

普通高等教育规划教材

测 量 学

Surveying

姬玉华 夏冬君 主 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

普通高等教育规划教材

Surveying

测 量 学

姬玉华 夏冬君 主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书共分 12 章,主要包括绪论、地面点的确定、水准测量、水平角测量、竖直角测量、距离测量、测量误差的基本知识、小区域控制测量、大比例尺地形图测绘、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,同时在有关章节分别介绍了电子水准仪、地理信息系统、数字化测图等测量新仪器和新技术。对全站仪及其应用、全球定位系统 GPS 测量原理及应用作为独立章节进行详细介绍,以满足测量学教学和工程实践的需要。

本书可作为高等院校土木工程、给排水工程、建筑环境与设备工程、工程管理、城市规划、道路桥梁与渡河工程、交通工程、交通信息与控制工程专业本科生教材,也可作为相关专业工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

测量学 / 姬玉华, 夏冬君主编. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.3

ISBN 978-7-114-12104-3

I. ①测… II. ①姬… ②夏… III. ①测量学—高等学校—教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 042682 号

普通高等教育规划教材

书 名: 测量学

著 作 者: 姬玉华 夏冬君

责任编辑: 刘永超 潘艳霞

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 17

字 数: 416 千

版 次: 2015 年 3 月 第 1 版

印 次: 2015 年 3 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12104-3

定 价: 34.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

《测量学》对土木工程、给排水工程、建筑环境与设备工程、工程管理、城市规划、道路桥梁与渡河工程、交通工程、交通信息与控制工程等专业本科生是一门技术基础课。本课程具有理论与实践紧密结合的特点,通过课程学习,使学生不仅能系统掌握测量学的基本知识,也为学生创造了理论联系实际的条件。通过实践教学环节,提高学生所学测量学的理论知识水平和测量仪器的基本操作技能,使学生养成自主分析问题和解决问题的能力,培养和提高学生的实践技能。

本书较详细地介绍了测量学的基本知识、基础理论,测量仪器的构造和使用方法,控制测量,地形图的测绘和应用,建筑物和构筑物 and 线路工程的施工放样,大型建筑物和构筑物的变形观测以及近年来出现的测量新仪器和技术在土建工程中的应用知识,具有较强的实用性。全书共分 12 章,主要内容为:绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识、小区域控制测量、大比例尺地形图测绘、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,同时在有关章节分别介绍了电子水准仪、地理信息系统、数字化测图等测量新仪器和新技术。将全站仪及其应用、全球定位系统 GPS 测量原理及应用作为独立章节进行详细介绍,以满足测量学教学和工程实践的需要。

本书由哈尔滨工业大学测量教研中心教师结合多年教学 and 实际工作经验编写,参加编写的教师有:夏冬君(第 1、6、12 章)、姬玉华(第 2、10 章)、陶泽明(第 3、8 章)、王世成(第 4、5 章)、孔凡玉(第 7、9、11 章)。全书由姬玉华、夏冬君主编。

本书可作为高等院校土木工程、给排水工程、建筑环境与设备工程、工程管理、城市规划、道路桥梁与渡河工程、交通工程、交通信息与控制工程等专业本科生教材,也可作为相关专业工程技术人员参考书。

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,并提出宝贵意见。

编 者

2014 年 10 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 用水平面代替水准面的限度	9
1.5 测量工作概述	10
思考题与习题	12
第2章 水准测量	13
2.1 水准测量的原理	13
2.2 水准测量的仪器和工具	13
2.3 DS ₃ 级微倾式水准仪的使用	17
2.4 普通水准测量	19
2.5 微倾式水准仪的检验与校正	25
2.6 精密水准仪与水准尺	27
2.7 电子水准仪简介	29
思考题与习题	32
第3章 角度测量	34
3.1 水平角测量原理	34
3.2 光学经纬仪	35
3.3 水平角测量	39
3.4 竖直角测量	44
3.5 经纬仪的检验与校正	48
3.6 电子经纬仪	51
思考题与习题	55
第4章 距离测量与直线定向	56
4.1 钢尺量距	56
4.2 视距测量	62
4.3 电磁波测量距离	66
4.4 直线定向	70
4.5 罗盘仪及其使用	74
思考题与习题	76

第5章 测量误差的基本理论	77
5.1 测量误差概述	77
5.2 偶然误差的统计规律	78
5.3 衡量观测值精度的指标	80
5.4 误差传播定律及应用	82
5.5 等精度直接平差	84
5.6 不等精度直接平差	87
思考题与习题	92
第6章 小区域控制测量	93
6.1 控制测量概述	93
6.2 导线测量外业工作	97
6.3 导线测量的内业工作	98
6.4 高程控制测量	105
思考题与习题	110
第7章 大比例尺地形图测绘	112
7.1 地形图的基本知识	112
7.2 图根控制测量	122
7.3 地物平面图测绘	124
7.4 等高线地形图测绘	128
7.5 数字地形测量	130
7.6 数字地形图测量的机助成图	134
思考题与习题	136
第8章 地形图的应用	138
8.1 地形图的识读和基本用法	138
8.2 面积量算与电子求积仪	143
8.3 土地平整时的用地分析	146
8.4 地理信息系统简介	150
思考题与习题	157
第9章 建筑工程测量	158
9.1 建筑施工测量概述	158
9.2 施工测量的基本工作	158
9.3 建筑施工控制测量	163
9.4 建筑施工测量	164
9.5 建筑工程变形观测	172
思考题与习题	180
第10章 线路工程测量	182
10.1 概述	182
10.2 中线测量	182
10.3 线路纵横断面测量	193

10.4	道路施工测量	196
10.5	大型桥隧工程测量	201
10.6	管线工程测量	206
	思考题与习题	208
第 11 章	全站仪测量技术	210
11.1	全站仪概述	210
11.2	全站仪的测量原理	212
11.3	全站仪的使用	217
11.4	全站仪的基本测量功能	219
11.5	全站仪的程序测量功能	219
11.6	全站仪的检验和校准	226
11.7	全站仪的管理、配置、工具和数据通信模式	228
11.8	全站仪在测量工程中的应用示例	231
	思考题与习题	234
第 12 章	全球定位系统及其应用	235
12.1	全球定位系统的组成	235
12.2	坐标系统和时间系统	238
12.3	GPS 卫星定位的基本原理	240
12.4	GPS 绝对定位和相对定位	244
12.5	差分 GPS 定位原理	248
12.6	GPS 测量的实施	251
12.7	GPS 测量数据处理	255
12.8	GPS 在道路桥梁与隧道工程中的应用	259
	参考文献	263

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,是研究和确定地球形状和大小,解决大地区控制测量和地球重力场问题的科学。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,是研究地球表面局部区域内控制测量和地图测绘的理论、技术和方法的科学。由于测绘区域较小,在进行控制测量和地图测绘时,可以不顾及地球曲率,把投影面当作平面处理,而不影响测量精度。③摄影测量学,是研究利用航空摄影和卫星遥感技术采集地球表面物体的图像信息,经过图像处理、相片量测、地物判读和测量计算,结合外业相控点测量坐标和相片调绘结果,确定被测量物体的形状、大小、点位坐标并绘制地图的科学。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、施工和管理各阶段测量工作的理论、技术和方法的科学。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、道路与桥梁工程和管道工程等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。古代的测量技术起源于水利和农业,古埃及尼罗河每次洪水泛滥后,都需要重新进行土地边界确定,进行测量工作。公元前 21 世纪,中国夏禹治水时已经使用简单的测量工具测量距离和高低。

关于地球的形状和大小,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 年英国大科学家牛顿根据力学理论,创立了地球椭球学说。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 1703 年开始进行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。牛顿旋转椭球体学说,为研究确定地球形状和大小奠定了基础。

测绘科学可分为三个部分:即大地测量、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,有的甚至经过了上千年的发展。

在大地测量领域,其发展史是从 17 世纪开始的。从 1615 年荷兰人斯奈洛首先用三角测量网作弧度测量算起,迄今已有 300 年的历史。1607 年,一位荷兰眼镜商人发现了望远镜的秘密。该人在制造镜片时,把一块凸透镜和一块凹透镜合在一起往外看,远处的东西就变近了。伽利略对这个发现很感兴趣,他用数学进行计算,对镜片进行研究组合,并做了两根管子,一根管子的一端放凸透镜,另一根管子的一端放凹透镜:其中一根稍微细一点,正好可以套在另一根管子里面,可以自由滑动。经过反复的研制和试验,在 1609 年 8 月 21 日展出了人类历史上第一架按照科学原理制造出来的能放大 32 倍的望远镜。望远镜的发明,使测量仪器发生了非常大的变化,1730 年,英国的西森制造了第一台经纬仪,正式用于英国大地测量中,提高了角度测量的精度,促进了三角测量的发展。1904 年,德国开始生产玻璃度盘经纬仪。在测量学理论和技术方面,1794 年,德国数学家、大地测量学家高斯发明了最小二乘法理论,1809 年发表于他的著作《天体运行论》中。1806 年,法国数学家勒让德提出了同样的数据处理方法,但因不为世人所知而默默无闻。1810 ~ 1826 年,高斯相继发表了 5 部著作,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,仍需按经典的三角测量方法进行。1961 年,第一台军用激光测距仪通过了美国军方论证试验。激光测距仪是用调制的红外光进行精密测距的仪器,测程一般为 1 ~ 5km。使用测距仪进行距离测量,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,给大地测量学科带来了巨大变革,建立了全球统一的坐标系统(WGS-84),各国

相继建立了自己的国家坐标系统和国家大地控制网。GPS 技术已经用于建立各种类型的工程控制网,高精度实时 RTK 技术在大型精密工程测量施工放样中得到广泛应用。

在摄影测量领域,其发展史开始于 1873 年摄影技术发明以前,总计已有 100 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,极大地减轻了测量外业的工作量,提高了测量制图的工作效率。目前,利用在飞机上安装差分 GPS 系统、惯性导航系统和 LIDAR 机载激光雷达扫描系统组成的测量系统,能够直接获得地球表面高精度三维信息,摄影测量进入数字摄影测量时代。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,我国古代的地图早在二千年以前就出现了,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,清康熙四十七年至五十七年(1708 ~ 1718)完成的《皇舆全图》,是中国历史上以实地测量结果绘制的地形图。在制图领域有重大影响的是,德国数学家、大地测量学家高斯提出的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。该理论至今仍然应用于测量数据处理和地图制图工作中。20 世纪 80 年代,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。目前,电子全站仪、计算机、数字化平台、绘图仪和绘图软件组成的机助制图系统实现了地图制图的自动化。地图制图技术也由传统的手工地图制图技术发展为计算机数字化制图技术,彻底改变了地图制图技术的落后状况。20 世纪 70 年代,由于计算机技术及数据库系统软件的开发应用,地理信息系统(GIS)技术得到迅速发展,基于 GIS 的电子地图、移动设备导航电子地图等多种地图可视化系统应运而生。

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 8 844.43m。与地球的平均半径 6 371km 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。即把地球的形状看作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受到地球引力的作用,这个力称为重力。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。将平均海水面并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,从而被沿用至今。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 1.1a)],无法在其上面进行测量数据处理。

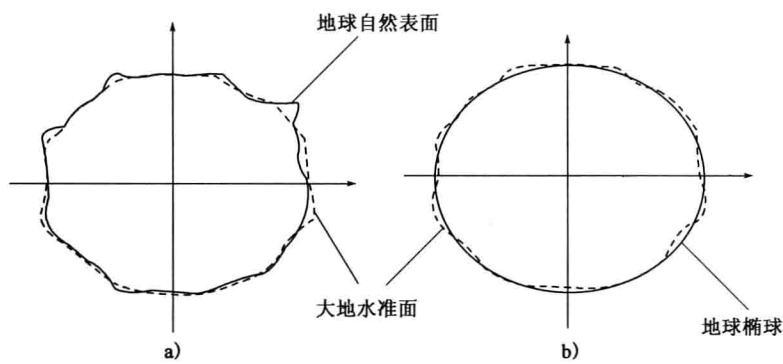


图 1.1 地球形状示意图
a)大地水准面与地球自然表面;b)大地水准面与地球椭球面

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 1.1b)]。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

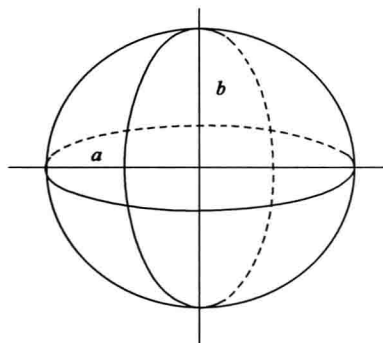


图 1.2 参考椭球

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \tag{1.1}$$

目前我国采用的椭球元素为

长半轴 $a = 6\,378\,140\text{m}$

扁率 $\alpha = 1:298.257$

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 $R = 6\,371\text{km}$ 。

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。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。

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。海水面由于受潮汐等因素的影响,是一个动态的曲面。要确定大地水准面的位置,必须在海边设立验潮站,不间断观测海水面的高度,取一段时间观测数据的平均值,作为大地水准面,即零高程面(其绝对高程值为零)。同时,还要在固定位置设置水准原点,便于永久保存,并测定其绝对高程。

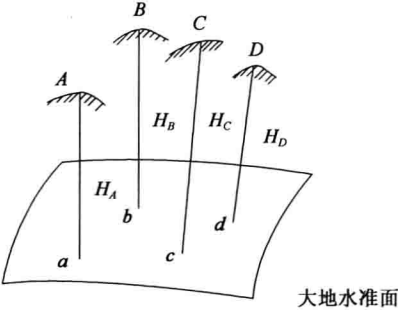


图 1.3 地面点的位置

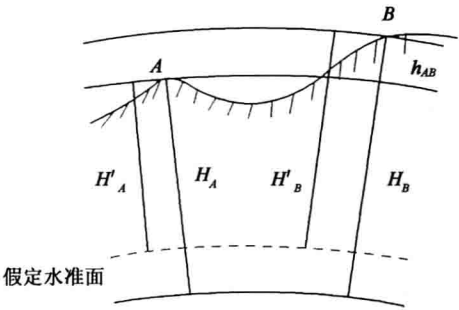


图 1.4 高程与高差

我国的水准原点位于青岛观象山上(图 1.5),有一座石质建筑物,面积约 7m^2 ,屋内墙壁上嵌有一块黑色大理石碑,上面刻着:中华人民共和国水准零点,中国人民解放军总参谋部,1954 年 10 月建。在屋内竖井中深 2m 处安置了水准标石,标石面中央镶嵌着一个直径不到 5cm 的黄玛瑙球,露出的半球顶上有一个红色标志点——水准原点。水准原点是计算水准点高程最原始的基准点,由此推算全国各水准点高程。

我国的水准原点网由 1 个原点、5 个附点构成,见图 1.6,原点位于前面提到的青岛观象山那个特殊的建筑屋内,玛瑙球上的红点作为我国的水准原点,并标记了此处的海拔高度。用精密水准测量测定其相对于黄海平均海面(大地水准面)的高差,即水准原点的高程,定为全国高程控制网的起算高程。目前,我国以青岛港验潮站 1952 ~ 1979 年观测资料计算出的黄海平



图 1.5 青岛观象山上的国家水准原点



图 1.6 中华人民共和国水准零点

均海水面,作为国家的大地水准面,即零高程面(其绝对高程值为零),测定水准原点的高程为72.260m,即“1985 年高程基准”。而在 1956 黄海高程系,采用 1950 ~ 1956 年验潮资料算得的平均海水面为零的高程系统。该原点以“1956 年黄海高程系”计算的高程为 72.289m,两者相差 0.029m。

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。在图 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

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \tag{1.2}$$

由上式可知,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)。大地经纬度以地面点到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。过英国格林尼治天文台的子午面,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 10km)时,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 1.7 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 1.8 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。

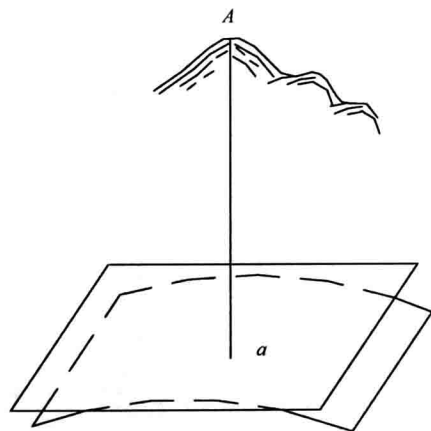


图 1.7 小区域测量

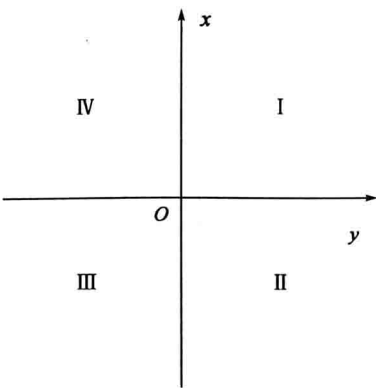


图 1.8 平面直角坐标系

(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水平面。必须将地面点先投影到椭球面上,然后再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,高斯投影方法采用分带投影的方法。如图 1.9 所示,即从首子午线起,按经度差每 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

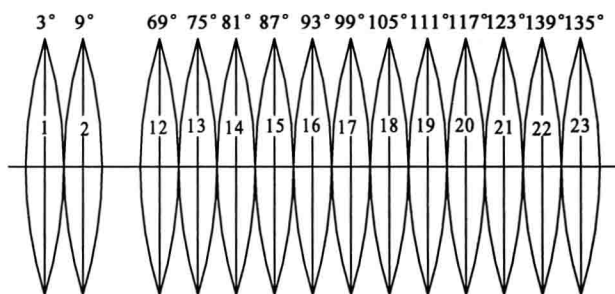


图 1.9 6° 带投影

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1.3)$$

式中: N ——投影带号。

我国位于东经 $73^\circ \sim 135^\circ$, 对应于 6° 带的 13 ~ 23 带。

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 1.10 所示,按照等角投影条件,将该投影带内地球椭球面上的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,见图 1.11。

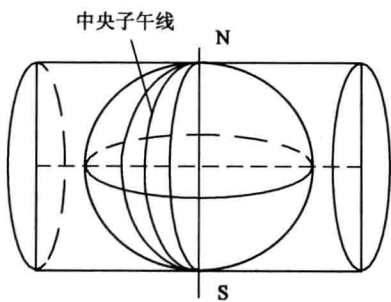


图 1.10 横椭圆柱体投影

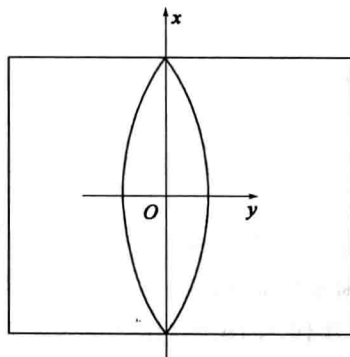


图 1.11 高斯平面直角坐标系

我国位于北半球, x 坐标均为正值, y 坐标则有正有负。如图 1.12 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 y 坐标加

500km,并冠以投影带带号。
则 A、B 两点的 y 坐标分别为

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

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

投影带为 22 带,则 A、B 点的 y 坐标为

$y_A = 22\,500\,000 + 183\,520 = 22\,683\,520\text{m}$

$y_B = 22\,500\,000 - 201\,235 = 22\,298\,765\text{m}$

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°30'起,按经度差每 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 1.13 所示。3°带的投影带号用阿拉伯数字 1、2、3、⋯、120 表示。各带的中央子午线经度为

$$L'_0 = 3^{\circ}N \tag{1.4}$$

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°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。我国位于东经 73°~135°,对应于 3°带的 24~45 带。

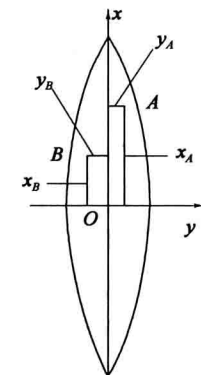


图 1.12 高斯平面直角坐标系

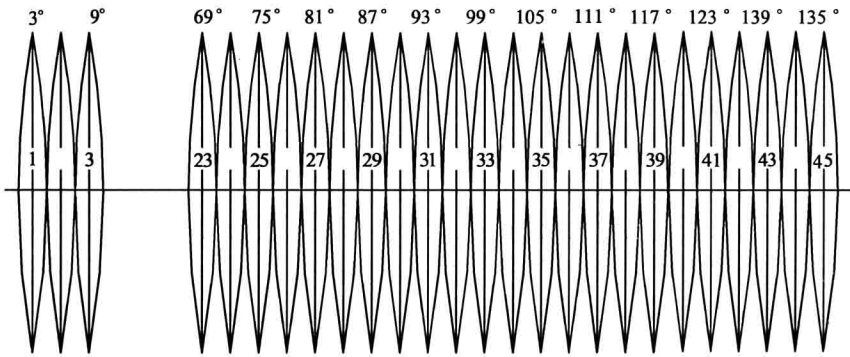


图 1.13 3°带投影

(4)1954 年北京坐标系

新中国成立初期一直到 1980 年,我国使用的大地测量坐标系是 1954 年北京坐标系,该系统是从我国新疆和黑龙江分别与前苏联测量控制网联测过来的,其系统坐标原点是前苏联玻尔可夫天文台。

1954 年北京坐标系椭球参数长轴为 637 824 5m;扁率为 1:298.3。

(5)1980 国家大地坐标系

20 世纪 70 年代,中国决定建立自己独立的大地坐标系统。1980 国家大地坐标系是为了进行全国天文大地网整体平差而建立的,是利用高斯平面直角坐标的方法建立全国统一坐标系。根据椭球定位的基本原理,1980 国家大地坐标系大地原点在我国陕西省泾阳县永乐镇石际寺村境内,具体位置在:北纬 34°32′27.00″东经 108°55′25.00″;坐标系是参心坐标系,椭球短轴 Z 轴平行于地球质心指向地极原点方向,大地起始子午面平行于格林尼治平均天文台子午面;X 轴在大

地起始子午面内与 Z 轴垂直指向经度 0° 方向; Y 轴与 Z 轴、 X 轴成右手坐标系; 椭球参数采用国际大地测量学会 1975 年大会推荐的参数: 长轴为 6 378 140m; 扁率为 1: 298. 257。

大地原点, 亦称大地基准点, 是国家地理坐标——经纬度的起算点和基准点。大地原点是人为界定的一个点, 我国的大地原点在陕西省泾阳县永乐镇石际寺村境内 (另有一说为北洪流村)。大地原点的整个设施由中心标志、仪器台、主体建筑、投影台等四大部分组成, 见图 1. 14。高出地面 25m 多的立体建筑共七层, 顶层为观察室, 内设仪器台; 建筑的顶部是玻璃钢制成的整体半圆形屋顶, 可用电控翻开以便观测天体; 中心标志 (图 1. 15) 埋设于主题建筑的地下室中央。它在我国经济建设、国防建设和社会发展等方面发挥着重要作用。



图 1. 14 主体建筑观测塔楼



图 1. 15 中心标志

1.4 用水平面代替水准面的限度

在相对较小的范围内, 可以用水平面代替水准面作为基准面, 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代替水准面的误差影响。

1.4.1 对水平距离的影响

如图 1. 16 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

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1.5)$$

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 $\theta = \frac{D}{R}$ 是一个很小的角度, 取前两项代入式 (1.5), 得

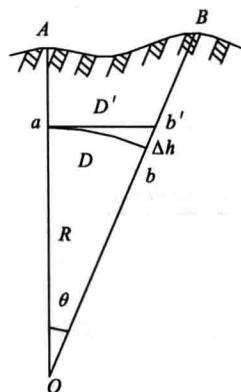


图 1. 16 水平面代替水准面的差异

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

将 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入上式,得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1.6}$$

将式(1.6)两边同时除以 D ,得到相对误差为

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1.7}$$

取 $R=6\,371\text{km}$,将 D 取不同的值代入式(1.6)、式(1.7),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 $\Delta D/D=1/1\,217\,000$ 。因此,在半径为 10km 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,用水平面代替水准面。

D 、 ΔD 和 $\Delta D/D$ 之间的关系 表 1.1

$D(\text{km})$	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 1.16 所示,地面点 B 的高程为 Bb ,如果用水平面代替大地水准面,则 B 点的高程为 Bb' ,两者之差 Δh ,即为用水平面代替大地水准面对高程的影响。由图可知

$$\Delta h = Bb - Bb' = ob' - ob = R\sec\theta - R = R(\sec\theta - 1) \tag{1.8}$$

将 $\sec\theta$ 按级数展开为 $\sec\theta = 1 + \frac{1}{2}\theta^2 + \frac{5}{24}\theta^4 + \cdots$,因为 $\theta = \frac{D}{R}$ 是一个很小的角度,取前两项代入式(1.8),得

$$\Delta h = R\left(1 + \frac{\theta^2}{2} - 1\right) = \frac{D^2}{2R} \tag{1.9}$$

取 $R=6\,371\text{km}$,将 D 取不同的值代入式(1.9),得到 D 和 Δh 之间的数量关系,如表 1.2 所示。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, $\Delta h=3\text{mm}$,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。

D 和 Δh 之间的数值关系 表 1.2

$D(\text{m})$	200	500	1 000	2 000
$\Delta h(\text{mm})$	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