



研究生教育“十二五”规划教材

现代测绘地理信息 理论与技术

方源敏 陈杰 黄亮 夏永华 宋炜炜 编著



科学出版社

研究生教育“十二五”规划教材

现代测绘地理信息理论与技术

方源敏 陈 杰 黄 亮 夏永华 宋炜炜 编著

本书出版得到昆明理工大学百门研究生
核心课程建设经费资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为昆明理工大学百门研究生核心课程教材,是笔者在总结测绘地理信息教学经验、科研成果及国内外测绘地理信息理论与技术最新进展的基础上编著而成的。全书共 10 章,主要包括:绪论;地面测量技术;空间测量技术;地下测量技术;地球局部形状的确定;变形监测与变形分析;基础地理信息系统;三维地理信息系统的核心理论与技术;数字地球(智慧地球)的关键技术;地理国情监测。

本书既可作为测绘科学与技术、地理信息科学、土地资源管理等专业研究生和高年级本科生教材,也可供相关专业教师、科研人员和专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代测绘地理信息理论与技术 / 方源敏等编著. —北京: 科学出版社, 2016.6

研究生教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-048478-9

I. ①现… II. ①方… III. ①测绘-地理信息系统-研究生-教材
IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 121774 号

责任编辑: 杨 红 程雷星 / 责任校对: 贾娜娜

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 6 月第一次印刷 印张: 20 1/2

字数: 523 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

《现代测绘地理信息理论与技术》一书主要是为测绘科学与技术学科及其他相关学科专业硕士研究生的学位基础课程而编写的。它既体现了现代测绘与地理信息科学研究中所涉及的理论基础，又可指导解决测绘科研与生产中的实际问题。本书所涉及的内容是在昆明理工大学开设的“现代测绘理论与技术”课程的基础上逐步演变并发展起来的。随着国家对测绘与地理信息内涵的认同及其在国民经济建设中作用的提升，将“现代测绘理论与技术”扩充为“现代测绘地理信息理论与技术”。

本书既综合了目前国内外测绘与地理信息的新理论和新技术，又体现了新的研究成果，具有时代性和独特性。本书将传统的多个测绘分支概括为地面、地下和空间测绘三个方面，独树一帜。此外，本书专门列出了测绘科研与生产中高度关注的区域大地水准面精化和变形监测与变形分析的内容；对于地理信息理论与技术方面，重点阐述了表现当前主流研究及应用的基础地理信息数据库的构建及专题信息提取与应用、三维地理信息系统的核心理论与技术、数字地球(智慧地球)的关键技术，以及地理国情监测四个部分。

该书编写的目的是：使研究生系统地掌握现代测绘与地理信息理论与技术领域的新知识和新技术，以及先进的数据采集设备、数据处理、数据分析和基础地理空间框架建设、地理信息应用服务等内容；培养研究生分析问题和解决问题的能力，为后续的专业必修课和专业选修课提供前沿知识支撑，同时为研究生学位论文的开题提供丰富内容和创新根基。本书还适合研究工作者和工程技术人员参考。

全书主要由昆明理工大学方源敏教授、陈杰博士和黄亮博士编著完成，夏永华副教授和宋炜炜博士参与编著。陈明晶硕士对本书的编辑和整理做了大量的工作，参与编辑和整理的还有安金玉、苏俊彦、熊建华、胡翀、孙丽萍、袁会如、张培洋等硕士研究生。为本书提供资料的还有昆明理工大学施昆教授、甘淑教授、左小清教授、贵仁义副教授、吴学群副教授、李佳田副教授及昆明市测绘管理中心吴俐民教授级高工，在此对他们表示衷心的感谢！

本书中的部分成果已在国内外学术刊物和国内外学术会议上发表。本书编著过程中，参考了国内外大量优秀教材、论文及相关网络资料，在此对其作者表示衷心的感谢。虽然笔者试图在参考文献中全部列出并在文中标明出处，但难免有疏漏之处，在此诚挚地希望得到同行专家的谅解和支持。

由于作者水平有限，书中不当之处在所难免，还请各位专家、同行批评指正，以便修改。

方源敏

2016年3月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 传统测绘学概述	1
1.2 现代测绘地理信息科学	2
1.2.1 现代测绘技术	2
1.2.2 地理信息系统	3
1.2.3 测绘地理信息的现状和趋势	5
1.3 现代测绘地理信息的重大科技任务	7
1.4 现代测绘地理信息科学的前沿与关键技术	10
1.5 测绘地理信息与地球空间信息科学	10
1.6 测绘地理信息在国民经济和信息化社会中的地位与作用	11
第 2 章 地面测量技术	13
2.1 测量机器人	13
2.2 三维激光扫描技术	14
2.2.1 三维激光扫描系统	14
2.2.2 三维点云数据处理	15
2.2.3 三维激光扫描仪的应用	18
2.3 移动测量系统	18
2.3.1 移动测量系统的工作方式及特点	19
2.3.2 惯导技术	19
2.3.3 移动测量系统的分类	20
2.3.4 车载移动测量系统的发展	21
2.3.5 车载移动测量的组成及工作原理	21
2.4 数字近景摄影测量	23
2.4.1 数字近景摄影测量概述	24
2.4.2 数字近景摄影测量测图	24
2.4.3 多基线-数字近景摄影测量	24
2.4.4 数字近景摄影测量的应用	26
2.5 特种精密工程测量	27
2.5.1 激光垂准仪	27
2.5.2 精密陀螺仪	28
2.6 工业测量	31

第 3 章 空间测量技术	34
3.1 全球导航卫星系统	34
3.1.1 GNSS 系统概况	34
3.1.2 GNSS 研究的热点问题	35
3.1.3 GNSS 应用	37
3.1.4 未来导航技术的发展——量子指南针	38
3.1.5 室内定位技术	39
3.2 CORS 系统	44
3.2.1 CORS 概述	44
3.2.2 CORS 误差源分析	49
3.2.3 计算 CORS 改正数的常用数学模型分析	50
3.2.4 CORS 的应用	51
3.3 遥感技术	51
3.3.1 遥感概述	51
3.3.2 遥感影像专题信息提取技术	54
3.3.3 基于遥感专题制图综合的方法	55
3.4 无人机技术	57
3.4.1 无人机遥感概述	58
3.4.2 无人机影像处理方法	61
3.4.3 无人机影像地图的制作方法	62
3.4.4 无人机遥感存在的问题	65
3.5 合成孔径雷达干涉测量技术	67
3.5.1 InSAR 干涉数据的干涉模式	67
3.5.2 InSAR 成像原理	68
3.5.3 InSAR 技术的相关算法	69
3.5.4 InSAR 技术的应用现状分析	70
3.6 机载 LiDAR 技术	71
3.6.1 机载 LiDAR 概述	71
3.6.2 机载 LiDAR 原理	74
3.6.3 机载 LiDAR 的工作流程	76
3.6.4 存在的问题	79
第 4 章 地下测量技术	80
4.1 水下测量技术	80
4.1.1 水下地形测量特点	80
4.1.2 水下测量基本理论	81
4.1.3 传统水下测量技术	81
4.1.4 现代水下测量技术	81
4.1.5 湖泊水下地形测量实例	84

4.2	地下管线测量	86
4.2.1	地下管线测量概述	87
4.2.2	地下管线信息化建设	89
4.2.3	新技术在地下管线测量中的应用	91
第 5 章	地球局部形状的确 定	92
5.1	精化(似)大地水准面的基础理论	92
5.1.1	基本概念	92
5.1.2	边值问题的基本类型及球面解	93
5.1.3	Stokes 理论与大地水准面	94
5.1.4	Molodensky 理论和似大地水准面	95
5.1.5	Stokes 与 Molodensky 理论边值问题的区别与联系	96
5.1.6	重力场	97
5.1.7	地球重力场模型的概述	97
5.1.8	重力异常	98
5.2	确定(似)大地水准面的基本方法	99
5.2.1	GPS 水准	100
5.2.2	重力方法	106
5.2.3	组合法	107
5.3	依重力数据局部(似)大地水准面精化	107
5.3.1	地球位模型确定大地水准面	108
5.3.2	移去-恢复法	109
5.4	无重力数据局部(似)大地水准面精化	111
5.4.1	基于 GPS 水准数据和地球位模型的局部大地水准面精化	111
5.4.2	顾及重力场模型与地形改正的移去-恢复法	112
5.5	利用地形和地质数据的局部(似)大地水准面精化	114
5.5.1	利用地形和地质数据精化局部大地水准面的特点	115
5.5.2	利用地形和地质数据精化局部大地水准面的研究内容	115
5.5.3	利用地形和地质数据精化局部大地水准面的基础理论	115
5.5.4	地形均衡垂线偏差不同误差分析模型比较	121
5.5.5	应用及实施	125
第 6 章	变形监测与变形分析	135
6.1	变形监测与变形分析概述	135
6.1.1	变形监测的目的、意义	135
6.1.2	变形监测的特点	135
6.1.3	变形监测的应用	135
6.2	变形监测中一些主要方法及各自的优缺点	136
6.2.1	常规地面测量方法	136
6.2.2	近景摄影测量方法	136
6.2.3	GPS 测量	137

6.2.4	三维激光扫描方法	137
6.2.5	合成孔径雷达技术	137
6.2.6	利用 GPS 和 InSAR 融合技术对地表进行监测	138
6.3	变形分析方法的介绍	138
6.3.1	回归分析法	138
6.3.2	时间序列分析法	139
6.3.3	灰色系统分析模型方法	139
6.3.4	卡尔曼滤波方法	140
6.4	利用智能型全站仪和水准仪进行变形监测的理论与技术	140
6.4.1	智能全站仪和水准仪的介绍	140
6.4.2	智能全站仪中 AMIS 系统的功能及应用	141
6.4.3	智能全站仪快速测量处理系统的组成	142
6.4.4	智能全站仪用于二滩水电站变形监测	143
6.5	利用 GNSS 和 CORS 系统进行变形监测	144
6.5.1	GNSS 系统测量原理和特点及在变形监测中的应用	144
6.5.2	CORS 系统的组成及在变形监测应用的领域和特点	145
6.6	利用传感器进行各类变形监测	146
6.6.1	遥感新技术及传感器的介绍	146
6.6.2	利用倾斜传感器进行位移监测原理	148
6.6.3	传感器应用于变形监测的领域和特点	153
第 7 章	基础地理信息系统	156
7.1	基础地理信息	156
7.1.1	基础地理信息数据的类型	157
7.1.2	基础地理信息系统的特征	157
7.1.3	基础地理信息数据的特性	158
7.1.4	空间数据分层	159
7.2	基础地理信息数据库建库	160
7.2.1	基础地理信息数据库设计总体目标	160
7.2.2	基础地理信息数据库数据的组成	160
7.2.3	基础地理信息数据模型	160
7.2.4	空间数据库技术	162
7.2.5	数据库设计	165
7.2.6	基础地理数据入库	166
7.3	空间数据挖掘	167
7.3.1	空间数据挖掘概述	167
7.3.2	空间数据挖掘方法	172
7.3.3	空间数据挖掘的关键技术	172
7.3.4	空间数据挖掘面临的问题及其展望	174
7.4	基础地理信息的集成应用技术	175

7.4.1	地理信息系统集成平台的特点和功能	176
7.4.2	地理信息系统集成策略	177
第 8 章	三维地理信息系统的核心理论与技术	182
8.1	3DGIS 概述	182
8.2	3DGIS 数据结构、模型建立及算法表达	183
8.2.1	3DGIS 数据结构	183
8.2.2	3DGIS 数据模型建立及算法表达	183
8.3	空间复杂实体三维构建的理论与方法	188
8.3.1	三维数据采集	188
8.3.2	空间复杂实体三维构模方法	189
8.3.3	离散数据可移动条件下的空间复杂实体的三维建模	199
8.4	城市建筑物的三维构建技术体系	206
8.4.1	城市建筑物三维数据获取技术	206
8.4.2	任意摄影构建城市仿真三维景观的简易技术方法	210
8.5	城市建筑物三维模型表达技术	213
8.5.1	城市建筑物三维模型构建技术	215
8.5.2	城市建筑物三维模型可视化技术	217
8.5.3	城市建筑群快速三维模型的构建	218
8.6	矿山 3DGIS 的构建及空间分析方法	221
8.6.1	矿山 3DGIS 的信息特点	221
8.6.2	矿山 3DGIS 的关键技术	221
第 9 章	数字地球(智慧地球)的关键技术	238
9.1	数字地球概念与简介	238
9.1.1	数字地球的基本概念	238
9.1.2	数字地球核心技术综述	238
9.2	海量数据的处理技术	240
9.2.1	海量数据的快速处理技术	240
9.2.2	数据仓库的构建理论	240
9.3	数字地球元数据标准与特点	242
9.3.1	元数据简介	242
9.3.2	元数据标准格式与特点	242
9.4	空间数据共享与交换	243
9.4.1	空间数据共享标准规范	243
9.4.2	空间数据共享与交换现状	244
9.5	网络地理信息系统技术	245
9.5.1	WebGIS 概述与特点	245
9.5.2	WebGIS 的实现模式和技术分析	245
9.5.3	组件式 GIS	246
9.6	虚拟仿真与 VR-GIS 技术	247

9.6.1	数字地球的虚拟与仿真技术	247
9.6.2	虚拟现实系统的基本类型和虚拟技术系统结构	248
9.6.3	虚拟技术的地学应用及实例	250
9.7	智慧地球	251
9.7.1	智慧地球的概念	251
9.7.2	数字地球与智慧地球的关系	252
9.7.3	智慧地球的特征与架构	252
9.7.4	智慧地球的支撑技术	253
9.7.5	智慧地球的应用	254
9.8	物联网	255
9.8.1	物联网的定义	255
9.8.2	物联网的体系架构	256
9.8.3	物联网中的核心技术	256
9.8.4	物联网技术在测绘领域的应用	259
9.9	云计算	260
9.9.1	云计算概述	260
9.9.2	云计算核心技术	263
9.9.3	云计算在地理信息空间的应用	266
9.9.4	云计算未来可能的发展方向——“雾计算”	273
9.10	智慧城市与大数据	273
9.10.1	智慧城市	273
9.10.2	大数据	279
9.10.3	智慧城市与大数据的联系	282
第 10 章	地理国情监测	284
10.1	地理国情监测的涵义	284
10.1.1	国情	284
10.1.2	地理国情	284
10.1.3	地理国情监测	285
10.2	地理国情监测的对象	285
10.3	地理国情监测的分类	286
10.4	地理国情监测的内容、任务、过程	288
10.4.1	地理国情监测的内容	288
10.4.2	地理国情监测的任务	291
10.4.3	地理国情监测的过程	293
10.5	地理国情监测的主要支撑技术	294
10.6	地理国情监测的作用	298
10.7	地理国情监测需要解决的六大技术难题	299
主要参考文献		302

第1章 绪 论

随着我国综合国力的不断增强,空间网络传输技术、精密卫星定位技术、高分辨率遥感技术等现代科学技术的迅猛发展及广泛应用,我国的测绘科学与技术也相应地发生了翻天覆地的变化,并直接服务于地理信息的应用。目前,我国的现代数字测绘技术已全面取代了传统的模拟测绘技术,同时,由于现代化测绘技术不断地出现新方法、新设备、新理论,因而其应用领域也正在不断地扩展,并正向信息化测绘实现质的飞跃。

人类经济社会活动与地理位置、地理环境及地理信息密切相关;促进我国国民经济与社会信息化,转变发展模式,优化国土空间布局,增强地理国情应急处理能力,保障国家安全利益,提高人民群众的生活质量等都对地理信息支撑保障的需求越来越迫切;同时地理信息产业在近些年来取得了持续快速的发展,已成为最具发展潜力的战略性新兴产业,是建设数字地球、物联网(the internet of things)及智慧地球的重要支撑。

目前,我国测绘事业正向测绘地理信息事业发展,尤其是人类社会已进入地理信息大应用、大发展的新时代,急需国家强化对地理信息技术和应用的管理,为转变发展模式、加快信息化建设提供有力支撑,为提升应急救急能力、维护国家地理信息安全提供服务保证。

1.1 传统测绘学概述

测绘学作为一门古老的学科,早在1880年德国科学家赫尔默特便对 Geodesy 下了一个定义,即测量和描述地球的学科,一直以来国内外都将 Geodesy 定义为大地测量学。从赫尔默特对该词的定义与内涵来看,既然 Geodesy 是测量和描述地球的学科,那么似乎所指的便是现在的测绘学,因而曾有人将该词译成“测地学”。

传统测绘学如果按照赫尔默特的定义,就是采用测量仪器来测定地球表面自然形态的地理要素与地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等,然后根据观测到的数据通过地图制图的方法将地面的自然形态和人工设施等绘制成地图。随着科学技术的不断发展和社会的不断进步,测绘学的研究对象已从地球表层,扩展到地球外层空间的各种自然与人造实体。同时,测绘学不仅研究地球表面的自然形态与人工设施的几何信息的获取和表述问题,还将地球作为一个整体,研究获取及表述其几何信息之外的物理信息,如地球重力场的信息及这些信息随时间的变化等。由此可看出,传统测绘学较为完整的基本概念为:研究对实体(包括地球整体、表面,以及外层空间各种自然和人造的物体)中与地理空间分布有关的各种几何、物理、人文及其随时间变化的信息采集、处理、管理、更新和利用的科学与技术。而针对地球来说,测绘学就是研究测定和推算地面及其外层空间点的几何位置,确定地球形状和地球重力场,获取地球表面自然形态和人工设施的几何分布及与其属性有关的信息,编制全球或局部地区的各种比例尺的普通地图和专题地图,建立各种地理信息系统,为国民经济发展和国防建设及地学研究服务(宁津生和王正涛,2006)。

1.2 现代测绘地理信息科学

1.2.1 现代测绘技术

现代测绘技术集成了计算机科学、信息科学等学科,正朝着信息化时代跃进。现代测绘技术主要由空间技术、卫星遥感技术、地面数字测量技术、地理信息技术及与之相配套的计算机技术、通信技术及专家系统技术等组成,即当前测绘领域的“5S”技术:全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)、遥感(remote sensing, RS)、地理信息系统(geographic information system, GIS)、测绘专家系统(expert system, ES)和数字测量技术(digital photogrammetry system, DPS)。目前,现代测绘技术已得到广泛应用及迅速发展,在国民经济建设及社会生活中发挥着越来越重要的作用。

1. 近代测绘的发展历程

我国近代测绘的发展经历了“经典(模拟)测绘”及“数字化测绘”阶段,目前正朝着“信息化测绘”方向发展(姜鹏远等,2008)。每个阶段的发展均与社会发展的阶段相吻合,均由当时的技术发展水平决定。

(1)经典测绘:以光电测绘仪器作为主要工具,在有限的视野内对局部地区进行测量与绘图,进而扩展到全球。

(2)数字化测绘:数字化测绘技术体系是以“3S”技术(GNSS, RS, GIS)与空间数据相关资源作为具体核心的,随着网络存储技术的广泛应用,有效地实现详细数据的采集获取、处理加工及应用管理的数字化进程,相应地取得的产品形式也从以前的传统纸质地图转变为实际的4D产品。

(3)信息化测绘:信息化测绘技术体系作为数字化测绘技术体系的发展和延续,是在完全网络运行环境下,利用数字化测绘技术为社会经济实时有效地提供地理空间信息综合服务的一种新的测绘方式和功能形态,数字化测绘技术到信息化测绘技术的变迁与发展是一项重大的科学技术变革历程。

2. 现代测绘技术的发展趋势

现代测绘技术发展中,获得了以下几个方面的突破。

1) 卫星定位测量

卫星定位测量技术包括现代测绘基准建设(又称为地理空间信息基准)、全球导航卫星系统(GNSS)的组建、卫星定位技术的研究[包括网络实时动态差分技术(real-time kinematic, RTK)和精密单点定位技术(precise point positioning, PPP),尤其是利用网络RTK技术在较大区域内建立连续运行基准站网系统(continuous operational reference system, CORS)]及全球定位系统(global positioning system, GPS)/重力相结合的高程测量。

2) 航空航天测绘

(1)高分辨率卫星遥感影像测图。已取得一定的成果,包括高精度的有理函数模型求解技术、稀少地面控制点条件下的大范围区域平差技术,以及多基线与多重匹配特征(如特征点及特征线等)的自动匹配技术。

(2) 航空数码相机的摄影测量数据获取, 以及新型数据处理及成图技术。

(3) 轻小型低空摄影测量平台的实用化作业。其中, 涉及的关键技术包括: 低空遥感平台多传感器集成技术; 自动化、智能化的飞行计划及飞行控制技术; 轻小型摄影测量平台的姿态稳定技术; 不同重叠度、多角度、多航带影像的摄影测量处理技术等。

(4) 机载激光雷达系统。需开发完善成熟的机载激光雷达数据处理软件; 研究机载激光雷达系统内部的误差源及消除方法; 加入纹理信息, 进行同名地物匹配, 并结合地面控制, 进行机载激光雷达系统误差的检校与平差。

(5) 数字摄影测量网格的大规模自动化快速数据处理。

3) 数字地图制图

(1) 地图制图的数字化、信息化与一体化。地图制图学经历了传统地图学和数字化地图学并进一步向信息化地图学发展的过程。其中, 最突出的是, 地图制图生产全面实现了由手工模拟方式到计算机数字化生产的转变, 构建了地图制图与出版一体化流程。研究工作主要集中于信息化地图制图。

(2) 可量测的实景影像产品。

4) 精密工程与工业测量

精密工程与工业测量技术的突破主要有: ①基于卫星定位的工程控制测量; ②城市 GNSS 连续运行基准站系统的多用途实用化服务; ③三维测绘技术的工程应用; ④精密大型复杂工程的施工测量新技术; ⑤精密工业测量系统的建立与应用。

5) 海洋与航道测绘新技术

目前, 海洋与航道测绘技术正朝着高精度、全覆盖及全过程自动化的方向发展。利用卫星定位技术或卡尔曼滤波等方法可提高海洋与航道测绘定位精度, 研发航空航天遥感测深系统或高精度条带式测深系统来达到全面覆盖测量海洋与航道信息的目标, 进一步提高海洋与航道测绘自动化过程, 通过与海洋及航道图自动制图技术的链接建立海洋与航道图数据库, 最终建立海洋与航道测量信息系统。主要研究内容包括: ①海洋与航道中的卫星导航定位测量; ②海底地形测量中的水深测量; ③海洋与航道的遥感遥测技术; ④基于“数字海洋”与“数字航道”的测绘信息化服务。

1.2.2 地理信息系统

1. GIS 的发展历程

由于信息社会中的各种信息几乎直接或间接与地理空间位置有关, 因而 GIS 在近 30 年内取得了极为惊人的进展。GIS 目前已广泛应用于资源调查、区域发展规划、环境评估、交通、公共设施管理、电信、城市建设、测绘、能源、电力、林业、农业等国民经济各个部门, 在国家宏观决策、军事、金融及公安等方面也具有十分重要的应用价值。

1) 国外 GIS 的发展历程

国外 GIS 发展可分为三个阶段。

(1) 学术探索阶段。20 世纪 50 年代, 随着电子技术的发展及其在测量与制图学中的应用, 人们利用计算机来收集、存储及处理各种与空间和地理分布有关的图形与属性数据成为可能。1956 年, 奥地利测绘部门最先利用计算机建立了地籍数据库, 随后该技术被各国广泛应用于土地测绘和地籍管理。1963 年, 加拿大测量学家首次提出 GIS 这一术语, 并建立了世界上首个

地理信息系统——加拿大地理信息系统(Canada geographic information system, CGIS)。

(2) 飞速发展与推广应用阶段。20 世纪 70 年代以后, 随着计算机技术的标准化及大型商用数据库系统的建立和使用, GIS 对地理空间数据的处理速度和能力均取得突破性进展, 从而使得数字地理信息系统生产标准化、工业化及商品化。各种通用与专用的地理空间分析模型得到了深入研究与广泛使用, GIS 的空间分析能力得到显著增强。

(3) 地理信息产业的形成与社会化 GIS 的出现。20 世纪 90 年代以来, 伴随着互联网的快速发展与国民经济信息化的不断推进, GIS 强大的空间信息处理及空间分析功能, 已服务于各行各业, 并进入人们的日常工作和千家万户之中。如今, GIS 已成为信息社会乃至智慧行业的基础技术支撑(楚叶峰, 2008)。

2) 国内 GIS 的发展历程

我国 GIS 的发展势头也极为迅猛, 大致可分为下面四个阶段。

(1) 起步阶段。20 世纪 70 年代初, 我国开始在测量、制图及遥感领域中开始推广计算机的应用。随着遥感技术的发展, 我国于 1974 年开始引进美国地球资源卫星影像, 并开展了遥感影像处理与解译工作。我国于 1977 年诞生了第一张由计算机输出的全要素地图。在 1978 年全国科学大会上, 陈述彭院士提出了我国应全面发展 GIS 的观点。

(2) 试验阶段。1980~1985 年, 随着我国国民经济的发展, GIS 全面进入试验阶段。在典型试验中, 主要研究内容包括数据规范和标准、空间数据库建设、数据处理与分析算法及应用软件开发等。

(3) GIS 全面发展阶段。1986~1995 年, 我国的 GIS 步入全面发展阶段, 国家测绘局在全国范围内建立了数字化测绘信息产业。数字摄影测量及遥感应用从典型试验逐步走向运行系统, 这样便可保证向 GIS 源源不断地提供地形与专题信息。进入 20 世纪 90 年代以来, 我国沿海、沿江经济开发区的快速发展, 土地的有偿使用与外资的引进都急需 GIS 为之服务, 因而有力地促进了城市 GIS 的发展。在基础研究与软件开发方面, 国家将遥感、GIS 及全球定位系统的综合应用等列入重点科技攻关项目(楚叶峰, 2008)。

(4) GIS 产业化阶段。1996~2000 年, GIS 被科学技术部(原国家科学技术委员会)列入“重中之重”科技攻关计划, 在相关部门的充分重视和支持下, GIS 技术发展速度明显加快, GIS 基础软件技术支持得到全面加强, 出现了一批拥有自主知识产权的国产 GIS 软件。1996 年至现在, 我国的 GIS 产业化模型已初步形成。

2. GIS 的发展趋势

目前, 我国地理信息技术已步入世界先进行列, 地理信息产业已成膨胀之态, GIS 将向着数据标准化、系统集成化、平台网络化及应用社会化等方向发展。数据标准化使 GIS 市场从单纯的系统驱动转向数据驱动; 系统集成化意味着 GIS 软件部件的对象化, 使数据不仅能在应用系统内流动, 还能在系统间流动; 平台网络化意味着 GIS 的工作平台将逐步从单机转入网络工作环境, 利用 GIS 可实现网上发布、浏览、下载, 实现基于 Web 的 GIS 查询和分析; 应用社会化意味着 GIS 的应用范围将随着上述技术的发展不断拓宽, 最终走入千家万户。具体来说, 今后 GIS 的发展主要有以下几个方面(储征伟和杨娅丽, 2011)。

(1) GIS 数据的共享与开放。随着各种测绘技术的快速发展, 数据获取成本大大降低, 提升了数据共享与开放, 可使 GIS 更为广泛地应用于国民经济的各个领域, 提高经济活动效率, 从而减少 GIS 数据重复建设的成本。

(2) GIS 产业化及市场化。近 20 多年来,我国 GIS 技术已得到长足发展。目前,我国已形成了一批以 MapGIS、SuperMap、GeoStar 等为代表的具有自主知识产权的 GIS 软件品牌,并在诸多领域得到应用。我国将在未来几年初步形成地理信息产业的信息市场、产品市场、技术市场及劳务市场,同时产业结构会变得较为合理,地理空间数据也将变得更为丰富,自主知识产权软件市场占有率也将得到大幅提高,并将涌现出一批大型骨干企业,最终形成合理的地理信息产业链。地理信息产业将成为现代服务业的一个新的经济增长点。

(3) WebGIS 的发展。WebGIS 将 Internet 和 GIS 结合在一起,使地理信息在高速的网络环境中实现漫游与共享,从而大大拓宽了 GIS 的应用领域。利用网络发布空间数据,为用户提供空间数据浏览、查询及分析等功能,从而形成一个网络化的地理空间平台。

(4) 3DGIS 与虚拟现实技术的结合。3DGIS 可支持真三维的矢量和栅格数据模型及以此为三维空间数据库,解决三维空间操作与分析问题,由此可见,3DGIS 的发展将具有非常广阔的前景。

(5) 高分辨率遥感影像与 GIS 结合。利用高分辨率遥感影像,可用较低成本获取更为真实准确的数据。高分辨率遥感影像可以为 GIS 提供准确可靠的信息源与实时更新数据,它与 GIS、GPS 的集成,将使人们实时地采集数据、处理信息、更新数据及分析数据,极大地增强了 GIS 的功能。

(6) 无线通信技术与 GIS 结合。无线通信技术的发展,尤其是无线应用协议(wireless application protocol, WAP)技术的应用,使无线通信技术、GIS 技术与 Internet 技术结合成为可能,并形成无线定位技术。利用该技术,人们可通过手机查询到自己所处的位置或查寻自己关心的信息。GIS 借助无线通信等技术可以更为深入地融入人们的日常生活中,这将是一个极为广阔的市场。

(7) 面向服务的架构(service-oriented architecture, SOA)、丰富互联网应用程序(rich internet application, RIA)等技术与 GIS 的融合。地理信息的发布和系统建设与信息技术(information technology, IT)发展紧密相关,很多新的设计理念与表达方式在地理信息产品中得到应用。例如,SOA 理念的引入,使 GIS 实现了从组件式到服务式的飞跃;富网络应用技术的引进极大地提升了地图调用的速度、增强了用户体验,逐步实现了 Web2.0 理念;企业级 GIS 应用(EGISA)为构建多层次、跨部门的地理信息共享提供了完善的技术架构。

(8) 基于物联网技术与 GIS 的融合。

1.2.3 测绘地理信息的现状和趋势

为了顺应我国经济社会发展的客观需要,加快地理产业的发展及与国际测绘地理信息领域发展的接轨,2011 年国家测绘局更名为国家测绘地理信息局。更名是在我国测绘地理信息发展到重要转型的关键时期的重要事件。国家测绘地理信息局的名称,可以更为全面、准确地反映出国家测绘事业正朝着测绘地理信息事业的一体化联动方向发展。

1. 国际测绘地理信息科技发展现状及趋势

1) 大地测量

近年来,大地测量方向取得了迅猛发展,测量模式从静态到动态、测量平台从地基到天基、测量范围从区域到全球,定位精度得到显著提高,应用领域也在不断拓宽。随着重力卫星的发

射,地球重力场观测正在由地基向天基转变,精度与覆盖率不断提高,使统一全球高程基准成为可能。全球导航卫星系统(GNSS)取得飞速发展,美国正在实施GPS现代化计划,俄罗斯正在计划实施全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GLONASS)补星完善,欧洲联盟(简称欧盟)的Galileo系统于2013年初步组网,我国北斗卫星导航系统也终将达到为全球提供定位、导航及通信服务的能力。多系统兼容互操作已成为GNSS应用主流。同时,基于多种大地测量观测手段的全球大地测量观测系统(GGOS)建设已成为大地测量新的发展方向。

2) 航空航天遥感

遥感技术已朝着“三多”(多传感器、多平台、多角度)和“四高”(高空间分辨率、高光谱分辨率、高时相分辨率、高辐射分辨率)的方向发展,对地观测系统逐步小型化,卫星组网和全天时、全天候对地观测成为主要发展方向。多国正在计划执行新的卫星项目,未来将涵盖地球科学的各个领域,使得能用于测绘地理信息领域的对地观测卫星越来越多。遥感的应用分析正从定性分析转向定量分析,遥感数据已成为地理空间数据更新的主要数据源,遥感数据产品已呈现出高/中/低空间分辨率、多光谱、高光谱、合成孔径雷达共存的趋势。同时,遥感数据快速处理系统不断涌现,连续立体模型成为新的数据产品形式。

3) 地理信息处理与管理

地理信息处理与管理目前正朝着自动化、智能化方向发展,三维空间数据处理和管理已成为主要的研究内容,以网格计算、云计算(cloud computing)为代表的地理信息系统解决方案也不断涌现。美国和欧洲的网格地理信息系统(grid GIS)技术处于国际领先地位,国际地理信息系统处理和管理软件仍以ArcGIS和Oracle为主。海量空间数据管理方式也发生了巨大变化,三维空间数据管理已成为技术发展重点,美国率先推出了一系列基于网络与影像的大型数据管理与服务系统,如Google Earth、Skyline、Virtual Earth、World Wind、ArcGlobe。

4) 地理信息服务

地理信息服务正朝着覆盖范围更大,服务形式更为灵活、更为网络化,服务内容精度更高、现势性更好的方向发展。在大型桌面GIS基础软件领域,美国仍独占鳌头。目前,全球大型桌面GIS主要采用美国的GIS软件。微软的必应地图(bing maps)和谷歌地图(Google maps)均可提供在线地图服务。同时,微软利用Silverlight技术还重组了地图应用工具,发布了街景图像。谷歌地球开发部则发布了新的API V2航空影像。用户可更为方便地得到自身所需的地理信息,获取到更多数据、影像及更好的服务。物联网、云计算等新技术的出现与发展已经为地理信息随时随地服务奠定了坚实的基础(国家测绘地理信息局,2012;李朋德,2012;宁津生和王正涛,2012a,2012b,2014)。

2. 我国测绘地理信息科技发展现状及趋势

近年来,我国测绘地理信息科技攻关和自主创新取得了重大成果,在地球重力场、高精度定位导航等技术领域取得重大突破,建立了地心坐标系统CGCS2000,极大地促进了测绘基准体系由二维向三维、由静态向动态、由参心向地心的转变。数字航摄仪、机载合成孔径雷达系统、大面阵大重叠度航空数码相机、低空无人飞行器航空摄影系统等数据获取装备研制成功并已投入生产。遥感影像压缩质量验证、影像仿真、卫星地面检校等卫星测绘技术取得重大进展。目前,已开发了地理信息三维虚拟现实系统、遥感图像综合处理系统、机载激光雷达数据处理系统、数字摄影测量网格系统、高分辨率遥感影像数据一体化测图系统等数据处理系统,实现了从地理信息数据获取到输出全程数字化。突破了数据保密处理等数据管

理与服务关键技术,研制了自主知识产权的公众版国家地理信息公共服务平台“天地图”、基础地理信息时空数据库管理系统(database management system, DBMS)、国务院全国空间信息系统等大量应用系统,为拓展和深化基础地理信息数据应用奠定了坚实的技术基础。同时,开展了百余项国家 863、973、支撑计划等重点科研项目(国家测绘地理信息局, 2012; 李朋德, 2012; 宁津生和王正涛, 2012a, 2012b, 2014)。

1.3 现代测绘地理信息的重大科技任务

为了全面提升我国测绘地理信息科技自主创新能力,国家设立了一批重大地理信息科技任务,为我国正在和将要实施的重大测绘工程提供了技术支撑和技术储备,从而带动我国测绘地理信息科技的整体发展。

1) 地理国情监测关键技术研究与应用示范

地理国情监测是拓展我国测绘地理信息事业发展空间的重要途径(库热西·买合苏提, 2014)。地理国情监测需综合利用遥感对地观测技术、GIS、导航定位技术及网络通信技术,对地理国情监测对象体系及地理国情监测单元划分方法进行研究;开展基础地理国情监测技术研究,形成基础地理国情监测的分类指标体系、监测技术及建库技术;开展多尺度自然地理要素与人文地理要素的监测、特征识别及空间演化分析技术研究,并研发专题地理要素监测工具集;构建我国地理国情监测技术平台;在全国典型地区开展多层次、多类型的地理国情监测应用示范,以此来全面提升我国地理国情监测能力(国家测绘地理信息局, 2012)。

健全监测数据的发布和共享机制,能促进监测成果的及时转化和广泛利用,从而为国家各级政府进行决策和制定政策提供依据,为经济、人口、农业、国土、水利、环境等相关部门提供公共基础数据和共享平台(国家测绘地理信息局, 2015)。

2) 国产测绘卫星应用关键技术研究与应用示范

结合国家空间基础设施规划、国家高分辨率对地观测系统重大专项及资源三号卫星应用系统建设,开展全天候、全球化、多数据源、高分辨率卫星测绘技术体系研究;开展光学立体测图卫星、干涉雷达卫星、激光测高卫星及重力卫星等测绘卫星技术指标论证;开展国产卫星测绘应用关键技术研究,包括国产测绘卫星调度管理技术、高精度定标技术、高精度立体测绘技术、卫星影像质量分析与地面几何检校、卫星影像高精度几何、辐射处理、卫星产品生产质量控制与产品质量评价、多源遥感数据同化技术,以及测绘卫星应用和服务的数据密集型高性能计算技术等,形成卫星测绘应用技术体系并开展应用示范,形成大规模数据处理和服务能力(国家测绘地理信息局, 2012)。

全面完成国家现代测绘基准体系基础设施建设一期工程,加强对 GNSS 连续运行跟踪站的统筹和升级改造,建成全国卫星导航定位基准服务系统。加快形成全国统一的现代测绘基准服务“一个网”并向社会提供导航与位置服务,与有关部门和单位合作建设北斗地基增强系统,加快我国北斗南极基准站建设和应用。完成资源三号卫星应用系统建设,形成数据获取、处理、推广、应用的业务能力,做好航空航天遥感影像数据源保障和项目绩效评估(国家测绘地理信息局, 2015)。

3) “天地图”地理信息公共服务关键技术研究

围绕我国当前公共服务平台——“天地图”,结合国家、省、市等地理信息公共服务目