

中国工程科技论坛

测绘地理信息发展

Cehui Dili Xinxi Fazhan



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

2012年9月,国家测绘地理信息局和中国工程院联合举办的测绘地理信息发展论坛在北京召开,来自测绘地理信息及水利、土木、环境、海洋等相关领域的院士、专家、学者以“测绘地理信息发展”为主题,放眼全球,集思广益,共话测绘地理信息事业发展中的重大前沿性和战略性问题,从地球基准框架与空间定位、对地观测技术、地理信息服务、地理信息社会化应用等4个方面阐述了我国测绘地理信息发展战略及其在相关领域的作用,针对经济社会发展、国防安全、生态文明建设等对测绘地理信息越来越旺盛的需求,探讨了现代大地测量基准、卫星测绘、信息化测绘、“天地图”社会化应用、地理信息产业发展等方面的机遇和挑战,同时,针对测绘地理信息创新发展提出了相关的措施建议。

本书系中国工程院“中国工程科技论坛”系列丛书之一,适合相关领域的研究者、工程技术人员与管理人员阅读,也可作为相关专业本科生与研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

测绘地理信息发展 / 中国工程院编著. -- 北京:
高等教育出版社, 2013.7
(工程科技论坛)
ISBN 978 - 7 - 04 - 037340 - 0

I. ①测… II. ①中… III. ①测绘 - 地理信息系统 - 研究 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 118636 号

总 策 划 樊代明

策划编辑 王国祥 黄慧靖 责任编辑 朱丽虹 沈晓晶

封面设计 顾 斌 责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张
字 数 千字
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2013 年 7 月第 1 版
印 次 2013 年 7 月第 1 次印刷
定 价 60.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 37340 - 00

编辑委员会

主 任：宁津生 李朋德

副 主 任：胥燕婴 李建成

执行主任：彭震中 吴 岚

委 员：李德仁 杨元喜 郭华东 钱志翰

翟京生 郭春喜 唐新明 张永生

李满春 张继贤 陈建国 张 远

张文若 景贵飞 李志刚 郭仁忠

宫辉力 姚宜斌 姜卫平

目 录

第一部分 综述

综述	3
----------	---

第二部分 主题报告及报告人简介

智慧地球时代测绘地理信息学的新使命	李德仁	11
大地测量基础设施建设若干问题思考	杨元喜	23
对地观测五十年的发展及思考	郭华东	28
VLBI 大地测量的历史、现状和发展	钱志瀚	33
信息化或被信息化的海洋测绘	翟京生	38
现代测绘基准体系及其应用	郭春喜	45
测绘卫星和卫星测绘	唐新明	52
机载对地观测与地理空间信息现场直播技术	张永生	67
试论 GIS 十大应用	李满春	79
关于我国西部地理信息公共服务的思考	张继贤	82
建机制 抓统筹 提高地理信息应用服务能力	陈建国	95
可持续的地理信息服务:重庆的实践与思考	张 远	103
煤航地理信息产业的新技术、新应用	张文若	111
当前地理信息产业扩张速度与方向分析	景贵飞	118
大力发展“天地图”推进地理信息社会化应用	李志刚	121
地理信息服务:数据在线到应用在线	郭仁忠	125
北京地面沉降立体监测与机理研究	宫辉力	129
后记		139

第一部分

综 述

综 述

2012年9月12-13日,由国家测绘地理信息局、中国工程院联合主办的第145场中国工程科技论坛——测绘地理信息发展论坛在中国测绘创新基地隆重召开。本次论坛的主题是测绘地理信息发展。测绘地理信息是经济社会发展和国防建设的一项基础性工作,也是信息社会的一个重要标志,承担着应急救援、统筹协调、管理监督、维护安全等重要保障任务。

国土资源部党组副书记、副部长,国家土地副总督察,国家测绘地理信息局党组书记、局长徐德明,中国工程院副院长干勇院士出席会议并讲话,国家测绘地理信息局副局长李朋德、中国工程院二局副局长徐进以及宁津生、陈俊勇等10余位院士出席了论坛开幕式,国家测绘地理信息局总工程师胥燕婴主持了开幕式。

徐德明在讲话中高度肯定了中国工程院与国家测绘地理信息局长期以来的密切合作并在促进测绘地理信息科技进步、培养高层次人才等方面取得的可喜成果。简要介绍了近年来测绘地理信息部门按照党中央、国务院的决策部署,深入贯彻落实科学发展观,实现了测绘地理信息事业的历史性跨越,我国测绘地理信息的战略地位和重要作用得到国内外的普遍关注和高度认可。徐德明强调当前我国测绘地理信息事业发展正处于大有作为、大有可为的重要战略机遇期,当前和今后一段时期,国家测绘地理信息局将不断深化对李克强总理视察中国测绘创新基地重要讲话精神的认识,深入贯彻落实科学发展观,按照“构建智慧中国、监测地理国情、壮大地信产业、建设测绘强国”的战略目标,加快智慧城市建设试点和“天地图”建设,加快推进地理国情监测,促进地理信息产业大发展,加强科技创新和高层次人才培养,提升科技创新与成果转化应用能力,推动测绘地理信息事业实现跨越式发展。徐德明希望各位院士专家胸怀全球,站高望远,拿出真知灼见,多提宝贵意见,共同努力,乘势而上,攻坚克难,早日实现建设测绘地理信息强国的宏伟目标。

干勇在讲话中指出测绘地理信息是经济社会发展和国防建设的一项基础性工作,是信息社会的一个重要标志,也是创新性国家的重要标志之一。改革开放以来,特别是近年来,我国测绘地理信息事业快速发展,在加强和改善宏观调控,促进区域经济发展,转变经济发展方式,构建资源节约型和环境友好型社会方面作用日益凸显,我国经济社会发展对测绘地理信息的需求越来越旺盛和迫切,自

然环境和经济社会活动对测绘地理信息的依赖度越来越高。干勇说,地理信息产业是战略新兴产业的一颗明珠,它的发展必将带动整个信息产业的发展,“北京国家地理信息高新技术产业化基地”成为国家批准的唯一一家中央国家机关所属的产业园,充分说明测绘地理信息产业发展的重要性。很高兴看到来自不同领域的院士专家共同为测绘地理信息工作及相关产业的发展献计献策。干勇表示,中国工程院将充分发挥国家工程科技思想库的作用以及院士们多学科、跨部门、跨行业的综合性优势,围绕经济社会发展对测绘地理信息的重大战略需求,进一步加强战略研究和咨询服务,为促进经济社会发展可持续发展作出积极贡献。

论坛邀请李朋德副局长和李德仁、刘先林、杨元喜、郭华东四位院士作大会主题报告以及近40位有关院士、专家就地球基准框架与空间定位、对地观测技术、地理信息服务、地理信息社会化应用等4个议题作专题报告,展现了测绘地理信息的最新技术与发展动态。专家们认为:在地球基准框架与空间定位方面,应构建我国自主的全球时空基准,建立全球覆盖的立体大地测量观测体系,构建、改善自主可控的大地测量信息服务中心,为各类用户提供现势性好的大地测量与导航服务;在对地观测技术方面,应确定我国对地观测的优先服务领域,建立多平台综合观测计划,发展具有全球服务能力的全球变化科学卫星计划;在地理信息服务方面,要面向智慧地球时代的需求,将传统测绘提升为能够实时、智能地采集和处理海量空间数据,提供空间信息和知识服务的智慧测绘新阶段;在地理信息社会化应用方面,要从测绘基准体系创新、生产服务技术创新、地理信息采集装备创新、生产服务内容创新等方面进行创新发展。

论坛期间还邀请了有关院士和专家举行了测绘地理信息发展圆桌论坛,形成了进一步发展测绘地理信息的战略咨询意见。主要包括三个方面的内容:一个是测绘地理信息在经济社会发展中的地位 and 作用;二是测绘地理信息面临的机遇和挑战;三是关于建设测绘地理信息强国的对策建议。

自2000年创办中国科技工程论坛以来,中国工程院已经成功举办了140多场,几乎涵盖了工程科技领域所有的重要方面,每场论坛的主题都紧密围绕国家经济社会发展工程科技的前沿,对国家工程科技思想库的建设,推动我国工程技术水平的提高和发展以及培养和引导中青年拔尖创新人才的健康成长起到了积极的促进作用。国家有关部委负责人,各省、自治区、直辖市、计划单列市测绘地理信息主管部门负责人,有关院士专家,国家测绘地理信息局所属各有关单位负责人,国家测绘地理信息局所属重点实验室及工程技术研究中心负责人,全国有关科研院所、高等院校和企事业单位负责人近300人参加了此次论坛。

以下摘登几位有代表性的院士、专家的报告。

国家测绘地理信息局副局长李朋德就测绘地理信息的创新发展发表了自己的观点。他指出,国家测绘地理信息局用“构建智慧中国,监测地理国情,壮大地理产业,建设测绘强国”24个字高度概括和凝练了创新发展的目标和实质。测绘地理信息创新发展的主要内容和任务。一是测绘基准体系的创新——全面完成我国测绘基准的现代化;二是生产服务技术的创新——全面完成生产服务技术及工艺流程的现代化;三是生产服务内容创新——全面完成生产服务内容的现代化变革;四是事业总体布局创新——全面完成由注重推进公益性事业的单一发展向推进事业与产业并举发展转变;五是管理职能及事业支撑机构创新——全面完成测绘行政管理职能和事业支撑机构的调整。今后一段时间,国家测绘地理信息局将继续按照创新发展路线图的要求,开拓创新,努力工作,争取在2020年全面完成创新发展任务,创造测绘保障和地理信息服务新的辉煌。

李德仁院士在谈到智慧地球时代测绘地理信息学的新使命时,他指出智慧地球时代需要更加丰富和完善的空间信息采集、处理和服务机制,这就赋予测绘地理信息学新的使命,具体包括位置云、遥感云、空天地一体化的传感网与实时GIS、视频与GIS的融合,智能手机作为无处不在的传感器、室内与地下空间定位及导航、空间数据挖掘等7个主要方面。测绘地理信息学界要从智慧地球的需要出发,不失时机地开展创新性研究,对这7个方面在内的技术进行深入的研究与开发。他认为我们已经走过了从绘制地形图为主的小测绘,发展成为当今以地理空间信息服务为主的大测绘,现在我们必须抓住机遇,不失时机的拓展智慧地球时代测绘地理信息学的新使命,将传统测绘提升为能够实时、智能地采集和处理海量空间数据,提供空间信息和知识服务的智慧测绘新阶段。作为智慧地球基础的测绘地理信息行业要抓好与智慧地球相关的技术创新和攻关研究,将传统测绘提升为能够实时、智能的采集和处理海量空间数据、信息和知识发布的智慧测绘服务,才能在实现智慧地球和智慧城市的进程中更好地发挥作用。

刘先林院士展示了四维远见的装备创新。他指出地理信息产业的迅速发展,对地理信息采集的装备提出了更高的要求,多年来北京四维远见信息技术有限公司(简称“四维远见”)在这方面进行了大量的创新探索,四维远见创造性地将高档民用相机发展为价格昂贵的工业级测量相机,通过高精度子像元级影像拼接得到大幅面航空影像,幅面上达到国际同类先进水平。即将推出的JX5是一个多用户协同摄影测量处理系统,通过多节点计算机网络协同处理,实现面向整个网络资源的多处理器并行计算,支持面向大区域的DEM/DOM自动化并行处理。四维远见“十一五”期间研发的高精度轻小型航空遥感集成系统,在飞行稳定平台、测量型IMU和轻小型航空Lidar(1000 m以下)等方面填补了国内空白。“十二五”期间又获得国家进一步支持,与首都师范大学经过多年的艰苦奋

斗,成功研制了激光建模测量系统,研究过程促使国产测量型 IMU、激光扫描仪从无到有。四维远见创造性地发明了用普通双投影仪代替昂贵的立体投影仪,实现了多通道之间的融合,并且可以通过一个插件把非真三维的立体显示软件改造成为真三维(视差立体)的,通过桌面融合,在 Windows 窗口下能打开的真立体显示窗口,属国内外首创。

杨元喜院士针对大地测量基础设施建设提出若干问题思考。他提出大地测量基础设施是提高大地测量保障能力的核心基础,应该构建全球动态可控、可维护、稳定和可靠性好的大地坐标基准框架和全球重力、磁力基准基础设施,提升全球基准维持和保障能力;构建无闰秒、连续的中国时频体系,具备为指挥决策、国家核心经济领域提供中国独立的时间基准维持的能力;建立全球覆盖的立体大地测量观测体系,包括定位、重力、测高、导航等,提高全天候实时大地测量信息获取能力。构建大地测量与导航数据处理中心,使其具备实时进行各类数据融合的能力,具备提供各类高精度、高可靠性的大地测量产品的能力;构建、改善自主可控的大地测量信息服务中心(如 CGS 等),并健全相应数据服务标准和规范,为各类用户提供现势性好的大地测量与导航服务。

郭华东院士回顾对地观测 50 年的发展历程,提出若干思考。他指出经历 30 余年的发展,我国已经成为对地观测大国,目前已形成资源卫星、环境卫星、气象卫星、海洋卫星、小卫星和飞船对地观测系统等,同时形成了北斗导航卫星计划,广泛地服务于国民经济的各个领域。我国未来对地观测的发展首先需要满足国家社会、经济、科学发展的战略需求,确定我国对地观测的优先服务领域,建立多平台综合观测计划,突出大小卫星并举的观测体系。建议加强我国未来对地观测发展的一体化管理,提高顶层设计能力和水平,进一步促进国家对地观测资源共享,减少重复建设,提高对地观测的服务效率。应从社会应用和受益需求出发,建立我国对地观测应用和受惠领域体系,满足经济社会发展的现实需求。同时,通过统筹协调不同机构与部门已有的对地观测资源,加强机载和星载传感器的连续性研制,制定系统的国家对地观测计划。我国未来对地观测的发展需要面向人类社会发展的重大问题,如气候和环境变化、社会安全等,发展具有全球服务能力的全球变化科学卫星计划,在满足我国在全球化时代的战略需求的同时,使我国能够更好地承担应对人类可持续发展危机的国际责任。

本场论坛通过聘请一些专家作测绘地理信息最新技术和发展动态的报告,使测绘地理信息技术具有了更广泛的影响。同时通过对中国的测绘地理信息行业、学科和技术开展讨论研究,形成了进一步推进测绘地理信息发展的战略咨询建议,达到了预期目标。建议稿全面分析了测绘地理信息面临的机遇和挑战,提出关于加快建设测绘地理信息强国的建议。本论坛的另外一个重要特

点就是加强了工程院同国家测绘地理信息局等职能管理部门的合作,促进了测绘地理信息领域与土木、水利与建筑工程学部各学科的交叉融合与应用研究。

第二部分

主题报告及报告人简介

智慧地球时代测绘地理信息学的新使命

李德仁 等

武汉大学遥感信息工程学院

武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室

一、智慧地球概念

(一) 智慧地球概念的提出

2009年IBM公司(International Business Machines Corporation)首席执行官彭明盛提出“智慧地球”这一概念,建议新政府投资新一代的智慧型基础设施^[1]。2009年11月,温家宝总理发表了题为《让科技引领中国可持续发展》的讲话,要着力突破传感网、物联网关键技术,及早部署后IP(Internet Protocol)时代相关技术研发,使信息网络产业成为推动产业升级、迈向信息社会的发动机。目前,我国已将这项技术发展列入国家中长期科技发展规划^[2]。

这些理念和规划共同关注的是如何高效地把各类传感器连接起来,形成物联网,并通过超级计算机和云计算对物联网获取的信息进行实时分析并控制,实现数字地球与现实物理世界的有机融合。在此基础上,可以在实时海量信息的辅助下,采取更加精细和高效的方式管理人类的生产和生活,从而达到智慧状态。智慧地球是在全面数字化基础之上建立的可视、可量测、可感知、可分析、可控制的智能化管理与运营机制,包括网络、传感器、计算资源等基础设施以及在此基础上通过对实时信息和数据的分析,从而建立的信息管理平台与综合决策支撑等平台。在智慧地球时代,我们将充分享受到智慧的电网、智慧的交通、智慧的医疗、智慧的教育、智慧的城管和智慧的应急等应用系统通过公共服务平台为每个人提供定制化、个性化的服务,让每个人的生活更加舒适和安全。这就需要测绘地理信息学进一步向更加智慧的方向发展,为智慧地球提供有效的技术支撑。

(二) 从数字地球到智慧地球

作者认为,智慧地球是数字地球与物联网和云计算等技术有机融合的产物。

智慧地球基于数字地球的基础框架,通过各类物联网传感器将人及其相关的固定或移动物品连接起来,并将海量数据存储、计算和交互服务交由云计算平台在云端处理,按照处理结果实现对各种设施自动化的控制。

数字地球将分布在不同领域和不同地理位置的经济、文化、交通、能源和教育资源等按规范的地理坐标组织起来,为智慧地球提供了一个数字化的基础框架。在数字化的基础框架上,通过物联网中的各种信息采集或传感设备按约定的协议与互联网连接起来,以实现对分布在城市中的各管理对象的智能化识别、定位、跟踪、监控等服务。然而,海量的物联信息的管理依靠现有终端的计算资源无法满足,迫切需要计算资源动态调节和可伸缩的云计算模式来解决数据海量、随时更新并且实时性要求非常高的计算问题,如整个城市的交通数据的实时预测计算。

二、智慧地球的支撑技术

智慧地球主要由数字地球和物联网、云计算三大类支撑技术组成。下面就这三大类支撑技术分别进行介绍。

(一) 数字地球相关技术

数字地球的概念最早源于美国前副总统阿尔·戈尔在1998年提出的数字化的虚拟地球场景^[3]。具体来说,数字地球是一个无缝地覆盖整个地球的信息模型,把分散在城市各处的各类信息按地理坐标组织起来,既能体现出各类自然、人文、社会等信息的相互关系,又能够按便于人类理解的地理坐标进行检索和利用。数字地球可以理解为我们生活的地球在数字世界中的一个副本^[4]。

数字地球相关技术涵盖地球空间信息的获取、管理、使用等各方面。数字地球从数据获取组织到提供服务涉及的相关技术主要包括以下5点。

1. 天空地一体化的空间信息快速获取技术

2006年*Nature*杂志发表封面论文2020 Vision中认为观测网将首次大规模地实现实时地获取现实世界的数据^[5]。空间信息获取方式也从传统人工测量发展到涵盖了从星载遥感平台和全球定位导航系统到机载遥感平台^[6],再到地面的车载移动测量平台等。

2. 海量空间数据调度与管理技术

面对数据容量不断增长、数据种类不断增加的海量空间数据,PB(Peta Byte)级及更大的数据量更加依赖于相关数据调度与管理技术,包括高效的索引、数据库、分布式存储等技术。

3. 空间信息可视化技术

从传统二维地图到三维数字地球,数字地球空间表现形式由传统抽象的二维地图发展为与现实世界完全相同的三维空间中,使得人类在描述和分析城市空间事务的信息上获得了质的飞跃。包含真实纹理的三维地形和城市模型后可用于城市规划、景观分析、构成虚拟地理环境和数字文化遗产等^[7]。

4. 空间信息分析与挖掘技术

数字地球中基于影像的三维实景影像模型,可构成大面积无缝的立体正射影像和沿街道的实景影像,用于由用户自主实时的按需量测,以及挖掘有效信息^[8]。

5. 网络服务技术

通过网络整合并提供服务,数字地球作为一个空间信息基础框架,可以集成整合来自网络环境下的各种与地球空间信息相关的各种社会经济信息,然后又通过 Web Service 技术向专业部门和社会公众提供服务。

(二) 物联网技术

2005年11月17日,在突尼斯举行的信息社会世界峰会上,国际电信联盟(International Telecommunication Union,ITU)发布了《ITU 互联网报告 2005:物联网》,正式提出了物联网的概念^[9]。物联网的定义是:通过射频识别、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。具体地说,就是把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中,并且被普遍连接,形成物联网。中国早在1999年就提出了相关概念,并由中国科学院启动了相关的研究和开发,当时称为传感网。物联网能够实现人与人、人与机器、机器与机器的互联互通,充分发挥人与机器各自的优点^[10]。

世界无线研究论坛(Wireless World Research Forum,WWRF)在2006年6月曾预测,到2017年将有7万亿传感器为地球上的70亿人口提供服务^[11]。物联网的问世,打破了之前的传统物理设施与IT设施分离的状况。物联网将与水、电、气、路一样,成为地球上的一类新的基础设施。图1为作者设计的基于物联网的智慧地球的一般架构。

(三) 云计算技术

云计算是一种基于互联网模式的计算,是分布式计算和网格计算的进一步延伸和发展,是随着互联网资源配置的变迁逐渐形成的。计算机交互服务一度

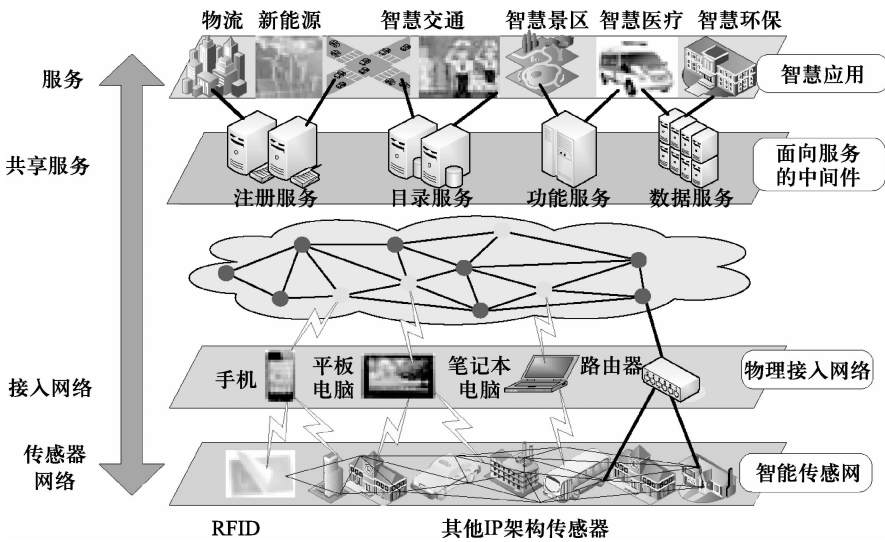


图1 基于物联网的智慧地球的一般架构

未能脱离硬件的桎梏,直到出现了基于虚拟化的云计算,软件和交互服务才完全的与硬件无关,同时也无需关心硬件的维护^[12]。

云计算支撑信息服务社会化、集约化和专业化的云计算中心通过软件的重用和柔性重组,进行服务流程的优化与重构,提高利用率。云计算促进了软件之间的资源聚合、信息共享和协同工作,形成面向服务的计算。云计算能够将全球的海量数据快速处理,并同时向上千万的用户提供服务^[13]。

云计算关键技术使得用户无需关心操作系统、数据库及平台软件环境、底层硬件环境、计算中心的地理位置、软件提供方和服务渠道。以空间信息处理领域为例,云计算平台将极大地释放计算资源的潜力,充分共享各种复杂分析和处理算法以及相关经验,极大地提高解决复杂空间信息分析和处理的能力。

三、智慧地球的特征

将数字地球与物联网以及云计算技术结合起来所形成的智慧地球将具备以下特征。

(一) 智慧地球建立在数字地球的基础框架上

数字地球将地球上各类信息按照地理分布的方式统一地建立了索引和模型,为数字化的传感和控制提供了基础框架。智慧地球需要依托数字地球建立起来的地理坐标和各种信息(自然、人文、社会等)的内在有机联系和关系,并在此基础上增加传感、控制以及分析处理的功能。

（二）智慧地球包含物联网和云计算

在基础框架之上,智慧地球还需要实时的信息采集、处理分析与控制,物联网和云计算就是用于智慧地球中实时采集、分析处理以及控制的关键。物联网和云计算的核心和基础仍然是互联网,是在互联网基础上的延伸和扩展,其用户端延伸和扩展到了任何物品与物品之间,相互进行信息交换和通信,弹性地处理和分析。

（三）智慧地球面向应用和服务

智慧地球中的物联网包含传感器和数据网络,与以往的计算机网络相比,它更多的是以传感器及其数据为中心。传感器网络则一般是为了实现某种应用而设计的,是一种面向应用的,能够通过无线或有线网络节点,相互协作地实时监测和采集分布区域内的各种环境或对象信息,并将数据交由云计算进行实时分析和处理,从而获得详尽而准确的数据和决策信息,并将其实时推送给需要这些信息的用户。

（四）智慧地球与现实城市融为一体

在智慧地球中,各节点内置有不同形式的传感器和控制器,用以测量包括温度,湿度,噪声,位置,距离,光强度,压力,土壤成分,移动物体的大小、速度和方向等众多城市中的环境和对象数据,还能通过控制器对节点进行远程控制。随着传感器和控制器种类和数量的不断增加,将与电子世界的纽带直接融入现实城市的基础设施中,自动地控制基础设施,自动监控空气质量、交通状况等。

（五）智慧地球能实现自主组网和自维护

智慧地球中的物联网需要具有自组织和自动重新配置的能力。单个节点或者局部节点由于环境改变等原因出现故障时,网络拓扑应能根据有效节点的变化而自适应地重组,同时自动提示失效节点的位置及相关信息。因此,网络还应具备维护动态路由的功能,保证整个网络不会因为某些节点出现故障而导致整个网络瘫痪。

四、智慧地球时代测绘地理信息学的新使命

智慧地球时代需要更加丰富和完善的空间信息采集、处理和服务机制,这就赋予测绘地理信息学新的使命,具体包括位置云、遥感云、空天地一体化的传感网与实时 GIS、视频与 GIS 的融合、智能手机作为无处不在的传感器、室内与地下

空间定位及导航、空间数据挖掘等 7 个主要方面。下面就这 7 个方面逐一进行探讨。

1. 位置云

在全球卫星导航系统进入民用领域以来,美国的全球定位系统(Global Positioning System, GPS)、俄罗斯的全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)、中国的北斗、欧盟的伽利略系统等已经或计划向用户提供卫星定位服务,但由于存在各种误差,定位精度还无法达到很多行业用户的要求。为了提高定位精度产生了连续运行参考站系统(Continuously Operating Reference System, CORS),但由于使用方法的限制,使得高精度定位服务的广泛使用存在一定门槛。现在用户将卫星定位信息传送到位置云服务中心,位置云服务在 1 s 内即可将定位精度解算到亚米级并反馈,如图 2 所示。

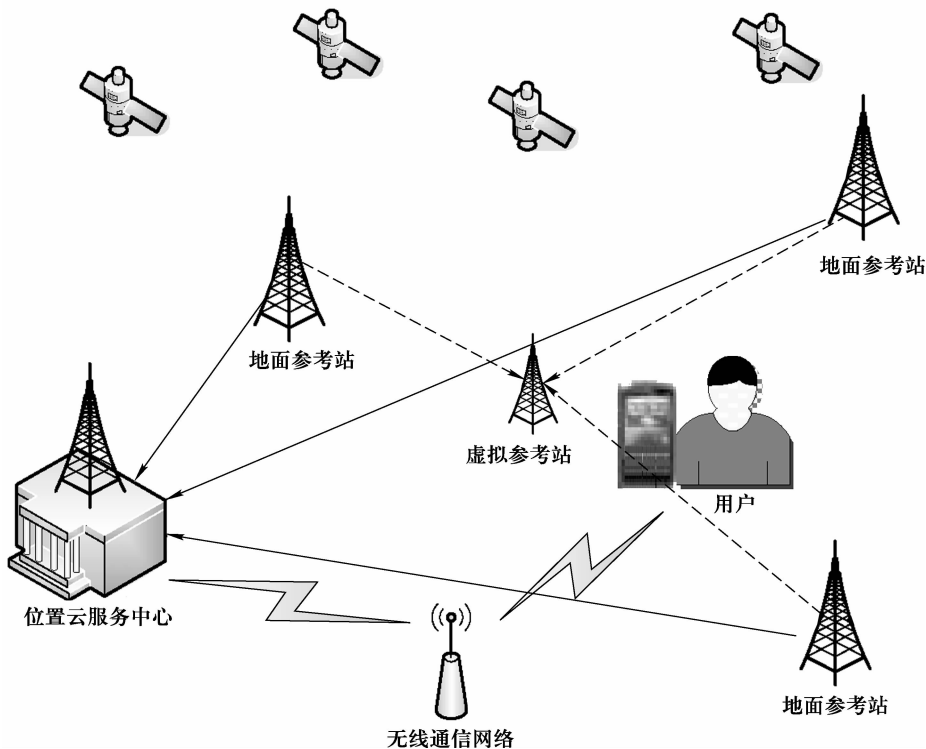


图 2 高精度位置云服务

2. 遥感云

各类复杂的遥感解译方法在云计算平台的支撑下,将极大地释放计算资源的潜力,充分共享各种复杂分析和处理算法以及相关经验,极大地提高解决复杂空间信息分析和处理的能力,以自然的语言解译遥感图像,使得更广泛的各行业

用户能够充分利用遥感资源获取需要的数据,OpenRS-Cloud 就是其中的一个典型代表^[14]。以下是在平台上基于 KMean 算法的遥感影像分类,如图 3 所示:



图 3 基于云计算的 OpenRS-Cloud 平台

3. 空天地一体化的传感网与实时 GIS

以数据为中心,转化为以用户为中心,将被动地接收数据 - 分析数据 - 使用数据,变为采集用户需求 - 分析数据所需观测平台及参数 - 主动观测获取数据。空天地一体化的传感网将具有动态监测各种分辨率的空间信息的能力,如土地类型、建筑、道路、市政设施等信息^[15]。

一体化传感网可以按照用户需求制定卫星轨道及观测角度等,从而快速响应用户需求。GIS 从传统的使用历史数据变为可以获取实时数据甚至预约未来的数据。如图 4 所示的观测实例,根据森林大火发生位置,调动传感网资源动态采集大火发生及附近位置的实时影像,从而更好地为决策提供有效的数据支持。

4. 视频与 GIS 的融合

传统 GIS 数据尺度越小,更新周期越长,深入社区、楼栋及楼内的相关数据目前还无法做到实时更新。而现在越来越多的视频传感器获取了海量的实时动态影像,但大量的传感器按照编码进行检索和监控,难以发挥其巨大作用,而随着大规模的视频传感器资源接入 GIS 平台后,将能极大地发挥视频传感器实时影响数据采集与 GIS 数据管理的优点,提供智慧的基础服务。例如,武汉市的“智慧之眼”,将武汉市 20 多万个分布在交通路口、学校、银行、社区、商店周边的视频传感器与 GIS 平台进行融合,在监控中心就可以在地图上选择重点街道沿街进行远程视频巡逻,同时还可以与历史 GIS 数据进行比对,对细小变化进行检测,如图 5 所示。

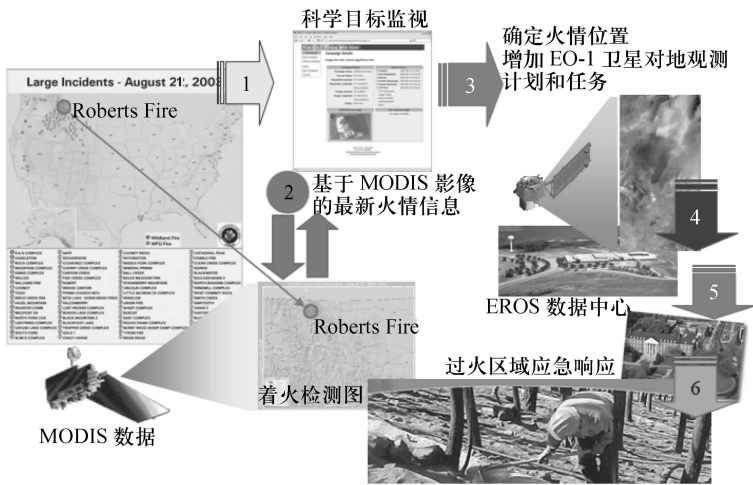


图 4 森林大火主动观测

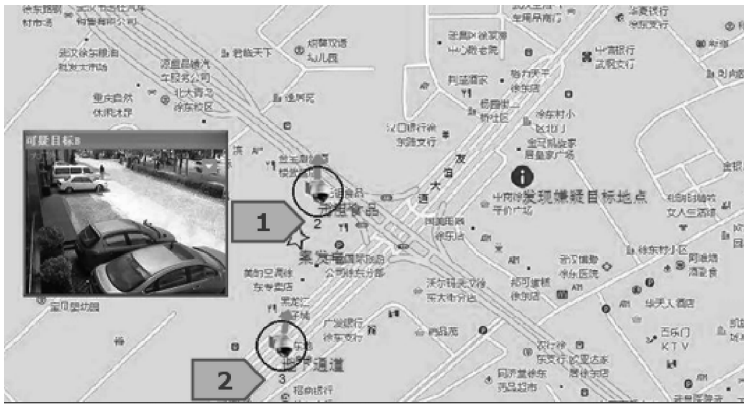


图 5 视频与 GIS 的融合

5. 智能手机作为无处不在的传感器

智能手机作为广泛接入网络的传感器,可以使得人人都是移动传感器^[16],在人们最需要的地点和路径上移动地、多方位地采集并发布实时数据,包括位置、影像、声音、视频、移动方向及速度、重力加速度等数据。人们在分享数据时就是一个数据采集和提供者,同时也享用其他人提供的各种信息,如图 6 所示。

6. 室内与地下空间定位及导航

在卫星信号无法覆盖的室内和地下空间,可以采用传感器和地面无无线信号方式进行定位。可采用的传感器包括加速度计、陀螺仪、电子罗盘、摄像头等,地面无无线信号包括无线通信网、无线数字电视、蓝牙、WiFi (Wireless Fidelity)、射频信号等无线信号。基于卫星信号的定位导航、基于传感器的定位导航、基于地面

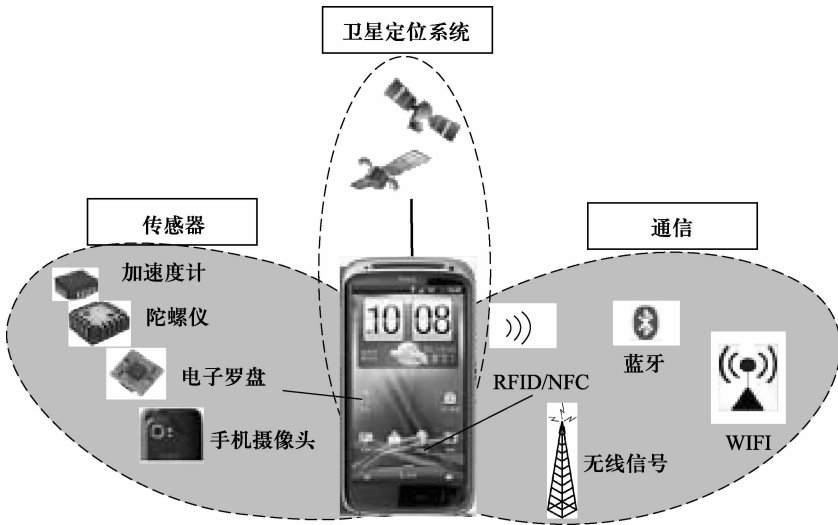


图6 智能手机作为无所不在的移动传感器

无线信号的定位导航以及混合定位导航方法。图7为采用多传感器多网络混合定位导航方法的室内外连续定位。

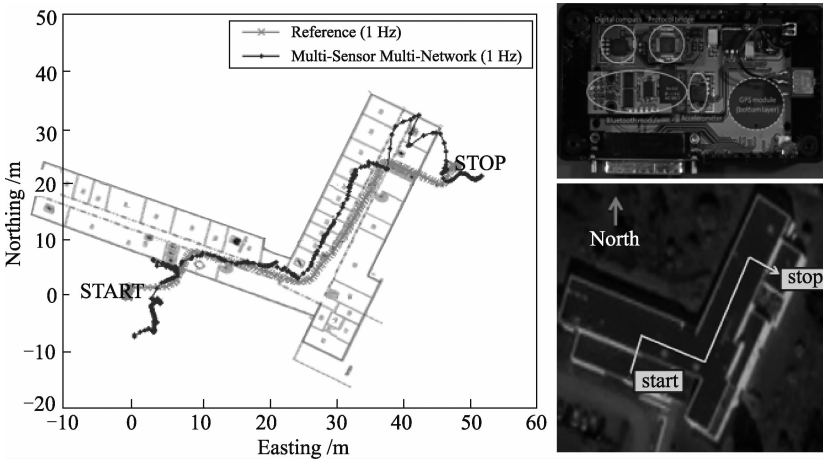


图7 室内定位导航

7. 空间数据挖掘

海量的、各类型的静态和动态数据的采集系统已经逐步建立,对海量数据尤其是对空间相关数据的分析和挖掘才能发挥数据的巨大作用,为各种管理和提供服务提供支撑。如图8所示,对重点地区、重点人群、重点事件进行实时监控,设置徘徊、逗留、遗留物等各种规则进行实时预警,在保护隐私的前提下提高公共场所的安全等级。



图 8 基于视频的数据挖掘

五、总结与展望

智慧地球是基于数字地球、物联网和云计算建立的现实世界与数字世界的融合,以实现对人和物的感知、控制和智能服务。智慧地球为社会发展和大众生活提供各种智能化的服务,从而使得人与自然更加协调的发展。智慧地球的实现需要建设更加完善的信息基础设施,才能保证各种智慧地球的应用用得好、用得起。作为智慧地球基础的测绘地理信息行业要抓好与智慧地球相关的技术创新和攻关研究,将传统测绘提升为能够实时、智能地采集和处理海量空间数据、信息和知识发布为智慧测绘服务,才能在实现智慧地球和智慧城市的进程中更好地发挥作用。

参考文献

[1] Samuel J P. CEOs deliver remarks on the economy and stimulus package [EB/OL]. (2009 - 1 - 28) [2012 - 8 - 8] http://www.ibm.com/ibm/ideasfromibm/us/news_story/20090130/index.shtml.

[2] 李德仁,龚健雅,邵振峰. 从数字地球到智慧地球[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2010,35(2):127-132.

[3] Al G. The digital earth: Understanding our planet in the 21st century. [EB/OL]. (1998 - 1 - 31) [2012 - 8 - 8] http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=6210.

- [4] 李德仁,邵振峰. 论新地理信息时代[J]. 中国科学 F 辑:信息科学, 2009,39(6):579-587.
- [5] Declan B. 2020 computing:Everything, everywhere[J]. Nature,2006,440(7083):402-405.
- [6] van Zyl T L, Simonis I, McFerren G. The sensor web: systems of sensor systems. International Journal of Digital Earth,2009,2(1):16-30.
- [7] Gruen A. Reality-based generation of virtual environments for digital earth [J]. International Journal of Digital Earth,2008,1(1):88-106.
- [8] Shao Z F, Li D R. Image city sharing platform and its typical applications. Science in China(Series F:Information Sciences),2011,54(8):1738-1746.
- [9] ITU. ITU internet reports 2005:the internet of things[R]. Tunis:ITU, 2005:11.
- [10] 李德仁,邵振峰,杨小敏. 从数字地球到智慧地球的理论与实践[J]. 地理空间信息,2011,9(6):1-5.
- [11] Uusitalo M A. Global visions for the future wireless world from the WWRP [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine,2006,1(2):4-8.
- [12] 李德毅. 云计算支撑信息服务社会化、集约化和专业化[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2010,22(6):698-702.
- [13] Luiz A B, Jeffrey D, Urs H. Web search for a planet:the google cluster architecture[J]. IEEE Micro,2003,23(2):22-28.
- [14] 刘异, 吕维, 江万寿, 等. 一种基于云计算模型的遥感处理服务模式研究与实现[J]. 计算机应用研究,2009,26(9):3428-3431.
- [15] 李德仁,沈欣. 论智能化对地观测系统[J]. 测绘科学,2005,30(4):9-11.
- [16] Michael F G. Citizens as voluntary sensors:spatial data infrastructure in the world of web 2. 0 [J]. International Journal of Spatial Data Infrastructures Research,2007,2:24-32.



李德仁 摄影测量与遥感学家,1939年生,祖籍江苏镇江丹徒,中国科学院院士,中国工程院院士,国际欧亚科学院院士。1963年毕业于武汉测绘学院,1981年获该校硕士学位,1985年获联邦德国斯图加特大学博士学位,2008年被苏黎世理工大学授予名誉博士学位。1988年获国家级有突出贡献中青年专家。历任武汉测绘科技大学校长,武汉大学学术委员会主任,测绘遥感信息工程国家重点实验室主任、学术委员会主任,全国政协委员,国务院学科评议组

成员。已发表论文650余篇,出版专著11部。李德仁教授提出地球空间信息科学的概念和理论体系,长期从事以遥感(Remote Sensing,RS)、全球卫星定位系统(Global Positioning System,GPS)和地理信息系统(Geographic Information System,GIS)为代表的空间信息科学与技术的科研、教学与产业化发展工作,推进数字城市与数字中国、智慧城市与智慧中国的建设。

大地测量基础设施建设若干问题思考

杨元喜

地理信息工程国家重点实验室 中国卫星导航定位应用管理中心

一、大地测量基础设施需求

不同行业、不同层次有不同的基础设施。大地测量基准基础设施、观测基础设施、数据处理基础设施、服务基础设施等共同构成了大地测量基础设施。大地测量基准基础设施包括坐标基准、重力基准、磁力基准、时间基准等。它们不仅是大地测量与导航的基础,也是测绘全行业的基础设施。大地测量观测基础设施包括天基、空基、海基、地基等多种手段在内的立体的、网状的大地测量观测系统及其支撑结构。数据处理基础设施包括大地测量数据分析与综合计算平台、软件系统和标准。保障基础设施包括各种产品与数据服务和分发中心、服务模式。

大地测量基础设施是国防和国民经济建设的重要基础,可为国家和政府机构进行国防、经济建设的重大决策提供支持,可为各类科学研究和实践应用提供基础框架。随着世界多极化、经济全球化深入发展,我国国家利益已经超出传统的领土、领海、领空范围,不断向远洋、两极、太空、电磁空间以及网络空间延伸。大地测量基础设施必须具备全球时空基准统一能力、卫星导航自主定位能力、全天候信息采集能力、规模化智能化数据处理和融合能力、网络化分发和实时服务能力,以及在全球任何地点任何时刻都能提供大地测量信息保障的能力。

二、大地测量基准基础设施

(一) 全球空间基准基础设施

美国为维护其国家安全及在大地测量界的领先地位,在全球大地测量坐标系(GPS-84)的基础上,又积极倡导推进美国大地基准现代化,将美国国家大地控制网的更多点融入国际地球参考框架(International Terrestrial Reference Frame, ITRF)体系,使得美国在 ITRF 中具有领导地位。

2008年7月1日,我国启用了2000中国大地测量坐标系(China Geodetic

Coordinate System 2000, CGCS2000), 标志着国家有了统一的、高精度的地心坐标系和地心坐标框架。CGCS2000 与 ITRF 定义一致(历元 2000.0), 全球联测精度 3cm。但是我们还没有构建后续公用地理参考系, 空间基准框架点较少, 全球覆盖不够, 境外没有可控的监测点, 没有动态更新机制, 影响基准的使用效能, 也影响北斗卫星导航卫星轨道测定与控制精度。

对于我国大地基准基础设施建设, 应该构建全球参考系统框架, 为 CGCS2000 维持与更新提供支持; 构建全球多模 GNSS (Global Navigation Satellite System) 跟踪系统, 提高北斗卫星导航系统轨道精度, 进而提升北斗的全球服务能力; 建立多模 GNSS 监测系统, 为监测卫星导航系统异常提供实时信息, 在多卫星系统监测的基础上, 监测各卫星导航系统的系统误差, 为确定多系统互操作参数提供支持; 建立基于多模对地观测基准维持与更新系统。

(二) 重力、磁力基准基础设施

重力场、磁力场是地球基本物理场, 反映了地球(固体地球、海洋和大气)物质分布及其(随空间和时间)变化, 不仅是地球圈层变化监测和地下及海洋资源勘察的基本元素, 也为航天飞行器航迹规划、发射校准和水下导航提供基本信息。

我国 2000 国家重力基本网, 由 21 个重力基准点、126 个重力基本点和 112 个重力引点组成, 精度为 $\pm 7.4 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, 为我国提供了统一的、高精度的重力基准。但是, 与我国广大的国土面积和实际需要相比, 重力基准缺少覆盖, 绝对和连续重力监测点偏少, 精度和分辨率偏低, 更新机制欠缺。在磁力基准方面, 我国已初步建立了由台站磁测、地面流动磁测、海洋磁测和航空磁测组成的全国地磁观测体系, 但我国地磁三分量(三要素)测量仅限于地面测量, 其他领域均属于单一要素的地磁标量测量, 如我国的航空磁测、海洋磁测只能测量地磁总强度。磁力基准的建设任重道远。

(三) 时间系统基础设施

时间是信息的基本要素, 是信息系统的“心脏”。但是, 我国目前还没有统一的时间基准, 现有时间基准是由国内几家主要守时单位独立守时完成的, 基准不统一, 缺少高精度钟组; 时间基准溯源、比对链路需要加强; 资源没有充分利用和整合, 时间系统管理混乱。国家统一时间基准建设还面临较大难题。

随着我国独立自主的北斗卫星导航系统的建成, 与北斗卫星导航系统并行的北斗时间系统也宣告建成。北斗时(BDT)起算历元时间是 2006 年 1 月 1 日零时零分零秒(UTC), 溯源到协调世界时(UTC), 与 UTC 的时间偏差小于

100 ns。未来国家标准时应该依据北斗系统统一服务授时,保持国家时间系统的一致性和高精度。

三、对地观测基础设施

大地测量观测系统也可称为大地测量观测网络,是国家坐标系统及空间控制框架基础设施。全球卫星导航系统及其他对地观测系统,如甚长基线(Very Long Baseline Interferometry, VLBI)、卫星激光测距/激光测月(Satellite Laser Ranging/Lunar Laser Ranging, SLR/LLR)、多普勒定轨和无线电定位系统(Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite, DORIS)、重力卫星等都是大地测量对地观测系统。美国为维持其大地测量观测基础设施的领先地位,将投资改进大地测量观测基础设施,包括实施GPS现代化、建设下一代SLR跟踪系统、改进VLBI系统、补充和增加国际大地测量观测网的密度、建立和维持高精度GNSS/GPS国家网络,实现现有观测系统现代化。

我国已经建立了多种对地观测系统,如北斗卫星导航系统,已经建立的6个SLR观测站、5个VLBI观测站,此外也建立了航空对地和海洋重力观测系统等。重力卫星、测高卫星、磁力卫星也在有关部门的规划论证之中。

但是与测绘导航观测基础设施要求相比,我国对地观测系统还有很大差距。北斗卫星导航系统还没有形成全球覆盖,抗干扰能力、自主运行能力还较欠缺,没有境外的实时可控的导航定位观测台站;用于大地测量的VLBI、SLR台站严重欠缺;连续运行的重力观测台站较少,没有全球重力观测手段;没有空间和海洋地磁观测系统,对地观测没有形成体系,特殊时期需要的特定地区、特定时间的大地测量信息还没有能力实时提供。

四、大地测量数据处理基础设施

随着技术的发展,全球对地观测数据量每天可达万亿兆,而且各种数据类型复杂。海量的测绘导航数据处理问题涉及存储、转换、传输、分析、处理、融合等各个层面,很难用传统的方法处理,必须有强大的数据处理基础设施。

我国测绘导航数据采集能力虽然得到了显著提升,但数据处理基础设施进步缓慢,主要表现为缺少大地测量数据分析与综合的系统和标准,缺少全球数据分析与综合的计算设施,缺少自主知识产权的GNSS处理软件系统,缺少成熟的多传感器信息融合处理、分析软件系统,缺少具有自主知识产权适合北斗卫星星座的定轨理论和相应的软件系统,缺少综合大地测量数据生产系统,大地基准更新与服务能力严重不足。

在大地测量数据处理基础设施建设方面,应加强分布式或网格化信息(或云

计算)处理模式研究,加强大地测量数据处理平台建设,全面提升全国统一的大地测量信息处理能力,最终形成实时或准实时接收处理各类大地测量信息的能力,形成各类大地测量数据融合能力和快速完成特殊定制的大地测量产品的生产能力,具备提供实时或准实时大地测量服务能力。

五、大地测量产品保障基础设施

测绘导航能力的最终表现形式是服务能力。服务水平的重要基础是健全的服务基础设施、传输通道、法规和标准。

国际上十分重视测绘导航服务基础设施建设,如地球自转服务(International Earth Rotation Service, IERS)、国际 GNSS 服务(International GNSS Service, IGS)、国际激光测距服务(International Laser Ranging Service, ILRS)、国际 VLBI 服务(International VLBI Service, IVS)等。美国将建立联邦大地测量服务部,负责协调和实施国家及全球大地测量基础设施的现代化和长期运转,保证用户能够方便、快捷、可靠地访问精确统一的大地测量数据服务网站,获取所需的、可靠的、权威的大地测量产品。然而,中国暂时还没有任何这类服务中心,直接影响大地测量与导航的能力生成。

为此,应尽快构建中国大地测量服务系统(CGS),该服务系统应该能够提供网络环境下导航定位基准及模型产品(重力场模型),具备网络环境下导航定位产品生成与建模(轨道和各种改正)能力,具有大地测量与导航的统一服务标准,具备网络环境下其他大地测量信息服务能力。

保障基础设施建设内容主要包括:大地测量基准数据及数据产品生成与分发系统,中国导航服务中心(China GNSS Service),国家重力、磁力数据服务中心,大地测量数据服务法规、标准,大地测量服务网络建设。

六、结语

大地测量基础设施是提高大地测量保障能力的核心基础。应该构建全球动态可控、可维护、稳定和可靠性好的大地坐标基准框架和全球重力、磁力基准基础设施,提升全球基准维持和保障能力;构建无闰秒、连续的中国时频体系,具备为指挥决策、国家核心经济领域提供中国独立的时间基准维持的能力。

建立全球覆盖的立体大地测量观测体系,包括定位、重力、测高、导航等,提高全天候实时大地测量信息获取能力。

构建大地测量与导航数据处理中心,使其具备实时进行各类数据融合的能力,具备提供各类高精度、高可靠性的大地测量产品的能力。

构建、改善自主可控的大地测量信息服务中心(如 CGS 等),并健全相应数

据服务标准和规范,为各类用户提供现势性好的大地测量与导航服务。



杨元喜 1956 年出生,中国科学院院士。1991 年获博士学位,1992 年任教授。先后主持完成了“2000 国家 GPS 大地控制网数据处理工程”和“全国天文大地网与空间网联合平差工程”。创建了“相关观测抗差估计理论”和“自适应导航定位理论”。共完成学术专著 2 部,合著 3 部。发表论文 250 余篇,其中 SCI 收录的第一作者论文 30 余篇,他引 2000 多篇次。2 项成果获国家科技进步奖二等奖;4 项成果获省部级科技进步奖一等奖。1999 年获中国科协“求是杰出青年实用工程奖”,1998 年获国家杰出青年科学基金,2011 年获“何梁何利科技进步奖—地球科学奖”。

是杰出青年实用工程奖”,1998 年获国家杰出青年科学基金,2011 年获“何梁何利科技进步奖—地球科学奖”。

对地观测五十年的发展思考

郭华东

中国科学院对地观测与数字地球科学中心

一、引言

当前人类社会的发展面临着能源、水资源、气候变化等多方面的挑战,人类迫切需要更深入地了解地球、理解地球,进而管理好地球,而寻求一条可持续发展的途径是决定人类未来能否在地球上继续生存的关键。利用对地观测技术,我们不但能够分析地球系统的水、碳、能量等要素的分布和变化规律,回答地球系统动态演变过程中出现的科学问题,而且能够获取丰富的地球基础数据,协助开展灾害应急、土地管理、能源规划等社会、经济领域的工作,在全球范围内增强人类应对发展危机的能力。1962年“遥感”的问世,标志着该科学技术已历经半个世纪的发展。此际回顾对地观测五十年的发展历程,有助于我们梳理对地观测技术的发展脉络,认识在不同历史阶段对地观测技术发展的时代特点和社会背景。特别是,通过了解世界对地观测技术的发展轨迹,借鉴其他先进技术国家和地区的发展经验,思考国际前沿发展趋势,可以更好地把握和设计中国未来对地观测体系建设的方向,服务于我国社会的可持续发展。

二、对地观测技术的发展回顾

对地观测已发展为航空观测、航天观测、多平台协同观测的三种主要技术形式,并形成了以成像光谱技术、成像雷达技术和激光雷达技术为代表的先进对地观测技术体系。

(一) 航空对地观测

早在摄影技术诞生十几年后,从19世纪50年代起人类开始搭乘热气球拍摄地球影像,至20世纪初载人飞机出现之后,开始在军事侦察飞机上安装光学相机拍摄航空影像,这成就了现代航空遥感系统的先驱。1970年之前,航空对地观测多利用传统的胶卷成像设备、RBV电视相机、光学扫描系统等光学传感器开展观测,观测多用于国土安全相关的监测活动,并服务于星载传感器的预研制

和试运行工作。1970年至20世纪末,机载光学和微波观测技术发展迅速,出现了一系列有代表意义的航空传感器,如光学领域的 AIS、AVIRIS、AMSS、HYDICE、TRWIS 等成像光谱设备,微波领域的 AIRSAR、TOPSAR、DO-SAR、E-SAR 等机载合成孔径雷达。机载激光雷达技术近年快速发展,目前已经成为获取三维地理信息的重要手段之一。

(二) 航天对地观测

第二次世界大战结束后,美国和前苏联从德国获取了重要的火箭技术,伴随着1947年美国V-2火箭的发射,人类开启了从太空对地球进行观测的新时代。60年代中期前,社会的普遍观点认为利用地面调查和航空观测,人类已经能够足够充分地认识地球系统,所以此时发射的卫星多服务于对外太空的观测,少量用于地球系统的观测。直至1972年具有对地观测历史中里程碑意义的ERTS-1卫星发射升空后,人类卫星计划出现面向对地观测的新方向,航天对地观测技术进入快速发展的新时期。在光学观测领域,Landsat、SPOT、NOAA、Resurs、IRS、RESOURCESAT、Terra、Aqua等卫星提供米至千米级多光谱分辨率的地球图像,2000年以后出现了EO-1为代表的携带高光谱传感器的对地观测卫星平台。20世纪末,商业遥感卫星开始服务于对地观测,IKONOS、QuickBird、GEOEye等卫星提供民用领域1m内的观测影像。在微波观测领域,1978年出现世界上第一颗携带合成孔径雷达的SEASAT卫星,90年代后JERS、RADARSAT、ENVISAT、ALOS等星载SAR卫星陆续出现。

(三) 地球观测系统

20世纪末“数字地球”构想问世后,对地观测技术的发展开始从区域性、领域性向综合的、全球化的方向发展。2002年约翰内斯堡世界可持续发展峰会开始呼吁对地球系统进行协调观测。2003年在法国举行的八国集团首脑峰会(G8)正式确认地球观测的重要性和优先行动纲领。同年7月在美国华盛顿召开的第一次地球观测峰会,正式提出全球协调组织成立一个全面协调、发展和可持续的地球观测系统以协调全球资源和地球观测活动,并于2005年在布鲁塞尔通过草案并设立地球观测组织(Group on Earth Observations, GEO)。目前由88个国家、欧盟和64个国际组织参加的GEO已构成空间对地观测的强大力量和组织体系,人类正在开展对地球进行系统观测的新时代。

地球观测系统是以电磁波和地物的相互作用理论为基础原理,综合利用不同形式的观测平台和技术,实现对地球陆地表面、生物圈、固体地球、大气、海洋等进行系统探测的观测体系。地球观测系统出现后对地观测从依靠单一平台观

测转向通过制定系统的、可协调的对地观测计划,在全球尺度开展的多平台体系化观测。地球观测系统成为服务于人类社会可持续发展需求的重要技术手段。

三、我国的对地观测发展

历经 30 余年的发展,我国已成为对地观测大国。目前已形成资源卫星、环境卫星、气象卫星、海洋卫星、小卫星和飞船对地观测系统等,同时形成了北斗导航卫星计划,广泛地服务于国民经济的各个领域。在机载对地观测方面,已先后开发了一系列先进遥感系统 and 应用系统。在国际卫星数据接收方面,拥有的中国遥感卫星地面站能够接收 10 余颗卫星数据,每年完成 15TB 卫星数据存档,保存着 1986 年以来各类卫星数据 270 多万景,是国际接收处理分发卫星数据最多的地面站之一,是国内、国际宝贵的航天对地观测历史数据库。

四、对地观测发展的思考

纵观全球对地观测 50 年的发展过程,每项新的技术、新的计划诞生的背后都有与其对应的时代和政治经济背景。人类开展对地观测的目的也从单纯服务于军事侦查,逐渐转向服务于人类社会发展的重大需求,全球化时代到来后,对地观测技术更是发展出体系化观测的地球观测系统。目前,美国、欧洲等拥有世界领先的对地观测技术的国家和地区,均已制定面向长期发展需求的对地观测计划,这些计划具有明确的服务领域,如美国 2016—2020 年的对地观测计划关注全球臭氧及相关气体的监测(GACM 计划)、大气污染监测(3D - Winds)、地质灾害(LIST)、天气预测(PATH)、水资源利用(GRACE - II/SCLP)等;欧洲的 GMES 计划设置了陆地、海洋、应急管理、安全、大气、气候变化六大服务领域。欧美未来的对地观测计划要求星天地一体的系统化观测、强调观测的连续性和发展能力,即制定长期持续的观测计划,开展机载和星载传感器的系统化开发。其对地观测计划也更强调对观测平台和数据的协调使用,更加面向满足社会应用需求和国家、区域战略目标。同时,俄罗斯、日本、印度等国也发布了各自的对地观测战略规划,逐渐形成了具有其自身特点的对地观测系统和体系。

我国未来对地观测的发展首先需要满足国家战略需求,考虑国家社会、经济、科学发展的重大要求,确定我国对地观测的优先服务领域,建立多平台综合观测计划,突出大小卫星并举的观测体系。在构架我国国家对地观测体系的过程中,需要分析国际已有的对地观测系列计划,依据国家战略需求确定我国必需发展的对地观测平台。同时,考虑国际对地观测平台和数据建设的缺失,制定我国独特的系列观测计划,弥补全球在该领域的“数据”鸿沟(如时间、空间和精度等),尽可能满足全球业务应用对数据的系统性需求。

建议加强我国未来对地观测发展的一体化管理,提高顶层设计能力和水平,进一步促进国家对地观测资源的共享,减少重复建设,避免针对相同科学需求的同性能的卫星重复发射,提高对地观测的服务效率。应从社会应用和受益需求出发,建立我国对地观测应用和受惠领域体系,满足我国科学、社会发展的现实需求。同时,通过统筹协调不同机构与部门已有的对地观测资源,依据我国对地观测优先服务领域,加强机载和星载传感器的连续性研制,制定系统的国家对地观测计划。

我国未来对地观测的发展需要面向人类社会发展的重大问题,如气候和环境变化、社会安全等,发展具有全球服务能力的全球变化科学卫星计划,在满足我国全球化时代的战略需求的同时,使我国能够更好地承担应对人类可持续发展危机的国际责任。

五、结语

对地观测技术可以帮助我们更为全面地认识地球的物理、化学和生物系统的变化规律,特别是在当前世界各国都面临环境、能源、灾害等问题的威胁的背景下,具有全球运行能力的地球观测系统在应对全球化问题中具有常规方法难以比拟的优势。研究对地观测技术的发展历程,分析对地观测技术的能力,可以帮助我们更好地认识未来对地观测发展的科学目标和社会应用需求,最大限度地让对地观测服务于人类社会。把握对地观测的发展现状和趋势,有助于我国建立可系统观测、可连续发展、可协调合作、可有效服务的对地观测任务和计划体系,服务于我国在全球化背景下的重大政治需求和社会经济的可持续发展。



郭华东 中国科学院院士,现任中国科学院对地观测与数字地球科学中心主任、研究员。兼任国际科联国际科技数据委员会(CODATA)主席、国际数字地球学会(ISDE)秘书长、《国际数字地球学报》(IJDE)主编等职。30多年来他主要从事遥感科学与应用研究,在雷达遥感信息机理、多模式遥感信息地物识别方法、空间信息前沿技术研究等方面取得了系统性成就。现任“973”计划“空间观测全球空间敏感因子的机理与方法”项目首席科学家、国家大科学工程

“航空遥感系统”项目首席科学家。发表论著300余篇/册,出版专著6部,主编著作9部,作为第一完成人或主要完成人共获国家和省部级科技奖励13项。

VLBI 大地测量的历史、现状和发展

钱志瀚 等

中国科学院上海天文台

一、VLBI 大地测量概念

VLBI——Very Long Baseline Interferometry 的中文译名为甚长基线干涉测量。一个 VLBI 系统由两个(或更多)观测站和一个数据处理中心组成。观测站主要设备为射电天线、接收机、数据采集终端及氢原子钟等;数据处理中心的主要设备为 VLBI 相关处理机及相关后和数据分析用的通用计算机。图 1 为 VLBI 概念图。

实施 VLBI 观测时,各测站的射电望远镜同时跟踪同一颗射电源,接收遥远的射电源辐射的无线电噪声信号,将数据记录在磁盘阵列上。观测完成后将记录数据的磁盘阵列运送至数据处理中心进行相关处理;也可以在观测时实时将数据通过高速数据通信网络传送至相关处理中心,进行实时相关处理,这种工作模式称为 e-VLBI。

VLBI 与连线射电干涉仪的主要不同点为:VLBI 使用了高稳定度的氢钟作为频率基准,所以各测站接收到的射频信号经过频率转换后得到的基频信号仍保持了相关性,所以同样可以获得干涉条纹。因此,VLBI 也可以称为独立本振射电干涉仪。由于 VLBI 各个测站不需要公共的本振信号,所以 VLBI 测站之间就不需要电的连接,它们之间的距离原则上就不受限制,可以设置在地球上任何地方,只要两个测站(或更多测站)能够同时观测到同一个目标,就可以实施 VLBI 观测。

VLBI 观测值为射电波某一波前到达各测站的时间差及其变化率,即时延和时延率。VLBI 观测通常组网观测(三个或更多测站),一次 VLBI 大地测量观测一般历时 24 小时,在此期间对于在天空上均匀分布的数十颗致密射电源进行数百次甚至上千次观测,利用获得的 VLBI 观测值来解算有关大地测量参数,如测站坐标和地球定向参数(Earth Orientation Parameter, EOP)。在需要时,还可以同时解算射电源的位置。经过一定时间跨度的一系列 VLBI 大地测量观测,可以进一步解算得到测站的运动速度和基线变化率,建立 EOP 序列。

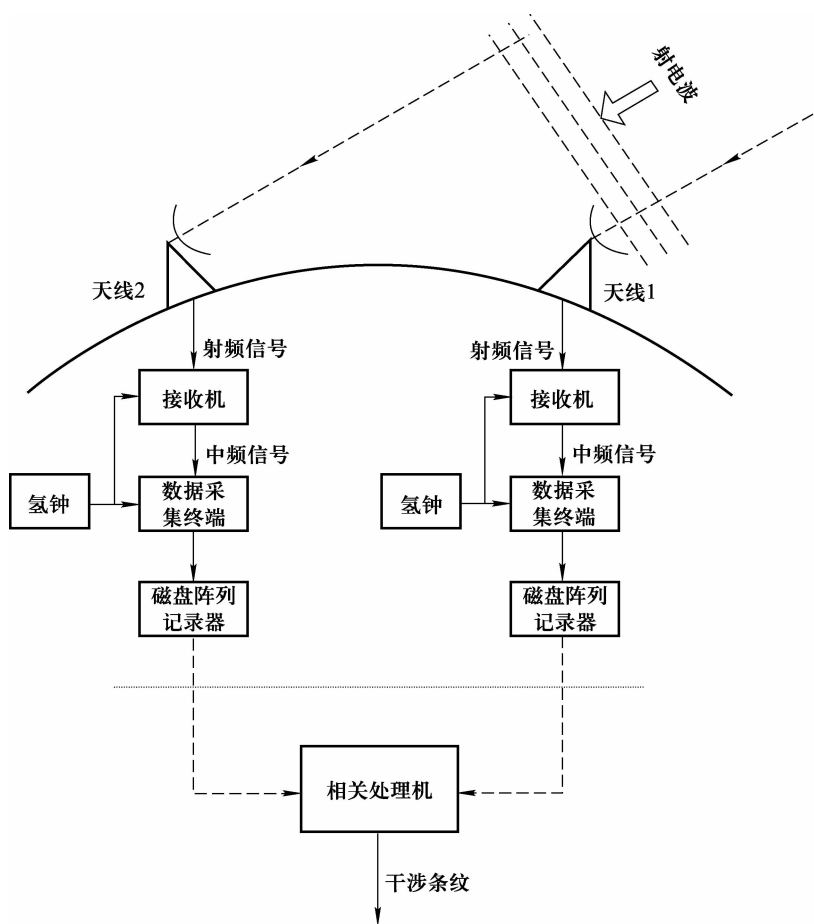


图1 VLBI概念

VLBI 大地测量的特点:① 以高精度的遥远的河外致密射电源为参考,大地测量结果的长期稳定性好;② 是唯一的一种可以测量全部 EOP 参数的空间大地测量技术,实现地球参考架与天球参考架的直接连接;③ 为纯几何测量技术,不受地球重力场的影响,这是它的优点之一。但是,它因此不能测定地心,只能测量各测站的相对位置;④ 工作在射电波段,白天、阴雨都可以观测,具有全天候观测能力。

VLBI 的上述特点,决定了它是建立天球参考架、地球参考架、测量现代地壳运动和 EOP 序列的基本手段。

二、VLBI 大地测量历史

在 1967 年,美国和加拿大的射电天文学家分别成功地进行了 VLBI 技术试验。VLBI 技术诞生和发展的最初驱动力为天文学进行高分辨率研究的需要。

连线射电干涉仪的基线长度一般为几千米至几十千米,在厘米波段,它的分辨率为 $1'' \sim 0.1''$ 量级。如要求在厘米波段的分辨率提高到 $0.001''$,甚至更高,就需要将干涉仪的基线延伸基线至几千、上万千米。在20世纪60年代,原子频标技术和磁记录技术有了很大发展,这是当时VLBI技术诞生的重要技术条件。初期主要使用铷原子钟,它的频率稳定度不够高,一般为 $10^{-12} \sim 10^{-13}$,VLBI时延测量误差大,不能用于高精度大地测量。在20世纪70年代,氢原子钟技术有很大发展,它的稳定度达到 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ 。现代高精度的VLBI系统均采用氢原子钟作为频率基准。

自VLBI技术诞生后,美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)出于深空探测对于高精度天球参考架、地球参考架和EOP的需要,大力发展VLBI大地测量技术。同时,美国、欧洲、日本和俄罗斯等国和地区的大地测量和天体测量有关单位也努力发展VLBI大地测量技术。到20世纪末,VLBI大地测量的精度已经从初期的米级提高到了厘米、毫米级。

中国科学院上海天文台从20世纪70年代开始了VLBI技术发展和应用的研究,中国科学院上海和乌鲁木齐VLBI站分别于1987年和1994年建成并参加国际VLBI大地测量联测,精确测定了它们在全球地球参考架中的位置(毫米精度),首次检测到了上海和乌鲁木齐VLBI站相对于欧亚板块的现代地壳运动。中国科学院上海天文台佘山基地除了有VLBI站外,还有激光站和GPS站,所以佘山站是一个三种空间大地测量技术的并置站,是国际地球参考架的一个重要的基准站。

三、VLBI 大地测量现状

1999年,国际上建立了一个VLBI天体测量和大地测量服务机构,名称为International VLBI Service for Astrometry and Geodesy(IVS),为IAG(International Association of Geodesy,国际大地测量联合会)和IAU(International Astronomical Union,国际天文学联合会)的一个下属服务机构。IVS的主要任务为:组织和协调全球性的VLBI大地测量和天体测量的观测、数据处理及技术发展,免费提供高精度的TRF(地球参考架)、CRF(天球参考架)及EOP产品。全球共有30多个VLBI站参加IVS的观测,中国有上海、乌鲁木齐及昆明三个VLBI站参加。IVS组织不同的测站组网观测,平均每月十余次(24小时观测模式),每年150次以上。IVS共有9个主要的数据分析中心,中国科学院上海天文台是其中一个。

中国科学院上海天文台目前开展的VLBI大地测量研究工作为:①IVS的观测实施和数据处理;②APSG计划(亚太空间地球动力学计划)的VLBI测量的观测实施和数据处理;③“中国地壳运动测量网络”计划的VLBI测量的组织协

调、观测实施和数据处理;④ 建设新一代 VLBI 大地测量系统的技术方案研究。

四、VLBI 大地测量发展

目前 VLBI 大地测量的基本技术和工作模式是 20 世纪 80 年代确定下来的:采用 S/X 双频观测;参加观测的大都为天文和大地测量兼用的 VLBI 测站,不能专用于大地测量观测;天线口径一般为 20~30 m,转速比较慢,24 小时观测只能限于数百次。虽然经过各种技术改进,基线长度测量精度目前已经提高到近 1×10^{-9} (相当于 10 000 km 10 mm 误差)。但是由于基本体制的限制,它的测量精度很难有较大的提高。当前,对于各种自然灾害预测和预防的研究是人类面临的重大课题,其中海平面上升监测和地震预报研究对于地球参考架建立、地壳形变测量及地球定向参数测量的精度提出了 10^{-10} 的要求。据此,IVS 的一个工作小组于 2005 年提出了建设新一代 VLBI 大地测量系统的技术标准,称为 VLBI2010 标准,它的主要目标为:① 在全球尺度上,VLBI 测站位置测量精度 1 毫米(24 小时观测);② 测站位置和 EOP 连续测量(提高作业自动化和降低运行成本);③ 24 小时内获得初步测量结果(采用 e-VLBI 技术)。

上述指标中最为关键的为 24 小时测量精度 1 mm,也就是说,测量精度要提高一个数量级。采取主要的技术措施为:① 建设专用的 VLBI 大地测量测站,天线口径减小至 12 m 级,高转速,高刚度。这样,24 小时观测次数可以从数百次提高到 2000 次以上。② 天线采用 2-14 GHz 超宽馈源系统。观测频段改用 S(2 GHz)、C(5 GHz)、X(8 GHz)、Ku(12 GHz)4 个频段,时延观测值的精度提高到 4 ps(相当于 1.2 mm)。③ 增大带宽和提高数据采集速率。每个频段左右极化同时使用,每个极化通道带宽 1 GHz,采样速率 2 Gbps。4 频段 8 个极化通道,总的速率 16 Gbps。

目前,德国、美国、澳大利亚、西班牙及新西兰等国已经建成或正在建设 VLBI2010 观测站,俄罗斯、挪威、日本及韩国等国也正在筹划中。至 2015 年,全球有望建成十多个 VLBI2010 站,开始组网运行。

五、VLBI2010 与 GGOS

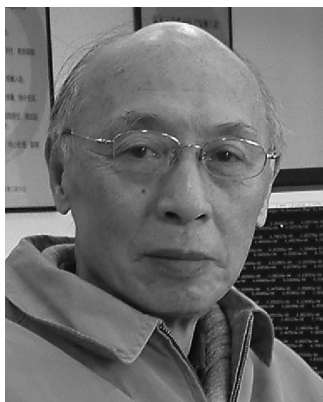
全球大地测量观测系统(Global Geodetic Observing System,GGOS)是 IAG 于 2003 年创建的一个服务机构,它的任务为:整合各种地面的和空间的大地测量信息资料,用于地球系统和全球变化的监测和研究。它提出:为了精确地监测全球变化,如海平面上升等,到 2020 年,地球参考架的精度需要达到 1 mm、稳定性达到 0.1 mm/a。

IVS 是 GGOS 的重要组成部分之一,VLBI2010 测量精度的目标是与 GGOS

提出的 2020 年的精度指标是一致的。在 2012 年,VLBI2010 观测系统被命名为 VLBI2010 Global Observing System(VGOS)。

六、结语

我国国土辽阔、人口众多,全球变化的监测及国内的自然灾害的预测和防治对于我国的经济发展和安定是十分重要和紧迫的任务。因而,对于地球参考架和地壳形变测量的精度也提出了更高的要求,所以在我国建设 VGOS 观测网是十分必要的。



钱志瀚 1935 年出生于上海,1958 年 10 月毕业于解放军测绘学院航空摄影测量系本科,毕业后留校任教员。1976 年到中国科学院上海天文台工作,为研究员、博士生导师、国务院政府特殊津贴专家,曾任中国科学院上海天文台射电天文研究室主任、中国科学院射电天文开放实验室副主任兼 VLBI 分部主任等职。到中国科学院上海天文台工作后,一直从事 VLBI 技术发展和应用的研究工作,为中国 VLBI 网建设的主要研究人员、VLBI 应用于我国天体测量

和地球动力学研究的主要开拓者之一和 VLBI 应用于我国探月工程及深空探测工程的主要倡导者之一。

信息化或被信息化的海洋测绘

翟京生

中国人民解放军海军海洋测绘研究所

一、引言

由于国家利益的拓展,特别是信息化技术的推动,目前,海洋测绘不得不面临两个必须加快实施的重大变革:与国家海洋战略相一致,加快推动海洋测绘的全球化;与科学技术变革相一致,加快推动海洋测绘的信息化。

两个变革是不同的,不仅重点不同、要求不同、影响也不同。全球化是一个扩大纵深的问题,更多属于一个技术上的问题,信息化却会影响到观念、理论、技术和体制,难度更大、矛盾也会更多,是一个需要破解的核心问题。

不管是10年、20年、50年或更长的时间,也不管是否愿意,海洋测绘都将被信息化,也只有信息化,才是影响和推动海洋测绘变革的根本动力。

同时,两个变革又是联系的,不管是全球化或是信息化,最终的目标是一致的,都是要按照信息化的理论和技术,形成一个与国家战略需求相匹配的、全球化的海洋测绘服务体系。

因而,扬弃旧的思想观念,树立全球化的视野,探寻信息化的本原,找出目前存在的重难点问题,展望海洋测绘的信息化,是本文探讨的重点,目的是指导海洋测绘信息化转型的技术实践。

二、影响重大的海洋测绘

海洋占地球面积的78.9%。中国是一个海洋大国,海岸线1.8万km,面积大于300m²的岛屿6500多个,岛屿岸线1.4万km,海洋国土300万km²,是一个巨大的资源宝库,涉及国家的根本利益。

沧海茫茫、暗礁密布,海洋测绘是一切海上活动的基础,也是人类认知海洋、驾驭海洋必需的信息载体和时空框架,离开了海洋测绘,理论上,海洋的认知是不科学的;实践上,海洋的驾驭是不可想象的。

同时,海洋测绘横跨了海洋学和测绘学,由于历史上的原因,海洋测绘形成了一个特别独立的学科体系,不仅没有纳入到测绘学,也不属于海洋学的范畴,

面对不同的需求,与海洋学、与测绘学,始终不离不弃,却又相互独立,平行发展,相安无事。

可是,由于国家利益的拓展,海洋资源和主权争夺的加剧,海洋的重要性更加突出,特别是信息化技术的推动,海洋测绘不得不面临一次历史性的变革,不仅会影响到国家海洋战略的实施,也会导致与海洋测绘相关学科的重组。

1. 没有海洋测绘的测绘学科是不完整的

海洋测绘覆盖了海洋及毗邻陆地,占据40%多的国土面积,面对测绘学,不管是时空框架的精细化、地理信息的覆盖或是国土资源的监控,一旦离开了海洋测绘,显然,按照学科体系,测绘学是不完整的;按照使命任务,则会弱化测绘的地位。

2. 没有海洋测绘的海洋学科是不科学的

海洋测绘提供了海洋的时空框架,是海水性质和变化的载体,面对海洋学,不管是海洋调查、海洋预报、海洋化学、海洋生物或是海洋工程,一旦离开了海洋测绘,按照学科体系,海洋学是不科学的;按照使命任务,则会限制海洋学的发展。

3. 没有海洋测绘的海洋国家是不可想象的

海洋测绘提供了电子海图等产品,又称舰船的“眼睛”,是人类一切海洋活动必需的工具,面对国家海洋战略,不管是海洋安全、海洋资源、海上物流或是海洋管理,一旦离开了海洋测绘,实现国家海洋战略是不可想象的。

因而,海洋测绘的变革是客观的,由于海洋测绘的基础性,面对与海洋相关的学科或需求,一个信息化或被信息化的海洋测绘,影响力将扩大,重要性将增强,海洋测绘的最先发展是推动和实施国家海洋战略的必然要求。

三、回归本原的海洋测绘

海洋测绘信息化的本原是海图集合论。海洋测绘是一门古老的学科,主要源于下列矛盾的存在和变化。

1. 自然表面与椭球面

海洋测绘的数据需要归算到一个椭球面上,可是不管是物理的或是几何的自然表面都是不规则的,因而存在一个椭球面和自然表面的矛盾。

2. 有限性与无限性

海洋测绘的对象是无限的,可是由于尺度和技术的限制,可表示或需要测量的海图要素却是有限的,因而存在一个无限性和有限性的矛盾。

3. 有序性与无序性

海洋测绘产品源于海洋测量的源数据,可是源数据的形态、关系等是无序

的,海图上的要素是有序的,因而存在一个无序性和有序性的矛盾。

4. 载负量与易读性

可视化是海图的一个重要特性,可是由于人眼分辨率的限制及海图的载负量又是有限的,因而存在一个载负量和易读性的矛盾。

历时上千年,由于纸质载体的限制,掩盖了海洋测绘学的根本矛盾,面对一幅幅的纸质海图,也就难以按照数学的方法,揭示出海洋测绘的本原,始终是依赖于人的技能和悟性,目前,仍有许多学者认为海图是科学的,又是艺术的。

只是由于信息化技术的推动,才摆脱了纸质载体的约束,实现了数据与符号的分离,回归到了海洋测绘的本原,推动海洋测绘理论的重大变革。

1. 海洋时空框架

由于信息化技术的推动,必将加快海洋、岛礁、陆地、空间等大地测量理论、技术和数据的融合,完整揭示海洋及陆地的物理、几何、时间等参考框架的性质、特点、变化和联系,实现时空框架由静态到动态的技术变革,形成一套可持续精化的时空框架的理论和体系。

2 海图的集合论.

由于海洋测绘本源的回归,海洋测绘的目的不再只是一幅幅的纸质海图,是按照人类认知和驾驭海洋的需要,依据一定的映射法则,由海洋及毗邻陆地上自然和人文等现象抽象出的一个数据集合,又称海图集合,不管是源数据或是海图等产品,都是海图集合的一个子集,海图集合论将变成海洋测绘的一个核心理论。

3. 海图集合映射

由于海图集合理论的出现,海洋测量不再是海图的测绘,是由现象到源数据的一个映射,海图综合则是由源数据到产品的一个映射,海图语言是由产品到载体的一个映射,形成一个由现象、源数据,到产品,再到服务的海图集合的映射体系,是海图集合论研究的一个重要范畴。

因而,不管是信息化或是被信息化,最终都会扬弃目前的模式论、传输论、认知论等理论,改变电子海图、海洋 GIS、数字地球、地理网格等概念,实现海洋测绘理论体系的重大变革。

四、纵向分离的海洋测绘

海洋测绘信息化的本质就是融合共享。由于纸质海图影响的时间太长,历时 20 多年,始终是按照模拟的理念和方式,指导海洋测绘的数字化实践,不仅没有实现海洋测绘的融合共享,相反却导致了下列问题更加突出。

1. 测与绘的结合太紧密

海图是海洋测量的唯一目的,不管是否出现变化,不测全不测,要测就全测,同一个测区,同一个要素,会出现大量按照不同标准、不同技术测量的不同数据。

2. 数据与产品的结合太紧密

同一个测区,没完没了地去测绘,只要产品不同,数据源就不同。同一比例尺的海图和地形图上,同一条海岸线最大可相差 8 km。

3. 产品与服务的结合太紧密

对象不分,特点也不管,面对多样化的需求,不是按照分工去实施,按照标准去联合,却一统到底,最终由多个小的孤岛变成了一个大的孤岛。

海洋测绘是由海洋测量、数据整合、产品加工和技术服务等 4 个工序组成的,按照信息化的技术流程,由测量、数据,到产品,再到服务,是一对多或多对一的关系,不再是面向单一产品的一对一的关系。

图 1 给出了一个纵向分离的技术模式。显然,只有面向工序或体系,改变单

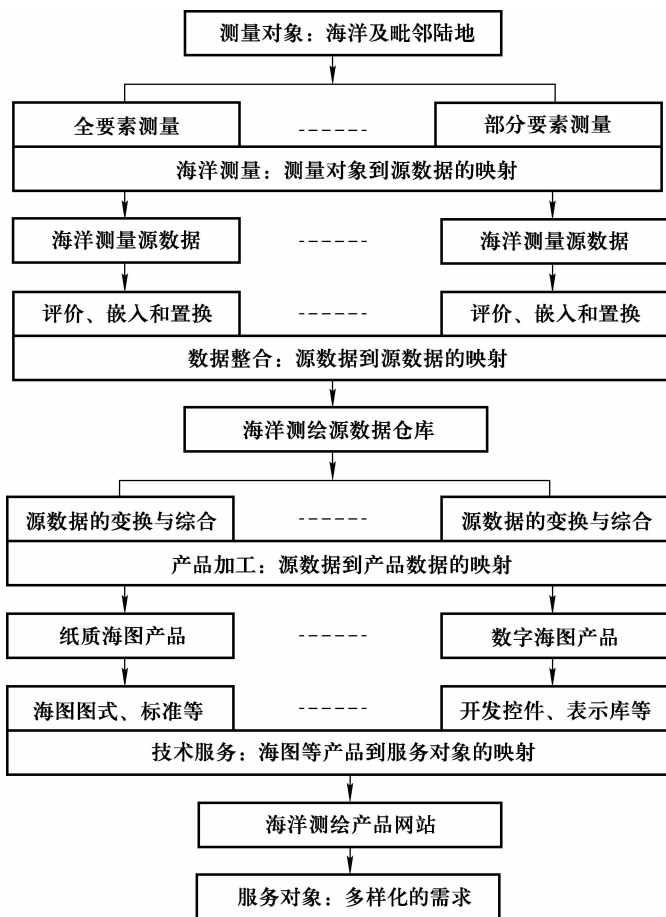


图 1 一个纵向分离的海洋测绘技术模式

一目的、一对一的技术模式,按照工序分离或松散联结的方式,形成一个纵向分离的技术体系,才可实现海洋测绘的融合共享。只有测与绘相分离,同一要素都按同一技术和同一标准去测绘,才可实现国家、军队和社会资源的融合共享。只有数据与产品相分离,不同的产品都源于相同的数据和标准,才可实现海陆空地理信息的融合共享。只有产品与服务相分离,不同的服务对象都可提供个性化的产品和工具,才可实现海洋测绘与多样化需求的融合共享。

因而,不管是信息化或是被信息化,融合共享是海洋测绘信息化的必然要求,最终都会打破旧的测与绘、数据与产品、产品与服务不分的技术体系,按照一个纵向分离、标准联合的理念和方式,实现海洋测绘技术体系的重大变革。

五、横向融合的海洋测绘

海洋测绘信息化的动力就是一个“快”字。由于一个“快”字,海洋测绘的需求会出现一个巨大的变化,不仅需求范围更大,质量要求更高,响应时间更短,服务对象更多,个性化更强,而且特别需要一个综合性的海洋环境。

海洋环境是由大气、地理、水文、地质、水声等要素组成的,海洋测绘的对象只是海洋及毗邻陆地的地理环境,按照信息化的要求,海洋测绘的本身将会按纵向分离的模式,完成装备和技术体系的变革,同时,又要按横向融合的模式,实现与海洋测绘相关业务或学科的整合。

可是,由于历史上的原因,海洋测绘始终是由军队主管、海军负责组织和实施的,面对全球化和多样化的需求,特别是信息化技术的推动,需求大、投入小、地位高、影响小、任务重、力量小等问题异常突出,横向融合、寓军于民不仅是海洋测绘的信息化,也是信息化的服务对象的必然要求。

图2给出了一个横向融合的技术模式,显然与纵向分离的海洋测绘相似,横向融合也是面向工序或体系的,不是面向单一产品的,也将会按照海洋观测、数据整合、产品加工和技术服务的工序,实施装备、技术、产品和标准的变革,推动地理、水文、大气、地质、水声等海洋环境的融合共享。

1. 装备的融合

由于观测对象的一致性,不管是船载、机载、星载,或是地面和水下,将会突破目前的业务体系的限制,同一个观测平台上,可按最佳的部署模式和标准的网络体系,搭载控制、测深、水文、大气等传感器,实现海洋环境观测装备的融合。

2. 数据的融合

不管是单一的或是综合的,仍会由不同的业务体系,依据不同的数据标准,实施海洋观测数据的质量控制和评估,可是,按照横向融合的模式,最终将会汇总到一个综合性的海洋环境源数据库,实现海洋环境数据的融合。

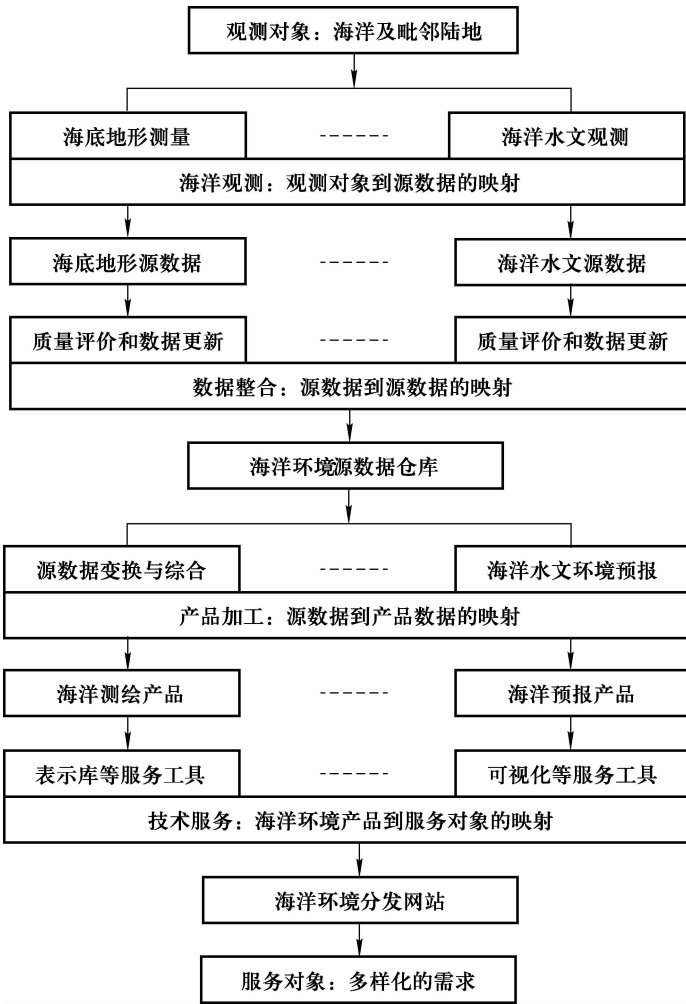


图 2 一个横向融合的技术模式

3. 产品的融合

信息技术的推动,导致了海洋环境需求的多样化,海洋测绘属于海洋环境的时空框架,主要服务于航海安全的需要,同时,也会按照叠加的方式,与多样化的需求相匹配,形成一套个性化的海洋环境的数据产品,实现海洋环境产品的融合。

4. 服务的融合

网络化是缩短海洋环境服务时间的核心技术,也是海洋测绘与相关业务横向融合的主要模式,因而,将会由一个标准化的网络体系,面向地面、海上、空中等静态或机动装备的需求,按照产品、画布等方式,提供多样化和个性化的数据和技术服务。

因而,不管是信息化或是被信息化,海洋测绘与相关业务或学科的关系必将会出现一个巨大的变革,最终,都会打破旧的、自主封闭的业务体系,形成一个纵向分离、横向融合的服务体系。

六、结论

不管是主动的,或是被动的,海洋测绘都将会实现信息化,特别是由于服务对象的信息化的,海洋测绘不得不打破旧的理论和技术体系,同时,改变与相关业务或学科的关系,导致观念、理论、装备和技术的根本变革。

- (1) 信息化是推动海洋测绘整体变革的唯一动力。
- (2) 信息化提供了回归海洋测绘本原的重大机会。
- (3) 海图集合论是海洋测绘本原回归的必然结果。
- (4) 融合共享是海洋测绘信息化的本质要求。
- (5) 只有纵向分离,才可实现海洋测绘自身的融合共享。
- (6) 只有横向融合,才可实现与相关业务体系的融合共享。



翟京生 1959 年出生,河北黄骅人,1982 年 7 月毕业于解放军测绘学院,1997 年 7 月在武汉大学取得博士学位,2000 年美国麻省州立大学高级访问学者,2001 年 4 月在解放军信息工程大学获博士后学位,现任海军海洋测绘研究所高级工程师。长期从事“海洋地理信息系统”、“数学形态学和数字图像识别技术”的研究。在国内外学术刊物发表论文 30 多篇,出版专著一部。学风严谨,工作突出,多次受到国家及部队的嘉奖和表彰。1997 年获中国青年科技

奖,1997 年、1999 年被评为海军优秀青年,1998 年、2004 年立三等功,2006 年享受国务院政府特殊津贴,2010 年荣立二等功,2010 年荣获“为新中国测绘事业做出杰出贡献的 60 名先进个人”。

现代测绘基准体系及其应用

郭春喜

国家测绘局大地测量数据处理中心

一、概述

测绘基准是进行各种测量工作的起算数据和起算面,是确定地理空间信息的几何形态和时空分布的基础,是表示地理要素在真实世界空间位置的基准,对于保证地理空间信息在时间域和空间域上的整体性具有重要作用。为保证国家测绘成果的整体性、系统性和科学性,实现测绘成果起算依据的统一,《中华人民共和国测绘法》明确规定,从事测绘活动应当使用国家规定的测绘基准和测绘系统。目前,国家规定的测绘基准包括大地基准、高程基准、深度基准和重力基准。

国家测绘基准体系是国民经济、社会发展和国防建设的重要基础。原有测绘基准至今已历经 50 多年的发展,在经济建设、社会发展和国家安全等方面发挥了重要作用。随着时间的推移,基础设施被严重损毁,出现了提供的成果精度低、现势性差、服务能力不断下降的问题,无法满足我国经济社会发展和国家信息化建设对测绘基准的要求,测绘基准的更新已是当务之急。通过实现测绘基准的现代化建设,满足现代社会条件下对测绘基准的需求。随着社会的发展和科学技术的进步,用于建立和维持大地测量基准的技术手段、工具和理论方法发生了巨大的变化。世界各国为了满足经济和社会可持续发展的需要,纷纷建立适应于高科技发展的现代测绘基准体系。

我国正在实施现代测绘基准体系建设项目。该项目计划分为两个实施阶段。项目结束后,将形成具有空间位置、高程和重力等属性的全国统一、高精度、地心、动态、实用的国家现代测绘基准体系,提升测绘工作作为经济建设、国防建设和科学研究的服务保障能力。

二、我国现有测绘基准体系概况

(一) GNSS 连续运行基准站 (CORS)

1. CORS 的定义及组成

CORS 是利用全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS)、

计算机、数据通信和网络等技术,在一个区域按一定密度,建立长年连续运行的若干个固定 GNSS 基准站组成的网络服务系统。CORS 的组成见表 1。

表 1 CORS 的组成及主要功能

系统名称	主要功能
参考站子系统	卫星信号的捕获、跟踪,卫星定位数据采集与传输,设备完好性监测等
控制中心子系统	数据分流与处理,系统管理与维护,服务生成与用户管理等
数据通信子系统	把参考站 GNSS 观测数据传输至系统控制中心,把系统差分信息传输至用户等
数据中心子系统	管理各播发站、差分信息编码、形成差分信息队列等
用户应用子系统	按照用户需求进行不同精度定位

2. CORS 可提供的主要服务内容

CORS 可提供的主要服务内容见表 2。

表 2 CORS 可提供的主要服务内容

服务名称	服务响应时间	服务内容	服务类型
空间位置服务	实时	厘米级、分米级和米级的位置服务	高级服务
	快速	厘米级、分米级和米级的位置服务	高级服务
	事后	毫米级、厘米级的位置服务	基本服务
空间坐标基准服务	实时或事后	提供统一的空间坐标参考基准	基本服务
卫星轨道服务	事后、快速	提供卫星精密轨道参数	高级服务
时间服务	事后、快速	提供时间基准,授时、守时	基本服务
气象服务	事后、快速	提供大气湿分量、电离层参数等	高级服务
源数据服务	事后、快速	提供 GNSS 等原始观测数据	基本服务
其他服务	快速、实时	根据其他领域要求	高级服务

3. 国内 CORS 发展概况

随着国家信息化程度的提高及计算机网络和通信技术的飞速发展,国内部分省市、行业、城市已建成各自的 CORS 系统,且发挥了巨大作用。但在整体上还存在着如下问题:① 由于缺乏统一的规划,各系统的参考站分布不均匀,存在超短边、超长边,影响系统的定位精度;② 各系统处于独立运行状态中,系统间存在着网络和服务缝隙;③ 部分系统的参考站相互重叠;④ 系统的建设和服务等尚没有统一的标准,造成数据、服务等资源共享方面的技术障碍。CORS 系统互联互通机制的缺点是制约 CORS 互操作和空间信息共享的瓶颈。

因此统筹全国 CORS,尽快构建覆盖全国的 CORS 网络服务体系,形成服务大局、服务社会、服务民生为宗旨的基础测绘地理信息资源体系与公共服务能力,为经济社会发展提供及时可靠的测绘地理信息保障服务,是现代测绘地理信息发展的必然趋势。

(二) 国家 GNSS 大地控制网

国家卫星大地控制网是 2000 国家大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000) 的具体实现。国家卫星定位网按精度不同可划分为三个层次:第一层次为 GNSS CORS 网(共 25 个),它们是 CGCS2000 的骨架,其坐标精度为毫米级,速度精度为 1 mm/a ;第二层次为 2000 国家 GPS 大地控制网,由全国 GPS 一、二级网,国家 GPS A、B 级网,地壳运动监测网和地壳运动观测网络工程网组成,共计 2500 多点,其三维地心坐标精度约为 3 cm ;第三层次为 2000 国家大地坐标系下获得的全国天文大地控制网(约有 5 万点,平均点位精度为 $\pm 0.10 \text{ m}$)与全国三、四等三角网(约有 8 万点,平均点位精度为 $\pm 0.07 \text{ m}$),它是 CGCS2000 的加密。

传统基础设施:三角点、天文点等(始建于 20 世纪 50 年代,目前损坏十分严重、成果适用性差、精度不均匀、现势性差,无法满足应用需求)。

(三) 国家高程基准框架

1. 我国的高程基准与高程系统

我国的高程基准有 1956 黄海高程系统、1985 国家高程基准,目前采用的高程基准为 1985 国家高程基准,基准点是青岛水准原点及其高程值为 72.2604 m 。我国的高程系统采用正常高系统,高程起算面为似大地水准面。

我国的高程基准框架为国家一、二等水准网,目前采用 1985 国家高程基准,基准是青岛水准原点及其高程值,其参考框架由国家二期一等水准网以及复测成果维持与实现。

2. 我国高程基准框架网现状

1976—1986 年布测完成的国家二期一等水准网,共 289 条路线,总长度 $93\,360 \text{ km}$,构成 100 个闭合环。平差后求得的每公里水准测量中误差为 $\pm 1.15 \text{ mm}$,1986 年 7 月通过国家测绘局鉴定,并于 1987 年 5 月 26 日公告使用。

1982—1988 年布测完成的国家二期二等水准网,共 1139 条路线,总长度 $136\,368 \text{ km}$,构成 822 个闭合环。平差后求得的每公里水准测量中误差为 $\pm 1.88 \text{ mm}$ 。

1991—1998年布测完成的国家二期一等水准网复测,共248条路线,总长度85 452 km,构成77个闭合环,形成172个结点。平差后求得的每公里水准测量中误差为 ± 1.13 mm,2000年6月通过国家测绘局验收,并于2001年3月27日公告使用。

最近的国家高程控制网建设至今20余年,基础设施与成果现势性无法满足应用需求。

(四) 国家重力基准框架

1. 我国的重力基准与重力系统

重力测量的目的是建立国家重力基准和重力控制网。国家重力基准是由一定数量、分布合理重力基准点组成的重力基准网,以构成控制全国的重力测量的基准框架。

我国的重力基准与重力系统有57重力测量系统、85重力测量系统、2000重力测量系统,目前采用的重力基准为2000国家重力基本网。

2. 我国的重力基准框架网现状

1955—1957年,我国建立的第一个国家重力控制网——1957国家重力控制网,共有27个基本重力点和80个一等重力点。该网使用的是波茨坦国际重力基准。重力基本点联测精度为 $\pm 150 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。

1983—1989年,我国建立了1985国家重力控制网,全网共获得80个点(国内6个基准点、46个基本点、5个引点和国际23点)的重力值,重力值平均中误差 $\pm 7.8 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。

1998—2002年,我国建立了2000重力基本网,全网由21个基准点、126个基本点和112个基本点引点共计259个点组成。重力值平均中误差为 $7.3 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。在西部和东北地区增设了基准点,首次将重力控制网扩展到香港、澳门以及南沙等地区。

2000重力基本网建设至今10余年,基准点基础设施数量仍然稀少,应用不便。

(五) 似大地水准面精化

1. 基本概念

似大地水准面是我国法定高程系统(正常高系统)的起算面。地面点沿法线到参考椭球面的距离是大地高,等于正常高加高程异常。似大地水准面精化主要是指综合利用重力资料、地形资料、重力场模型与GPS水准成果,采用物理大地测量理论与方法确定的与国家正常高系统定义一致的似大地水准面。

2. 我国似大地水准面精化现状

我国在“九五”期间,完成的中国似大地水准面模型 CQG2000,精度达到分米级,分辨率为 $15' \times 15'$,覆盖面扩展到我国全部国土,除陆地部分外,还包括海洋专属经济区在内的(约距海岸线 400 km)所有海域国土。

随着似大地水准面精化技术的不断成熟与应用,似大地水准面精化已成为热潮,国内先后有二十余个省(自治区、直辖市)完成了精度为 $\pm 4 \sim \pm 8$ cm 的省级似大地水准面精化,近百个城市、地区完成了精度为 $\pm 1 \sim \pm 2$ cm 的区域似大地水准面精化工作。省级、市级、区域似大地水准面精化成果的不断丰富,为全国厘米级似大地水准面模型的确定提供了重要的基础资源。

3. 似大地水准面成果的应用前景

通过 CORS 技术与高精度似大地水准面的集成,能够快速获取地面点高精度的三维坐标成果(平面位置与正常高),极大提高生产效率。这项技术的推广,将对国民经济建设中城建、测绘、规划、国土、交通、水利等很多领域起到关键性作用,为其提供更高标准基础测绘保障和服务具有重要意义。

三、我国现代测绘基准体系简介

(一) 建设目标

在现有测绘基准基础设施的基础上,利用现代测绘新技术和空间定位技术,通过新建、改建和利用的方式建立地基稳定、分布合理、利用长期保存的基础设施,形成高精度、三维、动态、陆海统一以及几何基准与物理基准一体的现代测绘基准体系,提升测绘工作作为经济建设、国防建设和科学研究的服务保障能力。

(二) 建设内容

(1) 国家 GNSS 连续运行基准站网建设。由 360 个站组成,其中新建 150 个站、改造 60 个站、利用 150 站。

(2) 国家卫星大地控制网建设。由 4500 个卫星大地控制点组成,其中新建 2500 个点、利用 2000 个点。国家卫星大地控制网与国家卫星定位连续运行基准网共同组成新一代国家大地基准框架,实现我国大地基准的有效传递。

(3) 国家高程基准框架建设。新建、改建 27400 个高程控制点,新埋设 110 个水准基岩点,布设 12.2 万 km 的国家一等水准网,形成国家现代高程基准框架,实现全国范围的现代高程基准传递。

(4) 国家重力基准框架。布设 50 个国家重力基准点,完善国家重力基准基础设施,拓展国家重力基准分布与服务范围。

(5) 国家测绘基准管理服务系统建设。建设国家测绘基准数据中心,形成国家现代测绘基准管理服务系统,完成数据管理系统、数据处理分析系统和共享服务系统等功能建设,提升测绘基准数据管理、处理和成果服务能力。

(三) 主要任务

(1) 整合、规范行业和地方 GNSS 连续运行站,加强行业管理,结束不经审核可以随意发布 GNSS 信息的混乱局面,为广大用户提供优质、安全、全方位、实时、动态的位置服务。

(2) 在重力数据和 GPS/水准点增加的基础上,精化我国似大地水准面,提高其分辨率和精度,为经济建设和国防建设提供精细的重力场和高程基准。

(3) 经过对水准路线上的 GPS 大地点的复测,提供我国高程控制网大尺度的变化速率,为科学研究提供精确的地壳运动信息。

(四) 重要意义

我国现代测绘基准体系建设完成后,将实现测绘基准基础设施在全国范围内的均匀覆盖,为全国范围及时提供坐标、高程和重力等方面的基准保障;将实现坐标系统与高程的高效结合,提供综合、一体化的空间地理位置服务;将实现现代测绘基准的动态更新,更加科学、精准地辨别基准的变化;将全面提升我国测绘地理信息工作为经济建设、国防建设和科学研究的服务保障能力。

四、今后若干年的重点工作任务

(1) 多种卫星定位系统关键技术研究。研制开发面向多种卫星定位系统的地心坐标框架数据处理软件和卫星精密定轨软件系统;统筹全国 CORS 系统,建立全国 CORS 综合服务体系;完成全国高精度高分辨率速度场模型,实现 2000 国家大地坐标系的动态维护,大力推动 2000 国家大地坐标系在城市的推广应用。

(2) 超高阶地球重力场模型研究与高精度似大地水准面精化。确定我国高精度高分辨率格网平均空间异常;建立我国新一代超高阶地球重力场模型(2160 阶);建立我国新一代厘米级似大地水准面模型,使似大地水准面模型的精度在我国东部地区达到 ± 5 cm,西部绝大部分地区达到 ± 10 cm。

(3) 我国新一代重力基本网建设。初步设计规模为:基准点 178 个,基本点 145 个,基准(本)点引点 141 个,共 464 个点。另外,建立国家重力长基线网 1 个;复测 2000 国家重力基本网布设国家重力仪格值标定场 8 处,利用其他行业重力仪格值标定场 3 处;联测 1985 国家重力控制网点与中国地壳运动观测网络

重力网点 66 个。

(4) 大地测量档案资料信息化建设。实现大地测量数据库、大地测量资料档案库和大地测量标志保护系统三库合一;实现大地测量数据资料自动化、网络化、信息化管理与服务。



郭春喜 博士,现任国家测绘局大地测量数据处理中心主任。自 1984 年参加工作以来,一直在国家测绘局大地测量数据处理中心从事大地测量领域的科学研究与数据处理工作。1995 年被国家测绘局遴选为首批青年学术和技术带头人。1996 年获国家测绘局“八五”测绘科技工作先进个人。2000 年荣获陕西省第三届青年科技进步奖,享受政府特殊津贴。2002 年获国家测绘局“九五”测绘科技工作先进个人。2003 年荣获陕西省测绘地理信息行业先进工作者。

2008 年被评为成绩优异的高级工程师。2010 年被评选为国家测绘局首批科技领军人才。2011 年荣获国家测绘局“十一五”测绘地理信息科技杰出贡献奖。2012 年获“科学中国人(2011)年度人物·杰出青年科学家奖”,并被评为陕西省先进工作者(陕西省劳模)。

测绘卫星和卫星测绘

唐新明

国家测绘地理信息局卫星测绘应用中心

一、引言

为了提高我国自主对地观测信息获取的能力,高分辨率对地观测系统重大专项已被列入国务院《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》确定的16个重大专项中的一项,是我国未来科技发展的重中之重。国产高分辨率测绘卫星及其关键技术的发展是数字中国地理空间框架和信息化测绘体系的重要保障,是高分辨率国土测绘以及国家基础地理信息持续稳定更新的必要手段。

2012年1月9日,我国首颗民用立体测绘卫星——资源三号成功发射,是实现这一战略的重要里程碑。资源三号卫星在前期组织测绘关键技术攻关的基础上,经过半年的在轨测试,卫星测绘精度优于国际同类卫星的水平,取得了瞩目的成就。本文在简要介绍测绘卫星和卫星测绘技术的基础上,将进一步阐述资源三号总体设计方案和当前应用情况。

二、测绘卫星发展现状

测绘卫星,从广义上讲,是指具备立体测图或者高程测量能力的卫星。从狭义上说,目前一般把能从不同视角获取同一地区影像的光学遥感卫星称为测绘卫星。

在近半个世纪的发展进程中,测绘卫星从最初的胶片返回式卫星,发展到目前的传输型卫星;从框幅式相机,发展到现在的单线阵、双线阵甚至三线阵 CCD (Charge-coupled Device) 相机;民用测绘卫星的空间分辨率从上百米提高到当前 0.41 m,时间分辨率和光谱分辨率也不断提高;测绘卫星的种类日趋完善,从光学卫星发展到干涉雷达卫星、激光测高卫星、重力卫星、导航卫星等;卫星测绘应用技术也不断进步,从过去有控制测图,发展到稀少控制点测图甚至无控制测图,从单机测图发展到协同无缝测图;测图精度也日益提高,从满足 1:250 000 地形图制图发展到满足 1:5000 地形图制图;测绘应用也日益广泛,应用范围从军

用向军民共用、从限于本国到全球共享,从单一的测绘产品生产扩展为全球各行业地理信息的获取与更新等。卫星传感器技术与测绘应用技术的巨大进步,为国民经济和社会的发展做出了重要贡献。

近年来,地理空间信息产业迅猛发展,为测绘卫星的发展提供了广阔的空间。国外商业测绘遥感卫星如雨后春笋般涌现出来。从光学传感器类型上可以分为面阵传感器和线阵传感器,线阵传感器又分为单线阵、多线阵。但面阵传感器由于像元数受到较大的限制,地面覆盖宽度和像元分辨率的矛盾很难统一,尤其是基高比不好,因此这类卫星的发展受到一定限制。目前,高分辨率测绘卫星主要以线阵传感器为主,国外主要光学测绘卫星的基本参数与测绘性能指标如表 1 所示。从表中可以看出,根据各国发展的重点、科技发展水平以及不同的地面应用需求,传感器设计也不一样。表 1 中,卫星三轴姿态俯仰 (pitch)、横滚 (roll) 和偏航角 (yaw) 分别用 P, R, Y 表示。

三、卫星测绘关键技术

对于高分辨率测绘卫星而言,卫星立体测图精度是评价其性能的重要技术指标。基于摄影测量的原理可知,影响卫星测图精度的因素主要包括摄影基线误差、姿态角误差、像点量测误差以及相机内部参数如主距、畸变的误差等^[1]。这些误差除了与传感器自身因素有关外,还涉及星上 GPS 定位系统、姿态测量与控制系统、时统以及相机有效载荷系统等。下面针对光学传感器卫星,分别从传感器研制与设计、高精度姿态测量、高精度轨道测量技术、几何标定、成像模型构建等关键技术入手,总结和分析现有国内外高分遥感卫星测绘技术的发展与现状。

(一) 传感器研制与设计

传感器技术是影响卫星测图精度的重要因素。卫星传感器分辨率和精度决定了地形图测图比例尺,人对纸质地图的目视分辨率通常为 $0.07 \sim 0.1 \text{ mm}$,也就是说,地形图测图要求卫星遥感影像的分辨率一般应达到或小于图上 0.1 mm ,而地形图的更新至少也应要求遥感影像的分辨率达到图上 0.2 mm 。此外,卫星多线阵相机倾角设计、卫星的扫描模式等直接关系着卫星摄影基线大小,同样是影响测图精度的重要因素之一。根据各国卫星发展水平以及地面应用不同需求,基于卫星平台的传感器(相机)安装排列又有不同的设计。

表 1 国外遥感卫星的主要测绘性能指标

卫星	相机系统	成像模式	地面分辨率	姿态指向精度/(°)	姿态稳定度	平面精度/m		高程精度/m	
						无控制	有控制	无控制	有控制
法国 SPOT 4	1 台全色相机, 1 台多光谱	单线阵推扫	10 m 全色	0.15	—	350	10~30	—	—
美国 IKONOS-2	1 台全色相机, 1 台多光谱相机	单线阵摆动 /推扫	1 m 全色, 4 m 多光谱	—	—	12	2	10	3
美国 QuickBird-2	1 台全色相机, 1 台多光谱相机	单线阵推扫	0.6 m 全色, 2.4 m 多光谱	0.0286	$5.7 \times 10^{-4} (^{\circ})/s$	23	—	17	—
韩国 KOMPSAT-2	1 台全色相机, 1 台多光谱	单线阵推扫	1 m 全色	$R, P: 0.025,$ $Y: 0.08$	—	单片:80 立体:25.4	—	22.4	—
美国 Orbview-3	全色相机, 多光谱相机, 高光谱相机	线阵推扫	1 m 全色, 4 m 多光谱, 8 m 高光谱	—	—	单片:18 立体:11	—	16	—
美国 Worldview-1	1 台全色相机	线阵推扫	0.41 m 全色, 8 m 多光谱	—	—	7.6	2	—	—
美国 GeoEye-1	1 台全色相机, 1 台多光谱相机	线阵推扫	0.41 m 全色, 1.64 m 多光谱	75"	$0.007 (^{\prime\prime})/s$ (25~2000 Hz)	单片:3 立体:4	2	6	3

续表

卫星	相机系统	成像模式	地面分辨率	姿态指向精度/(°)	姿态稳定度	平面精度/m		高程精度/m	
						无控制	有控制	无控制	有控制
法国 SPOT 5	全色相机	双线阵推扫/复原	2.5 m/5 m/10 m 全色	0.05	$6 \times 10^{-4} (^{\circ})/s$	50	10	—	5
印度 CartoSat -1	2 台全色相机, 1 台多光谱相机	双线阵推扫	2.5 m 全色	0.01	$5 \times 10^{-5} (^{\circ})/s$	80	5	70	5
德国 MOMS -2P	3 台全色相机, 1 台多光谱相机	三线阵推扫	4.5 m 全色, 13.5 m 多光谱	—	—	—	12	—	7
日本 ALOS PRISM	3 台全色相机, 1 台多光谱	三线阵推扫	2.5 m 全色	0.095	短周期: $R, Y: 1.9 \times 10^{-5} (^{\circ})/0.37 \text{ ms},$ $P: 0.95 \times 10^{-5} (^{\circ})/0.37 \text{ ms},$ 长周期: $R, P, Y: 1.9 \times 10^{-4} (^{\circ})/5 \text{ s}(\text{无天线转动}),$ $R, P, Y: 3.9 \times 10^{-4} (^{\circ})/5 \text{ s}(\text{天线转动})$	15	4~6	6	5

对于单线阵 CCD 传感器卫星,一般采用轨道回归或左右侧摆成像。目前比较典型的单线阵卫星有法国的 SPOT 1-4,美国的 IKONOS-2、QuickBird-2、Orbview-3、Orbview-4、GeoEye-1,韩国的 KOMPSAT-1、2,以色列 EROS,加拿大 RapidEye 等。一般来说,对于单线阵卫星而言,由于天气条件限制,异轨立体成像立体影像获取效率低,同轨立体成像能在一轨中相隔很短时间内对同一地区拍照,大大提高了获取立体影像的效率,但同轨立体像对需要线阵摆动成像构成,卫星姿控系统技术难度大,姿态稳定度较低,影响卫星的测图精度。

对于多线阵或多相机成像卫星,具备同轨立体成像能力,比较有代表性的有法国 SPOT5 卫星、印度 IRS P5 卫星、德国 MOMS-2P、日本 ALOS PRISM 等。双线阵或三线阵立体成像只需推扫即可使得测绘卫星具备了获取大范围立体影像的能力,同时显著改善了立体成像的影像质量,使卫星测图具有了应用价值。其中,三线阵 CCD 成像是理想的航天遥感立体成像方式,其稳定灵活的立体构成(同轨立体、三重立体)、理想的基高比、立体影像的时间一致性等优点,为高精度目标点定位、高质量 DEM(Digital Elevation Model)生成、GIS 数据的采集和更新、测制与修测地形图和专题地图等提供了有利的前提和可靠的保证。

(二) 高精度姿态测量

在不考虑其他误差的情况下,假设 DEM 已知,利用投影光线与 DEM 相交获取卫星影像对应的地面坐标。对于轨道高度为 600 km 的卫星,1"的姿态误差引起地面定位误差达到 3 m 左右。由此可见,姿态测量误差是影响卫星测图精度的重要因素。

目前,为了提高高分辨率遥感卫星的姿态稳定度和测量精度,卫星上一般装有高精度三轴姿态稳定系统。国外高分辨率卫星大多将恒星敏感器(以下简称星敏)和陀螺组合作为主要的定姿器件。美国 QuickBird-2 姿态采用星敏、陀螺和反力轮控制,姿态稳定度小于 $5.7 \times 10^{-4} (^{\circ})/S$ 。GeoEye-1 卫星采用三轴稳定平台,为了进一步提高姿态测量精度,星上装有双头星敏、IRU 和太阳敏感器。姿态颤振为 $0.007 \text{ arcsec/s rms} (25 \sim 2000 \text{ Hz})$ 。以色列 EROS-A 卫星姿态控制采用一个地平敏感器、太阳敏感器、陀螺、反作用轮、肼推进器等来完成,当一个成像模式运行时,卫星姿态控制的三轴精度优于 0.1° ,且姿态稳定度低于 $40 \mu\text{rad/s}$ 。颤震小于 $0.2 \mu\text{rad}$ 。后续 EROS-B 姿态系统相对于 EROS-A,新增加一个星敏,姿态精度更高。法国 SPOT5 在姿控方面,采用了卫星星敏感器(star tracker)和多组陀螺仪对卫星姿态进行测算,利用星敏获得卫星在惯性系中

的绝对姿态,以此对卫星姿态进行调整,确保卫星姿态平稳准确。印度 P5 星上采用星敏和陀螺控制姿态,姿态稳定度小于 $5 \times 10^{-5} (\text{°})/\text{S}$ 。日本 ALOS 为了获得高精度的姿态信息,卫星载有三台前视、正视和后视星敏($9''$, 3σ),正常情况下使用前视和后视星敏感器,当有月光等干扰时,使用正视星敏,还装有惯性陀螺以及高精度的角度偏移测量传感器(Angular Displacement Sensor, ADS)(均方根误差 0.012),采用高精度的卫星姿态控制技术,确保姿态的控制精度达到 $0.095^\circ (3\sigma)$,姿态稳定度在中继数传天线不驱动时可达 $1.9 \times 10^{-4} (\text{°})/5 \text{ s}$,中继数传天线驱动时为 $3.9 \times 10^{-4} (\text{°})/5 \text{ s}^{[2]}$ 。

(三) 高精度轨道测量技术

目前高精度的卫星跟踪技术主要有四种,包括全球定位系统(Global Positioning System, GPS)、卫星激光测距技术(Satellite Laser Ranging, SLR)、多普勒无线电定位系统(Doppler Orbitography and Radiolocation Integrated Satellite, DORIS)、精密测距和测速系统(Precise Range and Range-Rate Equipment, PRARE)。相比而言, GPS 和 DORIS 系统使用较为普遍。

采用 GPS 定轨的卫星包括美国的 IKONOS-2、QuickBird-2、GeoEye-1 等,韩国的 KOMPSAT-1、2,日本的 ALOS 等高分辨率遥感卫星均采用 GPS 接收机获取数据,经处理后得到星上轨道信息。为了进一步提高轨道定位精度,日本 ALOS 卫星上装有双频 GPS 接收机,并实时下传伪距和相位观测数据,事后处理的定轨精度优于 1 m,大大优于实时定轨精度 200 m。法国的 SPOT-4、SPOT-5 卫星采用 DORIS 系统进行定轨。SPOT-4 卫星上装有精密测轨设备多普勒跟踪仪(DORIS),利用设在全球的 54 个站点向卫星发射信号,通过测定多普勒频移,以精确解求卫星的空间坐标,具有极高的精度。基于 DORIS 测定的 SPOT-4 卫星轨道,经地面处理后精度可达 $10 \text{ cm}^{[3]}$,提供高精度的摄站位置信息。SPOT-5 同样采用轨道基于 DORIS 轨道测量系统进行测量,定轨精度优于 20 cm。

(四) 几何标定

在卫星发射前,传感器的技术参数可以在地面标定,但由于卫星入轨后进入微重力状态以及环境温度状态的变化,卫星有效载荷的技术参数会发生变化。因此,卫星传感器技术参数在轨标定,是卫星测绘非常重要的技术。

国外在卫星几何标定方面已经有几十年的历史。法国 SPOT 卫星是最早最广泛成功应用的卫星之一,在卫星影像几何标定方面,法国已走在世界的前面,已经实现了 SPOT-5 高精度的几何标定。根据相关资料统计,SPOT 目前有全

球分布的 21 个几何标定场,这些标定场为 SPOT 卫星的在轨标定提供检校用的参考数据。SPOT-5 发射后,法国空间中心(CNES)采用分步定标的方法,即标定过程中将影响卫星影像定位精度的因素进行分类并针对不同的影响因素进行不同的标定。同样,美国 IKONOS 卫星也采用类似标定方法^[4]。德国 MOMS-2P 几何标定采用实验室标定和在轨几何标定两部分,在轨几何标定采用了附加参数的自标定光束法区域网平差方法^[5]。日本 ALOS 几何标定小组,根据卫星覆盖情况,在本国及澳大利亚部分地区预设了三个几何标定场,分别实现对 ALOS 成像不同方面的标定。标定场 1 用来标定相机各镜头线阵 CCD 在焦平面上的相对位置及其变形情况,以及验证相机在短时间内的成像稳定性。标定场 2 用于准确标定三个镜头之间的相对位置(前后镜头倾角、三条 CCD 平行性)。标定场 3 用于分析和标定卫星在一段相对较长时间内(100 s 左右)纬度变化对 CCD 几何变形的影响^[6]。

(五) 成像模型构建

对于高分辨率卫星遥感影像构建严密成像几何模型时,需要考虑在遥感影像成像过程中造成影像变形的几何因素,如卫星的轨道、卫星姿态、相机参数等。目前主要针对不同卫星成像特点,在不同的假设条件下,对成像几何进行了分析和验证,构建相应的成像几何模型。

Orimoms 模型是为处理 MOMS 卫星影像而建立的,它用运动学方程来描述卫星的轨道,卫星的位置和姿态表示为与时间相关的二次多项式,并且假定影像内定向参数在成像过程中保持不变^[7]。Kratky 模型先在 SPOT 影像上得到验证,后又应用在 MOMS 影像处理。它假定卫星运行在一个椭圆轨道上,传感器的位置可以表示为平近点角 M 的函数,假定卫星的姿态变化为随时间变化的三次多项式,其隐含假定是卫星的速度可变;通过对地理经度和地球自转改正来考虑地球自转运动,通过对卫星轨道加线性改正的方法来考虑地球重力场摄动对轨道的影响^[8,9]。SPOT 公司 2002 年公布其对 SPOT 影像后处理用的成像几何模型,其采用定标后的轨道参数、姿态参数以及内方位元素,构建了针对 SPOT 后处理的成像几何模型^[10]。SPACE IMAGE 公司为了不泄漏 IKONOS 的严密成像几何模型,在提供 IKONOS2 影像的时候,仅提供利用 IKONOS2 严密成像几何模型拟合的 RPC 模型参数^[11]。IKONOS 卫星的成功发射推动了对有理函数模型的全面研究,很多学者将其和严格模型进行比较。Madani 对 RPC 模型的优缺点分析后得出,RPC 模型可以用来进行摄影测量处理^[12]。Yang 在对一对 SPOT 影像和一对 NAPP 影像试验的基础上得出,对于 SPOT 影像而言,三阶甚至二阶带不同分母的 RPC 模型就能取代严格成像模型^[13]。Grodecki 同样证实 RPC 模型在对

单线阵推扫式卫星遥感影像处理中可以取代严格成像模型进行摄影测量处理^[14]。QuickBird 影像提供的时候,也仅仅提供定标后用于影像后处理的几何模型和 RPC 模型参数。

四、我国首颗资源三号卫星及应用情况

(一) 资源三号卫星总体设计

资源三号卫星是我国首颗高分辨率光学传输型民用立体测图卫星,卫星集测绘和资源调查功能于一体。卫星采用太阳同步圆轨道,轨道高度为 505 km,可对地球南北纬 84°以内的地区实现无缝影像覆盖,每 59 天实现对我国领土和全球范围的一次影像覆盖。星上姿态主要由三台星敏、高精度陀螺、太阳传感器和红外传感器控制,轨道由 GPS 采用双频差分手段获取。资源三号卫星采用三线阵测绘方式,由具有一定交会角的前视、正视和后视三个线阵 TDICCD 构成,通过对同一地面点不同视角的观测,可构成立体影像,同时配以精密的内、外方位元素可以获得地面位置坐标,完成绘制 1:50 000 测绘产品,1:25 000 及更大比例尺的地形图的修测与更新,通过多光谱数据的获取,并配以正视高分辨率数据,完成 1:50 000、1:25 000 国土资源监测。

对于资源三号传感器指标而言,三线阵相机中前后视相机的影像地面分辨率优于 4 m,其中正视相机分辨率优于 2.5 m,基高比 0.8~0.9,能较好地满足立体测绘要求。在卫星定轨方面,资源三号卫星采用双频 GPS 定位,在轨定位精度优于 10 m,测速精度优于 0.2 m/s。此外,地面应用系统项目组基于双频 GPS 和 SLR(Satellite Laser Ranging)联合定轨,利用下传的 GPS、SLR 数据,通过增加观测量、精化数学模型进行事后精密定轨,可进一步提高卫星定位精度。在卫星定姿方面,资源三号卫星采用三台高精度星敏和多组陀螺进行组合定姿,在轨姿态测量精度优于 $0.01^\circ(3\sigma)$ 。地面应用系统项目组利用下传的星敏、陀螺原始数据,采用更为精密的组合定姿模型进行事后处理,使姿态精度满足测图精度要求。此外,地面应用系统项目组通过借鉴国外测绘卫星成功经验,已开展几何标定场选址、建设等工作,将在精密定轨和精密定姿的条件下,通过卫星地面几何标定场,定期对卫星进行在轨标定。这些关键技术的研究将为资源三号卫星地面应用系统建设的顺利实施奠定坚实的基础。资源三号卫星总体设计见表 2。

表 2 资源三号卫星设计总体技术指标

内容	指标
发射日期	2012 年 1 月
轨道	高度 505 km 类型:太阳同步,降交点地方时上午 10:30 周期:97 min
任务寿命	5 年
卫星重量	2600 kg
遥感器波段	全色 + 4 个多光谱段:红、绿、蓝、近红外
遥感器分辨率	全色:2.5 m(GSD),前后视:3.6 m(GSD) 多光谱:星下点处,6 m(GSD)
全色相机个数和夹角	3 台,前后视夹角 44°
动态范围	每像元 11 bit,延时积分成像
成像带宽	51 km
姿态测定与控制	三轴稳定 敏感器:星敏、固体惯性参照器、GPS
指向精度	0.1°
侧摆能力	±32°侧摆
标准数据产品	1:50 000DSM,DEM,DOM,DLG
周期	回归周期 59 天 重返周期 5 天
几何精度	无地面控制点时:平面精度 100 m 有地面控制点时:25 m,高程精度 5 m

(二) 地面应用精度评价

在资源三号卫星 2012 年 1 月 9 日发射入轨后,2012 年 1 月 11 日获取大连地区的“资源三号”测绘卫星三线阵影像(图 1),影像大小为 50 km × 50 km,为平原和丘陵地形。为了验证“资源三号”测绘卫星的几何精度,利用 CORS 在地面量测了 18 个 GPS 点,其中两个点位附近为双点,精度优于 0.1 m,如图 2 所示,像点量测精度为 0.5 像元^[15]。



图1 资源三号大连地区原始全色影像



图2 大连地区实测控制点分布图

将前正后视影像利用 4 个控制点平差后,采用密集匹配技术生产该区域的 DSM(图 3),在此基础上生产正射影像(图 4),利用其余 14 个 GPS 点做检查点,检查结果如图 5 所示,其中 DSM 的高程中误差为 2.07 m,最大误差为 3.767 m,正射影像的平面中误差为 2.93 m,最大误差为 4.38 m。

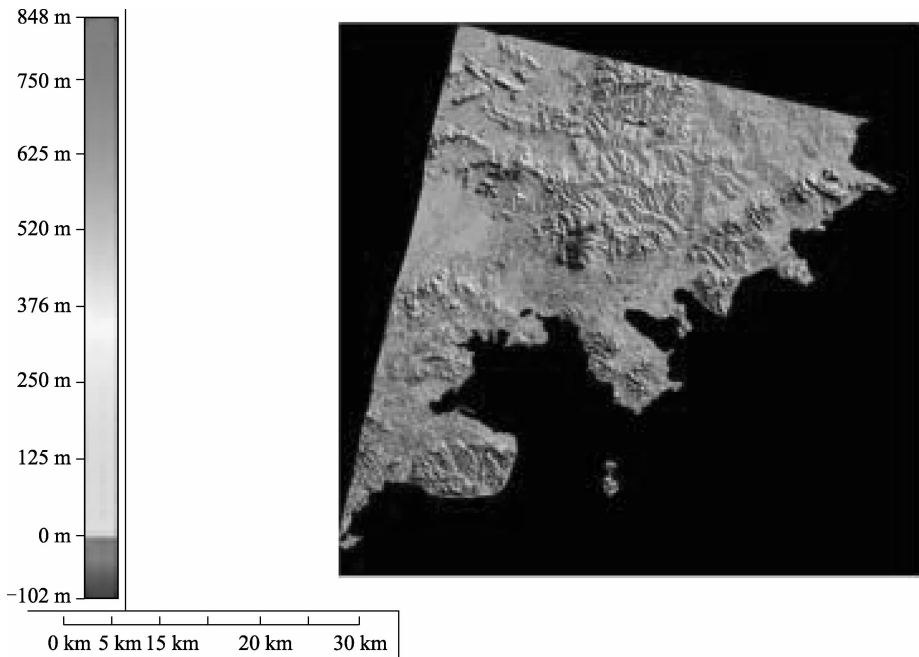


图 3 前后视影像自动匹配生成的 DSM

无控制点条件下,直接空间前方交会获得的地面点坐标的精度比较,前正后三线阵影像平面中误差为 7.475 m,高程中误差为 36.580 m,前后视两线阵影像平面中误差为 10.543 m,高程中误差为 37.000 m;四角点布设条件下的前方交会获得的地面点坐标的精度大幅度提高,前正后三线阵影像平面中误差为 2.975 m,高程中误差为 1.787 m,前后视两线阵影像平面中误差为 2.266 m,高程中误差为 1.816 m;在有少量控制点后平面高程精度大幅度提高,说明三线阵影像有明显的系统偏差。

资源三号卫星三线阵影像从平差结果和生产的 DSM/DOM 检查精度来看,已经完全达到了国外成熟商业卫星同等分辨率情况下的平面高程几何精度,标志着我国几何高精度卫星载荷平台研制水平和地面处理水平达到了国际先进水平。资源三号卫星是国产卫星由过去几何定性到高精度定量的里程碑,有着广阔的应用前景。

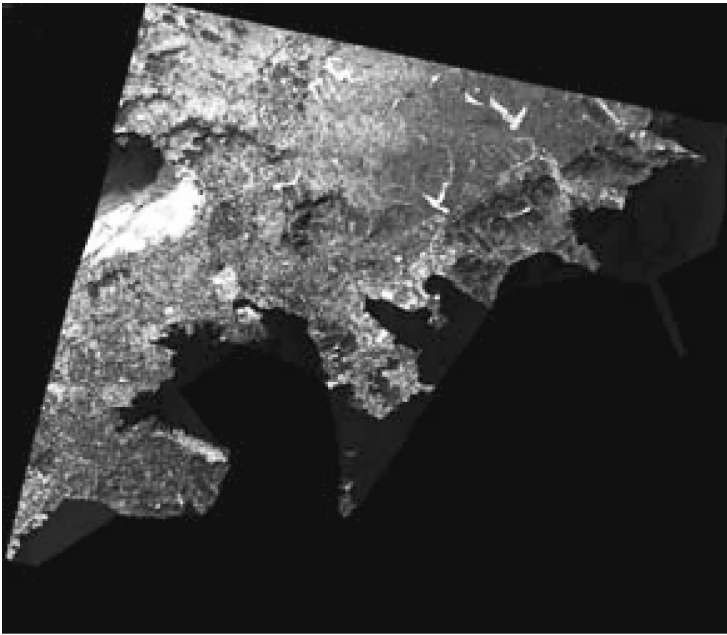


图4 利用正视影像和自动匹配生成的 DSM 生产的 DOM

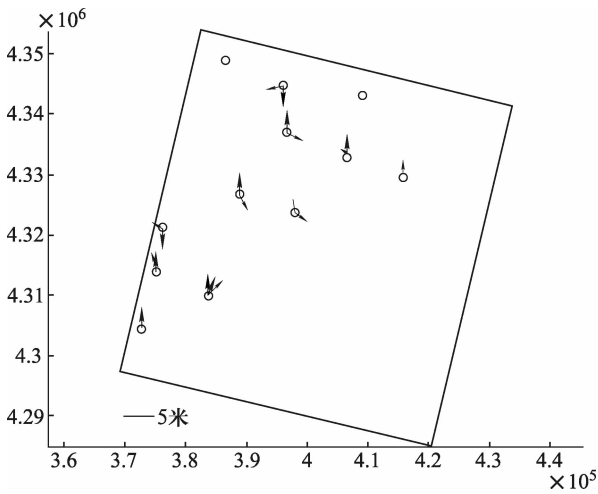


图5 DSM 和 DOM 独立检查点残差图

细线为平面误差,粗线为高程误差

五、我国测绘卫星发展规划及思路

资源三号卫星成功应用为解决我国基础地理信息资源战略性短缺起到了非常重要的作用,然而现阶段我国测绘卫星数量少,类型单一,与国家发展的迫切

需求仍不相适应。根据国家测绘地理信息局关于《测绘部门航天发展十二五规划》要求,在今后的 10~15 年内,除了发射资源三号后续星外,我国还将考虑陆续发射一系列测绘用途的卫星,包括光学立体测图卫星、干涉雷达卫星、激光测高卫星、重力卫星、导航定位卫星等。针对我国测绘卫星未来的宏伟规划,需要考虑如下发展思路。

1. 加强高分辨率测绘遥感卫星关键技术的攻关

加紧开展卫星轨道和姿态的精密测定技术,研究星敏和陀螺高精度组合定姿技术,研究高精度测绘相机的制造和测试技术,研究实时和事后的高精度几何标定技术,形成卫星高精度几何处理技术体系。

2. 加强测绘卫星数据的应用研究

测绘是地理信息行业的基础,研究卫星影像数据的区域网平差、平面和立体测图、影像数据并行化处理以及影像数据的网格化分发服务和应用,并结合各行业的典型示范,加强高分辨率测绘遥感卫星数据在各个行业的应用,从而保证在轨卫星资源的充分发挥。

3. 坚持政府主导,与产业化相结合的道路

我国高分辨率遥感对地观测系统应坚持走政府主导并与产业化相结合的道路。在现阶段,卫星的研制与发射需要主要由政府投入,而卫星数据的接收、处理和应用,应鼓励走市场化道路,争取尽快形成面向国内外市场的我国卫星遥感运行系统。

六、结语

从资源三号卫星地面应用情况来看,我国在测绘卫星技术上已取得巨大成就。但总体上,与国家发展的需求、国际最前沿技术相比,依然有较大的差距。主要体现在传感器研制技术方面存在代差,对卫星辐射和几何精度缺乏定量分析和评价能力等。因此,必须加紧攻关卫星测绘关键技术,包括高精度测绘相机的制造和测试技术、星敏/陀螺姿态精密测定技术、基于 GPS/SLR 的卫星轨道精密测定技术、卫星实时和事后的高精度几何辐射定标技术等,以逐步形成独立自主的天地一体化完整的技术体系,确保国产卫星满足实时地理国情的动态监测、全球目标定位、1:5000~1:50 000 地形数据库实时更新以及国土资源动态监测等国家重大战略需求。

参考文献

- [1] 胡莘,曹喜滨. 三线阵立体测绘卫星的测绘精度分析[J]. 哈尔滨工业大学学报,2008,40(5):695-699.
- [2] Iwata T. Precision attitude and position determination for the Advanced Land Observing Satellite (ALOS) [C]//Enabling Sensor and Platform Technologies for Spaceborne Remote Sensing. Proceedings of SPIE, 2005,5659:34-50
- [3] 李德仁. 21 世纪遥感与 GIS 的发展[EB/OL]. [2009-10-20] <http://www.cagis.org.cn/gis-shidian/534.html>.
- [4] Grodecki J, Dial G. Block adjustment of high resolution satellite images described by rational functions [J]. PE &RS,2003,69(1):59268
- [5] Kornus W, Lehner M, Schroeder M. Geometric in-flight calibration by block adjustment using MOMS-2P 3-line-imagery of three intersecting stereo-strips [J]. Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection,2000,159:42-54.
- [6] Tadono T, Shimada M, Watanabe M, et al. Calibration and validation of prism onboard alos[J]. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences,2004,35(1):13-18.
- [7] Okamoto A. Orientation and construction of models. Part III: Mathematical Basis of the Orientation Problem of One-Dimensional Central Perspective Photographs [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,1981,47:1739-1752.
- [8] Kratky W. On-line aspects of stereo photogrammetric processing of SPOT images[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,1989,55:311-316.
- [9] Kratky V. Rigorous photogrammetric processing of SPOT images at CCM Canada[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,1989,44:53-71.
- [10] SPOT IMAGE. Spot satellite geometry handbook [OL]. <http://www.spotimage.fr>,2002.
- [11] Dial G, Grodecki J. Block adjustment with rational polynomial camera models[C]. Proceedings of ACSM-ASPRS Annual Conference. Washington D C (on cdrom),2002.
- [12] Madani M. Real-time sensor-independent positioning by rational functions [C]//Proceedings of ISPRS Workshop on Direct Versus Indirect Methods of Sensor Orientation, Barcelona, Spain, 1999, November 25-26. Barcelona. Spain: ISPRS, 1999:64-75.

[13] Yang X. Piece-wise linear rational function approximation in digital photogrammetry [C]//Proceedings of the ASPRS Annual Conference, St Louis, Missouri, USA, April 23 - 27, CD - ROM (unpaginated). Bethesda, USA: ASPRS, 2000.

[14] Grodecki J. IKONOS stereo feature extraction-RPC approach [C]//Proceedings of the ASPRS Annual Conference, held in St Louis, Missouri, USA, April 23 - 27, CD - ROM (unpaginated). Bethesda M D: ASPRS, 2001.

[15] 唐新明,张过,祝小勇,等. 资源三号测绘卫星三线阵成像几何模型构建与精度初步验证[J]. 测绘学报,2012,41(2):191 - 198.



唐新明 研究员,博士,博士生导师。1966年出生,1987年获南京大学地图和地理信息系统专业学士学位,1998年获荷兰地理信息科学和对地观测学院地籍专业硕士学位,2004年获荷兰 Twente 大学地理信息科学和计算机应用博士学位。现任国家测绘地理信息局卫星测绘应用中心副主任,资源三号卫星工程应用系统总设计师。“新世纪百千万人才工程”国家级人选,科技部“十二五”863计划地球观测与导航技术领域主题专家,国家测绘地理信息局青年学

术和技术带头人。兼任国际摄影测量与遥感学会第二委员会第一工作组主席,国家高分辨率对地观测系统专家组成员,国家测绘地理信息局科学技术委员会委员,民政部减灾与应急工程重点实验室特聘专家。兼任武汉大学、山东科技大学、兰州交通大学教授、博士生导师。

机载对地观测与地理空间信息现场直播技术

张永生

解放军信息工程大学测绘学院

一、引言

纵观遥感测绘与卫星导航技术的发展,不难发现,卫星导航定位作为单点定位和线状导航核心手段的地位日益稳固;航天遥感测绘用于境外地区普查、详查性质的大范围面状静态地理信息获取,其独特的技术优势无可替代;经典的航空立体摄影测量手段,在全数字化技术的充分浸润下,也焕发出新的生机,其在境内全要素基础测绘产品生产方面的高性能价格比,则是其他技术手段难以比拟的。

已经成熟的和正在发展的主流航空航天测绘技术,总体上是以满足常规静态基础测绘要求,以可延时、预分工、多步骤地理空间信息生产作业的模式而发展的。而在应对动态测绘、应急测绘、动目标精确测绘的崭新要求时,现有技术手段则显得捉襟见肘,拳脚无从施展。具体来说,卫星遥感由于空间平台飞行轨道的可预测、可观测、可跟踪特性,以及卫星运行周期的固定性和规律性,战时敌对双方都有足够的时间和空间避开卫星观测的覆盖范围,较为从容地进行伪装、防御、调动和部署,即便发展技术更为复杂的卫星变轨等应变能力,其实际作用也十分有限,特别是其高投入、慢产出、低效益的实际情况,非常值得我们深思。常规的有人驾驶航空遥感测绘平台,战时受飞行地域、航高和不可回避的人员伤亡代价的制约,实施战时测绘也绝非易事。这种状况正在迅速催化以无人机为平台的机载对地观测系统和动态测绘技术的发展。

特别是在灾害监测、抢险救援、反恐维稳、重大群体行动等场合,对事件发生和演化的现场需要进行实时监视、目标跟踪与三维定位,以及快速实施定量化评估,传统基础测绘所沿用的数据采集与处理流程、地理信息延时或滞后服务的保障模式,已经难以满足对任务或事件快速反应、精确评估、有效应对的较高要求。因此,发展地理空间信息直接服务甚至直播服务(live-service for geospatial information, LGI)的新模式,突破地理空间信息快速响应的关键技术,已经成为刻

不容缓的重要任务^[1,2]。

二、无人机平台对地观测与直播服务的基本思路

(一) 工作模式

由无人机平台搭载动态观测任务载荷对目标区采集成像数据及位置和姿态辅助参数,并在地面车载系统上完成近实时、准智能化的高速并行测绘处理作业。系统主要由机载和车载两部分组成。机载系统各组成模块的中心任务是视觉影像信息获取、成像传感器同步的位置与姿态测量及必要的在轨数据压缩处理。车载系统的主体工作则是任务组织调度、作业控制,以及与机载任务载荷紧密耦合的近实时、准智能化的快速测绘处理。车载近实时、准智能化快速测绘处理子系统,是运行在紧凑型集群计算环境的测绘数据处理功能模块,主要包括 POS 测量数据解算、视频序列图像的地理空间注册、立体视觉影像的自动匹配、地面目标三维信息提取与定位解算及正射影像图制作等。

(二) 旋翼无人机平台

无人飞行器,通常分为定翼和旋翼无人机两大类。定翼无人机与常规的载人飞机具有较为相似的动力学特性,在测绘领域已得到初步应用。旋翼无人机(VTUAV 或 RWUAV)也称无人直升机,其构造较为简单,造价相对低廉。更为重要的是,与定翼无人机相比,它在起飞时无需发射系统,降落时不需要跑道或撞网回收装置。其旋翼能在静止空气和相对气流中产生向上的力,旋翼由自动倾斜器操纵可产生向前、后、左、右的水平分力,因而无人直升机能够做到:① 垂直上升或下降、空中悬停、原地转弯,并能前飞、后飞和侧飞;② 长时间悬停、贴近地面飞行,或利用地形地物隐蔽飞行;③ 在野外场地垂直起飞和降落,不需要专门的机场和跑道;④ 若发动机发生故障空中停车,无人直升机可以利用旋翼自转下滑安全着陆。由此不难看出,旋翼无人机是一种灵活性、机动性兼备的灵动型飞行观测平台,其在观测区域上空悬停和绕飞的能力,有利于对目标区连续观测、凝视观察和动态跟踪成像。

由于无人直升机的独特性能,美国、俄罗斯等国近年来先后发展出多种装备型号^[3],如美国贝尔直升机公司的“鹰眼”、弗隆蒂尔系统公司的“A160 蜂鸟”、俄罗斯卡莫夫公司的卡-137 等。近年来,我国在旋翼无人机的研发方面也取得了显著进步,开发的 U8 机型及 Z 系列(Z-3、Z-5 型等)无人直升机平台,已成功应用于空中监测、电力巡线、无线中继等。国内外在旋翼无人机研制方面取得的技术进步,为动态测绘和地理空间信息直播服务提供了可资利用的飞行观

测平台。

(三) 集成化机载传感器载荷

执行测绘任务的无人机对载荷的体积、重量和供电等方面有一定的限制,特别是有效载荷的总重量一般要控制在 20 ~ 50 kg。因此,发展轻小型的测绘传感器有效载荷,成为对地观测系统设计的首要约束条件。

单一功能的传感器往往难以完成综合强的动态测绘任务,通常需要多个传感器的协同探测和功能融合,才能构成较为科学合理的作业模式。以动态位置姿态测量传感器、高分辨率光学成像传感器、激光雷达传感器及序列成像视频传感器多模态组合的载荷配置方式,更加符合动态测绘和地理空间信息直播服务的现实需求。

主要的传感器载荷,包括以下三种。

(1) 位置姿态测量传感器系统(POS)。由机载卫星导航定位接收单元和惯性测量单元组成的轻量型 POS 系统,是动态飞行条件下连续获得探测平台瞬时位置姿态参数不可或缺的基本手段,也是摆脱地面控制点约束实现快速直接地理定位的首选技术。POS 系统可为其他同步工作的遥感传感器提供空间绝对定位定向必不可少的时空基准。

(2) 中幅面光学成像传感器(CCD)。面阵 CCD(Charge-coupled Device)器件的快速发展,使得 5 k × 7 k 甚至 12 k × 12 k 像素级别的单片 CCD 高分辨率光学相机相继出现。无人机飞行航高为 500 ~ 3000 m,可获得 0.05 ~ 0.3 m 的地面分辨率。

(3) 序列成像视频传感器(video)。在突发事件热点区域,电视直播造成的视觉冲击和心理震撼,使人印象深刻。视频序列成像的每帧画面在同步 POS 测量参数的标注下,可即时转化为具有量化地理空间信息标志的动态影像产品。这样的动态地理影像,对于快速反应、应急救援、即时决策的意义和价值,不是传统意义的地形图、影像图所能比拟的。

(四) 车载紧凑型高速数据处理系统

车载系统主要由机载探测数据接收、快速集群处理和宽带无线数据发送等部分组成。其中,GPU 超级计算集群是实现地理空间信息加工处理的核心。

集群计算环境为高速数据处理提供了较为适宜的手段,特别是利用低成本的 GPU 技术搭建紧凑型并行计算系统,呈现出良好的发展前景。GPU 已经发展成为一个高度并行化、多线程、多核处理器,具有杰出的计算能力和极高的存储器带宽。NVIDIA 公司推出的 CUDA(compute unified device architecture)架构大

大简化了 GPU 的编程过程,配以 C 语言编程能力和 CUDA 软件开发包,使得 GPU - CPU 协同处理架构成为优异的高速计算平台。相对于传统的基于多核 CPU 服务器集群(如刀片机),GPU 计算在性价比、占地空间、功耗等方面的优势非常明显。譬如,12 节点 GPU - CPU 协同并行计算系统的峰值计算能力已达到 48 Tflops,为大量地理影像数据的高速处理提供了有效的工具。

车载系统实现的基本功能包括以下三方面。

(1) 地面车载系统支持:主要执行飞行器运控、任务载荷作业控制、机载视觉观测数据接收及快速测绘处理数据等任务。

(2) 近实时、准智能化的快速测绘处理:用于对目标区的各类探测数据和观测测量进行快速解算及目标区地理重建。

(3) 宽带无线数据接入:借助于超宽带(ultra wideband, UWB)无线通信网络,以无线链接的方式进入互联网,实现无延时或近实时的地理空间信息发布和用户端直播服务。

三、机载对地观测与地理空间直播服务的关键技术

旋翼无人机平台动态对地观测与现场直播服务系统,涉及多项关键技术^[3-10]。

1. 系统总体设计技术

以旋翼无人飞行平台对任务载荷的体积、重量、功耗等多方面的要求为依据,以地面处理平台的空间布局、集群设备需求、动态性及与探测传感器的紧耦合要求为约束条件,以最终的目标定位精度、测绘处理精度和作业效率为指向,对各有效载荷及地面处理设备的主要技术指标进行合理分解、科学分配,并进行总体设计和详细设计,制定完整、细致的实施方案。系统的总体设计方案框图见图 1。

2. 机载任务载荷传感器及其集成

在飞行平台约束条件下,实现中等幅面的面阵 CCD 数字相机构成的较高分辨率的视觉传感器、可变焦的中低分辨率视频传感器、辅助传感器空间位置与姿态测量的 POS 单元、无线数据通信单元、工控计算机等主要模块的指标匹配及同步控制的相关技术,以及同平台的系统集成技术。

3. 传感器几何定标与辐射定标技术

解决面阵 CCD 相机、POS 单元、视频传感器的零位置探测参数及传感器之间相对几何关系(偏心分量、视轴偏心角),以及影响定位精度的多参数遥感场外场检校技术^[11](图 2),成像传感器的外场辐射定标与图像质量改善技术。设计相应的检校模型和解算方案,最大限度地消除系统误差,保证传感器系统定位精度和可靠性。

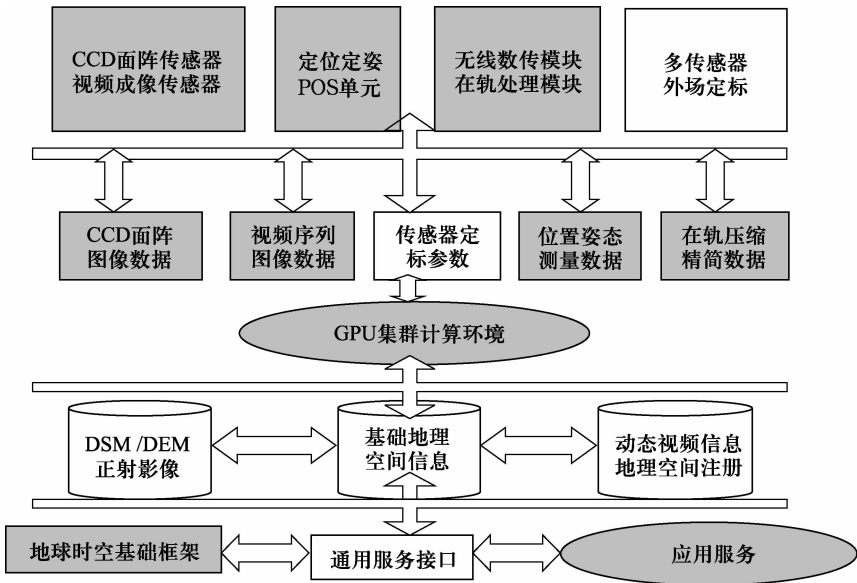


图 1 系统总体设计方案框图

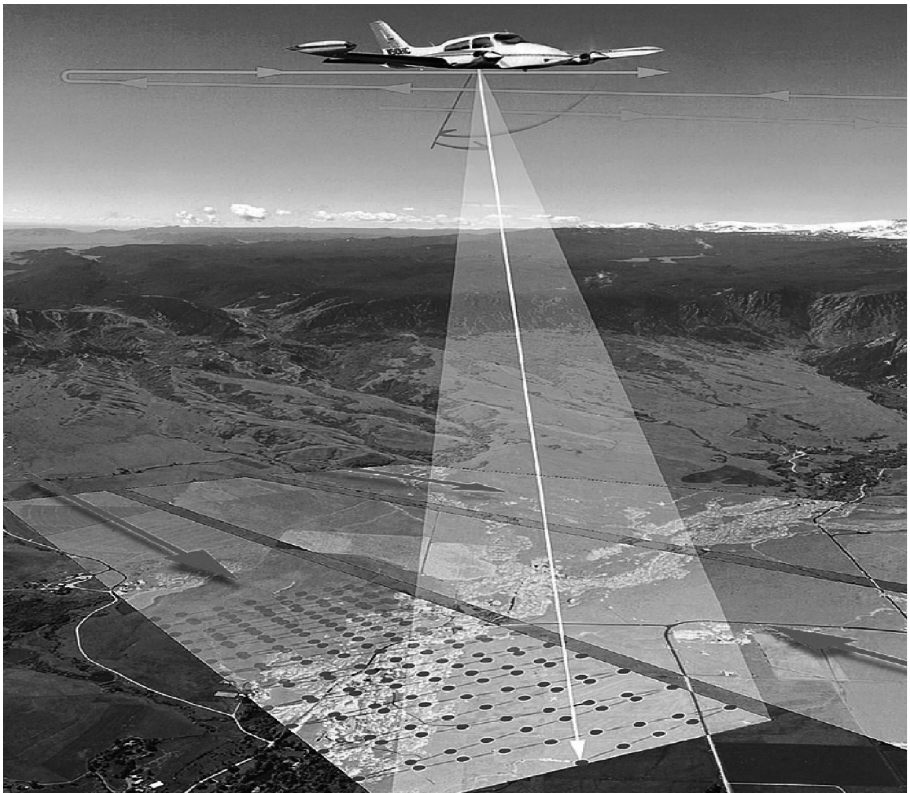


图 2 传感器外场几何定标示意图

4. 机载平台高动态、非常规立体覆盖影像空中三角测量网的构建技术

针对旋翼无人机灵活的飞行特性,在借鉴常规航摄影像立体重叠构建空中三角测量区域网的理论和技术的的基础上,重点解决可绕飞、悬停情况下非常规立体覆盖影像空中三角测量网的构建模型、区域网灵活扩展技术和序贯处理方法(图3)。

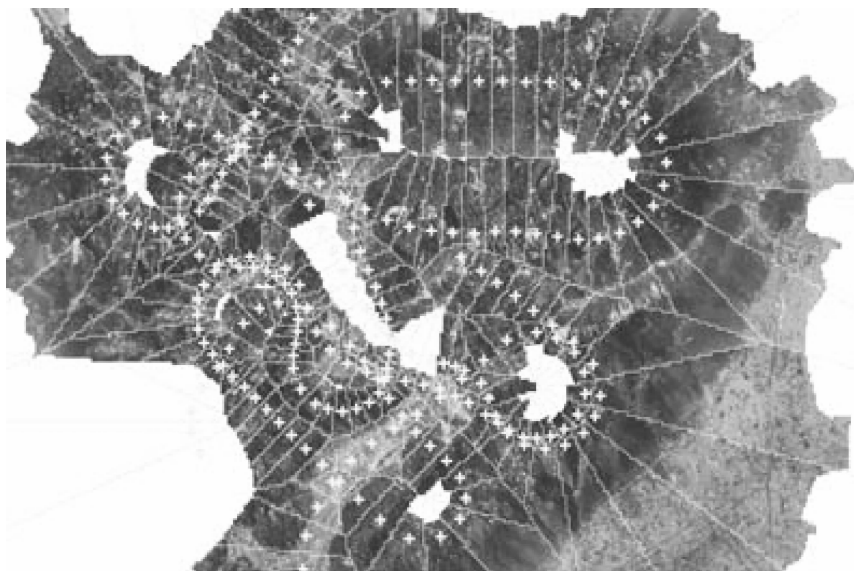


图3 非常规影像空中三角测量网的模型构建

5. POS 数据辅助的非常规立体摄影测量定位模型与稳健解算方法

以高精度的空间位置与姿态测量单元为基础(图4),首先解决传感器位置/姿态测量数据的处理问题,即 POS 单元的 GNSS 卫星测量数据与 IMU (Inertial Measure Unit) 惯性测量数据卡尔曼滤波序贯处理技术。进而解决 POS 数据用于确定机载传感器定位/定向参数的技术,以及非常规立体摄影测量定位模型与稳健解算方法,为高空间分辨率立体图像地理定位、重建目标区三维形态及序列视频图像地理空间注册,提供地球空间信息框架(大地坐标基准)与外方位参数。

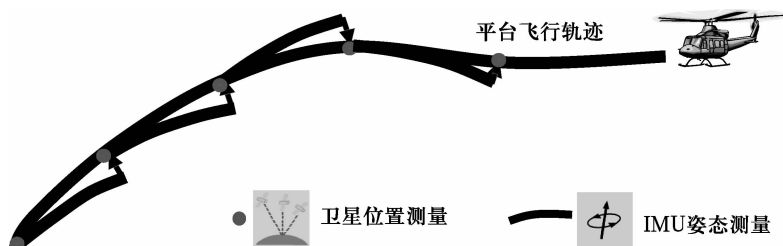


图4 传感器空间位置/姿态的 POS 测量

6. 面阵 CCD 立体图像的快速自动立体匹配技术

基于视觉原理、图像灰度与特征相结合的自适应匹配算法,解决影像匹配时地物遮挡、几何变形等技术难题。在集群计算环境下,设计稳健、智能化的通用处理算法和二维分解后的多个一维线性搜索同步处理的内在并行处理算法,进而全面提高目标区 DSM(Digital Surface Model)三维信息采集的作业效率。

7. 机载平台序列影像抽帧地理空间注册与三维标定快速算法(即快速确定有效影像并准实时进行外方位元素赋值的关键技术)

主要解决旋翼无人飞行器在空中悬停或绕飞状态下序列视频成像的地理空间标注技术^[6],以同步测量的动态 POS 定位/定姿参数为基础,实现高效率的参数内插与瞬时赋值算法,依照规则的元数据体系对序列视频图像的地理空间实时注册(图 6),达到对“热点”目标区抵近观测、凝视观测的定量化表达。

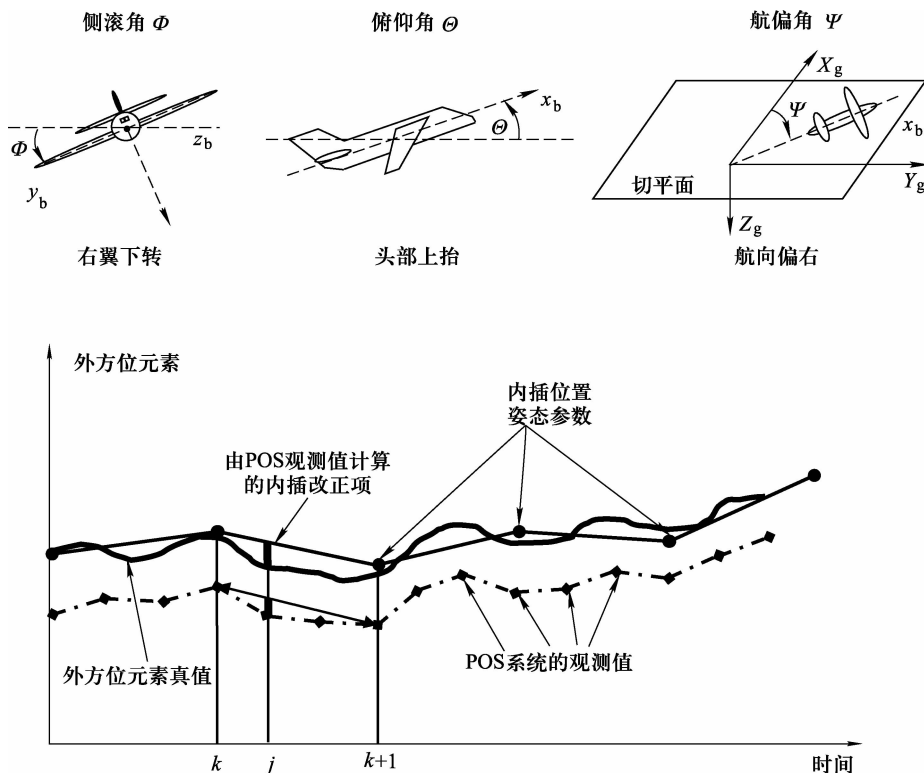


图 6 序列视频图像近实时地理空间注册解算

8. 非常规立体成像的正射微分纠正及无缝镶嵌的技术与并行算法

利用 POS 位置、姿态参数或(和)三维表面模型(DSM)的机载高分辨率 CCD 图像快速几何校正及无缝镶嵌技术,以及序列图像动态嵌入正射影像的数字镶嵌与实时更新算法。在数据后处理中,以多 GPU 为核心实现大规模视觉图像数

据并行处理技术,以及适合于多 GPU 处理器的高性能计算技术。

9. 快速测绘处理模块集成技术

搭建多 GPU 协同集群计算处理等为主的基础环境,解决数据访问、任务调度、处理衔接、负载平衡等基于数据驱动的动态作业流程管理等技术实现问题,以及 POS 数据处理、立体图像匹配、三维 DSM 数据采集、视频序列图像地理空间注册、正射影像制作等核心软件模块的开发、优化和集成技术。

四、飞行实验与测试分析

测试实验以国产旋翼无人机 Z5 为机载平台,任务载荷总重量约 40 kg。通过近几年在车载平台上对专业级中幅面面阵 CCD 相机的应用和测试的情况,选用德国产的 GE4900 数字相机为主要的成像传感器(像元数 4872×3248 ,像元尺寸 $7.4 \mu\text{m} \times 7.4 \mu\text{m}$),按照成像的几何关系,在飞行航高 500 m 时,短焦距(24 mm)情况下地面成像分辨率约为 0.15 m,长焦距时成像分辨率可进一步提高。数字视频摄像机采用国产高清视频摄像机 MV-VE141SC(像素数 1392×1040 ,像素尺寸 $4.65 \mu\text{m} \times 4.65 \mu\text{m}$),视频成像采用帧曝光 CCD 作为传感器。机载动态定位定向单元采用英国产紧凑型 Inertial+ 部件,该 POS 单元是一种性价比适宜的 IMU/DGPS 测量系统,能够接受外部 NMEA 格式的 GPS 接收机信号,与内部的惯性测量单元深组合处理,输出融合后稳定的数据,DGPS 的位置精度为 0.4 m CEP,姿态测量的俯仰角/横滚角(ψ/ω)优于 0.05 度(1σ)。

为验证和测试无人机平台及部分任务载荷的工作状态和性能指标,分别进行了飞行实验和地面车载综合实验。2012 年 3 月在青海茶卡地区(海拔 3200 m 以上、气温零下 15°C),进行了高原高寒机载对地观测飞行实验(图 7 至图 9)。实验表明,无人机平台及主要任务载荷工作状态稳定,成像质量和无线传输能力达到设计要求。近三年来,对核心传感器及辅助测量单元在车载平台上进行了大量运动状态下的单项与组合测试,并对观测数据进行综合处理,主要技术指标已经初步满足预研项目对近实时动态测绘的基本要求,为地理空间信息的现场直播式服务提供了基础系统和综合实验环境,也为后续的设备接口改进和软件优化工作建立了集成化的测试平台。

五、总结与思考

以旋翼无人机为对地观测平台实现地理空间信息的现场直播式服务,为测绘地理信息行业在应急快速反应场合完成高效服务保障提供了一种新样式、新模式,也为增加测绘产品种类、提升地理空间信息服务能力带来新的思考。



图 7 青海茶卡高原高寒机载对地观测飞行实验



图 8 Z5 无人直升机平台



图9 地面车载操作平台

(1) 航天遥感测绘、常规航空测绘和无人机测绘,其作用和任务不尽相同,现阶段彼此尚不可替代。旋翼无人机动态对地观测,比较适合应急事件快速反应的应用需要。

(2) 轻量化机载集成传感器进行近实时的动态遥感探测,可为应急事件提供数据类别多、内容丰富的现场信息,为快速反应决策提供更加可靠的支撑。

(3) 在机载对地观测及时提供现场数据的基础上,充分发挥紧凑型 GPU 集群并行计算的超强信息处理潜能,大幅度提高测绘生产效能,才能切实实现快速反应、动态测绘和应急测绘保障。

(4) 以地理空间信息“现场直播”服务为目标,突破传统测绘产品生产固定化、惯性化的模式,开展非传统样式地理信息产品类型、技术标准规范和服务保障模式的探索,可为提升现代测绘服务保障能力开辟新的途径。

参考文献

- [1] 李德仁,邵振峰. 信息化测绘的本质是服务[J]. 测绘通报,2008,(5):1

-4.

[2] 张永生. 现场直播式地理空间信息服务的构思与体系[J]. 测绘学报, 2011(1):1-4.

[3] 魏瑞轩,李学仁. 无人机系统及作战应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2009.

[4] Cannata R W, Shah M, Blask S G, et al. Autonomous video registration using sensor model parameter adjustments [C]//IEEE Proceeding 29th Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, 2000:215-222.

[5] Wang C X, Stefanidis A, Croitoru A, et al. Map registration of image sequences using linear features [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2008, 74(1):25-38.

[6] Taylor C R, Dolloff J T, Bower M, et al. Automated video geo-registration at real-time rate [C]//Proceeding ASPRS Annual Conference: Opportunities for Emerging Geospatial Technologies, 2010.

[7] Nir A. Actionable emergency mapping [C]//Proceeding ASPRS Annual Conference: Opportunities for Emerging Geospatial Technologies, 2010.

[8] Fraley G, Backes D. Implications of low-cost sensor technologies for UAV imaging applications [C]//Proceeding ASPRS Annual Conference: Opportunities for Emerging Geospatial Technologies, 2010.

[9] Lanier P, Short N. Large-baseline stereo imaging utilizing dynamic pose compensation [C]//Proceeding ASPRS Annual Conference: Opportunities for Emerging Geospatial Technologies, 2010.

[10] 张永生,王仁礼. 遥感动态监测[M]. 北京:解放军出版社, 1998.

[11] 张永生. 高分辨率遥感测绘嵩山实验场的设计与实现[J]. 测绘科学技术学报, 2012(2):79-82.



张永生 1963 年出生,博士,教授,博士生导师,专业技术少将,工作单位为解放军信息工程大学测绘学院。主要从事航空航天遥感工程、遥感信息处理、地理空间信息应用等研究与教学工作。主要科研成果获得国家技术发明奖二等奖 2 项、军队和部级科技进步奖一等奖 4 项、军事测绘重大工程奖 1 项、发明专利授权 13 项等。出版著作 10 余部,发表学术论文 80 余篇。

试论 GIS 十大应用

李满春

南京大学

随着时代的发展, GIS 的应用日益广泛, 为什么 GIS 能有如此广泛应用? 因为对大众, 它是实用的电子地图集; 对地图编制者, 它是强大的绘图工具; 对业务管理者, 它是方便的信息仓库; 对项目决策者, 它是智能化的参谋伙伴; 对科学研究者, 它是有力的分析工具。一般来说, GIS 的应用路径为“应用需求→环境准备→数据准备→空间分析→应用结果”, 通过“硬件与网络环境、软件系统、数据库系统、模型库系统”的准备, GIS 强大的应用功能正在服务于社会生活的各个方面。

GIS 应用可分为十大方面: 位置服务、查询检索、路径选择、变化检测、情势分析、区域发展、资源配置、预测预报、规划选址、宣传教育等。

位置服务回答两大最基础问题: 在哪里? 附近有什么资源? 以某地警用 110 GIS 系统之事故快速反应为例, 一旦接到事故报警, 警务中心将迅速定位事故地点, 并调配急救资源, 以最短的时间赶往现场救援。

查询检索是 GIS 的最基础最重要的功能之一。GIS 可以快速、精确地查询用户需要的信息。例如, 土地利用之现状地类与规划用途系统, 其综合查询功能不仅可以查询建设项目用地信息, 还可以对土地利用及规划修改历史信息进行回溯。

路径选择即选择最优的路径, 最优因素可以包括: 距离、时间、费用、消耗、安全等。例如, 对常州城市道路网络优化, 通过数据处理、评价指标选择、评价模型构建、结果优化等处理流程, 获得现有道路网络的改造方案。

变化检测是从不同时期数据中定量分析和确定几何变化的过程。以新加坡海岸线变化检测分析为例, 利用 1973 年、1989 年、1999 年、2010 年 4 个时相的遥感影像, 提取 4 个时期的新加坡海岸线, 通过对比分析新加坡海岸线变化情况可以得到, 新加坡西南岸在 1973—1989 年间新增土地 1815 hm^2 , 1989—1999 年间新增土地 1601 hm^2 , 1999—2010 年间新增土地 5132 hm^2 , 呈逐年扩大趋势。

情势分析是指综合的情况、态势和趋势分析。利用多因素多因子综合判别模型对城镇土地综合定级, 包括指标体系建立、因素因子权重确定、因素因子赋

值、综合作用分值计算、理论级别划分、调整与落界,最终得到城镇土地综合用途级别图等一系列成果。

区域发展是一定时空范围内,以资源开发、产业组织、结构优化为中心的经济社会活动。以海岸带区域开发强度评价为例,通过综合分析自然环境对人类开发压力响应,得到海岸带区域人类开发与环境响应空间相关性示意图。

资源配置是在一定范围内对有限资源进行合理分配,实现效益最大化。例如,在某地汽车代理商网络中,现有 5 个汽车代理点,为提高市场渗透率,决定新增一个网点,利用 GIS 技术提出新增方案。方案一:基于 MAXCOVER 模型的代理网络,设定距代理点 30 km 为距离的阈值,使得在 30 km 范围内代理网点服务量最大;方案二:基于 MINDISTANCE 模型的代理网络,保证顾客到达最近代理网点的距离不超过 30 km,使潜在顾客到最近网点的总路程最短。通过 GIS 分析,得出最终结论:不需增加新的汽车代理网点。

预测预报是对某一区域或事物分析其历史和现状数据,总结变化规律,预测未来发展方向和趋势,包括:城市扩张、林火蔓延、台风运动、植物生长、地震预测、成矿预测等。案例展现了南京市 1949 年、1979 年、1988 年、1994 年、1997 年、2000 年、2003 年、2010 年间城市空间的变化情况。

规划选址是将选址区域以多种方式展示出来,便于了解、分析和论证选址成果,包括商业点规划选址、道路规划选址等。以某区域滑雪场选址为例,进行渐进式规划。步骤 1:考虑降雪,选择气候适合的州;步骤 2:考虑交通流量,选择到各州距离之和最小的州;步骤 3:考虑最大客流量,选择人口大于 10 万人的大城市;步骤 4:考虑地价,选择在大城市周围人口小于 3 万人的小城镇;步骤 5:考虑出入方便,选择在州际公路附近的小城镇;步骤 6:考虑生态保护,划除自然保护区。成稿,整饰地图,最终获得该区域滑雪场选址结果。

宣传教育包括广告宣传、政治宣传、学校教学等。以某品牌钢琴制造商利用销售地图进行广告宣传为例,采用一幅地图表示自己生产的钢琴雄踞市场:地图中红色的符号表示自己公司生产的钢琴在一个区域中有销售,通过地图中绝大多数区域的红色符号表达,夸张凸显了该品牌的强大。

经过 50 年的发展,GIS 已从最初的空间数据管理与处理,发展为广泛的地理信息服务。我们相信,在技术和需求的推动下,GIS 应用前景将更加广阔。



李满春 博士,教授,博士生导师。现任南京大学科技处处长、地理信息系统与遥感研究所所长、国际地球系统科学研究所常务副所长。主要研究 GIS 设计开发与应用、资源环境遥感、数字地图与应用地图学、土地利用/覆被变化。

关于我国西部地理信息公共服务的思考

张继贤

中国测绘科学研究院

一、引言

经过 20 多年的建设发展,我国在国家层面的地理信息服务取得显著进展,建成了以国务院办公厅“全国空间信息系统”为代表的中央政府宏观地理信息应用系统,深化了空间数据在政府部门的应用,提高了为政府管理决策服务的技术保障能力。同时省级政府地理信息服务也取得初步成效,许多地方政府建立了以检索查询、可视化为主的地理信息服务系统。然而由于经济发展不平衡,东中西部地区信息化水平不一致,西部地区的地理信息应用广度和深度与全国其他地区相比较为缓慢,而面临的自然与经济环境却更为复杂,政府管理与决策涉及的影响因素多、覆盖面广、差异性大、社会矛盾突出、关注重点各有不同,迫切需要科学、实用、便捷的技术手段辅助西部地方政府进行分析与决策。

利用西部 1:50 000 地形图空白区测图成果和其他地理空间信息,围绕应急指挥、资源与生态环境保护、经济建设、电子政务等国家重大战略,国家测绘地理信息局与其他部门和地方政府联合开展突发公共事件处置指挥基础地理信息平台、生态环境监测与预警基础地理信息平台、循环经济试验区基础地理信息平台等基础地理信息公共平台建设,为西部经济建设、生态保护、资源规划、社会发展、国家安全和民族团结、信息化建设提供保障,满足国家西部大开发过程中重大战略急需。

二、我国西部基础地理信息服务平台总体架构

(一) 平台体系架构

我国西部基础地理信息服务平台采用多层技术架构,应对灵活的功能拓展需求,具体架构如图 1 所示。平台架构的外围是应用开发软件基础平台支撑体系,中间是应用开发软件基础平台的应用体系。外围支撑体系包括标准规范体系、安全保障体系等,能够确保平台在统一管理、标准规范、安全保密的前提下进行建设;应用体系按照面向服务的体系架构(service-oriented architecture, SOA)思想进行设

计,主要包括数据支撑层、基础平台层、功能组件层、支撑工具层,在四层结构的基础上,采用多层的分布式体系结构,确保构建综合应用系统的可扩展性、灵活性。

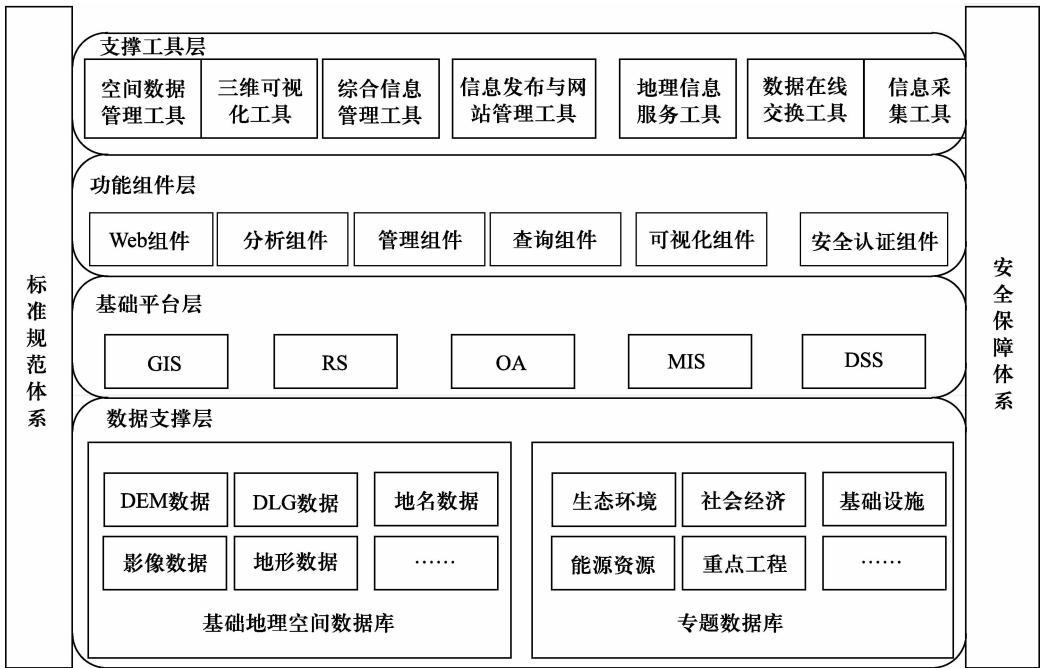


图1 西部地理信息服务平台总体架构

(二) 平台技术特点

平台以西部测图地理信息成果为基础,在空间信息公共服务技术的基础上,面向国际经济技术合作、电子政务、应急指挥、资源环境、循环经济等不同地方政府应用建设要求,开展了空间数据一体化集成整合、分布式空间数据管理、地理信息服务聚合、图文一体化管理、高效空间分析、地理信息智能检索等关键技术研究,形成了面向政府与专业部门服务的空间信息获取、整合、处理、分析与服务的一体化地理信息公共服务技术体系。

1. 多源空间数据一体化集成整合

通过综合运用空间数据检索机制、大型数据库缓存技术、异步数据传输与数据压缩技术、地理编码技术、关系型数据关键字关联技术等方法,实现了空间数据与非空间数据集成、基础地理信息与专业信息融合(图2)。

2. 面向服务的分布式异构空间数据管理

通过分布式数据引擎对分布式存储的数据进行调度(请求和发送),分布式数据引擎作为一个数据访问层(逻辑层)而存在,网络用户不必获悉数据实际的网络位置,通过这个逻辑层直接对数据进行调度(图3)。

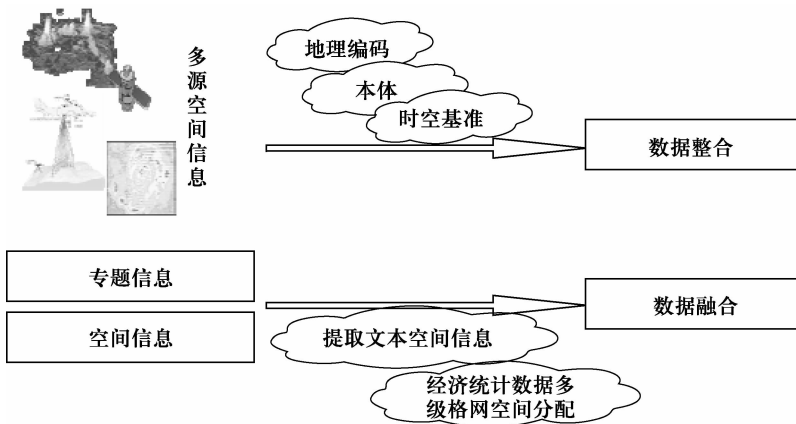


图2 一体化集成整合

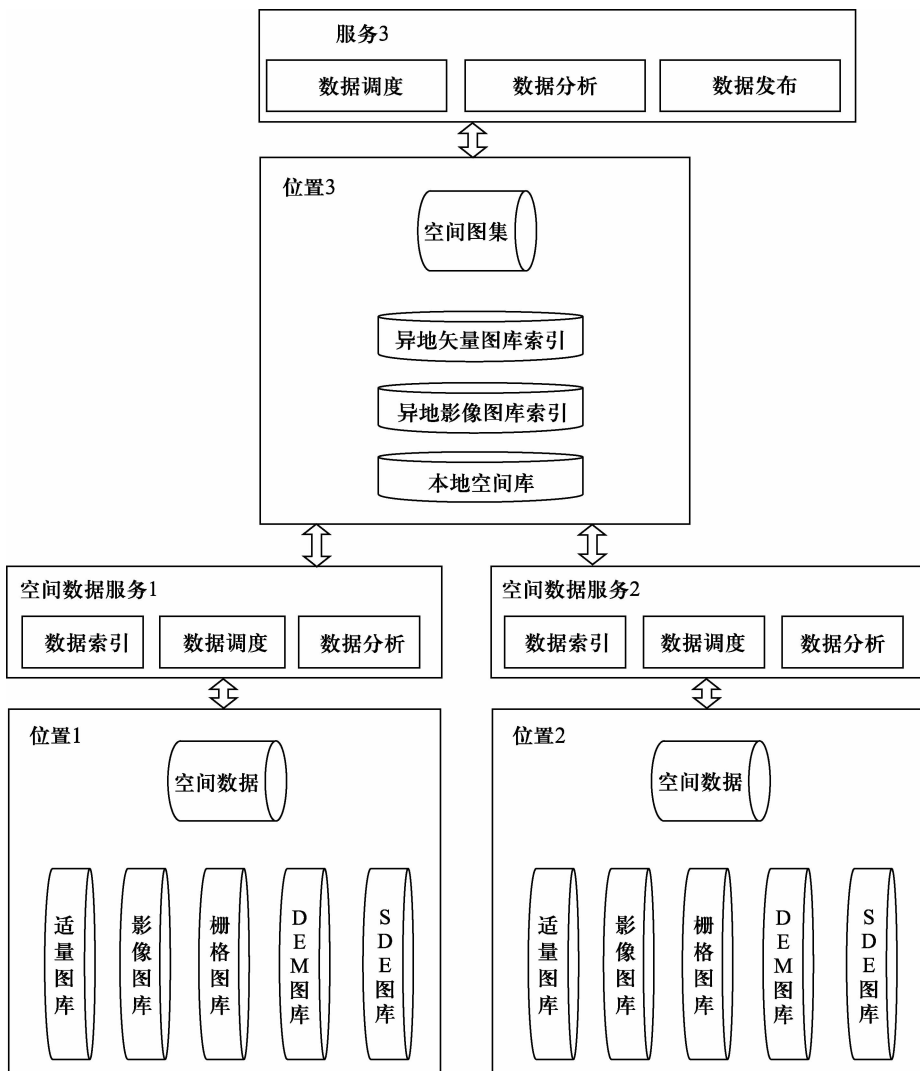


图3 分布式海量数据快速调度技术

3. 多源地理信息服务聚合

通过 TMS、WMS、WFS 和 WCS 标准服务,构建地理信息分布式服务架构,对外发布基础空间数据、专题数据服务,并可以接入外部系统提供的 ArcGIS Server、天地图、EasyMap、NewMap、Google Map、Yahoo Map 等 GIS 软件与服务,实现横向网格、纵向多级的服务聚合模式,为实现跨部门跨行业的空间信息共享提供了技术基础(图 4)。

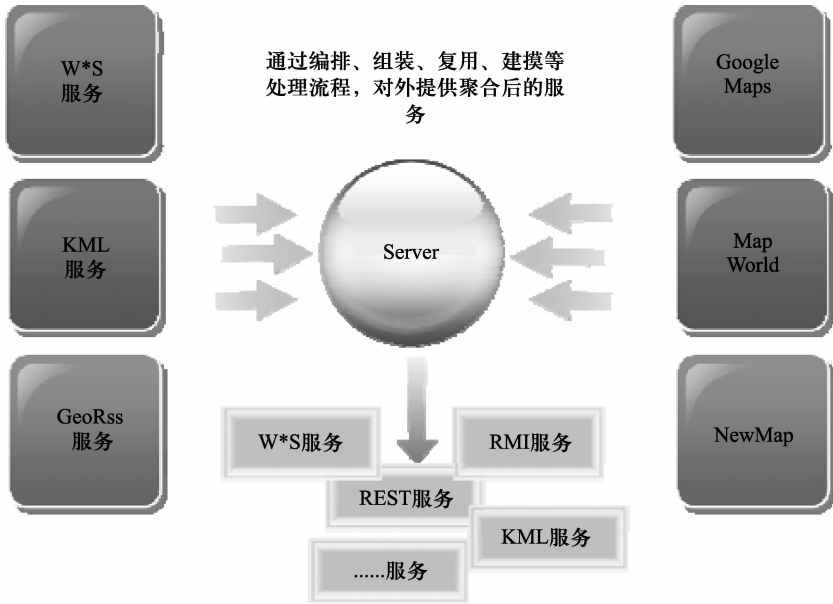


图 4 地理信息服务聚合

4. 基于空间信息与政务信息耦合的图文一体化管理

基于 SOA 思想,采用服务聚合、信息关联、图文混排等技术,通过超文本与地理信息控件的编辑和图文混合排版,实现业务文本信息与地理信息对象级融合,实现了超文本模式下的空间信息展示、查询分析、时态对比等专业地理信息服务(图 5)。

5. 高效空间分析设计与实现

利用空间分析技术,通过对原始数据模型的提取、综合和传输,可以获得新的经验和知识,并以此为空间行为的决策提供依据主要包括基于矢量数据格式的空间拓扑叠加、数据提取与融合、缓冲区分析、路径分析与资源分配,基于栅格数据的地形分析、分类与统计、多层叠加与模型运算等(图 6)。

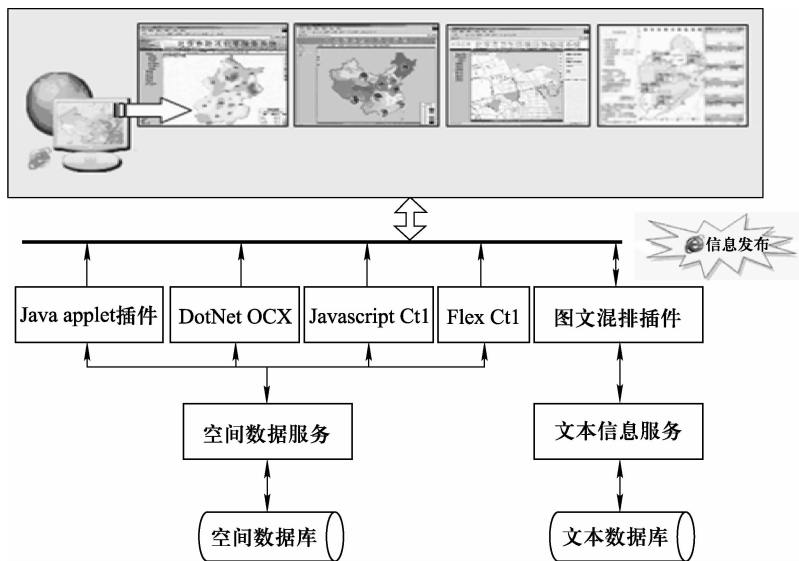


图5 图文一体化管理

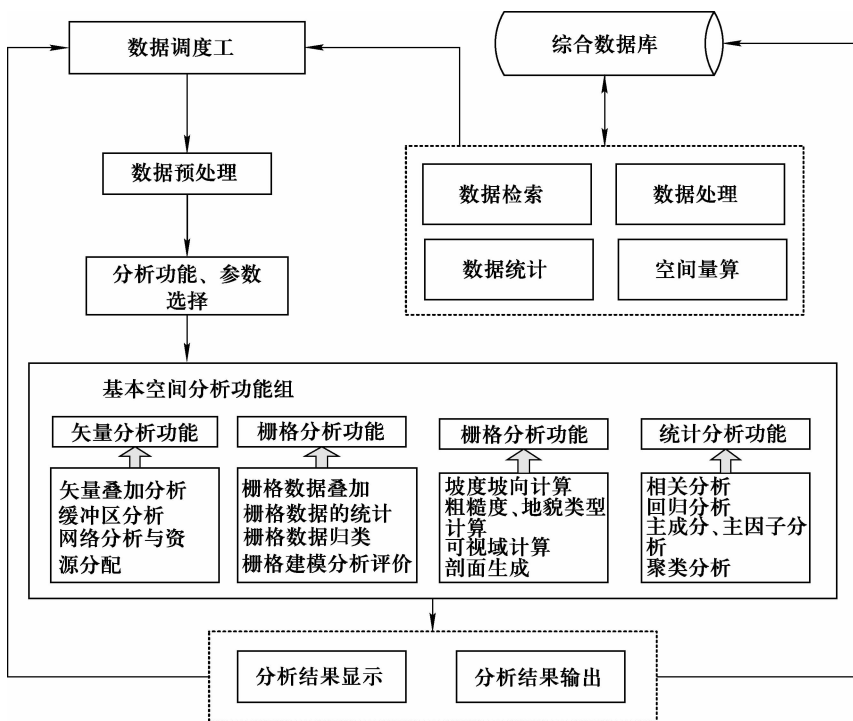


图6 空间分析功能构成

6. 本体驱动的地理信息智能检索

通过构建本体的层次化结构及本体概念之间明确的语义关联关系,以地理空间事件(任务)为纽带,利用本体构建领域概念模型,对与地理空间事件相关的语义、空间等信息进行关联分析和推理,从语义层次理解用户需求,按照特定地理空间事件特征,组织查询任务,创建事件驱动的智能地理信息检索方法,实现了基于本体语义相似度的空间信息智能搜索,让计算机理解用户的搜索意图,从而提高查全率和查准率(图7)。

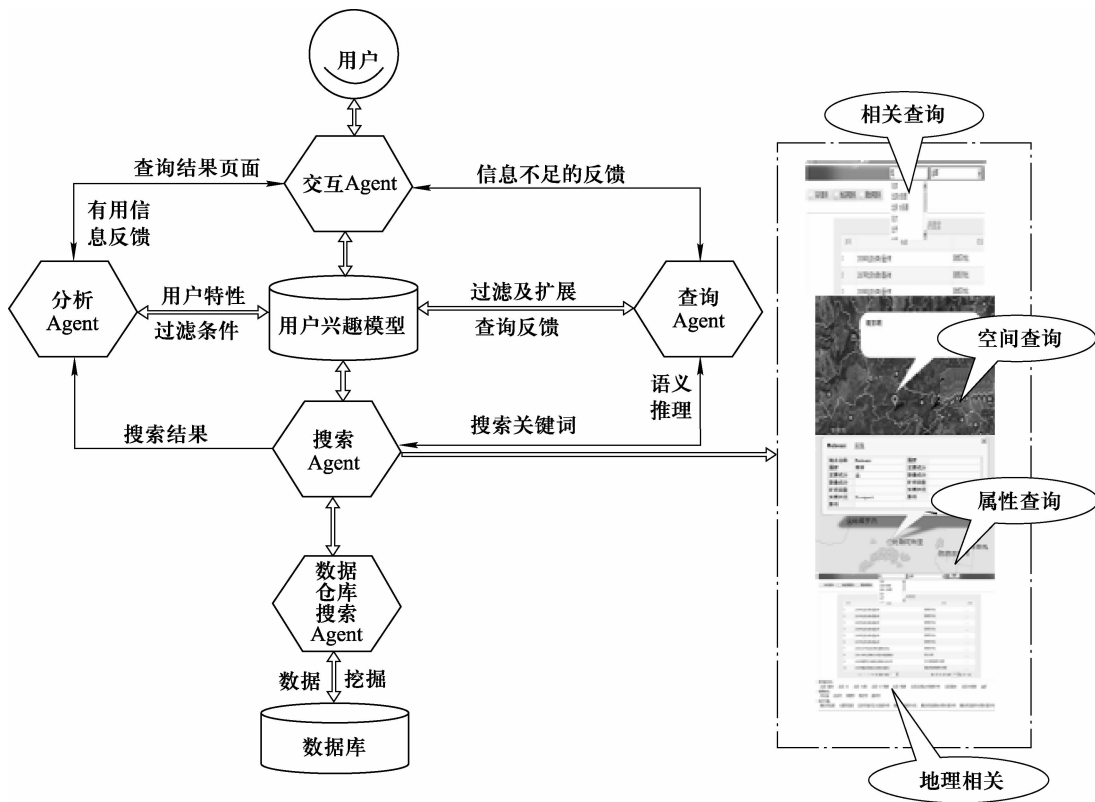


图7 基于本体的地理信息智能服务技术

三、我国西部基础地理信息公共平台应用现状

遵循“先搭建、先建设、边推广、边应用、后丰富、后完善”的原则,建立了面向循环经济、资源环境、国际经济技术合作、电子政务、应急指挥等领域七个应用系统。建成的七个系统(平台)在西部六省(自治区)地方政府内网和相关专业部门安装部署,并在十六个部门投入正式运行,直接为新疆和西藏自治区突发事件处置指挥、柴达木循环经济试验区管理与规划、三江源地区生态环境保护、甘

肃政务信息化、云南对外经济技术合作、四川汶川地震抗震救灾与灾后重建等西部地区经济建设、社会发展和国家安全的重点工作提供了重要支撑。

1. 柴达木循环经济试验区地理信息系统

系统有效整合了国家西部 1:50 000 地形图空白区测图成果、青海省基础测绘成果和柴达木循环经济试验区专题地理信息,为青海省循环经济管理 with 规划提供了辅助决策信息和工具(图 8)。

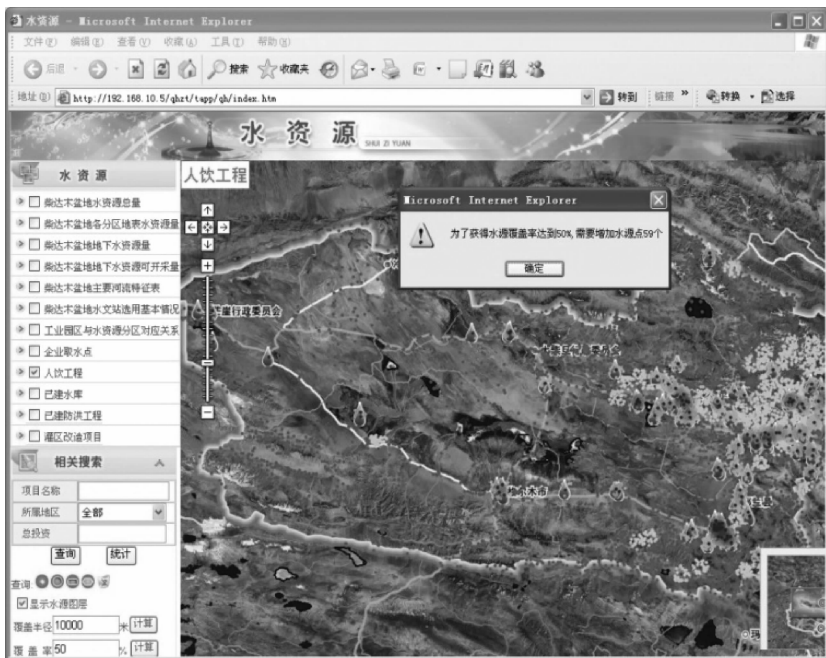


图 8 柴达木人饮工程水源点规划

2. 中国(云南) - 东盟自由贸易区 - 南亚区域合作联盟空间信息公共平台

系统作为云南省政府办公厅政务资源门户网站的重要组成部分,通过全国政府系统办公业务资源网(全国政府专网),实现了与国务院办公厅空间信息系统的链接和信息共享(图 9)。

3. 甘肃省政务地理信息平台

系统为甘肃省政府应急平台以及公安、环保、国土、新闻出版等行业和部门信息化建设提供了地理信息服务。在“5·12”汶川特大地震和“8·8”舟曲特大山洪泥石流灾害中,系统为抢险救灾、灾情评估、灾后重建工作提供地形分析、机降点坐标、应急工作标图、重建选址等应急保障(图 10)。

4. 西藏自治区突发事件应急处置地理信息平台

系统部署在自治区应急管理办公室、信息化领导小组办公室、国土资源厅、公安厅、消防总队、水利厅、卫生厅、气象局、交通厅等九个厅局,为领导对应急信



图9 云南中缅石油管道分布图



图10 甘肃省政务地理信息平台服务功能

息的正确把握和决策,提供了直观、具体的辅助。

5. 四川省地理空间信息公共平台

系统为四川省政府应急保障、卫生防疫、资源环境监测、石油天然气开发、城市管理二十多个领域提供了地理信息服务和专业技术支持,在藏区维稳、牧民



图 11 西藏应急事件快速定位

定居行动计划、“8.13”特大山洪泥石流抢险救灾等突发事件应急处置中发挥了重要作用(图 12)。

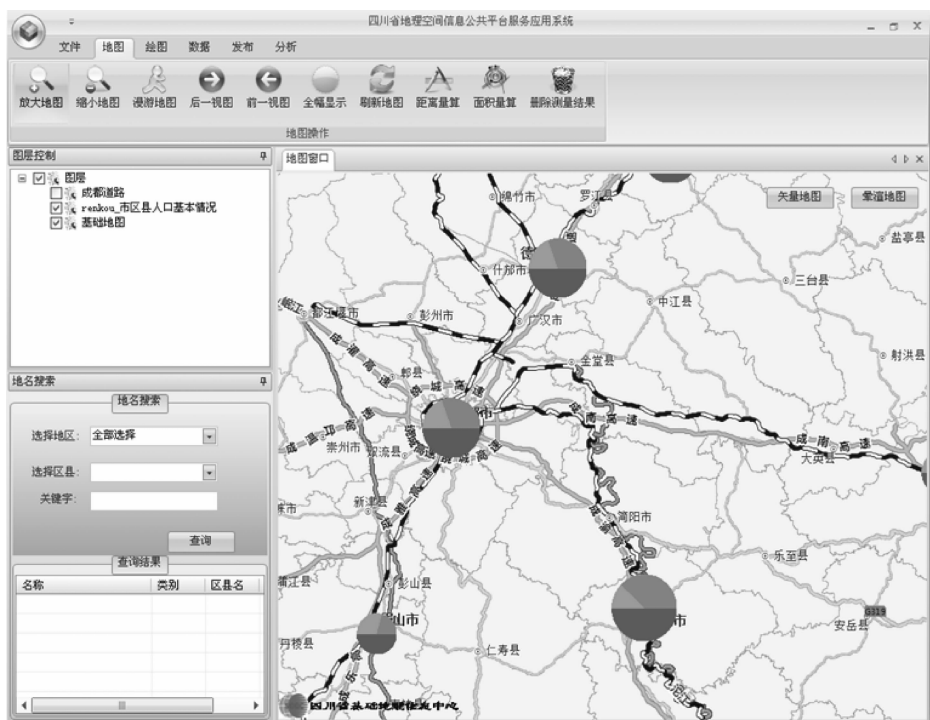


图 12 四川地图服务应用

6. 三江源区生态环境遥感动态监测地理信息系统

系统为青海省政府、省发展和改革委员会、省三江源办公室及省工程咨询中心编制了大量的系列专题图件,为大三江源区的区域划分及确定,下一步生态建设规划提供生态数据、基础地理数据服务(图 13)。

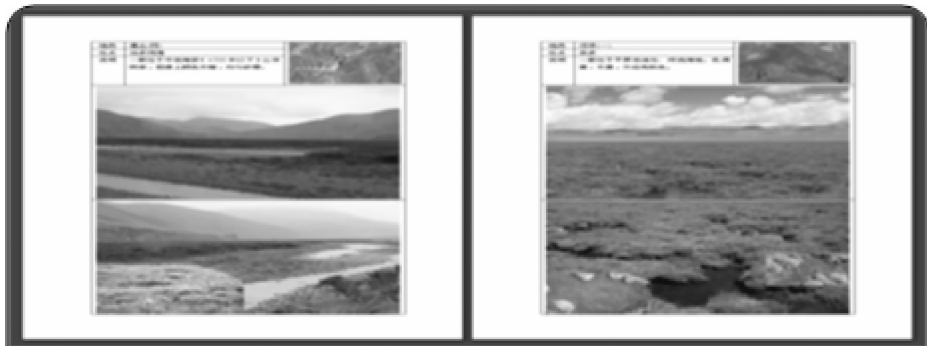


图 13 三江源区操场监测信息

7. 新疆维吾尔自治区应急平台体系基础地理信息平台

系统直接服务于区政府应急管理办公室,为“7·5”事件应急指挥、雪灾救援、洪灾被困人员救援、处置机场周边工厂爆炸等事件提供应急指挥处置服务,为辅助自治区人民政府科学决策、挽救人民群众生命财产安全做出了贡献(图 14)。



图 14 新疆突发事件应急处理

四、地理信息服务发展趋势

随着互联网、云计算、物联网等新兴技术的逐渐成熟,在政府、企业、公众等各类型、各领域用户强劲应用需求的拉动下,地理信息的生产、服务与消费模式正在产生重大变化。

在地理信息服务技术方面发生的变化如下。

(1) 数据管理。数据海量、多源、异构,管理趋向智能化、网格化。

(2) 信息处理。云计算、集群处理、并行处理等高性能计算技术已成为解决海量地理信息数据快速实时处理的有力手段。

(3) 基础功能。向在线协同、信息服务、个性化服务方向发展。

(4) 信息资源。地理信息与超文本、多媒体信息深度融合,专题集成与业务分析并重。

(5) 服务技术。网络泛在、主动服务、智能决策、三维动态、知识服务是未来发展的重点。

在地理信息服务应用方面发生的变化如下。

(1) 主体。从传统地图生产商和互联网服务商为主,扩展到电信部门、电视部门、个人(自发贡献)等多种服务主体。

(2) 用户。由专业用户发展到社会大众。

(3) 途径。从传统离线/局域应用,发展到面向泛在网络的主动服务。

(4) 形态。从传统二维地理信息服务为主,发展到二三维、全景影像、定位视频等地理信息服务。

(5) 内容。从关注自然、行政等(相对)静态要素为主,扩展到关注动态的社会、经济、人文等动态、变化信息。

五、几点思考

随着信息化测绘技术的发展,以及对测绘公共服务认识和需求的变化,根据地理信息在社会公众中应用的现状,以及未来可能的发展趋势,对于今后一段时间,我国西部地理信息公共服务可以从以下几个方面加以考虑。

(一) 进一步丰富西部基础地理信息资源

近几十年来,对地观测日益增多,并且随着计算机互联网技术的快速发展,对地观测数据的获取和共享变得异常便捷。基于西部测图工程建设取得的地形困难区域地形地物快速测图技术体系成果,丰富我国西部基础地理信息资源,形成从微观到宏观、从影像到矢量、从二维到三维的多尺度、多类型、多维度系列基

础地理信息数据,实现我国西部基础地理信息数据的快速更新,为经济建设和社会发展及时提供各类基础地理信息。

(二) 进一步促进西部信息资源共建共享

我国西部信息资源共享是地方政府部门信息化建设的核心,要改变传统的、单一提供数据的地理信息服务方法,推进公共地理信息在政府部门的应用与整合,提升地理信息公共服务能力,实现面向服务的基础地理空间信息共享,数据共享与功能共享并举,支持异构 GIS 平台集成应用。面对多样化的用户需求,需要研究基于 SOA 的基础地理空间信息服务技术框架和地理信息服务的云计算模型,形成灵活、结构化的地理信息智能服务架构,需要构建多基准、多语义、多尺度、多分辨率、多时态空间数据整合与同化的模型,实现多源空间数据的语义同化与转换、多尺度矢量空间数据级联融合、多源统计数据与空间数据融合。

(三) 进一步推动西部地理信息服务由数据到信息再到知识的转变

随着信息整合的加快与人们需求意识的转变,地理信息数据的内涵和外延在不断丰富和发展。随着我国西部地理信息的深度应用,传统的地理信息数据分发服务已经逐步被能够进行决策分析的信息传递所取代。而政府部门对于地理信息资源的需求还将随着经济社会发展和技术进步继续深化,地理信息公共服务不仅要进行数据分发、信息传递,还要承担起实时科学决策分析的使命。由数据服务到信息服务再到知识服务的转化和提升,将不断开创地理信息公共服务未来发展的新局面。

(四) 进一步深化西部测图工程成果应用

西部测图工程的全面完成为西部经济建设和社会发展提供了当前精度最高、现势性最强的 1:50 000 基础地理信息数据,但是随着西部大开发的深入推进、西部资源能源开发和生态环境保护以及维护边疆稳定和促进民族和谐进步,西部地区的各级人民政府的精细化管理和信息化建设的需求,对精度更高、比例尺更大、现势性更强的西部基础地理信息数据提出更为迫切的需求,依托西部测图工程的成果,开发我国西部专题服务和典型应用地理信息系统,满足深入实施西部大开发战略对基础地理信息服务的需要,为西部地区提高政府决策管理水平、促进经济社会协调可持续发展、维护边疆安全稳定提供有力的基础测绘保障。

(五) 进一步推进西部地区地理国情监测

面向未来科学发展的需求和政府精细化管理与服务的需求,在 1:50 000 基础地理信息数据的基础上,需要更加精细、更加完善、更加动态的基础地理信息保障服务。但是,目前实现我国西部基础地理信息变化的持续监测和有效更新的长效机制尚未建立。为此,建议进一步完善基础地理信息数据持续更新和维护的机制体制,基于西部测图工程建设取得的地形困难区域地形地物快速测图技术体系成果,推动西部测图成果向地理国情监测的转变,实现我国基础地理信息数据的快速更新,为经济建设和社会发展及时提供各类基础地理信息。



张继贤 研究员,博士生导师。1999 年入选国家百千万人才工程第一、第二层次人选,2001 年享受政府特殊津贴,2010 年入选国家测绘地理信息局首批科技领军人才。现任中国测绘科学研究所所长,博士生导师。兼任中国测绘学会副理事长、中国地理信息产业协会副会长、国际摄影测量与遥感学会第七委员会第六工作组组长。武汉大学、中南大学、中国矿业大学兼职教授,*International Journal of Image and Data Fusion* 主编,《测绘学报》、《遥感学报》副主编。

主要从事摄影测量与遥感研究,在国内外重要刊物及国际会议上发表论文 190 余篇,获国家科技进步奖二等奖 3 项、省部级科技进步奖一等奖 5 项,申请国家发明专利 6 项。主持完成国家重大测绘专项、国家科技攻关项目、国家“863”项目、国家公益性基础性重点专项、国家自然科学基金以及国家测绘局科技项目 70 余项。2011 年获“十一五”国家科技计划执行突出贡献奖。

建机制 抓统筹 提高地理信息应用服务能力

陈建国

浙江省测绘与地理信息局

一、浙江省测绘与地理信息工作的基本情况

多年来,浙江省测绘与地理信息工作在国家测绘地理信息局和省委、省政府的正确领导下,紧紧围绕全省经济社会发展大局,着力构建完善管理体制机制,强化测绘与地理信息统一监管,加强基础地理信息资源建设,推进测绘成果和地理信息的广泛应用,测绘与地理信息事业各项工作取得较快发展。

(一) 测绘与地理信息管理体制机制比较健全

浙江局成立于1974年。在省委、省政府的关心下,2010年2月,浙江省机构编制委员会批复同意浙江省测绘局更名为浙江省测绘与地理信息局,机构规格恢复为正厅级,增加相关管理职能、内设机构和人员编制。局机关内设9个职能处室,下属6个正处级纯公益性事业单位。全省市、县测绘与地理信息管理职能由建设(规划)主管部门承担。本轮机构改革中,11个设区市和65个县(市)通过加挂牌子、内设机构成立了测绘与地理信息局,落实了职能和专职管理人员。市、县都建有一支基础测绘队伍,许多地方因数字城市建设需要还新成立了地理信息中心。全省目前持有测绘资质证书、从事地理信息产业的机构近500家,从业人员逾万人,2011年完成测绘与地理信息服务总值近30亿元。

(二) 测绘与地理信息法规体系比较完善

已经形成以《浙江省测绘管理条例》为核心,包括《浙江省测量标志保护办法》、《浙江省地图管理办法》、《浙江省基础测绘管理办法》、《浙江省测绘成果管理办法》、《浙江省地理空间数据交换和共享管理办法》等5个政府规章以及与此相配套的30多个行政规范性文件组成的比较完善的地方测绘与地理信息法规体系。

(三) 具有丰富的基础地理信息资源

浙江省是最早建立基础测绘计划体制和财政投入机制的省份。目前,全省

绝大多数的市、县(市)基础测绘列入地方国民经济与社会发展计划,基础测绘经费纳入同级财政预算。“十一五”期间,各级财政共投入基础测绘经费近13亿元。

全省已建立了统一的GPS C、D级控制网和卫星定位连续运行综合服务系统以及厘米级似大地水准面,复测了全省二、三等水准,进一步完善了现代大地测量基准;全省每两年一次购买覆盖全省的高分辨率卫星影像,每三年一次对全省进行航空摄影;生产和多次更新了覆盖全省的1:10 000地形图数字化产品和1:50 000电子地图,生产了覆盖全省县级以上城市建成区及规划区的1:5000地形图数字化产品;生产、更新了覆盖全省城市建成区及规划区的1:500~1:2000地形图数字化产品;建成省级基础地理空间数据库和省级基础地理信息系统并投入运行;建成省基础测绘信息网上发布系统并投入运行;大部分市、县建设了城市基础地理信息数据库或基础地理信息系统。1:10 000、1:5000基本比例尺地图已形成每三年全面更新一次、重点地区每年更新一次、重要要素每三个月更新一次的机制。部分城市开展了地下管线测绘。浙江省已成为基本比例尺地形图有效覆盖最全、更新最快、基础地理信息资源最丰富的省份之一。

总体上讲,浙江省经过多年的发展,建立了较为完善的测绘与地理信息工作管理体制机制,积累了丰富的地理信息资源。这些都为地理信息资源共建共享机制的建立和广泛应用服务打下了坚实的基础。如何更好地利用好丰富的地理信息资源,开展好地理信息资源的共建共享,提升服务能力,浙江省走过了一条不断探索实践的道路。

二、建立共建共享机制,主动提供地理信息服务

2002年,浙江省就开始探索在政府部门间建立地理信息资源共建共享机制的工作,通过共建共享,推进地理信息应用,提升服务能力。尽管在机制的建立过程中遇到了很多困难,但我们锲而不舍,持之以恒,最终实现了浙江省地理信息资源共建共享和开发利用的良好局面。

(一) 成立地理空间信息协调机构,加强政府层面的沟通与协调

2003年1月,经省政府批准,浙江省成立了由省发展和改革委员会、省财政厅、省测绘局等15个部门组成的省地理空间信息协调委员会及其办公室,浙江省测绘与地理信息局负责办公室的日常工作,随后,全省所有设区市也先后成立了相应的协调机构。目前省地理空间信息协调委员会成员单位已扩大到25个部门。省、市地理空间信息协调机构都明确了工作职责、目标任务和工作方式,制定年度和阶段工作目标与计划,定期召开会议,研究协调推进本地区地理空间

信息共享和开发利用工作中的重大问题。在组织制定地理空间信息基础设施建设和基础测绘规划计划以及政策法规与技术标准,协调跨部门、跨地区的地理信息资源共享,组织重大地理空间信息基础设施建设项目论证,推进基础测绘成果的开发利用等方面发挥了重要作用。

(二) 通过与政府有关部门签订协议,建立地理信息资源共建共享机制

在工作中,从测绘部门的机构规格、地位和政府有关部门对测绘工作作用的认识水平的实际出发,根据政府有关部门的需求和测绘部门自身的优势,采取签订共建共享协议的方式开展地理信息资源共建共享机制建设。从2003年至今,浙江省测绘与地理信息局已先后与省民政厅、水利厅、交通厅、国土资源厅、林业厅等17个省级部门,全部设区市测绘与地理信息管理部门,周边省、直辖市测绘管理部门签订了地理信息资源共建共享协议,并在协议框架内开展了有效合作,初步建立了地理信息资源共建共享机制。通过这个机制,提高了基础地理信息资源共建共享的程度和应用的广度和深度,较好地避免了公共财政资金的重复投入,同时促进了以“3S”为代表的测绘新技术在各行各业的应用,受到了各个方面的普遍欢迎。另外,浙江省测绘与地理信息局还与上海市、江苏省测绘与地理信息管理部门一起建立了沪苏浙地理信息资源共建共享联席会议制度,共同协调和推进长三角地区地理信息资源共建共享、开发利用和一体化建设工作。与南京军区司令部作战部、浙江省军区司令部签订了军民融合测绘资源共享的协议。

(三) 无偿提供基础测绘成果,主动提供地理信息服务

2007年,浙江省测绘与地理信息局给省级有关部门,各市、县人民政府发函,主动告知依法无偿提供基础测绘成果的有关规定。在基础测绘成果提供中,严格执行无偿提供的规定,让“利”不“惜售”。2008年浙江省测绘资料档案馆向社会提供的地形图及其数字化产品比上年增长了50%以上,基础地理信息数据比上年增长一倍以上,但收入只增长5%。通过无偿向政府有关部门提供基础地理信息及测绘技术支持,较好地解决了各专业部门重复采集基础地理信息的问题,特别在省一级,这个问题基本得到了解决,节约了大量的公共财政资金。2011年开始,浙江省测绘与地理信息局还取消了无偿提供基础测绘成果的工本费。

为了抓好服务,浙江省测绘与地理信息局着力转变观念,把为经济社会发展提供保障服务作为测绘工作的出发点和落脚点,把能否主动有效地为经济社会发展提供及时、可靠、适用的测绘保障当作提升测绘的价值和作用的关键所在。

在全国较早建成全省基础测绘成果目录网上发布系统并定期更新、发布基础测绘成果信息。树立主动服务意识,变等客上门的测绘成果分发服务为主动送服务上门,以良好的服务,赢得其他部门的理解、信任和支持,推进地理信息资源共享。

(四) 通过开展项目合作,推进共建共享

浙江省测绘与地理信息局根据与有关部门达成的协议,在主动提供基础测绘成果的同时,还认真研究政府部门的需求,利用丰富的基础地理信息资源组织生产适宜的地理信息产品,开展项目共建,以共建促共享。

测绘与地理信息部门具有地理信息资源丰富、地理信息技术力量强、对应用领域和前景了解全面的优势。对需要地理信息数据和技术上门“求援”的部门,我们尽力“帮”;对地理信息数据和技术有潜在需求的部门,我们登门宣传主动“帮”。在“帮”中开展项目合作,在“帮”中增进感情和理解,在“帮”中推进共建共享。例如,这次全国水利设施普查,浙江省测绘与地理信息局无偿提供全省基础地理信息数据,并承担了全省水利普查数据的处理。项目完成后省水利厅将所有普查中形成的水利设施地理信息数据无偿向浙江省测绘与地理信息局汇交。

三、加强统筹协调,集成整合资源,实行交换共享

通过签订协议推进共建共享较好地防止了基础地理信息的重复测绘,基础平台的重复建设,但这种共建共享总体上还是测绘与地理信息部门为其他部门的单方面服务,协议、契约层面的共建共享还是低层次的,在起步阶段取得了较好的效果。随着工作的深入,各部门所拥有的专题地理信息数据收集难、数据标准不统一,数据利用难、部门间信息数据难以相互共享的问题逐步显现出来,地理信息资源共享深入推进遇到瓶颈和困难。2006年,浙江省测绘与地理信息局与浙江省发展和改革委员会合作建设“省空间规划布局和重大项目辅助决策系统”和“省主体功能区规划编制空间信息服务平台”项目,项目建设除了需要丰富现势的基础地理信息外,还需要大量的由政府其他相关部门掌握的与地理空间位置有关的专题地理信息。在收集专题地理信息过程中,相关部门也反映他们在规划决策管理和专题地理信息系统建设中,除了基础地理信息同样需要大量其他的专题地理信息。但这些地理信息分布散、现势性差、非标准,给应用带来极大的困难,增加了财政投入。我们从中得到启示,作为测绘与地理信息管理部门除了组织实施好基础测绘工作,拥有丰富的基础地理信息外,还必须履行起统筹协调好社会和其他部门的测绘与地理信息工作,集成、整合全社会与地

理空间位置有关的信息数据的职责,提升地理信息公共服务能力。为此,我们着重做了以下方面的工作。

(一) 制订共建共享法规和标准,进一步完善共建共享机制

要深化地理信息资源的共建共享,把地理信息资源共建共享和开发利用工作扩大到所有政府有关部门和相关领域,需要通过立法来保证。2007年,浙江省测绘与地理信息局在大量调查研究和充分准备的基础上,向省政府建议进行地理信息共享立法工作。2008年列入省政府立法计划。2010年,省政府在全国率先出台了《浙江省地理空间数据交换和共享管理办法》,使我省地理信息资源共建共享和开发利用工作有法可依,有章可循。《浙江省地理空间数据交换和共享管理办法》对全省与地理空间位置有关的、经济社会发展需要的地理信息数据的分工采集、更新、交换、集成、整合、共享等作出了法律规定,明确了地方各级政府、政府各有关部门、有关单位的职责和义务,还附了交换和共享目录,明确了各省级部门应当向测绘与地理信息管理部门提交的各大类专题地理信息数据,从法律法规层面规范地理空间数据的交换共享工作,推进地理信息资源共建共享机制建设的深化和完善。

为了促进地理信息交换共享顺利开展,解决各部门形成的地理信息数据标准不相一致的问题,浙江省测绘与地理信息局从2008年开始,尝试与有关部门共同编制地理信息共享或交换标准,便于在数据交换和使用中实现快速识别、检索,提高数据交换与整合的效率。目前,已经与省民政厅、省水利厅、省电力公司等有关部门共同编制了数据共享或交换标准。

(二) 建设省地理空间数据交换和共享平台,推进共建共享

为了深化地理信息资源共建共享工作,将政府有关部门(包括社会有关方面)与地理空间位置有关的信息数据进行有效集成和整合,需要有一个好的载体。为此,在进行交换共享立法的同时,浙江省测绘与地理信息局向省政府建议立项建设浙江省地理空间数据交换和共享平台(以下称共享平台),于2008年底启动了共享平台的建设,建设资金6330万元。共享平台建设的目标是通过计算机网络系统将所有与地理空间位置有关的、经济社会发展所需的信息资源进行跨部门交换,并按统一标准对信息数据进行处理、集成、整合和有效管理,为政府部门、企事业单位、社会公众提供地理空间及其相关信息一站式在线访问和服务,提高全省地理空间信息资源共建共享的效率,真正实现全省地理信息的高度共享和深度开发利用。该项目经过3年多的努力,已于2011年底建成,2012年上线运行。

（三）发挥共享平台作用，集成、整合全省与地理空间位置有关的、经济社会发展所需要的信息资源

目前，共享平台已整合了来自国土、交通、水利、卫生、海洋、工商等 36 个省级部门和单位的 900 多类专题数据。《浙江省地理空间数据交换和共享管理办法》中明确要求参与交换和共享工作的省级部门和单位均已汇交了相关数据，其中有的省级部门和单位已汇交了全部数据和更新后的数据，有的省级部门和单位还在不断完善数据内容过程中。另外，不在《浙江省地理空间数据交换和共享管理办法》要求范围内的其他单位也积极关注和重视平台建设工作，汇交了本部门掌握的与地理空间位置相关的数据，丰富了平台数据内容。省财政厅、中国银行业监督管理委员会浙江监管局也加入了共享队伍，近期省人力资源和社会保障厅、浙江省农业和农村工作办公室也在联系加入中，平台的信息资源越来越丰富。

四、拓展发展空间，提高应用服务能力

交换共享工作开展和共享平台的运行，推动了共建共享机制又向前迈出了一大步，在新的机制中，政府各职能部门和相关单位主动参与信息交换，分享共享带来的便捷和好处，形成了地理信息交换共享和开发应用的良性互动格局，极大地提高了地理信息应用服务能力。

（一）共享机制进一步完善

随着交换共享机制的建立，省地理空间信息协调委员会（以下简称空调委）成员单位由过去的 15 个增加到 25 个。空调委定期召开会议，各成员单位积极参加；协调跨部门、跨地区的地理信息资源的交换和共享工作中遇到的问题；定期出版刊物，介绍交流各成员单位地理信息交换共享和应用工作的做法和经验。空调委在推进地理信息共建共享工作中作用越来越明显。空调委不“空调”了。

在与部门交换共享实践中，浙江省测绘与地理信息局积极探索地理信息分工采集的机制。例如，与省电力公司共同编制了输变电设施数据采集和交换的技术规程，由浙江省测绘与地理信息局提供基础地理信息，省电力公司负责全省输变电设施空间信息数据采集和更新，这些数据可直接用于基础测绘生产和更新。

（二）扩大了应用服务范围，提升了应用服务能力

共享平台建成运行以来，已为省发展和改革委员会、省财政厅、省国土厅、省

水利厅、省政府应急管理办公室、省公安厅、省港航局、省海洋局、省林业厅、省政府信息中心、省机构编制委员会等 10 多家省级部门和单位提供个性化、针对性的应用技术支持服务,辅助开展依托平台的专题业务系统研发,提供技术支持。省统计局、省地震局、省农业厅也主动联系浙江省测绘与地理信息局,准备依托平台开发部门职责所需的地理信息应用系统。此外,已完成“数字城市”地理空间框架建设的市、县也将地理信息公共服务平台接入了省级共享平台,实现了省、市、县互联互通。

“天地图”浙江省级节点采取与共享平台同步建设的办法,作为共享平台的公众版,实现地理信息数据标准、服务接口统一,投入少,时间短。同时,将共享平台的专题数据整合成可公开发布的数据,进一步丰富了“天地图”在线服务数据资源。“天地图”浙江省级节点内容更加丰富,数据更加鲜活。

(三) 提升了统筹协调能力

通过交换共享的新机制,各部门主动依法向测绘与地理信息管理部门汇交本部门掌握的地理信息数据,测绘与地理信息管理部门对海量专题地理信息数据按统一标准进行集成、整合,可以利用各部门的专题数据开展基础测绘日常更新,又可以与专业部门联合协作,给专题信息获取、更新提供指导和帮助,对部门之间相同的专题数据的不一致性进行协调。测绘与地理信息管理部门的统筹协调能力在地理国情监测工作中的标准制定、项目合作、数据统计分析与公布采用中得到充分的发挥。

2011 年,浙江省被列为国家测绘地理信息局地理国情监测试点省份。地理国情监测的对象是地理要素,这些地理要素大部分都有相对应的业务主管部门。地理国情监测对象的定义(内涵)、边界(外延),监测办法、标准的确定都应当得到相应业务主管部门的配合。在这次试点中,大陆海岸线与滩涂变化、河流水域面积、城市建成区面积、湿地面积、地面沉降、森林覆盖率等方面的量算和监测、项目合作、数据统计分析和公布应用等方面得到了这些部门的大力支持。测绘与地理信息管理部门的统筹协调能力得到提升。

(四) 提升了测绘与地理信息管理部门的地位

共享平台的建成,实现了一张图、一个网(站)、一个平台,为各个部门提供“一站式”地理信息服务。这些部门在和测绘与地理信息管理部门合作中慢慢认识到他们的业务工作离不开地理信息及其技术,越来越愿意和测绘与地理信息管理部门展开合作。测绘与地理信息管理部门在地理信息共享中的核心地位和统筹协调作用得到充分展现。浙江省发展和改革委员会要求在“十二五”规

划编制中,凡涉及空间布局的规划都要采用地理信息及其技术编制。财政、审计等综合部门也与我们商谈合作,请我们利用共享平台帮助他们建设管理所需的信息系统。可以说,在信息时代,测绘与地理信息管理部门真正成了不可或缺、离不开、少不了、不可小看的部门。

(五) 拓展了测绘与地理信息管理部门的工作职能和发展空间

随着地理信息在国防和经济社会发展中的广泛应用,浙江省测绘与地理信息局在全省地理空间信息领域的管理、引领和核心作用得到了普遍的认同,测绘与地理信息工作在经济社会发展中的作用日益凸显,在政府层面的影响日益扩大。在本轮机构改革中,在省委、省政府高度重视下,浙江省测绘与地理信息局增强了职能,如负责全省地理空间数据交换和共享工作、组织和管理海洋测绘工作、地理信息获取与开发应用等活动的监督管理、地理信息产业发展的规划和政策制定、地理信息资源共建共享工作的统筹协调、地理国情信息的变化监测和统计分析等职责。随着交换共享机制有效建立和地理国情监测工作的深入开展,测绘与地理信息管理部门从过去单一提供基础地理信息服务向地理信息综合服务转变,不仅可以为经济社会的科学发展和信息化建设提供更加良好的服务,与政府有关部门、社会有关方面的关系也将更加紧密,测绘工作的发展空间必将得到进一步拓展,测绘与地理信息在国家经济社会发展总格局中的应有地位也将随之确立和巩固。



陈建国 1956年出生,研究生学历,现任浙江省测绘与地理信息局局长、党委书记。长期从事测绘与地理信息技术和行政管理工作。主持起草了《中华人民共和国基础测绘条例》、《浙江省测绘管理条例》、《浙江省基础测绘管理办法》、《浙江省地理空间数据交换和共享管理办法》等法规规章。主持了《浙江省信息化测绘体系建设发展战略研究》、《浙江省测绘发展方式转变、测绘服务转型升级》等软课题研究,并形成研究报告和相关政策。先后在《中国测绘报》、《中国测绘》、《信息化建设》、《测绘蓝皮书》等报刊上发表多篇研究论文。

可持续发展的地理信息服务:重庆的实践与思考

张 远

重庆市规划局

一、引言

进入 21 世纪,可持续发展已成为人类对推进经济社会发展的共识,我国也高度重视可持续发展,作为国民经济和社会发展重要支撑的测绘地理信息行业,也在积极探索如何实现可持续发展的地理信息服务。可持续发展的地理信息服务,不仅要追求当前的经济社会效益,更要强调的是长远效益。可持续发展的地理信息服务要同时兼顾当前和未来的发展需要,必须兼顾当前的“可实施性”与未来的“可持续性”。随着全球定位系统、地理信息系统、遥感等空间信息科学的发展与计算机科学技术的进步,地理信息已经从原来的技术系统提升为一门科学,随着地理信息的广泛应用,地理信息服务为国民经济建设和社会发展提供了重要的保障和支撑。本文拟结合重庆的实际就可持续地理信息服务概念的提出、主要内容以及发展趋势进行阐述,希望能够为我国地理信息服务工作提供有益的参考。

二、概述

(一) 地理信息服务发展历程

多年来,我们一直致力于地理信息服务领域的研究和探索,对如何实现可持续发展的地理信息服务做了一些有益的尝试。认真总结重庆的实践经验,地理信息服务发展一共经历了四个发展阶段。第一阶段是地图数字化阶段(1995—1997),以重庆市勘测院等单位为代表的基础地理信息生产单位,启动了传统纸质地图的计算机数字化工程,数字化图件成果以文件形式存储、管理,并主要提供工程应用。第二阶段则是基础地理信息建库与应用阶段(1997—2000),这个阶段以重庆城市基础地理信息系统建设成功为标志,该项目系统地建设了城市基础地理信息数据库,地理信息的管理由传统的文件系统方式提升为数据库方式管理,基于数据库的各种应用也慢慢开始发展。第三阶段是专题地理信息系统建设阶段(2000—2006),基于前两个阶段取得的成果,重庆地理信息工作者开

始积极主动地配合各政府部门需求,建立了一大批专题地理信息应用系统,通过每年坚持不懈的普及宣传,并通过签订双方合作协议,实现了许多部门地理信息的“共建共享”。第四个阶段(2006年至今)地理信息服务全面发展的阶段。随着共享需求的牵引和技术的快速发展,我们改变了过去点对点地理信息服务模式,建设并在全市开通了重庆市地理信息公共服务平台,实现了基于网络在线方式的地理信息服务,由专门的技术机构重庆市地理信息中心负责平台的建设、管理、维护等各项技术工作,该平台提供了面向专业应用、政务管理以及公众服务的全方位地理信息服务。

(二) 地理信息服务的科学技术体系

地理信息服务,就是在地理信息科学理论的指导下,综合利用地理信息资源和地理信息相关技术,为政府、企业、社会公众提供的各种服务。地理信息成为一门科学,是以地理信息系统技术发展和地理信息服务拓展为基础的。地理信息科学的发展为地理信息技术的进步提供了理论指导,地理信息技术的进步为解决复杂的地理信息科学问题提供了研究工具和技术手段,同时也促进了地理信息服务能力的提升,加快了地理信息产业的发展。早期的地理信息服务主要包括地理信息数据服务和地理信息技术服务,后续的地理信息服务,也包含了地理信息知识服务。地理信息工作者要不断思考完善地理信息服务,实现地理信息增值,促进地理信息产业发展的方式方法,使地理信息不仅成为解决地理问题的必备工具,还成为服务地区经济社会发展的重要支撑。

(三) 地理信息服务的科学技术体系

可持续的地理信息服务,就是在地理信息科学的理论指导和地理信息技术的支撑下,不断螺旋式上升发展的地理信息服务。可持续的地理信息服务,就是研究用户需求,组织好地理信息,并将有价值的地理信息传递给用户,最终帮助用户解决与地理相关问题的过程。可持续的地理信息服务实际上是传播地理信息,交流地理信息,实现地理信息增值的一次可持续活动,是地理信息与不同的学科、行业融合,产生新信息的过程和结果。可持续地理信息服务建设主要包括六方面内容:数据资源、标准规范、技术体系、硬件网络、应用模式、保障体系。

三、重庆市的实践

(一) 标准先行,陆续制定各类专项标准规范

标准规范可以提高地理信息管理的效率,完善地理信息服务的方法,规范地

理信息共享的秩序,是地理信息科学技术转化为经济社会效益的前提。从20世纪90年代开始,重庆市的各家测绘生产单位就积极主持或参与国家、行业标准的编制,曾参编了《城市基础地理信息系统技术规范》、《卫星定位城市测量规范》、《城市测量规范》、《环境基础空间数据加工处理技术规范》、《城市遥感信息应用技术规范》等。随着地理信息服务的推广,我们牵头开展地方标准规范研究的迫切性越来越强烈,2008年编制并颁布了重庆市首部地方标准《重庆市基础地理信息电子数据标准》(DB50/T286—2008),奠定了重庆市测绘与地理信息共享的基础。它结合重庆山城特点,统一了大、中、小比例尺地图要素的名称、分类、编码等属性,完全能够满足重庆市大、中、小比例尺基础地理信息数据采集、建库、数据交换及应用等方面的需求。2010年又颁布实施了《重庆市地理空间信息内容及要素代码标准》(DB50/T351—2010),满足不同行业、不同尺度的地理空间信息数据集、建库、共享、应用的实际需求。2011年又颁布实施了《城市三维建模技术规范》(DB50/393—2011)。目前正在开展《重庆市城市建设用地现状遥感解译准则》研究,将成为城市建设用地现状解译与评估的技术指南。通过建立完备的标准规范体系,从源头保证了地理信息服务的可持续性。

(二) 持续更新,有效建立动态更新的数据资源体系

经过十余年的发展建设,重庆市从单纯的测绘成果产品发展衍生到构建了一套满足地理信息服务需求的数据资源体系,包括4D数据产品,涵盖了1:250 000、1:50 000、1:10 000、1:2000以及1:500多种比例尺地表数据,以及地下管网、地质岩土、地下空间利用等地表以下的地理空间信息;公共地理框架数据,包括经典地图、影像地图、地貌地图、三维地图等多种表现形式;专题地图,包括通过地址匹配等技术手段建设的教育、医疗、水利、交通、环保等行业的具有空间位置的专题数据信息;在公众服务逐步普及之后,各类社会服务地理数据也逐步扩展,包含POI点、导航路网等公众服务数据体系也迅速丰富起来。

鲜活的数据资源体系是地理信息服务长效生命力的保障,重庆在管理体制和技术体系上充分考虑了动态更新的需要,建立了完整的配套机制。为保障数据资源更新的来源,主要从三个方面进行完善。一是体制上的完善保障,建立了测绘地理信息、城乡规划管理二位一体的管理模式。我们从行政管理的角度,结合规划管理工作中发现的地理信息动态变化,及时调动测绘地理信息技术单位跟进,及时采集和变更地理信息数据资源。二是在机制上创新。在基础测绘成果方面,将测绘质检、档案管理、平台建设三个职能一体化。从机构设置上将测绘产品质量监督检查站和测绘成果档案馆加挂在重庆市地理信息中心基础上,创新建立了质检代为向测绘档案馆归档的机制,实现了全市基础测绘与地理信

息成果的统一归档。利用这种模式,每年仅 1:500 地形图更新可达 300 km²。在公共地理框架数据方面,成立了专业地理调查机构,负责专项地理信息的调查与采集。三是建立数据资源的可持续更新的技术体系,通过航天航空遥感、专项地理调查、互联网监测、数据库级联更新等技术建立了有效的动态更新技术保障体系,同时搭建了专业地理调查人员、地理爱好者发现地理信息、提供地理信息、使用地理信息的技术平台和工作模式,全方位确保地理信息数据资源体系的持续动态更新。

(三) 整合资源,高效建设硬件网络保障体系

在重庆市地理信息服务的整体架构中,硬件和网络保障建设是建设中的重要组成部分,我们基于服务器集群技术建设了数据中心,实现了 PB 级海量数据存储能力和高速计算能力,并通过局域网、电子政务网、Internet 网分别向专业部门、政府部门以及社会公众提供高效的在线地理信息服务。随着用户的不断增加,对于支撑服务的硬件、网络环境的要求逐步扩展,提升海量地理信息数据运算服务能力、网络带宽能力成为必然工作。通过沟通协调,市政府办公厅将地理信息服务纳入政府公共服务的内容之一,市政府办公厅在硬件资源建设上,充分考虑和预留了地理信息服务的需求。通过整合资源,我们设置了双节点地理信息分发服务中心,充分利用市政府办公厅完善的硬件网络体系,结合测绘行政主管部门数据中心机房建设,搭建了重庆市地理信息公共服务平台的双节点镜像备份,有效增强了平台容灾和负载均衡的能力,大大提高了地理信息服务的可靠性、稳定性以及高效性。

(四) 创新科技,持续完善地理信息服务平台建设

在多年的工作中,我们积极响应应用需求,跟踪技术发展,不断进行地理信息服务科技创新。在传统测绘向数字化测绘转变的阶段历程中,我们率先开展数字化体系技术研究,完善建立了重庆城市基础地理信息系统;随着空间数据库技术的逐步发展,重庆率先尝试开展了地理信息要素化建库、符号化显示的技术模式,搭建完善了基础地理信息平台。2007 年起,重庆为全面实现基于平台的地理信息服务,首次引入地理信息服务总线、多源多级服务聚合、地理编码与匹配、分布式信息共享交换等技术建设了重庆市地理信息公共服务平台,构建了在线、准在线和离线等多种服务模式,实现了“横向到部门,纵向到区县”的分布式地理信息网络服务体系。随着应用的深入,我们又引入三维规则快速建模新技术,尝试将二、三维数据资源一体化管理,提供在空间维度、时间维度和属性维度上的“新三维地理信息服务体系”。

(五) 创新服务,积极探索地理信息服务新模式

重庆市地理信息服务的应用模式从最开始的被动式应用,迅速发展到来后的主动引导式应用,并朝着需求驱动应用的方向逐步发展。在被动式应用阶段,一般由行政主管部门根据年度国民经济与社会发展的需要,制定年度测绘产品的生产和应用计划,缺乏适应市场变化的灵活性,难以满足产业发展的需要。到了主动引导应用阶段,根据实践经验和用户需要,可灵活地生产多种类型的数据产品,提供多种层级的信息内容,实现多种形式的服务方式。比如,地理信息公共服务平台以集中式地理框架数据和分布式专题数据为基础,以电子地图与接口服务为表现形式,以统一的基础网络为依托,构建了“集中+分布”式的网络服务平台,实现了在线、准在线和离线等多种应用服务模式,能满足不同层次的业务需求,用户可以方便地利用平台提供的各类数据服务和功能服务快速搭建专业应用系统,也可以将自己的专题数据资源与业务模型发布注册到平台中供其他用户共享使用。应用服务的模式始终坚持让用户能够完全用起来的目标进行。随着云计算的逐步发展,下一步将进入“按需应用”的阶段。届时,地理信息资源、硬件网络、技术体系等都将获得飞速进步,地理信息应用的载体和方式也会更加丰富,将实现地理信息可持续服务的重大变革。

(六) 创新管理,优化建立地理信息服务保障体系

可持续发展的地理信息服务需要完善的保障体系来支撑,包括政策机制保障、组织机构保障、经费保障三个方面。

自20世纪90年代以来,重庆先后编制了《重庆信息港建设规划》(1999—2010)、《数字重庆地理信息系统发展纲要》(2001—2005)、《重庆市测绘事业发展暨地理空间信息基础设施建设第十一个五年专项规划》(2006—2010)、《重庆市测绘事业发展暨地理空间信息基础设施建设第十二个五年规划》(2011—2015)等多个发展规划。2010年,为了保障重庆市地理信息公共服务平台有效运行,我们制定了《重庆市地理信息公共服务管理办法》(渝府令〔2011〕248号),为地理信息可持续发展提供了良好的政策机制环境。

重庆在多年的实践中,逐步建立起完整的组织机构保障体系,由原来单一的测绘单位技术支撑逐步演变为“生产—服务—应用”完整的产业链。产业链分上游、中游和下游,上游以测绘生产业为主,中游以地理信息管理与公共服务业为主,下游以地理信息增值服务业为主,各个环节都有相应的企事业单位作为技术保障,相互衔接,相互贯通,共同促进了重庆市地理信息产业的健康发展。同时,为从组织机构上保障地理信息服务的可持续性,专门成立了专业机构负责地

理信息的应用服务,并设立了专门的部门开展地理信息调查与更新工作。

经费保障是一个项目长久运行的关键。在地理信息公共服务平台建设之初,就将平台定位为重庆市地理信息基础设施建设项目之一,并是一个长效运行的平台。在经费预算上,不单纯按照项目建设投入的模式进行预算和实施。首先在发展规划中明确经费预算和来源渠道;其次确定了由市级财政每年统一投入经费对重庆市地理信息公共服务平台进行动态维护的模式,政府部门、社会大众使用平台不分担单独的费用,市级财政每年保障投入,随着用户部门的增加,需求的扩展,我市的平台维护经费也随着建设、服务内容的扩展而进行提升。

四、展望

(一) 地理信息服务的新目标

随着信息技术的提升,地理信息资源的获取能力全面加强,移动网络的完善和终端设备的普及也促进了地理信息应用的领域拓展,地理信息服务必将朝4A目标发展,即让任何人(anybody)在任何时间(anytime)与任何地点(anywhere)均可以获取其感兴趣的任何目标(anything)的地理信息服务。地理信息服务的对象将覆盖政府管理的所有领域,以及各行业企业与广大公众,最终人人都能够便捷地使用地理信息;无论是工作、学习和生活,还是在发展我们个人的兴趣爱好方面开展各种专题研究,人们都能够得到有效的地理信息服务;无线网络的普及也使得我们在任何地方都能够享受到地理信息服务带来的便捷,不管我们处于空间位置中的任何一处,都能够使用到地理信息服务,包括我们想使用地球上任何一个空间位置的地理信息,都能够跨越空间距离获取相关服务;除了传统意义的空间位置的服务外,还能够使用到负载到空间位置上的属性信息的服务,使用到任务我们感兴趣的内容服务。

(二) 地理信息服务的新特色

一是应用大众化。地理信息系统的使用,由于软件功能专业,使用模式复杂,原来的应用对象多为专业技术人员,随着技术手段的提升和需求的广泛,现代的地理信息服务越来越多地被社会大众所需求,应用更加广泛。

二是服务泛在化。手机、平板电脑等移动终端设备的技术变革,无线网络的覆盖广泛、网络使用的成本降低,使得人们在各类终端载体上使用地图服务的需求越来越广泛,地理信息服务也需要满足人们在任意地方的地理信息服务需求。

三是更新实时化。在信息大爆炸的时代,人们对于信息的分类和细致度要求更加强烈,同时城市建设力度的加大,造就了地理信息内容的变化频率加大,

信息的更新严重影响到了大众使用地理信息服务的质量。例如,人们在交通出行中,除了需要掌握道路的情况之外,还要关注实时的交通管制情况,同时还需要了解和掌握实时的交通流量的情况,便于更加方便地为自己的出行提供决策参考的依据。

四是内容集成化。在日常生活的应用中,地理信息已经逐渐成为便民应用的一项工具,但是要提供更好更全面的服务,必须能够提供更加全面的整合信息。我们要了解周边电影院的分布情况,但重要的是要了解影院电影的场次情况、订票情况,要了解周边美食的分布情况,但更加急切的是想了解每家美食的特点和客户对它的评价情况。因此,类似大众点评网、时光网等一系列的内容集成之上的开发应用,有了广泛的前景,终将让我们的地理信息服务成为人们生产、生活的“必需品”。

(二) 地理云发展

云计算与地理信息的结合将有助于实现地理信息服务的转型,在后续的建设中,需要重点考虑四方面的建设内容。一是基础设施层(Geo-IAAS),提供中央处理器(central processing unit, CPU)、网络、存储等基础硬件的云服务,这是整个地理云运行的基础。二是数据服务层(Geo-DAAS),实现海量地理空间信息的高效存取、安全控制与更新维护。三是平台服务层(Geo-PAAS),向终端用户提供丰富多样的地理信息服务。四是应用层(Geo-SAAS),面向各行业提供用户云软件系统应用。

对于地理云的建设,需要分为三个阶段。第一阶段是基础云阶段,即基于虚拟化技术,对现有设备资源(存储设备、计算设备)进行全面整合、统一调配,进而提高资源利用率和资源统一管理维护的能力。第二阶段是平台云阶段,即基于成熟的商用GIS云中间件,搭建重庆市地理信息云平台,向政府部门和社会公众提供地图数据、地理分析、地理知识挖掘等地理信息云平台服务。第三阶段是应用云阶段,即基于地理信息云平台,构建面向行业的云应用示范系统,为相关行业提供地理信息云软件服务。

展望未来,地理信息的服务必将深入到方方面面,成为社会大众生活和工作中的的一部分,通过搭建地理云,能让每个人都能享受到地理信息服务带来的便利和快捷,让地理信息服务融入我们日常的生活和工作中。



张远 重庆市规划局总规划师。曾组织了大量测绘地理信息项目的策划、实施,1993年组织完成重庆市GPS控制网建设并获得建设部科技进步奖二等奖、重庆市科技进步奖一等奖,1999年组织完成重庆市基础地理信息系统建设并获得重庆市科技进步奖二等奖;2001年组织编写《数字重庆地理信息系统建设发展纲要》,2006年、2011年组织编写《重庆市基础测绘暨地理空间信息基础设施第十一个五年规划》、《重庆市基础测绘暨地理空间信息基础设施第

十二个五年规划》,三次测绘地理信息方面的专项规划并均由市政府颁布实施;2006年联合湖北测绘局和国家测绘局建设《三峡库区综合地理空间信息平台》服务重点工程,项目获得国家测绘局中国测绘学会科技进步奖一等奖和重庆市科技进步奖二等奖。

煤航地理信息产业的新技术、新应用

张文若

中国煤炭地质总局航测遥感局

一、煤航地理信息产业技术和应用发展概况

中国煤炭地质总局航测遥感局(以下简称煤航),是国务院国有资产监督管理委员会所属的中央二级企业,主要从事遥感技术应用、航空摄影、数字测绘、地理信息系统研建、地下管网探测、GPS 应用服务等,建有陕西省地理空间信息工程技术研究中心和企业博士后科研工作站。已取得专利 29 项,计算机软件著作权 141 项。

煤航从成立至今,坚持技术引进与自主开发相结合,开发出了一系列代表性的地理信息技术,广泛应用于国民经济的多个领域。

(一) 资源遥感勘查技术

煤航作为国内成立最早的三家遥感单位之一,从 20 世纪 80 年代开始,一直致力于资源遥感调查研究,在云南、新疆、内蒙古、安徽、青海、西藏等地区做了大量的煤炭资源遥感勘查工作,提交煤炭资源量超过 30 亿 t,取得了良好的效果,编制了我国煤炭行业标准《1:5000—1:50 000 遥感煤田地质填图技术规程》,现已广泛应用于。

(二) 灾害遥感调查与监测技术

20 世纪 90 年代,煤航承揽实施了欧洲共同体、中国科技部共同资助的“中国北方煤田自燃环境监测”,为煤火范围的确定与动态监测提供了技术支撑,为灭火工程的部署提供了科学依据,1999 年获得国家科技进步奖三等奖和煤炭工业部一等奖;2003 - 2005 年,又组织实施了德国政府、中国科技部共同资助的“中国北方煤火探测、监测新技术研究”项目,利用成像光谱仪高光谱遥感技术在煤火定量监测方面取得了突破,成功反演了煤火温度等值线图,获得了 2007 年中国煤炭工业协会科学技术奖一等奖。

1998 年,长江特大洪水中,利用探地雷达技术探测大堤软土层,为管涌的排

查和防洪起到了指导作用。

(三) 遥感考古技术

遥感技术具有快速、视野开阔、信息丰富等特点,因而在考古学中得到了广泛应用。利用遥感探测技术,结合多数据融合方法,可对文物地面遗存开展调查,寻找考古空白点的地下浅表层文物的遗迹及其远景区,圈定后续考古重点目标区。

煤航从 20 世纪 80 年代开始利用遥感技术在陕西进行考古研究,先后在昭陵、秦始皇陵、丰镐等地区进行文物遗存的探测,取得了很好的效果。

2003 年承担的国家“863 计划”——考古遥感与地球物理探测技术,在秦始皇陵区进行了高光谱遥感考古信息提取处理研究、航空全色、航空彩红外遥感考古研究,并对各种遥感考古方法有效性进行了分析评价,成果获陕西省政府 2004 年科学技术进步奖二等奖。

(四) 数码航摄技术

作为国内最早引进数码航摄相机的单位之一,煤航近年来先后引进了 DMC、UCX、ADS80 等数码相机,在国家基础航摄、铁路、公路、城市建设、水利等行业得到了广泛的应用,形成了具有煤航特色的数码航摄技术。

(五) 大比例尺精密测绘技术

作为国内测绘行业最早走出国门、承揽国际测绘工程项目的企业,煤航历经多年的生产实践,在国内率先形成了 1:10 000—1:500 大比例尺测绘技术。香港西铁航测工程创造的 1:500 比例尺、0.25 m 等高距精密测绘技术获 1999 年中国企业新记录。郑州市地籍测量工程被原国家土地管理局评为样板工程,在全国推广。

(六) 地理信息系统

地理信息系统专业是煤航根据技术发展趋势与市场需求于 2000 年从测绘专业分离出去、新设立的专业。近年来在煤炭、石油、水利等领域承揽实施了大量工程项目,取得了很好的效果。例如,塔里木河流域水量调度决策支持系统是世界银行贷款支持的我国当时最大的水利信息化项目,由煤航牵头,联合清华大学、中国科学院等单位进行建设,为塔里木河流域的治理提供了技术支撑。

(七) 地下管网探测

地下管网探测也是煤航根据技术发展趋势与市场需求于 2000 年从测绘专

业分离出去、新设立的专业。近年来得到了飞速发展,先后完成了乌鲁木齐、济南、西安等国内多个大中城市的综合管网普查及系统建设工程;为中原油田、河南油田等提供了大型长输管线的探测服务。

二、煤航地理信息产业新技术、新应用

地理信息产业,作为七大战略性新兴产业之一的新一代信息产业的重要组成部分,近年来得到了飞速发展,2006年以来年均增长速度超过25%,形成了一批具有一定市场竞争能力和社会认可度较高的地理信息企业。地理信息应用和服务延伸到了社会大众衣食住行的各个方面。但也存在一些问题,如技术创新不足。我国地理信息技术发展一直处于引进、跟踪和追赶状态,如高分辨率卫星遥感数据、数码摄像机、高端测量仪器、大型地理信息系统等方面均以引进为主,缺乏一些自主核心和关键技术,从而导致地理信息企业同质化现象较为明显,大多以承揽传统测绘工程为主、缺乏自主创新产品,缺乏具有专、精、特能力的企业。

煤航近年来坚持实施“科技强局”战略,不断加大科技投入,不断开发出满足不同行业需求的新技术、新产品,不断深化地理信息技术在相关领域的应用。

(一) 金属矿产遥感勘查

近年来,煤航紧跟遥感技术由定性向定量方向发展趋势,将高空间分辨率、高光谱分辨率遥感技术引入金属矿产遥感勘查,取得了很好的效果,以现代成矿理论为指导,形成了一套相对成熟的技术方法体系;综合利用高空间分辨率、多(高)光谱、雷达等遥感技术,在典型岩石矿物波谱测试的基础上,进行遥感地质解译、编制矿产地质遥感解译图;利用多(高)光谱遥感数据,提取以羟基(氢氧根离子)、 CO_3^{2-} (碳酸根离子)为主的基团异常、 Fe^{2+} (二价铁)、 Fe^{3+} (三价铁)等变价元素异常、 SiO_2 (二氧化硅)异常等与成矿有关的蚀变信息;开展遥感异常的筛选和圈定,并进行分类与分级,编制遥感异常图与岩(蚀变)矿物分布图。在区域地、物、化、遥数据综合分析基础上,初步确定成矿有利地段;开展野外调查、验证和适量的工程验证工作,圈定遥感找矿靶区,编制遥感找矿预测图,为后续矿产资源勘查提供一批找矿远景区和找矿靶区。

在新疆、青海的金属矿产勘查中取得了很好的效果。

(二) 矿山多目标遥感监测

全国矿山众多,仅以煤矿为例,2009年6月底全国矿权核查的结果显示,全国主要煤矿区约共计134个,煤矿总数14842个,年产量大于50万t的有1047

个。如此众多的矿山,它们的开采状态与安全状况,开采带来的土地资源破坏与水土流失、地质灾害、环境污染、水资源破坏与污染一系列问题,长期以来一直是矿山企业、安监部门、地方政府、当地居民密切关心的重大问题,既关系到当地的经济的发展,也关系到各方的经济利益和社会和谐。在少数矿区,越界开采、土地破坏、地面建筑物损坏成为居民与矿主及政府有关职能部门矛盾激化的根源。

利用遥感技术监测资源勘查、开采和矿区环境存在巨大的需求。2009年以来,煤航连续四年利用国外高分辨率卫星遥感图像在河南、陕西、宁夏、新疆等地区开展矿山多目标监测和矿山执法调查。实践证明,这种遥感监测技术是充分可行而实用的,并且已经形成了比较完善的技术体系。

根据多目标不同层次(全区普查、重点区调查与监测、关键区调查与监测等三个层次)的要求,采用多级分辨率卫星遥感数据(全区普查 1:250 000,中等分辨率遥感数据,15 m 左右分辨率;重点区调查与监测 1:50 000,4 m 左右分辨率;关键区调查与监测 1:10 000,1 m 左右分辨率)作为主要调查的信息源,同时配合不同时相遥感数据作对比,监测其变化。

(三) 地震灾害应急响应

利用遥感技术快速、直观的技术特点,在汶川地震、玉树地震等自然灾害发生后,快速反应,编制了灾区灾前、灾后地理变化图,地质灾害分布图,相关成果被及时送往国土资源部、中国地质调查局与相关政府部门,为政府的抗震救灾决策提供了科学依据,中国地质调查局为此发来了感谢信,被陕西省委评为全省抗震救灾先进基层党组织。

(四) 全国矿业权实地核查

2007年,国土资源部明确将全国矿业权实地核查单列,作为我国矿产资源领域基本国情调查重要组成部分。煤航作为主要技术支撑单位,组织编写了《全国矿业权实地核查工作指南与技术要求》,并负责对全国或各省技术人员进行培训,圆满完成了所承担的技术支撑与相关工作内容。2011年底,获得全国矿业权实地核查工作先进集体特别表扬奖,被国土资源部在大会上进行表彰。

(五) Insar 测图技术

INSAR 测图技术,不受气候影响,不需要控制测量,测绘效率高,因此在西部和南方成图困难地区大有用武之地。目前只有美国、加拿大、英国等几个国家掌握了这项大比例尺测图技术。

依托国家“863”计划——高效能航空 SAR 遥感应用系统地形测绘应用示范

课题(2007AA10305),煤航在国内率先开始了基于机载干涉合成孔径雷达系统进行1:10 000、1:50 000 3D产品制作(超过4000 km²),在生产和研究中首次形成了完整的工艺流程、作业方法、技术方案,测制的1:10 000、1:50 000 3D数字测绘成果,通过了国家测绘局四川质检站的第三方检测,满足国家规范的精度要求。起草的机载InSAR系统测绘1:10 000、1:50 000 3D产品技术规范草案,已通过国家标准化委员会立项。

申报发明专利3项,已授权1项;申报实用新型专利4项,已授权3项;获得软件著作权3项。

该项成果于2012年8月13日顺利通过了科学技术部组织的验收评审。

(六) 无(少)控制测图技术

将数码相机与惯性导航系统相结合,通过大量的生产试验,实现无地面或少量地面控制点的数码航摄及测图,大大减少工作量,缩短工作周期约10%,降低生产成本约15%,最终建立了完整的数码航摄及测图新技术工艺与流程。2009年通过了以李德仁院士为主任的鉴定委员会鉴定,认为成果属于国内领先水平。

(七) 煤航“E鸟”智能巡检系统

该系统是煤航在立足自主创新、实现科学发展的指导思想下开发的基于3G(GPS、GIS、GPRS)技术的实用型产品,也是软硬件一体化的产品。该系统具有精确定位、便携采集、现场拍照和实时传输的实用功能,以及巡检数据的可视查询定位、异常报警,巡检目标的自动跟踪、轨迹回放,并对数据进行统计分析、报表生成等各项功能,实现了巡检管理的可视化、实时化。

获得专利2项,计算机软件著作权3项。

该系统解决了传统巡检人工录入数据量大、数据手工录入过程中容易出错、工作人员是否巡视到位的管理、线路安全状况的保证等问题,在油气管道巡检等领域有广泛的应用前景。目前,已在中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司销售超过1200套,带来直接经济效益超过600万元,同时带来相关数据影像处理、管线探测、地形图测绘等数据方面和地理信息系统行业软件方面的合同3000多万元,取得了很好的经济效益。

(八) 煤航“E鸟”地下管线开挖导航仪

我国城市地下管线包含供水、排水、燃气、热力、供电、通信、管沟、工业管线等八大类,总长度冲过200万km。但全国大约有70%的城市地下管线没有基础性城建档案资料,地下管线家底不清的现状普遍存在;在国内各城市以及油气田

区域常常发生由于不清楚管线的具体位置而导致管道被挖断的情况,漏水、漏油、漏气等事故接二连三,造成了严重的经济损失和环境污染。全国每年因施工而引发的管线事故所造成的直接经济损失达 50 亿元,间接经济损失达 400 亿元。煤航“E 鸟”开挖仪就是为解决此类问题而开发的。

系统有机融合了地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)、无线通信(GPRS)、嵌入式开发、连续运行参考站(CORS)等技术,通过在一定区域建立连续运行 CORS 站,利用“E 鸟”手持接收设备,进行实时差分,从而达到精确导航定位(分米级)的目的;同时,在“E 鸟”手持设备中基于嵌入式平台建立了开挖管理系统,可实时查询当前位置的管线图、地形图、影像等数据,并进行属性查询、空间定位、管道横断面分析、纵断面分析等功能,从而指导现场管线的开挖维护工作,为管线的精确开挖提供科学依据,从根本上杜绝管线被挖断的现象。

该设备可应用于油气田、煤炭、城市、电力等多个行业,具有广阔的市场前景。

(九) GPS 车辆监控系统

设计开发了自主知识产权的 GPS 车辆监控系统,获得软件著作权 40 余件,广泛服务于物流、客运、出租、租赁、银行、公安等行业的车辆管理。

以此为依托,2009 年底新成立中煤地(西安)视讯科技有限公司专门进行 GPS 增值服务。在陕西、甘肃、宁夏等省区得到了很好的应用,2011 年,年经营收入超过 2000 万元。

三、建议

(一) 建立完全竞争、公平公众的市场机制

地理信息产业在国家测绘地理信息局的引导与大力支持下,近年来得到了飞速发展,但行业垄断、行业保护、地方保护主义、市场价格混乱等现象还较为普遍。要解决上述问题,推动地理信息产业健康有序发展,只有通过建立完全竞争的市场机制,完善真正的项目招投标体制,增加招投标的透明度、公正性,加强对招投标活动的监管,避免规避招标、虚假招标等问题。使具有市场准入资格的单位,通过综合能力和合理的收费标准进行公平竞争,从而破除条块分割、行业垄断、地方保护。

(二) 支持企业做强做大

地理信息企业大多规模较小,国际竞争力较弱。国家测绘地理信息局应出台政策鼓励企业间的兼并、重组、整合,为企业做强做大创造条件,在行业内打造

几个具有国际竞争力的“航空母舰”、龙头企业。

四、展望

当前国际经济持续动荡,中国正在积极实施产业结构调整、推动经济转型战略,为战略性新兴产业的发展提供了良机。作为中央企业,煤航“十二五”发展战略提出要实现三个转型,即发展方式转型、产业产品结构转型、人才结构转型,实现从数据生产加工型企业向技术服务、经营型企业的跨越,打造具有国际竞争力的企业,因此下一步要做好以下重点工作。

(1) 进一步转变体制,提升管理,完善法人治理机构,支持、推动西安煤航信息产业有限公司上市;

(2) 建设好“国家西部3S空间信息产业化基地”,大力开发具有核心竞争力的新技术、新产品:① 国产高分辨率遥感应用技术;② 高光谱遥感资源勘查技术;③ 新一代航空摄影数据处理系统;④ 城市三维快速建模技术、城市三维GIS系统研建;⑤ GPS导航定位产品;⑥ 地理信息增值服务新产品。

(3) 重视人才的培养与引进,建设一支高素质、创新能力强、精管理、善经营的人才队伍。



张文若 汉族,1958年出生于西安,MBA硕士研究生学历,教授级高级工程师,享受国务院政府特殊津贴。现任中国煤炭地质总局航测遥感局局长、党委书记。兼任中国测绘学会副理事长、中国遥感应用协会副理事长、中国印刷工业印刷机械行业协会专家教育委员会副主任、中国煤炭工业协会地质分会副会长、中国煤炭建设协会理事、陕西省煤炭工业协会副会长、西安理工大学印刷包装工程学院兼职教授。主持过多项国家及省部级重大科研、生产项目,发表论文数十篇。

当前地理信息产业扩张速度与方向分析

景贵飞

科学技术部国家遥感中心

当前地理信息产业主要内容表现为市场上地理信息系统和位置服务等厂商的发展,软件系统和自主品牌不断成长,应用领域和应用范围不断扩大,从业人员数量和行业整体规模都在逐年提高,尤其是行业内十余家上市公司的出现,进一步体现了行业与资本的结合,也使产业发展向更高阶段和更强竞争力提升,从而也逐步改变着产业内竞争的方式、烈度。

但是从行业内各大院大所、部委所属中心、各类企业的逐年收入,尤其是上市企业公布的报表来看,与其他的和地理信息相近的产业比较,地理信息行业规模弱小。各部门公布的市场数据表明,包括全部内容也仅千亿量级;企业年产值大多在 20 亿元以下,盈利能力不足,似乎产业规模没有对上市企业报表有多大帮助,抑或企业报表显示产业是由大量小微企业构成,是一片“草场”,参天大树或树林还极其缺乏;从近期各种论坛、战略报告等介绍中,难以找到地理信息作为人类活动最基本物理参量的巨大潜力转化为近期市场的迹象。

从一个产业进行扩张的角度来看,地理信息产业发展面临无形的模糊约束,地理信息的能力与其承担的任务现实之间存在巨大差距,如有一层茧禁锢着,其用户数量、产业规模、产品类型等增长变动缓慢。

破除这一层“茧”,也许需要新视角,改变已有的思维惯性、路径依赖,发掘新的产业拓展空间。

探讨地理信息产业空间的拓展,主要内容还是仅仅来谈软件和服务两个方面,尽管肯定还有新的内容。首先是软件,对比地理信息系统软件与其他比较成功的软件产品,仅举三个方面的事例进行分析。一是量大面广的软件如 OS/DB/Mobile;二是专业应用的软件如飞机设计制造的 CAD;三是参与集成的程度较深的软件系统,即与硬件相联结的软件,如华为的软件。上述三类都具有共同的特点就是软件规模足够大,地理信息系统软件规模如何才能够大?走哪条道路呢?其次是服务,我们从服务最基本的概念出发分析,谁在买和卖地理信息?地理信息能够满足多少用户?用户能够付费多少?等等,地理信息服务的规模如何能够涵盖足够多的用户,挣到足够多的利润?

由以上因素出发,地理信息软件及其应用确有需要完善的方面。当前地理信息的用户主要是组织用户,如部门、地方政府这样的专业组织,而作为移动互联网终端用户的大量公众,对于地理信息的消费尚未成为有效力量,即使使用网络最普遍、消费能力最强的白领群体,也未被拉住,为什么?门槛高。地理信息行业应该认真反思,为什么要让消费者感到自己是外行?地理信息让普通公众应用起来感觉不舒服,不好用!显示我们有学问吗?没有站在用户角度解决好这些问题,可能是我们唯一的缺点,也是我们突破“茧”的最佳切入点所在。

毫无疑问,解决这个问题涉及的内容太多了,不是一朝一夕、一个单位所能解决的。正是由于涉及的内容多,所以才有足够多的市场空间,才能够细分出足够多的市场环节,形成足够长的市场链条。我们应该感到无比的兴奋,构建出了这样的市场链条,也就完成了地理信息的产业扩张,在这个过程中,也就造就出了更多伟大的创新成果、创新企业。这是所有寻找新兴产业的资本梦寐以求的。信息产业每年几万亿美元规模,实现了人与人的随时随地(anytime, anywhere)的连通,造就了全球经济一度的辉煌。地理信息能够容纳多少投资,实现支持任何人任何事件(anyone, anything)的服务?

市场链条有多种多样的衡量体系和指标,笔者认为当前对于地理信息产业发展来讲,牢记服务可用度这一指标是最重要的。可用度是一个服务系统最基本的考核指标,ISO9241/11的定义是“一个产品可以被特定的用户在特定的情况下,有效、高效而且满意地达到特定应用目标的程度”,结合地理信息行业的特殊属性和要求,可以很容易地发现,当前地理信息用户如果要达到高可用度,需要的境况条件是多么的严格、狭窄;一个社会公众用户如果在当前手机终端得到高可用度地理信息服务是多么的痴人说梦,地理信息在微观地理数据获取种类及其更新速度、移动终端服务的软件能力、地理信息服务接入、有效结果提交、付费、系统故障诊断等方面,还存在极其巨大的差距,甚至至今还很少类似的规模性示范系统。

地理信息服务最大的用户是社会公众,而互联网就是一个地理信息系统,需要地理信息行业提供最大丰富的信息种类,形成最简捷方便的处理系统和接入,提供最简单易懂的终端信息知识。微观地理信息将成为主要需求,信息的更新速度、属性类型、随机叠加等需要快速解决随时随地的时空赋值。每位用户在应用地理信息产品的同时,也在提供着自己的空间位置,从而使需求和供给之间的界限尤其是时间界限模糊不清,每个参与者的角色也是双重的,这将为商业模式的创新提供良好的基础。这个地理信息系统的网管系统是最弱项,但它是服务系统运转的核心,互联网可以构成基础的平台,但地理信息系统和服务的运转需要自己去搭建以时空为纽带的服务运行系统。

面向整个互联网包括移动互联的地理信息产业,将使竞争在全球展开,中国的企业面对的需求是全世界的用户。这种状况下,地理信息的加工、生产在异地成为可能,并且相互之间具有相近的成本。这为企业之间的竞争提供了更加广大的同业者,从而使竞争更加复杂和激烈。同时由于运输费用的减少和空间距离的几乎不存在,信息的综合加工变得牵扯面更广、信息种类更复杂,因此需要处理的技术问题更加独特。同时地理空间上所关心的尺度概念也有了新的特征和作用:网络的发展产生了跨国的企业和组织的空间过程,面向通信功能的增强,全球尺度已经成为种种现实的应用;公众用户有更加不同,关注的重点是地理信息的种类和微观尺度上更新的频次。

笔者想特别强调的是,地理信息在金融行业的应用。金融是国家经济系统的高端,地理信息进入国家经济系统的标志之一应该是为金融服务,尤其是在人民币逐步国际化的情况下,地理信息应该探索提供服务的可能性。金融地理学有过详细的理论探索,但是面向货币、金融的地理信息服务还没有看到国内实际的事例,地理信息在期货行业有初步成功的应用案例,但是深层次的对金融、交易的信息支持还远远不够,随着我国在全球经济活动中的参与深度和广度的增加,人民币国际化的深入,地理信息支持的企业、公众全球范围内各项金融活动将是值得关注的方向。



景贵飞 汉族,出生于1968年。现为科学技术部国家遥感中心副主任,同时担任中国地理信息系统协会常务理事,中国卫星通信广播电视用户协会常务理事。长期致力于地理信息产业化理论研究、实践实施工作,在地球观测与导航技术领域具有多年的科技规划和计划的起草、管理经验;具体执行中欧伽利略计划合作工作,对卫星导航系统发展及应用进行了多年研究;作为编写组成员,参与了《国家中长期科技发展规划纲要(2006—2020)》中卫星导航重大专项实施方案的编写。

大力发展“天地图”推进地理信息社会化应用

李志刚

国家基础地理信息中心

一、“天地图”是地理信息社会化应用平台

“天地图”是国家地理信息公共服务平台的别称,是我国“数字中国”建设的重要组成部分,是实现测绘“服务大局、服务社会、服务民生”的重要载体。

地理信息是国家重要战略信息资源,在政府管理决策、新兴产业发展、人民生活改善等方面发挥着重要作用。近年随着政府管理决策科学化、国家经济与社会发展信息化以及和谐社会建设的不断推进,各级政府部门、专业部门和社会公众对权威、可靠的地理信息服务的需求与日俱增。与此同时,地理信息产品形式已经从传统的纸质地形图发展为丰富多样的数据、电子地图,应用模式也由原来的纸图阅读、单机显示变为现在的网络化应用、移动终端应用;用户对地理信息服务的需求也由原来的分版本、分区域的离线数据索取变为多时相、大范围在线浏览与应用。在此形势下,地理信息社会化服务若想满足应用需求,必须由原来的数据集中存放、单点分发、数据提供模式发展为“分建共享、在线聚合、协同服务”的网络在线服务。

“天地图”就是为应对这种信息化条件下地理信息社会化服务需求而建设的。它以全国一体化公共地理框架数据为基础,以网络化地图与地理信息服务为表现形式,以互联网、国家电子政务网等网络为依托,以分布式数据管理维护和适时更新为保障,把分散在各地、各部门的地理信息数据整合为逻辑上集中、物理上分散的可共享资源,以门户网站、二次开发接口等方式向政府、企业和公众提供不间断的权威、可信的“一站式”地理信息服务。

“天地图”于2010年10月21日开通,实现了测绘地理信息部门从离线提供地图和数据到在线提供信息服务这一服务方式的根本性改变,在国内外引起极大反响。目前累计已有来自全球216个国家和地区近3亿人次的访问,单日峰值超过665万次。运行一年多来,“天地图”已成为中国区域内数据资源最全、具有较强影响力的权威地理信息服务网站。

“天地图”受到中央领导同志的充分肯定。胡锦涛、温家宝、李长春给予了

高度评价。李克强副总理观看了“天地图”演示后指出:“天地图”既是政府服务的公益性平台、产业发展的基础平台,又是方便群众的服务平台、国家安全的保障平台,是抢占国际竞争制高点的重要方面,甚至是突破口。加快“天地图”的建设,对于推进地理信息社会化应用、繁荣地理信息产业、维护国家安全意义重大。

二、基于“天地图”的地理信息社会化服务取得显著成效

“天地图”上线运行一年多来,基于“天地图”服务资源的各类公益性、专业性、商业化应用系统不断涌现,在宣示我国领土主权、公共管理与专业应用、新闻报道、公共信息发布等方面获得广泛应用。据不完全统计,全国各行业已有超过1000个基于“天地图”的应用系统在线运行,社会化服务取得显著成效。

“天地图”明确地向全世界展示了我国国界线的标准画法,宣示了我国领土主张,引起了我国部分周边国家的强烈关注。越南、印度、日本等国家通过多种方式针对我国西沙和南沙群岛、藏南地区、钓鱼岛等区域的国界表示提出抗议,我国外交部予以了严正回应,再次声明了我国对这些区域拥有的无可争辩的主权。中央电视台在驳斥菲律宾欲将南海问题“国际化”等专题节目中,也采用“天地图”来展示我国的领土主张。

在公共管理与专业应用方面,教育部基于“天地图”建立了全国中小学校舍管理系统,实现了面向全国、省(自治区、直辖市)、地市、县、学校五级用户的中小学校舍基本情况管理、安全工程建设可视化过程管理、资金使用跟踪管理等。国家广播电影电视总局利用“天地图”实现了各级行政区和社会影视制作机构的统计信息报送状态实时跟踪和全过程的可视化管理。全国组织机构代码管理信息平台基于“天地图”实现了全国1500多万个组织机构(覆盖全国95%以上的企业档案信息)进行地址与位置匹配、展现、检索、查询。中国证券监督管理委员会利用“天地图”集成2000多家机构或公司的具体位置信息和联系方式,可方便地进行查询。武汉江夏区政府利用“天地图”开发了数字行政决策辅助系统,实现了各类政务信息、城管监控信息、舆情信息、规划信息与地理信息的集成,为政府管理决策提供了强有力的地理信息支撑。黑龙江位置服务中心利用“天地图”实现了车辆行驶状况的实时监控。

在新闻服务方面,中央电视台新闻频道、综合频道、东方时空、农业频道、中文国际频道等多个栏目,先后使用“天地图”制作节目,报道春运、黄岩岛、小麦夏收、柳江污染、南沙西沙等新闻,《远方的家》频道把“天地图”作为长期地图支持,新闻中心正在利用“天地图”和其他测绘成果制作《地图见证辉煌》30集系列宣传片,展示国家十年来经济社会发展成就。

在公共信息发布方面,民政部国家减灾中心基于“天地图”发布每日全国各地的自然灾害信息。水利部将基于“天地图”发布全国水利普查信息。江苏省环境监测中心利用“天地图”发布空气监测站点测到的空气污染指数,并进行空气污染指数地理分布规律分析。

三、以科技创新为牵引力,做大做强“天地图”

创新是“天地图”的建设与发展的驱动力,也是“天地图”占领国际竞争制高点的基础。“天地图”一直以来都以“创新”为宗旨组织开展各项工作。

首先是针对数据资源分散管理、共享应用困难的问题,提出并践行“统一规范、分建共享、在线聚合、协同服务”的创新模式,将国家测绘部门、企业的信息资源聚合起来,为普通公众访问权威优质的地理信息资源提供了有效途径,向专业部门和企业提供了资源共享、增值开发的平台,极大地提高了地理信息社会化服务水平、推动了地理信息产业发展。

其次是自主创新搭建了“天地图”在线服务技术系统。完成了“天地图”顶层设计,制定了系列数据规范、服务规范,完成了网站功能设计、页面设计、数据调度与检索策略设计、地图表现设计,自主研发了基于云架构的搜索引擎、手机地图、三维地图等功能模块,以及系列数据处理、管理软件,依托具有我国自主知识产权的在线服务系统 GeoGlobe 软件,实现了高性能优质在线地理信息服务。目前“天地图”正在与武汉大学、美国乔治梅森大学和一些科研单位联合开展基于云计算技术的云架构、志愿者地理信息(Volunteered Geographic Information, VGI)、动态自适应服务、海量数据快速处理、分布式要素服务聚合等关键技术研发。上述工作为“天地图”掌握技术发展主动权,赶超世界先进水平奠定了坚实基础。

最后是联合国家测绘部门、企业的力量共同建设,实现了国家测绘部门和企业资源整合、优势互补,形成了强大的合力。与此同时积极开展商业合作,为“天地图”持续探索有效机制与模式。

“天地图”还处于起步阶段,距广大用户的要求还有很大距离。我们有信心依托国家科技创新战略、测绘地理信息发展战略、国家产业发展战略,联合全国力量,加强技术创新,加快整体技术系统建设,不断提高服务能力,丰富数据资源,拓展服务功能,加强运维管理,改善用户体验,大力推动应用,将“天地图”打造成为数据覆盖全球、内容丰富详实、应用方便快捷、服务优质高效的网络地理信息服务优秀民族品牌,抢占国际竞争制高点,提升国际影响力。



李志刚 1962 年出生,硕士研究生学历,现任国家基础地理信息中心主任(正局级)。1984 年 7 月至 1997 年 3 月在黑龙江测绘局地理信息工程院、国土测绘处历任作业员、中队长、副院长、副处长、处长职务,高级工程师。1997 年 3 月至 2000 年 3 月任黑龙江测绘局副局长、副书记。2000 年 3 月至 2009 年 8 月任黑龙江测绘局党组书记、局长。2009 年 9 月任国家基础地理信息中心主任。武汉大学兼职教授,获第二届夏坚白基金管理奖。

地理信息服务:数据在线到应用在线

郭仁忠

深圳市规划和国土资源委员会

测绘和地理信息学科近40年的发展可以归纳为两个转型,首先是以提高数据生产能力(原始数据获取能力)为主要目标的数字化转型,其次是以地理信息服务为重点的信息化转型。数字化转型的结果是测绘生产力得到极大提升,使我们告别了数据“短缺”时代,进入了数据“过剩”时代。今天我们面临的主要问题已经不是数据获取问题,而是如何加工处理和开发利用数据的问题,即信息服务问题。因此,信息化转型是数字化转型后的必然发展。

伴随着测绘的数字化转型,地理信息服务也发生了根本性的变革和进步。传统的以模拟地图为载体的地理信息表达被数字化的各类地理数据库和电子地图所取代,传统的以“地图拷贝”为特征的地理信息服务被“数据在线”为特征各类地图网站和数据中心所取代。在这个变革和进步中,从模拟到数字是技术上的进步,而从“地图拷贝”到“数据在线”则是模式上的变革,后者是更高层次上的进步,意义和价值更为突出。

“数据在线”的一个重要条件是信息化的推进和网络基础设施的建设。网络构建了数据生产者和用户的在线协同环境,以信息流取代物质流,跨越时空实现数据共享,较之于传统的地理信息服务模式,“数据在线”具有时间优势、空间(距离)优势、成本优势和机制优势。但是,从测绘生产流程来看,“数据在线”仅是创新了数据服务的“方式”,在整个数据生产、加工、管理、应用、更新的链条中,“数据在线”仅涉及应用一个环节,且在这个环节中仅涉及数据提供一个节点,传统的测绘生产流程没有改变,测绘行业分工没有改变,业务规程和技术架构没有改变,亦即“生产关系”没有改变,其中最为关键的是,数据生产和数据应用仍是分离的,因此,传统的测绘生产关系存在的问题在“数据在线”的模式下仍然是存在的。

1. 固定内容与个性需求的矛盾

“数据在线”秉承数据生产和应用的分离特征,不同的用户只能被动地接受网络提供的同样的数据。由于应用需求的差异,一般情况下这些数据均须要进行加工处理,而由于处理技术的复杂性,多数用户无法自行处理,需要返回数据

提供方进行数据加工。所以,由于技术支持没有在线,在很多情况下,“数据在线”是没有意义的。

2. 动态更新与批量处理的矛盾

数字化测绘技术支持目标级数据处理,因而从技术上讲,数据更新可以打破传统的周期性成片更新模式,实现面向目标(实体)的实时动态更新。动态更新是地理信息现势性的基本保证。然而由于“数据在线”模式下数据生产和应用的分离,数据加工是离线进行的,生产者必须在线提供“有意义”的数据,向用户发送离散的独立地物(目标)是无意义的,这意味着即使在生产者一侧数据是动态更新的,也必须等待批量地在线发布。这种服务机制延长了更新周期,从而降低了数据的现势性。

3. 多源数据与集成应用的矛盾

地理空间数据很多情况下需要与非空间数据集成应用。计算机是用 (X, Y) 表达空间位置的,但大量非空间的社会经济数据的地理位置是以自然语言表达的,如 $\times \times$ 路 $\times \times$ 号 $\times \times$ 大厦 $\times \times$ 单元。表达方法的差异使得空间数据与非空间数据无法自动集成,需要人工标注,处理工作效率低,成本高且质量难以保证。

以上问题制约了数字测绘和地理信息技术生产力的发挥,也说明仅有“数据在线”是不够的,测绘生产链和地理信息服务链需要更多地向“在线”迁移,形成生产和服务的在线集成,即“应用在线”。

“应用在线”的目的是充分发挥数字和网络技术的优势,提供更好的地理信息服务。要规划“应用在线”的具体内容,应该首先分析地理信息及其应用特征。

地理空间数据经可视化以地图形式表达以后,其传输的信息(地图信息)基于简单的逻辑可以分为四个层次:个体信息、集群信息、分布信息、关系信息。个体信息是关于独立地理实体的信息如位置、形态、属性、尺度等,体现地理目标的个体差异;集群信息是对地理目标的类型划分和归并,体现地理目标的群体差异和集群特征;分布信息反映地理目标的空间分布特征,如密度、结构、连续性、随机性等;关系信息反映地理目标个体(或群体)之间的关系,包括数量、质量、几何(拓扑)、位置(方位)等。

根据地图学理论,地图应用在信息提取和解析的深度上分为三个层次:地图阅读、地图分析和地图解译。三个层次的应用虽然与四个层次的信息不一一对应,但其层次上的递进性是一致的。地图阅读基于视觉感受获取信息,地图分析基于数字计算获取信息,而地图解译则需要综合分析判断,需要前两者的支撑。地理空间数据与地图虽然概念上不能完全等同,但其应用分析手段是基本一致的,在地理信息学领域,空间数据的应用分析区分为可视化、空间分析和数据挖

掘,其内涵外延对应于地图阅读、地图分析和地图解译。

空间数据(或者数字地图)应用从用途上可归纳为三类:① 独立应用,作为主题信息,展示地理环境;② 位置服务,作为背景信息,提供参考定位;③ 集成应用,作为地理框架,支持专题分析。然而,无论如何应用,均基于视觉感受或者数字分析,得到的不外乎四个层次的信息,所以,应该提供必要的可视化和数字分析工具,支持在线应用。

“应用在线”的核心是将数据处理分析技术封装成高度自动化和智能化的工具供用户在线调用,实现技术的在线共享,解决“数据在线”存在的问题。上述三类应用涉及的数据处理可能很复杂,但如不介入具体应用领域,从数据服务的角度出发,“应用在线”需要提供的共性技术主要是:在线数据更新、在线数据综合、空间数据与非空间数据的集成和在线动态制图。

1. 在线数据更新

“数据在线”建立的是一个在线数据共享平台,在线数据更新是在数据共享平台基础上构建数据更新工作环境,由数据生产者实施在线数据更新,这样,由于生产端和用户端是基于相同的数据基础,数据更新完全同步,避免了更新延迟,从而保证了数据的现势性。

2. 在线数据综合

为了满足用户的个性化需求,需要对数据进行需求适应性综合处理。虽然地图综合是一个极为复杂的智能化过程、需要大量的人机协同工作,但在各类应用中,更多的处理是要素的选取和图形化简,将自动综合算子封装成高度自动化的数据综合工具,只需要有限的人工干预即可对空间数据进行连续尺度变换,从而满足用户对空间数据详细程度的不同需求。

3. 空间数据与非空间数据集成

空间数据与非空间数据集成的核心是自动寻址。虽然逻辑上数据可区分为空间数据和非空间数据,但本质上讲所有的数据都是在地理空间产生的,都与特定位置或特定空间存在联系,自动寻址技术在地名和空间编码数据库的基础上将非空间数据携带的用自然语言表达的空间位置信息转换为计算机可以理解的以 (X,Y) 表达的位置信息,由计算机实现非空间数据的自动定位,从而实现空间数据与非空间数据的集成。

4. 在线动态制图

在线动态制图是将地图设计生产过程从测绘生产端迁移至用户端,将专题地图的底图数据处理、专题数据处理、符号设计和地图生成全过程封装成地图发生器供终端用户在线自由调用,根据需要在线动态制图。在数字城市背景下,空间数据和各类社会经济、自然资源数据都可以通过建立在线数据平台实现数据

的在线共享,在线动态制图技术提供了一个从数据到地图的快速通道,将来源于不同平台(不同网址)的数据在线集成,快速处理,实时生成地图,由于是动态实时制图,数据更新即意味着地图的更新,地图用户成为地图制作的主体,从而彻底改变了传统的专题地图生产流程和专业分工,提高了数据应用的效率,降低了应用成本。

“应用在线”可以设想的内容很多,如可以建立各种数据在线分析和挖掘的工具和模型,以上论述中我们在测绘和地理信息学领域讨论问题,把问题限制在数据准备和加工,亦即数据生产范畴,如果涉及专业应用领域,实际上是没有穷尽的。这也说明,从地理信息服务的“应用在线”出发,可以设想更多的“在线”。

在数字城市的大背景下,“在线”已经不仅是一种工作方式或生活方式,而是社会存在方式。测绘学科在完成了从传统的模拟测绘向数字测绘的转型以后,现在正在向信息化测绘转型,这个转型具有丰富的内涵,在国家信息化战略中具有重要地位,在经济社会发展中具有重要作用。地理信息服务的“应用在线”是这个转型的重要内容,它既是信息社会对测绘的外部需求,也是测绘发展的内在需求,应该在信息社会的历史背景和测绘转型的战略高度去认识、规划和实施。



郭仁忠 地图制图与地理信息工程专家,法国 Franche-Comté 大学博士,深圳市规划和国土资源委员会副主任,武汉大学博士生导师,国际欧亚科学院院士。长期从事地图学和地理信息理论研究和技术开发应用。提出空间信息构成理论和空间分析框架体系,出版了国内第一部“空间分析”著作,为地理信息学理论体系建设做出贡献。主持编制国内第一部全数字技术成图的大型综合地图集《深圳市地图集》,为中国首次获得国际地图学大会地图成果奖

“Excellence in Cartography”(1999)。将 GIS 技术成功引入国土资源管理,主持建成国内第一个大型空间型管理信息工程“深圳市规划国土管理信息化工程”,推动了我国国土资源信息化进程。获国际、国家和省部级科技奖励 16 次,发表论文(著)100 余篇(部),主编地图集 3 部。

北京地面沉降立体监测与机理研究

宫辉力 等

首都师范大学城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地

一、引言

在全球气候变化、区域经济迅速发展的背景下,地下水开采量急剧增加,引发了一系列城市区域地面沉降问题。目前世界上已有 90 多个国家和地区发生地面沉降。经过半个多世纪的研究,各国专家学者在地面沉降 InSAR 监测和演变特征研究方面取得了一系列重要成果。我国有 95 个城市发生了地面沉降,其总面积达到了 48 655 km²。地面沉降对城市基础设施、高速铁路等重大工程产生了重大的威胁,成为制约区域可持续发展的重大问题,引起了国家和有关部门的高度重视。利用先进的对地观测技术,结合地面、地下常规监测网络,开展区域地面沉降三维形变机理研究,是解决我国区域地面沉降灾害预警、防治等问题的重要基础。

二、地面沉降监测

目前,国内外地面沉降的监测方法主要以水准测量、分层标和 GPS 测量为主,随着对地观测技术的发展,InSAR 等高新技术方法被成功应用于地面沉降监测中。相对于水准测量等常规监测方法,InSAR 技术可以大范围获取高时空分辨率的地表形变细节信息 (Galloway, 1998),有着毫米级的高程监测精度 (Bürgmann, 2006; Ferretti, 2007)。SAR 干涉测量提取地表形变的主要方法有: ① 方位向偏移技术 (AZO) 方法。Rémi Michel 等 1999 年首次采用基于幅度的互相关配准技术提取 SAR 图像方位向和距离向的位移分量 (AZO 方法)。Mikio Tohita 等 2001 年利用升、降轨 SAR 数据采用该方法与矢量分解技术相结合,提取了日本 Usu 火山地区三维形变信息。胡俊和李志伟等 2008 年也采用了图像幅度相关技术提取了台湾集集大地震的同震二维形变场,采用 GPS 监测网结果进行验证,得出方位向和距离向位移量的均方根误差分别为 6.9 cm 和 5.7 cm。该方法被广泛应用于地表三维形变场提取 (e. g., Fialko et al., 2005; Jonsson et al., 2002; Fialko et al., 2001)。AZO 技术提取形变过程中无需相位解缠,但是由于基于图像幅度信息配准精度限制,该方法监测精度略低。② DInSAR + AZO

方法。Yuri Fialko 等 2001 年采用 AZO 方法得到方位向的位移分量,再结合升、降轨差分干涉结果,利用升、降轨不同几何视角建立线性方程组求解,获取了 1999 年 Hector Mine 地震震中区域地表形变位移三分量,首次从 SAR 差分干涉图中直接获取了形变场位移三分量。Tim J Wright 等 2006 年采用同样的方法成功提取 Dabbahu 断裂带地区三维形变场。由于 AZO 方法的本身不足及 DInSAR 技术在应用中也会受到去相干以及大气延迟影响,所以该方法适用于形变梯度比较大的地区(火山、地震区)。

③ DInSAR + MAI 法。针对 AZO 方法 SAR 方位向形变提取精度不高的问题, Noa 2006 年提出一种分波束方法,称之为多孔径 InSAR(multiple aperture InSAR, MAI)。这种方法基于分波束的 SAR 进行干涉数据处理,生成前向和后向干涉图,根据两幅干涉图上的相位差,获取沿轨道方向的位移分量。将其结果与使用 DInSAR 方法获取距离向分量结合处理,即可得到地表位移的三维分量,这种方法的精度依赖于图像信噪比和相关性。Noa 以 Hector Mine 地震为例进行研究,将结果与 GPS 测量数据进行比较,显示两种数据之间的均方根误差为 5 ~ 8.8 cm。

④ 多图像几何视角 InSAR 技术。Tim J. Wright 等 2004 年提出利用升轨与降轨、左视与右视四种组合的 SAR 数据生成四幅干涉图,利用图像间不同几何视角,提取形变位移三分量。Alex 等(2009)以 ASAR 数据和 PALSAR 数据为数据源,采用图像不同几何视角建立方程组求解地表位移三分量,同时开展先评估东向、垂向形变,再从残余相位中评估出北向形变的方法提取三维形变。结果表明采用第二种方法评估出的北向形变位移量更加合理。Noel 等 2007 年使用小基线技术获取两幅邻轨 SAR 图像范围内的视线向位移量。葛大庆等 2008 年利用短基线差分干涉纹图集监测地表形变场。对于绝大多数地区来说,目前在轨工作的 SAR 卫星数目有限,获取同一区域三幅及以上不同视角组合的 SAR 数据还很困难,因而多图像几何视角的方法未广泛应用。

⑤ CRInSAR + kalman 滤波的方法。胡俊等 2009 年以不同时间跨度的角反射器上的干涉相位作为一组动态数据,构建了监测地区角反射器三维形变量和三维形变速度的观测方程和状态方程,并通过经典的卡尔曼(Kalman)滤波理论估计监测地区角反射器的三维形变量和三维形变速度量。

⑥ 地表形变模型与 DInSAR 方法结合。

三、地面沉降立体化监测

通过建立、优化空中-地面-地下沉降立体监测网络,可以提高监测精度、降低维持费用,使有限的资源和投入得到更加合理的配置。国际上,在传统地面沉降监测网优化方面,Xu 1989 年和 Grafarend 1995 年进行了多目标约束下水准网优化设计方法的研究。对于地下水监测网优化来说,地统计方法是目前应用最广的方法之一,James 和 Dennis 于 1981 年首次提出了用克里金方法进行观测

网设计的思路。近 20 年来,地统计方法主要在监测网的设计(Marios et al., 1982;Loaiciga et al.,1992;Numes et al.,2007;Feng-guang et al.,2008)以及监测站点的冗余监测和优化(Wokdt et al.,1992;Cameron et al.,2000;Assaf et al.,2009;Beardsley et al.,1998;Husam Baalousha et al.,2010)等方面得以应用。配合近年来一些新算法的使用,包括遗传算法(Reed et al.,2000;Reed et al.,2001)、卡尔曼滤波法(Herrera et al.,2000;Tamer et al.,2008)、不确定分析方法(Elizabeth Stevick et al.,2005;Kim et al.,2007)等,在地下水监测网优化方面取得了良好的效果。此外,随着对地观测技术的发展,GPS 技术在地面沉降领域的应用已日臻成熟并完善,其测量精度已达到毫米级。优化现有 GPS 监测网,有助于在保证监测精度前提下减少监测成本,提高地面沉降监测能力。Grafarend 1974 年首次提出 GPS 监测网优化设计的四个阶段;在此基础上,许多研究者采用线性规划方法对监测网进行优化(Cross and Thapa,1979;Benzao and Shaorong,1995;Kuang,1993;Evan-Tzur and Papo,1996;Gerasimenko,2000)。Johnson 和 Wyatt(1994)介绍了模拟退火法,并用该方法解决了监测网中站点的选址问题;Even-Tzur(2002)解决了基于大地测量灵敏度分析的 GPS 监测网网形设计问题;Ramin Kiamehr 2003 年使用多目标优化方法对大地控制网进行优化。

国内逐步建成了相当规模的监测网(周仰效,2007;朱瑾,2008)。仵彦卿 1994 年、郭占荣 1998 年、陈植华 2000 年等将地统计方法应用于地下水观测网优化与设计,取得了一定的成果。在水准监测网优化方面,常规测量方法研究(毛连连,2007;成亚宣等,2009)以及与 GPS 测量方法结合应用研究(李征航等,1994;谭凯等,2004)共同开展,同时引入模拟退火算法(彭友志等,2009;程柏,2009;刘巧霞,2009;朱颢东,2009)用于高速、有效、准确地确定水准监测网全局最优解。在 GPS 网优化设计方面,周拥军等 2001 年从点位位置、异步环数量以及基线向量的选取等方面分析了 GPS 网的优化设计;赵长胜 2004 年、张正禄等 2001 年归纳了多余观测量与精度、建设网费用乃至灵敏度等质量指标,提出了基于观测值可靠性的模拟优化设计的思想和算法;初东 2001 年、刘立龙等 2002 年采用蒙特卡洛法对 GPS 网进行了优化设计;针对 GPS 监测技术在地面沉降研究方向的应用,一些学者也做出了研究。陈基伟 2003 年对 GPS-InSAR 合成技术进行地面沉降研究的理论与方法进行了综述,并探讨了其进展及应用前景;高伟等 2004 年对用 GPS 监测城市地面沉降的可行性进行了研究。王建敏等 2003 年提出以数据探测法为基础的观测基线的粗差检测方法。杨建图等 2006 年对 GPS 测量地面沉降的可靠性及精度进行分析。

四、地面沉降机理研究

Domenico 和 Mifflin(1965)使用一维太沙基固结理论时,假定水力传导系数

$K'(L/T)$ 和孔隙介质的垂向压缩能力 $a'(LT^2/M)$ 在固结过程中为常量。地质科学家们已知,在固结过程中,土壤骨架的重新排列引起的孔隙率的变化,介质的渗透性和可压缩性也随之降低。Lambe 和 Whitman 1969 年通过渗透性和孔隙比数据研究,表明可压缩性较高的黏土层渗透性也会改变。Juarez-Badillo(1986)提出了一个通用的一维非线性微分方程,解释渗透性和可压缩性的变异特性,预测有效应力分布和沉降的程度,这一点与太沙基理论预测结果存在显著的不同,尤其在高可压缩黏土中表现的更为突出。Rudolph 和 Frind 1991 年通过数值模拟结合野外实验分析了高压压缩弱透水层非稳定水力行为,研究表明固结改变弱透水层的物理特性,进而影响水力参数 S_e' , K' 的变化,最后影响整个含水层-弱透水层的水力响应。Thomas J. Burbey 2006 年用有限的水头和形变数据,建立水流和形变模型,并结合参数评估技术去进一步理解含水层系统特性,量化水力特性。近 20 年来,随着 InSAR 等遥感新技术的发展,国外学者开展了大量 InSAR 技术与水文地质、工程地质技术方法交叉的研究工作,用以分析地面沉降的演变特征。研究结果表明在未固结冲积含水层系统上开展 InSAR 干涉测量,可以帮助识别、验证地下水流场阻水障碍及地面沉降的构造控制特征(Galloway et al., 2000; Bawden et al., 2001; Buckley et al., 2002; Mahdi et al., 2007),推断隐伏断层;定性识别由于地下水补给、排泄变化而引起的季节性形变特征信息(Galloway et al., 2000; Hoffmann et al., 2001, 2003; Watson et al., 2002; Schmidt et al., 2003; Chang et al., 2004; Leonardo, 2006; Maryam, 2009);评估含水层系统水文地质参数(Hoffmann et al., 2001, 2003; Halford et al., 2005)、压缩时间常量(Hoffmann et al., 2003)、可压缩层厚度和水力扩散系数(Burbey, 2001);揭示含水层系统释水形变机理(Yan and Burbey, 2008; Stramondo, 2008),构建地下水流模型的约束因子(Hoffmann et al., 2003; Hanson et al., 2004; Roland Burgmann, 2006)。Mahdi 2007 年提出含水层的渗透系数和存储能力等水文地质条件的不同会导致地面沉降的速度不同;同时, Aly 2009 年在研究中指出地铁网络和高密度人口也是导致地面不均匀沉降的因素。

我国学者陈崇希、裴顺平等在“九五”重点攻关项目中研究了苏州市地面沉降机理,薛禹群 2003 年分析了不同水位变化模式下土层的变形特征,进一步分析了上海地面沉降在时间、空间上的特征。薛禹群(2006)认为造成中国地面沉降的成因,主要是地下水的长期超量开采和第四纪以来的活动断裂和构造沉降,并呼吁要加深工程性沉降的机理研究。张云、叶淑君(2005, 2006)等通过土层变形监测和试验发现上海、常州地区砂层在某些位置和时段存在非弹性变形,不同的土层在不同的应力条件下其变形特性是不同的。李云安(2004, 2005)等采用三维渗流和三维固结耦合模型来研究抽水引起的地面沉降。王秀艳张云等

(2003, 2006)就采用室内渗透固结联合试验等,根据超固结黏性土变性特征,提出单位沉降量与孔隙比及附加压力成直线相关,总结出固结、超固结黏性土在有效应力增大、承压水位持续降低的作用下仍要产生释水形变。何庆成 2006 年指出大量开采地下水、重大的工程建筑物对地基施加的静荷载、低荷载的持续作用下土体的蠕变引起地基土的缓慢变形、地面上的动荷载在一定条件下也将引起土体的压密变形进而诱发地面沉降。施小清、吴吉春等 2008 年分析研究了长江三角洲地区及上海市的沉降机理与演变特征。龚世良 2008 年从系统分析了上海呈持续压缩的软黏土的结构特性,对地面沉降主要影响因素进行了量化分析。张勤 2009 年采用 GPS 和 InSAR 相结合的方法研究西安地面沉降,研究结果表明地下水过量抽取和大规模施工建设是地面的不均匀沉降的重要成因。宫辉力、张有全等(2008, 2009)针对北京区域地面沉降问题,采用 InSAR、GPS 等新技术结合常规立体监测网进行研究,结果表明地下水长期超量开采是北京地区地面沉降发生演变的主要原因。

五、研究实例

针对北京长期超量开采地下水、城市近地表空间开发利用、动静载荷逐年迅速增加等,引发的地下水降落漏斗、区域差异性地面沉降等环境问题,结合区域水循环的尺度和周期,集成优化 InSAR 遥感技术、地面、地下区域地面沉降立体监控网络,InSAR 技术的最新进展与常规地面沉降技术方法相结合,开展多层含水层系统演化与地面三维形变的互馈机理研究,揭示北京区域地面沉降的三维形变及其演化机理。

在多网集成研究的基础上,采用多轨 SAR 图像干涉测量方法,研究区域地下水流场时空系统演化。结合区域水文地质条件及地面沉降演化特征优化监测网优化设计,提高区域水文地质参数获取及定量刻画含水层系统特性的能力。开展基于地面形变场、地下水流场、地下水应力场的系统研究,揭示多层含水层系统演化与地面三维形变的互馈机理;量化研究地下水超采、自然沉降、动静载荷对区域地面不均匀沉降的实际贡献,阐明地下水流场演化特征及地面沉降发展趋势,为区域地面沉降调控提供了科学依据。总体研究思路如图 1 所示,总体方案如图 2 所示。主要进展如下。

(1) INSAR 新技术。提出基于幅度变化特征和相位空间相关特性结合的相干点集选取方法,提高相干点密度,降低去相干影响,保证单框架大区域形变监测结果的精度和可靠性;提出轨道基准转换、交轨 SAR 图像幅度相关性匹配相结合,获取高度一致性的交轨 SAR 图像干涉像元集,改善了地面沉降三维形变场提取精度。

(2) 对地观测高新技术的最新进展与现有地下水长期观测网、水准网等常

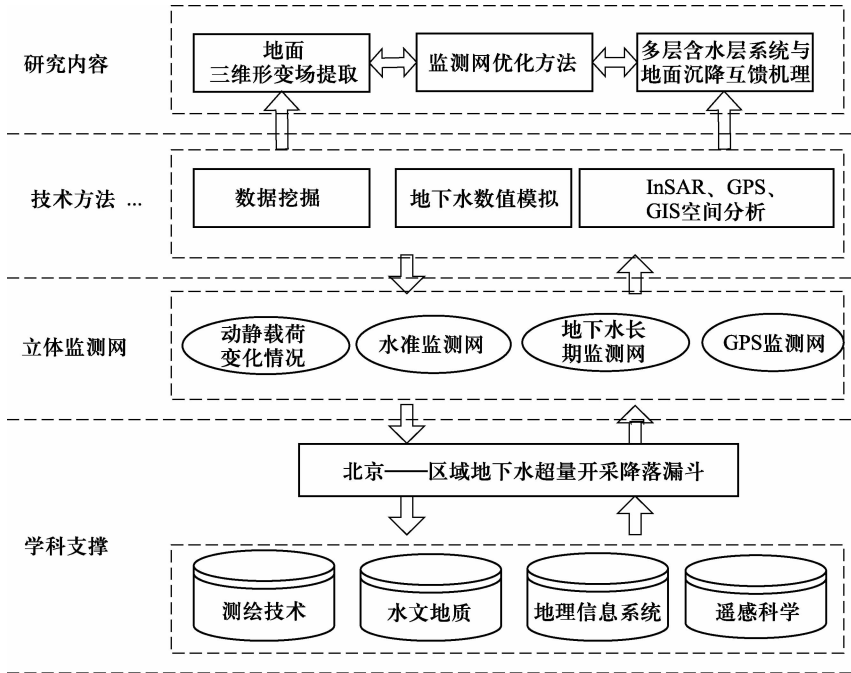


图 1 总体思路

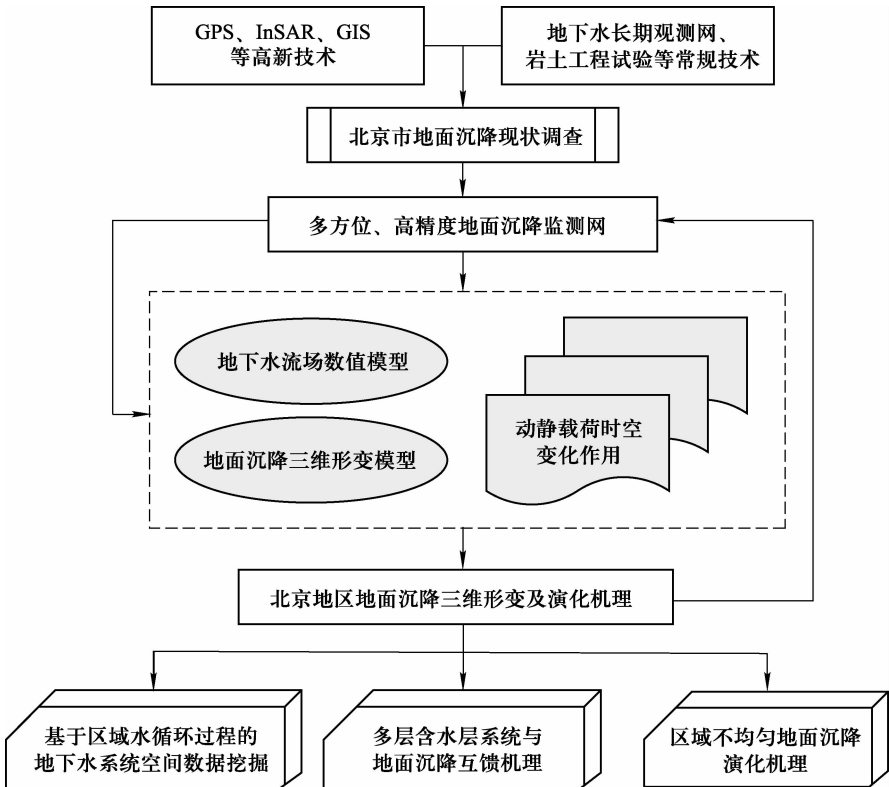


图 2 总体方案

规监测技术等常规地面沉降技术方法相结合,提高了三维形变立体监测精度和动态监测、预警能力。

(3) 量化地下水超采、自然沉降、动静载荷对区域地面沉降的不同贡献问题;研究基于区域水循环过程的地下水系统空间数据挖掘,阐明了地下水流场演变及地面沉降响应特征。

(4) 开展遥感、测绘、水文地质等学科交叉研究,结合不同尺度、不同周期的区域水循环过程,阐明多层含水层系统演化与地面沉降响应的互馈机制,揭示了北京区域地面沉降的三维形变及其演化机理。

其中,典型沉降区形变演化过程如图3所示、地下水流场与地面沉降速率如图4所示。

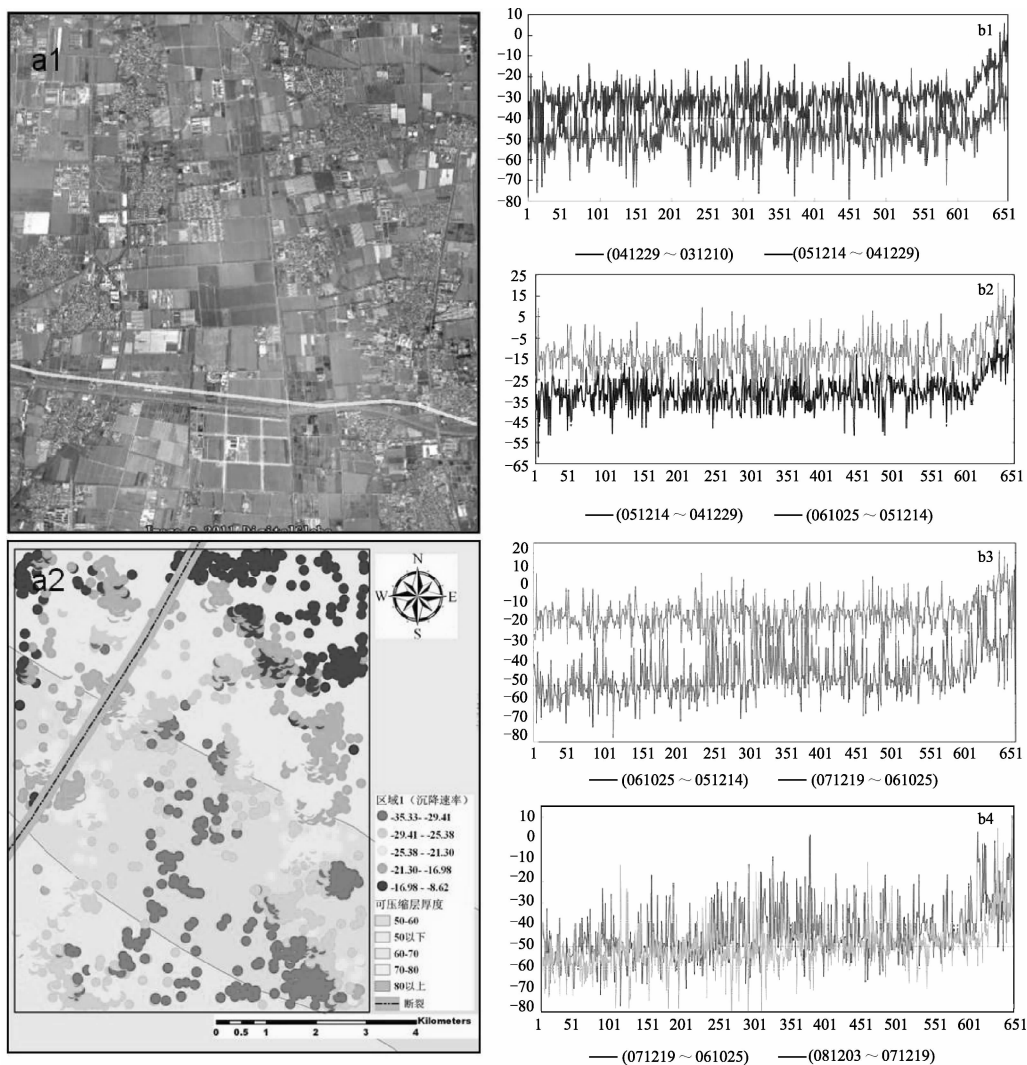


图3 典型沉降区形变演化过程

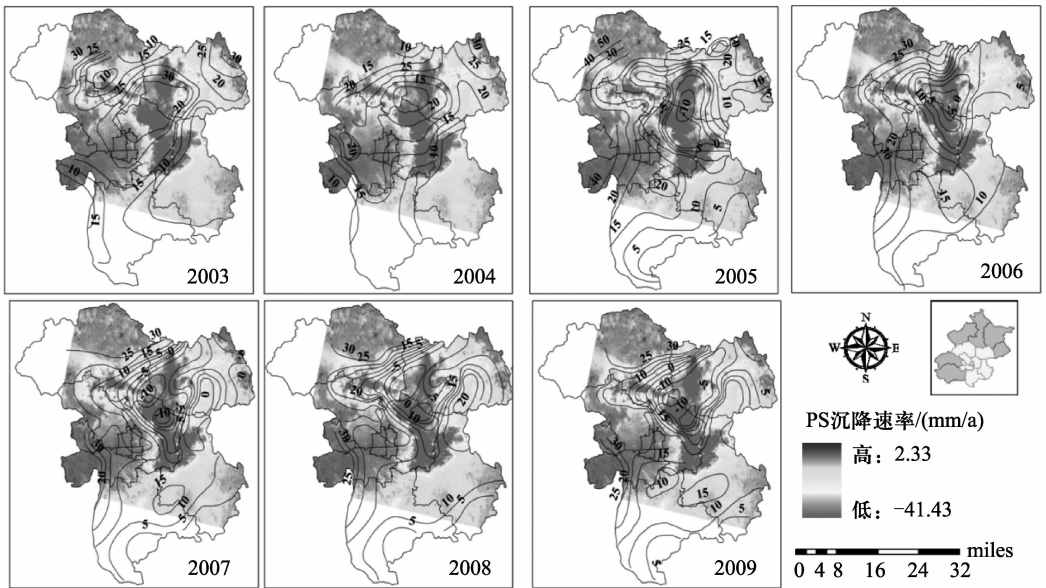


图4 地下水流场与地面沉降速率

六、结语

在地面沉降区域,结合不同尺度、不同周期的区域水循环过程,集成、优化由GPS、InSAR技术与地面、地下监测网构成的立体监控网络,将InSAR技术的最新进展与水准测量、分层标以及地下水观测网等常规技术方法相结合,可以提高形变监测精度。开展遥感、测绘、水文地质等学科的交叉研究,采用GIS空间分析、地下水数值模拟等技术方法,开展基于地面形变场、地下水流场相互作用的空间数据挖掘,揭示多层含水层系统演化与地面三维形变的互馈机理;量化研究地下水超采、自然沉降、动静载荷对区域地面不均匀沉降的实际贡献,有益于揭示地面沉降演化机理,为区域地面沉降调控提供科学依据。

参考文献

Ng A H M, Ge L L, Zhang K, et al. Deformation mapping in three dimensions for underground mining using InSAR-Southern highland coalfield in New South Wales, Australia [J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(22): 7227-7256.

Bawden G W, Thatcher W, Stein R S, et al. Tectonic contraction across Los

Angeles after removal of groundwater pumping effects [J]. *Nature*, 2001, 412 (6849) : 812 - 815.

Benzao T, Shaorong Z. Optimal design of monitoring networks with prior deformation information [J]. *Surv Rev*, 1995, 33 : 231 - 246

Burbey T J. Stress-strain analyses for aquifer-system characterization [J]. *Ground Water*, 2001, 39 (1) : 128 - 136.

Bürgmann R, Hilley G, Ferretti A, et al. Resolving vertical tectonics in the San Francisco Bay Area from permanent scatterer InSAR and GPS analysis [J]. *Geology*, 2006, 34 (3) : 221 - 224.

Cross P, Thapa K. The optimal design of levelling networks [J]. *Surv Rev*, 1979, 25 : 6R - 79.

Domenico P A, Mifflin M D. Water from low-permeability sediments and land subsidence [J]. *Water Resour Res*, 1965, 1 (4) : 563 - 576.

Rudolph D L, Frind E O. Hydraulic response of highly compressible aquitards during consolidation. *Water Resources. Research*, 1991, 27 (1) : 17 - 30.

Stevick E, Pohll G, Huntington J. 2005. Locating new production wells using a probabilistic-based groundwater model [J]. *Journal of Hydrology*, 303 (1) : 231 - 246.

Even-Tzur G. GPS vector configuration design for monitoring deformation networks [J]. *J Geod*, 2002, 76 : 455 - 461.

Yang F G, Cao S Y, Liu X N, et al. Design of groundwater level monitoring network with ordinary kriging. *J Hydrodyn*, 2008, 20 : 339 - 346.

Ferretti A, Savio G, Barzaghi R, et al. Submillimeter accuracy of InSAR time series: Experimental validation [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2007, 45 (5) : 1142 - 1153.

Fialko Y, Sandwell D, Simons M, et al. Three-dimensional deformation caused by the Bam, Iran, earthquake and the origin of shallow slip deficit. *Nature*, 435 (7040) : 295 - 299.

Galloway D L, Hudnut K W, Ingebritsen S E, et al. Detection of aquifer system compaction and land subsidence using interferometric synthetic aperture radar, Antelope Valley, Mojave Desert, California [J]. *Water Resources Research*, 1998, 34 : 2573 - 2585.

Fialko Y, Simons M, Agnew D. The complete (3 - D) surface displacement field in the epicentral area of the 1999 Mw7. 1 Hector Mine earthquake, California, from

space geodetic observations [J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28 (16) : 3063 - 3066.

Halford K J, Lacznia R J, Galloway D L. Hydraulic characterization of overpressured tuffs in central Yucca Flat, Nevada Test Site, Nye County, Nevada [R]. USGS Sci Invest Rep 2005 - 5211.

Hanson E J, Berkheimer S B. Effect of soil calcium applications on blueberry yield and quality [J]. *Small Fruits Rev*, 2004, 3 : 133 - 141.

Hantush M S, Jacob C E. Non steady Green's functions for an infinite strip of leaky aquifer. *Eos Trans AGU*, 1955, 36 (1) : 101 - 112.

Hantush M S. Modification of the theory of leaky aquifers. *J Geophys Res*, 1960, 65 : 3713 - 3725.

Herrera G S, Guarnaccia J, Pinder G F. 2000. A methodology for the design of space-time groundwater quality sampling networks [C] // Proceedings of the XIII International Conference on Computational Methods in Water Resources, Vol. 1, Calgary, Alberta, Canada, 25 - 29 June 2000, 579 - 585.



宫辉力 1956年9月生,博士,首都师范大学教授,博士生导师,城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地主任;国务院学位委员会第六届地理学科评议组成员,中国地理学会副理事长,国家减灾委专家委员会委员; UNESCO Chair in Hydroinformatics for Ecohydrology,俄罗斯工程院、俄罗斯自然科学院外籍院士,莫斯科心理师范大学名誉博士。曾获国家科学技术进步奖和教学成果奖。

后 记

科学技术是第一生产力。纵观历史,人类文明的每一次进步都是由重大科学发现和技术革命所引领和支撑的。进入 21 世纪,科学技术日益成为经济社会发展的主要驱动力。我们国家的发展必须以科学发展为主题,以加快转变经济发展方式为主线。而实现科学发展、加快转变经济发展方式,最根本的是要依靠科技的力量,最关键的是要大幅提高自主创新能力。党的十八大报告特别强调,科技创新是提高社会生产力和综合国力的重要支撑,必须摆在国家发展全局的核心位置,提出了实施“创新驱动发展战略”。

面对未来发展之重任,中国工程院将进一步加强国家工程科技思想库的建设,充分发挥院士和优秀专家的集体智慧,以前瞻性、战略性、宏观性思维开展学术交流与研讨,为国家战略决策提供科学思想和系统方案,以科学咨询支持科学决策,以科学决策引领科学发展。

工程院历来重视对前沿热点问题的研究及其与工程实践应用的结合。自 2000 年元月,中国工程院创办了中国工程科技论坛,旨在搭建学术性交流平台,组织院士专家就工程科技领域的热点、难点、重点问题聚而论道。十年来,中国工程科技论坛以灵活多样的组织形式、和谐宽松的学术氛围,打造了一个百花齐放、百家争鸣的学术交流平台,在活跃学术思想、引领学科发展、服务科学决策等方面发挥着积极作用。

至 2011 年,中国工程科技论坛经过百余场的淬炼,已成为中国工程院乃至中国工程科技界的品牌学术活动。中国工程院学术与出版委员会今后将论坛有关报告汇编成书陆续出版,愿以此为实现美丽中国的永续发展贡献出自己的力量。

中国工程院

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120