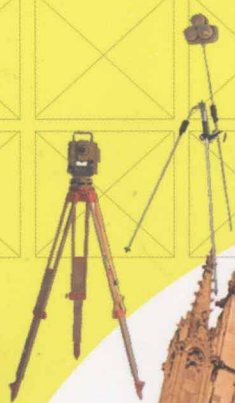


普通高等教育“十二五”规划教材

测量学

李 巍 主编

CELIANGXUE



化学工业出版社

全书共 13 章,分为五大部分:第一部分(第 1~5 章)主要介绍了测量学的基础知识,基本理论以及测量仪器的基本构造和使用方法;第二部分(第 6~8 章)介绍了小地区控制测量及大比例尺地形图的测图、识图和用图的相关知识;第三部分(第 9~12 章)为施工测量部分,详细介绍了建筑施工测量、道路工程测量、管道工程测量、矿山测量等内容,各专业可以根据需要选用;第四部分为新技术介绍(第 13 章);第五部分(附录)为实验、实习指导书。本书按照国家最新测量规范编写,力求做到简明、扼要、实用,并较多地融入当前的测绘新技术、新仪器、新方法。为满足教学需要,各章之后附有习题。

本书具有较宽的专业适应面,可作为高等院校土木工程专业本科测量学课程通用教材,也可用作其他非测绘工程专业(交通、道桥、建环、建筑学、矿物、地质、水利等)测量学本科课程的教材,并可供广大工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量学/李巍主编. —北京:化学工业出版社,2012.8
ISBN 978-7-122-14623-6

I. ①测… II. ①李… III. ④测量学-教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 138324 号

责任编辑:满悦芝 石 磊
责任校对:蒋 宇

文字编辑:刘莉珺
装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 444 千字 2012 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:36.00 元

版权所有 违者必究

前 言

为满足我国高校从精英教育向大众化教育转移阶段社会对高校应用型人才培养的各类要求,编者依据高等学校土木工程专业教学指导委员会编制的测量学课程教学大纲的要求,结合多年教学和实践经验,本着既满足土木工程及各相关专业测量教学的需要,又应适应宽口径、复合型人才培养的需要,注重学生基本素质、基本能力培养的原则,在参阅大量文献并广泛征求同行、专家意见的基础上精心编写了本教材。本书按照国家最新测量规范编写,力求做到简明、扼要、实用,并较多地融入当前的测绘新技术、新仪器、新方法。本书各部分的内容组织分为基本知识技能培养、知识技能拓宽与提高两个层次;综合考虑教学需求多样性的要求,内容具有多层次、系统而全面的特点;在总结已有教学经验的基础上,把握好技术发展与教学需要的关系,在体系和内容上争取达到先进性和实用性兼备的要求。为方便教学,各章之后附有习题,书后附有实习、实验指导书。

本书由辽宁科技大学李巍主编并统稿,杨铁利(辽宁科技大学)、宫雨生(辽宁科技大学)任副主编,其中李泽(辽宁科技学院)编写第1章,隋惠权(大连民族学院)编写第5章,李巍编写第3、6、11章,李卉(辽宁科技大学)编写第2、10章,张军(辽宁科技大学)编写第9章,杨铁利编写第4、8、12章,宫雨生编写第7、13章,张杰编写附录,全书插图和表格均由王昶(辽宁科技大学)编绘。

本书承蒙辽宁工程技术大学徐爱功教授审阅,他对本书提出了许多宝贵意见。在本书编写过程中得到了很多测绘生产单位及相关科研院所的领导、专家和工程技术人员的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和疏漏,恳请读者和同仁批评指正。

编者

2012年8月

目 录

第 1 章 绪论	1	6.1 概述	83
1.1 测量学的任务及其作用	1	6.2 交会法测量	84
1.2 地球的形状和大小	1	6.3 导线测量外业	86
1.3 地面点位的确定	2	6.4 导线测量内业计算	88
1.4 水平面代替水准面的限度	6	6.5 高程控制测量	95
1.5 测量工作概述	7	6.6 全站仪及其在控制测量中的应用	99
习题	11	习题	106
第 2 章 水准测量	12	第 7 章 大比例尺地形图的测绘	107
2.1 水准测量原理	12	7.1 地形图的基本知识	107
2.2 水准测量的仪器和工具	12	7.2 大比例尺地形图分幅和编号	115
2.3 水准测量的实施及成果整理	17	7.3 大比例尺地形图测绘方法	115
2.4 水准仪的检验与校正	22	7.4 地形图的拼接、检查和整饰	125
2.5 精密水准仪	24	习题	126
2.6 自动安平水准仪	26	第 8 章 地形图的应用	127
2.7 电子水准仪	28	8.1 地形图的阅读	127
2.8 水准测量的误差及注意事项	29	8.2 用图的基本内容	129
习题	31	8.3 面积测定	132
第 3 章 角度测量	33	8.4 平整土地中的土石方估算	134
3.1 角度测量原理	33	习题	137
3.2 光学经纬仪及其使用	34	第 9 章 工业与民用建筑施工测量	140
3.3 水平角观测	39	9.1 概述	140
3.4 垂直角观测	42	9.2 测设基本工作	141
3.5 精密经纬仪	46	9.3 已知坡度的测设	144
3.6 电子经纬仪	48	9.4 点的平面位置的测设	144
3.7 经纬仪的检验与校正	49	9.5 施工控制测量	147
3.8 角度测量的误差来源及注意事项	53	9.6 民用建筑施工放样	150
习题	56	9.7 工业建筑施工放样	156
第 4 章 距离测量与直线定向	57	9.8 竣工测量	160
4.1 直线定向	57	9.9 变形观测	161
4.2 钢尺量距	61	习题	165
4.3 视距测量	66	第 10 章 道路工程测量	166
习题	67	10.1 道路中线测量	166
第 5 章 测量误差基本知识	69	10.2 圆曲线测设	170
5.1 测量误差概念	69	10.3 缓和曲线测设	176
5.2 评定精度的标准	72	10.4 道路中线逐桩坐标计算与测设	180
5.3 观测值的精度评定	73	10.5 路线纵、横断面测量	181
5.4 误差传播定律及其应用	76	10.6 道路施工测量	187
5.5 权的概念	79	习题	191
习题	81	第 11 章 管道工程测量	192
第 6 章 小地区控制测量	83	11.1 概述	192

11.2 管道中线测量	192	第 13 章 GPS 原理及应用	234
11.3 管道纵断面图的测绘	194	13.1 GPS 概述	234
11.4 管道施工测量	196	13.2 GPS 定位的基本原理	236
11.5 顶管施工测量	198	13.3 静态定位和动态定位	237
11.6 管道竣工测量	200	13.4 Trimble 5700 GPS 接收机的使用	238
习题	200	13.5 GPS 静态定位在测量中的应用	244
第 12 章 矿山测量	202	13.6 GPS-RTK 定位技术在测量中的 应用	245
12.1 矿山测量的任务和作用	202	习题	246
12.2 矿区控制测量	202	附录一 测量实验与实习须知	247
12.3 矿井联系测量	203	附录二 测量实验指导书	249
12.4 巷道测量	210	附录三 测量教学实习指导书	261
12.5 巷道施工测量	217	参考文献	264
12.6 巷道腰线的标定	222		
12.7 贯通测量	227		
习题	233		

第 1 章 绪 论

1.1 测量学的任务及其作用

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面点位的科学。它的内容包括两部分，即测定和测设。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据或成果，将地球表面的地形缩绘成地形图，供经济建设、国防建设、规划设计及科学研究使用。测设（放样）是指用一定的测量方法和精度，把设计图纸上规划设计好的建（构）筑物的平面位置和高程标定在实地上，作为施工的依据。

测量学按其研究的范围和对象的不同，可分为大地测量学、普通测量学、摄影测量学与遥感学、海洋测量学、工程测量学及地图制图学等。本教材主要介绍普通测量学及部分工程测量学的内容，以便能应用所学的土木工程测量知识为其专业工作服务。

测量学是一门历史悠久的科学，早在几千年前，由于当时社会生产发展的需要，中国、埃及、希腊等国家的劳动人民就开始创造与运用测量工具进行测量。我国在古代就发明了指南针、浑天仪等测量仪器，为天文、航海及测绘地图作出了重要的贡献。随着人类社会需求和近代科学技术的发展，测绘技术已由常规的大地测量发展到空间卫星大地测量，由航空摄影测量发展到航天遥感技术的应用；测量对象由地球表面扩展到空间星球，由静态发展到动态；测量仪器已广泛趋向精密化、电子化和自动化。新中国成立以来，我国测绘事业得到了蓬勃发展，在天文大地测量、人造卫星大地测量、航空摄影与遥感、精密工程测量、近代平差计算、测量仪器研制及测绘人才培养等方面，都取得了令人鼓舞的成就。我国的测绘科学技术已居世界先进行列。

测量技术是了解自然、改造自然的重要手段，也是国民经济建设中一项基础性、前期和超前期的工作，应用广泛。它能为城镇规划、市政工程、土地与房地产开发、农业、防灾、科研等方面提供各种比例尺的现状地形图或专用图和测绘资料；同时按照规划设计部门的要求，进行道路规划定线和拨地测量，以及市政工程、工业与民用建筑工程等土木建筑工程的勘察测量，直接为建设工程项目的设计与施工服务。在工程施工过程和运营管理阶段，对高层、大型建（构）筑物进行沉降、位移、倾斜等变形观测，以确保建（构）筑物的安全，并为建（构）筑物结构和地基基础的研究提供各种可靠的测量数据。所以测量工作将直接关系到工程的质量和预期效益的实现，是我国现代化建设不可缺少的一项重要工作。随着测绘科技的发展以及新技术的研究开发与应用，必将为各个行业及时提供更多更好的信息服务与准确的、适用的测绘成果。

1.2 地球的形状和大小

测绘工作是在地球的自然表面上进行的，而地球自然表面是极不平坦和不规则的，其中有高达 8844.43m 的珠穆朗玛峰，也有深至 11022m 的马里亚纳海沟，尽管它们高低起伏悬殊，但与半径为 6371km 的地球比较，还是可以忽略不计的。此外，地球表面海洋面积约占 71%，陆地面积仅占 29%。因此，人们设想以一个静止不动的海水面延伸穿越陆地，形成

一个闭合的曲面包围整个地球，那么这个闭合的曲面称为水准面。可见，水准面可有无数个，其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面（即一个假设的与处于流体静平衡状态的海洋面重合并延伸向大陆且包围整个地球的重力等位面），它是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体，称为大地体，如图 1-1 (a) 所示。

水准面是受地球重力影响而形成的，它的特点是水准面上任意一点的铅垂线（重力作用线）都垂直于该点的曲面。由于地球内部质量分布不均匀，重力也受其影响，故引起了铅垂线方向的变动，致使大地水准面成为一个有微小起伏的复杂曲面，如图 1-1 (b) 所示。如果将地球表面的图形投影到这个复杂曲面上，对于地形制图或测量计算工作都是非常困难的，为此，人们经过几个世纪的观测和推算，选用一个既非常接近大地体、又能用数学式表示的规则几何形体来代表地球的总形状，这个几何形体是由一个椭圆 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成的形体，称为地球椭球体或旋转椭球体。

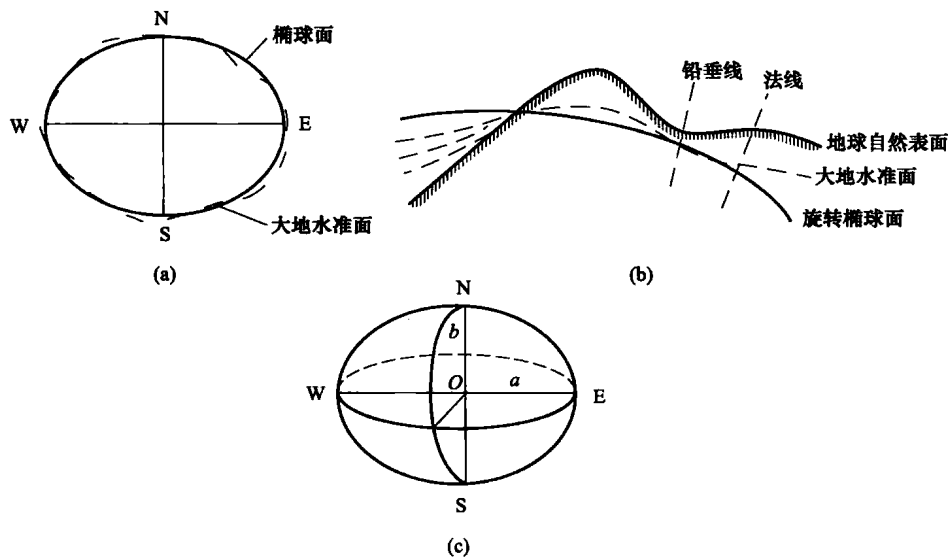


图 1-1 地球形状

决定地球椭球体形状和大小的元素为椭圆的长半径 a ，短半径 b 及扁率，其关系式为

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

我国目前采用的元素数据为：长半径 $a=6378140\text{m}$ ，短半径 $b=6356755.3\text{m}$ ，扁率 $\alpha=1:298.257$ ，并以陕西省泾阳县永乐镇某点为大地原点，进行了大地定位，由此建立了新的全国统一坐标系，即目前使用的“1980 年国家大地坐标系”。

由于地球椭球体的扁率 α 很小，当测区面积不大时，可以把地球当作圆球来看待，其圆球半径 $R=\frac{1}{3}(2a+b)$ ， R 的近似值可取 6371km 。

1.3 地面点位的确定

测量工作的实质是确定地面点的位置，而地面点的位置通常需要用三个量表示，即该点的平面（或球面）坐标以及该点的高程。因此，必须首先了解测量的坐标系统和高程系统。

1.3.1 坐标系

坐标系是用来确定地面点在地球椭球面或投影在水平面上的位置。表示地面点位在球

面或平面上的位置，通常有下列三种坐标系。

1.3.1.1 地理坐标

地面点在球面（水准面）上的位置用经度和纬度表示，称为地理坐标。按照基准面和基准线及推算坐标方法的不同，地理坐标又可分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。图 1-2 所示为天文地理坐标，它表示地面点 A 在大地水准面上的位置，用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。天文经度和天文纬度是用天文测量的方法直接测定的。

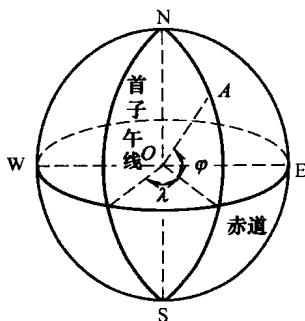


图 1-2 天文地理坐标

大地地理坐标是表示地面点在地球椭球面上的位置，用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。大地经度和大地纬度是根据大地测量所得数据推算得到的。经度是从首子午线（首子午面）向东或向西自 0° 起算至 180° ，向东者为东经，向西者为西经；纬度是从赤道（赤道面）向北或向南自 0° 起算至 180° ，分别称为北纬和南纬。我国国土均在北纬，例如南京市中心区的大地地理坐标为东经 $118^\circ 47'$ ，北纬 $32^\circ 03'$ 。

1.3.1.2 高斯平面直角坐标

上述地理坐标只能确定地面点在大地水准面或地球椭球面上的位置，不能直接用来绘图。测量上的计算最好是在平面上进行，而地球椭球面是一个曲面，不能简单地展开成平面，那么如何建立一个平面直角坐标系呢？我国是采用高斯投影来实现。

高斯投影首先是将地球按经线分为若干带，称为投影带。它从首子午线（零子午线）开始，自西向东每隔 6° 划为一带，每带均有统一编排的带号，用 N 表示，位于各投影带中央的子午线称为中央子午线（ L_0 ），也可由东经 $1^\circ 30'$ 开始，自西向东每隔 3° 划为一带，其带号用 n 表示，如图 1-3 所示。我国国土所属范围大约为 6° 带第 13 号带至第 23 号带，即带号 $N=13-23$ 。相应 3° 带大约为第 24 号带至第 46 号带，即带号 $n=24-46$ 。

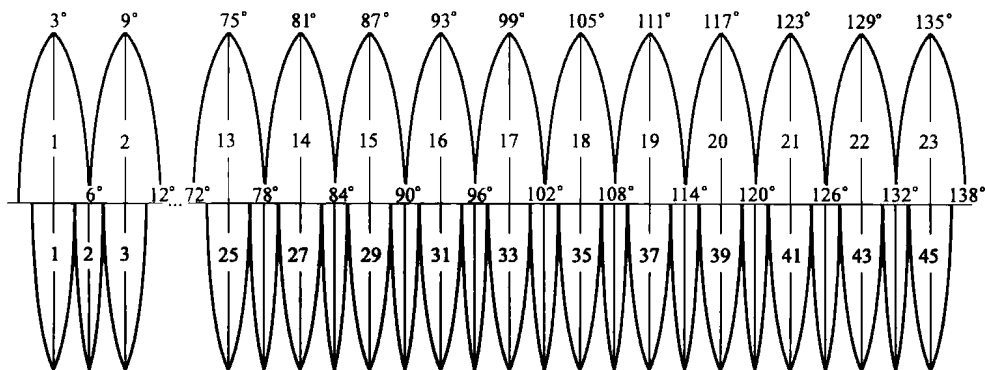


图 1-3 投影分带： 6° 带与 3° 带

6° 带中央子午线经度 $L_0 = 6N - 3$ ， 3° 带中央子午线经度 $L_0 = 3n$ 。例如，南京市为东经 $118^\circ 47'$ ，它属于 6° 带第 20 号带，即 $N = \frac{118^\circ 47' + 3^\circ}{6^\circ} = 20$ （四舍五入取整数），相应 6° 带中央子午线经度 $L_0 = 6N - 3 = 6 \times 20 - 3 = 117^\circ$ ；它属于 3° 带第 40 号带，即 $n = \frac{118^\circ 47'}{3^\circ} = 40$ （四舍五入取整数），相应 3° 带中央子午线经度 $L_0 = 3n = 3 \times 40 = 120^\circ$ 。

设想一个横圆柱体套在椭球外面，使横圆柱的轴心通过椭球的中心，并与椭球面上某投影带的中央子午线相切，然后将中央子午线附近（即本带东西边缘子午线构成的范围）的椭

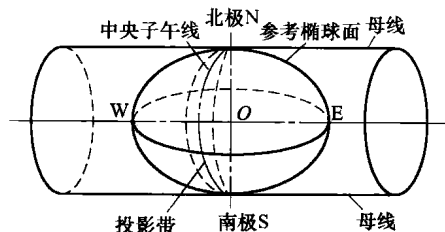


图 1-4 高斯平面直角坐标的投影

球面上的点、线投影到横圆柱面上，如图 1-4 表示。再顺着过南北极的母线将圆柱面剪开，并展开为平面，这个平面称为高斯投影平面。

在高斯投影平面上，中央子午线和赤道的投影是两条相互垂直的直线。我们规定中央子午线的投影为高斯平面直角坐标系的 x 轴，赤道的投影为高斯平面直角坐标系的 y 轴，两轴交点 O 为坐标原点，并令 x 轴上原点以北为正， y 轴上原点以东为正，由此建立了高斯平面直角坐标系，如图 1-5 (a) 所示。

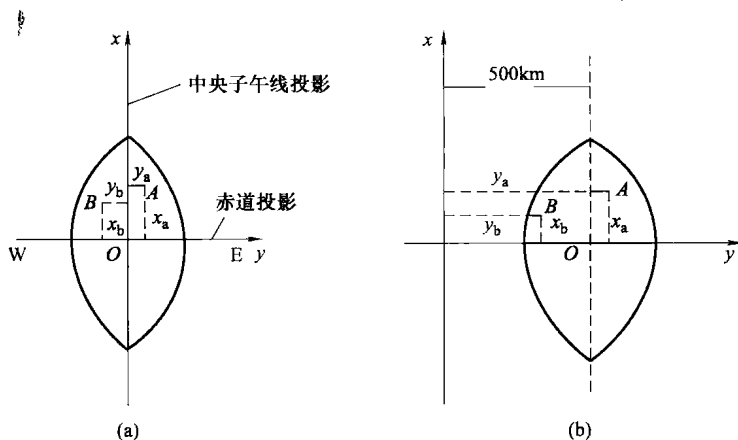


图 1-5 高斯平面直角坐标

在图 1-5 (a) 中，地面点 A 、 B 在高斯平面上的位置，可用高斯平面直角坐标 x 、 y 来表示。

由于我国国土全部位于北半球（赤道以北），故我国国土上全部点位的 x 坐标值均为正值，而 y 坐标值则有正有负。为了避免 y 坐标值出现负值，我国规定将每带的坐标原点向西移 500km，如图 1-5 (b) 所示。由于各投影带上的坐标系是采用相对独立的高斯平面直角坐标系，为了能正确区分某点所处投影带的位置，规定在横坐标 y 值前面冠以投影带带号。例如，图 1-5 (a) 中 B 点位于高斯投影 6° 带，第 20 号带 ($N=20$)，其真正横坐标 $y_b = -113424.690\text{m}$ ，按照上述规定 y 值应改写为 $Y_b = 20(-113424.690 + 500000) = 20386575.310$ 。反之，人们从这个 Y_b 值中可以知道，该点是位于 6° 第 20 号带，其真正横坐标 $y_b = 386575.310 - 500000 = -113424.690\text{m}$ 。

高斯投影是正形投影，一般只需将椭球面上的方向、角度及距离等观测值经高斯投影的方向改化和距离改化后，归化为高斯投影平面上的相应观测值。然后在高斯平面坐标系内进行平差计算，从而求得地面点位在高斯平面直角坐标系内的坐标。

1.3.1.3 独立平面直角坐标

当测量范围较小时（如半径不大于 10km 的范围），可以将该测区的球面看作为平面，直接将地面点沿铅垂线方向投影到水平面上，用平面直角坐标来表示该点的投影位置。在实际测量中，一般将坐标原点选在测区的西南角，使测区内的点位坐标均为正值（第一象限），并以该测区的子午线（或磁子午线）的投影为 x 轴，向北为正，与之相垂直的为 y 轴，向东为正，由此建立了该测区的独立平面直角坐标系，如图 1-6 所示。

上述三种坐标系之间也是相互联系的，例如地理坐标与高斯平面直角坐标之间可以互

相换算,独立平面直角坐标也可与高斯平面直角坐标(国家统一坐标系)之间连测和换算。它们都是以不同的方式来表示地面点的平面位置。

1.3.2 高程系统

新中国成立以来,我国曾以青岛验潮站多年观测资料求得黄海平均海水面作为我国的大地水准面(高程基准面),由此建立了“1956年黄海高程系”,并在青岛市观象山上建立了国家水准基点,其基点高程 $H = 72.289\text{m}$ 。以后,随着几十年来验潮站观测资料的积累与计算,更加精确地确定了黄海平均海水面,于是在1987年启用“1985国家高程基准”,此时测定的国家水准基点高程 $H = 72.260\text{m}$ 。根据国家测绘总局国测发[1987]198号文件通告,此后全国都应以“1985国家高程基准”作为统一的国家高程系统。现在仍在使用的“1956年黄海高程系统”及其他高程系统(如吴淞高程系统)均应统一到“1985国家高程基准”的高程系统上。在实际测量中,特别要注意高程系统的统一。

所谓地面点的高程(绝对高程或海拔)就是地面点到大地水准面的铅垂距离,一般用 H 表示,如图1-7所示。图中地面点 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。

在个别的局部测区,若远离已知国家高程控制点或为便于施工,也可以假设一个高程起算面(即假定水准面),这时地面点到假定水准面的铅垂距离,称为该点的假定高程或相对高程。如图1-7中 A 、 B 两点的相对高程为 H'_A 、 H'_B 。

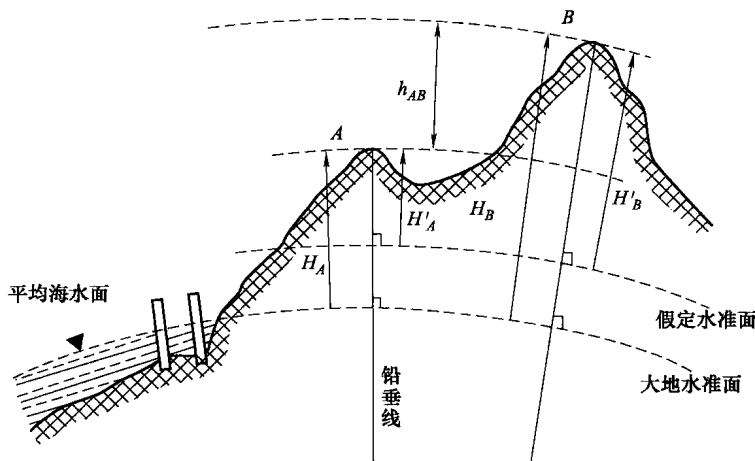


图 1-7 高程和高差

地面上两点间的高程之差,称为高差,一般用 h 表示。图1-7中 A 、 B 两点间高差 h_{AB} 为

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

式中, h_{AB} 有正有负,表示 A 点至 B 点的高差。上式也表明两点间高差与高程起算面无关。

综上所述,当通过测量与计算,求得表示地面点位置的三个量,即 x 、 y 、 H ,那么地面点的空间位置也就可以确定了。

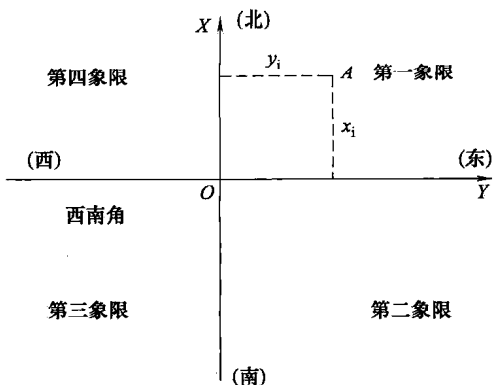


图 1-6 独立平面直角坐标

1.4 水平面代替水准面的限度

在普通测量范围内是将大地水准面近似地看作圆球面，将地面点投影到圆球面上，然后再投影到平面图纸上描绘，显然这是很复杂的工作。在实际测量工作中，在一定的精度要求和测区面积不大的情况下，往往以水平面代替水准面，即把较小一部分地球表面上的点投影到水平面上来决定其位置，这样可以简化计算和绘图工作。

从理论上讲，将极小部分的水准面（曲面）当作水平面也是要产生变形的，必然对测量观测值（如距离、高差等）带来影响。但是由于测量和制图本身会有不可避免的误差，如当上述这种影响不超过测量和制图本身的误差范围时，认为用水平面代替水准面是可以的，而且是合理的。本节主要讨论用水平面代替水准面对距离和高差的影响（或称地球曲率的影响），以便给出限制水平面代替水准面的限度。

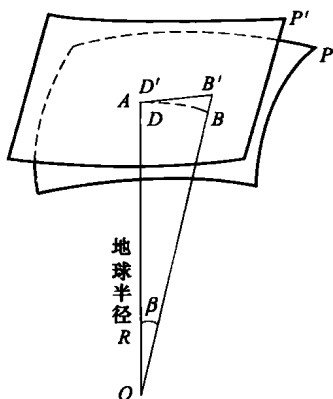


图 1-8 水平面代替水准面的影响

1.4.1 对距离的影响

如图 1-8 所示，设球面（水准面） p 与水平面 P' 在 A 点相切， A 、 B 两点在球面上弧长为 D ，在水平面上的距离（水平距离）为 D' ，即

$$D = R \cdot \theta \quad (1-3)$$

$$D' = R \cdot \tan \theta \quad (1-4)$$

式中， R 为球面 P 的半径； θ 为弧长 D 所对角度。

以水平面上距离 D' 代替球面上弧长 D 所产生的误差为 ΔD ，则

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-5)$$

将式 (1-5) 中 $\tan \theta$ 按级数展开，并略去高次项，得

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots \quad (1-6)$$

因此

$$\Delta D = R \left[\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots \right) - \theta \right] = R \cdot \frac{1}{3}\theta^3 \quad (1-7)$$

以 $\theta = \frac{1}{3}\theta^3$ 等代入上式，得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-8)$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \quad (1-9)$$

若取地球平均曲率半径 $R = 6371 \text{ km}$ ，并以不同的 D 值代入式 (1-8) 或式 (1-9)，则可得距离误差 ΔD 和相应相对误差 $\Delta D/D$ ，如表 1-1 所列。

表 1-1 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{mm}$	相对误差 $\Delta D/D$
10	8	1/1220000
25	128	1/200000
50	1026	1/49000
100	8212	1/12000

由表 1-1 可知, 当距离为 10km 时, 用水平面代替水准面 (球面) 所产生的距离相对误差为 $1/1220000$, 这样小的距离误差就是在地面上进行最精密的距离测量也是允许的。因此, 可以认为在半径为 10km 的范围内 (相当面积 320km^2), 用水平面代替水准面所产生的距离误差可忽略不计, 也就是可不考虑地球曲率对距离的影响。当精度要求较低时, 还可以将测量范围的半径扩大到 25km (相当面积 2000km^2)。

1.4.2 对高差的影响

在图 1-8 中, A、B 两点在同一球面 (水准面) 上, 其高程应相等 (即高差为零)。B 点投影到水平面上得 B' 点。则 BB' , 即为水平面代替水准面产生的高差误差。设 $BB' = \Delta h$, 则

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D^2 \quad (1-10)$$

即

$$2R\Delta h + \Delta h^2 = D'^2 \quad (1-11)$$

$$\Delta h = \frac{D'^2}{2R + \Delta h} \quad (1-12)$$

上式中, 可以用 D 代替 D' , 同时 Δh 与 $2R$ 相比可略去不计, 则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-13)$$

以不同的 D 代入式 (1-13), 取 $R = 6371\text{km}$, 则得相应的高差误差值, 如表 1-2 所列。

表 1-2 水平面代替水准面的高差误差

距离 D/km	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
$\Delta h/\text{mm}$	0.8	3	7	13	20	78	314	1962	7848

由表 1-2 可知, 用水平面代替水准面, 在 1km 的距离上高差误差就有 78mm, 即使距离为 0.1km (100m) 时, 高差误差也有 0.8mm。所以, 在进行水准 (高程) 测量时, 即使很短的距离都应考虑地球曲率对高差的影响, 也就是说, 应当用水准面作为测量的基准面。

1.5 测量工作概述

测量工作的主要任务是测绘地形图和施工放样, 本节扼要介绍测图和放样的大概过程, 为学习后面各章建立起初步的概念。

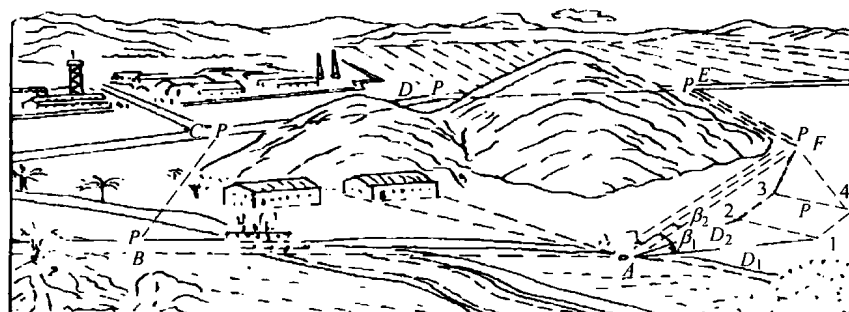
1.5.1 测量工作的基本原则

地球表面复杂多样的形态, 在测量工作中将其分为地物和地貌两大类。地面上固定性物体, 如河流、房屋、道路、湖泊等称为地物; 地面的高低起伏的形态, 如山岭、谷地和陡崖等称为地貌。地物和地貌统称为地形。

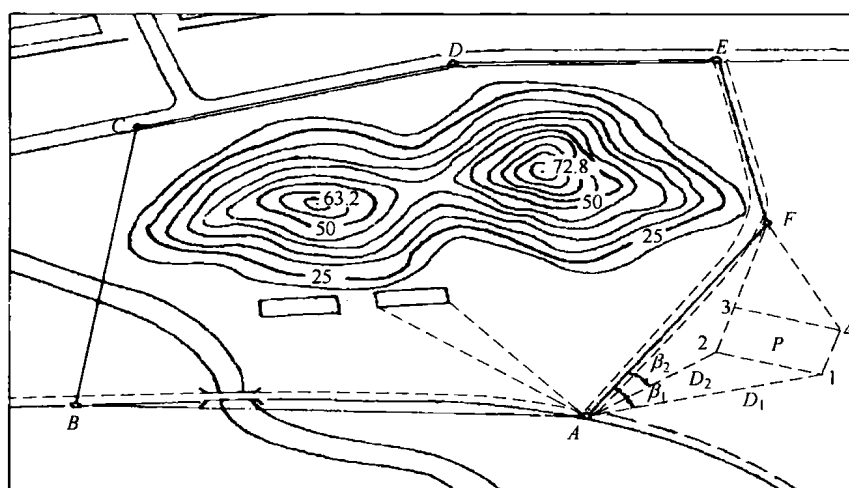
测绘地形图或放样建筑物位置时, 要在某一个点上测绘出该测区全部地形或者放样出建筑物的全部位置是不可能的。如图 1-9 (a) 中所示 A 点, 在该点只能测绘附近的地形或放样附近的建筑物的位置 (如图中建筑物 P), 对于位于山后面的部分以及较远的地形就观测不到, 因此, 需要在若干点 (站) 上分区施测, 最后将各分区地形拼接成一幅完整的地形图, 如图 1-9 (b) 所示。施工放样也是如此。但是, 任何测量工作都会产生不可避免的误差, 故每点 (站) 上的测量都应采取一定的程序和方法, 遵循测量的基本原则, 以防误差积累, 保证测绘成果的质量。

因此, 在实际测量工作中应当遵守以下基本原则。

- ① 在测量布局上, 应遵循“由整体到局部”的原则。
- ② 在测量精度上, 应遵循“由高级到低级”的原则。
- ③ 在测量程序上, 应遵循“先控制后碎部”的原则。
- ④ 在测量过程中, 应遵循“随时检查, 杜绝错误”的原则。



(a)



(b)

图 1-9 地形和地形图示意图

1.5.2 控制测量的概念

遵循“先控制后碎部”的测量原则, 就是先进行控制测量, 测定测区内若干个具有控制意义的控制点的平面位置(坐标)和高程, 作为测绘地形图或施工放样的依据。控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量的形式有导线测量、三角测量及交会定点等, 其目的是确定测区中一系列控制点的坐标 x 、 y ; 高程控制测量的形式有水准测量、光电测距三角高程测量等, 其目的是测定各控制点间的高差, 从而求出各控制点高程 H 。如图 1-9 (a) 所示的测区, 图中 A、B、C、D、E、F 为平面控制点, 由这一系列控制点连接而成的几何网形, 称为平面控制网, 图 1-9 (a) 为闭合导线网。通过导线测量(包括测角度、量距离等)和计算, 求得 A、B、C、D、E、F 等控制点的坐标 x 、 y 值。同时, 由测区内某一已知高程的水准点开始, 经过 A、B、C、D、E、F 等控制点构成闭合水准路线, 进行水准测量和计算, 从而求得这些控制点的高程 H 。

1.5.3 碎部测量的概念

在控制测量的基础上就可以进行碎部测量。碎部测量就是以控制点为依据, 测定控制点

至碎部点（地形的特征点）之间的水平距离、高差及其相对于某一已知方向的角度来确定碎部点的位置，运用碎部测量的方法，在测区内测定一定数量的碎部点位置后，按一定的比例尺将这些碎部点位标绘在图纸上，绘制成图，如图 1-9（b）所示。图上表示的道路、桥梁及房屋等为地物，是用规定的图式和地物符号绘出的。图中央部分的一组闭合曲线表示实地测区内两座相连接的山头及其高低起伏的形态，这些闭合曲线称为等高线。它是将高程相同的相邻碎部点连成为闭合曲线。用等高线表示地貌是最常用的方法，其原理参见第 7.1.2 节。

在普通测量工作中，碎部测量常用平板仪测绘或经纬仪测绘法。图 1-10 所示为用经纬仪测绘法进行碎部测量，在控制点 A 上安置经纬仪，以另一控制点 B 定向，使水平度盘读数为 $0^\circ 00'$ ，然后依次瞄准在房屋角点 1、2、3 处竖立的标尺，读得相应角度 β_1 、 β_2 、 β_3 及距离 D_1 、 D_2 、 D_3 。根据角度和距离在图板的图纸上用角器和直尺按比例尺标绘出房屋角 1、2、3 点的平面位置，同时还求得这些碎部点的高程。

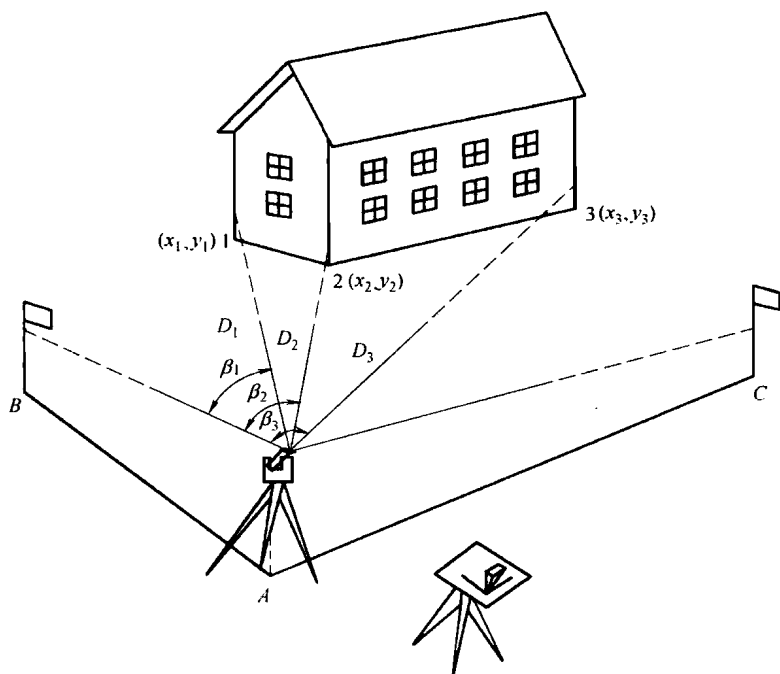


图 1-10 经纬仪测绘法

1.5.4 施工放样的概念

施工放样（测设）是把设计图上建（构）筑物位置在实地标定出来，作为施工的依据。为了使地面定出的建筑物位置成为一个有机联系的整体，施工放样同样需要遵循“先控制后碎部”的基本原则。

如图 1-9（b）所示，在控制点 A、F 附近设计了建筑物 P（图中用虚线表示），现要求把它在实地标定下来。根据控制点 A、F 及建筑物的设计坐标，计算水平角 β_1 、 β_2 和水平距离 D_1 、 D_2 等放样数据，然后在控制点 A 上，用仪器测设出水平角 β_1 、 β_2 所指的方向，并沿这些方向测设水平距离 D_1 、 D_2 ，即在实地定出 1、2 等点，这就是该建筑物的实地位置。上述所介绍的方法是施工放样中常用的极坐标法，此外还有直角坐标法，方向（角度）交会法和距离交会法等。

由于施工放样中施工控制网是一个整体,并具有相应的精度和密度,因此不论建(构)筑物的范围多大,由各个控制点放样出的建(构)筑物各个点位位置,也必将联系为一个整体。

同样,根据施工控制网点的已知高程和建筑物的图上设计高程,可用水准测量方法测设出建(构)筑物的实地设计高程。

1.5.5 测量的基本工作

综上所述,控制测量和碎部测量以及施工放样等,其实质都是为了确定点的位置。碎部测量是将地面上的点位测定后标绘到图纸上或为用户提供测量数据与成果,而施工放样则是把设计图上的建(构)筑物点位测设到实地,作为施工的依据。可见,所有要测定的点位都离不开距离、角度及高差这三个基本观测量。因此,距离测量、角度测量和高差测量(水准测量)是测量的三项基本工作。

1.5.6 测量的度量单位

(1) 长度单位

$1\text{m}=10\text{dm}=100\text{cm}=1000\text{mm}$, $1\text{km}=1000\text{m}$

(2) 面积、体积单位

面积单位是 m^2 , 大面积则用 hm^2 或 km^2 表示。在农业上常用市亩为面积单位。

$1\text{hm}^2=100002=15$ 市亩, $1\text{km}^2=100\text{hm}^2=1500$ 市亩, 1 市亩 $=666.67\text{m}^2$ 。

体积单位为 m^3 。

(3) 角度单位

测量上常用的角度单位有度分秒制和弧度制。

① 度分秒制

1 圆周 $=360^\circ$, $1^\circ=60'$, $1'=60''$

此外某些国外进口测量仪器采用 100 等分制的新度:

1 圆周 $=400^g$, $1^g=100^c$, $1^c=100^{cc}$

两者换算公式是

1 圆周 $=360^\circ=400^g$

$1^g=0^\circ.9$, $1^\circ=1^g.111$

$1^c=0^\circ.54$, $1'=10.852$

$1^{cc}=0''.324$, $1''=3^{cc}.086$

② 弧度制 弧长等于圆半径的圆弧所对的圆心角称为一个弧度,用 ρ 表示。因此,整个圆周长为 2π 弧度。弧度与角度的关系如下:

$$\rho = \frac{180^\circ}{\pi} \quad (1-14)$$

则一个弧度的角度值为

$$\rho^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} = 57^\circ.2957795 \approx 57^\circ.3 \quad (1-15)$$

$$\rho' = \frac{180^\circ}{\pi} \times 60 = 3437'.74677 \approx 3438' \quad (1-16)$$

$$\rho'' = \frac{180^\circ}{\pi} \times 60 \times 60 = 206264''.806 \approx 206.265 \quad (1-17)$$

弧度值 $\hat{\beta}$ 与其角度值 ρ° 的关系式为

$$\hat{\beta} = \frac{\beta^{\circ}}{\rho^{\circ}} = \frac{\beta'}{\rho'} = \frac{\beta''}{\rho''} \quad (1-18)$$

测量工作中,有时需要按圆心角 β° 及半径 R 计算该圆心角所对的弧长 L ,则

$$L = \left(\frac{\beta^{\circ}}{\rho^{\circ}} \right) \cdot R = \frac{\beta^{\circ} \cdot \pi}{180^{\circ}} \cdot R \quad (1-19)$$

习 题

1. 测定与测设有何区别?
2. 何谓大地水准面?它有什么特点和作用?
3. 何谓绝对高程、相对高程及高差?
4. 为什么高差测量(水准测量)必须考虑地球曲率的影响?
5. 测量上的平面直角坐标系和数学上的平面直角坐标系有什么区别?
6. 高斯平面直角坐标系是怎样建立的?
7. 已知某点位于高斯投影 6° 带第20号带,若该点在该投影带高斯平面直角坐标系中的横坐标 $y = -306579.210\text{m}$,写出该点不包含负值且含有带号的横坐标 Y 及该带的中央子午线经度 L_0 。
8. 某宾馆首层室内地面 ± 0 的绝对高程为 45.300m ,室外地面设计高程为 -1.500m ,女儿墙设计高程为 $+88.200\text{m}$,问室外地面和女儿墙的绝对高程分别为多少?
9. 如图1-11所示, $AB=100\text{m}$, $BC=1.75\text{m}$,试求 BC 所对的角度 β 为多少秒?

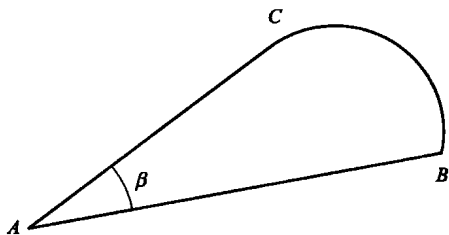


图 1-11

第2章 水准测量

测量地面上各点高程的工作称为高程测量。高程测量根据所使用的仪器和施测方法不同,分为水准测量、三角高程测量和气压高程测量。水准测量是高程测量中最基本的和精度较高的一种测量方法,在国家高程控制测量、工程勘测和施工测量中被广泛采用。本章将着重介绍水准测量原理、微倾式水准仪的构造和使用、水准测量的施测方法及成果检核和计算等内容。

2.1 水准测量原理

水准测量是利用一条水平视线,并借助水准尺,来测定地面两点间的高差,这样就可由已知点的高程推算出未知点的高程。如图 2-1 所示,欲测定 A、B 两点之间的高差 h_{AB} ,可

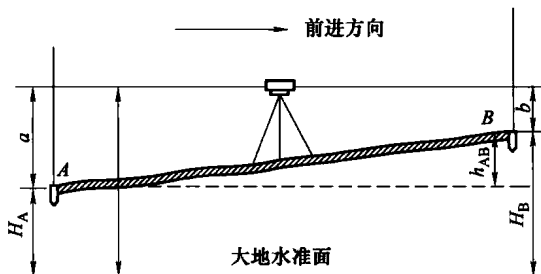


图 2-1 水准测量原理

在 A、B 两点上分别竖立有刻度的尺子——水准尺,并在 A、B 两点之间安置一台能提供水平线的仪器——水准仪。根据仪器的水平视线,在 A 点尺上读数,设为 a ;在 B 点尺上读数,设为 b ;则 A、B 两点间的高差为

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

如果水准测量是由 A 到 B 进行的,如图 2-1 中的箭头所示, A 点为已知高程点, A 点尺上读数 a 称为后视读数; B 点为欲求高程的点,则 B 点尺上读数 b 为前视读数。高差等于后视读数减去前视读数。 $a > b$ 高差为正;反之,为负。

若已知 A 点的高程 H_A ,则 B 点的高程为

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

还可通过仪器的视线高 H_i 计算 B 点的高程,即

$$\left. \begin{aligned} H_i &= H_A + a \\ H_B &= H_i - b \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

式 (2-2) 是直接利用高差 h_{AB} 计算 B 点高程的,称高差法,式 (2-3) 是利用仪器视线高程 H_i 计算 B 点高程的,称仪高法。当安置一次仪器要求测出若干个前视点的高程时,仪高法比高差法方便。

2.2 水准测量的仪器和工具

水准测量所使用的仪器为水准仪,工具为水准尺和尺垫。

水准仪按其精度可分为 DS₀₅、DS₁、DS₃ 和 DS₁₀ 等四个等级。“D”和“S”分别为“大地测量”和“水准仪”汉语拼音的第一个字母,其下标的数值表示仪器的精度等级,即每千