

文章编号: 1001-1595(2010)02-0115-05

地图制图学与地理信息工程学科发展趋势

王家耀

信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052

Development Trends of Cartography and Geographic Information Engineering

WANG Jiayao

Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China

Abstract: Aimed at the problems of cartography and geographic information engineering and increasing demands of national and military informationization construction, the paper proposes six hotspots on the research of cartography and geographic information engineering for the future on the foundation of analyzing the development track of cartography, which are heterogeneous geospatial data assimilation, transferring from emphasizing geography information gaining to user-oriented geographic information deep processing, web or grid geographic information service, intelligent spatial data generalization, integration of GIS and VGE, cartography and geographic information engineering theory system with multi-mode (Map, GIS, VGE) spatial-temporal integrated cognition as the core, and discusses the necessity, existing groundwork and research contents on studying these hotspots.

Key words: geospatial data assimilation; geographic information deep processing; geographic information service; intelligent spatial data generalization; integration of GIS and VGE; multi-mode spatial-temporal integrated cognition

摘要: 在简要分析地图学发展演变轨迹的基础上, 针对目前地图制图学与地理信息工程领域存在的问题及国家和军队信息化建设日益增长的需求, 提出地图制图学与地理信息工程学科研究的六大热点问题, 即异构地理空间数据同化、由着重地理信息获取一端向面向用户的地理信息深加工一端漂移、地理信息服务的网络/网格化、空间数据综合的智能化、地理信息系统(GIS)与虚拟地理环境(VGE)的集成与一体化、以多模式(Map、GIS、VGE)时空综合认知模型为核心的地图制图学与地理信息工程学科理论体系等, 并分别论述开展6个热点问题研究的必要性、现有基础和主要研究内容。

关键词: 地理空间数据同化; 地理信息深加工; 地理信息服务; 空间数据综合的智能化; GIS与VGE集成; 多模式时空综合认知

中图分类号: P28

文献标识码: A

1 引言

中国的地图制图学科已发展到地图制图学与地理信息工程学科, 经历了传统地图学到数字化地图学并进一步向信息化地图学发展的过程, 取得了令世人瞩目的成绩^[1]。数字化地图学基于传统地图学(指传统地图学基本理论)又超越传统地图学(指地图制图技术上的革命), 信息化地图学基于数字化地图学(指数字化技术)又深化和超越数字化地图学(指以地理信息综合服务为核心的地理信息获取、处理与服务的一体化体系)。近几年来, 关于信息化地图学的讨论不断深入, 对地观测技术和计算机网络通信技术快速发展, 国家和军队信息化建设对地理空间信息的需求日益增长。可以预见, 今后十年, 地图制图学与地理信息工程学科将在以下六个热点问题上取得突破性进展。

2 地图制图学与地理信息工程学科研究的六大热点问题

2.1 异构地理空间数据同化问题越来越受到关注并将成为研究的热点

同化, 指将不同的东西处理成相同或相近的东西。地理空间数据同化, 指将不同空间基准、不同尺度、不同时代、不同语义等的地理空间数据统一到一个(基准、尺度、时代、语义)标准下, 得到同一个体系下的地理空间数据。其目的是使异构地理空间数据得以整合, 为研究区域规律、综合规划管理、应急决策指挥提供统一的、高质量的地理空间信息服务。统一各种地理空间数据, 构建一个能有效同化多源地理空间数据的平台, 以正确认知地理环境及其变化规律, 具有重要意义。

多源地理空间数据的不一致主要表现在基准、尺度、时代、语义等的不一致。因此地理空间

数据同化主要研究:不同空间基准地理空间数据同化,即研究不同大地坐标基准、高程基准和深度基准的地理空间数据同化;不同语义地理空间数据同化,即研究基于地理本体理论的地理实体形式化描述框架及其本体库、语义转换规则及规则库、语义自动转换适配器^[2-5];不同尺度地理空间数据的同化,即研究不同尺度地理空间数据的几何匹配和图形转换算法;不同时态地理空间数据同化,主要研究不同时间地理空间数据的时空插值算法;还有多源非空间数据与空间数据的集成与融合(通常称为“非空间数据的空间化”)的问题。

2.2 由着重地理信息源获取一端向面向用户的地理信息深加工一端漂移已成为必然趋势

20世纪50年代以来,随着卫星导航定位系统、遥感和地理信息系统的发展和广泛应用,地理信息源的获取突破了时间和空间的限制,形成了数据量极其巨大的数据场与信息流。在这种情况下,地图学完全有必要而且也有可能把着重点放在信息的深加工方面来,加强地理信息产品、地学空间分析、数据挖掘与知识发现(SDMKD)即智能化地理信息处理的研究,更直接地面向国民经济建设和国防建设的主战场,为宏观决策和工程规划设计、数字化战场建设和作战指挥提供更高效率的、深层次的、浓缩的地理信息产品。这就是说,地图学的游标尺在现代化的信息流程中更接近用户的一端,因为用户不满足于原始地理数据和资料,迫切需要经过深加工的、综合集成的精品。信息时代地图学的着重点,应该放在地理信息智能深加工和实用的最终产品上来^[6-8]。

地理信息深加工研究主要包括:地学空间分析的深化和实用化,即结合领域实际应用研究地学空间分析模型、算法及其应用^[9-12];空间数据挖掘与知识发现的智能化与实用化,即针对领域实际应用研究SDMKD的模型、算法,并开发各种专用的高级知识发现工具箱^[13-16];地理信息产品形式的多样化,即研究地理信息产品的体系结构、地理信息深加工产品特别是知识地图的生成及其可视化。

2.3 地理信息服务的网络/网格化将成为主流模式

在由传统地图学到数字化地图学并进一步向信息化地图学发展的进程中,地图学的思想观念、技术手段、产品形式和服务方式等,都在发生深刻的变化^[7]。传统地图学,是以地图的制作与出版过程作为一个系统,以纸质地图产品生产作为最

终目标,以向用户提供纸质地图为主要服务方式;数字化地图学,是以数字化地图产品生产过程作为一个系统(DCS),以数字地图产品的生产作为最终目标,以向用户提供纸质地图、数字地图和电子地图为主要服务方式;信息化地图学,以地理空间信息获取、处理、服务的一体化作为一个系统,以提供地理空间信息综合服务为最终目标,较之传统地图学和数字化地图学都把地图产品(模拟、数字)的生产过程作为一个系统,把地图产品生产作为最终的目标,是一个重大的转变。

Web Service 和 Grid Service 新技术的出现为解决目前 GIS 面临的问题创造了条件,基于 Web Service 的地理信息共享和空间数据互操作、基于 Grid Service 的信息资源共享和协同解决问题,正在或将要成为信息时代地理信息服务的主流模式,已经成为国内外学界和业界研究的热点问题^[17-20]。

网络环境下的地理信息系统称谓网格地理信息系统(Grid GIS), Grid GIS 追求的目标是:用户不必占有数据而可以享用数据服务,用户不必安装价格昂贵且内部紧耦合的 GIS 软件而可以享用 GIS 功能服务,用户不必购置大型计算机存储与处理设备而可以享用计算存储资源服务^[21]。

以提供地理空间信息综合服务为核心和最终目标的基于 Grid Service 的 Grid GIS,是社会需求和 GIS 理论、方法和技术发展的必然趋势。为了实现基于 Web Service 的地理信息共享与空间数据互操作、基于 Grid Service 的资源共享与协同解决问题,应当重点研究服务封装、服务部署、服务发现、服务组合、服务工作流建模和服务链自动构建,以及实现 Web Service 和 Grid Service 的标准体系。

2.4 空间数据综合的智能化研究将从根本上实现地图生产的自动化

在传统地图制图学时代,制图综合是“三大”理论(地图投影、制图综合和地图表示法)之一。在数字化地图制图学和信息化地图制图学时代,空间数据的自动综合仍是国际上该领域最具挑战性和创造性的研究难题。其必要性来自四个方面:一是 GIS 中空间数据多尺度表达的需要;二是多尺度地理空间数据库自动派生的需要;三是系列比例尺地图生产的需要;四是多尺度地理空间数据库联动(一体化)更新的需要。

尽管制图综合中包含了大量人类创造性思维而导致了地理空间数据自动综合的复杂性和困难

性,包括空间数据表达的特点、空间思维的特点和综合的主导方向等空间信息处理的难度以及知识推理速度慢,自身理论不完善和知识难以形式化等人工智能存在的障碍,但经过长期的探索和研究,人们还是克服困难取得了可喜的成果,而且呈现出了广阔的应用前景^[22-29]。

要想从根本上实现前述四个方面的需要,就必须进一步研究空间数据综合的智能化,包括制图综合的基本理论、方法和综合指标的计量化、制图综合模型、算法和知识及基于知识的推理,把自动综合作为一个整体(全要素、全过程、可控制)的过程控制与质量评估等。

制图综合既是科学的认识论,又是科学的方法论。制图综合的基本理论、方法和综合指标量化的研究,是实现空间数据综合智能化的基础;制图综合模型、算法和知识及基于知识的推理,是求解制图综合模型 $M_{K_1} \xrightarrow{G} M_{K_2}$ 的最有效的途径(其中, G 为模型变换算子, M_{K_1} 、 M_{K_2} 分别为算子 G 作用前、后的地图模型);把自动综合作为一个整体的过程控制与质量评估研究,是空间数据自动综合实用的关键,需要进一步研究模拟人在进行制图综合时的思维状态,使其更加智能化,并具有更加广泛的适用性。

2.5 地理信息系统与虚拟地理环境的集成与一体化既是必要的也是可行的

GIS 与 VGE 与都是电子计算机技术和图形图像技术在地图制图学与地理信息工程领域的拓展和延伸,各自有着不同的侧重,但由于两者基础、功能及技术发展的趋同性,目前趋于集成与一体化。

地理信息系统原本是地图学功能的拓展和延伸。其功能由具有简单查询检索功能的管理型 GIS 发展到具有空间分析功能的分析型 GIS,并进一步向同时具备复杂的查询检索、空间分析和空间数据挖掘与知识发现功能的决策支持型 GIS 发展;其表达方法由 2 维可视化向 3 维可视化发展,地形 3 维可视化、城市 3 维可视化技术在地理信息系统中得到了普遍应用,3 维可视化技术与空间信息的查询分析功能紧密结合,并进一步向所谓 3 维地理信息系统(3D GIS)发展,出现了 3 维城市地理信息系统,基于 3 维空间数据模型的地下、地面、地上综合管网地理信息系统以及集地下、地面、地上于一体的 3 维地籍信息系统应运而生。随着计算机网络技术的发展,在网络服务(Web Service)和网格服务(Grid Service)环境下,

数据、功能、计算存储资源都是分布式的,服务(数据、功能和计算存储资源)注册、服务请求、数据访问与集成、服务发现与组合等,更有利于 VGE 与 GIS 的集成与一体化。所以,无论是 GIS 功能需求还是技术发展,都为 VGE 与 GIS 的集成与一体化创造了条件。

建立在空间信息可视化与虚拟现实(VR)技术基础上的虚拟地理环境(VGE),为人类认知地理环境提供了一种形象直观的工具。VGE 新技术已让更多的人对基于图形图像的地理环境信息产生了浓厚的兴趣,全球一体化的多分辨率 3 维可视化人机界面,已成为人们了解地理信息的默认模式。但是 VGE 的地理数据管理与处理以及地理空间信息分析功能相对薄弱,而这些正是 GIS 的优势。同样, VGE 的功能需求与技术发展也为 VGE 与 GIS 的集成与一体化创造了条件。

地理信息系统是地图学功能的拓展和延伸,虚拟地理环境是地图学的新的生长点,两者的集成与一体化有着牢固的根基。从 GIS 与 VGE 的关系来看, GIS 具有强大的海量空间数据存储、管理、处理和分析功能, VGE 具有多维动态可视化和实时交互操作的效果,两者优势互补,集成与一体化是一种必然趋势³⁰⁾。但是,要实现 GIS 与 VGE 集成的一体化,还要进一步研究 GIS 与 VGE 集成框架与集成平台、空间数据多尺度可视化表达的自适应地图符号系统、面向时空模拟与仿真的演化模型等技术问题^[31-32]。

2.6 以多模式时空综合认知模型为核心的地图制图与地理信息工程学科理论体系将进一步完善

空间认知(spatial cognition)是认知科学(cognitive science)的一个主要研究领域。20 世纪 90 年代,空间认知受到了地学界的关注和重视,它研究人们怎样认识自己赖以生存的环境,包括其中的诸事物、现象的相关信息、空间分布、依存关系,以及它们的变化和规律。

多模式时空综合认知,强调的是“多模式”、“时空”与“综合认知”三个关键词。所谓“多模式”,指的是地图、地理信息系统和虚拟地理环境,即基于 Map、GIS、VGE 的空间认知;所谓“时空”,指的是我们认知的对象是多维的、具有空间位置或空间分布特征的、随时间变化的,即它们存在于时空环境之中;所谓“综合认知”,指的是多模式空间认知的集成,即综合地图、地理信息系统、虚拟地理环境等

多模式各自的空间认知特点,形成更全面、更系统、更深刻、更科学的地理环境认知。

提出多模式时空综合认知将成为地图制图学与地理信息工程学科的基础理论,是因为它贯穿于地理信息传输的全过程,即贯穿于地图制图学与地理信息工程的全过程。认知科学研究的目的就是说明和解释人在完成认知活动时是如何进行信息加工的。认知科学的进步与突破,将为人类教育、社会、经济发展和信息技术带来革命。同样,多模式时空综合认知的进步与突破,也将为地图制图学与地理信息工程科技带来革命。

地图的空间认知是多模式时空综合认知的基础^[33-34]。地图空间认知,就是利用地图学方法来实现对地理空间环境的认知。把认知科学引入地图制图学与地理信息工程研究的目的有三个:一是弄清“地图既是人类认识地理空间环境的结果又是进一步认识地理空间环境的工具”这一科学命题;二是弄清地图设计与制作的思维过程,并设法描述它们,实际上是研究地图制作者和使用者的空间认知规律;三是弄清地图空间认知与地理信息系统、虚拟地理环境的关系。

“多模式时空综合认知”,与过去只提“地图空间认知”有所区别。地图制图学与地理信息工程的过程,就是传输地理环境信息的过程,而“多模式时空综合认知”是贯穿地理信息传输过程始终的。作为地图制图学与地理信息工程学科理论体系组成部分之一的地图视觉感受论,是进行多模式时空综合认知的基础,当然还要突破地图符号化的局限性,向3维、动态、可“进入”方向发展;地图模型论,是进行多模式时空综合认知的方法论;地图符号学,是从地图语言学(语法、语义、语用)的角度支撑多模式时空综合认知;地理本体论,是通过认知对象的形式化本体描述、总结结构语义转换规划、构建语义自动转换“适配器”,实现异构语义的自动转换,从而支撑多模式时空综合认知。所以,以多模式时空综合认知为核心的地图视觉感受论、地图模型论、地图语言学、地理本体论,将构成地图制图学与地理信息工程学科的理论体系,需要长期研究且不断深化。

3 结束语

以上从地理空间数据同化、由着重地理信息获取一端向面向用户的地理信息深加工一端漂移、地理信息服务的网络/网格化、地理空间信息

综合的智能化、虚拟地理环境与地理信息系统的集成与一体化、以多模式时空综合认知为核心的地图制图学与地理信息工程学科理论体系等6个方面,分析了地图制图学与地理信息工程学科的发展趋势,提出了相关的研究内容,当然这是从目前国内外的研究现状分析中得出的认识,应该随着研究的深入而不断调整和完善。

参考文献:

- [1] WANG Jiayao. Progress and Prospect of Cartography and Geographic Information Engineering[C] // The Blue Book for Development of Surveying and Mapping in China. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2009: 46-54. (王家耀. 地图制图学与地理信息工程学科进展与展望[C] // 中国测绘学科发展蓝皮书. 北京: 测绘出版社, 2009: 46-54.)
- [2] A Geospatial Framework for the Coastal Zone: National Needs for Coastal Mapping and Charting[EB/OL]. Washington: DC: The National Academic Press. [2009-10-11]. www.nap.edu. http://www.nap.edu/catalog/10947.html.
- [3] LI Hongwei. The Research on Geo-Information Services Based on Ontology[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2007. (李宏伟. 基于Ontology的地理信息服务研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2007.)
- [4] LI Lin, ZHU Haihong, WANG Hong, et al. Semantic Analyses of the Fundamental Geographic Information Based on Formal Ontology: Exemplifying Hydrological Category[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(2): 230-235. (李霖, 朱海红, 王红, 等. 基于形式本体的基础地理信息语义分析: 以陆地水系要素类为例[J]. 测绘学报, 2008, 37(2): 230-235.)
- [5] GUO Li, LIU Chanyou, CHEN Yingdong, et al. Study on the Integration Method of Hydrologic Feature Data Based on Ontology[J]. Geomatics World, 2008, 6(2): 42-47. (郭黎, 刘灿由, 陈应东, 等. 基于本体的水系要素数据集成方法研究[J]. 地理信息世界, 2008, 6(2): 42-47.)
- [6] CHEN Shupeng. Information Flow and Cartography[C] // Chinese Yearbook of Cartography. Beijing: Sinomaps Press, 1991: 1-11. (陈述彭. 信息流与地图学[C] // 中国地图学年鉴. 北京: 中国地图出版社, 1991: 1-11.)
- [7] WANG Jiayao. The Features of Information-based Cartography and The Conceptions of Theoretic and Technical Systems[C] // The Corpus of Information-based Surveying and Mapping. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2008: 130-138. (王家耀. 关于信息化地图学的特征和技术体系的构想[C] // 信息化测绘论文集. 北京: 测绘出版社, 2008: 130-138.)
- [8] WANG Jiayao. Cartology in Information Era[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2000, 9(2): 1-5. 王家耀. 信息化时代的地图学[J]. 测绘工程, 2000, 9(2): 1-5.

- [9] GUO Renzhong. Spatial Analysis[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. (郭仁忠. 空间分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.)
- [10] LIU Xiangnan, HUANG Fang, WANG Ping, et al. Principle and Method of GIS Spatial Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2005. (刘湘南, 黄方, 王平, 等. GIS 空间分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005.)
- [11] ZHU Changqing, SHI Wenzhong. Spatial Analysis Modeling and Principle[M]. Beijing: Science Press, 2006. (朱长青, 史文中. 空间分析建模与原理[M]. 科学出版社, 2006.)
- [12] ZHOU Qiming, LIU Xuejun. Digital Terrain Analysis [M]. Beijing: Science Press, 2006. (周启鸣, 刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006.)
- [13] LI Deren, WANG Shuliang, LI Deyi. Spatial Data Mining Theories and Applications[M]. Beijing: Science Press, 2006. (李德仁, 王树良, 李德毅. 空间数据挖掘理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.)
- [14] DI Kaichang. Spatial Data Mining and Knowledge Discovery[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001. (邸凯昌. 空间数据挖掘与知识发现[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001.)
- [15] LÜ Anmin. Population Spatial Data Mining and Its Application Methods[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004. (吕安民. 人口空间数据挖掘及其应用方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.)
- [16] ZHANG Xueping. A Study of Spatial Clustering with Constraints Based Swarm Intelligence[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2007. (张学萍. 基于群集智能的带约束条件空间聚类分析研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2007.)
- [17] GONG Jianya, GAO Wenxiu. Sharing and Interoperability of Geospatial Information[J]. Geomatics World, 2006, 4(3): 18-27. (龚健雅, 高文秀. 地理信息共享与互操作技术及标准[J]. 地理信息世界, 2006, 4(3): 18-27.)
- [18] WANG Jiayao, ZHU Yuhua, WU Mingguang. Grid and Geography Information System Based on Grid[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 2006, 23(1): 1-7. (王家耀, 祝玉华, 吴明光. 论网格与网格地理信息系统[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23(1): 1-7.)
- [19] WU Mingguang. Research on Grid Spatial Information Workflow Model[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2007. (吴明光. 网格空间信息工作流模式研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2007.)
- [20] WANG Jiayao, SUN Qinghui, WU Mingguang, et al. Node Construction of Grid Based GIS for Intelligent Spatial Information Service[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2009, 34(1): 1-6. (王家耀, 孙庆辉, 吴明光, 等. 面向智能空间信息服务的网格 GIS 节点构建[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(1): 1-6.)
- [21] WANG Jiayao. Development of Geographic Information System and Developing Geographic Information System [J]. Engineering Sciences, 2009, 11(2): 10-16. (王家耀. 地理信息系统的发展与发展中的地理信息系统[J]. 中国工程科学, 2009, 11(2): 10-16.)
- [22] WANG Jiayao. The Progress and Trend of Automatic Generalization of Spatial Data[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 2008, 25(1): 1-7. (王家耀. 空间数据自动综合研究进展及趋势分析[J]. 测绘科学技术学报, 2008, 25(1): 1-7.)
- [23] WANG Jiayao, WU Fang, WU Zhanjia. The Research of Cartographic Generalization Expert System Tool[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 1992(4): 9-14. (王家耀, 武芳, 吴战家. 制图综合专家系统工具研究[J]. 解放军测绘学院学报, 1992(4): 9-14.)
- [24] WU Hehai. Basic Theory and Technical Method for Map Generalization [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2001. (毋河海. 地图综合基础理论与技术方法研究[M]. 北京: 测绘出版社, 2001.)
- [25] QIAN Haizhong. Study on Automated Cartographic Generalization and intelligentized Generalization Process Control[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2006. (钱海忠. 自动制图综合及过程控制智能化研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2006.)
- [26] WANG Jiayao, QIAN Haizhong. Cartographic generalization knowledge and Its Application[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(5): 382-386. (王家耀, 钱海忠. 制图综合知识及其应用[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(5) 382-386.)
- [27] DENG Hongyan. A Study of Automated Cartographic Generalization Based on Design for Quality[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2006. (邓红艳. 基于保质设计的自动制图综合研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2006.)
- [28] WU Fang, QIAN Haizhong, DENG Hongyan, et al. Spatial Information Intelligent Processing for Map Generalization [M]. Beijing: Science Press, 2008. (武芳, 钱海忠, 邓红艳, 等. 面向地图综合的空间信息智能处理[M]. 北京: 科学出版社, 2008.)
- [29] WU Fang, DENG Hongyan, QIAN Haizhong, et al. Quality Assessment Evaluation Model for Quality of Automatic Map Generalization[M]. Beijing: Science Press, 2009. (武芳, 邓红艳, 钱海忠, 等. 地图自动综合质量评估模型[M]. 北京: 科学出版社, 2009.)
- [30] SU Yafang, SHENG Yongwei. The Integration of Advanced Visualization and Geographic Information System [J]. Geoinformation Science, 1997(2). (苏亚芳, 盛永伟. 高级视觉化和地理信息系统的集成[J]. 地球信息科学, 1997(2), 33-38.)
- [31] XU Bingli, GONG Jianhua, LIN Hui. Architecture of Distributed Virtual Geographic Environment Based on HLA [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(12): 1096-1099. (徐丙立, 龚建华, 林珺. 基

(下转第 128 页)

- Mapping, 2005, 30(2): 110-113. (张捍卫, 许厚泽, 王爱生. 天球参考系的基本理论和方法研究进展[J]. 测绘科学, 2005, 30(2): 110-113.)
- [4] JIN Wenjing. Interferometric Technique and Its Application on Astrometry[J]. Progress in Astronomy, 2007, 25(4): 347-363. (金文敬. 干涉技术在天体测量中的应用[J]. 天文学进展, 2007, 25(4): 347-363.)
- [5] WANG Guangli, LI Jinling, QIAN Zhihan, et al. The Determinations of Celestial and Terrestrial Reference Frames from Astrometric and Geodetic VLBI Observations[J]. Acta Geodetica et Cartographica Sinica, 2000, 29(2): 114-117. (王广利, 李金岭, 钱志瀚, 等. 利用天测与测地 VLBI 观测建立天球与地球参考架[J]. 测绘学报, 2000, 29(2): 114-117.)
- [6] MA C, FEISSEL M. Definition and Realization of the International Celestial Reference System by VLBI Astrometry of Extragalactic Objects [C] // IAU 1997 General Assembly. Kyoto: Paris Observatory, 1997.
- [7] MA C, ARIAS E F, EUBANKS T M, et al. The International Celestial Reference Frame as Realized by Very Long Baseline Interferometry [J]. The Astronomical Journal, 1998, 116(1): 516-546.
- [8] FEY A L, MA C, ARIAS E F, et al. The Second Extension of the International Celestial Reference Frame: ICRF. Ext2 [J]. The Astronomical Journal, 2004, 127: 3587-3608.
- [9] ARIAS E F, CHARLOT P, FEISSEL M, et al. The Extragalactic Reference System of the International Earth Rotation Service, ICRS [J]. Astronomy and Astrophysics, 1995, 303: 604-608.
- [10] TANG G, RONNANG B, BAATH L. Radio Source Structure from Geodetic VLBI Observations—8 GHz Multi-epoch Maps of the Quasar 4C 39. 25 [J]. Astronomy and Astrophysics, 1987, 185: 87-93.
- [11] CHARLOT P. Extended Emission Structure in Extragalactic Sources [C/OL] // IAU XXV General Assembly, Joint Discussion 16: The International Celestial Reference System, Maintenance and Future Realizations. Washington: NASA, 2004 [2008-05-21]. http://adswww.harvard.edu/.
- [12] FEY A L, CHARLOT P. VLBA Observations of Radio Reference Frame Sources. II. Astrometric Suitability Based on Observed Structure [J]. The Astrophysical Journal Supplement Series, 1997, 111: 95.
- [13] FEY A L, CHARLOT P. VLBA Observations of Radio Reference Frame Sources. III. Astrometric Suitability of an Additional 225 Sources [J]. The Astrophysical Journal Supplement Series, 2000, 128: 17.
- [14] CHARLOT P. Effects of Radio Source Structure in VLBI Astrometry [C/OL] // European VLBI for Geodesy and Astrometry, Proceedings of the 6th Working Meeting. Washington: NASA, 2004 [2008-05-21]. http://adswww.harvard.edu/.
- [15] GONTIER A M, BAIL K L, FEISSEL M. Stability of the Extragalactic VLBI Reference Frame [J]. Astronomy and Astrophysics, 2001, 375: 661-669.
- [16] FEISSEL-VERNIER M. Selecting Stable Extragalactic Compact Radio Sources from the Permanent Astrometric VLBI Program [J]. Astronomy and Astrophysics, 2003, 403: 105-110.
- [17] FEISSEL-VERNIER M, MA C, GONTIER A M, et al. Analysis Strategy Issues for the Maintenance of the ICRF Axes [J]. Astronomy and Astrophysics, 2006, 452: 1107-1112.
- [18] JIN Wenjing, XIA Yifei, TANG Zhenghong, et al. International Celestial Reference System [J]. Progress in Astronomy, 1999, 17(4): 281-291. (金文敬, 夏一飞, 唐正宏, 等. 国际天球参考系 [J]. 天文学进展, 1999, 17(4): 281-291.)
- [19] ALLAN D W. Statistics of Atomic Frequency Standards [J]. Proc IEEE, 1966, 54(2): 221-230.

(责任编辑: 丛树平)

收稿日期: 2008-07-21

修回日期: 2009-09-21

第一作者简介: 乔书波(1975—), 男, 博士生, 副教授, 从事空间大地测量、天文地球动力学研究的应用研究。

First author: QIAO Shubo(1975—), male, PhD candidate, associate professor, majors in research on space geodesy and applications on astrometry. E-mail: qsb@sha.o.ac.cn

(上接第 119 页)

于 HLA 的分布式虚拟地理环境系统框架研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, 30(12): 1096-1099.)

- [32] LIN Hui, MICHAEL B. Virtual Geographic Environments [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [33] GAO Jun. The Map Spatial Cognition and Cognitive Cartography [C] // Chinese Yearbook of Map. Beijing: Sinomaps Press, 1991. (高俊. 地图空间认知与认知地图学 [C] // 中国地图年鉴. 北京: 中国地图出版社, 1991.)
- [34] GAO Jun. The Spatial Cognition Foundation of MADES [R] // Zhengzhou: Information Engineering University, 1995. (高俊. 地图专家系统 (MADES) 的空间认知基础

[R]. 郑州: 信息工程大学, 1995.)

(责任编辑: 张燕燕)

收稿日期: 2009-12-28

修回日期: 2010-01-14

作者简介: 王家耀(1936—), 男, 教授, 中国工程院院士, 从事地图制图学与地理信息工程学科的教学与科研。

Author: WANG Jiayao (1936—), male, professor, academician of Chinese Academy of Engineering, majors in teaching and scientific research of cartography and geographic information engineering.