转后的椭球面称作参考椭球面,其包围的形体称作参考椭球体。从这个意义来说,大地水准面和铅垂线是测

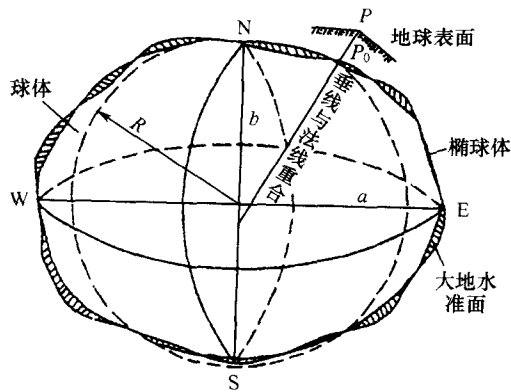


图1-1 大地水准面和参考椭球体

量外业所依据的基准面和基准线,参考椭球面和法线是测量内业计算所依据的基准面和基准线。

1.3 地面点位置的表示方法

测量学上,地面点的空间位置通常采用坐标和高程来表示,确定地面点的坐标和高程是测量工作的主要任务之一。

1.3.1 坐标

1. 地理坐标

地面点的位置如果用经度和纬度表示,则称为地理坐标。经度用 λ 表示,纬度用 φ 表示。如图 1-2 所示,N 和 S 分别为地球的北极和南极,NS 为地球的自转轴,又称地轴。通过地轴和地球表面上任一点 P 的平面,称为过 P 点的子午面。子午面与地球表面的交线称为子午线,又称经线。按照国际天文学会规定,通过英国格林尼治天文台的子午面称为起始子午面,起始子午面和地球表面的交线称为起始子午线。以起始子午面作为计算经度的起点,过 P 点的子午面与起始子午面之间的夹角 λ 即为 P 点的经度,向东从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称东经,向西从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称西经。过 P 点的铅垂线与赤道面之间的夹角 φ 即为 P 点的纬度,赤道以北从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称北纬,赤道以南从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称南纬。若 P 点的经度和纬度已知,则该点在地球表面上的位置即已确定。

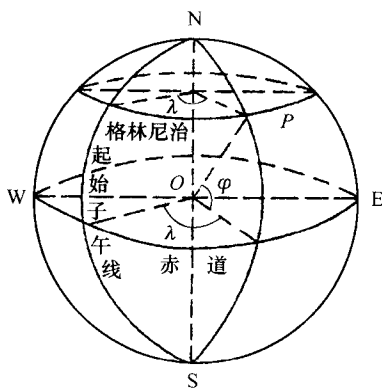


图 1-2 地理坐标

2. 高斯平面直角坐标

地球表面是一个曲面,在进行大区域测图时,将球面上的图形投影到平面上,必然会产生变形,这些变形包括角度变形、长度变形和面积变形,统称为地图投影变形。地图投影的方法有等角投影(又称正形投影)、等积投影和任意投影等多种。我国采用高斯正形投影,简称为高斯投影。

高斯投影是将地球套于一个空心圆柱体内,圆柱体的轴心通过地球的中心,地球上某一条子午线(称为中央子午线)与圆柱体相切,如图 1-3(a)。按正形投影方法,将中央子午线左右两侧各按 3° 或 1.5° 范围的图形元素投影到横圆柱体表面上,再将横圆柱体面沿

两条母线剪开展平,即将圆柱体上每 6°或 3°的经纬线转换为平面上的经纬线,如图 1-3 (b)。这种投影具有如下性质:

(1) 中央子午线 NOS 投影为一条直线,且长度没有发生变形,其余的子午线凹向对称于中央子午线,且较球面上对应的子午线略长。距离中央子午线越远,长度变形越大。

(2) 赤道也投影为一条直线,其余纬线凸向对称于赤道。

(3) 中央子午线和赤道投影后为相互垂直的直线,其它经纬线投影后也保持相互垂直的性质。

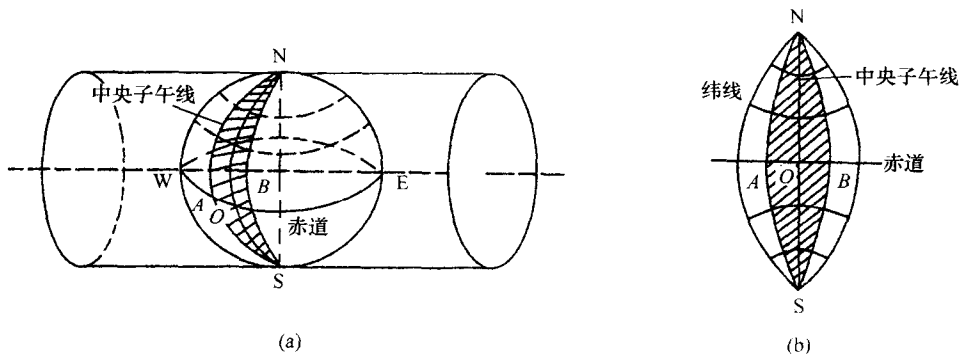


图 1-3 高斯投影

高斯投影后角度无变形,但长度发生了变化,且离开中央子午线愈远变形愈大。为了使长度变形满足测图精度的要求,需采用缩小范围的分带投影法控制其影响。目前规定以经差 3°或 6°将整个地球划分为 120 个或 60 个投影带,相应地称为 3°带和 6°带。

如图 1-4,6°带的划分是从起始子午线(零度)开始,自西向东每隔 6°分为 1 带,其投影带编号顺序为 1、2、...、60,每带中央子午线的经度顺序为 3°、9°、15°、...、357°,可依下式计算

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

式中 L_0 ——投影带中央子午线的经度;

N ——投影带带号。

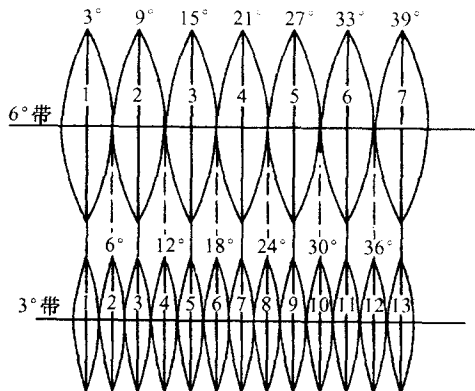


图 1-4 投影分带

如图 1-4 下部所示,3°投影带的划分自经度为 1.5°的子午线起,自西向东以经差 3°分为 1 带,其投影带顺序编号为 1、2、…、120,各带的中央子午线经度分别为 3°、6°、9°、…、360°,带号与中央子午线经度的关系为

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

由于中央子午线和赤道的投影为相互垂直的直线,以中央子午线的投影为 X 轴,赤道的投影为 Y 轴,两轴的交点为坐标原点,就组成了高斯平面直角坐标系,如图 1-5(a)。我国位于北半球, X 坐标均为正, Y 坐标有正有负。为避免横坐标出现负值,将每带的坐标原点向西移动 500km,如图 1-5(b)中的 O 点。这样每一带中各点的 Y 坐标均成为正值。在图 1-5(a)中,设 $Y_A = +37680.5\text{m}$, $Y_B = -34240.2\text{m}$,坐标原点平移为图 1-5(b)后, $Y_A = 500000 + 37680.5 = 537680.5\text{m}$, $Y_B = 500000 - 34240.2 = 465759.8\text{m}$ 。为区分某组坐标的点属于哪一带,在横坐标值前面加上带号,例如 B 点位于 6°带第 20 带内, $Y_B = 20465759.8\text{m}$,其中央子午线经度为 117°。当采用 3°带时, B 点位于第 39 带,则 $Y_B = 39465759.8\text{m}$ 。

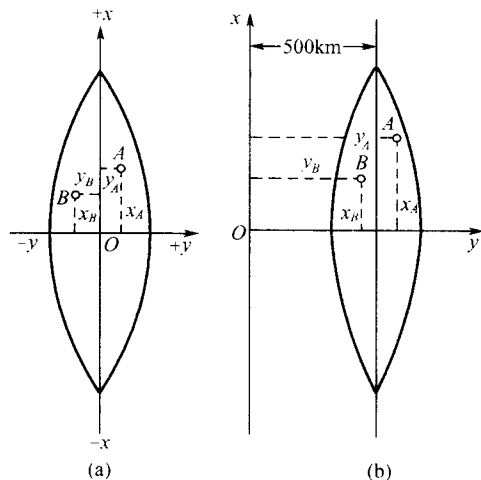


图 1-5 高斯平面直角坐标

我国于 1954 年建成了国家平面控制网,在全国实现了统一的高斯平面直角坐标系,称为“1954 年北京坐标系”,该坐标系实际上是沿用苏联 1942 年的坐标系,由于该坐标系与我国的实际情况相差较大,后于 1980 年将大地原点设在陕西省泾阳县永乐镇,建成了新的国家平面控制网,并定名为“1980 年国家坐标系”。

3. 平面直角坐标

平面直角坐标系又称为独立坐标系。当测图范围较小时,可以把该区域的球面视为水平面,将地面点直接沿铅垂线方向投影到水平面上。如图 1-6,以相互垂直的纵横轴建立平面直角坐标系。纵轴为 X 轴,向上(北)为正,向下(南)为负;横轴为 Y 轴,向右(东)为正,向左(西)为负; X 轴和 Y 轴的交点 O 为坐标原点;坐标象限自纵轴北方向顺时针顺序编号。

当采用独立坐标系作为测绘某区域地形图的坐标系系统时,为避免坐标出现负值,通常

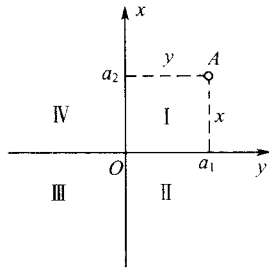


图 1-6 平面直角坐标

取该区域外缘的西南点作为坐标原点,并设法使 X 轴的正方向近似于实际的北方向。

1.3.2 高程

确定地面上一点的空间位置,除了其平面位置外,还需要高程。高程分为绝对高程和相对高程。

1. 绝对高程

地面上一点沿铅垂线方向到大地水准面的距离,称为该点的绝对高程,简称高程或海拔。绝对高程一般用 H 表示,例如图 1-7 中的 H_A 和 H_B 。

2. 相对高程

地面上一点沿铅垂线方向到任意水准面的距离,称为该点的相对高程,或称假定高程。如图 1-7 中的 H'_A 和 H'_B 。两点的高程之差,称为高差。图 1-7 中 A、B 两点之间的高差。

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

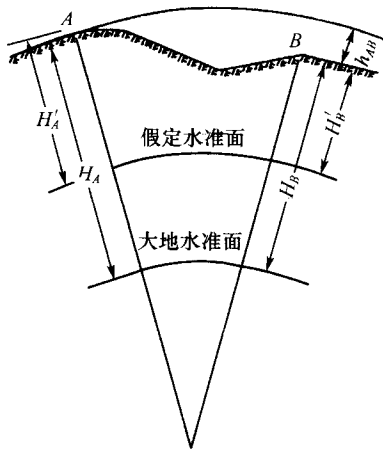


图 1-7 绝对高程和相对高程

3. 高程系统

1980 年以前,我国主要采用“1956 年黄海高程系”,它利用青岛验潮站 1950 年~1956 年观测成果求得的黄海平均海水面作为高程的零点。因观测时间较短,准确性较差,后改

用 1953 年~1979 年的观测资料重新推算,并定名为“1985 年国家高程基准”。国家水准原点设于青岛市观象山,水准原点在“1956 年黄海高程系”中的高程为 72.289m,在“1985 年国家高程基准”中的高程为 72.260m,两者相差 0.029m。如果有一点在 1956 年黄海高程系中的高程为 H_{56} ,在 1985 年国家高程基准中的高程为 H_{85} ,则有 $H_{85} = H_{56} - 0.029$,但这仅是一个近似值。

必须指出,我国在解放前曾采用过以不同地点的平均海水面作为高程基准面,形成不同的高程系统,如废黄河高程系统、吴淞口高程系统等。由于高程基准面不同,因此在收集和使用高程资料时,应注意水准点所在的高程系统,不可混用。

1.4 地球曲率对测量工作的影响

当进行大区域测量工作时,应当把地球表面看作球面,地形测量时应采用高斯平面直角坐标。当测区的面积较小时,又可以把球面视为平面,即以水平面代替水准面,其结果仍能满足精度要求。

1.4.1 地球曲率对水平距离的影响

如图 1-8,设地面上有 A' 、 B' 两点,在球面上的投影分别为 A 、 B ,在水平面上的投影为 A 、 C 。若以平面上的距离 AC (设为 t)代替球面上的距离 AB (设为 d),其误差为

$$\Delta d = t - d = R \tan \alpha - R \alpha$$

式中 R ——地球半径,约 6371km;
 α ——弧长 d 所对的圆心角。

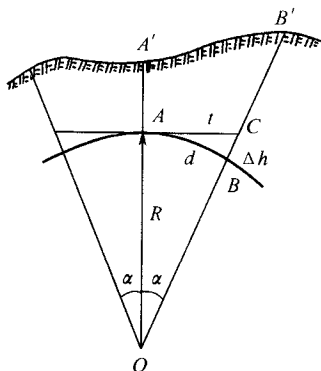


图 1-8 用水平面代替水准面

将 $\tan \alpha$ 用级数展开,并取级数前两项,则

$$\Delta d = R \alpha + \frac{R \alpha^3}{3} - R \alpha = \frac{R \alpha^3}{3}$$

因 $\alpha = \frac{d}{R}$,故

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

以不同的 d 值代入式(1-3),求得相应的 Δd 和 $\Delta d/d$ 值列于表 1-1。由表中可看出,当距离为 10km 时,用水平面代替水准面产生的相对误差为 1/120 万,这个误差小于目前最精密量距允许误差的 1/100 万,因此在半径小于 10km 的区域内,地球曲率对水平距离的影响可以忽略不计,即可以用水平面代替水准面。

表 1-1 地球曲率对水平距离和高程的影响

距离 d/m	距离误差 $\Delta d/mm$	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 $\Delta h/mm$	距离 d/km	距离误差 $\Delta d/mm$	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 $\Delta h/mm$
100	0.000008	1/1250000 万	0.8	10	8.2	1/120 万	7850.0
1000	0.008	1/12500 万	78.5	25	128.3	1/19.5 万	49050.0

1.4.2 地球曲率对高程的影响

如图 1-8 所示,地面点 B' 在水准面和水平面上的投影分别为 B 和 C , B 和 C 两点的高程显然是不同的,设其高差为 Δh ,从图中可以看出, $\angle CAB = \alpha/2$, 因该角很小,若以弧度表示,则有

$$\Delta h = \frac{d\alpha}{2}$$

因 $\alpha = \frac{d}{R}$, 故

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

以不同的距离 d 代入式(1-4),算得相应的 Δh 值列于表 1-1 中。由表 1-1 可见,对高程测量来说,即使距离很短,也不能忽视地球曲率对高程的影响。

1.5 测量的基本工作和原则

1.5.1 测量的基本工作

测量学的主要任务之一是研究地面点相互位置关系,即确定地面上点与点之间的平面位置和高程位置的关系。

如图 1-9, 设 A 、 B 、 C 为地面上三个点,如果 A 点的位置已知,要确定 B 点的位置,不仅要知道 B 点在 A 点的哪一个方向,还要知道 B 点到 A 点之间的水平距离。图上 AB 的方向可用通过 A 点的指北方向与 AB 的夹角(水平角) α 表示, α 角称为方位角。如果还要确定 C 点的位置,则要测量 B 点上相邻两边的水平夹角和 B 到 C 点之间的水平距离。

实际上, A 、 B 、 C 三点的高程可能是不同的,因此要确定它们的位置关系,除平面位置外,还要知道它们的高低关系,即 A 、 B 、 C 三点的高程或它们之间的高差,这样 A 、 B 、 C 三点之间的位置关系就确定了。

因此,水平角、水平距离和高程是确定地面点位置关系的三个基本几何要素。测量

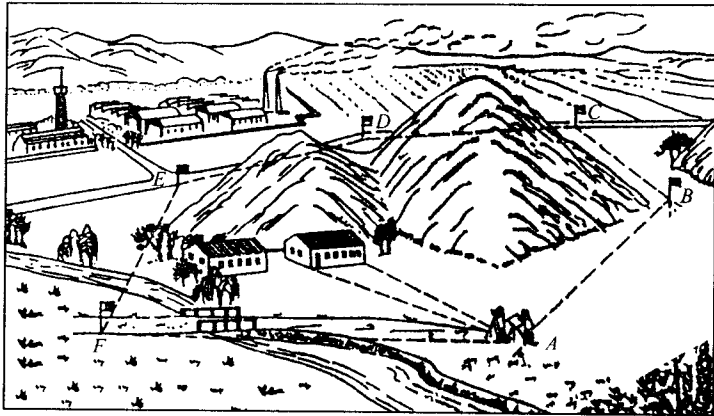


图 1-9 测量工作和原则示意图

地面点的水平角、水平距离和高程是测量的基本工作。

1.5.2 测量的基本原则

测量工作包含多项内容,如地形测量、施工测量和变形监测等。无论哪一种测量工作,其目的都是为了能准确地测量或放样出未知点的平面位置和高程。要测量或放样出许多未知点的平面位置和高程,在一个点上是无法实现的。如图 1-9,在 A 点上只能测量或放样出附近的房屋、道路等平面位置和高程,对于山的另一面或较远的地物就观测不到。对于地形测图来说,总是将一个范围较大的测区划分为同样大小的若干图幅,在保持精度一致的前提下同时平行作业,并要求分散施测的各图幅能拼接成一个整体。要解决这些问题,测量工作中就必须按照一定的原则进行,即“从整体到局部,由高级到低级”,落实到实际工作中就是“先控制测量,后碎部测量”。

控制测量包括平面控制测量和高程控制测量。如图 1-9,根据作业要求和地形条件,在测区内选择一定数量的具有控制作用的地面点 A、B、C、D、E、F 等组成一个控制网,必要时建立固定的测量标志(标石或觐标等),用相应精度的仪器和观测方法,测定这些点的平面位置和高程,以控制整个测区。当进行地形测图时,先将这些点按一定的比例尺展绘到图纸上,然后到实地以这些点为依据,测量出附近的房屋、道路等地物和地貌的特征点,对照实地情况,按一定符号描绘成图。当首级控制点的数量不能满足测图需要时,可根据精度要求,采用一定的方法加密控制点,以满足测图要求。由于控制点之间既相互联系,又彼此独立,即使测图过程中局部出现差错,也不会影响到全局。这个道理也同样适用于施工测量和变形观测。

思考题

1. 测量学的研究对象及主要任务是什么?
2. 什么叫水准面和大地水准面?有何区别?

3. 什么叫参考椭球面和参考椭球体？
4. 什么是测量外业和内业所依据的基准面和基准线？
5. 如何理解高斯平面直角坐标和平面直角坐标的区别？
6. 什么叫绝对高程和相对高程？使用高程资料时应注意什么？
7. 如何理解水平面代替水准面的限度问题？
8. 测量的基本工作和基本原则是什么？

第 2 章 水准测量

高程是确定地面点位置的一个要素,测量地面点高程的方法有水准测量、三角高程测量和气压高程测量等,其中水准测量是测定地面点高程的主要方法。

2.1 水准测量原理

水准测量就是利用水准仪提供的水平视线从竖立在两地面点的标尺上读数,求得两点间的高差,推算出地面点的高程。

图 2-1 中,已知 A 点的高程为 H_A ,要测定 B 点的高程 H_B 。在 A、B 两点间安置一台水准仪,在 A、B 两点上各竖立一根有分划的水准标尺,调整水准仪使视线水平,并利用水平视线分别读取两标尺上的读数 a 、 b ,则 A、B 两点之间的高差为

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

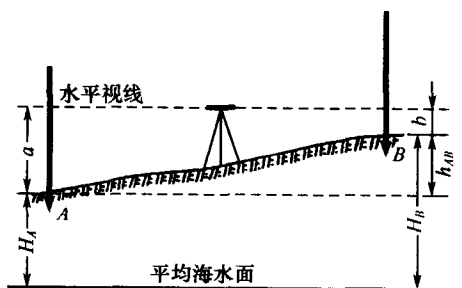


图 2-1 水准测量原理

这种将仪器安置在两标尺之间的水准测量,也称为中间水准测量。若水准测量路线的方向确定为从 A 到 B,则称 A 点为后视点,其标尺上的读数称为后视读数。称 B 点为前视点,其标尺上的读数称为前视读数。无论观测方向如何,两点之间的高差总是等于后视读数减去前视读数,高差的正、负号在计算中随之确定,高差为正时,表明 B 点高于 A 点,反之则低于 A 点。高差的正、负号与水准路线的观测方向一致,从理论上讲, h_{AB} 和 h_{BA} 应大小相等,符号相反。

计算 B 点高程的方法有两种:一是由高差计算高程,即

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

二是由仪器的视线高程计算高程,这种方法通常称为间视水准测量,利用这种方法可以求出一个测站上多个前视点的高程。图 2-1 中,A 点的视线高程等于 A 点的高程加后视读数,用 H_i 表示,则 B 点的高程为