

中国测绘学科发展蓝皮书

(*2015—2016* 卷)

中国测绘地理信息学会 编



测绘出版社

中国测绘学科发展蓝皮书

(2015—2016 卷)

中国测绘地理信息学会 编

测绘出版社

· 北 京 ·

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

中国测绘学科发展蓝皮书. 2015—2016 卷 / 中国测绘
地理信息学会编. — 北京: 测绘出版社, 2016. 11
ISBN 978-7-5030-3994-2

I. ①中… II. ①中… III. ①测绘学—进展—中国—
2015—2016 IV. ①P2-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 240579 号

责任编辑	赵福生	封面设计	李 伟	责任校对	吴晓娟	责任印制	陈 超
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83543956(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号				010—68531609(门市部)		
邮政编码	100045				010—68531363(编辑部)		
电子邮箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	三河市博文印刷有限公司			经 销	新华书店		
成品规格	210mm×297mm						
印 张	19.25			字 数	576 千字		
版 次	2016 年 11 月第 1 版			印 次	2016 年 11 月第 1 次印刷		
印 数	0001—1600			定 价	60.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-3994-2

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

《中国测绘学科发展蓝皮书》

(2015—2016 卷)

编辑委员会

- 主 编：**李维森 中国测绘地理信息学会理事长
宁津生 中国测绘地理信息学会教育工作委员会主任(院士)
- 副 主 编：**陈俊勇 中国测绘地理信息学会副理事长(院士)
李德仁 中国测绘地理信息学会副理事长(院士)
- 编 委：**杨元喜 西安测绘研究所(院士)
李建成 武汉大学(院士)
龚健雅 中国测绘地理信息学会摄影测量与遥感专业委员会主任委员(院士)
王 倩 中国测绘地理信息学会副秘书长
白贵霞 中国测绘地理信息学会大地测量与导航专业委员会主任委员
孙 群 中国测绘地理信息学会地图学与地理信息系统专业委员会主任委员
陈品祥 中国测绘地理信息学会工程测量分会主任委员
汪云甲 中国测绘地理信息学会矿山测量专业委员会主任委员
齐维君 中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会主任委员
刘若梅 中国测绘地理信息学会地理国情监测工作委员会主任委员
欧阳永忠 中国测绘地理信息学会海洋测绘专业委员会副主任委员
方剑强 中国测绘地理信息学会地籍与房产测绘专业委员会副主任委员
- 组稿编辑：**苏文英

前言

为贯彻科教兴国战略和可持续发展战略,促进学科发展和学术繁荣,中国科学技术协会自 2002 年起每年组织编写一本反映上一年度学科发展基本情况的文献资料性大型工具书——学科发展蓝皮书。中国测绘地理信息学会作为中国科学技术协会的组成部分,始终参与了这项工作并承担有关测绘内容的组织编写,以体现测绘学科在整个科学丛书中的一席之地。与此同时,按照中国科学技术协会对组织编写学科发展蓝皮书的统一要求,并结合我国测绘学科的特点和发展需要,从 2003 年起按年度连续编印了《中国测绘学科发展蓝皮书》,在测绘出版社的大力支持下予以公开出版发行。

自 2006 年开始,中国科学技术协会决定将《学科发展蓝皮书》的编制工作拓展为“学科发展进展研究与发布活动”,并定期(隔年)编辑发布由各学科报告集成的《学科发展研究报告》。中国测绘地理信息学会被中国科学技术协会选为参与此项研究和发布活动的学会之一,并负责编写其中的《测绘学科发展研究报告》。《中国测绘学科发展蓝皮书》仍继续编辑出版。

《中国测绘学科发展蓝皮书(2015—2016 卷)》内容总体上分为六大部分:第一部分是学科发展综述,主要从测绘与地理空间信息的空间基准建设、获取技术、处理方法、服务方式和应用领域等几个方面论述测绘学科的进展,由宁津生院士牵头组织编写;第二部分是专业进展报告,由 9 个专题研究组成,分别论述了测绘学科的 9 个分支学科在近两年的发展现状和趋势,分别由中国测绘地理信息学会的 9 个专业委员会组织编写;其他还有科技成果介绍、期刊论文综述、分支机构篇、国际测绘交流等内容。本书以科技“创新”思维为编写宗旨,以两年实际完成的重大科技成果为依据,总结各个专业发展的基本情况,实事求是地、客观地反映学科发展中具有影响作用的新生长点,展示学科进展的阶段性动态趋势,向各级领导和广大科技工作者提供学科发展动态和国内外科技进展方面的文献资料,促进学科发展、人才成长和科技进步。

《中国测绘学科发展蓝皮书(2015—2016 卷)》的编写将更进一步突出学者和专家的优势作用,坚持科学与求实的原则,使本书更加具有参考依据和权威性。

编 者

2016 年 11 月

目 录

A 学科发展综述

2015—2016 测绘学科发展综合报告 宁津生(3)

B 专业进展报告

大地测量与导航专业发展研究

..... 中国测绘地理信息学会大地测量与导航专业委员会(31)

摄影测量与遥感专业发展研究

..... 中国测绘地理信息学会摄影测量与遥感专业委员会(39)

地图学与地理信息系统专业进展状况

..... 中国测绘地理信息学会地图学与地理信息系统专业委员会(52)

工程测量专业发展状况 中国测绘地理信息学会工程测量分会(70)

矿山测量专业发展研究 中国测绘地理信息学会矿山测量专业委员会(85)

地籍与房产测绘专业发展研究

..... 中国测绘地理信息学会地籍与房产测绘专业委员会(93)

海洋测绘专业发展状况 中国测绘地理信息学会海洋测绘专业委员会(101)

测绘仪器设备进展情况 中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会(111)

地理国情监测进展情况 中国测绘地理信息学会地理国情监测工作委员会(122)

C 科技成果介绍

嫦娥一号全月球地形图集 中国科学院国家天文台等(133)

全国第二次湿地资源调查 国家林业局调查规划设计院(135)

《三峡库区地图集》情况介绍 重庆市地理信息中心等(137)

亚洲地下水系列图(中文版、英文版)

..... 中国地质科学院水文地质环境地质研究所等(139)

上海市地址数据库建设与应用 上海市测绘院(141)

上海轨道交通 11 号线工程建设综合测量 上海市测绘院(143)

辽宁省农村集体土地登记发证工作全省 0.2 m 分辨率航空影像获取和 DOM 制作项目

..... 辽宁省基础测绘院等(145)

浙江省滩涂资源调查 浙江省河海测绘院等(150)

武汉市主城区 1 : 500 地形图更新与时空地理信息建库 武汉市测绘研究院(152)

杭州市萧山区地名文化系列地图 杭州市勘测设计研究院等(154)

宁波市轨道交通 1 号线一期工程综合测量 宁波市测绘设计研究院等(156)

杭长客专精密控制测量 中铁第四勘察设计院集团有限公司(158)

D 期刊论文综述

《测绘学报》论文综述 《测绘学报》编辑部(163)

《遥感学报》论文综述	《遥感学报》编辑部(169)
《武汉大学学报·信息科学版》论文概述 ...	《武汉大学学报·信息科学版》编辑部(171)
《国土资源遥感》论文综述	《国土资源遥感》编辑部(177)
《测绘科学》论文综述	《测绘科学》编辑部(180)
《测绘科学技术学报》论文综述	《测绘科学技术学报》编辑部(185)
《测绘通报》论文综述	《测绘通报》编辑部(189)
《遥感信息》论文综述	《遥感信息》编辑部(196)
《海洋测绘》论文综述	《海洋测绘》编辑部(201)
《地理空间信息》论文综述	《地理空间信息》编辑部(206)

E 分支机构篇

大地测量与导航专业委员会	(211)
摄影测量与遥感专业委员会	(215)
地图学与地理信息系统专业委员会	(219)
工程测量分会	(222)
矿山测量专业委员会	(227)
地籍与房产测绘专业委员会	(231)
海洋测绘专业委员会	(234)
测绘地理信息仪器装备专业委员会	(238)
地理国情监测工作委员会	(243)
发展战略工作委员会	(245)
测绘学名词审定工作委员会	(247)
科学普及工作委员会	(251)
教育工作委员会	(253)
《测绘学报》编辑工作委员会	(255)
测绘史志工作委员会	(257)
科技信息网分会	(259)
咨询工作委员会	(262)
注册测绘师工作委员会	(264)
产品质量工作委员会	(268)
卫星测绘应用工作委员会	(270)
测绘地理信息电子商务工作委员会	(273)

F 国际测绘交流

2014—2015 年国际测绘交流活动纪事	(277)
赴马来西亚参加第 25 届国际测量师联合会大会总结报告	(278)
赴保加利亚参加国际测量师联合会 2015 年工作周会议总结报告	(283)
赴捷克参加第 26 届国际大地测量与地球物理联合会总结报告	(290)
赴巴西参加第 27 届国际地图制图大会总结报告	(294)

2015—2016 测绘学科发展综合报告



学科发展综述

2015—2016 测绘学科发展综合报告

宁津生

一、引言

经过改革开放以来近 40 年的建设和发展,我国国家整体实力显著增强,正在实施政治、经济、外交等多方位全球战略,作为世界大国和强国,世界正赋予我国更多的期待和使命。测绘地理时空信息已成为支撑国家重大战略、重大决策全面实施的基础信息,也是保障国土安全和国家利益拓展的重要基石。当前,已逐渐形成以“全球统一时空基准→全球对地观测→多元(源)时空信息融合处理→多维时空环境认知与仿真→时空信息网格(云)服务”为主线的多学科交叉与融合发展态势,测绘学科从单一学科走向多学科的交叉,其应用已扩展到与空间分布信息有关的众多领域,传统的测绘学演变为包括全球导航卫星系统、航天航空遥感、地理信息系统、网络与通信等多种科技手段的测绘与地理信息学科。我国提出了“加强基础测绘,监测地理国情,强化公共服务,壮大地信产业,维护国家安全,建设测绘强国”的总体战略目标,中国测绘已由生产型测绘向服务型测绘转变、由事业型测绘向管理型测绘转变、由主要依靠政府推动发展向依靠政府和市场两种力量推动发展转变、由单一地图及地理信息数据生产服务向网络化综合性的地理信息服务转变。测绘与地理信息工作与政府管理决策、企业生产运营、人民群众生活的联系更加紧密,各方面对测绘与地理信息服务保障的需求更加旺盛,测绘与地理信息的内涵开始转型升级,从传统的测绘技术条件下的数据生产型测绘转型升级为信息服务型测绘与地理信息,从计划经济时代沿袭的传统测绘体制转型升级为适应社会主义市场经济的测绘与地理信息体制机制。鉴于测绘与地理信息的战略地位,世界各国纷纷加强测绘与地理信息资源建设,加快卫星导航定位、高分辨率遥感卫星等技术的进步升级,推动云计算、物联网、移动互联、大数据等高新技术与测绘和地理信息的深度融合,提升地理国情信息处理、分析、提供的速度、效率和能力,重点强调以数据获取实时化、处理自动化、服务网络化、产品知识化、应用社会化为主要特征的信息化测绘体系建设,着力构建以现代化装备设施为核心的信息化测绘体系,加快推动测绘与地理信息技术体系尽快由数字化向信息化转型升级。因此,2015—2016 年我国测绘与地理信息相关学科发展迅猛。

本综合报告对 2015—2016 年我国测绘与地理信息学科的发展进行评述和归纳,回顾、总结和科学评价我国近几年测绘与地理信息学科的新观点、新理论、新方法、新技术及新成果等发展现状,结合 2015—2016 年测绘重大专项,对若干关键技术进展进行凝练,简要介绍本学科在学术建制、人才培养、研究平台、重要研究团队等方面取得的进展,并结合本专业有关国际重大研究计划和研究项目,分析比较国际上本学科最新研究热点、前沿和趋势,评析上述专业国内外的动态。根据 2015—2016 年测绘与地理信息学科发展现状,对比国内与国际测绘学科技术发展差距,分析我国测绘与地理信息学科未来 5 年发展战略和重点发展方向,提出相关发展趋势和发展策略。

二、本学科近年的最新研究进展

(一)测绘学科最新理论与技术研究进展

1. 大地测量与卫星导航定位

现代大地测量学与地球科学、空间科学和信息科学等多学科交叉,不断拓展了大地测量学科的内涵与外延。随着卫星导航定位技术的迅猛发展,尤其我国北斗导航系统的广泛应用,极大地推动了大地测量与导航领域的快速发展。

随着国家“十三五”规划启动,大地测量与导航结合国家发展规划,不仅是在推动学科自身发展的基础研究与应用基础研究方面,还是与相关学科的交叉发展及新应用领域的拓展方面,都取得了长足的进步和显著的成就,对社会和经济发展产生了重要影响。随着航空航天技术、计算机技术、网络技术和通信技术的发展,我国在基准与参考框架、导航与定位、重力与大地水准面、数据处理与地球动力学等方面研究,保持与国际同步,甚至在某些领域领先国际水平。

1) 基准与参考框架维护

国家现代测绘基准建设顺利推进,国家 GNSS 连续运行基准站网、国家 GNSS 大地控制网、国家高程控制网、国家重力基准点和国家测绘基准数据系统五个单项建设工程通过新建、改建和利用的方式,建立了地基稳定、分布合理、利于长期保存的测绘基础设施。我国现代大地测量基准体系已逐渐具备高精度、涵盖全部陆海国土、三维、动态的能力,最终将建成几何基准和垂直基准一体的高精度、三维、动态的现代大地基准体系。

全国基准站网是建立和维持国家和省市级区域高精度、动态、地心、三维坐标参考框架的现代化基础设施,国家基准站和全国范围内 31 个省市自建基准站、基准工程站、927 基准站和陆态网络基准站,完成了基准系列服务产品和全国联合网解算、整体平差。为维持 CGCS2000 稳定性、动态性和精确性,在 CPM-CGCS2000 20 个 II 级块体模型及已获得的中国地壳运动观测网 1 025 个站点速度的基础上,综合采用反距离加权法、欧拉矢量法、块体欧拉矢量法、有限元插值法、最小二乘配置法建立了全面、精确、稳定可靠的中国大陆 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 格网速度场模型;在 CGCS2000 框架非线性研究方面,利用全球 IGS 站多年的观测数据,基于具有良好的自适应算法的奇异谱分析方法进行建模和分析,提出了 SSA-IQR 粗差探测方法和 SSA-P 时间序列预报方法,结合改进的 SSA-M 数据插值方法和 MEM 功率谱方法完成了全球框架及 CGCS2000 非线性速度场的建模。

2) 导航与定位

我国的北斗系统除不断完善改进自身卫星性能外,还着力发展北斗系统的地面基准站布网、地面数据处理中心等相关发展,推广北斗系统创新应用,并与多个国家开展卫星导航领域的国际合作。同时,正在建设北斗全球系统,2015 年开始实施北斗全球系统的组网任务,到 2016 年 3 月底,北斗卫星导航系统已成功发射 22 颗在轨卫星。北斗导航卫星系统(BDS)已具备在亚太地区区域导航定位能力,2020 年服务范围将覆盖全球。北斗导航系统是目前唯一全星座所有卫星都具有三频相位和三频伪距,6 种原始观测数据的卫星导航系统,兼具 RNSS+RDSS 两种定位方式,即兼容被动式和主动式两种定位;在亚太区域内基本导航系统和天基增强系统的一体化设计,既简洁又可靠,并具有 120 个汉字的短消息通信功能,能与互联网互通。北斗地基增强系统通过播发信号的误差改正数对北斗卫星导航系统的精度和可靠性进行增强,并与其他 GNSS 系统的地基增强系统兼容,向用户提供米级、亚米级、分米级、厘米级精度的定位和导航增强服务。北斗卫星导航系统建设,正在加紧通过数据中心和分析中心等各类中心建设,对外免费提供基准系列产品(GNSS 卫星精密轨道、钟差、坐标、对流层、电离层),促进 BDS 地面及用户部分发展与应用。与北斗卫星导航系统的发展相适应,为加快推进北斗系统的产业化,北斗 CORS 网的研究与建设成为当前北斗发展的重要领域之一。BDS 与其他 GNSS 系统和技术组合维护 CGCS2000 坐标系的相关研究已具有一定的研究基础,但仍需进一步完善 CGCS2000 维持技术,精化相关模型。

随着卫星导航与位置服务产业的发展,用户对室内外高精度无缝导航定位需求迫切。我国在广域实时精密定位技术与示范系统、大型建筑物复杂环境室内定位关键技术等方面取得了重大突破,分别实现了全国范围室外优于 1 m、室内优于 3 m 的定位精度,并成功开展了应用示范。国内的协同精密定位平台正在积极构建,基于协同时精密定位技术构建的广域室内外高精度定位导航系统,即“羲和计划”正在开展,开辟了覆盖我国的国家室内外协同时精密定位系统的先河。2014 年,开展了基于协同精密定位监测技术研究,成功搭建一套实时以北斗/GNSS、移动通信、互联网和卫星通信系统为基础的移动、建筑物等监测系统。2015 年,利用当下手机网络技术,结合实时 GNSS 数据,建立了一套基于智能手机的协同定位平台及服务软件,该技术实现了大众用户室外定位精度 1 m。

3) 重力测量与地球重力场

近年来,我国航空重力测量在测量设备引入、自主研制、试验以及工程应用等方面得到了较快发展。2007年我国有关部门首先引进2套加拿大微重力公司GT-1A航空重力仪,随后2012年引进了加拿大微重力公司的GT-2A型航空重力测量系统,该系统为我国目前引进的测量精度最高的一款航空重力测量系统,测量精度可达到0.6 mGal。2016年3月份,国内组织了“高精度重力测量仪器研制与比对校准技术研讨会”,与其举办的第一届亚太区域绝对重力仪比对活动同期举行。我国研制设计的NIM-3A型绝对重力仪与T-2参加了2013年瑞士计量院主办的第九届全球绝对重力仪比对,获得较好比对结果。国内还没有用于测量重力梯度空间张量的仪器设备,但是高精度加速度计样机已达到 $0.2\mu\text{g}$ 的水平,在高精度多级温控条件下加速度计的精度达到了 $2.3\mu\text{g}$ 。迄今为止,国内发展起来的航空重力测量系统均属于标量重力测量技术,硬件技术主要依靠进口,航空矢量重力测量系统仍处于样机实验阶段。

对航空重力测量相关技术的研究主要集中在载体运动参数确定、噪声过滤和向下延拓等方面。前者研究是利用GPS确定载体运动加速度、依据载波相位变率直接计算加速度;后者研究目前还处于探索之中,例如在台湾地区利用连续小波函数对模拟数据进行了分析。我国的CHAGS系统使用了级联式FIR和巴特沃斯滤波器,有效降低了航空重力中的低频噪声。

国内外多个机构在重力卫星CHAMP、GRACE和GOCE发射后发布了上百个全球重力场模型,针对不断增加的重力数据,重力场模型构建技术也不断完善。我国在理论模型的改进、更高精度和更完善的卫星重力模型、地面重力数据全球覆盖生成方法、卫星测高观测数据的精密处理新技术,以及超大规模计算技术的开发等方面,都开展了大量的研究。同时,也开展了大量的重力卫星研究工作,并在计划发射重力卫星。

精密的大地水准面数字模型成为高程测量现代化的关键基础设施,可从根本上改变高程基准的维持模式和高程测定的作业模式。我国最新的陆地重力似大地水准面CNGG2011模型,是利用全国重力数据、 $7.5'\times 7.5'$ SRTM数值地面模型资料和卫星测高资料反演的格网海洋重力数据,依据Stokes-Helmert理论和方法解算得到。目前, $2'\times 2'$ 陆地重力似大地水准面CNGG2013已初步成型。与GNSS水准比较,全国的平均精度由原来的 $\pm 12.6\text{ cm}$ 提高到 $\pm 10.9\text{ cm}$,特别是青藏地区的精度显著提高,从 $\pm 21.9\text{ cm}$ 提高到 $\pm 15.6\text{ cm}$ 。在重力似大地水准面构建上,采用“局部地形影响+模型重力场”组合移去恢复法计算,得到的重力似大地水准面经GNSS水准外部检核,实现了13个省市在厘米级精度上无缝衔接。

4) 大地测量数据处理

大地测量数据处理方面,研究了复数域中数据处理的最小二乘方法,将测量平差从实数域推广到复数域。针对系数矩阵和观测值同时含有误差的问题,开展了广泛的整体最小二乘法研究,提出了附有相对权比的整体最小二乘法、稳健整体最小二乘法、病态整体最小二乘法、基于PEIV模型的整体最小二乘法、附不等式约束的整体最小二乘法。此外,在先验信息利用、粗差探测、不适定问题及动态测量数据处理等领域均取得了新的进展。例如,在先验信息利用方面,研究了不等式约束平差方法;在粗差探测方面,提出了基于后验概率和分类变量的Bayes粗差探测方法、基于等效残差积探测粗差的方差-协方差分量估计法等;在不适定问题研究方面,提出了基于信噪比的正则化方法、双参数正则化方法等新方法;在动态测量数据处理方面,提出了两步自适应卡尔曼滤波方法(Kalman filtering method)、自适应抗差滤波算法和附有条件约束的抗差Kalman滤波法。

在基于云计算的大规模GNSS数据处理方面,利用分布式技术解决了地球参考框架和大地网高效处理、CORS领域、重力场模型计算、大规模GNSS网平差以及大规模GNSS基准站网数据处理等相关复杂问题的求解;在云计算云存储方面,出现了卫星导航“位置云”概念。国内学者将算法应用于大型GNSS数据的处理,研制的多线程、并行高精度实时定位软件,在地震监测、交通运输等领域实现一定规模的应用,将两者结合理论上可解决大规模GNSS数据处理中任务分解型多处理器分布式并行计算的关键问题。

5) 地球物理反演与地球动力学

大地测量地球物理反演方面在数据获取、模型构建、反演算法设计及地球物理解释等 4 个领域,尤其是在高频 GNSS 数据在自然灾害预警中的应用及 InSAR 技术在活动断层识别和监测等领域取得了长足进展。大地测量应用于地震方面,在垂直向及水平向地壳形变监测、构造运动学和地球动力学、地震孕育机制和破裂过程、强地面运动监测和地震预警、地震孕育和发生等 5 个领域,尤其是在 GNSS 和 InSAR 技术结合提取垂向运动和重力监测地震异常等领域均取得了新的进展。在地球动力学方面,以大地测量与导航技术为手段,以数据处理为核心,以地球科学服务为宗旨,开展了固体潮、地球转动、地壳形变、冰川与海平面变化、地球构造和地震等相关领域的数据处理研究。天文地球动力学方向,在观测设备和技术、软件系统设计、资料分析技术及应用、天球参考系等 4 个领域均取得了长足进展,尤其是在北斗导航系统中的应用及大天区统一平差等领域。

2. 摄影测量与遥感

近年来,摄影测量与遥感多种传感器和遥感平台出现并逐渐成熟,遥感数据获取能力不断增强,形成了以多源、高分辨率为特点的高效、多样、快速的空天地一体化数据获取手段;航空航天遥感正在朝“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)方向发展;遥感的应用分析正在由定性转向定量,观测对象也由境外向全球拓展、由陆地向海洋拓展、由地球向深空拓展,实施全球测图和深空测绘。近两年摄影测量与遥感专业技术进展体现在以下几方面。

1) 对地观测技术

对地观测数据获取的空天地一体化和全球化,是世界各国一直追求的目标。我国除北斗导航系统正在实现由扩展的区域导航系统向北斗全球导航系统过渡外,还启动了高分辨率对地观测系统工程,发射了天绘一号测绘卫星和资源三号测绘卫星,并陆续发射“高分”系列对地观测卫星,已成为我国测绘数据获取的主要手段。高分四号卫星作为我国第一颗地球同步轨道遥感卫星,通过指向控制,实现对中国及周边地区的观测,与此前发射的运行于低轨的高分一号、高分二号卫星组成星座,具有高时间分辨率和较高空间分辨率,已成功实现了全色 0.8 m、多光谱 3.2 m 的空间分辨率和 45 km 的观测幅宽,表明我国在卫星遥感领域达到了国际先进水平,具备获取全球高空间分辨率地理空间信息的能力。

在航空摄影测量方面,无人机遥感以其全天时、实时化、高分辨率、灵活机动、高性价比等优势,在农业、生态环境、新农村规划建设、自然灾害监测、公共安全、水利、矿产资源勘探、测绘等国民经济及社会发展各个领域发挥了重要作用,成为继卫星遥感和有人通用航空遥感技术之后的新兴发展方向。无人机遥感测绘系统发展趋势,主要体现在高性能、高可靠性、长航时、搭载多传感器等方面;其次是向微小化发展,主要体现在轻便易携、易学易用、单人操作等;最后通过与其他技术集成应用,体现在空地一体化测绘遥感系统装备、测绘地理信息应急监测车、土地执法巡查车等方面。

关于高光谱遥感传感器研制与信息获取技术,机载成像光谱仪商业化水平不断推进,应用领域持续拓展。近年来无人机高光谱遥感受到了业界的高度重视,表现出良好的技术优势和发展潜力。目前,我国在 HJ-1A、嫦娥一号和天宫一号等探测系统中都搭载了成像光谱仪。此外,预计在发射的高分五号装有甚高光谱分辨率探测仪和多部大气环境和成分探测设备,可以间接测定 PM_{2.5} 的气溶胶探测仪,实现纳米级光谱差异探测。大气环境红外甚高光谱分辨率探测仪是高分五号卫星的主载荷之一,也是我国首个星载超高光谱卫星探测载荷,通过对温室气体、臭氧等成分和浓度的探测,为气候变化研究和大气环境监测提供科学依据。

2) 无地面控制点测图

近些年来我国紧随欧美等发达国家,在无地面控制条件下遥感数据直接定位技术、地物光谱辅助目标自动识别与图像判读技术、空间遥感“像素工厂”模式 DSM/DOM 智能获取技术、倾斜摄影相机多角度对地成像全自动快速三维建模技术的研究上,取得了卓有成效的研究成果。无地面控制测图这一技术难题正逐步被攻克。我国自主研发的三线阵测绘卫星“天绘一号”和“资源三号”,也实现了影像数据经过地面系统处理,在无地面控制点条件下,满足测绘全球 1:5 万地形图的精度要求。

3) 深空测绘

深空测绘与深空探测相伴而生,是深空探测科学活动的基础保障。中国实施了两次月球探测,都获得了圆满成功,先后获取了 120 m 分辨率全月图和大量科学数据、7 m 分辨率全月和 1.5 m 局部影像图等深空测绘资料。2010 年,中国利用嫦娥一号的 CCD 影像数据编制了目前同等分辨率(120 m)覆盖最全的《嫦娥一号全月球影像图集》,2012 年发布了目前覆盖最全的高分辨率影像图《嫦娥二号全月球 7 米分辨率影像图》和《嫦娥二号高分辨率月球影像图集》。中国的《嫦娥一号全月球地形图集》是继《嫦娥一号全月球影像图集》之后,采用嫦娥一号探测器 CCD 立体影像通过摄影测量方法获取的全月球数字高程模型(DEM)数据制作而成,DEM 数据的空间分辨率为 500 m,平面中误差为 192 m,高程中误差为 120 m。

4) 合成孔径雷达(SAR)

目前,我国 SAR 系统正在向着高分辨率、多基线、多波段、多极化、多工作模式、小型化、轻型化方向发展。随者 SAR 硬件系统的不断升级和相关软件的不断更新,SAR 系统的实时处理能力不断提高。阵列天线 SAR 系统的研制,将构建新型的三维空间信息获取装备,有效增强 SAR 数据获取能力和三维信息重建能力。国内由多家研究单位联合研制的我国首套机载多波段多极化干涉 SAR 测图系统(CASMSAR),能够实现 1:5 000 到 1:5 万比例尺测绘。地基 SAR 成像系统也得到了迅速发展,通过合成孔径技术和步进频率技术实现在方位向和距离向的高空间分辨率成像,地基 SAR 成像系统视线向位移测量精度可达到 0.1 mm。

5) 激光雷达

近年来,激光雷达(LiDAR)技术发展迅猛。根据所搭载平台的不同,该技术可以分为星载激光雷达、机载激光雷达、车载激光雷达和地面激光雷达。其中机载 LiDAR 系统及其数据处理技术发展较为成熟,目前已广泛用于大范围高精度数字地面模型和数字表面模型的建立等;车载 LiDAR 系统则侧重于获取高精度的数字城市道路及建筑物立面信息,主要用于道路环境与城市街景建筑物立面的快速重建;地面 LiDAR 系统较之机载、车载 LiDAR 系统,能获得到地面目标高精度、高细节层次的几何数据,大量用于文化遗产、古建筑重建等;星载 LiDAR 具有运行轨道高、观测视野广的特点,对大范围覆盖的地物的监测意义重大,在天体测绘、极地冰盖研究、林业资源调查、大气成分和结构测量、海面高度等研究中得到广泛应用。

6) 多元(源)时空信息融合处理

广域时空信息是一种从时间和空间维度记录、表达现实世界的数据集。由于获取手段、获取能力、应用目的的差异,使得时空信息普遍具有来源多样、类型丰富、模型异构、质量不均、多尺度、多时相、多语义等特点,给时空信息的集成、共享及复用带来诸多困难和问题。时空信息融合是解决该问题的有效方法,通过融合处理弥补多源时空信息存在的不足,并有效提高数据质量和现势性,从而提高时空信息的使用效率、扩大时空信息的应用范围。目前关于时空信息融合处理的研究主要集中在多源遥感影像融合处理、矢量时空数据融合处理、影像与矢量空间数据的融合处理、互联网时空大数据融合处理等方面。

3. 地图制图与地理信息工程

近年来这一学科领域的研究主要集中在现代地图学理论、数字地图制图、地理信息系统、地理信息基础框架、移动地图与网络地图、多维时空环境认知与仿真等六个方面。

1) 现代地图学与地理信息科学

在以云计算、大数据和智慧地球等新概念、新架构和新方法的推动下,地图和地图学本身的概念内涵和外延在不断的演化中,出现了全息位置地图、智慧地图和新媒体地图等衍生新概念。在地图学与地理信息相关理论研究方面,空间认知理论、地图传输理论、地图语言学理论等研究取得了若干进展,初步建立一个具有解释和预测功能的完备理论和方法论体系,形成地理信息科学。

2) 数字地图制图与制图综合技术

数字地图制图技术目前正朝着以地理空间数据库驱动的制图模式发展,采用先进的数据库驱动制

图技术和方法,实现了地理信息数据与制图数据的统一存储、集成管理和同步更新。基础地理信息持续更新促进了动态更新、增量更新、级联更新以及实时更新等技术的发展。在制图综合研究方面,新方法层出不穷,如将传统的尺度变换方法与在线环境相结合的多尺度可视化策略,动静态结合本国的尺度变换模型。空间数据安全与数字水印方面出现了若干新技术,如面向网络环境的地理空间数据数字水印模型、矢量地图的非盲数字水印算法等。

3) 地理信息系统

在空间数据感知、获取与集成方面,主要在网络空间数据的获取、常规空间数据获取方法的完善、DEM 空间数据插值、空间数据集成等方面取得进展。对时空数据组织与管理的研究,主要集中在时空模型构建,空间关系查询、索引和处理,空间拓扑构建和拓扑检查。此外,还有在数据编码、数据压缩、离散格网及地址信息编码等方面取得一系列研究成果。地理表达与可视化方面的研究则集中于自动制图与矢量数据可视化、三维建模可视化、经济社会事件可视化等方面。

4) 地理信息基础框架建设与服务关键技术

地理信息基础框架建设与服务关键技术获得突破,基础地理信息数据库规模化动态更新和制定形成了一系列的技术方案与标准规范,研发了相应的生产和管理软件系统,建立了一套适用于规模化动态更新工程的技术体系,解决了跨尺度和跨类型数据库之间的基于增量更新技术的工程化应用推广的难题,实现了跨数据库联动更新技术工程化应用,构建了基础地理信息的要素级多时态数据库模型,实现不同版本之间同名要素的自动关联,以及自动变化提取和统计分析。基于增量式入库模式,实现了三个尺度、四种类型、多个现势性版本的国家基础地理信息集成建库,以及基于 C/S 架构的动态管理和基于 B/S 架构的在线服务。

5) 移动地图与网络地图服务

随着网络地图应用的普及和新媒体地图的发展,产生了智慧地图(或称智能地图)、公众参与地图、全息地图等地图新概念,提出了混搭地图、众包地图、个性化地图等在线地图服务的新模式,探索了面向地图的多模态人机交互模式,包括语音、手写、手势、表情感知等,也包括对位置、方位、速度的智能感知与服务驱动。在网络地图设计与表达方面,探讨了基于视觉感受的网络多尺度表达模型、基于个性化表达的网络地图符号设计模型和基于认知实验的旅游网络地图符号设计模型。在移动地图设计与表达方面,提出了基于情景体验的移动地图情景模型、基于用户需求的移动地图自适应表达模型和基于邻近区域的移动地图变比例尺表达模型等,构建了适用于用户偏好的移动导航地图主动表达规则。在线地图中多尺度可视化方法是合理显示地图信息的重要手段,已很好地解决了由于显示屏幕不同造成的信息载负量差异问题。导航地图也从单一的导航平台到综合信息服务平台和社交平台转变,使地图适用范围更加广泛。

6) 多维时空环境认知与仿真

多维时空环境认知与仿真面向多维时空环境,试图从理论和技术层面解决环境中各类要素极其复杂关系的认知与分析。该领域的研究进展主要体现在人文建模与地缘认知、时空推理与认知计算及多维时空环境建模与仿真三个方面。在人文建模与地缘认知方面,出现了地缘经济、地缘文化、地缘资源、地缘科技等新领域,地缘环境认知的理论、方法与技术成为相应领域亟待解决的瓶颈问题,受到广泛关注;时空推理由时态推理和空间推理发展而来,当前国内外关于时空推理研究的内容主要包括时空对象的建模与知识表示、定性时空推理及时空推理应用等问题;多维时空环境建模与仿真的研究进展主要表现在地理空间信息网格、室内外一体化建模、地理环境视景仿真及地理增强现实四个方面。地理空间信息网格提出了不同形式的球面空间格网和球体空间格网;室内外一体化建模研究如何用一个有效的室内外一体化描述模型去统一表达各类室内外对象;地理环境视景仿真方面的技术研究主要在数字地球浏览软件的开发、分布式虚拟地理环境平台的建立及其与 GIS 的集成,并实现一体化与实用化;地理增强现实,近年来主要在移动增强现实系统组成、硬件系统构成、地理信息服务体系架构、应用于增强现实的地理空间数据库系统构建、地理环境跟踪识别与配准、大范围地理环境增强现实系统构建与表达等方面取得了显著进展。

4. 工程测量与变形监测

空间定位技术、激光技术、无线通信技术和计算机技术等新技术的发展与应用,极大地促进了工程测量技术的进步,使工程测量面貌发生了深刻变化,涌现了三维激光扫描仪、智能全站仪、全站扫描仪、磁悬浮陀螺仪、地质雷达、无人机、InSAR 等先进技术和装备。同时针对体量大、结构复杂、空间变化不规则和精度要求高等工程技术难题展开深入研究,在理论、方法和应用上取得了重大进展。近几年,工程测量在理论、方法与技术上的进展主要有以下几个方面。

1) 工程控制测量

将 GNSS 和全站仪相结合,快速建立工程控制网,形成了根据工程特点灵活建网的技术体系,如大比例尺测图控制网、高铁 CPⅢ 施工控制网和变形监测基准网等,全球导航卫星系统(GNSS)已成为布设工程控制网的主要技术方法。在高程控制方面,提出了精密三角高程测量系统、GNSS 和大地水准面精化模型代替高精度水准测量的理论与方法,解决大范围、长距离和跨海精密高程传递问题。随着完全自主知识产权的北斗卫星导航系统正式对亚太地区提供无源定位、导航、授时服务,北斗卫星导航系统在城市控制测量和复杂地形环境下的高精度控制测量方面得到了很好的应用,同时在轨道交通、变形监测、城市规划等高精度工程测量项目中,测量精度已能够满足工程测量精密定位要求。

2) 三维测量技术

地面三维激光扫描技术的测量能力、自动化程度、人工作业的劳动强度、测量速度、数据处理效率以及整体经济效益均明显地优于其他测量技术。在特征提取的研究中,针对点云数据散乱的特点,提出了不同的特征线提取方法;在表面重建方面,快速成型技术得到了广泛的应用,通过对 IPCM 算法进行改进,提出了自适应的切片方法,实现模型重建。在建模软件方面,将激光雷达和摄影测量二者有机结合,开展对数据融合技术、精细三维重建算法和海量数据管理方法等关键技术的攻关,研制了多源数据融合的精细三维重建系统。在海量精细空间数据管理方面,设计并实现了点云、数字影像、CSG 模型、3D-TIN 等模型的数据存储,提出了多级混合二、三维一体化空间索引技术,发明了点云数据的建模方法和深度图像数据处理系统,利用 GPU 硬件加速等技术实现了海量精细空间数据快速绘制。

3) 移动测量技术

移动道路测量系统通过机动车上装配的 GNSS、INS、数码相机、数码摄像机和激光雷达等设备,在车辆行进之中,快速采集道路及道路两旁地物的空间位置数据,特别适合于公路、铁路等带状地区的基础信息获取,在电子地图的制作与修测、城市三维建模等领域具有独特的优势。目前已成功研发出多个移动道路测量系统,多传感器集成与同步控制方法、基于惯性补偿的平整度测量算法、时间同步与空间同步等问题得以解决,形成了多传感器一体化、数据一体化、功能一体化的新兴测绘装备。移动测量技术已向多波段谱段成像方向发展,红外、高光谱、微波等波谱段的成像传感器逐步得到应用和发展,全景影像制作技术、图像模糊化处理技术已经取得阶段性成果。

4) 变形监测技术

以计算机技术、网络技术、电子测量仪器技术、传感器技术、通信技术为一体的变形监测系统发展迅速,基本取代了传统的变形监测方法。变形监测已进入了自动化、智能化和信息化时代,在几何学、物理学和计算机仿真学等多学科、多领域的融合、渗透下,向一体化、自动化、数字化、智能化等方向发展。通过多元传感器及测量设备的数据采集控制管理,实现多种自动化数据采集系统的通用性和兼容性;对多源海量实测数据进行融合处理、实时分析,实现科学、可靠的测值预报和安全性评估。物联网和云计算与自动化监测技术融合,有力地推动了测量工作的一体化、自动化和智能化。地面雷达遥感成像系统(GBSAR)技术不断得到发展,通过研究 GBSAR 监测信号中静杂波的产生原因、影响及其去除方法,利用 GBSAR 强度图像的配准方法提取变形信息。

5) 大型特种工程测量技术

提出了适用于月面环境的无高精度控制点的立体图像条带网定位方法,为嫦娥三号月面巡视探测器在月表实施科学探测任务提供了空间定位技术支撑;设计和实现了一种利用固定长度配合深度尺量高的方法,提高了三角高程测量精度,在大亚湾中微子实验工程中,解决了由于测区地势起伏,核电内路

线交通弯曲导致的高程测量精度低的问题;在港珠澳大桥沉管隧道工程中,综合利用 GNSS、声呐和倾斜仪测量技术,先后研发了深水碎石基床铺设测控系统、外海长距离沉管浮运测控系统和深水测量塔法沉管安装测控系统等沉管施工测控系统;运用全站仪、激光扫描、数字工业摄影测量等多种测量技术,圆满解决了 65 m 射电望远镜设计、制造、安装和校准全过程的测量难题,提出了一种无固定观测墩的精密施工控制网布设方法,克服了软土地质结构条件影响。将激光扫描技术引入 65 m 背架整体检测。

6) 矿山与地下工程测量技术

矿山测量以空间信息学和系统工程理论为基础,综合运用测绘遥感、地球物理、物联网等手段,观测并感知矿山全生命周期以及矿区全方位对象的几何、物理及其空间关系变化,处理并解决矿产资源保护、矿山开发优化、生产环境安全、开采沉陷控制、矿区生态修复等科学与技术难题。当前矿山测量正冲破传统认识,朝着由简单到复杂、由单一向多元化,以及由手工、半手工作业向数字化、自动化、智慧化方向迅速迈进。矿区变形监测技术,主要研究利用 SBAS、永久散射体技术等时序 InSAR 技术,发展了老采空区地表残余沉降监测地基稳定性评价技术,并综合利用 PPP、CORS 及三维激光扫描等技术进行矿山沉陷监测。在数字矿山空间信息集成建模与应用方面,研究提出了一批矿山三维空间模型、处理方法与分析方法,开发了系列软件,建立了数字矿山体系框架及其关键技术体系。此外,在地下工程测量技术方面,热红外遥感技术和超导量子干涉器 SQUID 进行管线探测技术得到发展,利用无人机搭载热红外成像仪探测长距离输油管道,研制完成了超导地磁图仪,能够对地下 15 m 以内空洞、PVC 和水泥管线进行探测。

5. 海洋与江河湖泊测绘

近两年来,海洋与江河湖泊测绘在海底地形地貌测量、机载海洋测绘、海岛礁陆海一体化测绘、海洋重磁测量、电子海图和数字海洋地理信息等六个技术领域取得较大进展。

1) 海底地形地貌测量

随着卫星导航定位、声学探测、数据通信、计算机数据处理与可视化、图像学和图形学以及现代测量数据处理理论和方法等相关领域的发展,我国的海底地形地貌信息获取技术正在向高精度、高分辨率、自主集成、综合化和标准化方向发展。在海域高精度定位方面,正在构建沿岸、海岛礁及邻近水域高精度 GNSS 定位系统,自 2015 年开始对我国沿海现有 22 座 RBN-DGPS 台站进行技术改造,将单一播发差分 GPS 信息的台站升级为兼容播发差分北斗信息的 RBN-DGNSS 系统,实现我国沿海 200 海里范围内 GPS 和北斗差分定位服务,并可向沿岸用户提供厘米级精度的北斗精密定位导航服务。随着卫星重力技术的发展,机载激光测深技术在海岛礁调查、岸滩水下地形地貌测量中的应用,以 AUV/ROV 为平台,搭载多波束测深系统、侧扫声呐系统和水下摄影系统于一体的深海海底地形地貌测量系统的出现,我国已初步形成从太空、空中、水面到水下全海域立体获取与深海高分辨率观测技术体系。关于海底地形测量数据精化处理技术,重点开展了验潮零点漂移检测及修订、环境因素和观测过程的动态特性影响与补偿方法研究,进一步完善和改进了深度基准面确定和多波束测深数据处理方法,研发了海道测量水位改正通用软件,研制了具有自主知识产权的多波束测深数据处理软件、侧扫声呐条带图像数据处理软件。

2) 陆海一体化测绘技术

在海域无缝垂直基准构建方面,以地球椭球面作为根本的海域无缝垂直基准面,建立了深度基准面与地球椭球面差异的数值模型——深度基准分离模型,开展了陆海大地水准面拼接、高程基准面与深度基准面转换、基于卫星测高数据提取潮汐参数和构建潮汐模型、基于重力位差实现跨海高程基准传递的理论与方法研究。在海岸带地形测量方面,提出了以潮汐预报和水位推算技术为基础的岸线确定方法以及基于卫星影像的岸线确定方法;解决了 GNSS 无验潮水深测量技术的瓶颈问题,验证了该系统实施高精度水深测量的可行性;研究了无人船全自动化测深、低空无人机航空摄影测量、三维激光扫描、机载 LiDAR 等测量技术,研发了船载多传感器水上水下一体化测量系统,建立了较为完整的海岸带水上水下一体化测量方案。