

高等学校试用教材

测 量 学

合肥工业大学 重庆建筑工程学院 天津大学
哈尔滨建筑工程学院 清华大学
合 编

人民教育出版社

高等学校试用教材

测 量 学

合肥工业大学 重庆建筑工程学院 天津大学
哈尔滨建筑工程学院 清华大学
合 编

合肥工业大学主编

人 民 教 育 出 版 社

内 容 提 要

本书共分四部分:第一部分(1~5章),主要介绍测量学的一般基本知识,误差基本知识,测量仪器的构造、使用和检校;第二部分(6~9章),主要介绍控制测量,大比例尺地形图的基本知识,大比例尺地形图的测绘和应用;第三部分(10~13章)为施工测量,阐述了测设的基本工作,工业与民用建筑中的施工测量,管道工程测量以及地下建筑工程测量;第四部分为光电技术在工程测量中的应用,介绍了DCH-1型红外光电测距仪、Wild DI-3S红外光电测距仪、AGJ 75-1型激光无标尺地形仪、激光经纬仪、激光水准仪以及DS-102 A台式测地计算机的构造和使用。附录中列出了水准仪、经纬仪的系列参数和国外光电测距仪一览表。

本书系工业与民用建筑、建筑学、给水排水、地下建筑、城市规划、农村建筑等建筑类各专业的《测量学》教材,也可供工程测量人员学习参考。

高等学校试用教材

测 量 学

合肥工业大学 重庆建筑工程学院 天津大学

哈尔滨建筑工程学院 清华大学

合 编

合肥工业大学主编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

朝 阳 六 六 七 厂 印 刷

*

787×1092 1/32 印张 17.75 千字 405,000

1979年3月第1版 1979年9月第1次印刷

印数 00,001—20,000

书号 15012·0119 定价 1.50 元

前 言

本书是根据在合肥召开的建筑类测量学教材编写会议拟定的编写大纲编写而成的,适用于工业与民用建筑、建筑学、给水排水、地下建筑、城市规划、农村建筑等专业。全书共分十四章,第一至第五章介绍测量学的基本知识、基本理论及测量仪器的构造和使用;第六至第九章介绍控制测量以及大比例尺地形图的测绘和应用;第十至第十三章为施工测量部分,着重介绍了工业与民用建筑工程、管道工程以及地下建筑工程中的测量工作,各专业可根据专业需要选用;第十四章是光电技术在工程测量中的应用,介绍了光电测距仪、激光脉冲式测距仪、激光经纬仪、激光水准仪及台式测地专用计算机的原理、构造和使用。为满足教学的需要,每章之后附有思考题和习题。

本书由合肥工业大学、重庆建筑工程学院、天津大学、哈尔滨建筑工程学院、清华大学等五院校的测量教研室合编,并由合肥工业大学测量教研室主编。执笔人是刘肇光(第一、四、七章)、王依(第二章)、谭福薰(第三章)、宗封义(第五章)、陈福山(第六章)、宛梅华(第八章)、邵士珍(第九章)、龙启涛(第十、十一章)、陈荣林(第十二章)、李德成(第十三章),第十四章由杨德骅、王依、何文吉执笔。

本书于1978年在长沙和杭州分别召开了审稿和定稿会议,由湖南大学范杏琪、浙江大学张勇昇、同济大学都彩生主审。参加审稿会的还有刘翰生、王秉礼、丁惟坚、傅晓村、林则政、羌荣林等。

在本书编写过程中,还得到了北京建筑工程学院、湖北建筑材料学院、西安冶金建筑工程学院、郑州工学院、江西工学院、华东交通大学等兄弟院校的帮助,在此一并致谢。由于编者的政治水平及业务水平所限,书中可能存在不少缺点和错误,谨请读者批评指正。

编者

79年3月

目 录

第一章 绪 论.....1	第五章 测量误差的基本知识.....73
1-1 测量学的任务及其在建筑工程中的作用.....1	5-1 测量误差概述.....73
1-2 我国测绘事业发展简况.....1	5-2 观测值的算术平均值.....75
1-3 地面点位的确定.....3	5-3 衡量精度的标准.....76
1-4 测量工作的组织原则与程序.....9	5-4 观测值函数的中误差.....79
思考题与习题.....10	5-5 权.....82
第二章 高程测量.....11	5-6 测量误差的应用举例.....85
2-1 水准测量的基本原理.....11	思考题与习题.....88
2-2 水准测量的仪器和工具.....12	第六章 小地区控制测量.....89
2-3 水准仪的使用.....17	6-1 控制测量概述.....89
2-4 地球曲率和大气折光对水准测量的影响.....18	6-2 导线测量.....91
2-5 水准测量的外业.....19	6-3 导线测量的内业计算.....96
2-6 水准测量的内业.....23	6-4 小三角测量.....103
2-7 自动安平水准仪.....25	6-5 小三角测量的内业计算.....106
2-8 精密水准仪.....27	6-6 经纬仪前方交会法.....114
2-9 微倾式水准仪的检验与校正.....28	6-7 高程控制测量.....115
思考题与习题.....30	思考题与习题.....122
第三章 角度测量.....32	第七章 大比例尺地形图的基本知识.....125
3-1 水平角测量原理.....32	7-1 地形图概述.....125
3-2 游标经纬仪.....32	7-2 地形图的数学要素.....127
3-3 J ₆ 级光学经纬仪.....36	7-3 地物符号.....129
3-4 J ₂ 级光学经纬仪.....39	7-4 地貌符号——等高线.....134
3-5 水平角观测.....41	思考题与习题.....139
3-6 竖直角观测.....46	第八章 大比例尺地形图的测绘.....141
3-7 经纬仪的检验与校正.....50	8-1 测图前的准备工作.....141
3-8 水平角测量的误差及注意事项.....53	8-2 视距测量.....143
3-9 测量仪器的保养与维护.....55	8-3 平板仪的构造与使用.....151
思考题与习题.....56	8-4 增设测站点的方法.....154
第四章 距离丈量与直线定向.....58	8-5 碎部测量的方法.....156
4-1 点的标志与直线定线.....58	8-6 地形图的绘制.....159
4-2 钢尺量距的一般方法.....59	思考题与习题.....162
4-3 钢尺量距的精密方法.....62	第九章 地形图的应用.....163
4-4 钢尺的检验.....65	9-1 地形图应用的基本内容.....163
4-5 距离丈量的误差及注意事项.....66	9-2 地形图在规划设计中的应用.....165
4-6 直线定向.....67	9-3 城市用地的地形分析.....169
4-7 用罗盘仪测定磁方位角.....70	9-4 图上量测的精度及注意事项.....171
思考题与习题.....71	思考题与习题.....172

第十章 施工测量的基本工作173

- 10-1 施工测量概述173
- 10-2 测设的基本工作174
- 10-3 测设点位的方法176
- 10-4 测设已知坡度的直线178
- 思考题与习题178

第十一章 工业与民用建筑中的施工测量180

- 11-1 建筑场地上的施工控制测量180
- 11-2 民用建筑施工中的测量工作184
- 11-3 工业厂房控制网的测设187
- 11-4 厂房柱列轴线的测设和柱基施工测量188
- 11-5 工业厂房构件的安装测量189
- 11-6 烟囱砌筑中的施工测量193
- 11-7 建筑物的沉降观测与倾斜观测194
- 11-8 竣工总平面图的编绘199
- 思考题与习题200

第十二章 管道工程测量202

- 12-1 概述202
- 12-2 管道定线和纵横断面图的测绘202
- 12-3 河床断面测量210
- 12-4 管道施工测量213

- 12-5 顶管施工测量216

- 12-6 管道竣工测量218

- 思考题与习题220

第十三章 地下建筑施工测量222

- 13-1 概述222
- 13-2 建立地面控制网223
- 13-3 地面与地下的连测225
- 13-4 地下导线和地下水准测量228
- 13-5 隧道开挖中的测量工作229
- 13-6 洞室施工测量234
- 13-7 竣工图的测绘235
- 思考题与习题236

第十四章 光电技术在工程测量中的应用237

- 14-1 红外光电测距仪237
- 14-2 脉冲式激光测距仪248
- 14-3 激光定位技术在施工测量中的应用257
- 14-4 DS-102A 台式测地计算机263
- 思考题与习题270

附录一 水准仪系列的技术参数272

附录二 经纬仪系列的技术参数273

附录三 国外光电测距仪一览表274

第一章 绪 论

1-1 测量学的任务及其在建筑工程中的作用

测量学是研究地球表面的形状和大小以及确定地面点之间相对位置的科学。它的内容包括测定和测设两个部分。测定是指使用各种测量仪器和工具,通过实地测量和计算,把地球表面缩绘成地形图,供科学研究、国防建设和经济建设规划设计使用。测设是将图纸上设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

随着生产的发展和科学的进步,测量学包括的内容越来越丰富,分科也越来越细。例如,研究地球的形状和大小,解决大地区测量问题的,属于大地测量学的内容。测量小区域地球表面的形状时,不顾及地球曲率的影响,把地球表面当作平面看待所进行的测量工作,属于普通测量学的内容。利用航空摄影和陆地摄影象片来测绘地形图的工作,属于摄影测量学的范围。研究测量学的理论、技术和方法在各种工程建设中的应用,属于工程测量学的内容。利用测量所得的成果,研究如何编绘和制印各种地图的工作,属于制图学的范围。本教材主要介绍普通测量学和工程测量学中施工测量的内容。

测绘技术的应用非常广泛。在国防方面,诸如国界的划分,战略的部署,战役的指挥,都要应用地形图和进行测量工作。在经济建设方面,计划生产是社会主义国民经济建设的特点,必须对我国的资源进行一系列的调查和勘测工作,根据获得的资料编制各种规划,在进行这种调查和勘测时,都需要应用地形图和进行测量工作。另外,在进行各项工农业基本建设中,从勘测设计开始,直至施工、竣工为止,都需要进行大量的测绘工作。在科学实验方面,诸如地壳的升降,海岸线的变迁,地震预报以及地极周期性运动的研究等,都要用到测绘资料。

测量技术在工业与民用建筑、给水排水、地下建筑、建筑学及城市规划等专业的工作中都有着广泛的应用。例如:在勘测设计阶段,要测绘各种比例尺的地形图,供选择厂址及管道线路之用,供总平面图设计及竖向设计之用;在施工阶段,要将设计的建筑物和管线等的平面位置和高程测设于实地,作为施工的依据;还要进行竣工测量,施测竣工图,供日后扩建和维修之用;即使竣工以后,对某些大型及重要的建筑物还需要进行变形观测,以保证建筑物的安全使用。

建筑类各专业学习《测量学》的目的是:通过测量学的基本知识、基本理论的学习和测图训练,能掌握各种常用测量仪器(如水准仪、经纬仪、罗盘仪和钢尺等)的操作及坐标计算的技能,能识读和应用地形图,能进行基本的施工测量工作,以便能独立地灵活地应用测量知识为其专业工作服务。

1-2 我国测绘事业发展简况

我国是世界文明发达最早的国家之一,由于生产的需要,测量工作开始得很早,对测量学有

很多宝贵的贡献。例如公元前二十一世纪夏禹治水时,就已发明和应用了“准、绳、规、矩”四种测量工具和方法。远在颛顼高阳氏(公元前 2513—2434 年)时,便开始观测日、月、五星,定一年的长短。战国时期就制出了世界上最早的恒星表。到了秦代(公元前 246—207 年)用颛顼历,定一年的长短为 365.25 日,已测量得相当精确了。至于地图的测绘工作,根据《周礼》夏官篇“职方氏掌天下之图以掌天下之地”的记载来看,当时已具备有原始的地图了。公元前四世纪管仲著《管子》一书,书内第十卷(地图第二十七)专门论述了地图的内容和重要用途。在公元前四世纪,我国就已利用磁石制成了世界上最早的指南工具称为“司南”。三国时,刘徽发明“重差术”,后来编成《海岛算经》一书,举了九个测量题,是世界上很早的地形测量规范。晋初裴秀(公元 224~271 年)总结了前人的制图经验,拟定了编制小比例尺地图的法则,称为《制图六体》,即分率——比例尺,准望——方位,道理——距离,高下——地形起伏,方邪——地物形状,迂直——河流道路的曲直等,是世界上最早的地图制图规范之一。唐开元九年到十五年,一行命南宫说在河南开封等地测日影长度和北极星高度,结果得出子午线一度之长是 351.2 唐里*,这也是世界上最早的这类测量的成果。北宋时沈括,在他的《梦溪笔谈》中记载了磁偏角的现象,比哥伦布对磁偏角的发现早四百年。用子午弧长规定长度单位也是我国首创。清康熙年间,规定二百里合经线一度,每里为一千八百尺,所以每尺合经线上百分之一的弧长,这比 1792 年法国建立米为长度单位,要早 90 年,……。可是,我国长期处在封建制度中,严重地束缚了社会生产力的发展。清朝被推翻后,继之是军阀混战和国民党反动派的统治,残酷的压迫和剥削,落后的生产关系束缚了生产力的发展,测量学和其它科学一样,必然受到了摧残。

解放后,我国测绘事业,在毛主席和中国共产党的领导下,得到了史无前例的发展,取得了辉煌的成就。建立和统一了全国坐标系统和高程系统。测绘了国家基本图。配合蓬勃发展的社会主义建设,进行了大量的测绘工作,例如进行了武钢、上海越江隧道、成昆和湘黔铁路、南京长江大桥、从大庆到秦皇岛及秦皇岛到北京的输油管道等工程的精确放样和施工测量。完成了测绘珠穆朗玛峰平面位置和高程的控制测量,精确测得珠穆朗玛峰的高程为 8848.13 米。在测量仪器生产方面,精密光学经纬仪及具有竖盘自动归零装置的经纬仪,精密水准仪及自动安平水准仪,因瓦水准尺, H30 及 H24 型纠正仪, HCT-1 型立体测图仪等已成批生产,改变了解放前测绘仪器完全依赖外国进口的局面。在电磁波测距方面,国家地震局制造成功长距离相位式精密激光测距仪,为我国大地测量和地震预报研究提供了一种长距离测距的仪器。另外, HGC-1 型红外光电测距仪和无标尺激光地形测绘仪都已成批生产。激光经纬仪、激光水准仪已应用于建筑施工测量。钟山 DS—102A 型台式测地计算机已大量应用到测绘工作中来,提高了内业计算的效率。

在回顾我国测绘事业取得伟大成就的同时,必须看到,随着我国社会主义建设事业的高速度发展,对测绘工作必然会提出更多更高的要求,任务必然更繁重。另一方面,更应看到,近年来由于航天技术、遥感技术、激光技术和微处理机的发展和应用,国际测绘科学发展很快。例如,在大

* 唐里有大程和小程之别,大程为 545.5 米,小程为 454.4 米。

地测量方面,由于航天技术的发展,便产生了一门新兴的学科——卫星大地测量学。它是采用在地面上测定近宇宙空间的人造天体位置的方法,来解决大地测量学的问题与任务。目前,美国导航卫星系统,即卫星多普勒定位系统,可获得 1 米左右的定位精度。在摄影测量和制图方面,由于电子计算机、相关器和卫星象片的应用,使测图向自动化、数字化方向发展,大大减轻了劳动强度,提高了成图速度。在电磁波测距方面,由于微处理机和光电子技术的应用,逐步实现了一机多能、自动化、数字化和小型化。如瑞士生产的 DI-3S 短程测距仪不仅能测距、测角和自动归算成平距和高差,还能自动显示坐标增量。近年来发展起来的双色激光测距仪,可以自动消除气象改正,精度可达 $10^{-7}D$ 。又例如西德奥普通生产的 RegElta 14 记录式电子速测仪,可以用纸带穿孔记录数据,使测距、测角、记录、计算全部自动化。电子计算机应用到测量平差中后,不仅解决大规模数据的严密平差,而且对测量计算的方法和公式也产生了影响。过去按最小二乘法平差要求各观测数据是独立的,现在平差可以考虑相关数据。……这一切都要求我们迅速开展测绘新技术的研究和推广工作,积极研究新仪器、新设备,密切配合国民经济各部门的需要,加快大比例尺测图的步伐,并有计划有步骤地开展卫星测图、资源勘测和海洋测量等工作,为把我国建设成为伟大的社会主义强国而努力奋斗。

1-3 地面点位的确定

一、地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的,所以必须了解地球的形状和大小。地球自然表面很不平坦,有高山、深谷、丘陵、平原及海洋等。由于海洋占整个地球表面的 71%,而最高的珠穆朗玛峰高出海水面不超过 9 公里,最低的恩登深渊低于海水面不超过 11 公里,这些高低起伏相对地球半径来说是很小的。因此地球总的体形可认为是被海水面所包围的球体。

海洋或湖泊的水面在自由静止时的表面,称为水准面。与水准面相切的平面称为水平面。水准面上任一点的铅垂线,在该点与水准面正交。水准面有无数多个,其中与平均海水面相吻合的水准面,称为大地水准面。我国是在青岛沿海设立一验潮站,长期观测水位标尺,即每隔一定时间读取海水面的高度,取其平均值作为大地水准面的位置,它就是 1956 年黄海高程系统的高程零点,是我国起算高程的基准面。

设想将大地水准面延伸,穿过大陆和岛屿所包围的形体,作为地球的形体,称为大地球体。用大地球体代替地球形状本来是恰当的,但由于地球内部质量分布不均匀,使铅垂线的方向引起变动,致使大地水准面成为一个复杂的曲面。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上,在制图和测量的计算上都是非常困难的。为了解决这一问题,选用了—个非常接近大地水准面、并可用数学式表示的几何形体来代替地球形体,称为参考椭圆柱体。参考椭圆柱体系一椭圆绕其短轴旋转而成。如图 1-1,其形体由长半径 a ,及偏率 f (或短半径 b) 所决定。国内外测量工作者多次测定了这两个

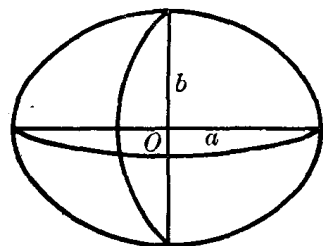


图 1-1

元素的数值,以供应用。目前,经卫星大地测量测定的数据较精确,其值为:

$$a = 6378135 \text{ 米} \pm 5 \text{ 米}$$

$$f = \frac{1}{298.26} \pm 0.5 \times 10^{-7}$$

当测区面积不大时,可以把参考椭圆柱当作一圆球体来看待,其半径为 6371 公里。

二、确定地面点位的方法

地面上各种地形都是由一系列连续不断的点子所组成,确定地面上的图形位置,最基本的就是确定地面点的位置。

如图 1-2, 将地面点 A, B, C, D, E 沿着铅垂线方向投影到大地水准面上, 得到 a, b, c, d, e 等点, 则地面点 A, B, C, D, E 的空间位置, 就可以用 a, b, c, d, e 点在大地水准面上的坐标和 a, b, c, d, e 等点到 A, B, C, D, E 的铅垂距离 $H_A, H_B, \dots, H_E$ 来确定。

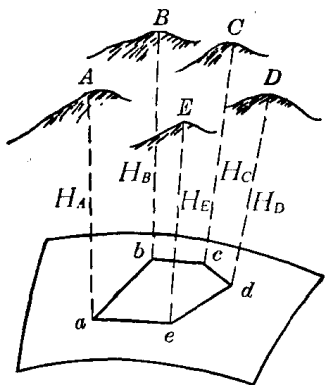


图 1-2

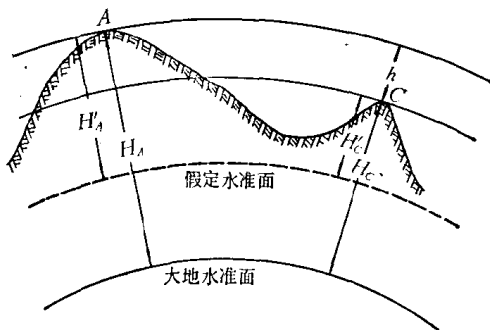


图 1-3

1. 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, 简称高程, 又称海拔。如图 1-2 和图 1-3 中的 $H_A, H_B, H_C, \dots, H_E$ 等。我国规定采用 1956 年黄海高程系统。如果某一个别地区引用绝对高程有困难, 或为了施工中方便起见, 可采用假定高程系统, 图 1-3 中地面点到某一假定水准面的铅垂距离, 称为假定高程或相对高程, 例如 A 点的相对高程为 H'_A , C 点的相对高程为 H'_C 。

两个地面点之间的高程差称为高差。图 1-3 中地面点 A 与 C 之间的高差为 h_{AC} 。

2. 地面点的坐标

地面点在大地水准面上的坐标, 根据实际情况, 可选用下述三种坐标系统中的一种来确定。

(1) 地理坐标

当研究解决整个地球的形状或大区域的测量工作, 可以采用图 1-4 中的球面坐标系以确定地面点位, 例如 L 点的坐标可用经度 λ 和纬度 φ 表示。

如图 1-4 所示, L 点的经度 λ , 是过 L 点的子午面 $PLKP_1O$ 与首子午面 PMP_1O 之间的夹角, 自首子午线向东、向西计算, 各由 $0^\circ \sim 180^\circ$, 在首子午线以东者为东经, 以西者为西经。

L 点的纬度 φ , 是 L 点的铅垂线 LO 与赤道平面 $EMKQO$ 之间的夹角。自赤道算起, 向南、向北各由 $0^\circ \sim 90^\circ$, 在赤道以北者为北纬; 以南者为南纬。

经度 λ 和纬度 φ 称为 L 点的地理坐标, 其值是用天文测量方法测定的。例如北京某点的经度为东经 $116^{\circ}28'$, 纬度为北纬 $39^{\circ}54'$ 。

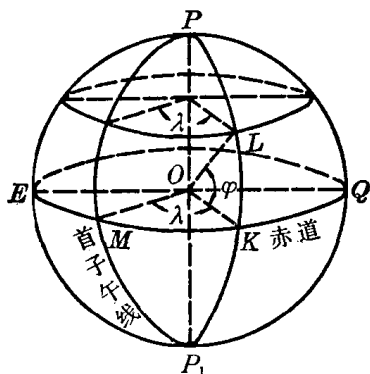


图 1-4

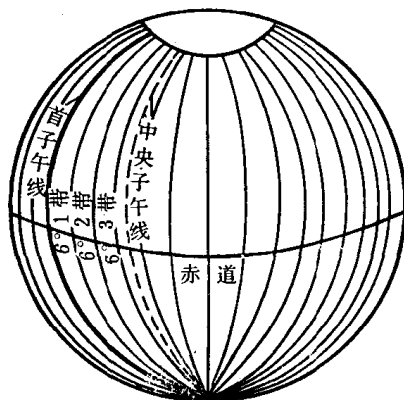


图 1-5

(2) 高斯平面直角坐标

地理坐标对一般测量工作来说是不方便的, 测量和计算最好是在平面上进行, 但地球是个曲面, 如何将球面上的点位描绘到平面图纸上, 从而绘制成地形图呢? 我国是采用高斯投影的方法, 用高斯平面直角坐标来确定地面点位。

高斯投影的方法是将地球划分成 60 个带, 然后将每带投影到平面上。如图 1-5, 投影带是从首子午线起, 每隔经度 6° 划为一带(称为六度带), 自西向东将整个地球划分为经差相等的 60 个带。带号从首子午线开始, 用阿拉伯数字表示。位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线, 第一个 6° 带的中央子午线为 3° , 任意带的中央子午线经度 λ_0 , 可按下式计算:

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

式中 N 为投影带的号数。

如图 1-6, 投影时, 是将地球的体形看作一个圆球, 另取一个空心圆柱体, 圆柱体的轴线 AB 通过圆球中心 O , 并使圆球上某一 6° 带的中央子午线 PP_1 与圆柱体相切。在圆球上和圆柱上保持等角的条件下, 将整个 6° 带投影在圆柱体的表面上, 然后将圆柱沿着通过南北极的母线切开并展成平面, 便得到该 6° 带在平面上的形象。

图 1-6 中的虚线表示 6° 带在圆球上的边界线, 实线表示 6° 带在圆柱上的投影, 中央子午线和赤道被展开后, 为互相垂直的直线。

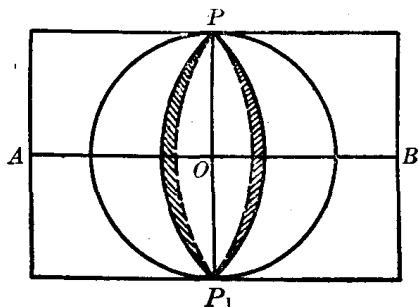


图 1-6

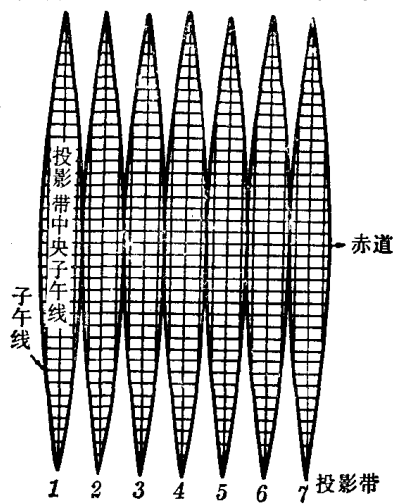


图 1-7

如图 1-7 所示, 在每个投影带内以中央子午线为 x 轴, 以赤道为 y 轴, 两轴的交点作为坐标原点, 则组成高斯平面直角坐标系。若将一个个的带连续投影后, 便得到整个地球的投影。

如图 1-8a, 在高斯平面直角坐标系内, 规定 x 轴向北为正, y 轴向东为正, 象限按顺时针方向编号。这种规定与数学上的规定是不同的, 数学上横轴为 x 轴, 纵轴为 y 轴, 象限按逆时针方向编号(图 1-8b)。测量上取南北线为 x 轴, 即以南北线为标准方向, 主要是定向方便; 而象限采取顺时针方向编号, 其目的是便于将数学上的公式直接应用到测量计算中, 不作任何改变。

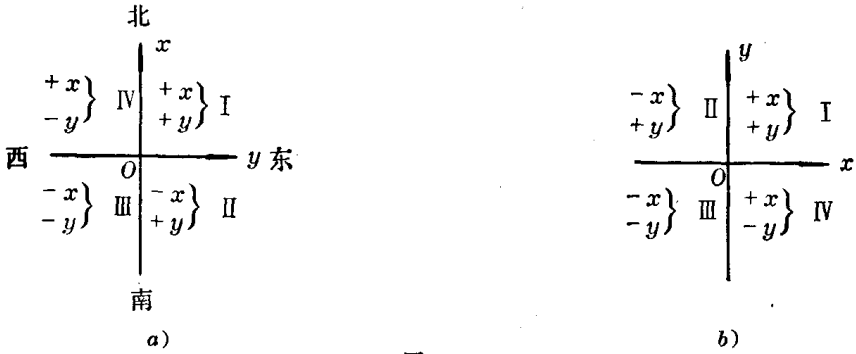


图 1-8

我国位于北半球, x 坐标值为正号; y 坐标则有正有负。如图 1-9a, $y_A = +37680$ 米, $y_B = -74240$ 米, 为避免出现负号, 故将每带的坐标原点向西移 500 公里, 则每点的横坐标值均为正值。如图 1-9b, $y_A = 500000 + 37680 = 537680$ 米, $y_B = 500000 - 74240 = 425760$ 米。

为了根据横坐标值能确定某点位于哪一个 6° 带内, 则在横坐标值前冠以带的编号。例如, A 点位于第 20 带内, 则其横坐标值 y_A 为 20537680 米。

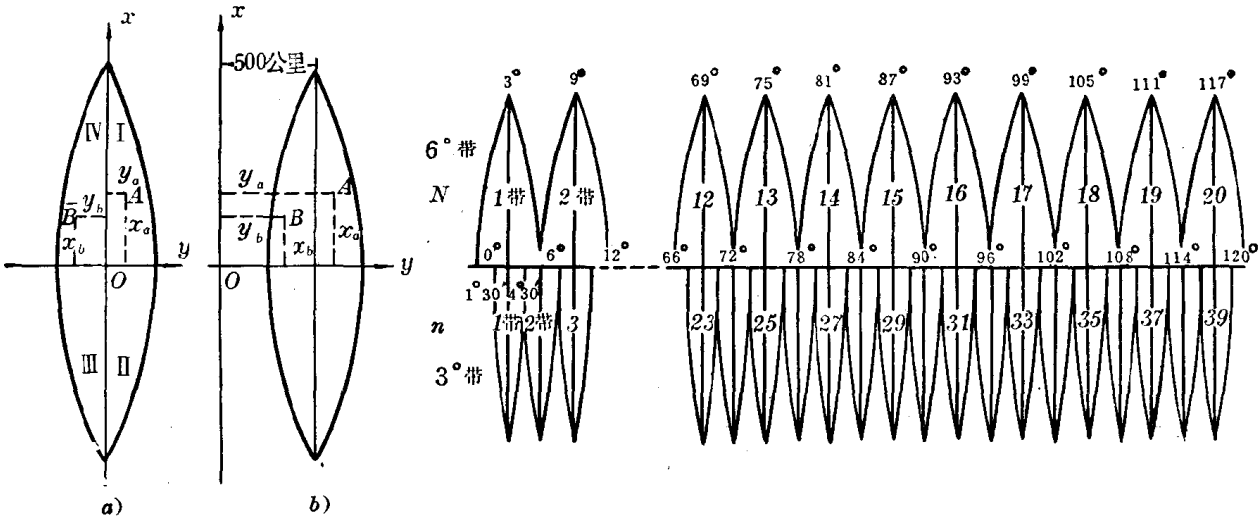


图 1-9

图 1-10

高斯投影中, 离中央子午线近的部分变形小, 离中央子午线愈远则变形愈大。变形过大对于测图和用图都是不利的。实践证明 6° 带投影后, 变形能满足 1:25000 或更小比例尺测图的精度, 当进行 1:10000 或更大比例尺测图时, 要求投影变形更小, 故采用 3° 分带投影法。它是以东经 $1^\circ 30'$ 起, 每隔经度 3° 划分一带, 将整个地球划分成 120 个带(图 1-10)。每带的中央子午线经度 λ_0 , 可按式计算:

n 为 3° 带的号数。

$$\lambda'_0 = 3n$$

(1-2)

(3) 假定平面直角坐标

大地水准面虽然是曲面,但当测量区域很小时,如图 1-11 所示,可以用测区中心的切平面 P 来代替大地水准面,用 ab' 直线代替 ab 弧。为避免坐标出现负值,将坐标原点选在测区西南角,以该地的子午线为 x 轴,向北为正,如图 1-11 所示,就构成了假定直角坐标系。它适用于附近没有国家控制点的工业与民用建筑地区。

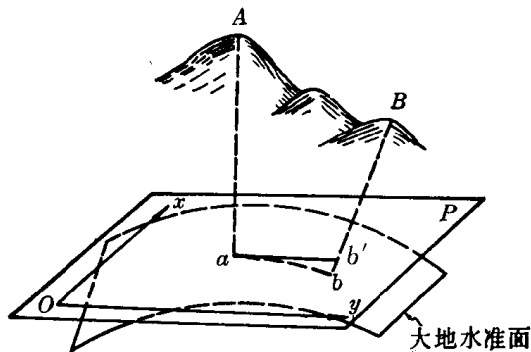


图 1-11

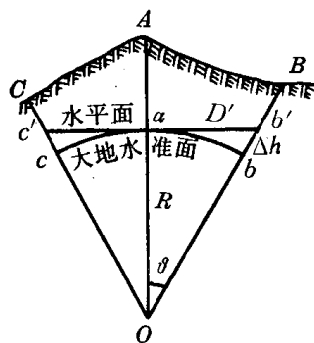


图 1-12

三、用水平面代替水准面的范围

用水平面来代替水准面,只有测区很小时才允许,那么,这个区域的范围究竟多大呢?

如图 1-12, A, B, C 是地面点,它们在大地水准面上的投影点是 a, b 和 c , 用该区域的切平面来代替大地水准面后,地面点在水平面上的投影是 a', b' 和 c' 点,现分析由此产生的影响。

图 1-12 中, A, B 两点在水准面上的距离为 D , 在水平面上的距离为 D' , 两者之间的差别 ΔD , 就是用水平面代替水准面后的差异。大地水准面是一个复杂的曲面,在推导公式时,近似地认为它是半径为 R 的球面,故

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-3)$$

已知 $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$, 因 θ 角很小,只取其前两项,并将其代入式(1-3),得:

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

因 $\theta = \frac{D}{R}$, 故

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-4)$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-5)$$

根据地球平均半径 $R = 6371$ 公里,以及不同的距离 D 代入式(1-5),便得到表 1-1 的结果。

由表 1-1 可以看出,当 $D = 20$ 公里时,所产生的相对误差为 $1/300000$, 这样小的误差,对一般精密测量来说也是允许的,所以,在以 20 公里为半径的圆面积之内,可用水平面代替水准面。

表 1-1

D (公里)	ΔD (厘米)	$\Delta D/D$
10	1	1:1000000
20	7	1:300000
50	102	1:49000
100	812	1:12000

关于用水平面代替水准面对高程的影响,仍以图 1-12 说明之。地面点 B 的高程应是铅垂距离 bB , 用水平面代替水准面后, B 点的高程为 $b'B$ 。两者之差 Δh , 即为对高程的影响。其值

$$\begin{aligned}\Delta h &= bB - b'B = ob' - ob \\ &= R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1)\end{aligned}\quad (1-6)$$

已知

$$\sec \theta = 1 + \frac{\theta^2}{2} + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$$

因 θ 值很小, 故只取上式中两项, 又知 $\theta = \frac{D}{R}$, 代入式(1-6)中, 则

$$\Delta h = R\left(1 + \frac{\theta^2}{2} - 1\right) = \frac{D^2}{2R}\quad (1-7)$$

用不同的距离代入式(1-7)中, 便得到表 1-2 所列的结果。

表 1-2

D (公里)	0.2	0.5	1	2	3	4	5
Δh (厘米)	0.31	2	8	31	71	125	196

从表 1-2 可以看出, 用水平面代替水准面, 对高程的影响(即地球曲率的影响)是很大的, 距离 500 米就产生高程误差 2 厘米, 即使是 200 米的距离, 也有 0.31 厘米的高程误差, 这是不能允许的。因此, 在高程测量中, 即使距离很短, 也应顾及地球曲率对高程的影响。

四、确定地面点位的三个基本要素

如图 1-13 所示, 地面点在水平面上的投影是 a 和 b 。在实际工作中, 并不是直接测出它们的坐标和高程, 而是通过实际观测得到水平角 β_1 、 β_2 和平距 D_1 、 D_2 , 以及点之间的高差, 再根据已知点 I、II 的坐标、方向和高程, 推算出 a 和 b 的坐标和高程, 以确定它们的点位。

由此可见, 地面点间的位置关系是以距离、水平角和高程来确定的。所以高程测量、水平角测量和距离测量是测量学的基本内容。高程、水平角和距离是确定地面点位的三个基本要素。

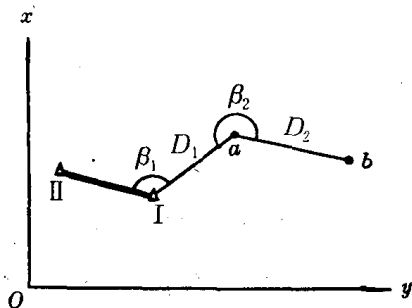


图 1-13

1-4 测量工作的组织原则与程序

地球表面的外形是复杂多样的，在测量工作中将其分为地物和地貌两大类。地面上的物体和人工建筑物称为地物，如河流、湖泊、道路和房屋等；地面的高低起伏、倾斜缓急等称为地貌，如山岭、谷地和陡壁等。现介绍将地物和地貌测绘到图纸上的测量工作的组织原则和程序。

图 1-14a 为一栋房屋，其平面位置由房屋轮廓线的一些折线所组成，如果能确定 1—6 各点的平面位置，这栋房屋的位置就确定了。图 1-14b 是一条河流，它的边线虽然很不规则，但弯曲部分仍可看成是由折线所组成，只要确定 7—13 各点的平面位置，这条河流的位置也就确定了。至于地貌，其地势起伏变化较复杂，但可以将它看成是由许多不同方向、不同坡度的平面交合而成的几何体，相邻平面的交线就是方向变化线和坡度变化线，只要确定这些方向变化线和坡度变化线的交点的平面位置和高程，地貌形态的基本情况也就反映出来了。因此，不论地物或地貌，它们的形态都是由一些特征点的位置所决定。测量时，主要就是测定这些特征点的平面位置和高程。

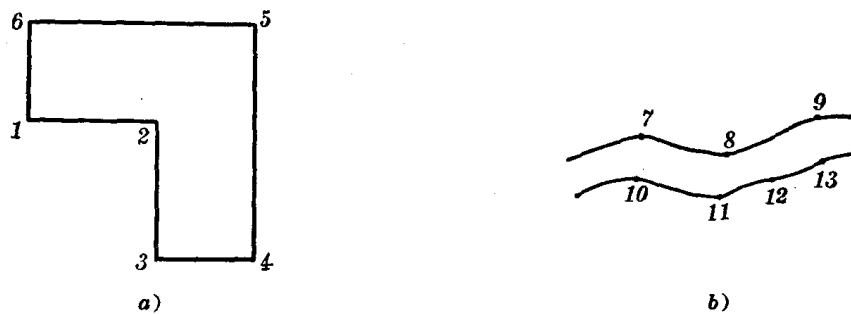


图 1-14

测定特征点的位置，可以用不同的方法和工作程序，如图 1-15，可以根据地物点 A 测定 B 点，

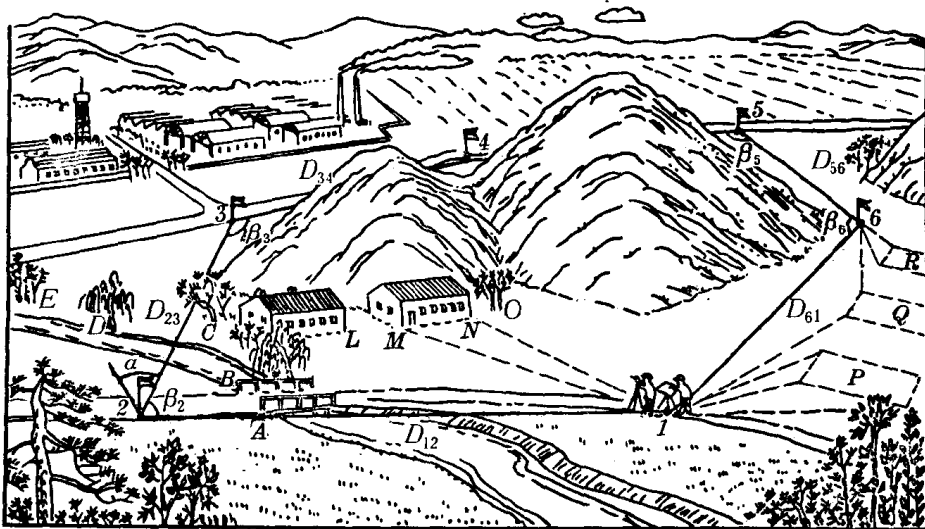


图 1-15

再根据 B 点测定 C 点, …… , 依次把整个测区内地物和地貌特征点的位置测定出来。另一种方法是先在测区(图 1-15)内选择若干有控制意义的点 1、2、3、……作为控制点, 较精确地测定其相对位置, 再在控制点上去测定其周围的特征点, 例如从控制点 1 上测定 L 、 N 及 M 点, 从控制点 2 上测定 A 、 B 等点, 这称为“先控制后碎部”、“先整体后局部”的原则。“先控制后碎部”的方法, 由于在控制点上分别测量其周围的特征点, 减少了误差的积累, 并且可以同时几个控制点上同时进行测量, 加快测量进度, 因此广泛应用于测量工作中, 成为测量工作的组织原则之一。另外, 从上述可知, 当测定控制点的相对位置有错误时, 就要影响碎部测量成果的质量; 碎部测量中有错误时, 以此资料绘制的地形图也就不准确。因此, 测量工作中必须重视检核工作, 对上一步的测量工作未进行检核之前, 不能进行下一步测量工作, 故“前一步工作未作检核不进行下一步工作”就成为测量工作的组织原则之二。

测量工作的程序一般分两步进行。第一步建立控制点, 称为控制测量; 第二步是测定特征点的位置, 称为碎部测量。

测量工作有内业与外业之分。利用测量仪器在野外测出控制点之间或控制点与特征点之间的距离、水平角和高差, 称为测量外业。将外业成果在室内进行整理、计算和绘图, 称为测量内业。

思考题与习题

1. 测量学的研究对象是什么?
2. 测定与测设有何区别?
3. 何谓大地水准面? 它在测量上有何用途?
4. 用水平面代替水准面, 对距离和高差有何影响?
5. 高斯平面直角坐标是怎样建立的? 它与数学上的直角坐标有何不同之处?
6. 测量工作的组织原则是什么?
7. 测量工作中, 观测水平角、水平距离和高差的目的是什么?

第二章 高程测量

测量地面上各点高程的工作,称为高程测量。高程测量一般是先测出地面点间的高差,根据高差和一点的已知高程,推算其它点的高程。由于所用仪器和施测方法的不同,高程测量可分为水准测量、三角高程测量和气压高程测量。水准测量是测定高程的主要方法,在工程勘测和施工中常用之。本章着重介绍水准测量的原理、水准仪的构造及水准测量的施测方法,三角高程测量将在第八章中介绍;气压高程测量在建筑工程中很少使用,本章不予讨论。

2-1 水准测量的基本原理

如图 2-1 所示,欲测定 B 点对 A 点的高差 h_{AB} , 则在 AB 之间安置水准仪, 并分别在 A 、 B 点上竖立水准尺, 根据水准仪提供的水平视线, 在 A 点尺上读数为 a , B 点尺上读数为 b , 则 B 点对 A 点的高差:

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

如果水准测量是由 A 到 B 进行的, 如图 2-1 中的箭头所示, 则 A 点尺上的读数 a 称为后视读数; B 点尺上的读数 b 称为前视读数。故高差等于后视读数减前视读数。

当后视读数 a 大于前视读数 b 时, 高差 h_{AB} 为正值, 说明前视点 B 高于后视点 A ; 反之, 后视读数小于前视读数, 高差 h_{AB} 为负值, 说明前视点 B 低于后视点 A 。

若 A 点的高程 H_A 为已知, 则 B 点的高程

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

B 点的高程也可通过仪器的视线高程 H_i 计算, 即

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

综上所述, 水准测量的原理就是利用水准仪所提供的水平视线测得高差而计算高程的。计算高程的方法有两种, 式(2-2)直接利用高差计算高程, 称高差法; 式(2-3)是利用仪器视线高程计算 B 点高程, 称为仪高法。当安置一次仪器需要测出几个点的高程时, 仪高法比较方便。

由上所述还可看出, 用水准测量测定地面点的高程时, 水准仪的位置和高度可以较自由地选择, 只要水准仪的视线水平时能看到前后视尺的读数即可。

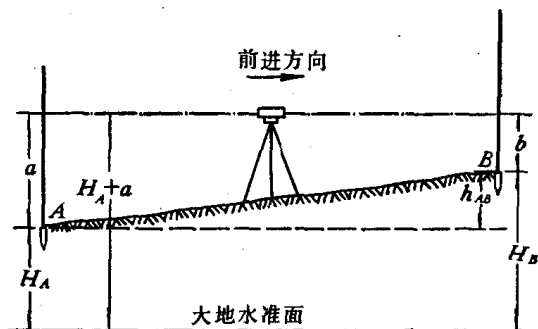


图 2-1