



第六届全国高等学校优秀测绘教材

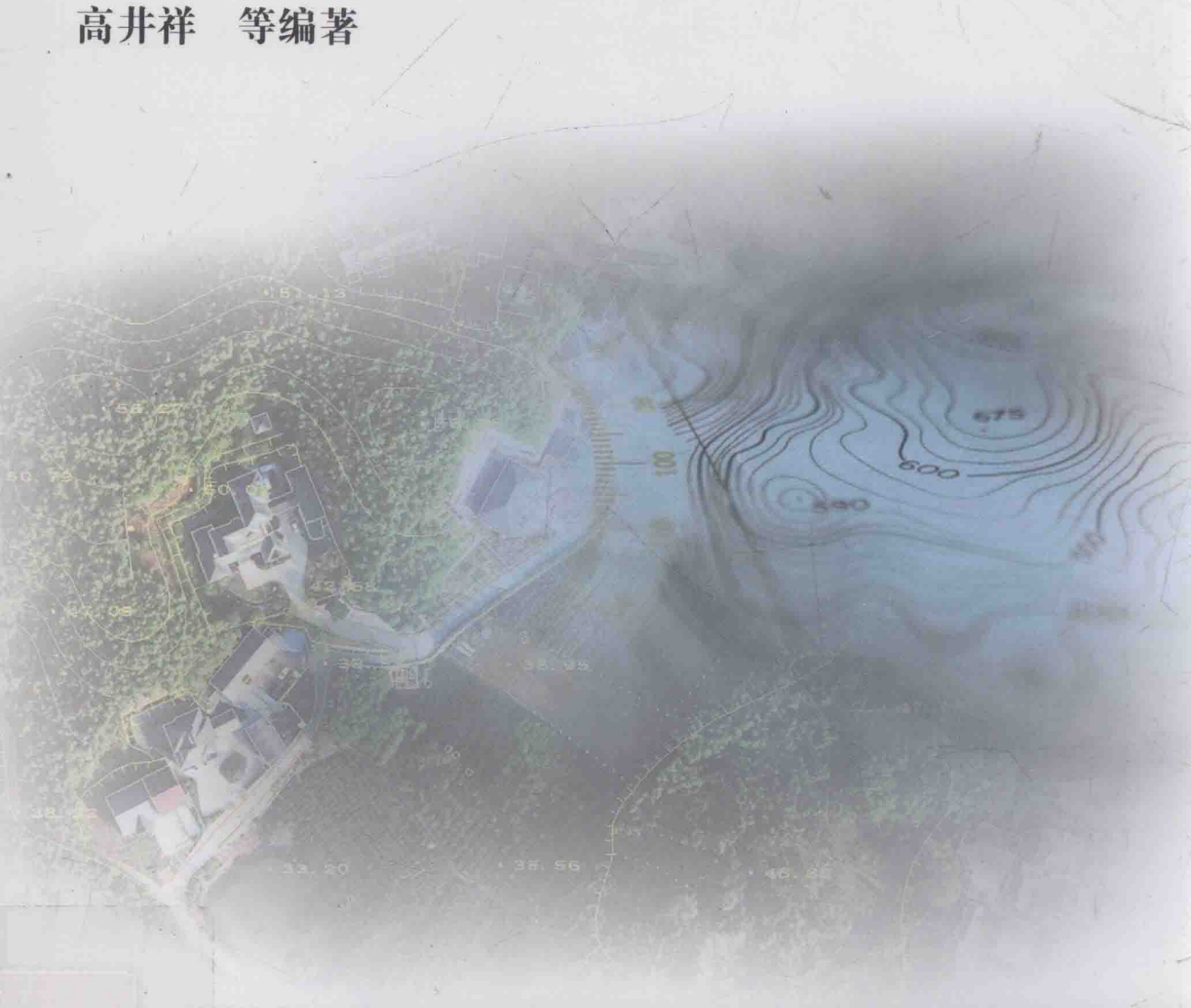
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

数字测图原理与方法

SHUZI CETU YUANLI YU FANGFA

第三版

高井祥 等编著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
第六届全国高等学校优秀测绘教材

数字测图原理与方法

第三版

高井祥 肖本林 付培义 余学祥 编著
刘长星 何 荣 陈允芳 郑南山

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。本书以数字化地形图测绘过程为主线,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。全书内容共分十二章,第一章至第八章为大比例尺测图基本理论与技术方法部分,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、地形图测绘技术基础、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;第十二章介绍了常用的专题地图测绘技术方法。

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. —3版. —徐州:

中国矿业大学出版社, 2015. 9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2651 - 8

I. ①数… II. ①高… III. ①数字化测图—高等学校—教材 IV. ①P231.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 045229 号

- 书 名 数字测图原理与方法(第三版)
编 著 高井祥 肖本林 付培义 余学祥
刘长星 何 荣 陈允芳 郑南山
责任编辑 潘俊成
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 22.25 字数 584 千字
版次印次 2008 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 2 版
2015 年 9 月第 3 版 2015 年 9 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

第3版前言

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,由同名“十一五”国家规划教材修订而成。本次修订工作,面向测绘行业人才培养的国家需求,重点考虑了国家注册测绘师制度推行的大背景、信息化测绘新技术和高等教育发展的新形势,更新并增加了部分知识点。同时为了满足不同行业对测绘知识技能的需要,增加了专题测绘章节。修订后的教材更加符合现行测绘类本科专业人才培养的规范要求。

作为测绘工程及相关专业测绘基础课教学的重要教材,本书涵盖了测绘科学的基本概念、基础理论、常用测图仪器与操作方法以及数字化测绘等知识,是培养测绘专业学生基本技能的入门教材和专业核心教材。通过学习本教材,学生将能较好地建立起系统的测绘基础知识体系,并掌握基础测绘作业方法。

本次修订工作,经编委会充分讨论并多次征求意见,由编著者分章节编写完成。参加编写单位保持不变,参编人员及分工做了调整:第一、二章由中国矿业大学高井祥编写;第三、四章由太原理工大学付培义编写;第五章由河南理工大学何荣编写;第六章第一至第六节由湖北工业大学肖本林编写;第六章第七节、第十一章由安徽理工大学余学祥编写;第七章、第十章第二、三、四、五节由西安科技大学刘长星编写;第八章由中国矿业大学郑南山在本书第二版基础上改编;第九章第一至第六节、第十章第一节和第六节、第十二章第三节由山东科技大学陈允芳编写;第九章第七节、第十二章第一、二节由中国矿业大学郑南山编写。最后由高井祥对全书进行统稿。

本教材自出版以来,得到了兄弟院校和使用者的大力支持和帮助,并提出了很多宝贵意见和建议,这也是本次修订的重要动因。另外,在教材编写过程中参阅了大量文献,引用了同类书刊中的相关材料和测绘行业案例,在此表示衷心感谢!

由于编著者水平所限,修订工作中仍难免存在疏漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2015年6月

第2版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家规划教材,于2008年8月初版。由于测绘学科是一个融会大量新理论和新技术的领域,为适应新理论和新技术不断发展条件下的教学需求,本书在第一版基础上再度进行修订。这次修订中,调整了部分内容的教学顺序,增加了部分新知识,对第一版中的差错进行了更正,对部分插图做了重绘。修订后的新版教材将更贴近测绘工程本科专业教学的实际需求。

本书作为测绘工程及相关专业本科教学的专业基础教材,内容涵盖了测绘工程及其数字测图部分的基本概念、基础理论、基本知识和基本技能,是培养测绘工程专业学生基本素养和数字测图基本技能的入门教材和专业核心教材。通过本教材的学习,测绘工程专业本科生和相关学习者可建立起系统的基础知识体系,掌握测绘学的基础理论、基本知识和基本测绘技能,掌握大比例尺数字测图的方法。

本次修订,是在广泛征求使用院校教学意见基础上,经过认真讨论,由原编著者负责完成的。自本教材出版以来,得到了兄弟院校和使用单位的大力帮助并提出了宝贵意见。本书在2009年荣获国家测绘局第六届全国高等学校优秀测绘教材二等奖。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,在此一并表示衷心感谢!

由于编著者水平所限,虽经修订,书中难免仍有错漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2010年8月

第1版前言

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

第 3 版前言	I
第 2 版前言	II
第 1 版前言	III
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 测量工作的内容和原则	5
复习思考题	7
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	15
第四节 用水平面代替水准面的限度	16
第五节 直线定向	18
复习思考题	20
第三章 水准测量原理和仪器	22
第一节 水准测量原理	22
第二节 水准测量的仪器与工具	24
第三节 普通水准测量	32
第四节 水准仪的检验与校正	38
第五节 水准测量误差来源	46
复习思考题	48
第四章 角度、距离测量原理和仪器	49
第一节 角度测量原理	49

第二节	经纬仪	50
第三节	角度测量	58
第四节	经纬仪的检验和校正	67
第五节	水平角观测误差	71
第六节	距离测量	75
第七节	全站仪测量系统	82
	复习思考题	92
第五章	测量误差基本知识	93
第一节	测量误差概述	93
第二节	偶然误差的特性	95
第三节	衡量精度的指标	98
第四节	误差传播定律及其应用	100
第五节	观测值的算术平均值及其中误差	105
第六节	广义算术平均值及精度评定	108
	复习思考题	112
第六章	控制测量	113
第一节	控制测量概述	113
第二节	导线测量	119
第三节	小三角测量概述	134
第四节	交会定点	137
第五节	四等及等外水准测量	146
第六节	三角高程测量	154
第七节	GNSS 技术及其在控制测量中的应用	161
	复习思考题	170
第七章	地形图测绘技术基础	172
第一节	地形图基本概念	172
第二节	地形图的分幅与编号	180
第三节	地形图测绘规范	188
	复习思考题	198
第八章	大比例尺地形图测绘的基本方法	199
第一节	测图前的准备工作	199
第二节	地形图的测绘方法	200
第三节	地物的测绘方法	205
第四节	地貌的测绘方法	209
第五节	地形图成图验收	216

复习思考题	219
第九章 数字地形图绘图基础	220
第一节 坐标变换	220
第二节 图形的裁剪和显示	222
第三节 地形图符号的自动绘制	225
第四节 规则图形的几何校正	227
第五节 等高线的自动生成	228
第六节 曲线的光滑	231
第七节 图形显示的分层处理	232
复习思考题	234
第十章 大比例尺数字地形图测绘方法	235
第一节 概述	235
第二节 全野外数字测图技术设计	240
第三节 野外数据采集	256
第四节 地形图内业编绘	264
第五节 数字测图检查验收与总结	273
第六节 数字测图技术进展	277
复习思考题	281
第十一章 地形图的应用	282
第一节 地形图识读基础和野外使用地形图	282
第二节 纸质地形图的应用	289
第三节 数字地面模型的建立和应用	303
复习思考题	311
第十二章 专题地图测绘	312
第一节 房产测绘	312
第二节 管线图测绘	323
第三节 水下地形测绘	336
复习思考题	344
参考文献	345

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。根据获取像片方法的不同,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象,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,上世纪 50 年代和 80 年代,分别建立了国家大地坐标系统——1954 年北京坐标系和 1980 西安坐标系,测制了各种比例尺的地形图,为国民经济和社会发展提供了基础测绘保障;同时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。1992 年我国完成了 GPS 大地网的布测工作。随着社会的进步,国民经济建设、国防建设和社会发展、科学研究等对国家大地坐标系提出了新的要求,迫切需要采用原点位于地球质量中心的坐标系统(以下简称为地心坐标系)作为国家大地坐标系。采用地心坐标系,有利于采用现代空间技术对坐标系进行维护和快速更新、测定高精度大地控制点三维坐标,并提高测图工作效率。经国务院批准自 2008 年 7 月 1 日启用我国的地心坐标系——2000 国家大地坐标系(CGCS 2000)。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 测量工作的内容和原则

任何工作都有一定的内容,实施时必须遵循一定的原则,按照一定的程序,才能做到有条不紊,保证质量。测量工作的目的是为了确定地面各点的平面位置和高程,有自己特有的工作内容、原则和程序。

一、测量工作的内容

测量工作的服务领域虽然十分广泛,内容也很繁杂,但是本质内容不外乎两大类,即地形图测绘(测定)和施工放样(测设)。

地球表面复杂多样的形态可分为地物和地貌两大类。地面上的固定性物体,如房屋、道路、桥梁、湖泊、森林、草地等,称为地物;地球表面各种高低起伏的形态,如高山、深谷、陡坡、悬崖和雨裂冲沟等,称为地貌。地物和地貌总称为地形。

地形图测绘是指将地面所有地物和地貌,使用测量仪器,按一定的程序和方法,根据地形图图式所规定的符号,并依一定的比例尺测绘在图纸上的全部工作。围绕地形图测绘还有控制测量和地形图的编制、印刷等。控制测量是国家基础测量工作,目的是提供具有坐标的平面控制点和高程控制点。地形图测好后,经过清绘,可以复制、印刷,才能提供为工作用图。

施工放样则是根据图上设计好的厂房、道路、桥梁等的轴线位置、尺寸及高程等,算出各特征点与控制点之间的距离、角度、高差等数据,将其如实地标定到地面,并在施工中和竣工后提供有关测绘保障,以确保安全生产。

二、测量工作应遵循的原则

测量工作必须遵循两项原则,一是“由整体到局部,先控制后碎部,从高级到低级”,二是“步步要检核”。

在测绘地形图时,要在地面上选定许多安置仪器的点,这些点称为测站点,并以此为依据测定地物和地貌。一方面,由于测量工作不可避免地存在误差,如果测量工作从一个测站点开始,逐点进行施测,最后虽可得到欲测各点的位置,但由于前一点的误差会传递到下一点,这样误差迅速累积起来,最后达到不可容许的程度。另一方面,由于全国幅员辽阔,经济发展不平衡,测绘工作必须分期分批进行。为此,必须首先建立全国统一的坐标系统和高程系统,才能保证全国测绘资料的统一性。

测量工作的第一项原则是说,对任何测绘工作,均应先总体布置,而后分区分期实施,这就是“由整体到局部”;在施测步骤上,总是先布设首级平面和高程控制网,然后再逐级加密低级控制网,最后以此为基础进行测图或施工放样,这就是“先控制后碎部”;从测量精度来看,控制测量精度较高,测图精度相对于控制测量来说要低一些,这就是“从高级到低级”。总之,只有遵循这一原则,才能保证全国统一的坐标系统和高程系统,才能控制测量误差的累积,保证成果的精度,使测绘成果全国共享。

第二项原则是说,测绘工作的每项成果必须检核,保证无误后才能进行下一步工作,中间环节只要有一步是错的,以后的工作就徒劳无益。坚持这项原则,就是保证测绘成果合乎技术规范的要求。

三、测量工作概述

(一) 控制测量

测量工作的原则是“从整体到局部,先控制后碎部”,也就是说要先在测区内选择一些有控制意义的点,用精确的方法测定它们的平面位置和高程,然后再根据它们测定其他地面点的位置。在测量工作中,将这些有控制意义的点称为控制点,由控制点所构成的几何图形称为控制网,而将精确测定控制点点位的工作称为控制测量。

控制测量包括平面控制测量和高程控制测量。

基本平面控制测量常采用三角测量、三边测量、导线测量、GPS 测量等四种方法建立,基本高程控制测量常采用水准测量方法建立。

(二) 碎部测量

图 1-1(a)所示为一幢房屋,其平面位置图由一些折线组成,如能确定 1~4 各点的平面位置,则这幢房屋的位置就确定了。图 1-1(b)所示为一个池塘,只要能确定 5~16 各点的平面位置,则这个池塘的位置和形状也就确定了。一般将表示地物形态变化的 1~16 点称为地物特征点,也叫碎部点。至于地貌,虽然其地势起伏变化较大,但仍然可以根据其方向和坡度的变化,确定它们的特征点,并据此把握地貌的形状和大小。因此,不论是地物还是地貌,它们的形状和大小都是由一系列特征点(或碎部点)的位置所决定的。测图工作主要就是测定这些碎部点的平面坐标和高程。

如图 1-1 所示,设 A、B、C、D、E 点为控制点,其坐标已用控制测量方法得到,测图时,在 A 点架设仪器,测出 1 点与 AB 边的夹角 β_1 和 1 点到 A 点的距离,则根据 A、B 两点的坐

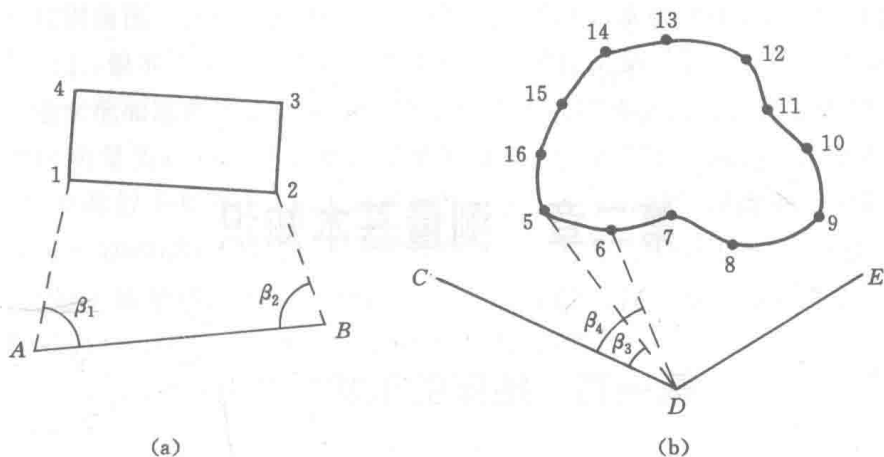


图 1-1 碎部测量示意图

标,就可求出 1 点的坐标。同理,可求出 2、3、…、16 等各点的坐标。有了这些坐标,就可以在图纸上绘制地形图了。测量工作中,将测定碎部点的工作称为碎部测量。因此,测定碎部点的位置通常分两步进行:先进行控制测量,再进行碎部测量。

综上所述,无论是控制测量还是碎部测量,其实质都是确定地面点的位置,也就是先测定三个元素——水平角 β 、水平距离 l 和高差 h 。所以说,水平角测量、距离测量和高差测量是测量的基本工作,观测、计算和绘图是测量工作者的基本技能。

上面所叙述的测量工作,有些是在野外进行的,如测量点与点之间的距离、边与边之间的水平夹角等,称为外业。外业工作主要是获得必要的的数据。有些工作是在室内进行的,如计算与绘图等,称为内业。无论哪种工作都必须认真地进行,绝不允许存在错误。

复习思考题

1. 试述测绘学在国民经济建设和人类文明发展中的作用。
2. 测绘科学的研究对象和任务是什么?
3. 简述测绘科学的分支及其研究内容。
4. 学习本课程应达到的目标和要求有哪些?

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

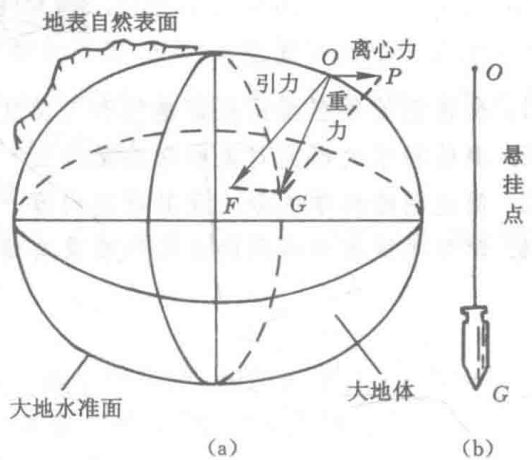


图 2-1 大地体、重力与铅垂线