



创建世界高水平大学教材

王慧麟
谈俊忠

安 如
马永立

编著

测量 与地图学

(第二版)

Surveying & Cartography

南京大学出版社



创建世界高水平大学教材

王慧麟
谈俊忠

安如
马永立

编著

测量 与地图学

(第二版)

Surveying & cartography

南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

测量与地图学 / 王慧麟等编著. —2 版. —南京: 南京大学出版社, 2009. 9

创建世界高水平大学教材

ISBN 978-7-305-04292-8

I. 测… II. 王… III. ①测量学—高等学校—教材②地图学—高等学校—教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 020927 号

出版者 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
网 址 <http://www.NjupCo.com>
出版人 左 健
丛 书 名 创建世界高水平大学教材
书 名 测量与地图学(第二版)
编 著 王慧麟 安 如 谈俊忠 马永立
责任编辑 蔡文彬 编辑热线 025-83686531
照 排 南京南琳图文制作有限公司
印 刷 南京大众新科技印刷有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 29.25 字数 727 千
版 次 2009 年 9 月第 2 版 2009 年 9 月第 1 次印刷
印 数 1-4000
ISBN 978-7-305-04292-8
定 价 54.00 元
发行热线 025-83594756
电子邮件 Press@NjupCo.com
Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购图书销售部门联系调换

再版前言

测绘是测量和地图制图的简称。测量就是为了获取地球形状、地球重力场、地球上自然和社会经济要素的位置、形状、空间关系、区域空间结构的时空信息。地图制图就是将这些数据信息经处理、分析或综合后加以表达和利用。测量与地图学历史悠久,随着现代计算机、信息技术的发展,其发展十分迅速。

依据 1999 年我国新的高等教育专业设置,南京大学对地理学院各专业(理学:地理学专业、地理信息系统专业、资源环境城乡区域规划与管理专业、海洋科学专业及旅游管理专业;工学:城市规划专业)的教学计划、课程内容作了相应的调整。将原有的测量学、地图学课程合并成“测量与地图学”。作为各专业的公共基础课教材,本书第一版于 2004 年出版,距今已有 5 年时间。进入 21 世纪,尤其是近五年来,测绘科学的信息化技术步伐迅速加快,进入了数字化、自动化和智能化的时代,促使我们对教材内容做较大的修订。

GPS 全球定位技术实现了全天候、无障碍、实时、快速动态提供点位、时间、速度等时空信息,给测绘科学带来了一场前所未有的技术革命。

随着地面测量仪器的电子化和数字化,测量的精度、速度和自动化水平也不断提高;全站仪、测距仪和电子经纬仪借助于电子手簿,与便携式计算机联结成野外数字测图一体化的测图系统,大大地提高了地形测图的精度和速度。

数字制图技术的出现,极大地改变了原来的手工地图制图的模式,制图技术、地图出版印刷业都有了质的变化,地图制图工艺流程发生了根本的变化。

为了适应测绘事业的发展和 21 世纪对高科技人才培养的要求,新编《测量与地图学》教材在适度介绍传统测绘手段、测绘学科的基本理论和基本方法的同时,力图突出近年来测绘科学的最新发展。

全书共分三部分。第一部分为测量与地图的基本理论,包含地球科学概论、测图的基本知识、测量误差理论基础、地图数学基础、地图语言和地图制图综合;第二部分为测量学基本方法和主要手段,包含了测量的常规内容,高度测量、角度测量与距离测量的基本方法、控制测量、地形图的测绘、摄影测量测图、地籍测量和测设,测绘新技术 GPS 全球定位原理与方法、全野外数字测图等内容;第三部分则主要介绍制图基础理论和地图制图方法,包括地图基础知识、地图设计与编制以及地图分析应用的内容,并为适应计算机制图技术的推广应用对教材的传统内容进行了相应改革。各章均包括一定数量的复习思考题,便于

学生学习。

在编写过程中,我们参阅了许多前人的著作、论文和教材。需要说明的是本书有较多的内容取材于华锡生、田林亚主编的《测量学》,武汉测绘科技大学《测量学》编写组的《测量学》,胡著智、王慧麟、陈钦峦编著的《遥感技术与地学应用》,马永立著的《地图学教程》,李德仁、关泽群著的《空间信息系统的集成与实现》,罗聚胜、杨晓明编著的《地形测量学》,《GPSurvey 软件培训教材》以及众多测绘网站等资料,恕不一一列出。

自2004年本书原稿出版后,测量与地图的新技术,在新的仪器设备、软件的开发,新的应用领域的开拓等方面有了较大的变化,为了反映地图与测量领域的这种变化,我们对本书的第一版作了补充与修订。

第二版书稿由王慧麟与安如执笔,分别负责测量与地图部分修编,其中绪论、第一章、第五~十一章和第十五章由王慧麟修编;第二~四章、第十二~十四章由河海大学水文水资源学院地理信息科学系安如负责修编。参与这项工作的还有:燕鹏、陈春烨、张杰坦、陈志霞、陆玲、吴红和南京南方测绘仪器分公司姚刚等。全书由王慧麟统稿。全书编写得到了南京大学“985工程——创建世界高水平大学本科教学改革资助项目”的资助,并得到学校有关部门大力支持和兄弟院校同行的热情帮助;南京大学出版社蔡文彬编辑不辞辛苦校阅全稿,为本书第二稿出版做了许多工作,谨此一并表示感谢。

考虑到测绘新的技术日新月异,编著者水平有限,书中错误遗漏和不当之处,敬请广大读者批评指正。

王慧麟

2009年6月于南京大学

目 录

绪 论	1
第一节 测绘科学的研究对象与分类	1
第二节 地图的产品	4
第三节 测绘科学发展概况	5
第四节 测绘科学在国家经济建设和发展中的作用	10
第一章 测量与地图学基础知识	12
第一节 地球的形状和大小	12
第二节 地面点位置的表示方法	14
第三节 用水平面代替水准面的限度	20
第四节 测量工作概述	22
第五节 地图的特性与构成要素	25
第六节 地图的分类与功能	29
第七节 地图成图方法简介	36
第八节 误差与精度的基本知识	37
第二章 地图数学基础	47
第一节 地图投影基本概念	47
第二节 常用地图投影	58
第三节 高斯-克吕格投影及其应用	62
第四节 地图投影判别与选择	68
第五节 我国常用地图投影	71
第六节 GIS 软件中的地图投影功能	72
第七节 地图方位	73
第八节 地图比例尺	77
第九节 地图分幅编号	80
第三章 地图语言	93
第一节 地图符号	93
第二节 地图注记	110
第三节 地图色彩	114

第四章 制图综合	117
第一节 制图综合基本概念	117
第二节 影响制图综合的因素	118
第三节 制图综合的主要方法	122
第四节 地图综合基本规律	127
第五节 地图自动综合	129
第六节 制图综合与地图精度的关系	130
第五章 水准仪与水准测量	132
第一节 水准测量原理	133
第二节 水准测量仪器及其使用	135
第三节 水准路线的拟订	141
第四节 水准测量基本方法	144
第五节 水准仪的检验与校正	149
第六节 水准测量的误差来源及注意事项	152
第七节 数字水准仪测量系统及其应用	155
第六章 经纬仪与角度测量	161
第一节 水平角和竖直角测量原理	161
第二节 光学经纬仪的构造及读数原理	162
第三节 水平角测量	167
第四节 竖直角测量	172
第五节 经纬仪检查和校正	175
第六节 角度测量误差来源及注意事项	179
第七节 电子经纬仪测角原理	180
第七章 距离测量与直线定向	186
第一节 卷尺丈量	186
第二节 视距测量	193
第三节 光电测距	196
第四节 光电测距的成果整理	200
第五节 光电测距的误差来源与分析	201
第六节 地面点标定与直线定向	202
第八章 小区域控制测量方法	206
第一节 控制测量概述	206
第二节 导线测量	209
第三节 交会法测量	217

第四节 三、四等水准测量	222
第五节 三角高程测量	225
第九章 全球定位系统数据采集与处理	229
第一节 全球定位系统 GPS 概述	229
第二节 GPS 定位方法	233
第三节 GPS 数据及其处理	236
第四节 GPS 静态测量的实施	240
第五节 GPS 基线向量网与高程平差	246
第六节 GPS 实时动态(RTK)技术及其应用	253
第七节 GPS 连续运行参考站(CORS)系统简介	258
第十章 地形图的测绘与测设	262
第一节 图解地形测量原理	263
第二节 地形的表示方法	263
第三节 测图前的准备工作	267
第四节 常规地形测图	268
第五节 航空摄影测量成图	281
第六节 地籍测量概论	291
第七节 水下地形测量概述	297
第八节 测设的工作概论	298
第十一章 数字地形测图	304
第一节 数字地图及其特点	304
第二节 野外数字测图的特点	308
第三节 数字测图作业模式	313
第四节 全站型电子速测仪简介	315
第五节 数字测图系统及其配置	322
第六节 大比例尺地面数字测图的基本作业过程	324
第七节 碎部点坐标测算	327
第八节 野外数据采集	330
第九节 数字测图内业简介	334
第十二章 普通地图	340
第一节 普通地图基本内容与主要任务	340
第二节 自然地理要素的表示	341
第三节 社会经济要素的表示	353
第四节 辅助要素的表示	363

第十三章 专题地图与地图集	366
第一节 专题地图特征、内容与类型	366
第二节 专题内容表示方法的设计	369
第三节 专题内容表示方法	370
第四节 专题内容表示方法的比较与联合运用	387
第五节 地图集	389
第十四章 地图编制	395
第一节 地图生产过程概述	395
第二节 地图设计	396
第三节 地图编绘	397
第四节 地图制印出版	399
第五节 专题地图编制	400
第六节 计算机地图制图	412
第七节 遥感制图	418
第十五章 地图分析应用	425
第一节 地形图阅读	425
第二节 实地使用地形图	428
第三节 地图评价	431
第四节 地图分析	434
第五节 地图应用	443
参考文献	456

绪 论

导 读

测绘是测量和地图制图的简称。测量就是获取反映地球形状、地球重力场、地球上自然和社会要素的位置、形状、空间关系、区域空间结构的数据。地图制图是将这些数据经处理、分析或综合后加以表达和利用的一种形式。

绪论讲述了测绘科学的研究对象与主要任务,测量学与地图学所包含的主要分支学科。随后介绍了地形图的主要产品形式;本章最后对测绘科学的发展史及测绘科学在国民经济中的作用做了详尽介绍。

第一节 测绘科学的研究对象与分类

测量与地图(制图)学统称为测绘学。测量学与地图学是两门彼此密切联系的学科。没有精密的测量就没有精确的地图。

一、测绘科学的研究对象

测绘学科研究的对象是地球整体及其表面和外层空间的各种自然和人造物体的有关信息。它研究的内容是对这些与地理空间有关的信息进行采集、处理、管理、更新和利用。它既要研究测定地面点的几何位置、地球形状、地球重力场,以及地球表面自然形态和人工设施的几何形态;又要结合社会和自然信息的地理分布,研究绘制全球和局部地区各种比例尺的地形图和专题地图的理论和技術。前者和后者构成测绘学。由此可见,测量与地图是测绘学科的重要组成部分。

传统的测绘科学研究对象是地球及其表面,但随着现代科学技术的发展,它已扩展到地球的外层空间,并且已由静态对象发展到观测和研究动态对象;同时,所获得的量既有宏量,也有微量。使用的手段和设备,也已转向自动化、遥测、遥控和数字化。

二、测量与地图学的任务与分类

如前所述,测量学与地图学是现代测绘科学的组成部分。测量学是研究地球的形状、大小以及地球表面各种形态的科学。其任务主要表现为:确定地球的形状和大小;确定地面点的平面位置和高程;将地球表面的起伏状态和其他信息测绘成图。

现代测量学是研究用什么工具和手段,直接或间接地从地球表面获得量度数据或信息,通过怎样的科学处理,确定地面的点位、方向及其相互关系;从而把地球表面的主要现象和

物体正确地表示在平面(地图)上的一门科学。测量学的任务,具体有:① 确定地球的形状和大小;② 确定地面上和空间各点的相对位置或某一坐标系统的统一位置:即把地面上施测区域绘制成图;③ 构筑物放样:将土地及其附属物的开发、利用、建设的设计方案在实地标定,即将各种工程设计测设到现场;④ 变形监测:已有工程或其他设施在一定时期内的变化测量。

地图学是关于地图的科学。地图学的研究对象是地图,探讨地图的实质、地图制作的理论和技术、地图应用的理论和技术三个方面的问题,并由此构成地图学的基本理论。概括起来地图学的任务是:① 研究地图本身及其各要素的表示方法的演变以及今后的发展趋向;② 研究地球椭球体(或球体)表面描写到平面上的理论与方法,研究地图投影的变形规律以及不同投影的转换问题;③ 研究地图的内容与形式的统一,各要素的制图综合,地图的编绘和复制等一系列的理论与技术方法,并尽可能运用当代最新科学技术于地图的生产,以缩短成图周期,提高成图质量和增加新的地图品种;④ 研究地图的使用、量算以及对地图产品的评价问题等。

测量学和地图学都是密切联系生产实际的科学,它们都以如何将地球表面的自然地理和社会经济现象表示成图为己任。但是,前者侧重于实地的测绘工作方面,而后者则侧重于利用测量成果、已成地图以及用其他手段所取得的地面资料或经过处理的信息(数字与图像)进行地图的编纂(编辑与编绘)。根据当前的测绘仪器和方法,实测地形图的最小比例尺一般为1:10万。而那些更小比例尺的地形图或专题地图,大都是根据大比例尺的实测地图、航空像片、卫星像片和其他资料编绘而成。

随着社会生产的发展和科学技术的进步,测量学的发展已经包括以下几个分支学科:大地测量学、地形测量学、摄影测量与遥感学、工程测量学、海洋大地测量学和地图(制图)学等。以上各个学科既自成系统,分工明确,又互相配合,紧密相连,从而构成了完整的测量学体系。地图学由地图概论、地图投影、地图编制、地图整饰、地图制印、计算机地图制图、遥感制图、地图应用、地图分析等分支学科所组成。地图学现代科学体系框架把地图学分为理论地图学、地图与地理信息工程学、地图应用学三个部分。

现代测量与地图学主要包括以下几个分支学科:

1. 大地测量学

研究在地球表面大范围内建立国家大地控制网,精确测定地球形状和大小以及地球重力场的理论、技术和方法的学科。随着卫星定位技术的发展,大地测量学不仅为空间科学和军事服务,还将为研究地球的形状、大小以及地表形变和地震预报等提供可靠的资料。

2. 地形测量学

研究地球表面较小区域内测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科。主要研究内容有:图根控制网的建立和地形图的测绘。具体工作有:角度测量、距离测量、高程测量、观测数据的处理和地形测图等。各种比例尺地形图的测绘,为社会发展的规划设计提供了重要的资料。这是本书的重点内容之一。

随着社会和经济的发展,土地地籍测量和房地产测量也得到迅猛发展。

3. 摄影测量与遥感学

研究利用摄影像片等手段测定物体的形状、大小及其空间位置的学科。由于摄影像片包含的信息全面细致,现已广泛应用于其他科学领域,根据获取像片方式的不同,又分为地

面摄影测量、航空摄影测量、航天摄影测量、水下摄影测量等。

4. 工程测量学

研究各项工程建设勘测规划设计、施工和竣工运营阶段所进行的各种测量工作的学科。它把各种测量理论应用于不同的工程建设,并研究各种测量新技术和新方法。按工作顺序和性质分为:勘测设计阶段的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;管理阶段的变形观测和维修养护测量。按工程建设的对象分为:建筑、水利、铁路、公路、桥梁、隧道、矿山、城市和国防等工程测量。

5. 海洋大地测量学

在海洋范围内建立大地控制网所进行的测量工作。内容有控制测量、水深测量、海洋重力测量、卫星大地测量等。它与大地测量、地图制图、航海学、海洋学、潮汐学、水声物理学、电子技术和遥感技术等有着密切的联系。

6. 地图制图学(地图学)

研究地图及其制作理论、工艺和应用的学科。根据已测得的成果成图,编制各种基本图和专业地图,完成各种地图的复制和印刷出版。

地图学现代科学体系框架把地图学分为理论地图学、地图与地理信息工程学、地图应用学三个部分。

7. 理论地图学(Theoretical Cartography)

地图学现代科学体系的第一个层次,包括基础理论、应用理论和地图学发展历史,对地图工程学、地图应用学起理论指导作用。

8. 地图工程学(Carto Engineering)

也称地图与地理信息工程学,传统意义上也可以叫做地图制图学。地图与地理信息工程学高于技术与工程科学范畴,涉及地图制图工程与地理信息工程,包括模拟方式和数字化方式的地图设计与生产、地图数据库与地理信息系统建立与应用、空间信息可视化与虚拟现实。

9. 地图应用学(Map Using)

地图应用学是地图学科学体系的第三个层次,即地图学的应用层次。其主要内容包括模拟地图、数字地图、电子地图(地图集)的分析和应用,以及地理信息系统的应用等。

理论地图学、地图工程学和地图应用学构成了地图学的理论、技术和产品应用的完整体系,地图学作为一门应用科学,它们是缺一不可的。

测绘科学与技术是与生产结合十分密切的科学,测绘科学研究的内容可分为基础测绘、专业测绘、军事测绘和地籍测绘。

1. 基础测绘

基础测绘是指为国民经济和社会发展以及为国家各个部门和各项专业测绘提供基础地理信息而实施测绘的总称。基础测绘必须在全国或局部区域按国家统一规划和统一技术标准进行。

2. 专业测绘

产业部门为保证本部门业务工作所进行的具有专业内容的测绘的总称。专业测绘应采用国家测绘技术标准或者行业测绘技术标准。

3. 军事测绘

具有军事内容或者为军队作战、训练、军事工程、战略准备等而实施的测绘的总称。

4. 地籍测绘

对地块权属界线的界址点坐标进行精确测定,并把地块及其附着物的位置、面积、权属关系和利用状况等要素准确地绘制在图纸上和记录在专门的表册中的测绘工作。地籍测量的成果包括数据集(控制点和界址点坐标等)、地籍图和地籍册。

第二节 地图的产品

传统概念上的地图是按照一定数学法则,用规定的图式符号和颜色,把地球表面的自然现象和社会现象,有选择地缩绘在平面图纸上的图。如普通地图、专题地图、各种比例尺地形图、影像地图、立体地图等。

国家基本地形图即国家基本比例尺地形图,简称国家基本图。它是根据国家颁布的统一测量规范、图式和比例尺系列测绘或编绘而成的地形图,是国家经济建设、国防建设和军队作战的基本用图,也是编制其他地图的基础。各国的地形图比例尺系列不尽一致,我国规定 1:5 000、1:1 万、1:2.5 万、1:5 万、1:10 万、1:20 万(现已为 1:25 万)、1:50 万、1:100 万八种比例尺地形图为国家基本比例尺地形图。其测制精度和成图数量质量是衡量一个国家测绘科学技术发展水平的重要标志之一。

截至 2001 年,我国目前 1:1 万已绘制的地图有 146 437 幅;1:5 万已绘制的地图有 18 463 幅;1:25 万已绘制的地图有 819 幅;1:50 万已绘制的地图有 252 幅;1:100 万已绘制的地图有 76 幅,部分图种至今还没有覆盖中国全境。

地形图是普通地图的一种,是按一定比例尺表示地貌、地物平面位置和高程的一种正射投影图。其基本特征是:

- (1) 以大地测量成果作为平面和高程的控制基础,并印有经纬网和直角坐标网,能准确表示地形要素的地理位置,便于目标定位和图上量算;
- (2) 以平板测量、航空摄影测量为主要手段进行实地测绘或根据实测地图编绘而成,内容详细准确;
- (3) 地貌一般用等高线表示,能反映地面的实际高度、起伏状态,具有一定的立体感,能满足图上分析研究地形的需要;
- (4) 有规定的比例尺系列,可以满足国家经济建设和军队作战指挥的不同需要;
- (5) 有统一的图式符号,便于识别使用。

此外,为保持地形图的现势性,还规定了定期更新。

近十余年来,随着测绘技术的进步,现代地图及其产品有了明显的变化,已出现缩微地图、数字地图、电子地图、全息像片等新品种。在生产部门,4D 产品(数字高程模型 DEM、数字线划地图 DLG、数字栅格地图 DRG、数字正射影像图 DOM)已经逐步取代传统意义上的纸质地图。

1. 数字高程模型(Digital Elevation Model,缩写 DEM)

在某一投影平面(如高斯投影平面)上规则格网点的平面坐标(X, Y)及高程(Z)的数据集。DEM 的格网间隔应与其高程精度相适配,并形成有规则的格网系列。根据不同的高程

精度,可分为不同类型。为完整反映地表形态,还可增加离散高程点数据。如图0-1-1(a)。

2. 数字线划地图(Digital Line Graphic,缩写 DLG) 现有地形图要素的矢量数据集,保存各要素间的空间关系和相关的属性信息,全面地描述地表目标。如图0-1-1(b)。

3. 数字栅格地图(Digital Raster Graphic,缩写 DRG) 现有纸质地形图经计算机处理后得到的栅格数据文件。每一幅地形图在扫描数字化后,经几何纠正,并进行内容更新和数据压缩处理,彩色地形图还应经色彩校正,使每幅图像的色彩基本一致。数字栅格地图在内容上、几何精度和色彩上与国家基本比例尺地形图保持一致。如图0-1-1(c)。

4. 数字正射影像图(Digital Orthophoto Map,缩写 DOM) 利用数字高程模型(DEM)对经扫描处理的数字化航空像片,经逐像元投影差改正、镶嵌,按国家基本比例尺地形图图幅范围剪裁生成的数字正射影像数据集。它是同时具有地图几何精度和影像特征的图像,具有精度高、信息丰富、直观真实等优点。如图0-1-1(d)。

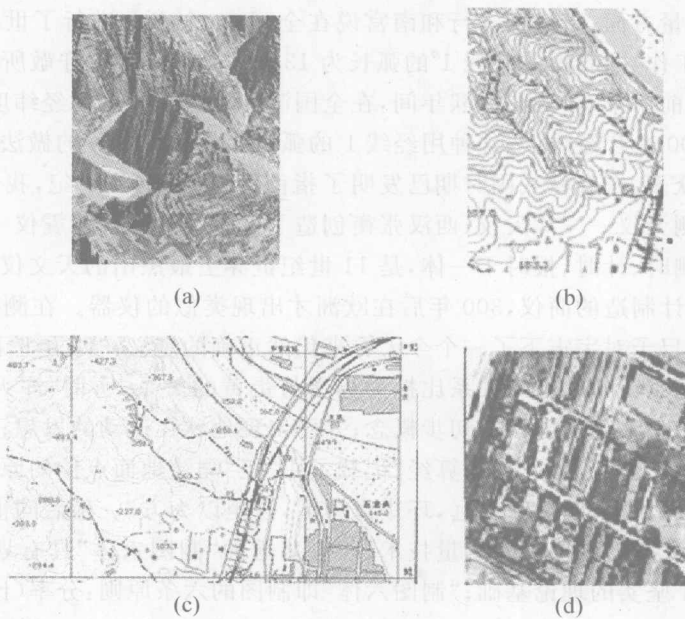


图0-1-1 4D测绘产品

第三节 测绘科学发展概况

一、测绘科学的历史

在人类社会的发展进程中,人们逐步明白自身的生存与发展对时间变易和空间位置存在着依存关系,于是,测绘得以产生和发展,以便“观天道之兆基,察地理之长短”,“敬农时,兴物利”。中国历代朝廷把测绘当成国家要务,以便王者不下堂而知四方,“夫兵主者,必先审知其地图,不失地利”。荆轲刺秦王,“图穷匕首见”是一个典型的历史事件,它从一个侧面

说明了测绘的重要性,而地图在春秋战国时就被看作是国宝。据《史记》记载,远在4千年前,大禹治水便使用了规(即圆规)、矩(成直角的曲尺)、准(水准器)、绳四种测量工具,“左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道”。夏时铸造九鼎,每个代表一个州,每个鼎上绘制本州内的山川百物。西周时测绘已被广泛应用于生产、军事、城建等方面。例如西周召公负责测绘了首都洛邑的城建图;地图成了划分疆界、裁决土地纠纷的依据,所谓“地讼,以图正之”。建成于战国时期、迄今还在发挥巨大效益的都江堰、郑国渠、灵渠大型水利工程中,测绘工作都起了至关重要的作用。1971年出土了用于修建灵渠的石制方位水准仪(它既可测方位,又可测水准),就是一个文物证据(实物现保存在广西兴安县)。自秦汉起测绘得到了更加广泛的应用。

中国古代测绘领域人才辈出、成就辉煌:在测时方面,春秋战国时的《四分历》定一年为365.25日,领先于古罗马人500年;宋代杨忠辅编制的《统天历》定一年为365.2425日,领先欧洲人400年。居于当时世界上领先水平并保存至今的地图有:1973年长沙马王堆汉墓中出土的《地形图》和《驻军图》;南宋石刻地图《华夷图》和《禹迹图》;清初时的《皇舆全览图》等;在天文大地测量方面,唐代僧一行和南宫说在全国24个点上进行了世界上首次大规模的地理纬度测量工作,并算得子午线 1° 的弧长为132.31 km;元代郭守敬所做的纬度测量范围之广、精度之高前所未有;清初康熙年间,在全国测定了630个点的经纬度、规模之大为世界之最,并规定200里合经线 1° ,这种用经线 1° 的弧长定义长度单位的做法为世界首创。测绘仪器方面发明众多:在春秋战国时期已发明了指南针;公元前4世纪,我们的祖先就制造了世界上第一台测天仪——浑天仪;西汉张衡创造了世界上第一台地震仪——候风地动仪;宋代苏颂制成集测时、计时、报时于一体,是11世纪世界上最杰出的天文仪器——水运仪象台;元代郭守敬设计制造的简仪,300年后在欧洲才出现类似的仪器。在测绘理论方面独树一帜;战国时代的尸子对宇宙下了一个今天看来仍然正确的定义:“四方上下曰宇,古往今来曰宙”;“浑天说”把宇宙与地球的关系比拟为鸡蛋与蛋黄的关系,所谓“浑天如鸡子,地如鸡子中黄”,这已包含有地球为球形的初步概念;并已出现地球在运动的思想;“地有四游”,“地动而人不觉”;问世于公元前的“周的算经”记载了用“矩”测绘地面点位的原理“平矩以正绳,偃矩以望高,覆矩以测深,卧矩以知远,环矩以为圆,合矩以为方”。稍后问世的“九章算术”,“海岛算经”,又大大丰富和发展了测量技术;西晋裴秀的“制图六体”具有划时代的意义,从此使绘制地图有了坚实的理论基础;“制图六体”即制图的六条原则:分率(比例尺)、准望(方位)、道里(距离)、高下(以高取下)、方斜(以方取斜)、迂直(以弯取直),他还绘制了《禹贡地域图》十八幅,缩编《天下大图》为《地形方丈图》。另外,元代郭守敬据修建水利的实践在世界上第一个提出了海拔高程的概念;宋代沈括早欧洲人400年发现了磁偏角。

世界各国测绘科学的发展主要是从十七世纪初开始逐步发展起来的。十七世纪初望远镜开始应用于各种测量仪器;1617年三角测量方法开始应用;1683年法国进行了弧度测量,证明地球确是两极略扁的椭球体;此后,世界测绘科学无论在测量理论、测量方法及测绘仪器各方面都有不少创造发明。如德国人高斯于1794年提出了最小二乘法理论,以后又提出了横圆柱投影学说;这些理论经后人改进后至今仍在应用。但这个时期的测绘工作仍然是手工业生产方式;到1899年摄影测量的理论研究得到发展;1903年飞机的发明,促进了航空摄影测量学的发展,从而使测图工作部分地由野外转移到室内,利用仪器描绘成图,相应地减轻了劳动强度,特别有利于高山地区的测绘工作。

在测量领域,20 世纪中叶,新的科学技术得到了快速发展,特别是电子学、信息学、电子计算机科学和空间科学等,它们推动了测绘技术和仪器的变革和进步。测绘仪器发展使测绘技术发生重大的变革,20 世纪 40 年代,自动安平水准仪的问世,标志着水准测量自动化的开端。近年来,数字水准仪的诞生,也使水准测量中的自动记录、自动传输、存储和处理数据成为现实,它和经纬仪一样,也可自动选取目标进行观测。1947 年,光波测距仪问世,60 年代激光器作为光源用于电磁波测距,使长期以来艰苦的手工业生产方式的测距工作,发生了根本性的变革,彻底改变了大地测量工作中以测角换算距离的面貌,使测距工作向着自动化方向发展。长测程(可达 60 km 以上)、高精度(最高达 $0.2 \text{ mm} + 0.1 \text{ ppm}$ (ppm :测距千米数))、小体积的测距仪逐步应用于测绘生产。测角仪器的发展也十分迅速,伴随着电子技术、微处理机技术的广泛应用,经纬仪已使用电子度盘和电子读数,且能自动显示、自动记录,完成了自动化测角的进程,自动测角的电子经纬仪问世,并得到应用。同时,电子经纬仪与测距仪结合,形成了电子速测仪(全站仪)。其体积小,重量轻,功能全,自动化程度高,为数字测图开拓了广阔前景;最近又推出了智能经纬仪,连瞄准目标也可自动化。从此将结束测角测距手工作业生产方式的漫长历史。

20 世纪 70 年代,除了用飞机进行航空摄影测量测绘地(形)图外,还通过卫星应用黑白、单光谱段、多光谱段及彩色红外等拍摄地球的照片,监测自然现象的变化,并且利用遥感技术测绘地图,其精度逐步提高。20 世纪 90 年代以来,已改变了过去摄影测量的方式,用数字摄影测量技术进行测量工作,使摄影测量的成果稳定、可靠,并且自动化程度高,还可与计算机组成一个系统,易于完成地图的生产、使用、修改和换代。由于测绘仪器的飞速发展和计算机技术的广泛应用,地面的测图系统,由过去的传统测绘方式发展为数字测图。所以地形图是由数字表示的,用计算机进行绘制和管理既便捷,又迅速,精度可靠。

20 世纪 70 年代,全球定位系统(GPS)问世,采用卫星直接进行空间点的三维定位,引起了测绘工作重大变革,由于卫星定位具有全球、全天候、快速、高精度和无需建立高大觐标等优点,被广泛用在大地测量、工程测量、地形测量及军事的导航、定位上,GPS 开创了测绘科学新的时代。进入 21 世纪,新型全站仪与 GPS 连续参考站(CORS)技术有了长足的进步。GPS 定位技术在测绘产业的成功应用打破了全站仪主宰天下的测绘仪器格局,测绘仪器正在形成一种多传感器互相集成和补充的新格局。各种仪器调整了自己的功能找到了自己的最佳位置以及与其他仪器合理集成。事实上,数字地面一体化测量系统与空间技术手段(GPS)形成了极好的互补关系。

(1) GPS 技术的发展给大地测量领域注入了新的活力。随着我国 GPS 卫星测轨网的建成以及 GPS 信号接收技术的进一步发展,美国促使 GPS 现代化的措施的实现以及中国的北斗系统、俄罗斯 GLONASS 和欧洲 GALILEO 定位系统的完善,它将不仅是 GIS 数据获取的重要手段,而且将成为控制测量乃至地籍测量等主要手段。高分辨率数字相机和数字摄影测量工作站(DPW)的出现使摄影测量和遥感重新焕发青春,成为 GIS 的重要数据输入来源。除此之外,还出现了激光扫描仪和超站仪。激光扫描仪是一台带二维扫描装置的激光测距仪,当它扫描测量对象时,快速采集大量距离数据,被称为“点云”。通过建模软件在计算机上重建对象的模型。超站仪是把 GPS 接收机和全站仪结合,发挥各自的长处,适合各种环境的测量,是常规测量的重要手段。

(2) 全站仪仍然是数字化地面测量的主要仪器。它将完全替代光学经纬仪和红外测距

仪,成为地面测量的常规仪器。在高等级控制测量中它将让位于 GPS,而在工程测量、建筑施工测量、城市测量中发挥主要作用。全站仪自身还在不断发展,当代全站仪具有完善的测量软件和足够大的数据存储区(或存储卡),图形和文本显示功能,机动型全站还有自动瞄准和自动跟踪目标的功能。

(3) 电子水准仪和自动安平水准仪仍为大量需求的水准测量仪器,在小规模的工程乃至建筑、交通建设中自动安平水准仪仍是简易高效便宜的仪器。电子水准仪的特点是数据传送电子化,可以与其他地面仪器甚至 GPS 实现无缝的数据处理。

(4) 随着基础设施建设的高涨,仪器发展的另一分支是专用的工程仪器。这类仪器往往带有激光,所以很多厂商把它称为激光仪器,包括激光扫平仪、激光垂准仪、激光经纬仪等等。主要应用于建筑和结构上的准直、水平、铅垂测量工作,使用很方便。其中激光扫平仪应用很广,当它与地面施工车辆控制相结合时,对大型工程、农田水利建设特别有用。

现在大地控制测量和大部分工程控制测量基本上都用 GPS 接收机来完成,GPS 甚至还在向工程测量领域发展。专用激光工程仪器以其价格优势和使用方便在建筑现场测量中大行其道。全站仪就蜷缩到工程测量、城市测量和建筑工程放样等领域。如果说 GPS 接收机占领了高等级测量领域,那么全站仪则分享了面广量大的低等级测量。全站仪的技术发展方向发生了转移,不再追求精度和测程,而十分注重效率,快速(省时)、高效(省人),以提高测绘生产率。

在地图生产方面,地图手工方式经历了漫长的历史时期。20 世纪 50 年代信息论、控制论、系统论三大科学理论和电子计算机的诞生,不仅对现代工程技术的发展有着决定性意义,而且是继相对论和量子力学之后又一次彻底改变了包括地图学在内的世界科学前景和包括地图学家在内的当代科学家的思维方式,伴随而来的是地图制图技术上的革命。20 世纪 50 年代开始的计算机辅助地图制图的研究,经历了原理探讨、设备研制、软件设计,到 20 世纪 70 年代已经由实验试用发展到比较广泛的应用,许多部门建立了计算机辅助地图制图系统。进入 20 世纪 80 年代后,在计算机不断更新换代的同时,开始利用一些高速度、高精度新型机助制图设备,对机助制图软件的研究也越来越重视,纷纷建立地图数据库,在地图数据库基础上,由单一的或部门的机助地图制图系统发展为多功能、多用途的综合性地图制图信息系统。地图生产的自动化,引入许多现代数学方法,如图论、模糊数学、灰色系统理论、数学形态学、小波理论等,数学已经成为地图学的方法和基础,这标志着地图学的理论化。计算机技术引入地图学以来,对地图学的建设和发展起了巨大作用,从最初的计算机辅助地图绘制,发展到现在的基于地图数据库的全数字式“地图设计—地图编绘—制版分色挂网胶片输出”的一体化。其结果是:减轻了制图的劳动强度,增强了地图生产过程的科学性;缩短了地图生产周期,加快了地图生产速度;丰富和科学化地图的内容,增加了地图的品种;扩展了地图的功能,特别是地图信息的实时显示、对比和预测等方面有特别的收效;改变了传统的地图生产体制、分工和作业人员的结构等等。

21 世纪是人类更多地依靠知识创新、知识创造性应用的可持续发展的世纪。信息化时代的测量与地图学必将有一个飞跃,为国民经济和国防现代化作出更大贡献。

二、我国的测绘科学发展

进入 20 世纪,我国开始采用了一些新的测量方法。但是,测量作为一门现代科学,还是