

新地理信息时代的信息化测绘

李德仁¹ 王艳军¹ 邵振峰¹

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘要:从物联网等新技术对信息化测绘带来的机遇和挑战出发,总结了新地理信息时代的 5 大特征,提出了信息化测绘是新地理信息时代测绘发展的新阶段。基于当前信息化社会对测绘产品的需求,探讨和设计了信息化测绘需要增加的服务内容和服务形式,并实践了信息化测绘体系当前可推进的相关具体服务。

关键词:新地理信息时代;信息化测绘;空间信息服务;可量测实景影像;按需服务

中图法分类号:P208

自从罗杰·汤姆林森在 20 世纪 60 年代提出地理信息系统以来,已在其 40 多年的发展历程中取得了巨大成就,并广泛地应用于土地利用、资源管理、环境监测、交通运输、城市规划、经济建设等以及政府各职能部门^[1]。随着 Google Earth、Virtual Earth、Web 2.0、下一代互联网、传感器网络和物联网的出现及其发展,将数字地球与物联网结合起来形成“智慧地球”,人类可以以更加精细和动态的方式去管理生产和生活,从而达到“智慧”状态^[2]。计算资源从单机电脑、局域网、互联网发展到移动物联网和语义网的普适计算^[3],人人都成为传感器^[4]。软件体系结构从面向过程、面向对象发展到面向服务架构,互联网环境下的空间信息也从数据共享、信息共享走向以计算能力、存储能力和交互能力为主的服务共享^[5],因此,依托互联网,可随时随地获得个性化空间信息服务。

同时,云计算使空间信息服务可在更大范围内部署,知名软件服务商同时也可以成为其他 SaaS(software-as-a-service,软件即服务)供应商的基础平台。Web 2.0 可为用户提供具备体验性、沟通性、差异性、创造性和关联性等服务^[6],近年来随着物联网的加速发展,尤其是网格 GIS^[7]与智能传感器的出现,用户数量和服务内容等方面带来了质的飞跃。传感器网络将大量原始的空天地可量测实景影像外方位元素及其主体量测软件一起上传到网络上,将使“按规范测量”的传统

模式,有望变成“按需要测量”的新模式^[1],测绘成果从传统的文件拷贝、数据库交互发展到基于网络和云计算的实时在线分布式共享方式^[8]。为此,新地理信息时代的信息化测绘是必然趋势。地理信息资源是国家的重要基础性、战略性信息资源。我国已将国家测绘局更名为国家测绘地理信息局,来加快发展测绘事业和地理信息产业,丰富测绘地理信息产品和服务。

1 信息化测绘是新地理信息时代测绘发展的新阶段

在文献[1]中,笔者详细研究了新地理信息时代的这些特征,并讨论了需要面对的问题与挑战及其积极的应对策略。

信息化测绘是测绘发展的必然趋势,传统手工式或数字化的测绘体系,也必将过渡和发展到以服务为本质的信息化测绘^[9]。

传统测绘的 4D 产品(即数字高程模型 DEM、数字正射影像 DOM、数字线划地图 DLG 和数字栅格地图 DRG)在新地理信息时代不能满足信息化社会的需求,存在以下问题:

1) 4D 产品社会化属性不足。4D 产品是按测绘规范制作的基础测绘产品,仅对测绘规范中要求的地理要素进行了测绘,没有包含详细的环境、社会、经济和人文等信息,而不同的部门用户却有不同的应用需求。

2) 4D 产品内容现势性较差。现有 4D 产品更新手段落后,生产效率低下,难以适应地图更新要求,更难以满足应急响应的需求。

3) 4D 产品加工处理周期长,生产速度慢。受摄影方向和外业采集条件的局限,航片或卫片存在判读难的问题,有时不能或难以判读某些地物属性,且易受人工调绘的主观局限,直接影响了成图的精度。以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为基本特征的信息化测绘成为测绘发展的大趋势^[10]。信息化测绘以 3S 集成技术为先导,实现空间数据实时/准实时获取和更新,构建 SDI(spatial data infrastructure,空间数据基础设施),以“系统-数据库-网格”应用为基础,建立数字地球,实现传统 4D 产品、可量测实景影像(digital measurable image,DMI)和三维地形及景观模型,满足测绘产品社会化需求目标。信息化测绘的本质是服务,可最大限度地满足各行各业的需求是其价值的体现。

2 信息化测绘服务内容和形式

信息化测绘的服务内容和形式多样化。从 4D 的数字地图数据及其元数据到面向市场的 DNM(digital navigation map, 数字导航地图),再到集成 5D 产品的空天地一体化;从 SDI 到 LBS(location based service, 基于位置的服务),再到 SIG(spatial information grid, 空间信息网格)和可知识挖掘的空间信息服务;从静态的二维平面到动态的基于图形信息和影像信息的三维可视化^[11]。信息化测绘成果和信息量更加丰富,能更加准确地反映现势性的地理信息,标准化的 5D 产品将满足各种需要的数字地图、地理数据、空间分析功能和决策支持系统等。

2.1 信息化测绘服务的基本要求

信息化测绘服务的基本要求包括:

1) 大众化。Web2.0 等技术的发展促进了测绘地理信息的应用和普及,人人都成为“自发传感器”空间数据基础设施^[4],各类信息的普适获取、集成和通信的机制,可方便地通过网络环境共享和发布,成为大众化的产品形态。

2) 开放性。开放式的 Web Services 接口通过 WSDL(web services description language, Web 服务描述语言)、UDDI(universal description discovery and integration, 统一描述发现和集成)和 SOAP(simple object access protocol, 简单对象访问协议)等定义、发现和绑定方法,将海量的地理信息纳入

到互联网系统中,用户应用符合 OGC(open geospatial consortium, 开放地理信息联盟)互操作规范的 WMS(web map service, 网络地图服务)、WCS(web coverage service, 网络覆盖服务)、WFS(web feature service, 网络要素服务)和 WPS(web processing service, 网络地理处理服务)等标准,可自由地参与软件的应用开发,实现分布式地理信息处理框架^[8]。因此,未来网络地图将是全球无数网民合力打造的开放“数字地球”。

3) 三维可视化。三维可视化能够集成全球海量的多数据源、多分辨率、多尺度和多时相的矢量、影像、地形和城市精细景观模型数据,将空间数据、属性数据与图片数据统一组织管理,比较符合真实地理空间三维环境,迎合新地理信息时代的典型特征。

4) 可量测和可挖掘。信息化测绘服务不仅直观,而且通过相应的应用软件、插件和 API,用户可按需进行直观浏览、相对测量(高度、坡度等)、绝对定向解析测量和属性信息挖掘。信息化测绘服务包含了传统地图所不能表现的空间语义,代表着地理实际的物理状况,是聚合与人们生活环境相关的社会、经济和人文知识的地球全息图。

5) 实时/准实时。实时/准实时的信息化测绘服务,包括各类地理数据的快捷获取、产品流程化作业、地理服务互操作和测绘资源的共享,可快速及时地回答用户提出的问题,满足应急响应如抗震救灾等应用的现势性要求。

2.2 信息化测绘的服务架构和服务内容

结合新地理信息时代特征和信息化测绘体系的服务内容和形式,分析归纳出信息化测绘的服务架构如封二彩图 1 所示。信息化测绘的服务架构主要由信息化测绘网络基础设施、测绘服务提供者、服务注册中心和服务使用者组成。基于天-空-地一体化智能传感器网络及物联网,可实时/准实时地快速获取基础测绘 4D 数据、专题应用数据、三维模型和可量测实景影像数据等,支持数据的提取、建库与更新。

基于信息化测绘的服务架构,可提供满足信息化测绘管理需要的服务内容,如图 1 所示。通过信息化测绘的基础硬件设施和网络服务,可以将异质异构的各类地理空间框架数据服务进行服务分发和服务注册,并结合地理功能服务实现服务发现和服务组合,最终以在线服务(网络在线实时调用数据服务和功能服务)、零码组装(二次开发定制或扩展应用程序)或离线服务(不同网络线

下访问数据服务和功能服务)等方式满足各类用户的应用需求。

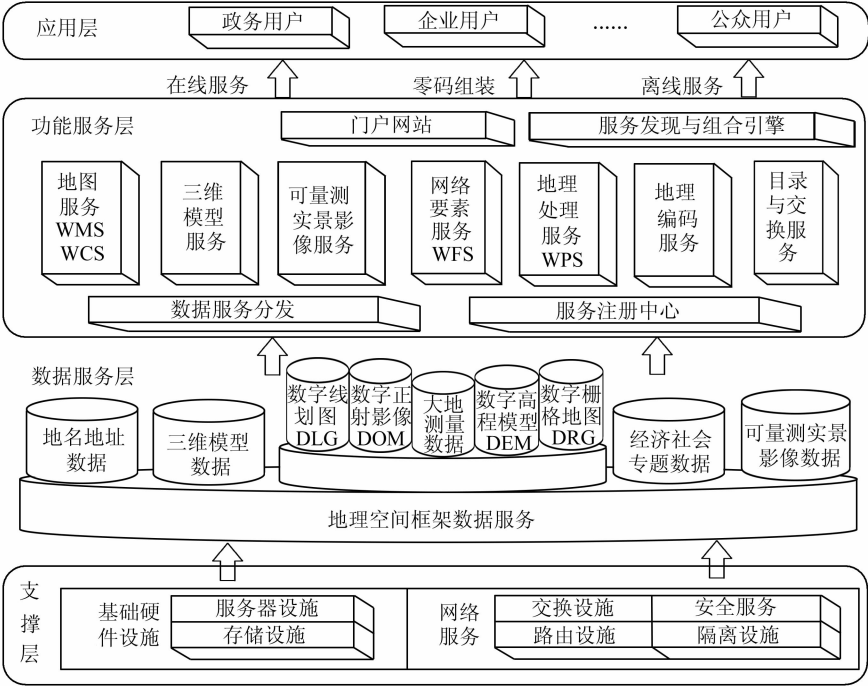


图 1 信息化测绘的服务内容
Fig. 1 Service Content of Geo-informatization System

3 信息化测绘体系当前可推进的服务实践

根据信息化测绘服务的基本要求和 service 架构设计,可应用机载 LiDAR 等对地观测新技术进行基础地理数据的更新和重点目标三维建模,基于光学成像和激光雷达技术进行移动道路快速采集和测量,星载 SAR(synthetic aperture radar,合成孔径雷达)数据可快速生成 DOM 或 DEM 产品,为普通大众和专业用户提供按需基础测绘信息服务和基于可量测实景影像的空间信息服务。

3.1 基于机载 LiDAR 的数据更新和目标建模

LiDAR 由回波测量距离、POS(position & orientation system,高精度定位定向系统)测量飞机姿态和激光束扫描角度,即可以获得地面点的三维坐标。装置分类为星载、机载和车载 LiDAR,其数据平面精度可达到 10~75 cm,垂直精度可达到 5~15 cm,影响平面和垂直精度的因素主要有 GPS、IMU(inertial measurement unit,惯性测量单元)及 LiDAR 自身的精度限制,外因主要与航线设计、飞行条件、大气条件、地形起伏和植被覆盖等有关。

机载 LiDAR 获取的地面区域点云数据,经过多分辨率分析、多级移动曲面拟合和等高线的

表面估计等数据滤波算法和分类预处理,按照最近点插值法、局部多项式插值法或三角网线性插值法等内插成格网,结合特征线构建不规则三角网 TIN,可快速生成等高线和 DOM 等基础测绘产品,获取高精度、高时空分辨率的数字地面模型 DTM 及城市表面模型 DSM。利用机载 LiDAR 提取地貌断裂带信息用于抗震救灾,可进行地质滑坡稳定性分析及滑坡后规模和危害性评估研究,并可用于提取海岸线和海岸侵蚀分析^[12]。基于 LiDAR 点云数据与影像配准和融合分类,可自动提取建筑物和三维建模,典型的方法有基于平面拟合的区域增长法则、面向对象的分类方法以及基于 Dempster-Shafer(D-S)理论多源数据融合的建筑物自动提取方法^[13],提取的建筑物信息在城市和区域规划、交通规划、人口估计和预测、污染分析及能量预算等应用中都有十分重要的作用。

封二彩图 2 为 2008-05-12 四川省汶川发生地震后,采用机载 ADS-40 和机载 LiDAR 对唐家山堰塞湖流域地形进行紧急航空摄影测量,在最短时间提供的高精度三维数字景观模型(DOM+DEM),为堰塞湖的险情排除提供了第一手基础数据。

3.2 基于激光雷达技术的移动道路测量系统

多平台和多传感器集成可快速获取空间数

据,在机动车上装配 GPS、CCD(charge coupled device,电荷耦合器件)、INS/DR(inertial navigation system/double satellite,惯性导航/双星组合系统)等传感器和设备,可在车辆高速行进中快速采集道路及两旁地物的可量测立体影像序列,即为移动道路测量系统。利用车载 GPS/IMU/MM 组合导航模块获取载体中心当前坐标,根据检校参数计算 CCD 图像的位置和姿态,结合多传感器高精度同步和协同检校,利用 CCD 立体像对计算地物的空间坐标。

基于光学成像和激光雷达技术的移动道路测量系统中,基于严谨的理论提供高精度快速测量服务,改变了传统外内业测绘模式,实现“一次测量,多次应用”的按需测量模式^[14]。

移动道路测量系统在道路上进行动态扫描,得到全景影像数据、激光扫描数据和系统定位定姿数据,将这些数据融合处理得到整个场景的激光点云。三维点云数据根据高程的变化生成伪彩色点云,见封二彩图 3(a),反投到全景影像上获取真彩色信息,生成真彩色点云,见封二彩图 3(b),与已有的测绘数据进行融合,可得到真实场景影像,见封二彩图 3(c)。

3.3 星载 SAR 数据处理与应用

星载合成孔径雷达 SAR(synthetic aperture radar)为侧视成像系统,具有全天时、全天候数据获取特点。TerraSAR、Radarsat-2 和 COSMO-SkyMed 为 2007 年以后发射的高分辨率、多极化、多模式的雷达卫星。在山地和高山地等选点困难地区,或无地面控制点地区进行星载 SAR 影像正射纠正时,多采用距离-多普勒(R-D)模型、共线方程模型和地球物理模型进行影像模拟纠正和对地定位。目前,较普遍适用的是采用 RPC 模型代替 R-D 模型并利用改进的模拟影像灰度确定方式进行星载 SAR 影像模拟,建立模拟影像和真实影像之间关系进行正射纠正^[15]。星载 SAR 差分干涉测量可提取地震同震形变场^[16],研究地震后的断裂带变化和地表形变,多通道/多波束星载 SAR 可实现高分辨率宽测绘带成像。

经过系统几何纠正处理的 SAR 影像是 GEC 级别的 SAR 产品,需要严密成像几何模型以消除地面高低起伏引起的投影差,RPC(rational polynomial coefficient,有理多项式系数)模型可应用高分辨率 SAR 影像数据严密成像几何模型^[17]。RPC 模型直接采用数学函数描述地面点与相应像点之间的几何关系,具有与具体传感器无关、形式简单等优点,为取得较高精度多采用 3 次项和

不同分母模型。使用 SAR 数据可以快速生成 DEM 和 DOM 产品,如封二彩图 4 所示。

3.4 基于天地图的公众服务

基于网格计算和 Web Service 技术,可建立面向服务架构 SOA 的多源、多时相、多尺度的测绘数据、遥感影像和地理处理模型的分布式共享框架,实现顾及上下文或遗传算法支持的地理信息服务组合和重构、语义匹配的遥感信息处理服务组合^[18],基于非结构化 P2P 网络的数据存储系统和顾及语义的三维空间数据库一体化组织模型,应用多层次三维空间索引、多级缓存、多线程调度实现有效的三维数据库。从地理空间数据质量发展到空间信息服务质量,多 QoS(quality of service,服务质量)评估模型支持的空间信息服务线性传递的链状、共建共享的星状和基于 Web 2.0 的网状等应用模式研究,为用户提供普适地理信息服务。

采用网格技术,综合运用高分辨率遥感影像和 GIS 技术,可整合各类城市管理中的工作体制和流程,将管理和监督功能扩展到大众日常生活如占道经营、违章建筑监测^[19]、拆迁问题和社区建设等事项中去。封二彩图 5 是基于 SOA(service oriented architecture,面向服务架构)采用地理信息服务组合实现的天地图网站,具有多尺度矢量、影像和三维数据浏览、省市直通、成果目录、专题服务功能和二次开发接口,为公众提供丰富、翔实、便捷的地理信息服务,企业用户以此为基础可增值开发与业务相关的专题信息服务,服务实现“分建共享,协同更新,在线集成”的地理信息共享方式。

3.5 基于可量测实景影像的空间信息服务

可量测实景影像基于移动道路测量系统解决移动状态下的测绘数据采集问题,在建筑物道路特征线段自动分类、景观数据采集、城市部件管理和地下城市管理实景化中得到应用,可量测实景序列组合定位可用于 1:50 000 地图测绘^[20]。可量测实景影像,是一种“可视、可量、可挖掘”的近景影像数据,弥补了 4D 产品的不足,与 4D 产品集成应用^[6],可满足国防、公安、市政、交通、通讯、导航、LBS 等行业需求,更可应用于数字城市地理空间框架平台。

基于可量测实景影像的空间信息服务,以实景影像数据构建三维场景,已广泛应用于公安警务、消防预案、金融机构监控和数字城市等建设中(封二彩图 6),可满足政府科学管理和宏观决策需求,包括城市规划建设及评估、安全管理与应急

救援、国土资源管理和规划产业布局等。针对企事业单位和社会公众,可提供旅游品牌形象推广及个性化线路导航,房地产投资环境及选址,娱乐场所和商场等特色信息发布,交通线路、商店、医院和饭店等专题信息查询、定位和搜索等功能。

4 结 语

新地理信息时代的信息化测绘要解决的关键问题是服务问题,需要增加服务内容,从单一地图格式转变为狭义和广义空间信息网格,需要将按规范生产改变为按需生产,通过技术创新实现数据加工和更新的自动化和实时化,需要加强测绘部门与其他部门的合作与互动,开展信息服务与快速更新,用于城市管理与服务、智能交通、应急响应和 LBS 等方面。

信息化测绘体系的远景是空间信息实时推拉式服务体系,空间信息产业需实现社会化、集约化和专业化的大转型。以互联网计算为社会基础设施,建立集中的、各种各样的云计算中心,提高专题数据利用率,计算资源虚拟化组织和配置,优化和重构服务流程,面向多用户,提供更为精细、规范、透明使用和按需租用的空间信息服务。从提供专业保密的电子地图转到提供开放的“天地图”服务,空间信息将从专业服务走向互联网服务并进一步走向物联网服务,实现真正的大测绘、按需测量和主动服务。

参 考 文 献

[1] 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

[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] Meier R, Harrington A, Beckmann K, et al. A framework for Incremental Construction of Real Global Smart Space Applications[J]. Pervasive and Mobile Computing, 2009,5:350-368

[4] Goodchild M F. 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

[5] Yue Peng, Gong Jianya, Di Liping, et al. Integrating Semantic Web Technologies and Geospatial Catalog Services for Geospatial Information Discovery and Processing in Cyberinfrastructure [J]. Geoinformatica,2011,15(2):273-303

[6] 李德仁,胡庆武. 基于可量测实景影像的空间信息服务[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2007,32(5):377-380

[7] 李德仁. 论广义空间信息网格和狭义空间信息网格[J]. 遥感学报,2005,09(5):513-520

[8] Yang C, Raskin R. Introduction to Distributed Geographic Information Processing Research[J]. International Journal of Geographical Information Science,2009,23(5):553-560

[9] 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

[10] 李德仁,苗前军,邵振峰. 信息化测绘体系的定位与框架[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2007,32(3):189-192

[11] 李德仁. 论地球空间信息的 3 维可视化:基于图形还是基于影像[J]. 测绘学报,2010,39(2):111-114

[12] 马洪超. 激光雷达测量技术在地学中的若干应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2011,36(2):347-354

[13] 冯甜甜,龚健雅. 基于 LiDAR 数据的建筑物自动提取方法的比较[J]. 测绘通报,2011(2):21-23

[14] 李德仁,胡庆武,郭晟,等. 移动道路测量系统及其在科技奥运中的应用[J]. 科学通报,2009,54(3):312-320

[15] 张过,墙强,祝小勇,等. 基于影像模拟的星载 SAR 影像正射纠正[J]. 测绘学报,2010,39(6):554-560

[16] 李震,周建民,谢酬. 星载 SAR 差分干涉测量提取汶川地震同震形变场[J]. 自然灾害学报,2011,20(1):105-109

[17] 张过,祝彦敏,费文波,等. 高分辨率 SAR-GEC 影像严密成像几何模型及其应用研究[J]. 测绘通报,2009(5):12-15

[18] 罗安,王艳东,龚健雅. 顾及上下文的空间信息服务组合语义匹配方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2011,36(3):368-372

[19] 李德仁,王密,胡芬. 利用我国高分辨率卫星影像监测北京市违章建筑[J]. 科学通报,2009,54(3):305-311

[20] 张晓东,杨元喜,崔先强. 可量测影像序列的组合定位算法及其在 1:50 000 地图测绘中的应用[J]. 测绘学报,2010,39(3):231-237

第一作者简介:李德仁,教授,博士生导师,中国科学院院士,中国工程院院士,国际欧亚科学院院士。现主要从事以 RS、GPS 和 GIS 为代表的地球空间信息领域的科研和教学工作。
E-mail:drli@whu.edu.cn,shaozhenfeng@163.com

Geo-informatization of New Geographic Information Era

LI Deren¹ WANG Yanjun¹ SHAO Zhenfeng¹

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,
Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: From opportunity and challenge of geo-informatization with the internet of things and other technology, the new geographic information era and its five characteristic are analyzed. The traditional surveying and mapping product can't meet current society demand, geo-informatization is the next stage in new geographic information era. The architecture of geo-informatization system, increasing service content and form are researched and designed, and current related services which can be promoted are realized.

Key words: new geographic information era; geo-informatization; geospatial information service; digital measurable image; service on demand

About the first author: LI Deren, professor, Ph. D supervisor, academican of chinese academy of sciences, academican of Chinese academy of engineering, academican of euro-Asia international academy of sciences. He is concentrated on the research and education in spatial information science and technology represented by RS, GPS and GIS.
E-mail: drli@whu.edu.cn, shaozhenfeng@163.com

龚健雅、李建成当选院士

2011 年 12 月 8 日、9 日,中国工程院、中国科学院先后公布 2011 年院士增选名单,张俐娜、龚健雅、舒红兵当选为中国科学院院士,李晓红、李建成当选为中国工程院院士。其中,龚健雅、李建成成为本刊编委。

龚健雅,男,1957 年 4 月生于江西省樟树市,现任武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室主任。1982 年毕业于华东地质学院测量系,1992 年于武汉测绘科技大学获博士学位。他是国家杰出青年基金获得者、教育部“长江学者”特聘教授、973 项目首席科学家、国家自然科学基金创新群体学术带头人、国家测绘局科技领军人才、国务院第六届学科评议组测绘学科组召集人。龚健雅在地理信息理论和几何遥感基础研究中取得了多项原创性成果,提出了 GIS 中的面向对象数据模型和互操作模型,引领了面向对象 GIS 和面向服务 GIS 的发展;提出了遥感广义几何成像模型与精确处理方法,大幅提高了遥感影像几何定位精度;基于自创的理论与模型,自主研发了 GIS 基础软件与网络服务平台以及遥感地面处理系统,解决了国家重大需求。先后承担国家和省部级科研项目 30 多项。出版专著和教材 12 部(其中第一作者专著 6 部),发表论文 430 多篇(其中期刊论文 290 多篇、第一作者论文 80 多篇、SCI 论文 30 多篇、EI 论文 180 多篇),论著他引 9 000 多次。获国家科技进步二等奖 3 项(2 项排名第一、1 项排名第二)、省部级一等奖 5 项、国际摄影测量与遥感学会(ISPRS)Dolezal 成就奖 1 项。

李建成,男,1964 年 12 月出生于内蒙古集宁市,山西左云人,现任武汉大学测绘学院院长。1987 年 7 月毕业于武汉测绘科技大学,1993 年 6 月获博士学位。长江学者特聘教授,国际大地测量协会(IAG)卫星重力理论专题研究组成员、地球重力场模型测评组成员、大地水准面研究中国代表,任教育部高等学校测绘学科教学指导委员会副主任,中国卫星导航定位协会副会长,中国测绘学会大地测量专业委员会副主任。李建成是大地测量学与测量工程专家,在地球重力场理论及其工程应用领域解决了多项难题,形成了自主创新的理论与技术体系。是我国大地水准面工程化应用的主要开拓者,完成了从 m 级到 dm 级、到 cm 级、再到亚 cm 三次精度跨越,已规模化推广应用到 100 多个省市区域;实现了“GNSS+大地水准面”的现代高程测量三维一体化作业新模式;创新性地提出用大地水准面数值模型取代传统水准标石建立并维持国家现代高程基准;提出了灾区测绘基准快速重建方法;系统深入地研究了全球重力场模型、卫星重力及卫星测高技术。获国家科学技术进步二等奖 3 项,省部级科技进步一等奖 7 项;发表论文 120 余篇,出版著作 4 部。曾获国家杰出青年基金资助、国家有突出贡献的中青年专家、中国青年科技奖、中国优秀青年科技创新奖、光华科技工程奖(青年奖)、全国优秀科技工作者、国家测绘局首批科技领军人才等。入选全国百千万人才工程和新世纪百千万人才工程国家级人选,获加拿大卡尔加里大学“国际杰出科学家”称号。