

高等学校测绘工程专业核心课程规划教材

数字地形图测绘

赵红 徐文兵 主编



地震出版社
Seismological Press

高等学校测绘工程专业核心课程规划教材

数字地形图测绘

赵红 徐文兵 主编



地震出版社
Seismological Press

图书在版编目 (CIP) 数据

数字地形图测绘/赵红, 徐文兵主编. —北京:

地震出版社, 2017. 1

高等学校测绘工程专业核心课程规划教材

ISBN 978-7-5028-4829-3

I. ①数… II ①赵… ②徐… III. ①数字地图—测绘—高等学校—教材 IV. ①P28

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 005809 号

地震版 XM3782

数字地形图测绘

赵红 徐文兵 主编

责任编辑: 刘素剑

责任校对: 刘丽

出版发行: 地震出版社

北京市海淀区民族大学南路 9 号

发行部: 68423031 68467993

门市部: 68467991

总编室: 68462709 68423029

专业图书事业部: 68467971

http: //www. dzpress. com. cn

E-mail: dz_press@163. com

邮编: 100081

传真: 88421706

传真: 68467991

传真: 68455221

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印有限公司

版(印)次: 2017年1月第一版 2017年1月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 379千字

印张: 13.75

书号: ISBN 978-7-5028-4829-3/P(5528)

定价: 36.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

《数字地形图测绘》编写人员

主 编 赵 红 徐文兵

编写人员 (以姓氏笔画为序)

毛迎丹 浙江水利水电学院

邓愫愫 浙江农林大学

张 琦 浙江工商大学

李培宏 浙江南方测绘科技有限公司

郑建明 杭州南方测绘仪器有限公司

赵 红 浙江水利水电学院

徐文兵 浙江农林大学

梁 丹 浙江农林大学

黄伟朵 浙江水利水电学院

前 言

随着现代测绘技术的发展,数字测图技术得到了飞速发展,已由过去的白纸测图发展为数字化测图,且数字测图技术也广泛应用于测绘生产点。随着数字测图新设备、新技术、新方法的不断涌现,也使得数字测图课程的知识内涵不断深化。近几年,国家大力倡导培养应用型高级人才,这也对人才的知识结构、能力结构、素质结构有了更高的要求。为了顺应时代发展的潮流,培养具备数字测图理论、知识和技能的高等技术应用型人才,我们编写了本书。

数字测图是测绘工程、地理信息科学、土地资源利用等专业的一门重要专业基础课。本书以大比例尺数字测图为主线,以培养技术应用能力为目标,侧重测量基本理论、基本知识和基本方法的阐述,同时注重培养学生的实际动手能力;在此基础上,阐述了数字测图的基本原理和作业方法,同时注重培养学生的实践能力和应用能力。本书紧密结合现代测绘技术的新仪器、新技术、新方法,优化了教学内容和知识结构。通过对本书的学习,要求学生能完成数字测图生产任务,解决实际工作中出现的问题。

本书内容共分10章,主要包括绪论、测量基础知识、测量误差的基本知识、水准测量、角度测量、距离测量、全站仪与卫星定位系统、控制测量、大比例尺数字地形图测绘、地形图的应用。每章前有内容提要,以便于学生把握学习的重点和难点,章末附有形式多样的练习题,有助于学生复习知识要点。

本书编写的主要技术依据有《城市测量规范》(CJJ/T8—2011)《工程测量规范》(GB50026—2007)、《1:500、1:1000、1:2000国家基本比例尺地形图图式》(GB/T20257.1—2007)等。

本书可供高等院校测绘类、地理信息科学类、土地资源管理类、资源环境类专业使用,也可作为其他院校相关专业的师生、成人教育及工程技术人员的学习参考书。

本书由赵红、徐文兵主编。参加编写工作的单位有浙江水利水电学院、浙江农林大学、浙江工商大学、浙江南方测绘科技有限公司、杭州南方测绘仪器有限公司。具体章节编写分工为:第1章由赵红编写;第2章由邓憬憬、梁丹编写;第3章、第5章由黄伟朵编写;第4章由梁丹编写;第6章由毛迎丹编写;第7章由李培宏、郑建明、张琦编写;第8章由邓憬憬编写;第9章由赵红、毛迎丹编写;第10章由徐文兵编写。全书由徐文兵统稿。

在编写过程中,我们参阅了大量的文献,在此,谨向有关作者表示谢意!同时,编写得到杭州南方测绘仪器有限公司、广州中海达卫星导航技术股份有限公司的热忱帮助,在此表示感谢!地震出版社对本书的出版给予了大力支持和帮助,在此深表谢意。

由于编者水平有限,本书存在的不足和疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2016年8月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 测绘学的任务、分类及作用	1
1.2 数字测图发展概况	2
1.3 本课程的内容及学习要求	4
第 2 章 测量基础知识	6
2.1 测量基准面	6
2.2 测量坐标系	8
2.3 测量工作及其原则	14
2.4 地球曲率对测绘工作的影响	15
2.5 测量中常用单位及换算	17
第 3 章 测量误差的基本知识	19
3.1 误差的基本概念	19
3.2 评定精度的指标	22
3.3 误差传播定律	24
3.4 平差值的计算及精度评定	27
第 4 章 水准测量	33
4.1 水准测量原理与方法	33
4.2 水准测量的仪器与使用	34
4.3 普通水准测量的实施方法与校核	41
4.4 水准测量误差来源与注意事项	46
4.5 水准仪的检验与校正	47
第 5 章 角度测量	53
5.1 角度测量原理	53
5.2 经纬仪及其使用	54
5.3 角度测量	62
5.4 角度测量误差来源及削减办法	68
5.5 经纬仪的检验和校正	71

第 6 章 距离测量	78
6.1 钢尺量距	78
6.2 视距测量	80
6.3 电磁波测距	83
第 7 章 全站仪与卫星定位系统	88
7.1 全站仪的结构	88
7.2 全站仪的功能与使用	90
7.3 全球卫星导航系统	93
7.4 GPS 静态测量	97
7.5 GPS 实时动态测量	101
7.6 手簿软件的使用	104
7.7 测量工作	110
第 8 章 控制测量	117
8.1 控制测量概述	117
8.2 导线测量	120
8.3 交会测量	130
8.4 高程控制测量	131
第 9 章 大比例尺数字地形图测绘	137
9.1 地形图的基本知识	137
9.2 地形要素及其表示	144
9.3 地形图的识读	152
9.4 数字测图方法概述	154
9.5 数据采集与数据通信	159
9.6 数字成图软件	175
9.7 技术设计与检查验收	181
第 10 章 地形图的应用	188
10.1 地形图应用概述	188
10.2 地形图的识图	188
10.3 地形图的一般应用	192
10.4 地形图在资源普查中的应用	196
10.5 面积测量	199
10.6 平整土地	203
参考文献	209

第1章 绪论

[内容提要]本章主要介绍测绘学的任务、分类和作用,以及本课程的内容和学习要求。要求了解测绘学的任务、分类和作用,了解数字测图发展的历史;掌握本课程的学习内容,重点掌握学习的目的和方法。

1.1 测绘学的任务、分类及作用

1.1.1 测绘学的任务、分类

测绘学是研究测定和推算地面的几何位置、地理形状及地球重力场,据此测量地球表面自然形态和人工设施的几何分布,并结合某些社会信息和自然信息的地理分布,编制全球和局部地区各种比例尺的地图和专题地图的理论和技术的学科,是地球科学的重要组成部分。

测绘学按照研究范围、研究对象及采取的技术手段的不同,分为大地测量学、摄影测量学、地图学、工程测量学、海洋测量学等分支学科。

1) 大地测量学

大地测量学是研究和确定地球的形状、大小和重力场,测定地面点的几何位置和地球整体与局部运动的理论和技术的学科。它是测绘学各分支学科的理论基础,其基本任务是建立国家大地控制网、重力网,精确测定控制点的空间三维位置,为地形测图和各类工程施工提供测量依据,为研究地球形状、大小、重力场及其变化和地壳形变等提供信息。

2) 摄影测量学

摄影测量学是研究利用摄影或遥感的技术手段获取目标物的影像数据,从中提取几何或物理的信息,以确定被摄物体的形状、大小和空间位置,并用图形、图像和数字形式表达测绘成果的学科。

3) 工程测量学

工程测量学是研究工程建设在规划、勘测设计、施工和运行管理各个阶段进行的测量工作的理论、技术和方法的学科。进行的测量工作主要有控制测量、大比例尺地形测绘、施工放样、设备安装、变形监测等。

4) 地图学

地图学是研究地图的基础理论、设计、编绘、复制和应用的学科。它研究用地图图形信息反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系及其动态变化。

5) 海洋测绘学

海洋测绘学是以海洋水体和海底为对象,研究海洋定位、测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、海洋磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布及编制各种海图的理论和技术的学科。

地形测量学是研究地球表面局部地区内测绘工作的基本理论、技术、方法及应用。由于地球半径很大,可以不考虑地球曲率的影响,把这块球面当作平面看待。20世纪80年代,由于全站仪以及计算机软、硬件的迅速发展,大比例尺地形图测绘技术由传统的手工白纸测图向自动化、数字化方向迅猛发展。到80年代后期,出现了以全站仪为主体的地面数字测图系统。现在,地面数字测图技术已经取代了传统的白纸测图方法,广泛应用于大比例尺地形图、地籍图和房产图的测绘中。本书的目的就是阐述地形测量的理论、技术和方法,以及地面数字测图系统的构成与大比例尺数字测图的原理、方法和过程。

1.1.2 测绘学的作用

测绘工作常被人们称作国家建设的尖兵,不论是国民经济建设还是国防建设,其勘测、设计、施工、竣工及保养维修等阶段都需要测绘工作,而且都要求测绘工作走在这类工作的前面。

在国民经济建设方面,测绘信息是国民经济和社会发展规划中最重要的基础信息之一,它为工业、农业、交通、水利、林业、通信、地矿、国土资源开发与利用等各部门提供地形图和测绘资料。

在工程建设方面,工程的勘测、规划、设计、施工、竣工及运营后的监测、维护都需要测量工作。

在国防建设方面,首先由测绘工作提供地形信息,国防工程的规划、设计和施工,以及战略部署、战役指挥都离不开地形图。远程导弹、空间武器、人造地球卫星以及航天器的发射等,都要随时观测、校正飞行轨道,保证它们精确入轨飞行。

在科学研究方面,如航天技术、地震预测预报、灾情监测、空间技术研究、海底资源探测以及其他科学研究方面,都需要测绘工作提供基础数据信息。

此外,建立各种地理信息系统(GIS)、数字城市、数字中国等,都需要现代测绘科学提供基础数据信息。

从以上测绘学在国民经济建设和国防建设中的应用可以看到,随着空间科学、信息科学的飞速发展,以及3S技术的应用,测绘学的服务范围和对对象正在不断扩大,不再是原来单纯地从控制到测图,为国家制作基本地形图,而是扩大到国民经济和国防建设中与地理空间数据有关的各个领域。测绘技术体系从模拟转向数字、从地面转向空间、从静态转向动态,并进一步向网络化和智能化方向发展;测绘成果已经从三维发展到四维、从静态发展到动态。测绘学为研究地球的自然和社会现象,解决人口、资源、环境和灾害等社会可持续发展中的重大问题,以及为发展国民经济和国防建设提供技术支撑和数据保障。

1.2 数字测图发展概况

传统的地形测量实质上是图解法测图,就是利用测量仪器对地球表面局部区域内的各种地物、地貌特征点的空间位置进行测定,然后以一定的比例尺按图示符号将其绘制在图纸上,通常称之为白纸测图。在测图过程中,点位的精度由于刺点、绘图及图纸伸缩变形等因素的影响会有较大的降低,而且工序多、劳动强度大。特别是在当今的信息时代,纸质地形图已难以承载更多的图形信息,图纸更新也极为不便,难以适应信息时代经济建设的需要。

随着科学技术的进步和计算机技术的迅猛发展及其向各个领域的渗透,以及制图自动化的发展,电子全站仪和 GPS—RTK 等先进测量仪器的广泛应用,使得数字测图技术得到了迅猛发展,并以高自动化、高精度、全数字化的显著优势逐步取代了传统的手工图解法测图的方式。

数字测图实质上是一种全解析机助测图方法。在地形测量发展过程中它是一次根本性的技术变革,这种变革主要体现在:图解法测图的最终目的是地形图,图纸是地形信息的唯一载体;数字测图地形信息的载体是计算机的存储介质(磁盘或光盘),其提交的成果是可供计算机处理、远距离传输、多方共享的数字地形图数据文件,通过数控绘图仪可输出地形图。另外,利用数字地图可以生成电子地图和数字地面模型(DTM),可实现对客观世界的三维描述。更具深远意义的是,数字地形信息作为空间数据的基本信息之一,已成为地理信息系统(GIS)的重要组成部分。

广义的数字测图包括地面数字测图、地图数字化和数字摄影测量等方法。本书仅介绍地面数字测图和地图数字化的内容。

地面数字测图是利用全站仪或其他测量仪器在野外进行数字化地形数据采集,在成图软件的支持下,通过计算机加工处理,获得数字地形图的方法。地面数字测图的成果是以数字形式储存在计算机存储介质上的数字地形图,它可供计算机处理、远距离传输、多方共享,需要时可通过数控绘图仪输出纸质地形图。

地图数字化方法是对已有的纸质地形图利用数字化仪或者扫描矢量化的方法将其数字化,转换成计算机能存储、处理的数字地形图。

数字化成图技术是由制图自动化开始的。20世纪50年代,美国国防制图局开始研究制图自动化问题。1950年,世界上第一台图形显示器在美国麻省理工学院诞生,它可以显示一些简单的图形。1962年,麻省理工学院的 I. E. 萨瑟兰德开发了 SKETCHPAD 图形系统。20世纪70年代初,制图自动化已形成规模生产,在美国、加拿大及欧洲各国的相关重要部门都建立了自动制图系统。当时的自动制图系统主要包括数字化仪、扫描仪、计算机及显示系统四个部分。其成图过程是将地形图数字化,再由绘图仪在透明塑料片上回放地形图,并与原始地形图叠置以修正错误。

大比例尺地面数字测图是20世纪70年代电子速测仪问世后发展起来的,80年代初全站型电子速测仪的迅猛发展加速了数字测图技术的研究和应用。我国对数字测图技术的研究工作始于1983年。20世纪90年代,我国的数字测图技术无论在理论上还是在实用系统开发上都得到了迅速发展。目前,数字测图技术在国内已经成熟,它已作为主要的成图方法取代了传统的图解法测图。其发展过程大体上可分为两个阶段:

第一阶段主要利用全站仪采集数据,电子手簿记录,同时人工绘制标注测点点号的草图,到室内将测量数据直接由电子手簿传输到计算机,再由人工按草图编辑图形文件,并键入计算机自动成图,经人机交互编辑修改,最终生成数字地形图,需要时由绘图仪绘制输出地形图。

第二阶段仍采用野外测记模式,但成图软件有了实质性的进展。一是开发了智能化的外业数据采集软件;二是计算机成图软件能直接对接收的地形信息数据进行处理。目前,国内已经广泛采用利用全站仪配合便携式计算机或掌上电脑,以及直接利用全站仪内存存储测量数据的大比例尺地面测图方法。

20世纪90年代出现了载波相位差分技术,又称 RTK 实时动态定位技术,这种测量模

式能够实时提供测点在指定坐标系的三维坐标成果,在 20km 测程内可达到厘米级的精度。随着 RTK 技术的不断完善和价格更低廉的轻小型 RTK 模式 GPS(全球卫星定位系统)接收机的出现,可以预料,GPS 数字测图系统将在开阔地区成为地面数字测图的主要方法。

近几年,还出现了利用三维激光扫描技术和无人机进行数字地形图测绘的新方法。三维激光扫描仪可以快速扫描被测物体,不需反射棱镜即可直接获得高精度的扫描点云数据。在此基础上,可以获得高精度、高分辨率的数字地形模型。采用无人机低空摄影测量,地面采用 RTK 或者全站仪提供控制点信息,无须野外实测,即可生成数字地面模型和地形图。

1.3 本课程的内容及学习要求

1.3.1 本课程的主要内容及与其他课程的关系

本书以大比例尺数字测图为主线,在阐述测量的基本原理、基本知识的基础上,按照数字测图的工作过程,对大比例尺数字测图的原理、方法及应用进行了全面介绍。测量的基本原理和基本知识部分的内容包括:测量基础知识、误差理论、测量的三项基本工作(高差测量、角度测量和距离测量),以及全站仪及其使用;数字测图部分的内容包括:控制测量、大比例尺数字地形图测绘和地形图应用。在学习基本知识的同时,还要学习数字测图仪器(水准仪、全站仪)的构造及使用方法。

数字地形图测绘是测绘工程专业的一门重要的专业基础课程,也是一门实践性非常强的课程。它与其他课程,如计算机应用基础、CAD 技术等课程有着密切的联系,也是学好控制测量学、工程测量学等后续课程的基础。

1.3.2 学习本课程的目的和方法

学习本课程的主要目的是:

(1)掌握测量的基本理论、基本知识和基本技能,具有使用常规测量仪器的操作技能,具有进行水准测量、距离测量、角度测量等基本测量工作的技能。

(2)学习大比例尺地形图测绘的原理和方法,掌握地面数字测图的全过程,具有进行大比例尺数字地形图测绘的技能。

(3)掌握处理测量数据的基本理论和方法,在工程建设中能正确应用地形图和测绘资料进行量测、计算和绘图等工作。

(4)要学好数字测图,首先在课堂上要认真听讲,课后按要求认真完成练习题,以加深对基本概念和理论的理解;其次,要注重实际操作能力的培养,认真参加实践课,按要求掌握每一个实践项目的操作技能,以巩固和验证所学理论。教学实习是巩固和深化课堂所学知识的一个重要的实践环节,是理论知识和实践技能的综合运用,对系统掌握测量的基本理论、基本知识和基本技能具有非常重要的作用,因此要认真完成各项实习任务,通过实习培养理论联系实际、分析问题、解决问题的能力 and 团结协作、吃苦耐劳的精神,为今后从事测绘工作打下良好基础。

思考题 1

一、填空题

1. 测绘学是研究_____。
2. 测绘学按照研究范围、研究对象及采取的技术手段的不同,可分为_____、_____、_____、_____等分支学科。
3. 地形测量学是研究_____。
4. 数字测图实质上是_____。
5. 广义的数字测图包括_____、_____和_____等方法。

二、简答题

1. 简述测绘学的作用。
2. 简述数字测图的发展历史。
3. 学习本课程的目的和主要内容是什么?

国家职业技能标准 1-1-5

国家职业技能标准 1-1-5

国家职业技能标准 1-1-5



图 1-1-5 地球仪的经纬线

测绘学是研究地球的形状、大小、重力场、地磁场、地电学、地应力、地壳运动、地壳形变、地壳构造、地壳演化、地壳资源、地壳工程、地壳环境、地壳灾害、地壳保护、地壳利用、地壳管理等的一门科学。测绘学是地球科学的重要组成部分，也是工程建设和国防建设的重要基础。随着科学技术的进步，测绘学在国民经济和国防建设中发挥着越来越重要的作用。数字测图是测绘学的一个重要分支，它利用计算机技术和现代测量技术，实现了对地形、地物和地名的数字化采集、存储、处理和输出。数字测图的发展历史可以追溯到 20 世纪 60 年代，当时随着计算机技术和电子测量技术的兴起，数字测图开始萌芽。20 世纪 70 年代，随着计算机图形学、数据库技术和遥感技术的发展，数字测图得到了快速的发展。20 世纪 80 年代，随着计算机技术和测量技术的进一步进步，数字测图进入了成熟阶段。目前，数字测图已经成为测绘学的主流技术，广泛应用于地形图、专题图、工程图、规划图、GIS 等多种类型的地图制作中。数字测图的发展不仅提高了地图制作的效率和精度，也为地图的更新和维护提供了极大的便利。随着 GIS 技术的普及和应用，数字测图在地理信息科学、城市规划、交通建设、环境保护、资源管理等领域的应用越来越广泛。未来，随着人工智能、大数据、云计算等新技术的不断发展，数字测图将迎来更加广阔的发展前景。

国家职业技能标准 1-1-5

国家职业技能标准 1-1-5

第 2 章 测量基础知识

[内容提要]本章主要介绍测量基准面、测量坐标系、测量的基本工作及其原则。要求了解大地水准面、地球椭球面、大地坐标系和空间直角坐标系；掌握我国常用的高程系统、平面坐标系、地球曲率对测量工作的影响和测量工作中的常用单位及换算；重点掌握独立平面直角坐标系、高斯投影、高斯平面直角坐标系、测量工作及其原则。

2.1 测量基准面

2.1.1 大地水准面

1) 地球的形状和大小

普通测量工作的主要研究对象是地球,其工作范围是地球的自然表面,即地球岩石圈的表面。此表面是一个非常复杂、高低起伏、极不规则的自然表面。根据最新的研究成果,地球上最高峰即我国珠穆朗玛峰的高度达 8 844. 43m,而在太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11 095m,上下落差近 20km。可见地球表面形状十分复杂,很难用简单的数学方法准确地描述和表达,但和地球半径(6 371km)相比,此落差还是比较微小的距离,所以有时可将地球近似地看成为正球体。

人们通过长期的测绘实践和科学研究后发现,地球表面的海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。因此,常常把地球总的形状看作是被海水包围的球体。

2) 水准面和大地水准面

设想有一个静止的海水面,向陆地内部不断延伸并且包围整个地球,从而形成一个封闭的静止海水面,称为水准面。由物理学知道,海洋或湖泊的水面静止不流动时,每一个点受到的重力相同,形成一个重力等位面,这个等位面就是水准面。与水准面相切的平面称为水平面,水准面上的任意一点都有一个水平面。由于地球受到月球的吸引作用会产生潮汐现象,造成不同时间、不同地点其水准面的位置和高度不尽相同。因此,水准面是个动态的曲面,且有无数个。其中,与静止的平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面,如图 2-1 所示,它所包围的整个地球形体称为大地体。大地水准面是唯一的。

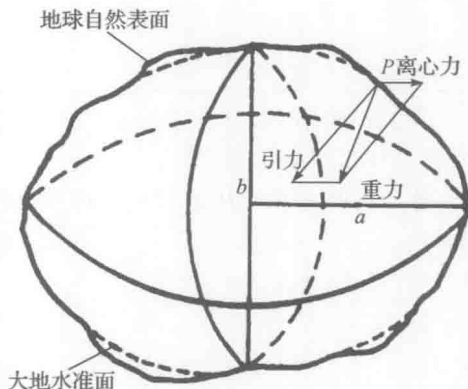


图 2-1 地球的形状与大地水准面

水准面上处处与重力方向(铅垂线方向)垂直。由于地球内部质量分布的不均匀,导致

地面上各点的地球引力各异,引起各点的铅垂线方向产生不规则的变化,因而大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面。为了便于计算,假定大地水准面的特点是一个没有皱纹和棱角的连续封闭的曲面,大地水准面在各点上重力位处处相等,且与铅垂线相垂直。

大地水准面和铅垂线是测量外业工作的基准面和基准线,野外测量的仪器就是以水准面和铅垂线为基准进行整置的,但由于大地水准面是不规则曲面,不能用数学公式表示。因此,在这个曲面上进行测量数据处理将是十分困难的。

2.1.2 参考椭球面

为了解决大地水准面不能作为计算基准面的矛盾,人们要选择既能用数学公式表示,又十分接近大地水准面的规则曲面作为计算的基准面。

经过长期测量实践的证明,大地体与一个绕椭圆的短轴旋转而成的旋转椭球体的形状十分近似,而旋转椭球可用数学公式表达,所以测绘工作便选取与大地体很接近的旋转椭球作为地球形状和大小的参考,一般称这个旋转椭球体为地球椭球体。

地球椭球体的大小是由椭圆的长半径 a 、短半径 b 和扁率 f 来确定的,称为地球椭球体元素。三者之间的关系如式(2-1)所示。

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (2-1)$$

地球椭球体元素是通过大量的测量成果推算出来的。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元素。表2-1列出了几种常用的椭球元素的数值。

表 2-1 地球椭球元素值

椭球名称	年份	长半径 a/m	扁率 f
白塞尔	1841	6 377 397	1 : 299.15
克拉科索夫斯基	1940	6 378 245	1 : 298.3
IUGG16 届大会推荐值	1975	6 378 140	1 : 298.257
IUGG17 届大会推荐值	1979	6 378 137	1 : 298.257
WGS-84 系统	1984	6 378 137	1 : 298.257 223 563
2000 国家大地坐标系	2000	6 378 137	1 : 298.257 222 101

地球椭球的形状大小确定之后,还应进一步确定地球椭球与大地体的相互位置,才能作为测量计算的基准面,这个过程称为椭球定位。在椭球定位过程中,椭球中心与地球质心重合,并且与整个大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球,而在一个国家或地区范围内与大地体最为吻合的地球椭球称为参考椭球,其表面称为参考椭球面。总地球椭球只有一个,而参考椭球则有无数个。

参考椭球体的形状、大小与大地体非常接近,通常用这个参考椭球面作为测量、计算与制图的基准面,并在这个椭球面上建立大地坐标系。如我国1980年西安大地坐标系就采用了1975年IUGG椭球。由于参考椭球体扁率 f 值很小,若测区的面积不大时,可以把地球视为正球体,半径为6371km,如式(2-2)所示。

$$R = \frac{(2a+b)}{3} \approx 6\,371\text{km} \quad (2-2)$$

地球的形状和大小确定后,还需确定大地水准面与参考椭球面的相对关系,才能把观测结果归化到参考椭球面上。如图 2-2 所示,在地球上选择适当的点 P ,设想把参考椭球与大地体相切,切点 P' 点位于 P 点的铅垂线方向上,使椭球面上 P' 点的法线与大地水准面的铅垂线相重合,使椭球的短半轴与地轴保持平行,且椭球面与大地水准面的差距尽量小,该 P 点若作为国家坐标系统的起算点,则称大地原点。因此,椭球表面与大地水准面的相对位置就得以确定,这就是参考椭球的定位定向原理。若对参考椭球面的数学表达式加入地球重力异常变化等参数的改正,便可得到大地水准面较为近似的数学表达式。

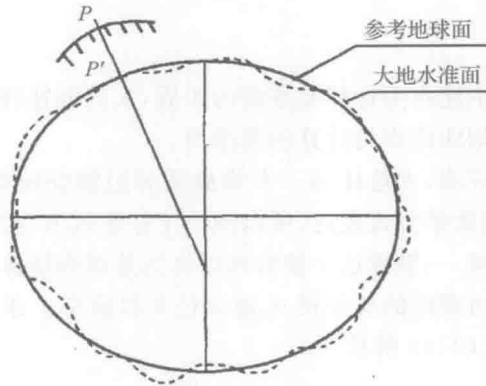


图 2-2 参考椭球定位

2.2 测量坐标系

2.2.1 大地坐标系

用经纬度表示地面点空间位置的球面坐标系称为地理坐标系;以地球椭球面和法线为基准建立的地理坐标系称为大地地理坐标系,又叫大地坐标系。如图 2-3 所示,地面点 P 沿着法线投影到椭球面上为 P' , P' 与椭球短轴构成的子午面和首子午面间的两面角为大地经度 L ,过 P 点的法线与赤道面的交角为大地纬度 B ,过 P 点沿法线到椭球面的高程称为大地高,用 H 表示,所以地面点的大地坐标为 (L, B, H) 。

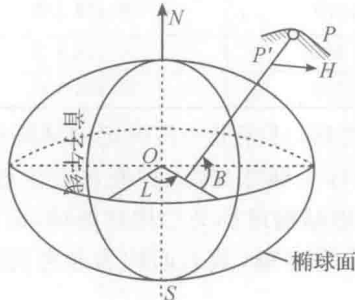


图 2-3 大地地理坐标系

大地经纬度是根据大地原点坐标按大地测量所得的数据推算而得的,大地原点坐标是经过天文测量获得的天文经纬度。采用不同的椭球时,大地坐标系是不一样的,采用参考椭球建立的坐标系叫参心坐标系,采用总地球椭球并且坐标原点在地球质心的坐标系叫地心坐标系。我国目前常用的坐标系中,1954 年北京坐标系和 1980 年国家大地坐标系是参心坐标系,而 WGS-84 大地坐标系和 2000 国家大地坐标系是地心坐标系。

1) 1954年北京坐标系

20世纪50年代,我国天文大地网建立初期,采用了苏联克拉索夫斯基椭球元素($a = 6\,378\,245\text{m}$, $f = 1/298.3$),坐标原点在苏联境内的普尔科沃,利用我国东北边境呼玛、吉拉林(内蒙古室韦镇)、东宁三个点与苏联1942年普尔科沃坐标系联测后的坐标作为我国天文大地网起算数据,然后通过天文大地网计算,推算出北京某点的坐标,从而推算到全国而建立的我国大地坐标系,定名为1954年北京坐标系。

1954年北京坐标系与1942年普尔科沃坐标系有相同的椭球参数和大地原点,但大地点高程是以1956年黄海平均海面为基准,高程异常是以苏联1955年大地水准面重新平差结果为起算值,按我国天文水准路线推算出来的。我国在1954年北京坐标系统框架下完成了大量的测绘工作。1954年北京坐标系存在的问题主要有:①参考椭球长半轴比地球总椭球的长半轴长100多米;②椭球基准轴定向不明确;③椭球面与我国大地水准面差异不均匀,东部局部地区高程异常达68m,西部新疆地区高程异常为零;④点位精度偏低。

2) 1980年国家大地坐标系

为了克服1954年北京坐标系存在的问题,20世纪70年代末,我国采用新的椭球参数和新的定位定向,对原全国天文大地网重新进行平差,建立了1980年国家大地坐标系,也简称为1980年西安坐标系或西安80坐标系。

1980年国家大地坐标系采用IUGG—75(1975年国际大地测量与地球物理联合会第十六届大会)地球椭球($a = 6\,378\,140\text{m}$, $f = 1/298.257$),椭球短轴Z轴由地心指向1968.0地极原点(JYD)的方向,大地原点设立在我国中部陕西省泾阳县永乐镇。该椭球面与我国境内大地水准面密合最佳,差距在 $\pm 20\text{m}$ 之内,边长精度为1/500 000。

3) WGS-84大地坐标系

WGS-84坐标系是世界大地坐标系,由美国军方于1987年建立,原点位于地球质心,参考椭球采用IUGG-79(1979年国际大地测量与地球物理联合会第十七届大会)地球椭球($a = 6\,378\,137\text{m}$, $f = 1/298.257\,223\,563$),椭球短轴Z轴由地心指向BIH(国际时间局)1984.0地极原点(CTP)的方向。GPS卫星定位系统获得地面点坐标是WGS-84坐标。

4) 2000国家大地坐标系

2000国家大地坐标系(China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000)是由2000国家GPS大地控制网、2000国家重力基本网和用常规大地测量技术建立的国家天地大地网联合平差获得的三维地心坐标系统,原点位于包括海洋和大气的整个地球质心,参考椭球采用2000参考椭球($a = 6\,378\,137\text{m}$, $GM = 3.986\,004\,418 \times 10^{14}\text{m}^3\text{s}^{-2}$, $J_2 = 0.001\,082\,629\,832\,258$, $\omega = 7.292\,115 \times 10^{-5}\text{rad s}^{-1}$),椭球短轴Z轴由地心指向BIH(国际时间局)1984.0地极原点(CTP)的方向。2008年7月1日,我国开始统一使用地心坐标系,并用8~10年过渡。

2.2.2 空间直角坐标系

空间直角坐标系是以地球质心为原点的坐标系,坐标原点O选在地球椭球中心,对于总地球椭球,坐标原点与地球质心重合;Z轴指向地球北极;X轴为格林尼治子午面与地球赤道面交线;Y轴垂直于XOZ平面,构成右手坐标系。如图2-4示,地面点P的空间位置用三维直角坐标(x, y, z)来表示。

地面点可以用大地坐标表示,也可以用空间直角坐标表示,两种坐标之间可以进行坐标转换。若设地面点P的大地坐标为(B, L, H),空间直角坐标为(x, y, z),则由大地坐标换算

为空间直角坐标的公式如式(2-3)所示。 N 、 e 的计算分别表示如式(2-4)所示。

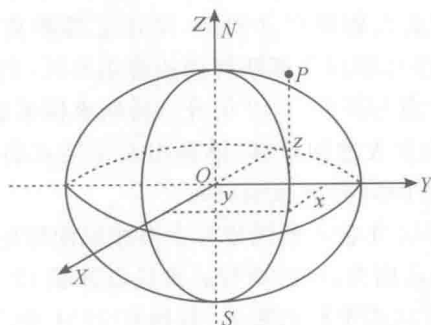


图 2-4 空间直角坐标系

$$\left. \begin{aligned} x &= (N + H) \cos B \cos L \\ y &= (N + H) \cos B \sin L \\ z &= [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

式(2-3)中, N 为 P 点的卯酉圈曲率半径; e 为第一偏心率。

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \\ e^2 &= \frac{a^2 - b^2}{a^2} \end{aligned} \right\} \quad (2-4)$$

由空间直角坐标系转换为大地坐标,通常采用六参数,如式(2-5)所示。

$$\left. \begin{aligned} B &= \arctan \left[\tan \theta \left(1 + \frac{ae^2}{z} \frac{\sin B}{W} \right) \right] \\ L &= \arctan \left(\frac{y}{x} \right) \\ H &= \frac{R \cos \theta}{\cos B} - N \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

式(2-5)中, $W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$; $\theta = \arctan \left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right)$; $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$; a 为长半轴半径。

用式(2-5)计算大地纬度时,大地纬度 B 可先设定一个起始值 B_0 ,用迭代法求 B 值,直到两次求得的 B 值之差小于一定阈值为止。

2.2.3 高斯平面直角坐标系

大地坐标系是大地测量的基本坐标系,对大地坐标的解算、地球形状和大小的研究等十分有用,但对地形图测绘、工程建设等很不方便,这时需要将球面上大地坐标按照一定的数学法则归算到平面上,转换为平面直角坐标来简化计算,而将球面上的图形或数据归算到平面上过程就是地图投影。我国的平面直角坐标系是采用高斯-克吕格投影建立起来的。

1) 高斯-克吕格投影

高斯-克吕格投影简称为高斯投影,是 19 世纪 20 年代由德国的数学家、测量学家高斯(1777—1855)最先设计,后德国的克吕格(1857—1923)又于 1912 年对投影公式加以补充完善。高斯投影是为了实现球面与平面间转换,将参考椭球面上的点、线按照一定的数学法则投影到可展开的投影面上,是众多地图投影方法之一。如图 2-5 所示,设想用一个椭圆柱面横套在地球椭球体外面,使它与椭球面上某一子午线(称为中央子午线)相切,圆柱体的中心