

高等职业技术教育建设工程类教材

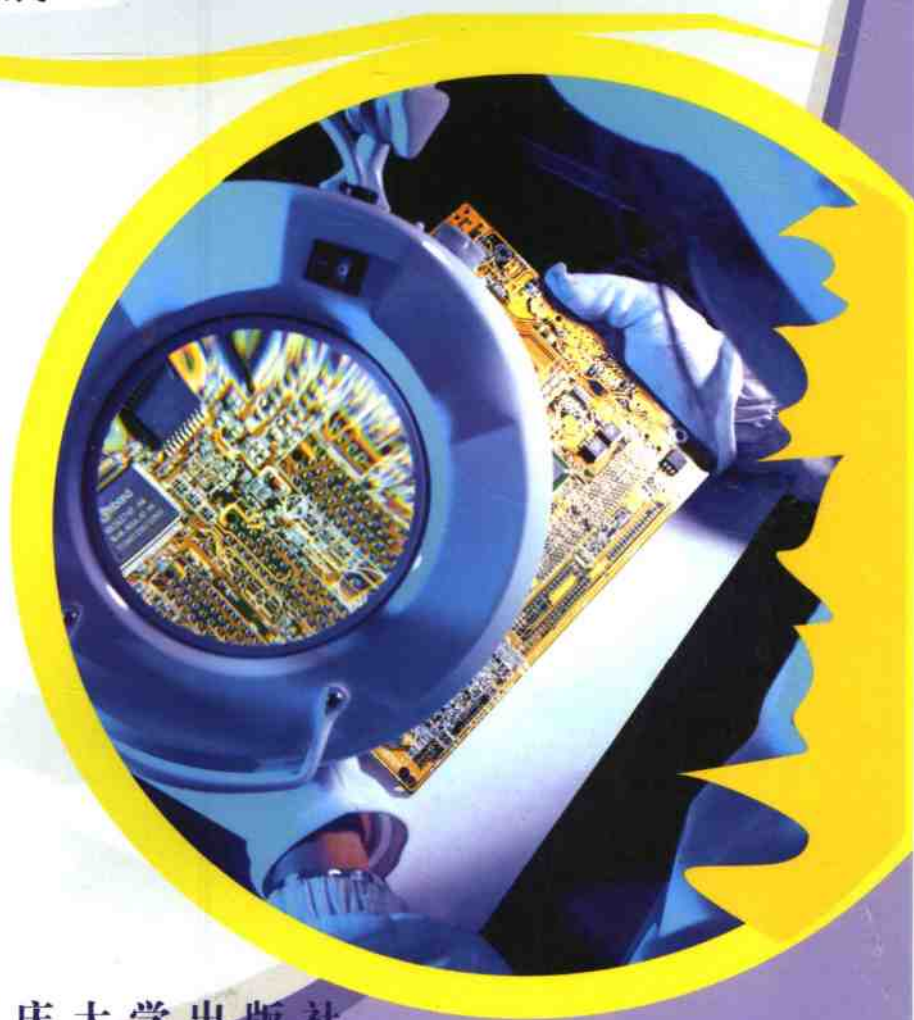
GAODENG ZHIYE JISHU JIAOYU JIANSHE GONGCHENG LEI JIAOCAI

测量技术基础

CELIANG JISHU JICHU

(第二版)

主 编 何习平
副主编 陈传胜
卢满堂
张保民



重庆大学出版社

测量技术基础

(第2版)

主 编 何习平
副主编 陈传胜 卢满堂 张保民

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书共5篇18章,分别介绍测量学的任务与作用、地形图及测量误差的基本知识、水准测量、角度测量、距离测量、小地区控制测量、大比例尺地形图的测绘与应用、数字测图技术、GPS测量技术、遥感技术与地理信息系统、施工放样的基本工作、工业与民用建筑施工测量、道路工程测量、水利工程测量、地籍测量与房产测量、测量实验与测量综合实习(实训)指导、常规测量仪器操作技能考核指导等内容。

本书结构新颖、内容丰富、文字流畅、图文并茂,既介绍常规测量仪器与方法,又反映现代测绘新技术。全书理论联系实际,具有高职高专特色。本书可作为高职高专建设类非测绘专业通用教材,也可供中等专业学校和技工学校非测绘类专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

测量技术基础/何习平主编.—2版.—重庆:重庆大学出版社,2004.10

高等职业技术教育建设工程类教材

ISBN 7-5624-3284-8

I. 测... II. 何... III. 测量学—高等学校:技术学校—教材 IV. P2

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第107944号

测 量 技 术 基 础

(第2版)

主 编 何习平

副主编:陈传胜 卢满堂 张保民

责任编辑:彭 宁 版式设计:彭 宁

责任校对:李定群 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆铜梁正兴印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:21 字数:530千 插页:8 开2页

2003年8月第1版 2004年10月第2版 2004年10月第2次印刷

印数:6 001—12 000

ISBN 7-5624-3284-8 定价:28.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前言

随着高职高专教学改革的不深入,各校非测绘类专业测量学教学改革取得了较大的成绩,而教材建设却相对滞后。目前,不少院校还在使用高等学校本科教材,具有高职高专特色的教材十分匮乏。因此,编写一本能适应高职高专教学需要的测量教材非常必要。

《测量技术基础》是为适应高职高专非测绘类专业测量教学的需要而编写的。编写中本着“理论够用、强化实践、突出应用、注重技术”的原则,体现“三多三少”的特点,即:适当减少传统测量技术内容,增加现代测量技术内容;减少部分公式的推导过程,增加地形图应用内容;减少部分理论阐述,增加实践指导内容。

本书由何习平主编,陈传胜、卢满堂、张保民任副主编。编写人员分工如下:南昌水利水电高等专科学校何习平编写第1篇、第14章14.2节、第5篇及附录;江西应用技术职业学院肖争鸣编写第4章、第7章;陈传胜编写第5章;杨爱萍编写第6章、第8章;广东水利电力职业技术学院张保民编写第9章、第10章与第11章;山西水利职业技术学院卢满堂编写第12章、第13章;江西省交通专科学校肖志云编写第14章14.1节、14.3~14.6节;南昌水利水电高等专科学校陈美兰编写第15章、第16章。全书由何习平统稿,东南大学闻道秋主审,编写过程中,得到了相关学校和重庆大学出版社的大力支持,谨向为本书的出版付出辛勤劳动的人们表示感谢。

本书可作为高职高专建设类非测绘专业通用教材。也可供中等专业学校和技工学校相关专业及工程技术人员使用。

编写高职高专教材是新的尝试,由于编者水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2003年2月

目录

第1篇 测量技术基础知识

第1章 测量学的基本知识	1
1.1 测量学的任务及作用	1
1.2 地面点位的确定	4
1.3 用水平面代替水准面的限度	9
1.4 测量工作的原则与程序	11
1.5 直线定向	13
复习思考题	16
第2章 地形图的基本知识	17
2.1 地形图的基本要素	17
2.2 地物符号	21
2.3 地貌符号	25
复习思考题	28
第3章 测量误差的基本知识	30
3.1 测量误差的来源与分类	30
3.2 评定精度的标准	32
3.3 误差传播定律	35
3.4 算术平均值及其精度评定	38
复习思考题	41

第2篇 常规测量技术

第4章 水准测量	43
4.1 水准测量原理	43
4.2 水准测量仪器与工具	44
4.3 水准仪的使用	47
4.4 等外水准测量	48
4.5 水准仪的检验与校正	53
4.6 水准测量误差来源与观测注意事项	56
4.7 自动安平水准仪	57
复习思考题	58
第5章 角度测量	60
5.1 角度测量原理	60
5.2 DJ ₆ 型光学经纬仪	61
5.3 经纬仪的使用	63
5.4 水平角测量	65
5.5 竖直角测量	68
5.6 经纬仪的检验与校正	70
5.7 水平角测量误差来源与观测注意事项	73
5.8 电子经纬仪	75
复习思考题	77
第6章 距离测量	79
6.1 钢尺量距	79
6.2 视距测量	81
6.3 光电测距	83
6.4 距离测量误差来源及注意事项	87
复习思考题	88
第7章 小地区控制测量	89
7.1 控制测量概述	89
7.2 导线测量	90
7.3 小三角测量	96
7.4 交会测量	100
7.5 高程控制测量	103
复习思考题	108

第8章 大比例尺地形图的测绘与应用	111
8.1 测图前的准备工作	111
8.2 经纬仪测图	112
8.3 地形图的绘制	116
8.4 地形图的判读	121
8.5 地形图应用的基本内容	123
8.6 地形图在工程建设中的应用	127
复习思考题	132

第3篇 现代测量技术简介

第9章 数字测图技术	134
9.1 全站仪的使用	134
9.2 数字测图技术	140
复习思考题	143
第10章 GPS测量技术	144
10.1 GPS测量原理	144
10.2 GPS接收机的使用	149
10.3 GPS测量技术的应用	151
复习思考题	152
第11章 遥感技术与地理信息系统	153
11.1 应用遥感(RS)技术	153
11.2 地理信息系统(GIS)	156
11.3 3S集成技术与数字地球	160
复习思考题	162

第4篇 工程测量技术

第12章 施工放样的基本工作	163
12.1 概述	163
12.2 施工放样的基本工作	165
12.3 点的平面位置放样方法	168
复习思考题	171

第13章 工业与民用建筑施工测量	172
13.1 概述	172
13.2 施工场地的控制测量	173
13.3 民用建筑施工测量	176
13.4 工业厂房施工测量	181
13.5 烟囱与塔体工程施工测量	185
13.6 建筑物变形观测	187
13.7 竣工总平面图编绘	192
复习思考题	194
第14章 道路工程测量	195
14.1 中线测量	195
14.2 圆曲线及缓和曲线的测设	199
14.3 路线纵、横断面测量	207
14.4 土石方的计算与调配	214
14.5 道路施工测量	217
14.6 桥梁施工测量	218
复习思考题	223
第15章 水利工程测量	224
15.1 概述	224
15.2 土坝施工测量	224
15.3 混凝土重力坝施工测量	228
15.4 大坝变形观测	230
15.5 隧洞施工测量	235
15.6 渠道测量	239
复习思考题	242
第16章 地籍测量与房产测量	243
16.1 概述	243
16.2 地籍调查	244
16.3 地籍测量	246
16.4 地籍变更测量	249
16.5 房地产调查	250
16.6 房产图测绘	253
复习思考题	256

第5篇 测量实践教学指导

第17章 测量实验指导	257
17.1 测量实验须知	258
17.2 水准测量实验指导	261
17.3 角度测量实验指导	274
17.4 地形图的测绘与应用实验指导	284
17.5 施工测量实验指导	297
第18章 测量综合实习(实训)指导	309
18.1 测量综合实习的目的与任务	309
18.2 测量仪器与工具	310
18.3 测量综合实习计划安排与组织纪律	310
18.4 测量综合实习的内容与要求	311
18.5 成果整理与成绩评定	313
附录	315
附录1 常规测量仪器操作技能考核指导	315
水准仪四等水准测量操作考核指导	315
经纬仪(带光学对中器)安置操作考核指导	317
经纬仪水平角观测操作考核指导	318
附录2 测量中常用的度量单位	320
附录3 导线及小三角电算程序	321
参考文献	326

第 **1** 篇

测量技术基础知识

第 **1** 章

测量学的基本知识

1.1 测量学的任务及作用

1.1.1 测量学的概念与研究对象

测量学是研究地球的形状和大小、确定地球表面点的位置以及如何将地球表面的地形及其他地理信息测绘成图的科学。测量学的研究对象是地球。我们知道,地面物体的几何形状和大小都是由组成该物体的一些特定点的位置所决定的,因此,测量学的实质是如何确定地球表面点的位置。

测量学是随着人们生产和生活需要而发展起来的。最初,人们利用绳子丈量土地,用指南针定向,随着望远镜的发明,最小二乘理论的提出,摄影技术的应用,以及近代航空航天、激光、

电子、微处理等技术的飞速发展并在测量中的广泛应用,测量科学正朝着自动化、数字化和高精度化方向发展。

1.1.2 测量学的任务

测量学的任务主要包括地形图的测绘和施工测量两方面。

地形图的测绘是指使用测量仪器,经过测量和计算得到一系列测量数据,或将地球表面的地形按一定的比例缩小绘成地形图,供经济建设、国防建设和科学研究使用。地形图的测绘也叫测定。

施工测量是指将图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在实地标定出来,作为工程施工的依据。施工测量也叫测设。

另外,对高层建筑或其他重要建筑物、构筑物进行变形观测已经成为测量学的又一个重要任务。

1.1.3 测量学的分科

测量科学按其研究对象和应用范围的不同可以分为许多分支学科。例如:研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的科学叫普通测量学,它是测量学的基础;研究地球表面较大范围内的点位测定及整个地球的形状、大小和重力场测量的理论、技术和方法的学科叫大地测量学;利用摄影或遥感技术来测定地球表面物体的形状、大小和空间位置的学科叫摄影测量学;研究工程建设中勘测设计、施工和管理阶段各种测量工作的学科叫工程测量学;研究和测量地球表面水体(海洋、江河、湖泊等)及水下地貌的学科叫海道测量学。本教材主要阐述普通测量学和工程测量学中的部分内容。

随着科学技术的发展和信息高速公路的建设,测量学的各个分支学科开始由细分走向统合,并与制图学、地理学、信息学、管理学、统计学以及城市建设、环境科学等许多学科相互交叉,形成一门新兴的边缘学科——“地球空间信息学(Geomatics)”。

1.1.4 测量在工程建设中的作用

测量科学的应用范围非常广泛,在社会主义建设中起着十分重要的作用。在国防建设方面,必须应用地形图进行战略部署和战役的指挥工作;在经济建设方面,工程的勘测和设计需要测绘和使用地形图、工程施工需要测量工作做指导、工程竣工需要测绘竣工图、工程竣工使用阶段对一些大型或重要建(构)筑物还要进行变形观测;在科学研究方面,诸如空间科学技术、地壳变形、海岸变迁、地震预报等方面的研究都要使用地形图;测量科学既要为房地产、灾情监视与调查、土地管理、环境保护、文化教育等国民经济相关部门提供精确的测绘数据及地图资料,还要满足人民群众日常生活对各种地图的需要。

1.1.5 课程的学习方法与要求

《测量技术基础》是非测绘专业的专业基础课,同时也是一门操作性很强的技术性课程。它的特点是实践性强,因此,本课程的学习,除了要经过预习、听课、思考、作业、复习等环节掌握课程理论知识外,更主要的是要通过课间实验和综合教学实习等实践教学环节加深理解测量理论知识和掌握测量仪器的操作技能,做到理论联系实际。

通过本课程的学习,要求掌握普通测量学的基本理论、基本知识和基本技能,能正确使用测量仪器和工具,初步掌握大比例尺地形图的测图程序和测量方法,能正确分析、处理和应用地形图上的有关测量资料,能灵活运用本课程的有关知识为所学专业的工程建设服务。通过本课程的学习,还要求逐步培养集体主义观念和艰苦奋斗精神,逐步树立严谨求是的治学态度和团结协作的工作作风。

1.1.6 测量学发展概况

测量学是一门古老的学科,在人类发展史中起着重要的作用,它的发展首先从满足人们划分土地、兴修水利、战争与航海等方面的需要而开始。

(1) 我国测量科学的发展概况

我国是世界四大文明古国之一,由于生产和生活的需要,测量工作开始得很早。我国在无文字记载的三皇五帝时代,就有伏羲氏“测北极高下……定南北东西”、“神农氏立地形,甄度四海”、黄帝“置衡量度亩数”、夏禹“行山表木,定高山大川……左准绳,右规矩”等传说,反映了祖先们在征服自然和改造自然过程中,一开始就是通过测量来认识世界的。

在测时方面,我国在春秋战国时期就编制了四分历,一年为365.25日,比罗马人采用的儒略历早四五百年。南北朝时祖冲之所测的朔望月为29.530 588日,与现在采用的数值只差0.3秒。宋代杨忠辅编制的《统天历》,一年为365.242 5日,与现代采用的数值相比只差26秒。这些成就的取得主要是因为公元前四世纪创制的浑天仪,此外还有圭、表、复矩、漏壶及日晷等天文观测与计时工具的使用。

在地图测绘方面,由于行军作战的需要,我国历代皇帝都十分重视。目前见于记载的最早的古地图是西周初年的洛邑城址附近的地形图。周代地图的使用已很普遍,管理地图的官员分工也很细。战国时管仲所著《管子》第十卷(地图第二十七)专门论述了地图的内容和重要用途。可惜的是,秦代以前的古地图都已失传,现在所能见到的最早的古地图是长沙马王堆三号墓出土的公元前168年陪葬的古长沙国地图和驻军图,图上有山脉、河流、居民地、道路和军事要塞。西晋裴秀编制了《禹贡地域图》和《方丈图》。此后历代都编制过多种地图,其中比较著名的有:南北朝谢庄创制的《木方丈图》;唐代贾耽编制的《关中陇右及山南九州等图》及《海内华夷图》(原图现已失传);北宋的《淳化天下图》;南宋人参考《海内华夷图》制成的《华夷图》和《禹迹图》刻在石碑上,现存于西安碑林;元代朱思本的《舆地图》;明代罗洪先的《广舆图》(相当于现代分幅绘制的地图集);明代郑和下西洋绘制的《郑和航海图》;清代康熙年间绘制的《皇舆全图》等,我国历代地图绘制水平都很高。

我国历代能绘制出如此高水平的地图与测量技术的发展有关。在测量仪器制造方面,我国古代测量长度的工具有丈杆、测绳、步车等;测量高程的仪器工具有矩和水平(水准仪);测量方向的仪器有望筒和指南针(战国时利用天然磁石制成指南工具——司南,宋代出现人工磁铁制成的指南针)。在测量理论建设上,西晋裴秀提出的绘制地图的六条原则,即《制图六体》,是世界最早的地图编制理论;三国时魏人刘徽所著《海岛算经》介绍利用丈杆进行两次、三次甚至四次测量(称重差术)求解山高、河宽的实例等。

此外,公元724年,唐代在僧一行的主持下,实量了从河南白马,经过浚仪、扶沟到上蔡长达300 km的子午线弧长,并用日圭测太阳的阴影来定纬度,这是我国第一次应用弧度测量的方法测定地球的形状和大小,也是世界上最早的一次子午线弧长测量,得出子午线一度弧长为

132.31 km, 为人类正确认识地球做出了贡献。北宋沈括在《梦溪笔谈》中记载了磁偏角的发现。元代郭守敬在测绘黄河地形图时, “以海面较京师至汴梁地形高下之差”, 是世界测量史上第一个使用“海拔”思想的人。

在日益腐朽的清王朝、北洋军阀和国民党的统治下, 我国测绘科学的发展基本处于停滞状态。中华人民共和国成立后, 我国的测绘事业有了很大发展, 全国已建立了统一的坐标系统和高程系统; 建立了遍及全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网和卫星多普勒网; 完成了国家大地网和水准网的整体平差; 完成了珠穆朗玛峰的平面位置和高程的测量; 配合国民经济建设进行了大量的测绘工作, 例如进行了南京长江大桥、葛洲坝水电站、宝钢、三峡水库等工程的精确放样和设备安装测量, 在测绘仪器制造方面, 从无到有, 现在我国不仅能生产常规测量仪器, 测量先进仪器的制造水平也基本上达到国际先进水平。测绘教育规模和水平也不断得到提高。

(2) 世界测量科学发展简述

公元前 4 000 多年前, 由于尼罗河河水泛滥, 经常需要重新划分土地的边界, 即土地测量工作, 从而产生了最初的测量技术, 古希腊人也在很早就掌握了土地测量方法, 希腊文“测量学”的含义就是“土地划分”。公元前 3 世纪, 希腊科学家就利用天文测量方法初步测定了地球的形状和大小, 当然, 那时使用的仪器和工具非常简单。

随着科学和文化的进步, 测量科学日益完善, 其应用也日益广泛。1608 年荷兰人汉斯发明望远镜, 望远镜的发明并应用于天文观测是测量科学史上的一次较大的变革。其后, 望远镜广泛应用于各种测量仪器, 大大提高了观测成果的精度; 1617 年荷兰人斯纳尔创立并首次进行了三角测量, 1794 年德国高斯提出最小二乘法, 1859 年法国洛斯塔开创摄影测量并制成第一台地形摄影机。17~19 世纪, 传统的测量理论、测量方法和测绘仪器等各个方面都有不少的发明创造。1903 年飞机的发明, 促进了航空摄影测量学的发展; 20 世纪 40 年代自动安平水准仪的问世, 标志着测量自动化的开始; 1957 年第一颗人造地球卫星的上天, 推动了人卫大地测量学的发展。

20 世纪 50 年代以来, 空间科学技术、电子技术和信息科学技术的迅速发展, 推动了现代测量科学技术的发展。目前以 GPS(全球定位系统)、RS(遥感技术)和 GIS(地理信息系统)的“3S”技术的出现和发展使传统测量科学产生了质的飞跃。1998 年美国副总统戈尔提出“数字地球”概念后, 一场新的技术革命浪潮正在世界范围内产生, 而现代测量科学技术是数字地球的数学基础、空间信息框架和技术支撑, 因此, 测量科学的发展具有广阔的发展前景。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的, 其实质是测定地面点的位置, 点位的确定需要建立坐标系, 这与地球的形状和大小密切相关。

地球表面错综复杂、高低起伏很不规则。有高山与低谷, 也有平原与海洋。其中珠穆朗玛峰高出海水面 8 848.13 m, 而位于太平洋的马里亚纳海沟低于海水面达 11 022 m。这些起伏

相对半径为 6 371 km 的地球来说还是很小的。就整个地球而言,考虑到海洋占地球表面的 71%,因此,可以把地球想象成一个处于静止状态的海水面延伸穿过陆地所包围的形体,这个处于静止状态的水面就是水准面,这个形体基本上代表了地球的形状。由于水准面有无数个,测量上把通过平均海水面的水准面称为大地水准面,如图 1.1(a)所示,大地水准面所包围的形体称为大地体。

水准面的特点是处处与铅垂线方向正交。测量工作是通过安置测量仪器观测数据,并沿铅垂线方向将这些数据投影到大地水准面上的,因此,大地水准面是测量工作的基准面。

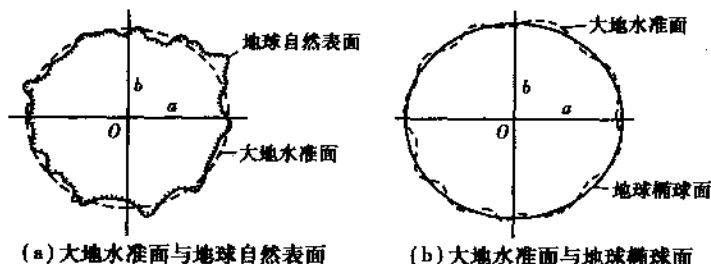


图 1.1 大地水准面与地球椭球面

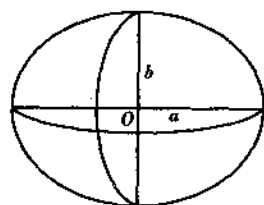


图 1.2 地球椭球体

由于地球表面起伏不平 and 内部物质结构分布不匀,引起铅垂线方向不规则变动,因此大地水准面实际上是一个略有起伏的不规则曲面,不便于计算和建立坐标系。为此,人们就用一个可以用数学公式表示又很接近大地水准面的地球椭球面来代替它,如图 1.1(b)所示。地球椭球面所包围的形体叫地球椭球体。地球椭球体是由椭圆 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成,其形状和大小由椭圆长半轴 a 和短半轴 b (或扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$) 决定,如图 1.2 所示。

建立坐标系的地球椭球面与大地水准面不完全一致。对精密测量工作来说,必须考虑两者的差异,要通过计算进行数据转换;对普通测量来说,由于精度要求不高,当测量范围不大时可不考虑两者之间的差异,同时,由于地球扁率很小,为方便计算,可以将地球看成圆球,其半径 R 约为 6 371 km。

为确定地面点的位置,我国在陕西省泾阳县永乐镇境内选择并埋设了国家大地原点,建立全国统一的坐标系,叫“1980 年国家大地坐标系”,所采用的地球椭球数据是 1975 年第 16 届国际大地测量与地球物理协会联合推荐的数据,即

$$a = 6\,378\,140\text{ m}, \alpha = 1:298.257。$$

建国初期,我国曾建立并使用“1954 年北京坐标系”,作为临时过渡性的坐标系。

1.2.2 地面点位置的表示方法

地面点的位置通常由该点投影到地球椭球面的位置(坐标)和点到大地水准面的铅垂距离(高程)来确定。

(1) 地面点高程

1) 绝对高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程,简称高程或海拔,用符号 H 表示。

图 1.3 中 H_A 、 H_B 分别为 A、B 两点的高程。

我国的高程起算面是与黄海平均海水面相吻合的大地水准面,该面上各点高程为零。建

国初期,我国曾利用青岛验潮站 1950—1956 年的观测资料,求出黄海平均海水面作为大地水准面,建立了“1956 年黄海高程系”,并在青岛建立国家水准原点,其高程为 72.289 m。目前我国采用的是“1985 年国家高程基准”,它是根据青岛验潮站 1953—1977 年的观测资料,经过计算建立的,并测算出国家水准原点的高程为 72.260 m。从该水准原点出发,以不同的精度用水准测量的方法测定了许多水准点(参见第 4 章),供高程测量使用。

2) 假定高程

当测区内没有已知水准点或引用已知高程有困难时,可以任意假定一个水准面作为高程起算面,地面点到这个假定水准面的铅垂距离称为该点的假定高程或相对高程。图 1.3 中 H'_A 、 H'_B 分别为 A、B 两点的假定高程。

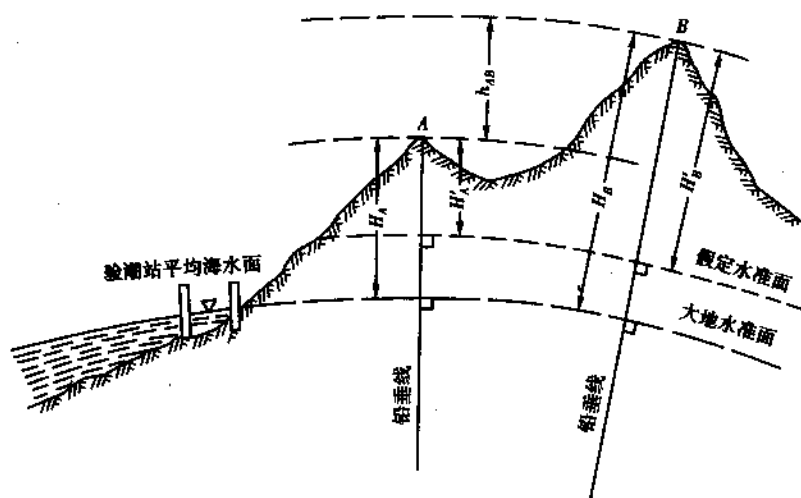


图 1.3 地面点的高程

3) 高差

地面两点间的高程或相对高程之差称为高差,用 h 表示。图 1.3 中从 A 点至 B 点的高差为

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

可见,两点间高差与高程起算面无关。

另外,从 B 点至 A 点的高差为

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

因此

$$h_{AB} = -h_{BA} \quad (1.2)$$

(2) 地面点的坐标

1) 地理坐标

地面点投影到地球椭球面的位置一般用地理坐标(大地经度 λ 和大地纬度 φ)表示。如图 1.4 所示,N、S 分别为地球的北极和南极,NS 为地球的自转轴(地轴)。过地面上任一点 M 和地轴所构成的平面叫子午面,子午面与地球表面的交线称为子午线,也叫经线。通过地心且垂直于地轴的平面称为赤道面,赤道面与地球表面的交线叫赤道。通过原英国格林尼治天文台的子午面(线)叫首子午面(线)。

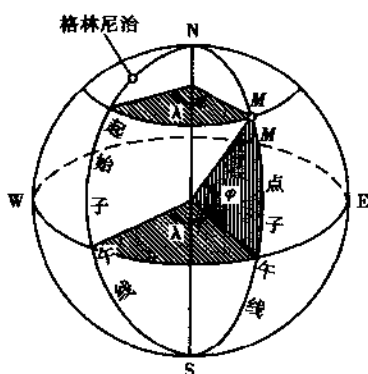


图 1.4 地理坐标

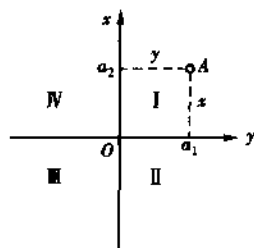


图 1.5 平面直角坐标系

M 点的子午面与首子午面的夹角 λ 就是 M 点的经度。以首子午面作为计算经度的起点, 向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为东经, 向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为西经。过 M 点的铅垂线与赤道面的夹角, 称为 M 点的纬度 φ 。纬度以赤道面为起点, 向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬, 向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬。

地面上任何一点都对应着一对地理坐标, 例如北京的地理坐标是东经 $116^\circ 28'$ 、北纬 $39^\circ 54'$ 。

2) 独立平面直角坐标系

地理坐标是球面坐标, 不便于直接进行各种计算, 且其精度不高。在工程建设的规划、设计和施工中, 宜在平面上进行各种计算, 为此, 须将球面上的点投影并绘到平面上。

当测区范围较小时, 可以近似地把球面看成平面, 将地面点直接沿铅垂线方向投影到水平面上, 用平面直角坐标系确定地面点的位置十分方便。如图 1.5 所示, 平面直角坐标系规定南北方向为坐标纵轴 x 轴 (向北为正), 东西方向为坐标横轴 y 轴 (向东为正), 坐标原点一般选在测区西南角以外, 以使测区内各点坐标均为正值。

与数学上的平面直角坐标系不同, 为了定向方便, 测量上平面直角坐标系的象限是按顺时针方向编号的, 其 x 轴与 y 轴互换, 目的是将数学中的公式直接用到测量计算中。

3) 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大时, 不能把球面看成平面。此时, 为将球面点投影并绘到平面上, 必须采用适当的投影方法来实现, 我国采用的是高斯投影法。

①高斯投影的分带 高斯投影是将地球分成若干带, 然后将每带投影到平面上。如图 1.6 所示, 投影带从首子午线起, 按 6° 经度自西向东将整个地球划分成经差相等的 60 个带 (称为 6° 带)。带号从首子午线起自西向东用阿拉伯数字 1、2、3……60 编号表示。位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线, 第一个 6° 带的中央子午线经度为 3° , 任意一个 6° 带中央子午线的经度 λ_0 可按下式计算

$$\lambda_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1.3)$$

式中 N —— 6° 带的带号数。

高斯投影时, 不在中央子午线上的线段都会变长, 离中央子午线近的线段变形小, 离中央子午线愈远的线段变形愈大, 且两侧对称。 6° 带的高斯投影只能满足 1:2.5 万及以上比例尺测图的精度要求, 对于需要 1:1 万或更大比例尺图的测量来说, 必须采用 3° 或 1.5° 分带投影。 3° 带是从东经 $1^\circ 30'$ 起, 每经差 3° 划带, 将整个地球分成 120 个带 (图 1.6), 每一个 3° 带中央子

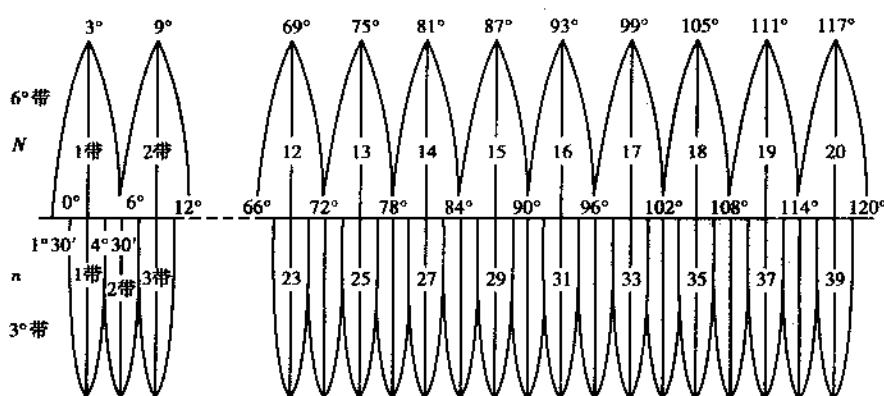


图 1.6 高斯投影分带

午线的经度 λ'_0 可按式计算

$$\lambda'_0 = 3^\circ n \quad (1.4)$$

式中 n —— 3° 带的带号数。

对于已知任意一地的经度 λ 时,可按下列公式计算其所在 6° 带及 3° 带的带号,带号计算出来后,可再按式(1.3)及式(1.4)分别计算其中央子午线的经度。

$$N = \text{INT}(\lambda/6^\circ + 1) \quad (1.5)$$

$$n = \text{INT}(\lambda/3^\circ + 0.5) \quad (1.6)$$

式中 INT 为取整函数。

例 1.1 某地经度为东经 $119^\circ 24'$,求其所在的高斯投影 6° 带和 3° 带的带号及其中中央子午线的经度。

解 该地 6° 带带号及其中中央子午线的经度分别是

$$N = \text{INT}(119^\circ 24' / 6^\circ + 1) = \text{INT}20.9 = 20$$

$$\lambda'_0 = 6^\circ N - 3^\circ = 6^\circ \times 20 - 3^\circ = 117^\circ$$

该地 3° 带带号及其中中央子午线的经度分别是

$$n = \text{INT}(119^\circ 24' / 3^\circ + 0.5) = \text{INT}40.3 = 40$$

$$\lambda'_0 = 3^\circ \times 40 = 120^\circ$$

②高斯投影与高斯平面直角坐标系的建立 如图 1.7 所示,高斯投影是设想用一个平面卷成一个空心椭圆柱,把它横着套在地球表面,使椭圆柱的轴心线通过地球中心,并使地球表面上某个 6° 带的中央子午线与椭圆柱面相切,在椭圆面上的图形与椭圆柱面上的图形保持等角的条件下,将整个 6° 带投影到椭圆柱面上。然后,将椭圆柱沿通过南北极的母线切开并展开成平面,便得到 6° 带在平面上的投影。中央子午线经投影展开后是一条直线,以此直线作为纵轴即 x 轴,赤道经投影后是一条与中央子午线相垂直的直线,将它作为横轴即 y 轴;两直线的交点作为原点,即组成高斯平面直角坐标系。

我国位于北半球, x 坐标均为正值,而 y 坐标值有正有负。如图 1.8(a)所示, A 、 B 两点的横坐标分别为: $y_A = 137\,680\text{ m}$, $y_B = -274\,240\text{ m}$ 。为避免横坐标 y 出现负值,规定把坐标纵轴向西平移 500 km ,如图 1.8(b)所示。此时 $y_A = 137\,680 + 500\,000 = 637\,680\text{ m}$, $y_B = -274\,240 + 500\,000 = 225\,760\text{ m}$ 。