



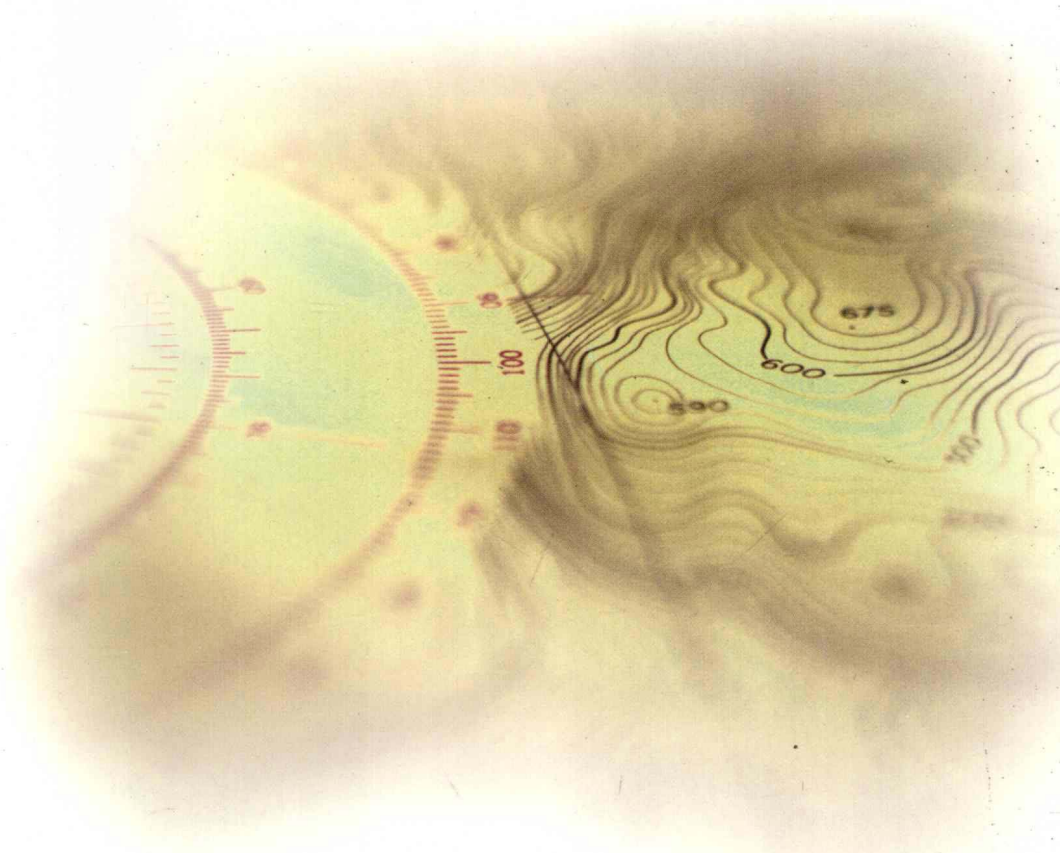
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字测图原理与方法

高井祥 等编著

SHUZI CETU YUANLI YU FANGFA

China University of Mining and Technology Press



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字测图原理与方法

高井祥 肖本林 付培义 余学祥 编著
梁 明 梁洪有 阳凡林 陈国良

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书根据高等学校测绘学科教学指导委员会对本课程教学大纲提出的指导性意见编写,是测绘工程专业重要的技术基础课通用教材。本书以测图过程为主线,力求适应测绘新技术的发展趋势,努力做到先进性、实用性、通用性和高质量的统一。全书内容共分十一章,第一章至第八章为传统的大比例尺测图部分,内容包括测量基本知识、基本测量的原理和仪器、测量误差基本知识、控制测量、地形图测绘技术、大比例尺地形图测绘方法等;第九章和第十章为数字测图部分,内容包括数字地形图绘图的基本原理和技术基础、大比例尺数字地形图测绘方法;第十一章介绍了地形图在生产实际中的应用。

本书可作为高等学校测绘工程、地理信息系统、土地资源管理等专业的教材,也可作为其他专业测绘类课程的教学用书,亦可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字测图原理与方法/高井祥等编著. —徐州:中国矿业大学出版社,2008.8

ISBN 978-7-81107-885-5

I. 数… II. 高… III. 数字化制图—高等学校—教材
IV. P283.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 120836 号

书 名 数字测图原理与方法
编 著 高井祥等
责任编辑 潘俊成
责任校对 张海平
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 19.5 字数 487 千字
版次印次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷
定 价 29.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书是在2001年出版的同名教材基础上改编而成的。原教材出版后经过两次再版修订、十几所高校使用,取得了良好的社会效益。2007年再次被列入普通高等教育“十一五”国家级教材规划。随着现代测绘科学技术的不断发展,测量新理论、新技术、新仪器层出不穷,数字测图技术亦得到迅速发展。为适应测绘新技术的发展趋势,根据高等学校测绘学科教学指导委员会对本课程教学大纲提出的指导性意见,在广泛调研和征求兄弟院校意见的基础上,我们组织七所高校的8位教师重新编写了本教材。

“数字测图原理与方法”是测绘工程专业重要的技术基础课之一,同时又是学习后续各种测绘类课程的入门课程。本课程的内容着重于数字测图的基本概念、基本理论、基本知识和基本技能的传授和培养。本教材是介绍测绘工程专业基础知识和入门知识的教材,通过本教材的学习,测绘工程专业本科生或相关学习者应建立起关于测绘知识体系、测绘基本原理和方法的概念,掌握大比例尺数字测图方法。本教材的编写,本着有利于加强基础理论教学、有利于提高能力培养、有利于知识面拓展和少而精的原则,努力做到先进性、实用性、通用性和高质量的统一,力争编著一本内容先进、反映当代测绘科学技术进展的新一轮测量学基础教材。本教材的特点是以测图过程为主线,在反映测绘理论、仪器设备和测量方法的最新发展水平的同时兼顾我国测量实践中存在的技术发展和应用水平的不平衡现状,在介绍先进测量仪器、自动化数字化数据采集和成图方法等知识的同时对测量实践中仍在使用的一些传统方法做了简化处理。

本书由中国矿业大学高井祥、陈国良,湖北工业大学肖本林,太原理工大学付培义,西安科技大学梁明,安徽理工大学余学祥,山东科技大学阳凡林,河南理工大学梁洪有共同编著。其中,第一、第二章由高井祥编写;第三、第四章由付培义编写;第五章由梁洪有编写;第六章第一、二、三、四、五、六节和第七章由肖本林编写;第八章由梁明编写;第九章由阳凡林编写;第十章由陈国良编写;第六章第七节、第十一章由余学祥编写。最后由高井祥对全书进行了统稿。

在本书编写过程中,作者参阅了大量文献,引用了同类书刊中的相关资料,在此一并向有关作者表示衷心感谢!承蒙武汉大学王泽民教授、解放军信息工程大学翟翊教授审阅全部书稿并提出了宝贵的修改意见,在此深表谢意!中国矿业大学出版社为本书的编辑出版做了大量工作,在此亦表示感谢!

在本书编写和出版过程中,作者虽做了很大努力,但书中仍会有错漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2008年7月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 测绘工作的任务及其在国民经济建设中的作用.....	1
第二节 测绘科学的发展概况.....	3
第三节 数字测图技术进展.....	5
第二章 测量基本知识	8
第一节 地球的形状和大小.....	8
第二节 测量常用坐标系统	10
第三节 高程系统	14
第四节 用水平面代替水准面的限度	15
第五节 直线定向	17
第六节 地形图的基本知识	20
第七节 测量工作的内容和原则	23
第三章 水准测量原理和仪器	26
第一节 水准测量原理	26
第二节 水准测量的仪器和工具	27
第三节 普通水准测量方法	32
第四节 水准仪的检验和校正	35
第五节 水准测量误差来源分析	41
第四章 角度、距离测量原理和仪器	43
第一节 角度测量原理	43
第二节 经纬仪	44
第三节 角度测量	53
第四节 水平角观测误差	60
第五节 经纬仪的检验和校正	64
第六节 距离测量	67
第七节 全站仪测量系统	82

第五章 测量误差基本知识	88
第一节 测量误差概述	88
第二节 偶然误差的特性	90
第三节 衡量精度的指标	93
第四节 误差传播定律及其应用	95
第五节 观测值的算术平均值及其中误差	100
第六节 由真误差计算中误差	103
第六章 控制测量	106
第一节 控制测量概述	106
第二节 导线测量	112
第三节 小三角测量	126
第四节 交会定点	142
第五节 四等及等外水准测量	150
第六节 三角高程测量	158
第七节 卫星定位技术及其在控制测量中的应用	166
第七章 地形图测绘技术基础	170
第一节 地形测图概述	170
第二节 地形图的分幅和编号	173
第三节 测图技术规范	181
第四节 测图控制技术方案	184
第五节 测图技术设计	189
第八章 大比例尺地形图测绘的基本方法	197
第一节 测图前的准备工作	197
第二节 地形图的测绘方法	198
第三节 地物的测绘方法	203
第四节 地貌的测绘方法	206
第五节 地形图的拼接、整饰、检查、清绘和验收	213
第九章 数字地形图绘图基础	218
第一节 坐标变换	218
第二节 图形的裁剪和显示	220
第三节 地形图符号的自动绘制	223
第四节 规则图形的几何校正	225
第五节 等高线的自动生成	226
第六节 曲线的光滑	229
第七节 地形图的数字化	233

第十章 大比例尺数字地形图测绘方法.....	238
第一节 数字测图概述.....	238
第二节 野外数据采集.....	241
第三节 计算机成图.....	249
第四节 地形图的质量控制和验收.....	256
第五节 地图数据库.....	259
第十一章 地形图的应用.....	266
第一节 地形图识读基础和野外使用地形图.....	266
第二节 纸质地形图的应用.....	273
第三节 数字地面模型的建立和应用.....	287
参考文献.....	301

第一章 绪 论

第一节 测绘工作的任务及其在国民经济建设中的作用

一、测绘学的研究内容

测绘科学是一门研究如何确定地球的形状和大小及地面、地下和空间各种物体的几何形态及其空间位置的科学,为人类了解自然、认识自然和能动地改造自然服务。其任务概括起来主要有三个方面:一是精确地测定地面点的位置及地球的形状和大小;二是将地球表面的形态及其他相关信息测绘成图;三是进行经济建设和国防建设所需要的测绘工作。

测绘学的研究内容相当广泛,它和其他科学一样都是随着人们生产实践的需要而产生并随着社会生产和科学技术的发展而发展的。测绘学是测绘科学技术的总称。随着测绘学研究的深入和各学科研究的相互渗透,测绘学在发展中产生了许多分支并形成了相对独立的学科。下面简述测绘学各个分支学科研究的内容。

(一) 大地测量学

大地测量学是以地球表面大区域为研究对象,研究和测定地球形状、大小和地球重力场,以及测定地面点几何位置的学科。大地测量学中测定地球的大小,是指测定地球椭球的大小;研究地球形状,是指研究大地水准面的形状;测定地面点的几何位置,是指测定以地球椭球面为基准面的地面点的位置。其方法是将地面点沿法线方向投影于地球椭球面上,用投影点在椭球面上的大地纬度和大地经度表示该点的平面位置,用地面点至投影点的法线距离表示该点的大地高程。地面点的几何位置也可以用一个以地球质心为原点的空间直角坐标系中的三维坐标来表示。这时必须考虑地球的曲率,因而在理论和方法上严密复杂。它为地球科学、空间科学、地震预报、陆地变迁、地形图测绘及工程施工提供控制依据。若只以国家三、四等控制为研究内容并为地形图测绘和施工测量提供控制基础,这种大地测量学特称为控制测量学。现代大地测量学包括几何大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学三个主要部分。

(二) 地形测量学

地形测量学(又称普通测量学)是测绘科学的一个基础部分,是研究测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科。由于地表形态的测绘工作是在面积不大的测区内进行的,又因地球曲率半径很大(平均为 6 371 km),可视小区域球面为平面而不必顾及地球曲率和地球重力场的微小影响,从而使理论和方法都得到简化。把地球表面的各种自然形态,如水系、地貌、土壤和植被的分布,以及人类社会活动所产生的各种人工形态,如境界线、居民地、交通干线和各种建筑物的位置采用正射投影的理论,使用一定符号,按一定比例,相似地缩绘到

平面图上,这种图叫做地形图。地形图的测绘和应用是地形测量学的核心内容,地形图在国民经济和国防建设中有着广泛的用途。

(三) 摄影测量学

摄影测量学是指利用摄影或遥感的手段获取被测物体的信息(影像的或数字式的),经过对图像的处理、量测、判释和研究,以确定被测物体的形状、大小和位置,并判断其性质的一门学科。按获取像片的方法不同,分为地面立体摄影测量学和航空摄影测量学。摄影测量主要用于测制地形图,它的原理和基本技术也适用于非地形测量。自从出现了影像的数字化技术以后,被测对象可以是固体、液体,也可以是气体;可以是微小的,也可以是巨大的;可以是瞬时的,也可以是变化缓慢的。只要能够摄得影像,就可以使用摄影测量的方法进行量测。这些特性使摄影测量方法得到广泛的应用。用摄影测量的手段成图是当今大面积地形图测绘的主要方法。摄影测量发展很快,特别是与现代遥感技术相配合使用的光源,可以是可见光或近红外光,现在已发展为在电磁波等其他范围内得到构像,其运载工具可以是飞机、卫星、宇宙飞船及其他飞行器。因此,摄影测量与遥感已成为非常活跃和富有生命力的一个独立学科。

(四) 工程测量学

工程测量学是研究工程建设在规划设计、施工放样和运营管理各阶段中进行测量工作的理论、技术和方法的科学,所以又称为实用测量学或应用测量学,它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。按工程建设进行的程序,工程测量在各阶段的主要任务有:在规划设计阶段主要是进行规划设计用大比例尺地形图测绘,以及将图上设计好的建筑物标定到实地,并确保其形状、大小、位置和相互关系正确;在施工阶段进行各种施工测量,在实地准确地标定出建筑物各部分的平面和高程位置,作为施工和安装的依据,以确保工程质量和安全生产;工程竣工后,要将建筑物群体测绘成竣工平面图,作为质量验收和日后维修的依据,称为竣工测量;对于大型工程,如高层建筑物、水坝等,工程竣工后,为监测工程的状况,保证安全,需进行周期性的重复观测,即变形监测。工程测量服务的领域非常广阔,有军事建筑、工业与民用建筑、道路修筑、水利枢纽建造等。

(五) 矿山测量学

它是综合运用测量、地质及采矿等多种学科知识,研究和处理矿山地质勘探、建设和采矿过程中从矿体到围岩、从井下到地面,在静态和动态条件下的各种矿山空间几何问题,以确保矿产资源合理开发、安全生产和矿区生态环境整治的一门学科。矿山测量学包括三项内容:一是矿山测量工程,研究矿区控制测量、地形测量、建井和开拓时期的施工和设备安装测量;矿山生产时期的井下控制测量、采区生产测量及各种生产设施的运行状况监测测量等,其作用被誉为“矿山的眼睛”;二是研究矿体几何和储量管理,确保矿产资源的合理开发和生产中准备煤量与开采煤量的合理接续;三是研究资源开采后所引起的岩层移动、地表沉降规律以及露天矿边坡的稳定性和保护地面建筑物、造地复田和环境治理的理论和方法。

(六) 地图制图学

地图制图学是以地图信息传输为中心,探讨地图及其制作的理论、工艺技术和使用方法的一门综合性学科,它主要研究用地图图形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,具有区域性学科和技术性学科的两重性,所以亦称地图学。主要内容包括地图编制学、地图投影学、地图整饰和制印技术等。现代地图制图学还包括用空间遥感

技术获取地球、月球等星球以及更遥远的深空星球的信息,编绘各种地图、天体图以及三维地图模型和制图自动化技术等。

二、测绘工作的作用

测绘工作是各项工程建设、资源开发、国防建设的基础性、超前性工作。测绘学的应用范围很广,在城乡建设规划、国土资源的合理利用、农林牧渔业的发展、环境保护以及地籍管理工作中,必须进行土地测量和测绘各种类型、各种比例尺的地形图,以供规划和管理使用。在地质勘探、矿产开发、水利、交通等国民经济建设中,必须进行控制测量、矿山测量和线路测量,并测绘大比例尺地形图,以供地质普查和各种建筑物设计施工使用。在国防建设中,除了为军事行动提供军用地图外,还要为保证火炮射击的迅速定位和导弹等武器发射的准确性提供精确的地心坐标和精确的地球重力场数据与数字高程模型。在研究地球运动状态方面,测绘学提供大地构造运动和地球动力学的几何信息,结合地球物理的研究成果,解决地球内部运动机制问题。具体而言,测绘学在国民经济建设和国防建设中的主要作用可归纳为以下几方面:

- ① 提供一系列点的大地坐标、高程和重力值,为科学研究、地形图测绘和工程建设服务。
- ② 提供各种比例尺地形图和地图,作为规划设计、工程施工和编制各种专用地图的基础。
- ③ 准确测绘国家陆海边界和行政区划界线,以保证国家领土完整和邻邦友好相处。
- ④ 为地震预测预报、海底资源勘查、灾情监测调查、人造卫星发射、宇宙航行技术等提供测量保障。
- ⑤ 为现代国防建设和确保现代化战争的胜利提供测绘保障。

由此可见,在国民经济和国防建设中,测绘工作既是一项基础技术工作,又是各项基本建设的“先行”工作,所以测绘工作者又被誉为“建设尖兵”;在矿产资源开发中,由于测量工作在保证均衡生产、质量监督、安全导引等方面起着重要作用,所以矿山测量又被称为“矿山的眼睛”,这是测绘工作者的光荣。我国幅员辽阔,资源丰富,测绘任务十分繁重,所以在我国的现代化建设中,每一位测绘工作者都应兢兢业业,不避艰辛,努力当好国民经济建设的尖兵,为祖国的富强多作贡献。

第二节 测绘科学的发展概况

测绘科学是一门既古老又年轻的科学,测绘科学的发展与人类历史发展进程中的政治、经济、军事和科学文化的发展有着密切的联系。人类在同大自然的斗争中积累和总结了许多经验,发现了许多自然规律,发明了许多技术与方法,为人类的生存和文明提供了物质基础,同时也促进了测绘科学技术的发展。

我国是世界上的文明古国之一,对测绘科学的发展做出了卓越贡献。早在我国战国时期的著作《管子》一书中即收集了地图 27 幅并谈到了地图在军事中的重要作用。公元前 5 世纪至公元前 3 世纪,我国已有最早的仪器——司南的记载。公元前 2 世纪司马迁在《史记·夏本纪》中就对禹受命治理洪水的情况做了叙述:“左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通

九道,陂九泽,度九山。”说明在几千年前中国人为了治水,已经会使用简单的测量工具。秦汉时代国家得到统一,社会经济、科学技术开始发展,在数学上有了分数四则运算和负数运算,四大发明之一的造纸术问世,极大地促进了制图技术水平的提高。公元前130年西汉初期的《地形图》和《驻军图》于1973年在长沙马王堆三号汉墓出土,这是我国迄今发现的最古老的地图实物。公元2世纪初东汉时期的张衡发明了浑天仪,为天文测量作出了贡献。西晋地图学家裴秀编制了《禹贡地域图》,他提出的小比例尺地图编制理论——制图六体是世界上最早的制图理论。公元3至4世纪的魏晋时期,刘徽在所著《海岛算经》中论述了测算海岛距离和高度的方法。公元724年,唐代僧人、天文学家一行(本名张遂)主持进行大规模天文测量,第一次用弧度测量的方法测定了地球的形状和大小。宋代石刻《禹迹图》采用“计里画方”制图法,开我国方格网制图法之先河。宋代沈括绘制《天下州县图》,他还用水平尺和罗盘测量地形并最早发现磁偏角。在明代永乐年间,郑和七次出使大西洋,首次绘制了航海图。到公元18世纪初,我国进行了大地测量并在此基础上开展全国测图工作,编制成《皇舆全览图》(含图41幅),包括的地域之广、精度之高和历经时间之长,世界罕见。

世界各国测绘科学技术的发展主要始于17世纪初叶,当时世界正处在资产阶级革命时期,生产力得到解放,科学技术飞速发展。在这个时期,测绘科学在理论、技术和仪器等方面都有长足进步。17世纪初望远镜的发明,是测绘科学发展史上一次较大的变革,奠定了现代测绘仪器的基础。1617年,三角测量方法开始得到应用。约于1730年,英国的西森制成测角用的第一架经纬仪,大大促进了三角测量的发展,使其成为建立各种等级测量控制网的主要方法。在这一段时期,由于欧洲又陆续出现小平板仪、大平板仪和水准仪,地形测量和以实测资料为基础的地图制图工作也相应得到发展。1859年,法国洛斯达首创摄影测量方法。随后,相继出现立体坐标量测仪、地面立体测图仪等。由于航空技术的发展,1915年出现自动连续航空摄影机,因而可以将航摄像片在立体测图仪器上加工成地形图。这个时期,测绘理论有了重大突破:在地图制图方面,有德国墨卡托提出的“正形圆柱投影”、法国雅克·卡西尼提出的“横圆柱投影”和法国兰勃特提出的“正形圆锥投影”等理论,奠定了现代地图制图理论基础;在测量计算方面,1806年和1809年法国数学家勒让德和德国数学家高斯分别发表最小二乘准则,为测量平差计算奠定了科学基础。

自20世纪50年代以来,不少新的科学技术如电子学、信息论、激光技术、电子计算机、空间科学技术等飞速发展,极大地推动了测绘科技发展。1947年开始研究利用光波进行测距,到20世纪60年代中期,红外光、激光测距仪相继问世。20世纪40年代自动安平水准仪问世,1968年又生产出电子经纬仪。此后,电子速测仪、激光水准仪、数字水准仪相继问世,实现了观测记录自动化,测角、测距和计算一体化。以照片、遥感图像为处理对象的数据处理系统,已完全实现摄影遥感成图自动化。

1957年人类成功发射第一颗人造地球卫星,开创了人类宇宙航行的新纪元。1966年开始进行人卫大地测量,随后,许多现代定位技术应运而生,其中最具代表性的是全球卫星定位系统(简称GPS定位),GPS定位具有全天候、高精度、定位速度快、布点灵活和操作方便等特点。目前经典的平面控制测量已基本被GPS测量所取代。

新中国成立后,我国的测绘事业进入崭新的发展阶段。1950年解放军总参谋部设立测绘局,1956年国家测绘局成立并相继创办解放军测绘学院和武汉测绘学院。科学院系统成立了测量与地球物理研究所,煤炭、冶金、地质、石油、水利、铁道、海洋等部门的大专院校相

继设立测量系或测量专业。几十年来,我国测绘事业发展很快,在全国范围内建立了国家大地网、国家水准网、国家基本重力网和卫星多普勒网,并对国家大地网进行了整体平差。参加平差的点,包括一、二等三角点和导线点以及部分三等三角点共约 5 万个,有 30 万个观测值,完成了大量不同比例尺的地形图测绘,建立了我国“1980 年国家大地坐标系”和“1985 年国家高程基准”,在 1992 年我国完成了 GPS 大地网的布测工作,培养了大批测绘人才。在测绘仪器生产方面,从无到有,现在不仅能生产各种常规测绘仪器,而且还能生产现代化精密测绘仪器,如电磁波测距仪、自动安平水准仪、电子经纬仪、全站仪、GPS 接收机等。

20 世纪末,以遥感(RS)、地理信息系统(GIS)与全球定位系统(GPS)等空间信息技术为基础,在计算机技术、通信技术、网络技术等支撑下建立起来的地球空间信息科学,更使测绘科学产生了质的飞跃。进入 21 世纪,以测绘科学为基础发展起来的地球空间信息科学已成为应用广泛的综合性学科,并为国民经济相关领域的发展提供有力的技术支持。可以预期,在不久的将来我国的测绘事业必能取得更多更新的成就。

第三节 数字测图技术进展

精密机械、电子、通讯和信息技术的飞速发展,极大地推动了测绘仪器及绘图技术的进步,使大比例尺地形测图在数据采集自动化和成图数字化方面有了飞跃性发展,并形成了较完整的体系。与解析测图相比,数字测图在自动化、数字化和测图精度方面具有明显优势,前景广阔。

一、地形测图方法的变迁

大比例尺地形测图有全野外数据采集式测图、航空摄影测量、遥感测量等方法,本书主要介绍大比例尺全野外数据采集式测图方法,这种测图方法经历了两个主要发展阶段。

第一个阶段为白纸测图阶段,这一阶段测图的基本方法是用光学机械型仪器测定地物、地貌特征点与图根控制点所代表的起算数据间的相对位置关系——距离、转角及高差,再以起算数据为基础,根据所测得的相对位置关系数据,由人工按比例尺和规定符号绘制在图纸上。测图过程中,从数据采集到着墨成图全手工作业,作业工序多、人为因素影响大,测量误差来源多,劳动强度大、成图速度慢,所成图纸难于快速编辑、更新,测图过程必须遵循“先控制后碎部”的原则。

第二个阶段即数字测图阶段,这一阶段起步于白纸图的数字化,进而使地形测图的内、外业全面地发生了变革。外业数据采集逐步实现了从单人操作的全站仪采集到完全自动化的全站仪数据采集,成图则实现了完全数字化,地形测图过程减少了人为因素的影响,减少了作业工序,图的管理与编辑实现了信息化、自动化,测图过程可不按“先控制后碎部”的原则作业,测图结果以图形数据形式用计算机存储介质存储,并直接作为数字地面模型(DTM)及地理信息系统(GIS)的基础数据。

大比例尺全野外数据采集式测图起步于 20 世纪 70 年代,主要推动力源自测量仪器和计算机成图技术的进步。全站型测量仪器问世于 20 世纪 50 年代,普及应用及自动化、信息化水平迅速提高则开始于 70 年代初;与地形测图有关的计算机数字化成图技术发展于 20 世纪 80 年代初,目前其技术水平和应用已达到相当成熟的程度。

数字测图技术已成为大比例尺全野外数据采集式测图的主要方法,数字测图技术发展也经历了两个阶段:

初期——主要用全站仪在人工操作下采集地物、地貌特征点地理位置数据,人工绘制草图,在室内将野外采集的地物、地貌特征点数据传输到计算机,根据草图采用人机交互方式用绘图软件生成数字地形图,经编辑修改后完成地形图,并在屏幕上显示或绘图仪输出。这一时期,大比例尺测图的主要技术进步表现在数据采集的精度和效率的提高,以及成图完全实现数字化方面,这种技术组合的测图方法目前已普及。

后期——数据采集可由被称为测量机器人的全站仪自动进行,全站仪采集的数据可实现实时传输,成图可用掌上电脑在外业完成,也可在全站仪上完成。从技术上讲,这种高度自动化的全野外成图技术已完全成熟,但因仪器、软件的价格尚较高,普及还需时日。在这一时期,还发展了 RTK GPS 大比例尺全野外数据采集式测图技术,数据采集由 RTK GPS 代替全站仪,成图方式则与用全站仪数据采集时相同。

二、数字测图的几种主要技术

(一) 全野外数据采集式测图技术

全野外数据采集式测图技术是在地面上利用不同仪器设备采集数据,再利用计算机或人工成图的一种测图方法。其成图过程前面已有介绍,野外数据采集仪器有经纬仪、全站仪和 RTK GPS 接收机,随仪器的不同,测图方法亦有所不同。

经纬仪全野外数据采集式测图法,利用经纬仪进行角度、视距等要素测量,人工记录原始数据并计算绘图要素,绘图也由人工在绘图板上进行,这种测图方法已逐渐退出测图历史舞台。

全站仪全野外数据采集式测图法,数据采集由全站仪进行,分人工操作和自动采集两种,成图用计算机完成,这种方法是目前全野外数据采集式测图的主要方法。

RTK GPS 全野外数据采集式测图法,数据采集由 RTK GPS 完成,成图用计算机完成。因 RTK GPS 的作用距离在 30 km 以内精度可达厘米级,在开阔地带应用非常方便,但在 GPS 信号易受遮挡的城市或山谷中测量时,这种方法则不便使用。当前 GPS 增强系统、网络 GPS 技术正在迅速发展,这些技术有助于克服上述不足。

(二) 数字摄影测量成图技术

根据摄影设备所处的位置不同,数字摄影测量成图技术可分为航空摄影测量(包括低空)和近景摄影测量。

航空摄影测量是利用空中载体获得航摄像片或影像,然后对像片或数字影像采用数字相关技术匹配同名点,建立数字立体模型,从而建立数字高程模型,得到数字化地形图、正射影像图等。与白纸测图相比,具有信息量丰富,可将大量外业测量工作转到室内进行,减少天气、地形对测图的不利影响,提高工作效率等优点。

目前,航测成图技术已可用于测制 1:5 000~1:500 等大比例尺地形图,但从测图成本考虑,航空摄影测量成图技术更适用于大范围测图,小面积测图时,因一次投入成本高而不适用。

近景摄影测量是对近距离目标摄影确定其外形、形态和几何位置的技术,是一种基于数字信息和数字影像技术的数据获取手段。近景摄影测量是非接触性量测手段,信息容量大,

易存储和更新,并且精度高、速度快、使用灵活。随着数码相机技术的发展、应用和普及,数字近景摄影测量已得到了较快的发展,对于不便接触地区的测量,具有无可比拟的优势。

(三) 遥感测图技术

遥感是一种远距离的、非接触的目标探测技术和方法。遥感测图主要是利用卫星或其他载体所载的遥感设备接收从地面反射和辐射来的电磁波,获得海量地形信息,并以图形数据形式或图像形式存贮为数据文件,再利用计算机图形图像处理软件进行成图的技术。

由于地面目标的种类及其所处环境条件的差异,地面目标具有反射或辐射不同波长电磁波信息的特性,遥感正是利用地面目标反射或辐射电磁波的固有特性,通过观察目标的电磁波信息以达到获取目标的几何信息和物理属性的目的。

遥感获取的影像信息具有视野广阔、不受地形地物阻隔、快速准确、形象逼真、信息全面、特征突出、整体性好、可比性强等优点,还可挖掘出影像上没有显示的不可见的潜在信息。

将影像进行纠正、编辑、处理后得到数字地形图,可满足常规数字测图的需要。遥感测图技术也是一种适于一次成大面积图的技术,但随着技术的进步,作业成本的降低,小面积遥感测图也具有广阔前景。

遥感技术中的合成孔径雷达干涉(Synthetic Aperture Radar Interferometry,简称 InSAR)技术是新近发展起来的空问遥感技术,它是传统的 SAR 遥感技术与射电干涉技术相结合的产物。机载或星载合成孔径雷达通过微波对地球表面主动成像,既记录地面分辨元的雷达后向散射强度信息,也记录与斜距有关的相位信息。通过对覆盖同一地区的 2 幅雷达图像的联合处理提取相位差图即干涉图,可建立数字高程模型(DEM),是目前国内外研究和应用的热点。

第二章 测量基本知识

第一节 地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面,而地球表面又是高低起伏极不规则的,有高山、平原、丘陵、荒漠、河流、湖泊和海洋等。因此,为了合理处理测量数据和测绘地形图,正确认识地球的形状与大小是非常必要的。

地球的自然表面上有陆地和海洋。位于我国西藏与尼泊尔交界处的喜马拉雅山的主峰——珠穆朗玛峰,海拔高达 8 844.43 m(2005 年 5 月由中国重新测定并于同年 10 月 9 日向世界宣布),而位于西太平洋的马利亚纳海沟的斐查兹海渊则低于海平面 11 034 m,两者之间的高度差近 20 000 m。尽管有这样大的高低起伏,但从宏观上看这些高低差异与巨大的地球半径(平均 6 371 km)相比,仍可忽略不计。地球的表面形状十分复杂,不使用数学公式进行表达。通过测绘工作者的长期实践和科学调查,发现地球表面的总面积为 $5.11 \times 10^8 \text{ km}^2$,其中海洋占 70.8%,陆地仅占 29.2%。因此人们设想把地球总的形状看成是被海水水面所包围的球体,即设想将静止的海水面向陆地延伸,形成一个封闭的曲面,这个曲面所包围的地球实体称为大地体,它代表地球的自然形状和大小。

地球上的任一质点因受地球的引力作用而不能脱离地球。同时,地球又在不停地自转,使质点受到离心力作用,因此一个质点 O 所受到的力实际上是地球引力 F 与离心力 P 的合力 G ,这个合力就是大家所熟悉的重力(图 2-1)。重力的作用线 OG 又称铅垂线。

大地体的表面以海水为主,每个水分子都受到重力的作用。在重力位相同时这些水分子便不再流动而呈静止状态,形成一个重力位等位面,这个面称为水准面。由物理学可知,水准面处处与重力方向垂直。实际

上,海水并不是静止的,有波浪和潮汐,海水面忽高忽低,所以水准面有无穷多个。通过平均海水面的水准面,称为大地水准面。所以,前面提到的大地体实际上是指大地水准面所包围的形体。

大地水准面虽然比地球的自然表面要规则得多,但由于地球内部物质分布的不均匀性,而导致地球上各点的铅垂线方向产生不规则变化,这就使得大地水准面实际上是一个有微小

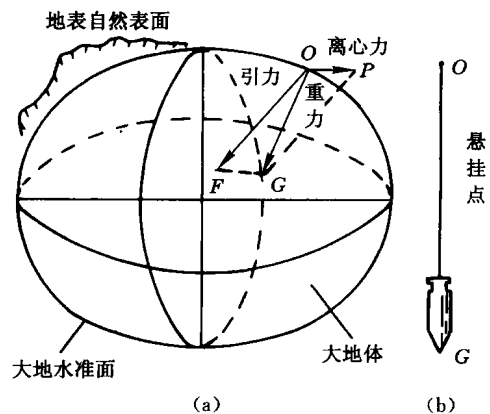


图 2-1

起伏变化的不规则曲面。它的精确形态目前还无法用数学模型描述,如果将地面各点投影到这样复杂的曲面上,根本无法进行测量计算工作。为了使测量计算和制图工作能够进行,可以采用一个和大地水准面非常接近而又能以数学公式表达的规则曲面来代替大地水准面。

通过大量的测量实践和卫星大地测量研究证实,地球实际上是一个南北两极略扁、北极稍凸、南极稍凹的类似于梨形的形体,其横切面接近一个圆,纵切面接近一个椭圆,与一个以椭圆的短轴为旋转轴的旋转椭球非常相似(图 2-2)。而旋转椭球是可以数学公式严格表示的。因此,测量上就是用这个旋转椭球的表面来近似代替大地水准面并以此作为测量计算和制图的基准面(图 2-3)。地球椭球的基本元素如下:

- ① 地球的长半轴 a ;
- ② 地球的短半轴 b ;

$$\text{地球椭球体的扁率 } \alpha = \frac{a-b}{a}。$$

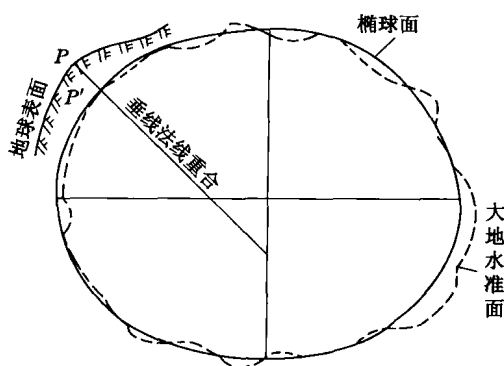


图 2-2

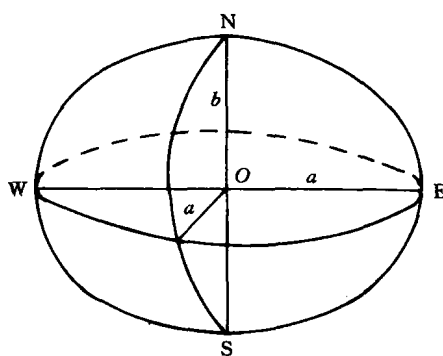


图 2-3

几个世纪以来,各国学者都在致力于研究地球椭球的元素值,使之能最接近于大地体。由于他们都利用局部资料推算表达椭球体大小的有关参数 a 、 b 和 α ,因此,这些地球椭球都有局限性,只能作为地球的形状和大小的参考,故称为参考椭球体,其外表面称为参考椭球面。表 2-1 列出的是几个有代表性的地球椭球参数。

表 2-1 世界各国学者推导的地球椭球元素一览表

地球椭球名称	长半轴 a /m	短半轴 b /m	扁率 α $\alpha = \frac{a-b}{a}$	推算年代和国家
德兰布尔	6 375 653	6 356 564	1 : 334	1800 年,法国
贝塞尔	6 377 397	6 356 079	1 : 299.2	1841 年,德国
克拉克	6 378 249	6 356 515	1 : 293.5	1880 年,英国
海福特	6 378 388	6 356 912	1 : 297.0	1909 年,美国
克拉索夫斯基	6 378 245	6 356 863	1 : 298.3	1940 年,前苏联
IUGG	6 378 140	6 356 755	1 : 298.257	1975 年,国际大地测量学与地球物理学联合会

注: IUGG——国际大地测量学与地球物理学联合会的英文缩写。

地球椭球的形状和大小确定之后,还应确定大地水准面与椭球面的相对关系,使椭球与大地体间达到最好的密合,这一工作称为椭球定位。当两者相对位置关系确定好之后,就可以将地面测量成果投影到椭球面上进行计算。如图 2-2 所示,椭球定位就是在本国范围内选择一个合适的地点 P ,先将 P 点沿铅垂线投影到大地水准面上得 P' ,使旋转椭球面与大地水准面在该点相切,这时椭球面上 P' 点的法线(过 P' 点与椭球面正交的直线)与过该点的大地水准面的铅垂线重合,而且使旋转椭球体的短半轴与地球的自转轴平行或重合,这样,椭球体与大地体之间的关系就确定好了。切点 P' 称为大地原点,该点的大地坐标就是全国其他点球面坐标的起算数据。

各国为处理大地测量成果,往往根据本国及其他国家所进行的天文、大地、重力测量资料,采用适合本国领土范围的椭球参数并将其定位。我国在新中国成立前采用海福特椭球参数,新中国成立后曾一度采用克拉索夫斯基椭球参数。目前采用的是 1975 年国际大地测量学与地球物理联学联合会(IUGG)推荐的椭球,称为“1980 年国家大地坐标系”,其大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇。

由于地球椭球的扁率很小,所以在地形测量研究范围可以近似地将地球作为圆球看待,其半径(R)采用椭球曲率半径的平均值,即:

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6\,371 \text{ (km)} \quad (2-1)$$

第二节 测量常用坐标系统

为了研究空间物体的位置,测量上常采用投影的方法加以处理。地面点的空间位置需要三个量来确定,其中两个量表示地面点沿基准线投影到基准面后在基准面上的位置,所以又将这两个量称为坐标;第三个量表示地面点沿基准线到基准面的距离,在测量上称为高程。在这里,基准线可以是点的铅垂线,也可以是法线;基准面可以是椭球面,也可以是大地水准面或平面。实际测绘工作中,一般采用大地水准面和铅垂线作为基准面和基准线。

表示地面点位置的平面坐标和高程,都是针对某一特定坐标系和高程系而言的。测量工作中常用的球面坐标系是大地坐标系,平面坐标系是高斯-克吕格平面直角坐标系,常用的高程系是正高系,下面分别予以介绍。

一、大地坐标系

如图 2-4 所示,NS 表示椭球的旋转轴,N 表示北极,S 表示南极,包括椭球旋转轴 NS 的平面称为子午面,其中通过格林尼治的子午面称为起始子午面,又称本初子午面。子午面与椭球面的交线是一个椭圆,称为子午圈或子午线,子午圈也称经圈,它有无数多个,图中 $NP'SN$ 为经过 P' 点的子午圈。垂直于旋转轴 NS 的平面与椭球面的交线称为平行圈,平行圈也称纬圈,平行圈也有无数

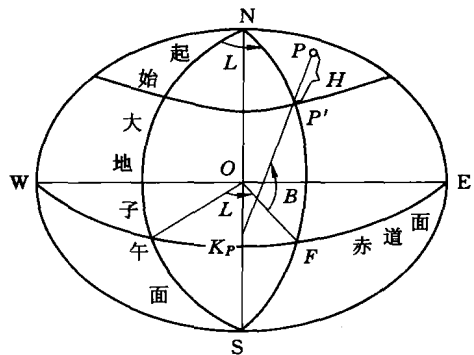


图 2-4