

www.jccbs.com
免费下载

普通高等院校城乡规划专业系列规划教材

现代数字测量学

XIANDAISHUZICELIANGXUE

杜子涛 杨小明 主 编



中国建材工业出版社

普通高等院校城乡规划专业系列规划教材

河北省高等学校科学技术研究项目（项目编号：QN20131018）

河北工业大学教育教学改革研究项目（项目编号：201404025）

现代数字测量学

XIANDAI SHUZI CELIANGXUE

杜子涛 杨小明 主编

王德军 白海丽 任海峰 副主编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代数字测量学 / 杜子涛, 杨小明主编. —北京:
中国建材工业出版社, 2017. 2
普通高等院校城乡规划专业系列规划教材
ISBN 978-7-5160-1751-7

I. ①现… II. ①杜… ②杨… III. ①建筑测量—数字测量法—高等学校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 004794 号

内 容 简 介

本书以数字化测量为主线, 以数字测量学新概念、新技术、新仪器为重点进行叙述, 增加了 GPS 测量技术、数字测图和计算机绘图技术, 电子经纬仪、全站仪的使用与操作方法。全书共 14 章, 内容包括: 绪论、现代数字测量学的基础知识、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基础知识、控制测量、现代测量仪器与技术、地形图的基本知识、大比例尺数字地形图的测绘、数字地形图的应用、测设的基本工作、线性工程测量、建筑施工测量、附录 (测量实验)。此外, 每章前面配有本章提要和学习目标, 后面配有习题, 便于学生自学和练习。

本书可作为高等院校城乡规划、土木工程、测绘工程及相关专业的教材, 也可作为测绘技术人员和从事相关工作的工程技术人员的培训教材和参考用书。

本书配有电子课件, 可登录我社网站免费下载。

现代数字测量学

杜子涛 杨小明 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 19

字 数: 450 千字

版 次: 2017 年 2 月第 1 版

印 次: 2017 年 2 月第 1 次

定 价: 45.00 元

本社网址: www.jcbs.com 微信公众号: [zgjcycbs](https://www.weixin.com/qz/jcbs)

本书如出现印装质量问题, 由我社网络直销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前言

PREFACE

“现代数字测量学”是测绘工程、地理信息、工程管理、土木工程等专业的一门主要专业课，重点学习现代测量学的基本知识、测量仪器的操作使用、数字地形图的测绘等内容。本课程与后续的测量课程联系密切，也是今后学习其他课程的基础，对培养学生的专业能力具有重要的作用。

本书以数字化测量为主线，以数字测量学新概念、新技术、新仪器为重点进行叙述，突出学生能力的培养。另外，增加了GPS测量技术、数字测图和计算机绘图技术，电子经纬仪、全站仪的使用与操作方法，使学生及时了解当前测绘科学发展的现状，拓宽视野，开阔思路。当前正处于新老测绘技术的转换时期，现代测绘科学的技术和理论正在积极地被开发应用，传统的测绘技术也仍在使用。因此，编者力图在充实新技术的同时，仍保留原有测量学的基本知识、基本测量仪器和基本测量方法，使得新旧内容有机联系，融为一体。对陈旧的和今后使用较少的内容，如三角测量方法、交会测量方法、小平板仪、小三角锁等内容进行删简、压缩。

本书是河北工业大学多年来测量学课程的教学经验的总结。全书力求做到文字精练、定义准确、概念清楚、重点突出、理论完备。全书共分14章，包括数字测量学的基本知识、测量的基本方法及测量仪器的使用、测量误差的基本理论、数字地形图的测绘及应用、测设、

线性工程测量和建筑工程测量等内容。每章前面增加了导读内容，旨在提示读者本章要讲述的主要内容、学习目标和学习要求；每章后面都有相应的习题，便于学生自学和练习，达到对本章内容学习的巩固与深化。此外，本书最后附有测量实验，培养学生的实操能力。

参加本书编写工作的有：杜子涛（第1、2、9、10、11章）、杨小明（第3、4、5章和附录）、王德军（第6、8章）、白海丽（第12、13章）、任海峰（第7、14章）。本书由杜子涛、杨小明担任主编，由杨小明负责统稿，长安大学金其坤教授、天津城建大学李刚副教授担任主审。在编写的过程中，兄弟院校的多位老师对本书提出了宝贵的建议，在此表示感谢！此外，对于本书中引用有关文献资料的原作者一并表示诚挚谢意！

本书由河北省高等学校科学技术研究项目（QN20131018）和河北工业大学教育教学改革研究项目（201404025）支持出版。

受编者水平所限，书中的缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编者
2017年1月

目 录

CONTENTS

1 绪论	1
1.1 测量学研究的内容与作用	1
1.2 测绘发展简史	3
1.3 学习本课程的目的、方法和要求	5
习题	6
2 现代数字测量学的基础知识	7
2.1 地球的形状和大小	7
2.2 测量坐标系统	9
2.3 用水平面代替大地水准面的限度	14
2.4 测量工作的内容与原则	16
习题	17
3 水准测量	19
3.1 高程测量概述	19
3.2 水准测量原理	20
3.3 水准测量的仪器和工具	21
3.4 水准仪的使用	26
3.5 普通水准测量	28
3.6 微倾式水准仪的检验和校正	34
3.7 现代水准仪和精密水准仪	37
3.8 水准测量误差来源及注意事项	43
习题	46
4 角度测量	49
4.1 角度测量原理	49
4.2 经纬仪的构造及其使用	50
4.3 水平角的观测	58
4.4 竖直角观测	61
4.5 经纬仪的检验和校正	64

4.6	角度测量误差分析及其注意事项	70
4.7	电子经纬仪	72
	习题	76
5	距离测量与直线定向	78
5.1	钢尺量距	78
5.2	视距测量	84
5.3	光电测距	88
5.4	直线定向	95
5.5	陀螺经纬仪的使用	99
	习题	102
6	测量误差的基础知识	104
6.1	测量误差概述	104
6.2	衡量精度的指标	109
6.3	误差传播定律及其应用	112
6.4	直接平差及精度评定	117
6.5	间接平差及精度评定	123
	习题	128
7	控制测量	130
7.1	控制测量概述	130
7.2	导线测量外业	133
7.3	导线测量内业	137
7.4	交会定点测量	143
7.5	高程控制测量	148
	习题	157
8	现代测量仪器与技术	159
8.1	全站仪	159
8.2	测量机器人	166

8.3	三维激光扫描测量技术	167
8.4	全球导航定位系统	170
	习题	182
9	地形图的基本知识	183
9.1	地形图的基本知识	183
9.2	地形图的分幅与编号	185
9.3	地物符号	187
9.4	地貌符号	190
	习题	195
10	大比例尺数字地形图的测绘	196
10.1	概述	196
10.2	传统的地形图测图原理与方法	197
10.3	数字测图原理与方法	208
10.4	地形图数据库	216
10.5	CASS 9.0 数字测图软件简介与使用	218
	习题	226
11	数字地形图的应用	227
11.1	地形图的识读	227
11.2	地形图的应用	230
11.3	地形图在城乡规划专业中的应用	238
	习题	242
12	测设的基本工作	243
12.1	水平距离、水平角和高程的测设	243
12.2	点的平面位置的测设方法	247
12.3	设计坡度线的测设方法	251
	习题	253

13	线性工程测量	254
13.1	线性工程测量概述	254
13.2	平面曲线的基本理论	256
13.3	纵横断面图绘制	260
	习题	263
14	建筑施工测量	264
14.1	施工测量概述	264
14.2	施工控制测量	265
14.3	高层建筑物施工测量	268
14.4	建筑物的变形观测	271
14.5	地下建筑施工测量	278
14.6	竣工图的测绘与编绘	281
	习题	282
	附录 测量实验	283
	参考文献	296

本章导读

【本章提要】本章主要介绍测量学的定义、任务与作用，测量学的历史和发展等有关测量学的基本知识和基本内容，最后阐述了学习本课程的方法及要求。

【学习目标】掌握测量学的基本概念与内容，了解测量的发展概况，掌握本课程的学习方法及要求。

1.1 测量学研究的内容与作用

1.1.1 测量学的定义

测量学，又称测绘学，是地球科学的一个分支，是研究地球的形状、大小以及其表面（包括地下及地上空间）的各种自然地理要素或者人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等，并对这些地理空间信息进行采集、处理、分析和应用的一门科学。它的内容包括测定和测设两个部分。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，或把地球表面的地形绘制成地形图，供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用；测设是指把图纸上规划好的建筑物、构筑物的平面位置在地面上标定出来，作为施工的依据。

自 20 世纪 90 年代起，世界各国将测量学（Surveying 或 Geodesy）专业、测量学机构和测量学杂志都纷纷改名为 Geomatics。Geomatics 的含义是比“测绘”更广泛、更深远、更现代的一个学科名词。1996 年，国际标准化组织（ISO）对 Geomatics 定义为：Geomatics 是研究采集、量测、分析、存储、管理、显示和应用空间数据的现代空间信息科学技术。从 Geomatics 的兴起可以看出，借助现代科学技术且适应现代社会需求，测量学已发展成为另外一门新的科学：地球空间信息学。

1.1.2 测量学的任务与作用

测量学的基本任务包括：第一，研究和确定地球的形状、大小以及地球重力场，并以此为基础建立全国统一的、协调一致的、三维、高精度、动态和实用的大地测量参考框架，用以表示地表任一点在地球坐标系中的位置；第二，使用各种测量仪器和工具，通过测量和计算确定地表各种自然形态以及人类活动所产生的各种人工设施

的位置,然后按照一定的比例、规定的符号缩小绘制成各种全国性的和区域性的地形图(包括纸质地形图、数字地形图和建立“数字地球”所需的各种基础地理信息);第三,为各种经济建设和国防建设的规划、设计、施工以及建成后的运营管理提供测绘服务。

测绘工作是我国国民经济建设中一项基础性、前期性和超前期性的工作,它直接关系到建设规划的科学性、工程的质量和预期效益的实现,在现代城乡规划建设过程中是不可缺少的一项重要工作。城市测绘成果是城乡规划工作必不可少的基础要件,为编制和实施城乡规划提供基础地理信息支撑和保障,具有不可替代的地位。城市测绘是城市规划建设的重要环节和先行工作,它为城市规划、市政工程、工业与民用建筑设计、施工、地下管线等方面提供各种测绘资料,以不断满足现代化城市建设发展的需要。

1.1.3 测量学的分类

测量学按照研究范围和对象的不同,分为五个主要分支学科:大地测量、摄影测量与遥感、地图制图学与地理信息工程、工程测量和海洋测绘。

1. 大地测量

作为基础性学科,它主要研究地球表面及其外层空间点位的精密测定、地球的形状和大小、地球重力场及其随时间变化的理论和方法。现代大地测量学与地球科学和空间科学的多学科交叉,已成为推动地球科学、空间科学和军事科学发展的前沿学科之一,其研究范围已从地球本体扩展到整个地球外空间。

2. 摄影测量与遥感

它由摄影测量、遥感和空间信息系统以及计算机视觉等交叉组成。主要研究利用各种不同类型的非接触传感器,获取模拟或数字影像,然后通过解析和数字化方式提取所需要的地球空间信息,在空间信息系统中,地球空间信息以数字化的形式进行存储、管理、分析和表达,再通过可视化和符号化技术形成所需要的产品供地学和非地学领域应用。

3. 地图制图与地理信息工程

地图制图学与地理信息工程是研究利用地图图形,科学地、抽象概括地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互关系及其动态变化,并对空间信息进行获取、智能抽象、存储、管理、分析、处理、可视化及其应用的科学。当今,随着计算机地图制图和地图数据库技术的快速发展,作为人们认知地理环境和利用地理条件的工具,地图制图学已经进入数字(电子)制图和动态制图的阶段,并且成为地理信息系统的支撑技术。地图制图学已发展成为研究空间地理环境信息和建立相应的空间信息系统的科学。

4. 工程测量

工程测量是研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制测量、地形测绘、施工放样和变形监测的理论和技术的科学。它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。工程测量按工程建设的对象分为建筑工程测量、水利工程测量、铁路工程测量、公路工程测量、桥梁工程测量、隧道工程测量、矿山测量、城市市政工程测量、

工厂建设测量以及军事工程测量、海洋工程测量等。工程测量按其工作顺序和性质分为勘测设计阶段的工程控制测量和地形测量,施工阶段的施工测量和设备安装测量,竣工和管理阶段的竣工测量、变形观测及维修养护测量等。

5. 海洋测绘

海洋测绘是对整个海洋空间,包括海面水体和海底进行全方位、多要素的综合测量,以获取包括大气和水文以及海底地貌、地质、重力、磁力、海底扩张等各种信息和数据,并绘制成各种用途的专题图件。主要包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量,以及航海图、海底地形图、各种海洋专题图和海洋图集等的编制。海洋测绘是海洋事业的一项基础性工作,其成果广泛应用于经济建设、国防建设和科学研究的各个领域。

1.2 测绘发展简史

1.2.1 测量学的发展简史

测量学有着悠久的历史。古代的测绘技术起源于水利和农业。古埃及尼罗河每年洪水泛滥后,需要重新划定土地界线,开始有测量工作。公元前 21 世纪,中国夏禹治水就使用简单测量工具测量距离和高低。公元前 3 世纪,古希腊学者埃拉托斯特尼(Eratosthenes)采用在两地观测日影的办法,首次推算出地球子午圈的周长,也是测量地球大小的弧度测量方法的初始形式。公元前 168 年,西汉绘制在帛上的地图(1973 年湖南省长沙马王堆汉墓出土)已注意到比例尺和方位。公元 117 年,东汉张衡造了一件成就空前的铜铸浑天仪。公元 150 年,古希腊的 C. 托勒密(Claudius Ptolemy)所著《地理学指南》论述了地球的形状、大小、经纬度的测定以及地图的投影方法,他制造了供测量经纬度用的类似中国浑天仪的仪器和角距仪。公元 265 年,西晋的裴秀总结出制图六体的制图原则,从此地图制图有了标准,奠定了中国古代制图的理论基础。公元 724 年,唐代的南宮说等人在张遂(一行)的指导下,在今河南滑县至上蔡实测了约 300km 的子午弧长,并在滑县、开封、扶沟、上蔡测量同一时刻的日影长度,推算纬度 1° 的子午弧长,这是世界上第一次子午线弧长实测。1617 年,荷兰的科学家 W. 斯涅耳(Willebrord Snellius)首创三角测量法进行弧度测量,克服了在地面上直接量测弧长的困难。1687 年,英国 I. 牛顿(Isaac Newton)根据力学理论,提出地球是两极略扁的椭球体。1690 年,荷兰 C. 惠更斯(Christiaan Huygens)也提出地球是两极略扁的扁球体。后为法国在南美洲和北欧进行的弧度测量所证明,结束了历时半个世纪的有关地球形状的争论。1743 年,法国 A. C. 克莱罗(Alexis Claude Clairaut)发表《地球形状理论》,奠定了用物理方法研究地球形状的理论基础。1849 年,英国的 G. G. 斯托克斯(George Gabriel Stokes)提出利用地面重力的测量结果研究大地水准面形状的理论。1945 年,前苏联 M. S. 莫洛金斯基(Mikhail Sergeevich Molodensky)创立了研究地球自然表面形状的理论,并提出“似大地水准面”的概念。1708~1718 年完成的《皇舆全图》,是我国历史上首次以实地测量结果绘制的地形图。

测绘学是技术性学科,它的形成和发展不仅依赖测量理论的发展,还在很大程度上依赖测绘仪器的发明与创新。测绘仪器的发展推动着测绘事业的前进,同时,测量

理论的发展又给测绘仪器指明了前行的道路。17世纪以前,人们使用简单的工具,如绳尺、木杆尺等进行测量,以量测距离为主。17世纪初发明了望远镜。1617年创立的三角测量法,开始了角度测量。1730年,英国的机械师J.西森(Jonathon Sisson)制成第一架经纬仪,促进了三角测量的发展。1794年,德国科学家C.F.高斯(Carl Friedrich Gauss)发明了“最小二乘法”,为测量的数据处理奠定了理论基础。1806年,法国的A.M.勒让德(Adrien-Marie Legendre)也提出了同样的观测数据处理方法。1859年,法国的A.洛斯达(Aime Laussedat)首创摄影测量方法编制地形图。20世纪初,由于航空技术发展,出现了自动连续航空摄影机,可以将航摄像片在立体测图仪上加工成地形图,促进了航空摄影测量学的发展。

20世纪40年代起,测绘技术朝着电子化和自动化发展。世界上第一台测距仪于1947年由瑞典AGA公司制成,电磁波测距仪的出现,是测距方法的革命,从而开创了距离测量的新纪元。测距仪的不断改进创新使导线测量得到重视和应用。电子计算机的发明与不断发展,推进了测量仪器的发展,加快了测量计算的速度。最早的电子速测仪(习惯称“全站仪”)是1970年Zeiss的Reg Elta 14,它配备了一个电子读数器,不仅可以读取距离而且可以读取竖直和水平度盘;1971年,AGA(后为Trimble收购)推出Geodimeter 700全站仪。全站型电子速测仪是一种集测角、测距、坐标测量、计算记录于一体的新型测量仪器。此后各种性能的全站仪层出不穷。1997年,推出了Topcon AP-L1自动跟踪全站仪;2000年,Leica推出了TCRA“自动目标瞄准”全站仪等。

1950年,世界第一台自动安平水准仪,标志着水准测量自动化的开端。1990年,瑞士的Wild生产了数字水准测量仪器。1992年,推出了最早的精密数字水准仪(Wild NA3000)。1994年,Topcon和Zeiss公司推出自己的数字水准仪。1998年,Sokkia公司也推出了数字水准仪。数字水准仪通过电子数据记录的方式而不需要通过望远镜读取水准尺,实现了水准标尺的精密照准,标尺分划读数和视距的读取、数据储存和处理等数据采集的自动化,从而减轻了水准测量的劳动强度,提高了测量成果质量。

在光电测量仪器蓬勃发展的今天,除了大量出现的种类繁多的测距仪、全站仪等以外,还出现了诸如激光经纬仪、激光准直仪、激光水准仪等光电测量仪器。

1957年,第一颗人造地球卫星发射成功后,给测量学的发展和测绘仪器的发展带来了意义深远的大变革。在测绘学中开辟了卫星大地测量和航天摄影测量等新领域,随后发展起来的甚长干涉测量技术、惯性测量技术,使测绘学增添了新的测量手段。随着电子计算机、微电子技术、激光技术、空间技术等新技术的发展与应用,特别是GPS(Global Positioning System)、RS(Remote Sensing)、GIS(Geographical Information System)为代表的测绘科学与技术的不断发展完善,使测绘学科从理论到手段发生了根本性的变化,并正步入信息采集、数据处理和成果应用的自动化、实时化、智能化、网络化、社会化、多样化和可视化的新阶段。

1.2.2 我国测绘事业的发展

我国测绘事业的发展是伴随共和国一起成长的。在测绘工作方面,建立和统一了全国大地控制网、国家水准网、基本重力网,完成了大地网和水准网的整体平差;完成了国家基本地形图的测绘工作;进行了珠峰和南极长城站的地理位置和高程的测量;

同时各种工程建设的测绘工作也取得显著成绩,如长江大桥、葛洲坝水电站等。在测绘仪器制造方面从无到有,迅速发展,已经产生了多种不同等级、不同型号的电磁波测距仪。我国全站仪已经批量生产,国产 GPS 接收机已经广泛使用,传统的测绘仪器产品已经配套下线,已经建成全国 GPS 大地控制网。各部门对地理信息系统的建立和应用十分重视,已经着手建立各行业的 GIS 系统,测绘工作已经为建立这一系统提供了大量的基础数据。

综上所述,我国的测绘事业实现了跨越式发展,已从传统的测绘技术体系发展为数字化作业技术体系,为经济建设和国防建设做出了不可磨灭的贡献,但是与国际先进水平相比还有一些差距。

1.3 学习本课程的目的、方法和要求

1.3.1 学习本课程的目的

本书主要阐述现代测量学的基本理论、各种测绘仪器的使用、大比例尺数字地形图的测绘方法等内容。各专业学生学习本课程之后,要求达到掌握测量学的基本知识和基础理论;能熟练使用工程中常用测量仪器和工具,并了解测量新仪器、新技术的一般应用方法;掌握测量数据处理的基本理论和方法;掌握大比例尺地形图的成图原理和方法;在工程设计和施工中能正确应用地形图完成规划、设计和施工各阶段的量测、计算、绘图以及进行一般工程施工测设的能力,以便能灵活应用所学的测量知识为专业工作服务。

1.3.2 学习本课程的方法与要求

本课程是一门实践性很强的课程,因此,在学习进程中,只有做到理论联系实际,多思考、多动手、多实践,才能很好地掌握测量学的知识。在学习过程中,除课堂上认真听讲、学习理论知识外,还要参加与理论教学对应的实验课和教学实习。在掌握课堂讲授内容的同时,认真完成每一次实验课的实验内容,以巩固和验证所学理论。课后要求按思考题和习题的内容加深对基本概念和理论的理解,要自始至终完成各项学习任务。在条件允许的条件下,应使用教师提供的多媒体进行学习,在教师的安排下组织开展一些与本课程相关的专题参观或调查,了解新理论、新技术、新设备在本学科中的应用。

学习本课程的基本要求是:

- (1) 掌握现代测量学的基本理论、基本知识和基本技能。
- (2) 了解常用测量仪器的构造与组成,正确掌握仪器的使用与基本操作方法。重点掌握水准测量、角度测量和距离测量的方法。
- (3) 了解测量误差的基本理论,掌握测量数据处理方法。
- (4) 掌握建大比例尺数字地形图的基本知识及测绘方法。
- (5) 了解数字地形图的应用领域及方法。

本课程具有理论严密、概念多、实践性强等特点,通过本课程的学习,除了培养学生的理论分析能力和实际动手能力之外,还要培养学生保持吃苦耐劳、一丝不苟的

优良品德，具备执着的敬业精神、积极主动的工作态度和善于协作的团队意识。

习题

1. 测量学主要包括哪两部分内容？二者的区别是什么？
2. 简述 Geomatics 的含义。
3. 测量学的基本任务是什么？对你学的专业起什么作用？

现代数字测量学的基础知识

本章导读

【本章提要】 本章主要介绍地球的形状和大小，测量坐标系统和高程系统的相关概念，用水平面代替水准面的限度，测量工作的内容、原则和程序等有关地形测量的基本知识和内容。

【学习目标】 掌握地球的形状和大小及相关概念，了解测量坐标系统和高程系统的相关概念与规定，掌握用水平面代替水准面的计算方法与规定，了解测量工作的内容、原则和程序。

2.1 地球的形状和大小

测量学的研究对象是地球表面，测量工作也是在地球表面进行的。因此，首先必须对地球的形状、大小等自然形态做必要的了解，然后才能为确定地面点的空间位置选定参考面和参考线，作为描述地面点空间位置的基准。

2.1.1 地球自然表面

测量工作是在地球表面进行的，而地球是一个两极稍扁、赤道略鼓的不规则球体，并且地球自然表面是一个起伏不平、十分不规则的表面，有高山、丘陵、盆地和平原，又有江河湖海等各种形态。其中陆地上最高点珠穆朗玛峰高达 8844.43m，与海洋中最深处马里亚纳海沟（-11022m）相差近 20km。但是这样的高低起伏，相对于地球庞大的体积来说还是很小的。就整个地球表面而言，海洋的面积约占 71%，陆地面积约占 29%，因此，人们把地球总的形状看作海水所包围的球体。

2.1.2 大地水准面

当液体处于静止状态时，其表面必处处与重力方向（铅垂线方向）正交，液体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。水准面是物理表面，因为同一水准面上的重力位相等，水准面上任一点的铅垂线都与这个面正交，因此水准面也是重力等位面。由于地球空间处处都有重力存在，所以通过不同高度的点就有不同的水准面。

在无穷多个水准面中，与平均海水面重合并伸展到大陆内部形成的闭合的曲面称

为大地水准面, 见图 2-1 (a)。大地水准面所包围的形体称为大地体。大地水准面很接近于地球自然表面, 同时又具有长期稳定性, 因此, 在实际测量中, 通常采用大地体来代表地球, 大地水准面作为基准面, 即作为研究地球自然表面形状的参考面, 并以处处与大地水准面正交的铅垂线作为测量工作的基准线, 见图 2-2。

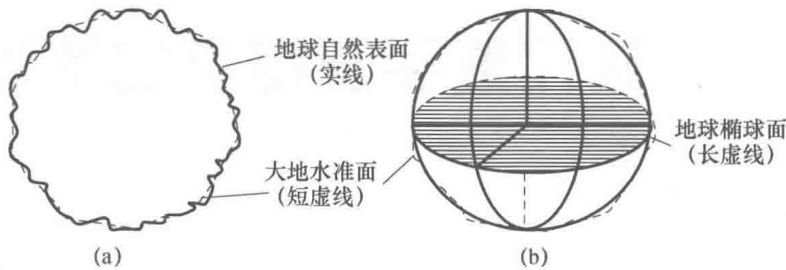


图 2-1 地球表面、大地水准面与地球椭球体
(a) 大地水准面; (b) 椭球面

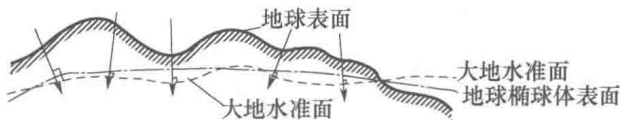


图 2-2 地球表面、大地水准面和地球椭球体之间的关系

大地水准面也是一个不规则的曲面。这是因为地球体内部质量分布不均匀, 使地面各点所受的吸引力大小和方向各不相同, 引起地面各点铅垂线方向发生不规则变化。于是, 处处与铅垂线正交的大地水准面, 也就随之成为略有起伏的不规则曲面, 见图 2-1、图 2-2。所以, 大地水准面是个物理曲面, 而不是数学曲面。

2.1.3 参考椭球面

大地水准面不是数学曲面, 不能用数学公式表达。这样的曲面难以在其上面进行测量数据的处理。大地水准面形状虽然十分复杂, 但从整体来看, 起伏是微小的。它非常接近绕短轴旋转的椭球面, 见图 2-1 (b)。因此, 在测量计算和制图中, 通常采用一个与大地水准面非常接近的、能够用数学方程表示的椭球面作为基准面, 并用这个椭球代替大地体。这个椭球是由长半轴为 a 、短半轴为 b 的椭圆绕其短轴旋转而成的旋转椭球, 称为地球椭球, 也称参考椭球。由地表任一点向参考椭球面所作的垂线称为法线, 作为测量计算和制图的基准线。

地球椭球表面, 见图 2-1 (b), 是一个规则的数学表面。其数学方程为:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad (2-1)$$

式中, a 为地球椭球体的长半轴; b 为短半轴。

根据 a 和 b 定义的地球椭球体的扁率 α , 表示椭球的扁平程度。扁率的计算公式为:

$$\alpha = (a - b) / a \quad (2-2)$$

17 世纪以来, 许多测量工作者根据不同地区、不同年代的测量资料, 按不同的处理方法推算出不同的地球椭球参数, 表 2-1 摘录了几种地球椭球元素的数值。