

引文格式: 宁津生, 王正涛. 从测绘学向地理空间信息学演变历程[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1213-1218. DOI: 10.11947/j. AGCS. 2017.20170375.
NING Jinsheng, WANG Zhengtao. Progresses from Surveying and Mapping to Geomatics[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(10): 1213-1218. DOI: 10.11947/j. AGCS. 2017.20170375.

从测绘学向地理空间信息学演变历程

宁津生, 王正涛

武汉大学测绘学院, 湖北 武汉 430079

Progresses from Surveying and Mapping to Geomatics

NING Jinsheng, WANG Zhengtao

School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: This paper aims to look back the three-step progresses of the Surveying and Mapping science and technology from traditional surveying and mapping to digital surveying and mapping, and then to informatization surveying and mapping which is also called Geomatics. It mainly discusses the changes and developments of the surveying and mapping science and technology in terms of the concept, theory, technology, method, application service and so on, with the evolution of the national needs and world science and technology developments. Besides, the way from Surveying and Mapping to Geomatics is also presented in detail, together with the changes of the concepts, disciplines and connotations in the Surveying and Mapping. Finally, the basic conceptions and definitions of digital surveying and mapping and Geomatics are given.

Key words: traditional surveying and mapping; geomatics; digital surveying and mapping; digital earth; geospatial framework

摘要: 本文是对测绘学科从传统测绘到数字化测绘,再到测绘信息化即地理空间信息学3阶段发展历程的回顾。主要阐述了测绘学科伴随着国家需求和世界科技发展的进程在理念、理论、技术、方法和应用服务等方面的变化和发展,较详细地记述了如何由测绘学向地理空间信息学的演变;演变过程中测绘学的理念、学科分类和内涵有哪些变化;并且对数字化测绘、测绘信息化(地理空间信息学)等给出了基本概念和定义。

关键词: 传统测绘;地理空间信息学;数字化测绘;数字地球;地理空间框架

中图分类号: P20

文献标识码: A

文章编号: 1001-1595(2017)10-1213-06

1994年美国以总统令提出建立“国家空间基础设施(NSDI)”,1998年美国前副总统戈尔提出“数字地球”的概念^[1-2],这一系列举动大大推进了社会信息化进程,成为抢占信息产业发展新的制高点和主动权的重大战略步骤,在世界上引起了极大的反响。各国都将其列入国家发展的重中之重,特别是“数字地球”的构想测绘行业中反应更显强烈,数字地球概念为测绘事业发展提供了新的机遇和更高层次的发展前景。短短几年时间里,测绘理论、方法、手段,测绘成果的表现形式和应用等方面都发生了质的变化,大大促进了测绘科技的发展。

GPS的出现革新了传统的经纬仪、全站仪定位方式;遥感卫星或数字摄影获得的影像代替了旧的摄影测量数据采集技术,测绘人员在室内借助高速大容量计算机和专用配套设备对遥感影像或信号记录数据进行地表(甚至地壳浅层)几何和物理信息的提取和变换,得出数字化地理信息产品,由此制作各类可供社会使用的专用地图和地理信息等测绘产品^[3],测绘生产任务已由传统的纸上或类似介质的地图编制、生产和更新发展到地理空间数据的采集、处理和管理。与此同时,光缆通信、卫星通信、数字化多媒体网络信息技术使测绘产品从单一纸质信息转变为磁盘和光盘等电

子信息,产品分发从单一邮路转到“电路”(数字通信和计算机宽带网络传输),在这些信息技术的支持下,测绘产品的形式和社会服务方式也发生了很大变化,实现了信息化的发展。

综上所述,借助以计算机技术、空间技术、通信技术和信息技术为支柱的测绘高新技术日新月异,发展迅猛,测绘学的理论基础、测绘工程的技术体系、研究领域和学科目标都发生了深刻变化。当前,与国家发展需求相适应,测绘业已成为一项重要的信息产业,它的服务范围 and 对象也在不断扩大,已经从原来的控制、测图、基本地形图制作,发展到国民经济和国防建设的各个领域。随着21世纪更加成熟的信息化社会的到来,测绘学必将迎来更高层次的发展,在未来数字地球的概念和技术框架中占据重要的基础性地位。

1 测绘学科向地理空间信息学演变历程

1.1 传统测绘

测绘学是一门古老学科,1880年德国科学家赫尔默特曾对 Geodesy 这个词下了一个定义:测量和描述地球的学科。现在都将 Geodesy 这个词定义成大地测量学,而且国内外都已约定俗成,毫无疑问。但是我们从赫尔默特对此词的定义和内涵看,它是测量和描述地球的学科,所以曾经有人将 Geodesy 这个词译成为“测地学”。

传统测绘学若按赫尔默特的定义,就是利用测量仪器测定地球表面自然形态的地理要素和地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等,然后根据观测到的数据通过地图制图的方法将地面的自然形态和人工设施等绘制成地图。

传统测绘的学科可划分为:大地测量学、摄影测量学、地图制图学、工程测量学和海洋测绘学。

(1) 大地测量学。大地测量学是研究地球表面及其外层空间点位的,精密测定地球的形状、大小和重力场,地球的整体与局部运动,以及他们的变化的理论和技术的学科^[4-5]。

(2) 摄影测量学。摄影测量学是研究利用摄影的手段获取目标物的影像数据,从中提取几何或物理信息,并用图形、图像表达的学科^[6]。

(3) 地图制图学。地图制图学是研究地图制作的基础理论、地图设计、地图投影、地图编绘和制作的技术方法及应用的学科^[7]。

(4) 工程测量学。工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中进行测量工作的理论和技术

的学科。它是测绘学在国民经济、社会发展和国防建设中的直接应用^[8]。

(5) 海洋测绘学。海洋测绘学是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制的理论和方法的学科^[9-10]。

传统测绘由于受到观测仪器和方法的限制,只能在地球的某一局部区域进行测量工作,具有如下特征:

- (1) 劳动强度大;
- (2) 时间延续长;
- (3) 测量精度低;
- (4) 限于局部范围;
- (5) 静态测量;
- (6) 应用范围和服务对象窄。

随着空间技术、计算机技术、信息技术和通信技术的发展及其在各行各业中的不断渗透和融合,测绘学这一古老的学科在这些新技术的支撑和推动下,出现了以3S技术为代表的现代测绘科学技术,使测绘学科从理论到技术发生了根本性的变化。

1.2 数字化测绘

20世纪90年代,测绘领域充分利用计算机技术、卫星导航定位技术、遥感技术、地理信息系统技术等现代高新测绘技术,实现了地理信息获取、处理、服务和应用全过程的数字化,测绘技术形态和产品形式都发生了深刻变化。随着全球定位系统全面应用于大地测量定位,以及全数字化自动测图系统、影像扫描系统、全数字空中三角测量系统、数字摄影测量工作站、地图编辑工作站、地图数字化系统等数字化测绘技术装备及地理信息系统基础软件和应用软件相继问世,一套适应新技术的系列数字化测绘标准和地理信息数据生产的工艺流程逐渐形成;进一步,随着卫星导航定位、遥感、数字化测图和地理信息系统等有机结合,测绘和地理信息的获取、处理、管理和服务的运行模式也得到相应发展。与此同时,电子(数字)测绘仪器取得重要进展,生产出了自主知识产权的电子(数字)经纬仪、测距仪、全站仪、GPS接收机等系列国产化仪器,开发了大量测图软件,基本实现了测绘仪器装备的数字化,彻底改变了传统的地图测制手段,基本解决了基于网络的数字化测绘生产、海量空间数据存储管理、空间数据库构建等关键技术难题,建成了一批基础地理信息中心和基础地理信息数据生产基地,测绘技术体

系实现了从传统向现代的历史性跨越。这一阶段是数字化测绘生产时代,或称为地图数字化时代,出现的新技术包括:全球导航卫星系统、卫星重力探测技术、航天遥感技术、数字地图制图技术、地理信息系统技术和虚拟现实模型技术^[1]。这一时期是数字化测绘技术体系全面建立阶段。

数字化测绘是将星载、空载和船载的传感器,以及地面各种测量仪器所获取的地理空间数据,通过信息技术和数字化方法,利用计算机硬件和软件对这些地理空间数据进行测量、处理、分析、管理、显示和利用。其显著特征包括:

- (1) 测绘仪器电子化与自动化;
- (2) 数据处理计算机化;
- (3) 测绘生产与产品形式数字化;
- (4) 测绘成果分发网络化。

1.3 测绘信息化与地理空间信息学(又称地球空间信息学)

随着信息社会的发展进步,信息技术与信息资源作为信息社会的两大支柱正在成为人类经济和社会活动的迫切需要,成为掌握未来竞争与发展主动权和制高点的重要条件。走以信息技术发展和信息资源建设为核心的信息化道路,已经成为经济社会发展的战略选择。随着国民经济和社会信息化进程的加快,测绘技术进步日新月异,地理信息需求迅速增长,数字化测绘技术和产品已经在众多领域得到广泛应用,测绘开始进入信息化时代。走测绘信息化发展道路,推进测绘信息化发展,是信息社会对测绘发展的基本要求^[11-14]。

信息化测绘是在完全网络运行环境下,利用数字化测绘技术为经济社会实时有效地提供地理空间信息综合服务的一种新的测绘方式和功能形态。测绘信息化的特点主要体现在以下几个方面^[15-22]:

(1) 信息获取实时化:地理信息数据获取主要依赖于空间对地观测技术手段,如卫星导航快速定位技术、航空航天遥感技术等,可以动态、快速乃至实时地获取测绘需要的各类数据。

(2) 信息处理自动化:在地理信息数据的处理、管理、更新等过程中广泛采用自动化、智能化技术,可以实现地理信息数据的快速或实时处理。

(3) 信息服务网络化:地理信息的传输、交换和服务主要在网络上进行,可以对分布在各地的地理信息进行“一站式”查询、检索、浏览和下载,任何人在任何时候、任何地方都可以得到权限范

围内的地理信息服务。

(4) 信息应用社会化:地理信息应用无处不在,企业成为服务的主体,地理信息资源得到高效利用,并在经济社会发展和人民生活中发挥更大的作用。

面向全社会提供地理信息服务是新时期测绘发展的主要任务,同时也标志着测绘现代化建设或测绘信息化发展进入一个新的阶段,即以地图生产为主向以地理信息服务为主转变的阶段。信息化测绘体系是以多源化、空间化、实时化数据获取为支撑,以规模化、自动化、智能化数据处理与信息融合为主要技术手段,以多层次、网格化为信息存储和管理形式,产品服务从单一的测绘数字产品形式转变为社会各部门、各领域的多元信息和技术服务方式,能够形成丰富的地理信息产品,通过快速、便捷、安全的网络设施,为社会各部门、各领域提供多元化、人性化地理信息服务,是测绘业务手段现代化的综合体现和重要标志。测绘信息化体系建设是实现测绘信息化的重要途径,主要强调地理信息获取实时化、处理自动化、服务网络化和应用社会化^[23-24]。测绘信息化体系构建包括:

(1) 较为完善的全国统一、高精度、动态的现代化测绘基准体系;

(2) 现势性好、品种丰富的基础地理信息资源体系;

(3) 基于航天、航空、地面、海上的多平台、多传感器实时化地理信息获取体系;

(4) 基于空间信息网格和集群处理技术的一体化、智能化、自动化地理信息处理体系;

(5) 基于丰富地理信息产品和共享服务平台的网络化地理信息服务体系;

这一阶段出现了 3 个新的学科:卫星导航定位、航空航天测绘和地理信息工程。

2 测绘学的现代概念与内涵

从前述测绘学的发展历程可以看出,现代测绘学是指地理空间数据的获取、处理、分析、管理、存储和显示的综合研究。原来各个测绘分支学科之间的界限已随着计算机和通信技术的发展逐渐变得模糊了。某一个或几个测绘分支学科已不能满足现代社会对地理空间信息的需求,相互之间更加紧密地联系在一起,并与地理和管理学科等其他学科知识相结合,形成测绘学的现代概念与

内涵,即研究地球和其他实体的与时空分布有关信息的采集、量测、处理、显示、管理和利用的科学与技术。它的研究内容则是确定地球和其他实体的形状和重力场及空间定位,利用各种测量仪器、传感器及其组合系统获取地球及其他实体与地理空间分布有关的信息,制成各种地形图、专题图和建立地理、土地等空间信息系统,为研究地球的自然和社会现象,解决人口、资源、环境和灾害等社会可持续发展中的重大问题,以及为国民经济和国防建设提供技术支撑和数据保障。测绘学科的应用范围和服务对象——从控制到测图(制作国家基本地形图)的任务扩大到与地理空间信息有关的各个领域,特别是在建设“数字中国”和“智慧中国”中,测绘学将构建用于集成各类自然、社会、经济、人文、环境等方面信息的统一的地理空间载体,即构建与数字中国相关联的国家地理空间框架,或构建与智慧中国概念相关联的时空信息基础设施。测绘学已完成由传统测绘向数字化测绘的过渡,现在正在向测绘信息化发展。由于将空间数据与其他专业数据进行综合分析,致使测绘学科从单一学科走向多学科的交叉,其应用已扩展到与空间分布信息有关的众多领域,显示出现代测绘学正向着近年来兴起的一门新兴学科——地理空间信息科学(Geo-Spatial Information Science,简称 Geomatics)跨越和融合。地理空间信息学包含了现代测绘学的所有内容,但其研究范围较之现代测绘学更加广泛。

1996年,国际标准化组织(ISO)对地理空间信息学(Geomatics)给出了它的定义:“Geomatics is a field of activity which, using a systematic approach,integrates all the means used to acquire and manage spatial data required as part of scientific, administrative, legal and technical operations involved in the process of production and management of spatial information. These activities include, but are not limited to, cartography, control surveying, digital mapping, geodesy, geographic information systems, hydrography, land information management, land surveying, mining surveying, photogrammetry and remote sensing”。ISO还给出以下的简明定义:“Geomatics is the modern scientific term referring to the integrated approach of measurement, analysis, management and display of spatial data”。地理空间信息学是地球科学的一个前沿领域,它利用系统

化的方法,集成了用来获取和管理空间数据的所有技术。这些数据是产生和管理诸如科学、行政、法律和技术等涉及空间信息过程所需的支撑数据。这些领域包括(但不仅限于)地图学、控制测量、数字制图、大地测量学、地理信息系统、海道测量学、土地信息管理、土地测量、矿山测量、摄影测量与遥感^[25-26]。

3 测绘与地理空间信息学

地理空间信息学不仅包含现代测绘科学的所有内容,而且体现了多学科的交叉与渗透,并特别强调计算机技术的应用。地理空间信息学不局限于数据的采集,而是强调对地球空间数据和信息从采集、处理、量测、分析、管理、存储到显示和发布的全过程。这些特点标志着测绘学科从单一学科走向多学科的交叉;从利用地面测量仪器进行局部地面数据的采集到利用各种星载、机载和舰载传感器实现对地球表面及其环境的几何、物理等数据的采集;从单纯提供静态测量数据和资料到实时/准实地提供随时空变化的地球空间信息。将空间数据和其他专业数据进行综合分析,其应用已扩展到与空间分布有关的诸多方面,如环境监测与分析、资源调查与开发、灾害监测与评估、现代化农业、城市发展、智能交通等。胡锦涛同志在中国科学院和中国工程院院士大会上的讲话中指出“要加快遥感、地理信息系统、全球定位系统、网络通信技术的应用以及防灾减灾高技术成果转化和系统集成,建立国家综合减灾和风险管理信息共享平台,完善国家和地方灾情监测、预警、评估、应急救助指挥体系”。

“十二五”期间我国测绘工作的总体战略是:构建数字中国,监测地理国情,发展壮大产业,建设测绘强国。数字中国是指以高速宽带网络通信技术为基础,以国家空间信息基础设施为依托,以虚拟现实技术为特征,在统一的规范标准环境下,全面系统地揭示和反映中国的自然、社会和人文现象的信息系统体系。地理国情是关于国土疆域、地形地貌、地表覆盖、江河湖泊、交通网络、城镇、人口与生产力、资源环境、灾害等空间分布和时空变化的基本国情。利用现代空间信息技术对地理国情的现状与变化进行测绘、统计和分析,客观准确地揭示其空间分布规律和发展演化趋势,可为资源与生态环境保护、经济社会发展、战略规划制定、区域协调发展、重大国际问题应对等提供

有力支撑。地理信息产业指对地理信息资源进行采集、加工、开发、服务和经营,是新兴的高新技术产业,涉及地图、地理信息系统、遥感、卫星导航等产业分支。地理信息的生产应用覆盖面广、产业链长、关联度大、增长迅速,具有智力要素密集度高、产出附加值高、资源消耗少、无环境污染等特点,并与国家安全直接相关^[27]。

4 结 语

当代测绘科学技术已从传统测绘学向近代的地理空间信息学演变,在其学科发展中呈现出知识创新和技术带动能力。它已形成为一门利用航天、航空、近地、地面和海洋平台获取地球及其外层空间目标物的形状、大小、空间位置、属性及其相互关联的学科。现代空间定位技术、遥感技术、地理信息技术、计算机技术、通信技术和网络技术的发展,使人们能够快速、实时和连续不断地获取有关地球及其外层空间环境的大量几何与物理信息,极大地促进了与地球空间信息获取与应用相关学科的交叉和融合。现代测绘科学技术学科的社会作用和应用服务范围正不断扩大到与地理空间信息有关的各个领域,特别是在建设“数字中国”和“智慧中国”中发挥着重要基础性作用。

参考文献:

- [1] 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.
LI Deren, GONG Jianya, SHAO Zhenfeng. From Digital Earth to Smart Earth[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2010, 35(2): 127-132.
- [2] 宁津生, 晁定波. 数字地球与现代测绘科技的发展[J]. 测绘通报, 1999(12): 10-12. DOI: 10.3969/j.issn.0494-0911.1999.12.005.
NING Jinsheng, YAO Dingbo. Digital Earth and the Development of Modern Surveying and Mapping Science and Technology[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 1999(12): 10-12. DOI: 10.3969/j.issn.0494-0911.1999.12.005.
- [3] 宁津生, 王正涛. 面向信息化时代的测绘科学技术新进展[J]. 测绘科学, 2010, 35(5): 5-10.
NING Jinsheng, WANG Zhengtao. The Newest Progress of Surveying & Mapping Oriented Informatization Stage[J]. Science of Surveying and Mapping, 2010, 35(5): 5-10.
- [4] 李建成. 最新中国陆地数字高程基准模型: 重力似大地水准面 CNGG2011 [J]. 测绘学报, 2012, 41(5): 651-660, 669.

- LI Jiancheng. The Recent Chinese Terrestrial Digital Height Datum Model: Gravimetric Quasi-geoid CNGG2011 [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2012, 41(5): 651-660, 669.
- [5] 宁津生, 王华, 程鹏飞, 等. 2000 国家大地坐标系框架体系建设及其进展[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(5): 569-573.
NING Jinsheng, WANG Hua, CHENG Pengfei, et al. System Construction and Its Progress of China Geodetic Coordinate System 2000 [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015, 40(5): 569-573.
- [6] 克里斯蒂安·海普克, 唐粮. 摄影测量与遥感之发展趋势和展望[J]. 地理信息世界, 2011(4): 7-11.
HEIPKE C, TANG Liang. Developing Trends and Prospect of Photogrammetry and Remote Sensing [J]. Geomatics World, 2011(4): 7-11.
- [7] 王家耀. 地图制图学与地理信息工程学科发展趋势[J]. 测绘学报, 2010, 39(2): 115-119, 128.
WANG Jiayao. Development Trends of Cartography and Geographic Information Engineering [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2010, 39(2): 115-119, 128.
- [8] 张正禄. 工程测量学 [M]. 2 版. 武汉: 武汉大学出版社, 2013.
ZHANG Zhenglu. Engineering Geodesy [M]. 2nd ed. Wuhan: Wuhan University Press, 2013.
- [9] 黄文骞. 海洋测绘信息处理新技术 [J]. 海洋测绘, 2010, 30(5): 77-80.
HUANG Wenqian. New Technologies of Hydrography and Cartography Information Processing [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2010, 30(5): 77-80.
- [10] 刘秋生, 韩范畴, 肖京国, 等. 海洋测绘信息数字平台建设 [J]. 海洋测绘, 2010, 30(1): 79-82.
LIU Qiusheng, HAN Fanchou, XIAO Jingguo, et al. Hydrographic Survey and Charting Digitalizing Platform Construction [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2010, 30(1): 79-82.
- [11] 宁津生, 王正涛. 测绘学科发展综述 [J]. 测绘科学, 2006, 31(1): 9-16.
NING Jinsheng, WANG Zhengtao. A Summary of the Newest Progress of Surveying and Mapping (S&M) [J]. Science of Surveying and Mapping, 2006, 31(1): 9-16.
- [12] 宁津生. 从测绘学科发展看 GIS 专业的学科建设 [J]. 测绘科学, 2003, 28(4): 1-3.
NING Jinsheng. About the Construction of GIS Discipline from the Development of Surveying and Mapping [J]. Science of Surveying and Mapping, 2003, 28(4): 1-3.
- [13] 宁津生, 王正涛. 2011—2012 测绘学科发展研究综合报告: 上 [J]. 测绘科学, 2012, 37(3): 5-10.
NING Jinsheng, WANG Zhengtao. Development and Research Comprehensive Report of 2011—2012 Surveying and Mapping: I [J]. Science of Surveying and Mapping, 2012, 37(3): 5-10.

- [14] 宁津生, 王正涛. 2011—2012 测绘学科发展研究综合报告: 下[J]. 测绘科学, 2012, 37(4): 5-12.
NING Jinsheng, WANG Zhengtao. Development and Research Comprehensive Report of 2011—2012 Surveying and Mapping: II [J]. Science of Surveying and Mapping, 2012, 37(4): 5-12.
- [15] 刘经南. GNSS 连续运行参考站网的下一代发展方向——地基地球空间信息智能传感网络[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2011, 36(3): 253-256.
LIU Jingnan. Next-step Development of GNSS-based Continuously Operating Reference Stations (CORS) Network; Geoinfo-sensor-web [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2011, 36(3): 253-256.
- [16] 刘顺喜, 王忠武, 尤淑撑. 中国民用陆地资源卫星在土地资源调查监测中的应用现状与发展建议[J]. 中国土地科学, 2013, 27(4): 91-96.
LIU Shunxi, WANG Zhongwu, YOU Shucheng. Status and Suggestions on Applying Domestic Civilian Satellites to Land Resource Survey and Monitoring[J]. China Land Science, 2013, 27(4): 91-96.
- [17] 宁津生, 王正涛. 地球重力场研究现状与进展[J]. 测绘地理信息, 2013, 38(1): 1-7.
NING Jinsheng, WANG Zhengtao. Progress and Present Status of Research on Earth's Gravitational Field[J]. Journal of Geomatics, 2013, 38(1): 1-7.
- [18] 杨元喜, 张丽萍. 中国大地测量数据处理 60 年重要进展: 第二部分: 大地测量参数估计理论与方法的主要进展[J]. 地理空间信息, 2010, 8(1): 1-6.
YANG Yuanxi, ZHANG Liping. Progress of Geodetic Data Processing for 60 Years in China; Part 2: Progress of Parameter Estimation Theory and Methodology[J]. Geospatial Information, 2010, 8(1): 1-6.
- [19] 宁津生, 姚宜斌, 张小红. 全球导航卫星系统发展综述[J]. 导航定位学报, 2013, 1(1): 3-8.
NING Jinsheng, YAO Yibin, ZHANG Xiaohong. Review of the Development of Global Satellite Navigation System [J]. Journal of Navigation and Positioning, 2013, 1(1): 3-8.
- [20] 宁津生, 黄谟涛, 欧阳永忠, 等. 海空重力测量技术进展[J]. 海洋测绘, 2014, 34(3): 67-72, 76.
NING Jinsheng, HUANG Motao, OUYANG Yongzhong, et al. Development of Marine and Airborne Gravity Measurement Technologies[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2014, 34(3): 67-72, 76.
- [21] 李婧怡, 林坚, 刘松雪, 等. 2014 年土地科学研究重点进展评述及 2015 年展望——土地利用与规划分报告[J]. 中国土地科学, 2015, 29(3): 3-12.
LI Jingyi, LIN Jian, LIU Songxue, et al. Progress Review on Land Sciences Research in 2014 and Prospects for 2015: Sub-report of Land Use and Planning [J]. China Land Science, 2015, 29(3): 3-12.
- [22] 徐聪, 曹沫林, 李柏明. 矿山测量技术的发展与探讨[J]. 矿山测量, 2011(1): 58-60.
XU Cong, CAO Molin, LI Boming. Development and Discussion of Mine Surveying Techniques[J]. Mine Surveying, 2011(1): 58-60.
- [23] 杨元喜. 北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 1-6.
YANG Yuanxi. Progress, Contribution and Challenges of Compass/BeiDou Satellite Navigation System [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2010, 39(1): 1-6.
- [24] 舒怀. 从“百度迁徙”看位置服务与大数据融合[J]. 卫星应用, 2014(5): 39-40.
SHU Huai. Analysis of the Integration of Location Service and Big Data from Baidu Migration[J]. Satellite Applications, 2014(5): 39-40.
- [25] 李德仁. 展望大数据时代的地球空间信息学[J]. 测绘学报, 2016, 45(4): 379-384. DOI: 10.11947/j. AGCS. 2016.20160057.
LI Deren. Looking at the Earth's Space Informatics in the Big Data Age[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2016, 45(4): 379-384. DOI: 10.11947/j. AGCS.2016.20160057.
- [26] 柳林, 李德仁, 李万武, 等. 从地球空间信息学的角度对智慧地球的若干思考[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2012, 37(10): 1248-1251.
LIU Lin, LI Deren, LI Wanwu, et al. Thoughts on Smarter Planet from the View of Geomatics [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(10): 1248-1251.
- [27] 周星, 周德军. 关于测绘信息化发展有关问题的探讨[J]. 测绘科学, 2008, 33(S2): 101-102, 107.
ZHOU Xing, ZHOU Dejun. Discussion on the Development of Surveying and Mapping Information [J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(S2): 101-102, 107.

(责任编辑:张燕燕)

收稿日期: 2017-07-02

修回日期: 2017-08-29

第一作者简介: 宁津生(1932—),男,教授,中国工程院院士,研究方向为物理大地测量的理论与方法研究。

First author: NING Jinsheng (1932—), male, professor, academician of the Chinese Academy of Engineering, majors in the research of the physical geodesy theory and methods.

E-mail: jsning@sgg.whu.edu.cn