



2006-2007

测绘科学技术 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN THE SCIENCE AND TECHNOLOGY OF SURVEYING & MAPPING

中国科学技术协会 主编

中国测绘学会 编著



中国科学技术出版社



2006-2007

测绘科学技术 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN THE SCIENCE AND TECHNOLOGY OF SURVEYING & MAPPING

中国科学技术协会 主编

中国测绘学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2006—2007 测绘科学技术学科发展报告/中国科学技术协会主编;
中国测绘学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2007. 3

ISBN 978-7-5046-4517-3

I. 2... II. ①中... ②中... III. 测绘学—研究报告—中国—
2006—2007 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 022679 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:7.75 字数:186 千字

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:22.00 元

ISBN 978-7-5046-4517-3/P·94

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

2006—2007 测绘科学技术学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN THE SCIENCE AND TECHNOLOGY OF SURVEYING & MAPPING

首席科学家 宁津生

顾问组成员 (按姓氏笔画排序)

刘先林 李德仁 闵宜仁 陈俊勇 袁树友
高俊

专家组

组长 宁津生 杨凯

成员 (按姓氏笔画排序)

万幼川 王晏民 王健 王家耀 过静琚
刘良明 刘雁春 孙汉荣 杨元喜 李建成
张小红 张永军 张景雄 陈品祥 赵晓明
洪立波 秦长利 秘金钟 程鹏飞 翟国君
暴景阳

学术秘书 易杰军

序

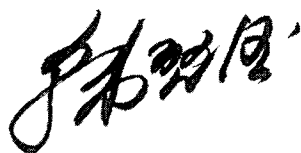
基于我国经济社会发展和国际社会竞争态势的客观要求,党中央、国务院做出增强自主创新能力、建设创新型国家的战略部署,这是综合分析我国所处历史阶段和世界发展大势做出的重大战略决策。学科创立、成长和发展,是科学技术创新发展的科学基础,是科学知识体系化的象征,是创新型国家建设的重要方面,是国家科技竞争力的标志。在科学技术繁荣、发展的过程中,传统的自然科学学科得以不断深入发展,新兴学科不断产生,学科间的相互渗透、相互融合的趋势不断增强;边缘学科、交叉学科纷纷涌现,新的分支学科不断衍生,科学与技术趋向综合化、整体化。及时总结、报告自然科学的学科最新研究进展,对广大科技工作者跟踪、了解、把握学科的发展动态,深入开展学科研究,推进学科交叉、融合与渗透,推动多学科协调发展,促进原始创新能力的提升,建设创新型国家具有非常重要的意义。为此,中国科协在连续4年编制《学科发展蓝皮书》基础上,自2006年开始启动学科发展研究及发布活动。

按照统一要求,中国力学学会、中国化学会、中国地理学会等30个全国学会申请承担了2006年相应30个一级学科发展研究任务,并编撰出版30本相应学科发展报告。在此基础上,中国科协学会学术部组织有关专家编撰了全面反映这30个一级学科的总报告——《学科发展报告综合卷(2006—2007)》。

中国科协是中国科学技术工作者的群众组织,是国家推动科学技术事业发展的重要力量,开展学术交流、活跃学术思想、促进学科发展、推动自主创新是其肩负的重要任务之一。开展学科发展研究及学科发展报告发布活动,是贯彻落实科技兴国战略和可持续发展战略,弘扬科学精神,繁荣学术思想,展示学科发展风貌,拓宽学术交流渠道,更好地履行中国科协职责的一项重要举措。这套由31卷、近800余万字构成的系列学科发展报告(2006—2007),对本学科近两年来国内外科学前沿发展情况进行跟踪,回顾总结,并科学评价了近年来学科的新进展、新成果、新见解、新观点、新方法、新技术等,体现了学科发展研究的前沿性;报告根据本学科的发展现状、动态、趋势以及国际比较和

战略需求,展望了本学科的发展前景,提出了本学科发展的对策和建议,体现了学科发展研究的前瞻性;报告由本学科领域首席科学家牵头、相关学术领域的专家学者参加研究,集中了本学科专家学者的智慧和学术上的真知灼见,突出了学科发展研究的学术性。这是参与这些研究的全国学会和科学家、科技专家劳动智慧的结晶,也是他们学术风尚和科学责任的体现。

希望中国科协所属全国学会坚持不懈地开展学科发展研究和发布活动,持之以恒地出版学科发展报告,充分体现中国科协“三服务、一加强”(为经济社会发展服务,为提高全民科学素质服务,为科学技术工作者服务,加强自身建设)的工作方针,不断提升中国科协和全国学会的学术建设能力,增强其在推动学科发展、促进自主创新中的作用。

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Shi Yongxian, the President of the Chinese Association of Science and Technology.

2007 年 2 月

前 言

测绘是一门具有悠久历史的科学与技术,它伴随着人类对赖以生存之地球及其环境的探索、认识、开发、利用及保护的不断需求而持续发展。测绘科学与技术主要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其属性信息,编制全球或局部地区的各种比例尺地形图和各类专题地图,以及为社会经济发展、国防建设和科学研究提供测绘技术支撑和地理空间信息服务等领域的理论和方法。测绘学科主要由大地测量学、摄影测量与遥感学、地图制图与地理信息工程学、工程测量学、海洋测绘学等分支学科构成。随着现代技术革命浪潮的推进,特别由于空间技术、信息技术等现代高新技术的发展和在测绘领域的渗透与融合,从20世纪70年代开始,出现了以“3S”技术(全球定位系统GPS、遥感RS和地理信息系统GIS)为代表的现代测绘新技术体系,推动了世界范围的传统(模拟)测绘向数字化测绘的过渡与转化,并继而向信息化测绘方向升华。与此同时,传统的测绘学科体系也发生了深刻的变化,发展了新兴的地球空间信息学科(Geo-spatial Information Science,简称Geomatics)体系。

为贯彻全国科技大会精神和实施《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》,促进学科发展、学术建设和科技创新,中国科学技术协会决定自2006年开始,专项开展“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《学科发展报告》。中国测绘学会被中国科学技术协会选为首批参与此项研究和发布活动的30个学会之一,并负责编写其中的《2006—2007测绘科学技术学科发展报告》。本篇研究报告在总体上分为两大部分:第一部分是综合报告,系统地研究了测绘学科的发展沿革、各分支学科的主要内容及其发展状况,由课题组长宁津生院士牵头组织编写;第二部分是专题报告,分五个专题研究和论述了测绘学五个分支学科在近两年的进展现状和发展趋势,还包含了各分支测绘关键技术预测等方面的内容。各专题报告分别由中国测绘学会大地测量专业委员会主任程鹏飞研究员、摄影测量与遥感专业委员会主任万幼川教授、地图学与地理信息工程专业委员会主任王家耀院士、工程测量分会洪立波主任和过静琚教授、海洋测绘专业委员会刘雁春教授和翟国君研究员等学者牵头组织编写。

“测绘科学技术学科发展”研究项目于 2006 年 6 月经中国测绘学会九届二次常务理事会议定启动,通过了编写大纲和课题组的研究分工;同年 9 月召开课题组会议检查了编写进展;同年 11 月上旬在深圳召开了“测绘学科发展研讨会议”,并将研究报告初稿发给了出席“中国测绘学会 2006 年学术年会”的专家和代表广泛征求意见;同年 12 月底将研究报告上报中国科学技术协会。在本项研究中,有幸得到我国测绘界有关高等院校、科研院所、管理部门和企事业单位及其专家们的热诚支持,在此一并致以衷心的感谢!

中国测绘学会
2006 年 12 月

目 录

序	韩启德
前言	中国测绘学会

综合报告

测绘科学技术学科发展	(3)
一、引言	(3)
二、大地测量学:测绘学和地学领域的基础性学科	(4)
三、摄影测量与遥感学:基于电子计算机的现代图像信息学科	(9)
四、地图制图与地理信息工程学:以图形和数字形式传输空间地理环境信息的学科	(14)
五、工程测量学:国民经济和社会发展中的测绘科学技术应用学科	(17)
六、海洋测绘学:海洋空间的测绘科学技术学科	(20)
参考文献	(23)

专题报告

大地测量与 GPS 专业进展	(27)
摄影测量与遥感专业进展	(49)
地图制图学与地理信息工程专业进展	(63)
工程测量专业进展	(82)
海洋测绘专业进展	(96)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in the Science and Technology of Surveying & Mapping	(105)
---	-------

Reports on Special Topics

Geodesy and GPS Progress	(108)
Photogrammetry and Remote Sensing Progress	(108)
Cartographic Mapping and Geographic Information Engineering Progress	(109)
Engineering Surveying Progress	(112)
Hydrographic Surveying and Charting Progress	(113)

综合报告

测绘科学技术学科发展

一、引言

测绘学是一门古老的学科,有着悠久的历史。最早的测绘就是利用测量仪器测定地球表面自然形态的地理要素和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。由于科学技术的发展和社会的进步,测绘学的研究对象已不仅仅是地球表层,还需要将其研究范围扩大到地球外层空间的各种自然和人造实体,甚至地球内部结构等,并把地球作为一个整体,研究获取和表述除几何信息之外还有物理信息,如地球重力场的信息,以及这些几何、物理信息随时间的变化。因此从技术层面上说,传统测绘学基本是模拟测绘。它的完整的概念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以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,为国民经济发展和国防建设以及地学研究服务。随着空间技术、计算机技术、信息技术和通信技术的发展及其向各行各业的不间断渗透、融合,测绘学在这些新技术的支撑和推动下,出现了以“3S”技术(全球定位系统 GPS、遥感 RS 和地理信息系统 GIS)为代表的现代测绘新技术,使测绘学科从理论到手段发生了革命性的变化。它的现代发展表现为,将来源于星载、空载和船载的传感器以及地面各种测量仪器所获取的地理空间数据,利用计算机硬件和软件通过信息技术和数字化技术对这些空间数据进行测量、处理、分析、管理、显示和利用。此时在测绘生产中出现了所谓的“4D”技术及其生产的“4D”测绘系列产品,即数字高程模型(DEM)、数字正射影像(DOM)、数字栅格地图(DRG)和数字线画专题信息(DLG)及其集成与融合。这样测绘学科从其技术层面上说,则由传统测绘(或者说模拟测绘)过渡到数字化测绘。其研究内容则是确定地球和其他实体的形状、大小和重力场以及空间定位,利用各种测量、传感器及其组合系统获取地球及其他实体的与地理空间分布有关的信息,制成各种地形图、专题图和建立地理、土地等空间信息系统。为研究地球的自然和社会现象,解决人口、资源、环境和灾害等社会发展中的重大问题,以及国民经济和国防建设提供技术支撑和数据保障。

从 20 世纪 80 年代到 21 世纪初,我国已逐步实现了由传统测绘技术体系向数字化测绘体系的转化和跨越,现在正在沿着信息化测绘道路迈进。信息化测绘这一新概念不是从国外引进的,而是我国根据现代测绘的发展趋势和实际需要提出来的,具有重要的创新意义。它的基本含义应该是在数字化测绘的基础上,通过完全网络化的运行环境,实时有效地向社会各类用户提供地理空间信息综合服务的测绘方式和功能形态。其标志性特征如下:体系的功能取向应由测绘产品生产转化为地理空间信息综合服务;体系对地理空间信息的获取和数据库建设将由静态生产转化为动态变化监测和实时更新;数据传输和信息交互的网络支撑运行环境由数字化测绘生产的局域网转化为实时有效的地理空间信息

综合服务的广域专网或国际互联网;体系的基础设施(包括测绘基准体系和基础地理空间信息数据库系统等)应由原来的供专业使用升级改造为满足社会公共使用;体系的运行主体应从测绘系统内部封闭式运作扩展为企业、事业单位、政府机构和大众用户开放式协同运作;信息共享中的安全和产权问题应由无序的或不规范的状态走向遵循信息共享的相关法规、标准体系和运行机制。归纳起来说,信息化测绘的特征就是:技术体系数字化、功能取向服务化、数据更新实时化、信息交互网络化、基础设施公用化、信息服务社会化、信息共享法制化。目前在我国对信息化测绘虽然尚未形成一个共识的正式术语定义,但对这个概念的上述基本内涵和特征还是具有广泛共识的。可以说,信息化测绘是我国测绘事业实现了由传统测绘向数字化测绘转化和跨越之后进入的又一个新的发展阶段。从学科发展上说,它也正适应着当前测绘学科正在向着近年来兴起的一门新兴学科——地球空间信息学科(Geo-Spatial Information Science,简称 Geomatics)的跨越和融合。这门学科是采用以卫星导航定位技术(GNSS)、遥感技术(RS)、地理信息系统技术(GIS)为代表的空间信息技术、计算机网络技术、现代通信技术和虚拟现实模型技术为主要手段,研究地球空间目标与环境参数信息的获取、分析、管理、存贮、传输、显示和应用的一门综合性和集成性的信息科学和技术。这与信息化测绘的内涵和特征是极其相似的。可以这样说,地球空间信息学包含了信息化测绘的全部内容,但它的研究范畴较之信息化测绘更加广泛一些。

二、大地测量学:测绘学和地学领域的基础性学科

作为基础性学科,大地测量学主要研究地球表面及其外层空间点位的精密测定、地球的形状和大小、地球重力场及其随时间变化的理论和方法。现代大地测量学与地球科学和空间科学的多学科交叉,已成为推动地球科学、空间科学和军事科学发展的前沿学科之一,其研究范围已从测量地球扩展到测量整个地球外空间。

(一)现代测绘基准体系

现代测绘基准体系,是为地理空间信息的获取提供空间位置、高程以及重力等方面的起算依据,是一切测绘活动的基础和前提。现代测绘基准由相应的参考系统及其相应的参考框架构成。提供空间位置起算依据的是大地测量参考系统,规定了大地测量的起算基准和尺度标准及其实现方式。它是为了表示位置坐标而定义的类似标尺作用的参照物的称谓。通常大地测量参考系统又以大地测量坐标系来描述。它是一种固定在地球上随地球一起转动的非惯性坐标系统,依其原点位置不同而分为地心坐标系和参心坐标系。前者的原点与地球质心(包括海洋、大气的质量)重合,后者原点则与某一地区或某一国家所采用的参考椭球中心重合。所谓大地测量参考框架,则是根据大地测量参考系统的规定,通过大地测量技术,以全球和局域的地面大地网(点)或其他实体(静止的或运动的物体)所相应的位置及其变化,实现大地测量参考系统的各项规定,所以通常称大地测量参考框架是大地测量参考系统的具体实现。国际上几乎所有发达国家都在采用地心坐标系,其大地测量参考系统及相应的参考框架相应为国际地球参考系统(ITRS)和国际地球

参考框架(ITRF)。由于引进 ITRS 及其 ITRF 的目的是为促进需要高精度定位的科学研究的开展,例如监测地壳与地球自转轴运动,因此对它们要一直不断地进行完善和更新。

我国一直采用参心坐标系,即 1954 北京坐标系和 1980 西安坐标系。随着航天、航空及航海事业的发展,参心坐标已不能满足需要,近 10 年来,我国也在利用空间观测技术,开展地心坐标系的研究和实践工作,建成了 2000 国家 GPS 大地控制网,并完成了该网与全国天文大地网的联合平差工作,使 2000 国家大地坐标系(即 CGCS2000)不仅有明确的定义,而且具有高精度的参考框架。该坐标系的定义与 ITRS 协议的定义一致。其参考框架的第一层次为 CGCS2000 的维持,主要依靠 GPS 连续运行参考站,它们是 CGCS2000 的骨架,其坐标精度为 mm 级,速度精度为 1 mm/a;第二层次为 CGCS2000 框架,即 2000 国家 GPS 大地控制网,由 2 600 多个 GPS 大地控制点组成,点位精度约 ± 3 cm;第三层次为 CGCS2000 加密,它由全国天文大地网与 2000GPS 大地控制网联合平差后的网点组成,约有 50 千点,点位精度约为 ± 0.3 m。

我国将要采用地心坐标系代替原来的参心坐标系作为大地测量基准,现已向国务院申报待批准启用。因此坐标系的转换问题成为研究热点之一。

我国的高程基准采用 1985 黄海高程系统,基准是青岛水准原点及其高程值。其参考框架则为国家一、二等水准网。高程基准的另一种表现形式是海拔高程(正高或正常高)的起算面,我国采用 CQG2000 似大地水准面。

关于重力基准,国际上有波茨坦重力系统,基准是波茨坦绝对重力点及其重力值。另外还有国际重力标准网(IGSN 71),基准是该网的每一重力点及其重力值。我国目前采用 2000 国家重力基本网作为重力基准。

(二)卫星导航定位技术

卫星导航定位技术的本质是无线电定位技术的一种,只不过将信号发射台站从地面移到空中的卫星,用卫星发射信号源。卫星导航定位系统克服了地基无线电导航系统的局限,能为世界上任何可对空观测的地方,包括空中、陆上、海面甚至外层空间的用户,全天候、连续地提供精确的三维位置、三维速度以及时间信息,完全实现了从局部到全球、从静态到实时动态、从限于地表的二维到近地空间的全三维、从受天气影响的间歇性到全天候连续的高精度测量定位。

目前应用最为广泛的卫星导航定位系统当属 GPS,对于 GPS 系统美国已制订出到 2020 年的“GPS 现代化规划”。其实质可归纳为以下三个方面,即“3P”政策:一是保护(Protection),为了更好地保护美方和盟友的使用,发展军码和强化军码的保密性能;二是阻止(Prevention),阻挠敌对方使用,施加干扰等;三是保持(Preservation),保持在有威胁地区以外的民用用户更精确更安全的使用。欧洲空间局(ESA)已经最终确定了包括 30 颗 Galileo 卫星的空间构形和相应地面控制站布设的最有效的方案。同时确定了 Galileo 和外部系统的关系,如和 IERS 的时间关系,和 ITRS 的坐标系统与 ITRF 的坐标框架的关系,和 Galileo 用户与 Galileo 服务中心的联系方式,以及和 Galileo 地区中心站与 Galileo 中心站的关系等。ESA 也调整了 Galileo 投入运行的时间表,2005 年前 Galileo 为系

统论证和建设部分地面控制设施阶段,并在 2005 年 12 月 27 日发射了首颗 Galileo 的试验卫星,2006~2007 年为 Galileo 系统在轨试验阶段,将发射 6~8 颗 Galileo 卫星,同时进行地面设施的安装和系统联合调试,2007~2010 年将余下的 24~22 颗 Galileo 卫星升空并网,形成完整构形,2010 年以后系统投入正式运行。

俄罗斯目前正在着手 GLONASS 系统维护与更新建设工作,并进行了如下三个阶段的整体规划:

第一阶段:满足 GLONASS 系统星座卫星数量的最小需求;

第二阶段:开发新一代 GLONASS-M 卫星,增长卫星寿命和提高卫星性能,使星座卫星数量达到 18 颗(包括 GLONASS-M 与 GLONASS 卫星);

第三阶段:开发小卫星 GLONASS-K,增强并提高性能,使星座卫星数量达到 24 颗(包含 GLONASS-M 和 GLONASS-K),使国内和国外用户都能接收。

GLONASS 系统轨道部署分为以下 2 个阶段进行:

第一阶段:2008 年左右,将增加至 18 颗卫星,其中一些是 GLONASS-M 卫星;

第二阶段:2008 年之后,将发射 GLONASS-K 卫星,部署并保持 24 颗卫星。

到 2011 年后,俄罗斯还将研制 GLONASS-KM 系列卫星。

为了满足今后国家对卫星导航的进一步需求,我国自主卫星导航定位系统正在发展北斗二代卫星导航定位系统,并且卫星星座设计考虑到准备向全球导航定位系统过渡。

GPS 技术的最新进展代表了全球卫星导航定位系统(GNSS)的主要发展方向,除了卫星系统和接收机有新的发展之外,定位方法的进展主要体现在精密单点定位技术和网络 RTK 定位技术等方面。

精密单点定位技术(Precise Point Positioning),简称 PPP,早在 20 世纪 80 年代中期曾出现过采用原始相位观测数据进行非差相位精密单点定位方法。但是由于种种原因而被暂时搁置。近年来可以利用国际 GPS 地球动力学服务局(IGS)预报的 GPS 卫星的精密星历或事后的精密星历作为已知坐标起算数据,同时利用某种方式得到的精密卫星钟差来替代用户 GPS 定位观测方程中的卫星钟差参数,这样用户利用单台 GPS 双频双码接收机的观测数据在数千平方千米乃至全球范围内的任意位置,都可以 2~4 dm 级精度进行实时动态定位,或以 2~4 cm 级的精度进行快速的静态定位。精密单点定位技术是实现全球精密实时动态与导航的关键技术,从而是 GPS 定位的前沿研究方向。我国在精密单点定位技术的研究与应用方面虽然起步晚于美国等发达国家,但目前的研究基本同国际上处于同一先进水平。

网络 RTK 也叫基准站 RTK,是近年来在常规 RTK 和差分 GPS 的基础上建立起来的一种新技术。它是在较大的区域内建立多个坐标已知的 GPS 基准站,对该地区构成网状覆盖,并以这些基准站为基准,计算和发播相位观测值误差改正信息,对该地区内的卫星定位用户进行实时改正的定位方式。因此该方法的主要优点为覆盖面广、定位精度高、可靠性强、可实时提供厘米级精度的定位。目前的网络 RTK 技术主要有 VRS、FKP 和 CBI 三种。近年来又出现了一种主副站技术。其实质都是利用基准站网的数据尽可能准确地模拟或消除用户位置的定位误差,从而提高用户的实时定位精度。国外一些发达国家,如美国、德国、日本、瑞士等,已经利用网络 RTK 技术建立了区域连续运行卫星定位

服务系统。我国的北京、深圳、上海、昆明、东莞等许多城市也建立了类似的服务系统。

随着美国 GPS 现代化的实施,俄罗斯 GLONASS 的更新和升级,欧盟 Galileo 的建成以及我国的北斗二代的建设,多频组合、多卫星系统集成的卫星导航定位成为必然趋势,已成为当今国际卫星导航定位领域的研究开发热点。

近几年来,卫星导航定位技术在以下方面也得到了进一步的发展:①对电离层的观测:通过测定电离层对 GPS 信号的延迟来确定单位体积内总自由电子含量(TEC),以建立全球的数字电离层模型;②空基/地基 GPS 气象:利用星载 GPS 的气象和电子浓度截面值,结合地面的 GPS 站数据,获取对流层参数,服务于大气科学和天气预报等;③GPS-R 技术:利用空载 GPS 作为测高仪进行测高,它是利用海面或冰面所反射的 GPS 信号,求定海面或冰面地形、测定波浪形态、洋流速度和方向;④卫星跟踪卫星技术:分为高低跟踪和低低跟踪,其中高低跟踪中的高轨卫星基本以 GPS 卫星为主;⑤精密卫星定轨技术:联合地面跟踪站和低轨卫星 GPS 观测值同时确定低轨卫星和 GPS 卫星的轨道;⑥GPS/INS 组合导航定位技术。

(三)地球重力场理论与大地水准面精化

地球重力场是地球的一种物理特性,是地球物质分布和地球旋转运动信息的综合效应,并制约地球本身及其邻近空间的一切物理事件,确定地球重力场也是大地测量学科目标之一。当今空间大地测量和物理大地测量相结合开创了现代大地测量发展的新阶段。地球重力场的研究可以归结为地球重力场模型的理论研究及位系数计算与大地水准面的确定及其精化。

所谓地球重力场模型,通常是将地球扰动位展开成一个在理论上收敛的整阶次球谐或椭球谐函数的无穷级数。这个级数展开式系数的集合定义了一个相应的地球重力场模型。确定地球重力场模型就是确定这些未知的位系数值。这些未知系数可以用地面已知的重力异常观测值解算出来。现在国内外常用模型的最高阶为 $N=360$,相当于地面分辨率为 50 km。作为理论和计算方法的研究,也出现了 $N=720$ 以上的甚高阶模型。在国外目前大家公认为最好的模型是美国的 EGM 96,在国内也有 DQM、IGG 和 WDM 三个模型系列。建立地球重力场模型还可采用卫星重力法,它的一种方法是观测人造卫星轨道对参考(正常)轨道的摄动,这可以由地面观测卫星轨道摄动,也可以是由一颗高轨卫星(如 GPS 卫星)对低轨卫星(如 CHAMP 卫星)观测轨道摄动,然后根据卫星轨道摄动理论及其观测数据求解位系数。另一种方法是利用同一低轨上两颗卫星(如 GRACE 卫星)的相互跟踪,测出星间距离变化量,反演地球重力场的位系数。第三种方法是在低轨卫星中装有重力梯度仪(如 GOCE 卫星),直接测出卫星轨道上的重力梯度,以此求解位系数。目前 CHAMP 和 GRACE 两种卫星计划已经实施,并且国内外都在利用这两种重力卫星的观测数据求解地球重力场模型。而 GOCE 卫星尚未实现,预计在不久的将来要发射升空。对于海洋地球重力场,现在通常采用卫星测高理论与方法去求解。

确定大地水准面,一般还是解算适合某一区域或国家的相对大地水准面(相对于某一参考椭球的高度)。现在国内外最常用的也是公认最好的一种求解方法就是移去——恢复技术。由于它是采用地面重力异常和地形等数据解算出来的,受到地面重力数据误差

及其分布密度等影响,其精度将大大受到限制,甚至含有系统偏差。这样求得的大地水准面称为重力大地水准面,具有很高的分辨率。自从有了 GPS 之后,通过 GPS 的大地高和精密水准测量可以直接观测到大地水准面差距,这就出现了用 GPS 水准精化大地水准面的方法,它具有很高的精度。为了最终获得一个既有高精度又有高分辨率的大地水准面,可将重力大地水准面拟合到 GPS 水准求得的大地水准面上。这样就充分发挥了重力大地水准面的高分辨率和 GPS 大地水准面的高精度的各自优势互补。近年来,我国不仅建立了全国似大地水准面,如 CQG2000,而且有许多省、市都在纷纷建立高精度高分辨率的似大地水准面,其中有的城市似大地水准面精度可达到厘米级,分辨率可达到 $2'30'' \times 2'30''$ 。在这些似大地水准面研究中,在我国还提出了确定似大地水准面的严密陆海统一算法和具有原创性的似大地水准面球冠谐波拟合理论和方法,突破了若干关键技术,使得我国城市似大地水准面的确定精度实现了跨时代的发展。全球定位技术结合 cm 级精度高程异常值所获得的正常高,可以达到二、三等水准测量的要求。目前在我国利用海、陆、空、天的重力观测数据联合求解地球重力场模型和精化大地水准面已成为研究的热点。

(四)地壳运动监测与大地测量地球动力学

地壳运动监测与大地测量地球动力学的研究,实质上就是大地测量反演理论和方法的研究。它是大地测量学科深入地学研究领域的核心问题。随着空间大地测量观测手段的不断发展,地表可观测的覆盖面的扩大和精度的提高,研究对象由局部(如断层)扩展到地区(如板块)乃至全球。如何根据地表观测结果反演研究一般的地球动力学模式以及研究地震已成为一个十分重要的科学技术问题。

大地测量反演是以大地测量观测为基础,结合地质、地震和地球物理资料,利用地球物理学建立的先验地球动力学模型,反推动力学模型参数,修正或提出新的地球动力学模型;也可以根据地表观测结果反演研究活动断层、活动块体的运动情况,探讨地壳运动与地震的关系,进行地震、地质灾害的预测预报。地球物理反演的目的是根据观测数据求取相应的地球物理模型。大地测量反演与地球物理反演并无本质上的差别,它也是根据观测数据(主要是大地测量数据)求取地球动力学(数学物理)模型。所以大地测量反演问题(或称大地测量地球动力学问题)首先必须确定观测数据和地球模型(数学物理)参数之间的函数关系,由此可根据给定的模型参数计算相应的观测数据,进行正演计算,也可以根据观测数据求取地球动力学模型参数,实现反演分析。正演是反演的前提和条件,只有解决了正演计算,才能依靠解析方法或数值方法实现反演分析。

目前我国的地壳运动监测与大地测量地球动力学(或大地测量反演理论和方法)的研究主要取得以下实践成果。

在全国范围内按照中国大陆地质构造情况,利用中国大陆及其周边地区的高精度 GPS 连续观测数据、地震矩张量和活断层滑动速率,采用双三次样条函数拟合方法求出了中国大陆现今地壳运动速度场和变形场及其水平应变率场;基于实测的 GPS 测站位移矢量,利用 DDA 方法提取了大陆边界位移信息,并以此边界位移条件建立了中国大陆的二维 DFEM 模型;综合利用 GPS 与 VLBI 观测数据,以站心坐标速度为观测量,求解了