

测量学

姬玉华 夏冬君 主编



哈尔滨工业大学出版社

测 量 学

姬玉华 夏冬君 主编

哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨

内 容 提 要

本书较详细地介绍了测量理论、测量技术与方法及最先进的测量仪器,具有较强的实用性。全书共分12章,主要内容为:地面点位的确定、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、小区域控制测量、大比例尺地形图的测绘、地形图的应用、建筑工程测量、线路工程测量,以及全站仪及其应用、全球定位系统等内容。

本书可作为高等学校土木工程、给水排水工程、环境工程、环境科学、环境设备工程、城市规划、建筑工程管理、道路工程、桥梁工程和交通工程等专业的本科生教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量学/姬玉华,夏冬君主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.6

ISBN 7-5603-2034-1

I. 测… II. ①姬… ②夏… III. 测量学

IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 048690 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006
传 真 0451—86414749
印 刷 哈尔滨市龙华印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 15.75 字数 370 千字
版 次 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-2034-1/TU·46
印 数 1~4 000
定 价 21.00 元

前 言

随着计算机技术、电子技术、通信技术等先进技术的迅速发展,测量学在技术手段、方法和理论上发生了质的飞跃,为满足工程建设对新技术的需要,本书较详细地介绍了最先进的测量仪器、测量理论、测量技术与方法,具有较强的实用性。全书共分 12 章,主要内容为:绪论、地面点位的确定、水准测量、角度测量、测量误差的基本知识、距离测量与直线定向、小区域控制测量、大比例尺地形图的测绘、地形图的应用、建筑工程测量、线路工程测量,以及全站仪及其应用、全球定位系统等内容。系统地介绍了测量的基本知识、基础理论、控制测量、地形图测绘、地形图应用等普通测量的内容,以及建筑工程测量、线路工程测量等工程测量的相关内容,并在有关章节中分别介绍了电子水准仪、电子经纬仪、电子求积仪、地理信息系统、地籍测量、数字化测图等测量新仪器和新技术。对电子全站仪和全球定位系统 GPS 作为单独章节进行较详细介绍,以满足教学和工程实践的需要。

本书由哈尔滨工业大学测量教研室教师结合多年教学及实际工程经验编写,参加编写的人员有:夏冬君(第 1、4、12 章)、姬玉华(第 2、10 章)、张立群(第 3 章)、王世成(第 5 章)、邱志贤(第 6 章)、孔凡玉(第 7、9、11 章)、陶泽明(第 8 章)。全书由姬玉华、夏冬君主编。

本书可作为高等学校土木工程、给水排水工程、环境工程、环境科学、环境设备工程、城市规划、建筑工程管理、道路工程、桥梁工程和交通工程等专业的本科生教材,也可供相关专业工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏及不妥之处,谨请广大读者批评指正,提出宝贵意见。

编 者

2004 年 4 月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 测量学概述	1
1.2 测量学的发展概况	2
1.3 地面点位的确定	3
1.4 用水平面替代水准面的限度	7
1.5 测量工作概述	8
思考题与习题	10
第2章 水准测量	11
2.1 水准测量的原理	11
2.2 水准测量的仪器和工具	11
2.3 DS ₃ 级微倾式水准仪的使用	15
2.4 普通水准测量	17
2.5 微倾式水准仪的检验与校正	23
2.6 精密水准仪与水准尺	25
2.7 电子水准仪简介	27
思考题与习题	30
第3章 角度测量	32
3.1 水平角测量原理	32
3.2 光学经纬仪	32
3.3 水平角测量	36
3.4 竖直角测量	42
3.5 经纬仪的检验与校正	44
3.6 电子经纬仪简介	47
思考题与习题	48
第4章 距离测量与直线定向	50
4.1 钢尺量距	50
4.2 视距测量	57
4.3 电磁波测量距离	60

4.4 直线定向	65
4.5 罗盘仪及其使用	68
思考题与习题	69
第5章 测量误差的基本知识	71
5.1 测量误差概述	71
5.2 偶然误差的特性	72
5.3 衡量精度的指标	74
5.4 误差传播定律	75
5.5 等精度直接平差	78
思考题与习题	81
第6章 小区域控制测量	82
6.1 概 述	82
6.2 导线测量外业	84
6.3 导线测量内业	85
6.4 高程控制测量	90
思考题与习题	95
第7章 大比例尺地形图的测绘	97
7.1 地形图的基本知识	97
7.2 大比例尺地形图的测绘	109
7.3 地籍测量	116
思考题与习题	118
第8章 地形图的应用	119
8.1 地形图的识读和基本用法	119
8.2 面积量算与电子求积仪	123
8.3 土地平整时的用地分析	125
8.4 地理信息系统简介	127
思考题与习题	130
第9章 建筑工程测量	131
9.1 测设的基本工作	131
9.2 建筑场地的施工控制测量	136
9.3 民用建筑的施工测量	140
9.4 工业建筑的施工测量	146
9.5 大坝施工测量	150

9.6 建筑物的变形观测	154
9.7 竣工测量	159
思考题与习题	161
第 10 章 线路工程测量	163
10.1 概 述	163
10.2 中线测量	163
10.3 线路纵横断面测量	173
10.4 道路施工测量	178
10.5 大型桥隧工程测量	182
10.6 管线工程测量	188
思考题与习题	190
第 11 章 全站仪及其应用	192
11.1 全站仪概述	192
11.2 全站仪的各种功能	199
11.3 全站仪数字化测图	208
11.4 全站仪在工程测量中的应用	212
思考题与习题	215
第 12 章 全球定位系统	216
12.1 全球定位系统的组成	216
12.2 坐标系统和时间系统	219
12.3 GPS 卫星定位的基本原理	221
12.4 GPS 绝对定位和相对定位	225
12.5 差分 GPS 定位原理	229
12.6 GPS 测量的实施	231
12.7 GPS 测量数据处理	237
附录	241
附录一 水准仪系列的主要技术参数	241
附录二 经纬仪系列的主要技术参数	242
参考文献	243

第 1 章 绪 论

1.1 测量学概述

1.1.1 测量学的定义

测量学是一门研究地球形状和大小以及确定地面点位的科学。其主要内容包括测定和测设两大部分。测定是指运用测量仪器和方法,通过测量和计算,获得地面点的测量数据,或者把地球表面的地形按一定比例缩绘成地形图,供科学研究、国民经济建设和规划设计使用。测设(也称施工放样)是将规划图纸上设计好的建筑物、构造物的位置(平面位置和高程)用测量仪器和测量方法在地面上标定出来,作为施工的依据。

测量学按照所研究的领域和服务对象的不同,分为以下几个分支学科:①大地测量学,是研究和确定整个地球形状和大小,解决大地区控制测量和地球重力场等问题的科学。大地测量学又分为常规大地测量学、天文大地测量学、重力大地测量学和卫星大地测量学等。②普通测量学,是只研究地球表面小区域的测量理论、技术和方法的科学。③摄影测量学,是研究利用遥感和摄影相片来测定物体的形状和大小的科学。摄影测量学又分为航空摄影测量学、地面摄影测量学和卫星遥感测量学等。④工程测量学,是研究工程建设在勘测、设计、施工和管理各阶段中的各种测量的科学。⑤地图制图学,是研究如何利用各种地图投影方法,将测量成果资料编绘和制印成各种地图的科学。⑥海洋测量学,是研究海洋和陆地水域的测量和绘图的科学。

1.1.2 测量学的任务和作用

测量学的任务就是用各种测量仪器、测量技术和方法来确定地面点的位置,为国民经济各部门服务。测绘信息是国民经济建设中最重要基础信息之一,测绘科学被广泛应用于国民经济和社会发展规划中。

测绘科学在土建类各专业工程建设中有着广泛的应用。例如,在城镇规划、建筑工程、道路与桥梁工程、交通工程和管道工程的勘测设计阶段需要测绘各种比例尺的地形图,供规划设计用。在施工阶段,必须用测量仪器和测量方法将规划图纸上设计好的建筑物、构造物、道路、桥梁及管线的位置(平面位置和高程)在地面上标定出来,以便进行施工。在工程结束后,还要进行竣工测量,供日后维修和扩建用,对于一些大型或重要建筑物和构造物还需要定期进行变形观测,确保其安全。

对于土建类各专业的学生,通过学习本课程,要求掌握普通测量学的基本知识和基础理论,以及工程测量学中的相关理论和方法;学会经纬仪、水准仪等常规测量仪器的使用方法;掌握大比例尺地形图测绘的原理和方法;具备地形图应用的能力;掌握工程测量中各种测设

数据计算和测设的方法。

1.2 测量学的发展概况

测量学是一门古老的科学,与人类赖以生存的地球密切相关。人类通过对天体运行规律的观测和对地球的实地测量,逐渐认识到地球是一个圆球体。

1687年牛顿根据自己发现的万有引力定律,提出了地球为椭球的理论,指出,地球在离心力的作用下,应该是一个两极处略扁的扁球,其形状与一个椭圆绕其短轴旋转而成的旋转椭球体极为接近。我国从1708年开始进行的大规模天文大地测量,结果发现纬度越高,每度子午线弧长越长。法国科学院1735~1741年测量子午线弧长,其结果是高纬度处的曲率半径较低纬度处的大。这些事实都证明了牛顿学说的正确性。牛顿旋转椭球体的学说,为地球形状和大小的研究奠定了基础。

测绘科学可分为三个部分:大地测量、摄影测量和地图制图。这三门学科自身都有着很长的发展过程,有的经过几百年,有的甚至经历了上千年的发展过程。

在大地测量领域,其发展史是从17世纪开始逐渐形成的。从1615年荷兰人斯奈洛首先用三角测量网做弧度测量算起,迄今已有300多年的历史。在此期间,随着生产力的发展和科学技术的进步,人们发明了望远镜,使测量仪器发生了非常大的变化,提高了测量结果的精度。大地测量学在理论和技术上也取得了很大的进步。1806年法国数学家勒让德提出最小二乘法理论,1810~1826年德国的数学家、大地测量学家高斯陆续发表了5种著作,将最小二乘法理论用于测量平差,使得测量平差中的许多问题得到解决。但在20世纪50年代以前,大地测量在进行地面控制测量方面,仍按经典的三角测量方法进行。1948年和1957年先后发明了光电测距仪和微波测距仪,大大提高了距离测量的精度。地面控制测量由经典的三角测量发展为边角网测量和导线测量的方法。20世纪80年代以后,全球定位系统(GPS)以全天候、高精度、自动化、高效益等显著特点,在大地测量、工程测量等许多领域中得到广泛应用,也为今后的大地测量提供了广泛的发展空间。

在摄影测量领域,其发展开始于1873年摄影技术发明以前,总共也有200多年了。随着航空技术的发展,摄影测量发展为航空摄影测量阶段,将测量的部分工作由地面发展到空中,极大地减轻了测量业的工作量,提高了测量制图的工作效率。在20世纪90年代,摄影测量进入数字摄影测量时代,摄影测量实现了自动化。空间技术的发展带来了摄影测量技术的飞跃,发展成为卫星遥感(RS)技术。

在地图制图领域,我国古代地图早在二三千年以前就出现了,有记载的最早古地图是西周初年的洛邑城址的地形图。现在能见到的古地图是长沙马王堆汉墓出土的古长沙地图。西晋时裴秀创立了地图编制理论——《制图六体》,此后,我国历代都编制过各种地图。在制图领域有重大影响的是高斯横椭圆柱体分带投影理论,解决了大范围制图时的投影方法和投影变形控制问题。至今,该理论仍然应用于测量数据的处理和地图制图工作中。在最近二三十年中,由于计算机技术和信息技术的发展,已经将纸上的地图纳入到计算机中,成为数字地图,从而发展为电子地图等产品,并最终发展为地理信息系统(GIS)技术。

1.3 地面点位的确定

1.3.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的,而地球的自然表面是非常不规则的,有陆地和海洋,其中陆地约占29%,海洋约占71%。陆地部分有平原、丘陵、高山和盆地等复杂的地形变化,其最高处是我国的珠穆朗玛峰,高出海水面8 848.13 m。海洋中海底的最低处位于马里亚纳海沟,低于海水面11 022 m。两者高低之差约20 km,但这与地球的平均半径6 371 km相比是很小的。因此,德国的数学家、大地测量学家高斯和物理学家李斯丁先后提出用大地水准面来表示地球的形状,即把地球的形状视为静止的海水面并向陆地内部延伸形成的闭合曲面所包围的形体。将这个由静止的海水面并向陆地内部延伸形成的闭合曲面,称为水准面。由于地球的自转运动,地球表面上任意一点都同时受到地球引力和离心力的作用,这两个力的合力称为重力。通常将重力作用的方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。水准面上各点同样受到重力的作用,因此,水准面是一个处处与铅垂线方向垂直的连续曲面,并且是一个重力场等位面。由于潮汐变化等因素的影响,使得水准面有无数个。将平均海水面向陆地内部延伸形成的闭合曲面,称为大地水准面。大地水准面有明确的物理意义,在地球上实际存在,在很大程度上能反映地球的真实情况,因而被沿用至今。大地水准面是测量工作的基准面。将大地水准面所包围的地球形体,称为大地体。

由于地球内部质量分布不均匀,使地球表面上各点的铅垂线方向产生不规则变化,因而大地水准面实际上是一个十分复杂的和不规则的曲面(图1.1(a)),是无法在其上面进行测量和数据处理的。

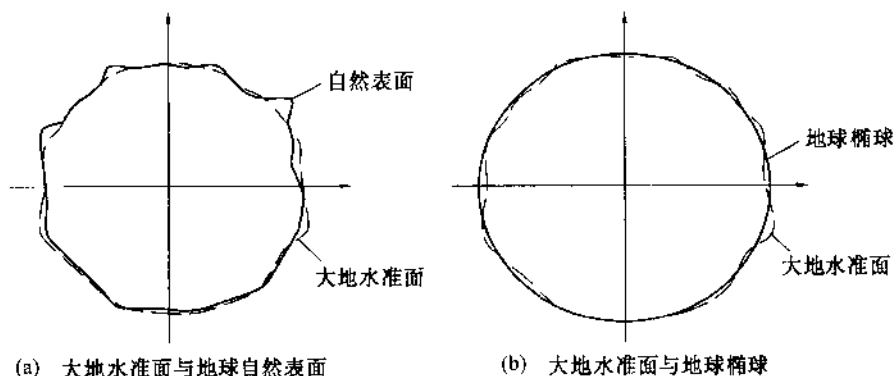


图 1.1 地球形状示意图

为了测量和制图方便,根据牛顿地球为椭球的理论,测量学中通常选择一个和大地水准面非常接近的椭球体来代替大地体。这个椭球体称为地球椭球体,简称地球椭球(图1.1(b))。地球椭球是一个由旋转轴与地球自转轴重合的椭圆绕其短轴旋转而形成的几何形体,因此又称为旋转椭球或参考椭球。如图1.2所示,地球椭球的大小由其长半轴 a 和扁率 α 确定。长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 α 之间的关系为

$$\alpha = \frac{a - b}{b}$$

目前我国采用的椭球元素为

长半轴(m) $a = 6\,378\,140$

扁率 $\alpha = 1 : 298.257$

并在陕西省泾阳县永乐镇确定了我国的大地原点,建立了全国统一的坐标系,称为“1980 年国家大地坐标系”。

由于地球椭球的扁率很小,当测区范围不大时,可将地球椭球近似为圆球,其平均半径为 $R = 6\,371\text{ km}$ 。

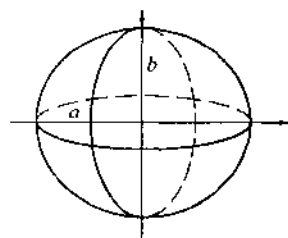


图 1.2 参考椭球

1.3.2 确定地面点位的方法

测量工作的基本任务是确定地面点的位置。在测量工作中,地面点的位置通常需要用三个量来表示,如图 1.3 所示,将地面点 A 、 B 、 C 、 D 等沿铅垂线方向投影到大地水准面上,得到 a 、 b 、 c 、 d 等相应的投影点。则地面点 A 、 B 、 C 、 D 的位置,可以用 a 、 b 、 c 、 d 点在大地水准面上的坐标以及 A 、 B 、 C 、 D 点沿铅垂线方向到大地水准面的距离 H_A 、 H_B 、 H_C 、 H_D 来表示。

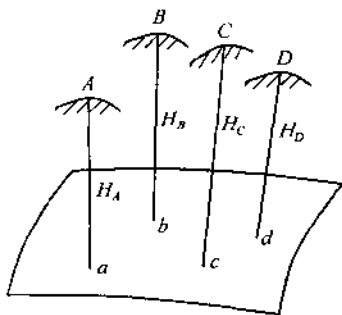


图 1.3 地面点的位置

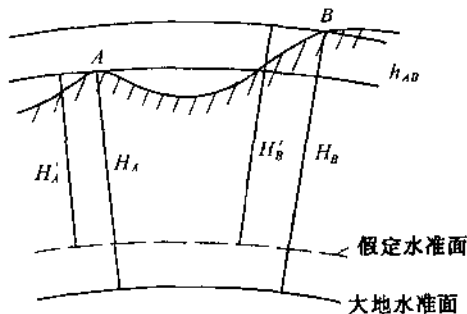


图 1.4 高程与高差

1. 地面点的高程

地面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,或称为海拔。如图 1.4 所示, H_A 、 H_B 分别表示 A 、 B 两点的绝对高程。由于海水面受潮汐等因素的影响,是一个动态的曲面。我国在青岛设立验潮站,对黄海海水面的高低起伏变化进行了长期的观测记录,取其平均值作为我国大地水准面的位置(其绝对高程值为零),并在青岛设立了水准原点,测得其绝对高程为 72.260 m 。这就是我国目前采用的“1985 年高程基准”。

在相对独立的测区,当引测绝对高程有困难时,也可以采用假定高程系统,即选择任意一个假定水准面作为高程基准面。地面点沿铅垂线方向到假定水准面的距离,称为该点的相对高程,也称为假定高程。如图 1.4 中 H'_A 、 H'_B 分别表示 A 、 B 两点的相对高程。

地面上两点之间的高程之差,称为高差。如图 1.4 所示, A 、 B 两点之间的高差为 h_{AB} , 则

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.1)$$

由式(1.1)可知,两点之间的高差与高程基准面无关。

2. 地面点在投影面上的坐标

(1) 地理坐标。地理坐标一般用经度和纬度表示,分大地经纬度(L , B)和天文经纬度

(λ, φ)。大地经纬度以过地面点的椭球面的法线为依据。天文经纬度则以过地面点的铅垂线为依据。过地球表面上一点与地球南北极的平面,称为子午面。子午面与地球表面的交线,称为子午线。过英国格林威治天文台的子午面,称为首子午面。首子午面与地球表面的交线,称为首子午线。过地球表面上一点的子午面与首子午面之间的夹角,称为经度。自首子午面起,向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为东经,向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为西经。过地球表面上一点的铅垂线或法线与地球赤道面之间的夹角,称为纬度。自赤道面起,向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬,向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬。

(2) 独立平面直角坐标系。当测量区域较小(半径小于10 km)时,可以过测区中心点 A 在大地水准面上的投影点 a 作一个切平面,如图1.5所示,用切平面作为测量区域的投影面。在平面上建立一个平面直角坐标系,地面点在投影面上的位置可以用平面直角坐标(x, y)表示。测量学中建立的平面直角坐标系,如图1.6所示。 x 轴方向指向北方, y 轴方向指向东方,平面直角坐标系中的象限按顺时针方向编号。测量学中建立上述平面直角坐标系的目的是测量定向方便,同时还可以将数学中的计算公式不需要作任何变换直接应用到测量计算中。平面直角坐标系的原点 O 一般选在测区的西南角,使测区内各点的坐标均为正值。

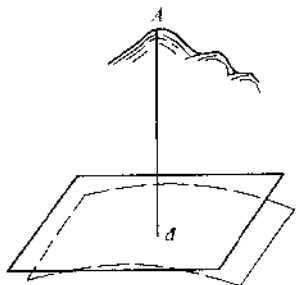


图 1.5 小区域测量

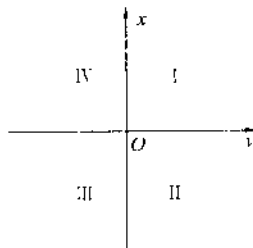
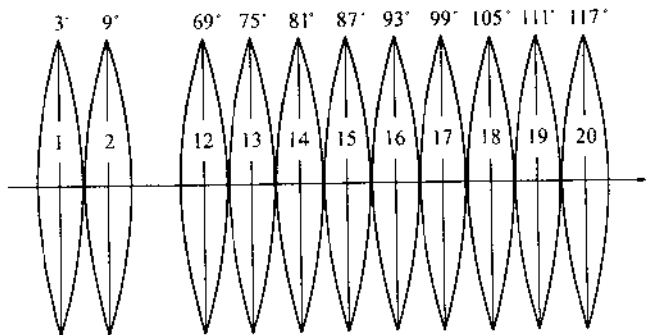


图 1.6 平面直角坐标系

(3) 高斯平面直角坐标系。当测区范围较大时,就不能把地面点直接投影到切平面上。必须将地面点先投影到椭球面上,然后在按照地图投影的方法,将椭球面上的点投影到平面上。测量工作中通常采用的地图投影方法是高斯投影方法。

为了控制投影变形,高斯投影采用分带投影的方法,如图1.7所示,即从首子午线起,按经差每 6° 为一带,将整个地球椭球自西向东划分成60个带,称为 6° 带。 6° 带的带号用阿拉伯数字1,2,3,...,60表示。位于每个投影带中央的子午线,称为该带的中央子午线。各带的中央子午线经度为

图 1.7 6° 带投影

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1.2)$$

式中 N ——投影带号。

高斯投影是设想用一个平面制成一个空心的椭圆柱体,并将其横着套在地球椭球体的外面,使椭圆柱体的中心轴线位于赤道面内并通过地球椭球的中心,同时将投影带的中央子午线与椭圆柱体相切,如图 1.8 所示,按照等角投影条件,将该投影带内地球椭球面上图形投影到椭圆柱面上,然后将椭圆柱面沿过两极的母线剪开,并展开成平面。中央子午线投影展开是一条直线,作为坐标纵轴,即 x 轴;赤道线经投影展开后也是一条直线,且与坐标纵轴垂直,将其作为横轴,即 y 轴;交点为原点 O ,将这个坐标系称为高斯平面直角坐标系(图 1.9)。

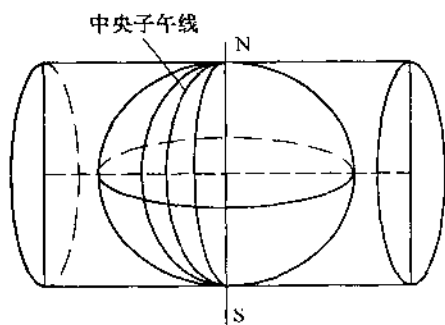


图 1.8 横椭圆柱体投影

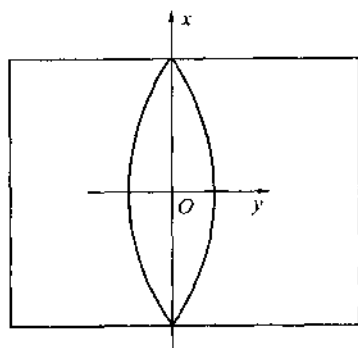


图 1.9 高斯平面直角坐标系

我国位于北半球, x 坐标均为正值, y 坐标则有正有负。如图 1.10(a) 所示, 设 A 、 B 两点的 y 坐标为: $y_A = 183\,520\text{ m}$, $y_B = -201\,235\text{ m}$ 。为避免横坐标出现负值, 我国规定将坐标纵轴向西平移 500 km , 如图 1.10(b) 所示。则平移后 A 、 B 两点的 y 坐标分别为

$$y_A/\text{m} = 500\,000 + 183\,520 = 683\,520$$

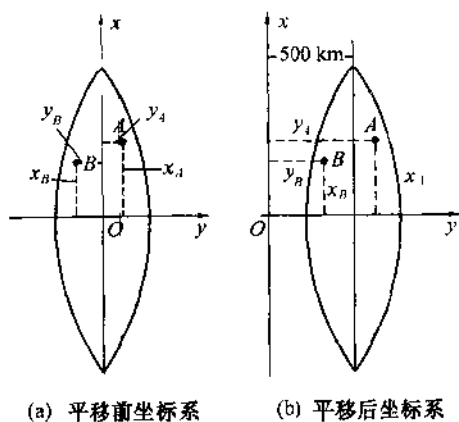
$$y_B/\text{m} = 500\,000 - 201\,235 = 298\,765$$

在高斯投影中, 离中央子午线越近投影变形越小, 离中央子午线越远投影变形越大, 距离相等的变形系数相等。当大比例尺测图或工程测量时, 要求投影变形较小, 可采用 3° 带投影, 即从东经 $1^\circ 30'$ 起, 按经差每 3° 为一带, 将整个地球椭球自西向东划分成 120 个带, 称为 3° 带, 如图 1.11 所示。 3° 带的带号用阿拉伯数字 1, 2, 3, ..., 120 表示。各带的中央子午线经度为

$$L'_0 = 3^\circ n \quad (1.3)$$

式中 n ——投影带号。

在进行地形图测绘和编制过程中, 不同比例尺地形图有不同的精度要求。为保证测量和制图的精度, 控制投影变形, 当测绘或编制 1:25 000 或更小比例尺地形图时, 通常选用 6°



(a) 平移前坐标系

(b) 平移后坐标系

图 1.10 平移前、后的高斯平面直角坐标系

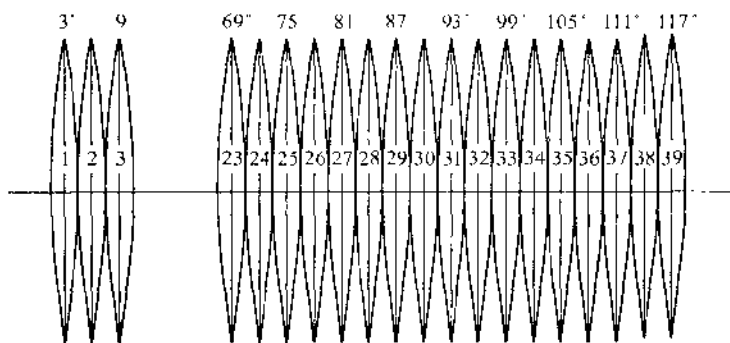


图 1.11 3° 带投影

带投影。在进行 1:10 000 或更大比例尺地形图测绘和工程测量时,应采用 3° 带投影。

1.4 用水平面替代水准面的限度

在相对较小的范围内,可以用水平面替代水准面作为基准面,将地面点直接投影到水平面上,在水平面上建立平面直角坐标系,对测量结果进行计算和绘图,这样可以大大简化测量计算和绘图的工作量。下面来讨论用水平面替代水准面的误差影响。

1.4.1 对水平距离的影响

如图 1.12 所示,地面上 A 、 B 两点,在大地水准面上的投影点为 a 、 b ,过投影点 a 作大地水准面的切平面,则 A 、 B 两点在水平面上的投影点为 a' 、 b' 。设 A 、 B 两点在大地水准面上的距离为 D ,在水平面上的距离为 D' ,两者之差 $\Delta D = D' - D$,即为水平面代替大地水准面所引起的水平距离差异。在进行公式推导时,将大地水准面近似为半径为 R 的球面,则

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1.4)$$

将 $\tan \theta$ 按级数展开为 $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$ 因为 $\theta = D/R$ 是一个很小的角度,故取前两项代入式(1.4),得

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

将 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入上式,得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1.5)$$

将式(1.5)两边同时除以 D ,得到相对误差为

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

图 1.12 水平面代替水准面的差异

取 $R = 6\,371\text{ km}$,将 D 取不同的值代入式(1.5)、(1.6)得到 D 、 ΔD 和 $\Delta D/D$ 之间的数量关系见表 1.1。从表 1.1 中可知,当 $D = 10\text{ km}$ 时,相对误差 $\Delta D/D = \frac{1}{1\,217\,000}$ 。因此,在半径为 10 km 的范围内进行距离测量时可以不考虑地球曲率对距离的影响,用水平面替代水准面。

表 1.1 D 、 ΔD 和 $\Delta D/D$ 之间的关系

D/km	10	20	50	100
$\Delta D/\text{mm}$	8	66	1 026	8 212
$\frac{\Delta D}{D}$	$\frac{1}{1\,217\,000}$	$\frac{1}{304\,000}$	$\frac{1}{49\,000}$	$\frac{1}{12\,000}$

1.4.2 对高程的影响

如图 1.12 所示,地面点 B 的高程为 Bb ,如果用水平面替代大地水准面,则 B 点的高程为 Bb' ,两者之差 h ,即为用水平面替代大地水准面对高程的影响。由图 1.12 可知

$$h = Bb - Bb' = Ob' - Ob = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \quad (1.7)$$

将 $\sec \theta$ 按级数展开为 $\sec \theta = 1 + \frac{1}{2}\theta^2 + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$, 因为 $\theta = \frac{D}{R}$ 是一个很小的角度,故取前两项代入式(1.7),得

$$h = R \left(1 + \frac{\theta^2}{2} - 1 \right) = \frac{D^2}{2R} \quad (1.8)$$

取 $R = 6\,371\text{ km}$,将 D 取不同的值代入式(1.8)得到 D 和 h 之间的数值关系见表 1.2。从表 1.2 中可知,用水平面代替大地水准面对高程的影响很大,当 $D = 200\text{ m}$ 时, $h = 3\text{ mm}$,已经超出了高程测量的误差要求。因此,在高程测量时,应顾及地球曲率对高程的影响。

表 1.2 D 与 h 之间的数值关系

D/m	200	500	1 000	2 000
h/mm	3	20	78	314

1.5 测量工作概述

1.5.1 测量的三项基本工作

测量工作的基本任务是确定地面点的位置,即地面点的坐标和高程。通常并不是直接测量出地面点的坐标和高程,而是通过测量待测边与已知边之间的水平角 β 、待定点与已知点之间的水平距离 D 和高差 h ,然后经过计算得出地面点的坐标和高程。

因此,水平角 β 、水平距离 D 和高差 h 是确定地面点位置的三个基本要素。水平角测量、水平距离测量和高差测量(或高程测量)是测量的三项基本工作。

1.5.2 测量工作的原则和程序

地球表面的复杂形态,总的来说可分为地物和地貌两大类。地球表面上人工或天然的具

有一定几何形状的物体,称为地物。如建筑物、构筑物、道路、河流、湖泊等。地球表面上高低起伏的变化形态,称为地貌。如高山、丘陵和盆地等。地物和地貌的总称为地形。测量的主要工作之一,就是要将地物的平面位置和高程以及地貌的高低起伏变化形态测绘到图纸上,并按一定的比例缩小,绘成地形图。

对于不同的地物,其轮廓的几何形状虽然多种多样,但总的来说,都是由直线或曲线所构成。这些直线或曲线的形状又是由地物轮廓的一些具有特征性的点所决定的,如建筑物的角点、河流的明显转折点等。测量时只要测出地物轮廓线上的转折点,即可按照规定的图式符号绘出实地地物在地形图上的图形。将能够表示地物轮廓的具有特征性的点,称为地物的特征点。

对于地貌而言,虽然表面形状复杂多样,但都可以分为山头、山脊、山谷、鞍部和盆地等几种基本形态。每种基本地貌形态都可以近似看成由不同方向和不同的倾斜面所组成的曲面。相邻曲面的交线,称为地貌的特征线或地性线。地性线的端点或其坡度变化点,称为地貌的特征点。测量地貌的高低起伏变化,只要确定出这些地貌特征点的平面位置和高程,就可以确定出地貌的形状和大小。

因此,无论是地物还是地貌,他们的形状和大小都是由一些特征点的平面位置和高程所决定。这些特征点也称为碎部点。测图时,主要是测定这些碎部点的平面位置和高程,用规定的图式符号,并按一定的比例缩小,绘成地形图。

为了防止测量误差的积累,提高测量结果的精度,在测绘地形图时,首先应在测区内建立一定数量的控制点,精确地测定这些控制点的平面位置和高程。然后,再以这些控制点为基础,测定其周围的地物和地貌的碎部点的平面位置和高程。各碎部点的平面位置和高程都是根据其附近控制点测定的,因此,各碎部点之间没有直接的关系。因而避免了测量误差的积累和传递,提高了测量结果的精度。所以,在测量工作中必须遵循的原则是,在测量布局方面要“由整体到局部”;在测量工作程序上要“先控制后碎部”;在测量精度控制方面要“由高级到低级”,即先建立控制网,进行高精度的控制测量,再以控制点为基础,进行较低精度的碎部测量。测量工作中,将测定控制点的平面位置和高程的工作,称为控制测量;将测定碎部点的平面位置和高程的工作,称为碎部测量。

在测设工作中,也必须遵循上述原则,即先建立控制网,进行控制测量,再以控制点为基础,将图纸上设计好的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设到实际地面上。测设碎部点的平面位置和高程的工作,称为施工放样。

总之,无论是地形图测绘还是施工放样,都必须遵循“由整体到局部”,“先控制后碎部”,“由高级到低级”的原则。

思考题与习题

1. 名词解释: 测量学、测定、测设、大地水准面、绝对高程、相对高程、高差、特征点。
2. 测定与测设有何区别?
3. 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哪些不同之处?
4. 高斯平面直角坐标系是如何建立的?
5. 某点位于东经 111° 以东 $91\,234.50\text{ m}$, 试计算该点在 3° 带和 6° 带中的横坐标各是多少?
6. 确定地面点的三个基本要素是什么?
7. 测量的三项基本工作是什么?