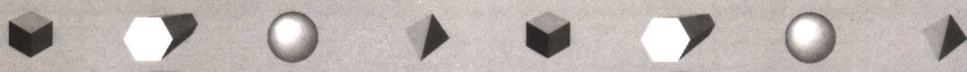
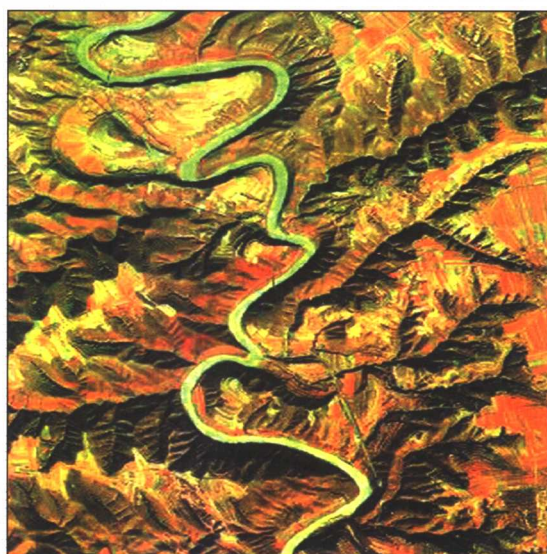


测绘学概论



华锡生 李浩 主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press

测绘学概论

华锡生 李浩 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书共9章。绪论部分主要讲述测绘学科的概况及其重要作用,介绍现代测绘学科的基本体系框架和相应的内容,展望测绘学科的发展及任务。第2章~第6章分别介绍了大地测量学、摄影测量学与遥感、地图制图学与地理信息工程、工程测量学、海洋测绘学五大分支学科的基本内容、理论与技术方法、研究的对象和任务。第7章介绍测量误差理论与数据处理的方法。第8章介绍全球定位系统GPS及其在测量中的应用。第9章介绍“3S”技术。通过本教材的学习,有助于测绘专业的学生以及从事测绘工作的读者对测绘学科及其发展概况、对现代测绘技术的进展及测绘学科研究的内容和任务有全面的初步了解及认识。

本书可作为大专院校测绘类专业的教材,并可供测绘专业的工程技术人员参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

测绘学概论/华锡生,李浩主编. —北京:国防工业出版社,2006.11

ISBN 7-118-04822-4

I. 测... II. ①华... ②李... III. 测绘学-概论
IV. P2

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第121312号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 293 千字

2006年11月第1版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 20.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

测绘学科经几千年发展历史的厚积,经众多名望卓越的科学家和学者,用心血和汗水结晶而成的丰硕成果的凝聚,使测绘学科焕发着经久不衰的灿烂辉煌。近 30 年以来,随着科技的飞速发展,测绘科学已迈入了信息化的全新时期,众多反映了现代科技特色的新研究内容和研究成果涌现,使整个测绘学科的内容和技术,不足以用“浩瀚如海”所能概括和形容,真正使人领悟到了“美不胜收”的含义。

现代测绘科学,随着国民经济的飞速发展和世界科技的进步,使研究的理论和内容、应用的技术和方法进入了更深层次的新阶段。结合卫星技术、空间飞行器、现代计算机及网络技术、通信技术、在数字地球、数字中国、数字省区发展目标的驱动下,测绘科学发生了“翻天覆地”的变革。每个学习者要深入了解和精通如此庞大而又深奥的测绘学科的全部知识是困难的。因此按照学科分类特征和体系结构把测绘学科分为五大分支学科,即大地测量学、摄影测量学与遥感、地图制图学与地理信息工程、工程测量学、海洋测绘学是十分必要和恰当的。通常而言,每个测绘工作者仅从事于其中一个分支学科的相关内容学习和研究,难以对测绘学科的全貌及发展有更深程度的了解。《测绘学概论》的内容及目的,就是为了便于达到较全面地初步了解测绘学的整体,避免过于专业化而缺乏对测绘学科的全面认识,满足学习者深入了解现代测绘科学和技术的新进展而设置的学习内容。

现代测绘学科的发展,要求测绘工作者,不应仅局限于本学科及本专业范围的学习和研究,还要拓宽专业知识面,要更多地结合本专业以外的甚至其它似乎不太相关的学科理论及技术的学习。对此,首要的条件是必须全面而系统地了解本学科的研究内容及理论、先进技术及方法、学科发展和任务。“广积而薄发”才能深层次地研究测绘技术和理论,创新学科内容,推动测绘学科的发展。

本书共 9 章,对应各章的内容分别由华锡生、黄欧、李浩、安如、岳建平、黄张裕、兰孝奇、岳东杰、许捍卫等编写,由华锡生、李浩作统一校阅修改。本书面向的对象主要是大专院校测绘专业的师生及有关的工程技术人员。编者们在总结以往《测绘学概论》授课内容的基础上,经过反复推敲和取舍,进一步提纯,力求做到内容全面而又浅显易懂,并重点介绍现代测绘科技新理论和新技术,使读者更全面地了解测绘学科的近期发展,热爱测绘科学。

由于编者的水平有限,书中缺点和不足之处难免,敬请读者指正。

编 者

2006 年 8 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 测绘科学发展概述及作用	1
1.1.1 初期发展阶段(~17 世纪)	1
1.1.2 迅速发展的中期阶段(17 ~20 世纪中期)	2
1.1.3 近代测绘学阶段(20 世纪中期以后)	4
1.2 测绘学科的基本体系和主要内容	6
1.2.1 大地测量学	6
1.2.2 摄影测量学与遥感	7
1.2.3 地图制图学与地理信息工程	7
1.2.4 工程测量学	8
1.2.5 海洋测绘学	9
1.3 现代测绘学科的发展与展望	9
1.3.1 大地测量学方面	9
1.3.2 摄影测量学与遥感方面	10
1.3.3 地图制图学与地理信息工程方面	10
1.3.4 工程测量学方面	11
1.3.5 海洋测绘学方面	12
思考题	12
第2章 大地测量学	14
2.1 概述	14
2.1.1 大地测量学发展的几个阶段	14
2.1.2 大地测量学的作用	15
2.2 大地测量学的基本体系和内容	16
2.2.1 大地测量学的研究内容	16
2.2.2 大地测量学的学科体系分类	18
2.3 应用大地测量学简介	19
2.3.1 应用大地测量学的任务和方法	19
2.3.2 国家平面控制网	19
2.3.3 国家高程控制网	21
2.4 椭球面大地测量学	22
2.4.1 椭球面的大地线和大地主题解算	22

2.4.2 高斯·克吕格投影	23
2.5 物理大地测量的主要内容	24
2.5.1 物理大地测量学的任务和内容	24
2.5.2 地球重力场理论的基本概念	25
2.6 卫星大地测量	26
2.6.1 卫星大地测量学的内容和技术特点	26
2.6.2 几种卫星测量技术	26
2.7 大地测量学的发展趋势	29
思考题	31
第3章 摄影测量学与遥感	32
3.1 摄影测量学的定义及其分类	32
3.1.1 摄影测量学的定义及研究对象	32
3.1.2 摄影测量学的发展及分类	32
3.2 摄影测量的作用与特点	36
3.2.1 摄影测量的作用	36
3.2.2 摄影测量应用的特点	37
3.3 摄影测量的基本原理及方法	39
3.3.1 像片及其投影	39
3.3.2 航空摄影及立体像对	39
3.3.3 影像信息几何处理的主要理论方法	41
3.3.4 摄影测量作业设备和生产流程	45
3.4 遥感的定义和分类	49
3.4.1 遥感的定义	49
3.4.2 遥感系统	49
3.4.3 遥感的分类	50
3.5 遥感的基本原理与方法	51
3.5.1 遥感图像的成像原理及图像特征	51
3.5.2 遥感图像处理及遥感图像处理系统	56
3.6 遥感技术的发展及其应用	61
3.6.1 遥感技术的发展	61
3.6.2 遥感技术的应用及特点示例	62
3.7 摄影测量与遥感的关系	65
3.7.1 摄影测量与遥感的联系与区别	65
3.7.2 摄影测量与遥感的结合	66
3.7.3 影像信息科学的概念	66
思考题	67
第4章 地图制图学与地理信息工程	68
4.1 地图制图学与地理信息系统的基本概念	68
4.1.1 地图制图学的定义及分类	68

4.1.2 地理信息系统基本概念	70
4.2 地图制图学的主要研究内容	72
4.2.1 理论地图学	72
4.2.2 地图编制学	73
4.2.3 应用地图学	74
4.3 现代地图制图学的研究方向及进展	76
4.3.1 地图认知范畴的研究	76
4.3.2 地图可视化	77
4.3.3 自动制图综合	78
4.3.4 遥感制图	79
4.3.5 地学信息图谱	81
4.3.6 电子地图	82
4.3.7 互联网制图	82
4.4 GIS 研究内容及基本构成	83
4.4.1 研究内容	83
4.4.2 GIS 基本构成	84
4.4.3 应用模型	87
4.5 GIS 的功能与应用	88
4.5.1 GIS 基本功能简介	88
4.5.2 GIS 的应用	90
4.6 GIS 发展趋势与展望	92
4.6.1 GIS 发展概况	92
4.6.2 GIS 发展趋势	93
思考题	94
第 5 章 工程测量学	96
5.1 概述	96
5.1.1 工程测量学的发展概况	96
5.1.2 工程测量的主要内容	98
5.1.3 与其他课程的关系	100
5.2 现代工程测量技术	101
5.2.1 GPS 应用技术	101
5.2.2 全站仪应用技术	101
5.2.3 电子水准仪应用技术	102
5.2.4 三维激光扫描测量系统	102
5.2.5 三维工业测量系统	103
5.2.6 精密自动导向技术	104
5.2.7 施工测量信息管理系统	105
5.3 工程测量典型实例	106
5.3.1 GPS 技术在三峡工程大江截流中的应用	106

5.3.2	杭州湾大桥施工控制测量	108
5.3.3	秦山核电站重水堆工程控制测量	108
5.3.4	上海八万人体育场的施工测量控制技术	109
5.4	变形监测理论与方法	110
5.4.1	概述	110
5.4.2	变形监测的精度和周期	112
5.4.3	变形监测新技术	114
5.4.4	变形监测数据处理	117
5.5	变形监测典型实例	118
5.5.1	三峡大坝变形监测	118
5.5.2	隔河岩大坝外观变形 GPS 自动化监测系统	120
5.5.3	小浪底大坝安全监控系统	121
5.6	精密工程测量技术	123
5.6.1	定义	123
5.6.2	研究内容	124
5.6.3	发展趋势	127
	思考题	128
第 6 章	海洋测绘学	129
6.1	概述	129
6.1.1	海洋资源及利用	129
6.1.2	海洋测绘的发展历史	130
6.1.3	海洋测量的特点和分类	132
6.2	海洋测绘基本原理与技术	133
6.2.1	海上定位模型	133
6.2.2	海上定位测量技术	134
6.2.3	海洋水深测量	139
6.3	海洋测绘的主要内容	142
6.3.1	海道测量	142
6.3.2	航海图测绘	143
6.3.3	海洋大地测量	144
6.3.4	海洋地形测绘	145
6.3.5	海洋工程测量	146
6.3.6	海洋物理测量	148
6.4	海洋测绘新技术的应用	149
	思考题	150
第 7 章	测绘数据处理理论和方法	151
7.1	测量误差及其特性	151
7.1.1	测量误差的来源与分类	151
7.1.2	偶然误差分布	153

7.2 精度指标及误差传播定律	155
7.2.1 衡量精度指标	155
7.2.2 误差传播定律	157
7.2.3 权	158
7.3 测绘数据处理的基本方法	158
7.4 测量平差进展及在测绘学中的应用	160
7.4.1 测量平差进展	160
7.4.2 测量平差在现代测绘中的应用	160
思考题	161
第8章 卫星导航与定位技术及其应用	162
8.1 卫星导航与定位技术概述	162
8.1.1 卫星导航与定位技术的作用	162
8.1.2 卫星导航与定位技术的主要内容	162
8.2 GPS 定位原理及应用	165
8.2.1 GPS 系统的组成	166
8.2.2 GPS 定位原理	168
8.2.3 GPS 定位的误差源	169
8.2.4 GPS 技术的定位模式	170
8.2.5 GPS RTK 技术	171
8.2.6 GPS 的特点	171
8.2.7 GPS 技术的应用	172
8.3 GPS 定位技术的展望	173
8.3.1 我国 GPS 定位技术应用和发展	173
8.3.2 GPS 现代化	175
8.4 GLONASS 全球导航卫星系统	177
8.5 其它卫星导航与定位系统	179
8.5.1 欧洲伽利略导航卫星系统计划	179
8.5.2 日本区域性导航卫星系统计划	180
8.5.3 北斗双星导航定位系统——RDSS 系统	180
思考题	182
第9章 “3S”技术集成与应用	183
9.1 “3S”技术集成概述	183
9.1.1 “3S”定义	183
9.1.2 集成的含义	184
9.1.3 集成的方式	184
9.2 “3S”技术集成的典型应用领域	187
9.2.1 实时测量和空间数据库实时更新与分发	188
9.2.2 数字城市	188
9.2.3 智能交通	188

9.2.4 精细农业	189
9.2.5 数字化战场	190
9.3 “3S”集成的应用示例	190
9.3.1 移动服务	190
9.3.2 LD2000 - RM 基本型移动道路测量系统	193
9.3.3 基于 GPS/PDA/GIS 技术的土地快速变更系统	194
9.4 “3S”集成与测绘学科发展	196
思考题	196

第1章 绪论

1.1 测绘科学发展概述及作用

测绘学是一门有着悠久历史并正在飞速发展中的学科。特别是近30年来,测绘科学已发展成为广泛集成现代科技而服务于国民经济和国防建设之所需、成为最富现代气息及饱含高科技结晶的一门学科。它涉及的领域如此广泛、与众多相关学科的联系如此紧密,以致通常难以全面而详细地给测绘学以一个严密而又恰当的定义。另一方面,随着时代不断地进步,人类对太空及地球奥秘探索的不断深化,计算机技术及通信网络等各种高新技术的应用,测绘科学在研究内容、理论技术、应用领域等各个方面都正在迅速地更新、充实和提高,测绘科学及其内涵将会随时间的推移而有更加全面新颖的含义。

顾名思义地理解测绘学,常易使人们简单地认为仅是通常所见的野外测量工作和绘图技术。从现代的观点来看,这种见解是十分“表面”的和以“古老”的标准来衡量测绘科学。发展到今天的测绘学,已迈入了信息化时代,在内容及技术上都获得了“质”的飞跃而以一种全新的面貌屹立于当代先进科技之前列。

现代的测绘学,应该理解为是一门研究与地球有关的基础空间信息采集、处理、管理、更新和利用的科学与技术。借助于国民经济和科技发展的需要,结合现代计算机技术、人造卫星、空间探测器、各类传感器技术以及本学科众多的科研成果,使测绘学科产生了实质上的飞跃及进步。与以前的测绘学相比,无论在研究内容上、应用技术上还是服务对象上均发生了“翻天覆地”的变革。测绘学已融入现代科技进步的大潮流,并占有重要的一席之地,正进一步为国民经济、国防科技的现代化发挥重要的作用和作出应有的贡献。

人类生活在地球上,必须为生存和环境的改善而不断努力,深入了解和研究地球及相关空间是人类生存的首要条件。早在古代的人类生存活动中,就大量涉及到测绘科学的内容。在我国发现的古代各类星图及其变化的记载为当时天文历书及农事耕作的安排作出了贡献;我国古代指南针的发明和应用为地面的定向及航海导航提供了手段;计里鼓车为远距离的机械丈量提供了方便;长江上的鱼梁石刻演示了洪水高程的变化及对防洪的警示;反映山河险要、田亩、疆域、户籍的各类地图为军事行动和行政管理打下了基础。所有这一切无不显示了在我国古代,早期的测绘学与人们最基本的生存活动休戚相关的一个侧面。这方面的例子在世界各国同样有众多的历史可得到的佐证。

综观测绘学科的发展,从其理论上、研究的对象上以及采用的技术方法等方面来考察,可大体分成如下三个阶段。

1.1.1 初期发展阶段(~17 世纪)

该阶段是人们早期从事测绘科学及实践工作的阶段。正像其它学科早期发展阶段一

样,测绘学科在此阶段开展了很多极有意义的工作,并取得了众多辉煌成果。但是从总体上而言,在此阶段进行的工作主要还是处于一种无序的、零星的、局部的、缺少系统理论指导下的工作状态。但这个阶段的工作很重要,其探索和研究的内容为后期工作的展开铺平了道路。

要系统地列举在漫长初期发展阶段测绘学科完成的全部工作是困难的,毕竟在时代上离我们已十分遥远,文史的记载不可能全面而且历经沧桑后又残缺不全。根据历史记载,在此阶段较有代表性和系统的测绘工作有:①亚历山大学者埃拉托逊尼,在公元前3世纪就完成了首次用测量子午圈弧长来估算地球半径的工作。②我国唐朝的僧一行,于开元年间(713~741年),在地势平坦的河南平原上,选择大致位于同一子午线上的4个连续点,用测绳丈量间距(约300km),计算该段地面每度纬差对应的距离并推估子午线长度。③在地图学方面,地图的制作可上溯到古代美索不达米亚平原。此外,1986年我国甘肃天水放马滩战国秦墓中出土四块7幅木板地图。地图绘制了公元前323~310年间秦国郿县地区(今天水一带)的地域,是世界上最早的实用地图。随后,在公元2世纪由克劳提斯·托勒密创建了地理学,并描述了圆形的地球投影到平面地图上的方法。16世纪吉拉杜斯·墨卡托开创了地图投影,使航海制图取得显著进展。④在海洋测绘方面,北宋时期(960~1127年),指南针已在航海事业中普遍使用并采用测绳下悬铅垂测量海水深浅。在明朝,我国著名航海家郑和七下西洋(1405~1433年),编制了较为详细的航海图志。所有这一切无不说明了早在古代,人们为生存和发展,为环境的改善和对地球的探索进行了大量卓有成效的测绘研究和开发,有力地推动了人类社会的进展。

1.1.2 迅速发展的中期阶段(17~20世纪中期)

17世纪后,测绘学科得到了前所未有的迅速发展。这应归功于许多著名科学家致力于天文学及地球形状和重力场的研究,并获得了丰硕的成果,提出了有别于早期发展阶段的众多崭新的概念和理论,为测绘学科的奠定和发展打下了基础。可以说,真正有系统的测绘学科的构建是在这个阶段完成的。

在此阶段,必须提及的是伟大的英国物理学家牛顿(L·Newton,1642~1727),提出并论证了在万有引力作用下,地球为绕一轴旋转的两极扁平的旋转椭球体。此理论的确立使人类对地球的认识从圆球进入旋转椭球的新阶段,也为测绘学科奠定了基础。这一新的理论,在第二发展阶段随后众多的测绘工作中得到了验证和广泛应用,产生了大量的以此理论为基础的测绘科研成果,使测绘学科逐步走向成熟。要全面和完整地介绍在此发展阶段众多卓著的测绘成果同样是困难的,下面仅列举一些标志性的内容,以使读者对测绘学科在此阶段的发展有个初步的了解。

(1) 在17世纪~19世纪中期,由高斯(C. F. Gauss)、勒让德(A. M. Legendre)、贝赛尔(F. W. Bessel)等研究了椭球面测量计算理论,研究出椭球面投影到平面的正形投影法,解决了椭球面测量的关键技术,有力地推动了椭球大地测量学的构建。

(2) 法国测量学者采用较精确的弧度测量数据,在1799年计算得新的椭球参数 $a = 6375653\text{m}$, $\alpha = 1/334$,并首次定义子午圈弧长 $1/4 \times 10^7$ 为长度单位1m,使测绘学中有了解明确的长度单位。此外,对于地球椭球参数的研究由贝赛尔(1840)和克拉克(A. R. Clarke)分别推算了更可靠的椭球体参数值,广泛地应用于当时的测绘工作中。

(3) 荷兰测量学者斯涅耳(W. Snell)研究及开创了三角测量方法,进一步推进了测绘技术的发展。由于三角测量的应用,在测绘技术及仪器方面,相继研制了经纬仪、精确的长度杆尺、水准仪等测量工具。

(4) 法国的勒让德在 1806 年发表了最小二乘法理论。在此之前,德国的高斯在 1794 年已应用最小二乘理论推演了谷神星的轨迹,并于 1809 年在他的著作《天体运行论》中,导出了最小二乘法原理,并把这一理论运用到测量平差处理中。最小二乘法原理的建立和应用,为测绘科学中观测数据的处理和观测误差的理论分析打下了坚实的基础。

(5) 法国学者克来罗(A. C. Clairaut)提出重力等位面理论及地面各点重力加速度计算式。此外,勒让德在研究地球形状和重力的关系中提出重力位函数理论。这些理论把地球形状与重力场紧密地联系在一起,为物理大地测量开创了新的一页。

(6) 1839 年法国的达意尔发明了摄影术,为摄影测量开创了条件。1851~1859 年法国陆军上校劳赛达特提出了交会摄影方法并测绘了万森城堡图。1903 年莱特兄弟发明飞机,使航空摄影测量有了真正的工具,随即首台航空摄影机问世。

在 19 世纪下半叶到 20 世纪中期,测绘科学的进展突出地表现在如下一些方面:

(1) 为研究地球形状及天体运行规律,在亚洲、北美、欧洲均布设长达 7 万 km~8 万 km 的大规模长距离天文大地网,进行较高精度的观测。结合大量重力资料和大地测量资料推求新的地球椭球体参数,计有赫尔默特(F. R. Helmert)1906 年参数,海福特(F. Hayford)1909 年参数和克拉索夫斯基椭球参数。新的椭球参数更精确地表达了大地体的几何形状并在长期以来得到广泛应用。但是直到这个时期,大地测量仍以刚体地球为研究对象,所进行的测量也是静态局部的测量。此外,在测量平差理论方面,荷兰学者田斯特拉(J. M. Tienstra)完成了相关平差的理论研究,使平差处理的对象扩展到随机相关的观测值和函数。

(2) 在物理大地测量方面,英国的司托克斯(G. G. Stokes)在 1849 年提出了地球重力位由正常位和扰动位两部分组成,分别对应为正常重力和重力异常。在此理论上,经随后不断地研究和完善,实现了直接利用地面上的重力观测值,精确求定地面点的扰动位,可不再依据大地水准面的求解而求定地球形状及外部重力场。

(3) 在测绘技术方面,由瑞典人耶德林首创的 24m 因瓦基线尺悬空丈量技术解决了地面上精密量距的难题。各种高精度的光学经纬仪以及带平行玻璃板测微装置的精密水准仪、因瓦水准尺的研制开发等,在第二次世界大战后蓬勃兴起的各种巨型工程建设测量及近代大地测量中发挥了积极作用。此外,摄影测量技术上,在 1901 年和 1909 年出现了立体坐标量测仪和 1318 自动立体测图仪,使摄影测量进入开始利用立体像对进行双像测量的新时期。在印刷技术上,发明了胶版印刷术,使地图制图得到快速发展。

(4) 在海洋测量方面,欧洲的资本主义社会发展较快,对远洋交通十分重视,相继成立海道测量机构,同时研制了天文钟、六分仪等成套的定位和导航仪器。1854 年,美国海军部的毛利绘制出了“北大西洋水深图”,体现了当时海洋测量成果的新水平,是最早的一张海底地形图。1922 年,法国航道部首次在海洋测量中应用回声测深仪进行地中海的水深测量。

这个阶段正处于近代社会发展的盛期,社会的进展极大地带动和促进了科技的发展,使测绘学科在理论、技术以及学科的体系结构等方面打下了坚实的基础,构建了经典测绘

学的完整内容和框架,同时,也为经济发展、社会文明进步以及军事技术服务等各种工作的需要发挥了重要的作用。

1.1.3 近代测绘学阶段(20 世纪中期以后)

本阶段是测绘学发展最为活跃的时代,计算机和计算机网络技术的进展,人造卫星及空间探测器的发射,各种先进的传感器及数码技术、自动化技术、智能技术以及先进测绘仪器的研发,特别是 20 世纪末以来轰轰烈烈开展的“数字地球”、“数字城市”等工程,使测绘学在内容上、技术上与经典技术相比,发生了“脱胎换骨”的改变,正在使测绘工作从繁重的体力劳动向技术密集型过渡,从大量人工作业向自动及智能化发展,从文字资料型向信息化迈进。这些“质”的变化,在近 30 年来表现得尤为明显和突出,与世界科技发展一样,测绘学科迈入了一个完全崭新的时代,取得的成就和进展是举世瞩目的。

在对地球的研究中,现代的大地测量学,从刚体地球的概念转入以可变地球为对象、研究动态的全球绝对测量技术的新时期。在构建我国现代大地测量参考框架、研究地壳及板块的运动规律、监测地表变形及地震的预报、为解释板块的断裂作用、地震活动及反演地壳的构造等工作中发挥作用,为我国的卫星、导弹、航天器及宇宙探测器的发射、制导、跟踪、返回等提供先决条件。现代卫星测量技术,如卫星多普勒、海洋卫星雷达测高、激光卫星测距(20 世纪 70 年代)、美国全球卫星定位系统 GPS(20 世纪 80 年代)、俄罗斯卫星定位系统 GLONASS(20 世纪 90 年代)、我国“北斗”卫星导航定位系统(2000 年)的投入使用,在现代大地参考框架的构建、测定地球动态参数和重力场模型的精化、监测地球板块和地壳变形的运动状态、高精度的海洋测量以及用于海空导航、车辆导向、导弹制导等方面起着极为重要的作用,各种应用的实例多不胜数。

工程测量学科的研究,为解决我国现代化建设事业中大量涌现的工程项目所涉及的测量关键技术提供了技术支撑。特别是 20 世纪 70 年代以来,自然环境和各种工程的减灾防灾、运行安全被放到十分重要的位置,精密工程测量、安全监控技术等工程测量新内容得到了快速发展,以适应现代社会和经济发展之需。这部分内容的发展,在我国兴建的特大型高坝、南水北调工程、核电站、电子对撞机、特大跨距的桥梁、地铁工程、磁悬浮工程、青藏铁路、高速公路、大型现代建筑群体等众多前所未有的现代工程以及局部区域的地表沉陷、高边坡及危岩的监测、大坝及众多大型工程的安全监测中发挥了重要的作用。与此同时,在测量技术上,20 世纪 60 年代光电测距仪的诞生,70 年代以后的全站仪、自动全站仪、特高精度的测距仪及 GPS 的投入使用,进一步改变了工程测量的技术和面貌。在各种工程的建设及安全监测中,研制和开发了工程测量的大型信息管理系统、安全监测系统、安全的综合推理分析及评判预报系统等,构建了现代工程测量的框架体系,极大丰富了工程测量的内容,使工程测量学科的现代化、自动化、智能化进一步得到深化。

在摄影测量和遥感方面,长期以来的模拟摄影测量从 20 世纪 60 年代开始发展为解析摄影测量,特别是近期进一步发展到数字摄影测量。这个发展过程,体现了摄影测量从原来的利用光学或机械投影实施摄影过程的反转,构成与实际地表面成比例的几何模型,

获得地形图和各种专题图的技术过程,发展为光束法和独立模型法的解析空中三角测量,及利用计算机技术实现共线方程的实时解算,代替光学和机械的模拟过程来提取地面三维数字信息。而数字摄影测量的处理对象是指直接利用各种数字传感器(如卫星、航天飞行器等)获得的以数字形式记录的影像,或利用影像扫描仪对已存在的像片进行数字化得到的数字影像,通过计算机视觉处理技术,实现数字定向、共轭影像匹配、三维信息提取,生成数字高程模型、数字正射影像等多种数字产品。此外对数字影像实现自动解释和判读,自动对目标分类和定性描述等,使数字摄影测量成为处理遥感影像的重要手段,是摄影测量与遥感的重要结合点。

在近代的摄影测量技术上,1961年由意大利 OMI 公司与美国的 Bendix 公司共同研制了第一台解析测图仪 AP/1。1980年瑞士 WILD 和 KERN 厂也研制了高精度的 AC1、BC1 等系列的解析测图仪,为解析摄影测量创造了条件。而近期投入应用的数字摄影测量工作站如 DPW 系列和立体影像工作站等均有强大的影像处理功能及可视化功能,可以处理可见光、微波、多光谱、高光谱影像等,实现高精度的点定位、自动测量,提供各种数字地图产品或图解产品,成为各种地理信息系统和数据库的直接信息入口。在遥感方面,1959年从人造卫星发回了第一张地球像片,在1960年从气象卫星上获得了全球的云图,在1962年召开第一届国际“环境遥感”会议后,遥感科学得到飞速发展。遥感技术在矿产资源勘查、环境监测、精细农业、专题图制作、灾害预报和监测、数字地球以及军事技术等各个方面得到极大重视和广泛应用。

在海洋测量方面,近代的海洋测量不仅仅是测绘海图为航海服务,而是转入了以海洋研究和海洋开发为两大目标的全新内容中。海洋测量应为研究地球的形状提供更多的资料。海洋占地球面积的 71%,缺乏如此广袤面积上的测量资料而研究地球是不完善的。其次应为研究海底的地质构造及其运动提供各种信息,要为海洋实体的研究和开发提供基础平台。在海洋开发工作中,海洋测量应服务于海洋自然资源的勘探开采、近海工程、航运、渔业、海底工程(如电缆、管道)、海上划界等各种应用性任务中。

近代的海洋测量技术得到迅速发展,无线电定位技术、计算机、激光和卫星技术、新一代的声呐技术等被广泛地应用,使海洋测量进入了自动化的先进行列。在海洋定位技术中,满足各种用途需要而定位距离从数千米到数千千米的无线电定位系统的投入使用,GPS 及卫星导航系统的构建,结合加速度计、电子或激光陀螺、多普勒声呐、各种传感器、卫星、无线电定位系统等由计算机实时处理的综合自动导航系统的研制开发,在水深测量中的多波束扫描测深仪、光度法测深仪及海底图像测量装置等得到了开发和应用。近代海洋测量技术的进展,在海洋定位、导航、海底地形图的自动绘制、海洋开发利用和国防建设中,发挥了重要作用。

综上所述,测绘学的研究内容及发展,与国民经济和国防建设的需要是密切相关的。利用各种传感器、卫星、航天飞行器及组合系统,获取地球及其它星体在统一坐标系中的空间位置信息及精密定位技术,建立地理、土地等各种空间信息系统及其表达,为研究地球自然和人文社会,解决人口、资源、环境保护和减灾防灾等社会可持续发展中的重大问题,以及为国民经济和国防建设的现代化提供技术支撑及数据保障等任务中,现代的测绘学发挥着重要作用。

1.2 测绘学科的基本体系和主要内容

测绘学科在发展的第二阶段已较完整地构建了基本体系,形成了一整套分类上较科学的学科门类及相应的研究内容。但是自 20 世纪 50 年代以来,随着现代科技和世界经济的快速发展,“经典”的内容在进一步深化,新的测绘技术和理论在不断涌现。此外,科技的发展,要求测绘学科吸纳和加强与其它门类相关学科的紧密联系,体现学科间交叉发展的趋势越来越强烈,使测绘学科在不同发展阶段构成极富时代特色的不同体系及相关内容。

现代的测绘学,根据所研究的内容、采用的技术方法、服务的对象及目的等方面的差异和特点,主要分为:大地测量学、摄影测量学与遥感、地图制图学与地理信息工程、工程测量学、海洋测绘学 5 个主要学科分支。应该说明的是,虽然这 5 个分支学科各有自己的特点及任务,但是它们之间是紧密相连的,相互间互为依存、互为补充,从而体现了整个测绘学科的全貌及本色。以地理信息系统而言,它是制图学与地理信息工程最主要的研究内容,但是摄影测量学与遥感学科、工程测量、海洋测绘学科等也都在从事属于自己学科范围内的各种专题的地理信息系统或与地理信息系统密切相关的各种技术研究。例如,有关地理信息系统数据库的结构,海量数据的管理,数字成图,地理信息的表达,空间数据的格式、存储、查询、管理,各种专题的地理信息系统的建立,海洋底部地形信息的采集、表达、描述,数字海图技术等。更广泛一些来讲,不仅测绘学科在研究地理信息系统,而且其它学科,如地理学、地质矿产、水利、交通、土木工程、农林、军事工程技术等众多的学科也都在从事地理信息系统的研究。再如减灾防灾及安全监测,大地测量、摄影测量与遥感、工程测量、海洋测绘等学科都根据各自的特点,发挥自己的优势,紧密结合各种项目而从事这方面的研究。它们分别采用高精度的控制网、精密水准、GPS 技术或采用近景数字摄影、低空航摄、高分辨率的卫星图片、减灾防灾地理信息系统或布置高精度的监控网、GPS 多天线系统、埋设测斜仪、沉降仪、渗压计、应力应变计采集信息,建立变形预报模型,研发监控信息综合分析评价系统等实现对减灾防灾、地表变形的安全监控。

因此,测绘学科发展到现阶段,不仅体现了技术和理论的先进性、内容的广泛性、应用的普遍性,并且明显地反映了学科边缘的交叉性和模糊性的特色。深入本学科特色内容的研究、加强边缘学科的开拓、密切与其它相关学科的结合,是测绘学科现阶段发展的方向。

1.2.1 大地测量学

大地测量学是研究和测定地球的形状、大小和重力场,地球的整体与局部运动和地面点的几何位置以及它们的变化理论和技术的学科。在长期以来的学科发展和众多卓越人才开创性的努力工作下,构建了现代大地测量学的体系。最主要的内容包括几何大地测量学、物理大地测量学、空间大地测量学。

几何大地测量学主要是研究确定地球形状、大小和确定地面点三维空间位置的理论及技术。因此有关精密的角度、距离测量,水准测量,地球椭球体的参数及模型,椭球面上

测量成果的计算、平差、投影变换以及大地控制网建立的原理和技术方法等,是几何大地测量学的基本内容。

物理大地测量学研究用物理方法(重力测量)确定地球形状及外部重力场。它的主要内容是重力测量及其归化、地球及外部重力场模型、大地测量边值问题、重力位理论、球谐函数、利用重力测量研究地球形状及椭球体参数等。

空间大地测量学是研究以卫星及其它空间探测器实施大地测量的理论和技术。主要内容包括卫星多普勒技术、海洋卫星雷达测高、激光卫星测距以及卫星定位系统(GPS)和GLONASS,我国“北斗”卫星定位导航系统,卫星定位定轨理论以及应用卫星及空间探测器在全国性大地测量控制网,全球性的地球动态参数求定和重力场模型的精化、地壳形变、板块活动、海空导航、导弹制导等方面的研究。因此较确切地讲,空间大地测量学的开创,使大地测量学迈入了以可变地球为研究对象,实施全球动态绝对测量的现代大地测量新时期。

1.2.2 摄影测量学与遥感

摄影测量与遥感是研究利用飞机、卫星等携带的空间传感器获取影像数据和信息,并对这些信息进行记录、量测和分析处理,最终以图形、图像或数字形式表达的科学及技术。摄影测量学科主要包括模拟摄影测量、解析摄影测量、数字摄影测量和影像信息学等内容。现代遥感技术在航天技术及计算机技术迅速发展及支撑下,可以获得地面分辨率高达1m甚至0.5m的丰富影像信息,这些信息都能作为基于数字摄影测量理论和技术进行处理的对象,使摄影测量学科发展成为现代的摄影测量与遥感这一新的学科。

模拟摄影测量主要研究以光学摄影机获得的像片,利用光学或机械投影的方法,模拟摄影机的位置和姿态,实现摄影过程的反转,并构成与实际被摄表面成比例的几何模型,通过对几何模型的量测,生成各种专题图及地形图等。其主要内容包括影像拍摄、像片冲晒、模拟测图仪、模拟法像片定向及测图、航带空中三角测量等。

解析摄影测量解决了以数字投影代替模拟投影的方法,使摄影测量利用计算机在像片处理中实现共线方程的实时解算,摒弃了光学、机械的模拟投影过程而提取地面三维信息。主要研究的内容有光束法和独立模型法解析空中三角测量、像片系统误差的补偿、观测值粗差理论、区域网平差、直接线性变换、数字地面模型的研究等。

数字摄影测量是利用空间传感器获得的数字影像或扫描仪取得的数字化影像,经计算机处理,提取目标的几何与物理信息的摄影测量学科。它的特点是利用数字影像作为信息源,运用数字处理技术,产生数字化产品,处理过程实现了自动解析和判读、影像目标自动分类和定性描述,体现了计算机视觉性能。主要研究的内容有遥感平台与传感器、构像方程及解算、影像的自动定向、图形的识别、影像特征的自动提取、立体影像匹配、数字地面模型、影像的数字纠正与融合等。

1.2.3 地图制图学与地理信息工程

地图制图学与地理信息工程是研究用地图图形技术,科学地、抽象概括地反映自然界和人类社会各种信息的空间分布、相互关系及其动态变化,对空间信息采集、智能抽象、存