

数字地图的研究进展和应用新方向

齐清文, 姜莉莉, 张 岸

(中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 数字地图是现代地图学发展的重要标志。目前, 国内外已出现以数字地图为核心的地图数据库、印刷地图、电子地图、移动式地图、网络地图等多种现代地图的开发和应用模式。本文分析和阐述数字地图理论、方法和技术方面的新进展, 以及新的应用方向。首先, 作者阐述了在数字地图新理论方面的研究进展, 并在此基础上提出了数字地图体系结构框架; 其次, 阐述了数字地图的数据管理、制图综合、可视化和专题地图编制技术等方面的新进展; 同时建立了数字地图产品系列的新框架; 最后, 介绍数字地图分析和应用新方向。总之, 本文涵盖了数字地图研究领域内各个方向上的研究进展。

关键词: 数字地图; 研究进展; 新技术; 研究新方向

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00727

数字地图是以数字形式记录和存贮的一类地图新品种, 既便于存贮、复制、传输、共享、分析和更新, 在使用中不消耗反而增值, 又可经计算机处理转换为纸质地图, 或经可视化处理在计算机屏幕上显示^[1]。数字地图是现代地图学发展的重要标志之一, 国际上已有许多总结和论述, 但国内对这方面的研究似乎还不够重视。本文在总结国内外数字地图研究进展的基础上, 重点阐述本研究组近年来在此领域所做研究、开发和应用成果。

1 数字地图的体系结构新框架

1.1 数字地图的理论新视点

我国著名的地图学家高俊院士于2004年提出了“地图学四面体”的学说^[2], 即传统的地图学可概括为由地图、读者和实地3个顶点构成的“地图学三角形”。数字地图的出现, 极大地丰富了现代地图学的内涵, 扩大了研究领域, 在平面三角形之外增加了一个顶点“数字地图”, 由“地图学三角形”的3顶点和3条边的关系变为“地图学四面体”的4个顶点和6条边的关系(图1)。其中涉及诸多现代地图学的理论、方法和技术问题值得深入探究。

在深入学习和研究和数字地图上述理论的基

础上, 作者提出了数字地图研究成果评价的三维结构图(图2), 即数字地图的研究成果可从“精度和科学性”、“抽象性和智能性”和“创意性”3个维度进行考量。其中地图的精度和科学性维度依次分为名义尺度、顺序尺度、分级和比率尺度4种精度水平; 抽象性和智能性维度分为数据支撑、地图分析、知识地图与决策3种层次; 创意性则分为实地图、半虚拟设计和规划地图、全虚拟的设计和规划地图。人类对自然界(原型)的初级描述, 形成信息模型(地图), 在中等境界上实现对自然界的虚拟的、半精确的地图分析和研究, 在高级境界上则实现了对自然界的全虚拟的、高精度和全创意的决策分析地图系统。

1.2 数字地图的体系结构

数字地图是一个庞大的体系, 其结构可从不同的角度来划分。

从研究领域和研究方向来看, 数字地图由1个本体对象和7个技术环节8部分组成, 其中本体对象是数字地图和地图数据库, 7个环节分别是数字地图的编制与出版、数据管理、制图综合、可视化、产品体系、共享与版权保护、分析和应用(图3)。

收稿日期: 2011-08-01; 修回日期: 2011-12-01.

基金项目: 科技创新方法工作专项之课题“地理信息科学方法研究”(2007FY140800-4[2])。

作者简介: 齐清文(1963-), 男, 研究员, 理学博士, 主要从事地图学与地理信息系统的理论、方法和应用研究。发表论文100余篇, 专著7部(含合著), 计算机软件著作权登记证书6项。E-mail: qiqw@igsrr.ac.cn

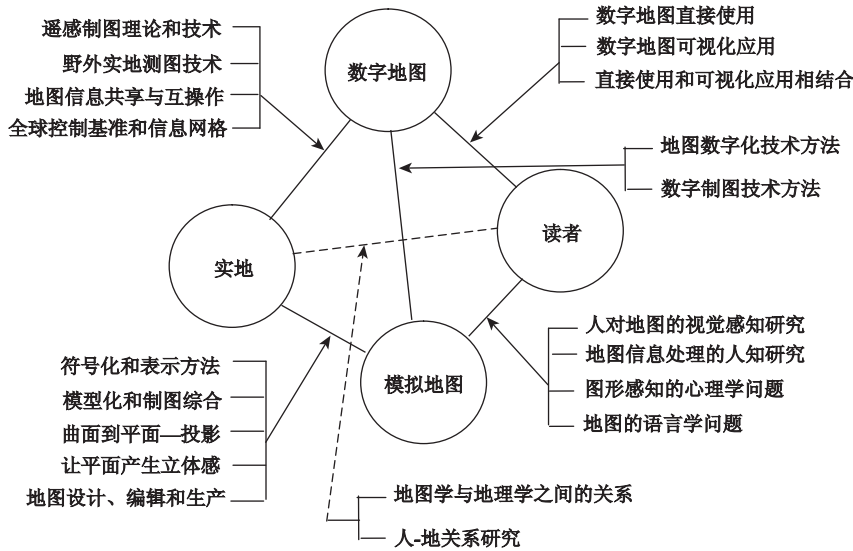


图 1 数字地图时代的“地图学四面体”及其带来的研究问题(据高俊 2004 文章^[2]修改)

Fig. 1 Cartographic Tetrahedron and the related key-problems (edited based on Gao Jun 2004^[2])

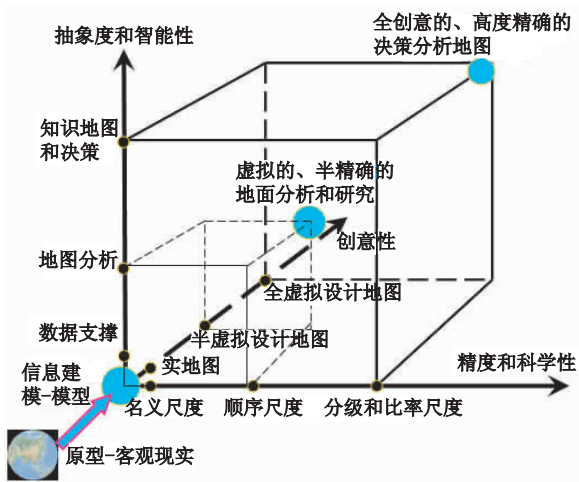


图 2 数字地图应用研究成果的综合评价三维结构

Fig. 2 Evaluation criteria of digital map on three dimensions

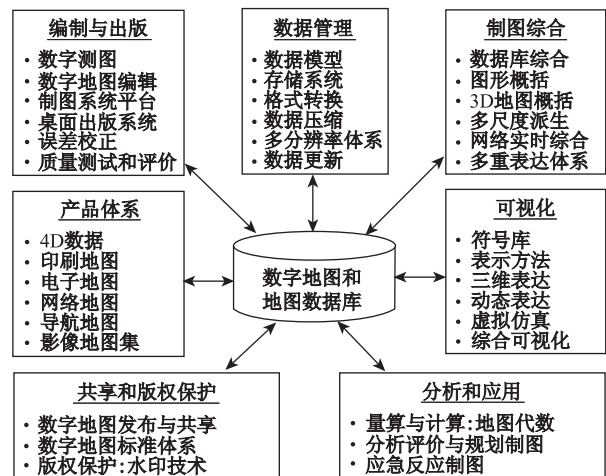


图 3 数字地图研究的体系结构

Fig. 3 Structure of digital map research and application system

2 数字地图的新技术和产品体系研发进展

2.1 数字地图的新技术

数据模型是数字地图必须解决的一大难题。迄今为止,数字地图的数据模型仍以满足可视化表达和地图产品派生(生产)为其设计宗旨;而用户所能够获取的数据,有 GIS 数据库和数字地图(又称为地图数据库)之分,前者可以称为数字景观模型(Digital Landscape Model,简称为 DLM),主要用

于空间分析,也能满足简易地图的编制能力;后者称为数字制图模型(Digital Cartographic Model,简称为 DCM),主要用于地图产品派生和成果表达,也可用于有限的查询和分析,却由于拓扑关系的不完整和属性信息的缺失等原因,不能满足大量的空间分析和计算的需要。当两种应用需求都存在时,就经常需要频繁地进行两种数据格式(模型)之间的互相转换,以满足不同目标的需要。而且由于两者数据模型的差异,数据转换远不能达到自动化程度,需要大量的人工干预。作者所在的团队用面向对象理念和方法研究数字地图的建模机理,解决了

地理对象在数字地图中的全要素抽象和建模、空间对象和视觉变量在数据库中的有机合成,DLM 和 DCM 两种数据模型的灵活集成和分解等关键技术,建立了面向表达和空间分析一体化的数字地图的逻辑数据模型和物理数据模型,并在此基础上研制和开发一个集地理要素编码设计、图层定义、属性结构设计、数据转换入库、符号化定义等工具于一体的数字地图数据模型的建模原型系统。该系统既可有效管理 4D(DLG、DRG、DEM、DOM)数据,又可派生印刷地图、电子地图、网络地图、移动导向地图、三维立体地图多种类型地图产品^[3]。

在制图综合技术方面,作者将知识推理方法与数学模型方法紧密结合,建立了知识推理的面向地理特征的制图综合解决方案^[4-5],并将该技术应用用于 2.5 维地图和三维立体地图的制图综合中。图 4 展示的就是三维地图中的立体符号的制图综合示例,即随着比例尺的变小,楼房的符号由真实感很强的符号变为由简单身体线条构成的楼房符号,继而又变为棱柱体,最后变成一个点状符号。图 5 反映是晕渲地图的制图综合示例。在此选择华北平原(京-津-冀部分区域)的晕渲地图为例:当比例尺变小时,原图机械缩小后的图面显得不清晰,经过对该图进行地物单元和景观的概括(也包括对部分山地地形的夸大表示),再加之对晕渲色彩的调整,所形成的最终地图就能够非常好地反映该区域的地理特征,在整体上与原大比例尺地图有景观格局上的神似关系。

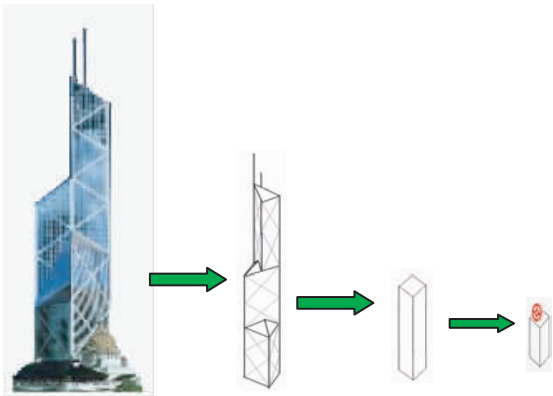


图 4 立体符号的概括示例
Fig. 4 Sample of generalization of 3D symbol

地图可视化是数字地图的又一极为重要的技术。实质上,地图信息可视化(也包括地理信息可视化)的一切技术难度皆源自于自然界复杂巨系统



图 5 区域晕渲地图的制图综合示例
Fig. 5 Sample of generalization of hill-shaded maps

的多维特征与人类表达手段的局限性之间的矛盾。也就是说,长期以来,人们不得不采取降维的方式来将复杂的问题简单化,但用户已经越来越不满足于这种平面的、相对简化的处理,希望像人眼亲历一样能够同时看到三维立体及其发展变化;而人类的技术手段还远没有跟上人们对地理信息可视化日益增长的需求。人类所必须面对的问题包括:如何正确地兼顾显示区域水平维度和垂直维度信息?如何正确地兼顾反映静态片断的三维空间格局及其属性信息与其发生、发展和变化的过程?如何协调人类对自然表达元素的易感受性与专业化、标准化和简单化的人工创造符号和表示方法之间的矛盾?如何协调对象和现象的连续曲面和三维连续空间特征与人工获取信息的离散性之间的矛盾?如何协调权威的、专业的、集中式存储管理、分层次控制和发布的信息与公众对于个性化、泛在化的信息服务需求之间的矛盾?

实现地图可视化的技术手段主要包括多维动态可视化、虚拟地图可视化等。首先,在视觉变量上进行创新,因为地图信息的表达依靠视觉变量的应用和变化。传统的地图视觉变量有形状、尺寸、方向、颜色、结构、综合图案等。数字地图的视觉变量增加了亮度、饱和度、反差、闪烁、移动、时长、速率、次序、节奏等数字环境下特有的环境变量,使数字地图可视化考虑的参数变得更为丰富。其次,要在表示方法和手段上进行创新,在传统地图的十余种表示方法基础上,数字地图的表示方法也更加丰富多彩,例如,增加了立体符号、象形符号、多种单一符号的组合式符号、双坐标系组合符号等,在电子地图中运用了动态图例(随着在图例板上点击某一类型图例块,图上与该类型相对应的图斑立刻高亮度地闪烁)、变焦比例尺、时间比例尺、交互式操

作工具等。然后,在地图图型上增加了影像地图类型,融地图的符号化、抽象性与遥感影像的信息丰富性、直观性于一体,非常受读者欢迎。最后,从广义来看,用地图学的 3 大核心要素(地图投影、制图综合和符号化/表示方法)来衡量,虚拟地理环境也是一种数字地图类型。虚拟地图的可视化采用三维地表景观(DEM+遥感影像+线划地图)来形象地显示地形,用三维立体符号来反映三维对象(建筑物、立交桥、邮筒、灯杆、汽车等),用进入式的三维场景与用户进行交互式的信息感知和体验,用场景的变化来反映地理现象的发展变化过程。与常规数字地图的最大区别在于视角和视场的变化,以及交互式可进入、可反馈机制。因此,从未来发展来看,这一种非常有前景的地图可视化技术手段,将越来越多地应用于数字城市、数字区域和数字工程中。

在数字地图的地图编制技术上,主要研究了如何根据制图目标和数据来源,制定差别化、个性化的制图技术流程。数字地图的制图流程有两个方面的指标,一是源数据格式,二是制图目的。源数据格式总体上有数据库和 CAD 两种形式;制图目的也有印刷地图和电子地图两种。这两类 4 种内容的组合,就会产生 5 种制图流程,即数据库来源编制印刷地图、数据库来源编制电子地图、CAD 数据源编制印刷地图、CAD 数据源编制电子地图、CAD 数据生成数据库后编制印刷地图。其中“数据库来源编制电子地图”是最能发挥 GIS 和地图数据库系统优点的制图流程,“CAD 数据源编制印刷地图”流程是一种比较简单的制图流程,“CAD 数据源编制电子地图”流程是较为复杂的一种流程。

在专题地图的编制技术发展,存在着如下问题:一是在高精度的专题地图(或地图集)编制中,既需要解决从 GIS 数据库向地图转换带来的拓扑、符号化等一系列难题,也需要解决地图分色制版的格式转换难题,以及字库不全带来的不便。地图规范在“突破”和“创新”声中只有“破”而没有“立”;二是在科研人员自己编制专题地图时,经常会遇到所用的平台对于地图的投影设定不方便,底图与专题图层套合不准,地图与图表、公式及解释文字的配合困难,以及地图出版前的审查带来的不便等;三是在商家编制专题地图时,往往遇到地图与彩画、照片、文字等的混排困难,简单的地图却在编制地图中花费过多成本,以及广告商所需要的地图空间

关系与实际地图尺度之间的冲突等问题;四是对于普通用户编制个性化专题地图而言,问题更多,经常是搜索现成地图难以满足特殊要求,自主编制地图又感觉基础地理要素匹配太难,修改现有地图却常因花费太多时间而放弃。上述问题促进我们努力研发既能够满足高精度专题地图需求,又便于科研人员和普通用户灵活地、能够自主发挥地编制专题地图,还要在商业化专题地图编制中满足科学研究之外的要求^[6]。

解决上述问题的核心,在于研发专题地图数学模型。这个问题长期以来被忽视,因普遍观点认为专题地图的难度主要在符号和表达,专业模型属于 GIS 的功能,与专题地图无关。作者认为,在专题地图编制过程中,数据采集—模型计算—可视化—出版与共享是不可分割的链条,专业模型是产生专题图层的核心手段,专业模型的深度和科学性代表了专题地图的深度和科学性,因而专业模型与其产生的专题图层一道伴随着科学研究从一阶段走向另一个阶段,阶段成果升华为最终成果^[7]。

2.2 数字地图的产品新框架

本文针对数字地图的产品系列的界定众说纷纭,作者提出了如下的产品系列框架(图 6),即将数字地图的产品分为平面印刷地图产品、立体制图地图产品、电子地图产品和决策分析产品四大类。其中,平面印刷地图又分为单张地图、系列地图册和地图集 3 类;电子地图产品则分为光盘地图、网络地图、移动地图和虚拟地图 4 类。

电子地图是数字地图产品中最主流的产品类型,其细分的类型也很多。按功能可分为浏览型、查询型和分析型 3 类;按输出介质和使用方法,可分为单机电子地图、光盘电子地图、触摸屏电子地图、PDA 和手机电子地图、网络电子地图等;按技术特色可划分为多媒体电子地图、三维动态电子地图和移动导航电子地图等。在上述类型中,多媒体(光盘)电子地图集是最常见的电子地图类型,由地图数据及其可视化表达、文字说明、支撑软件等组成,其最新的技术趋势是“电子地图集+多媒体+超链接技术”,地图、文字、照片、声音等融为一体,4D 数据在电子地图集的融入,虚拟现实技术的融入等^[8-12]。移动导航电子地图是一类用户数量越来越多的数字地图产品,是按照“任何时间、任何地点的立即通讯”的移动计算的理念,在移动定位技术

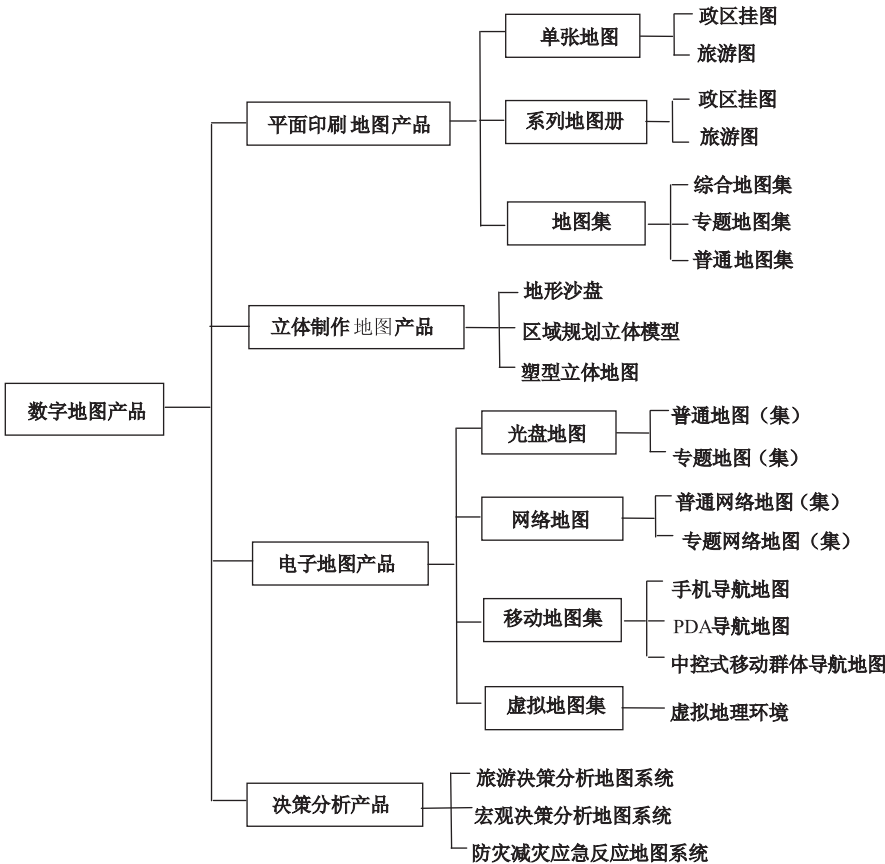


图 6 数字地图产品系列框架
Fig. 6 Frame of digital map products

支持下,以提供导航服务为目的的电子地图系统,是计算机地图制图技术、GIS 技术、嵌入式技术、通信技术、移动定位技术综合应用的产物。分为 B/S 式(分布式)和插卡式(集中式)两种。交互虚拟地图是采用虚拟现实技术表达数字地图数据,并为用户提供交互式研究和应用平台的一种产品(又称为虚拟地理环境)。由于它以真三维的形式表达内容,给人以逼真、身临其境的感受。从反映的内容上看,交互式虚拟地图模拟真实世界可见的环境和对象,仿真人类主观构建的环境和对象,模拟和仿真真实世界不见的环境和对象(例如分子结构、大气运动、古地理环境、各种场)等。从地图表达特征来看,交互式虚拟地图侧面形象为主,以城市建筑物群外表、建筑物之间和内部形象为主,犹如人现实世界看到的侧面形象;用户可与系统之间产生交互式信息交流和反馈;人戴着专用头盔和数据手套可产生进入场景和地物内部的逼真感;可用于建筑设计、城市规划、地理环境过程模拟等,属于虚地图种类。因此,虚拟地图产品具有三个“I”(Interac-

tivity,交互式;Immersion,可进入性和沉浸性;Imaginary,虚拟性)^[13-16]。

3 数字地图的应用新方向

3.1 区域和城市规划地图制图

包括各种综合规划和专业规划制图。编制地图是区域与城市规划中必不可少的一个环节,其中的规划地理区位和环境需要通过规划图描述和反映,规划的内容需要在规划图上落实到空间位置,规划成果需要通过图的形成得以展示。编制区域和城市规划地图需要解决以下几个问题:一是规划底图的编制;二是专题内容的指标体系的建立;三是空间单元的划分;四是规划专题的数据处理和计算;五是计算后的内容如何可视化地表达在地图上。作者所在的团队近年来参与的区域规划及其制图任务有:北部湾(广西)经济区区域规划、张家界市旅游城市规划修编、宁夏石嘴山市“十二五”规划、江西省“十二五”规划、黄山风景名胜区信息化

建设规划等。

3.2 区域与城市生态环境制图

统一设计编制反映区域生态环境的形态结构、空间格局、机理过程、发展变化等基本概况的评价、预测和规划的专题地图制图过程,从而为区域生态环境的有效管理,资源的合理开发利用,区域开发决策,以及经济和社会的可持续发展服务。编制方法为地图演绎派生法,即首先划分综合地理单元,进而在分析基础上综合,在野外调查和遥感判读基础上编绘出自然地理单元轮廓线图,而后在综合指导下分析,派生出地貌、植被、土壤、土地利用等系列自然地理图,包括单因子生态环境评价图、生态环境脆弱度评价图、生态环境敏感性评价图、生态环境综合评价图等。图 7 反映的就是生态环境制图和规划制图的技术流程。

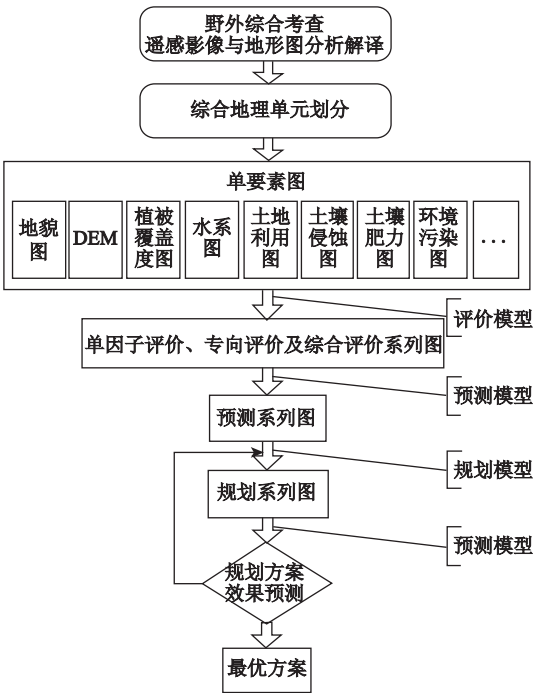


图 7 生态环境规划地图编制的技术流程
Fig. 7 Workflow of eco-environment planning mapping

3.3 区域与城市应急反应制图

应急反应地图根据其突发事件主题的类型可以划分为自然灾害应急反应地图、事故灾难应急反应地图、公共卫生事件应急反应地图、社会安全事件应急反应地图。根据其严重程度还可以在前面标识级别,Ⅰ级(特别重大)、Ⅱ级(重大)、Ⅲ级(较

大)和Ⅳ级(一般)。例如重大自然灾害应急反应地图等。应急反应地图编制中最重要的是数学模型的应用,即从突发公共事件的预测模型产生预测图层数据,从现状分析模型产生灾害态势图层数据,从应急选址/调度模型产生应急调度图层数据,从灾后损失评估模型产生灾后评估图层数据。此外,应急反应地图中还应该运用知识的预案,将其应用于应急反应地图视觉变量、颜色、符号等方面设计中,并研发应急调度动态地图。

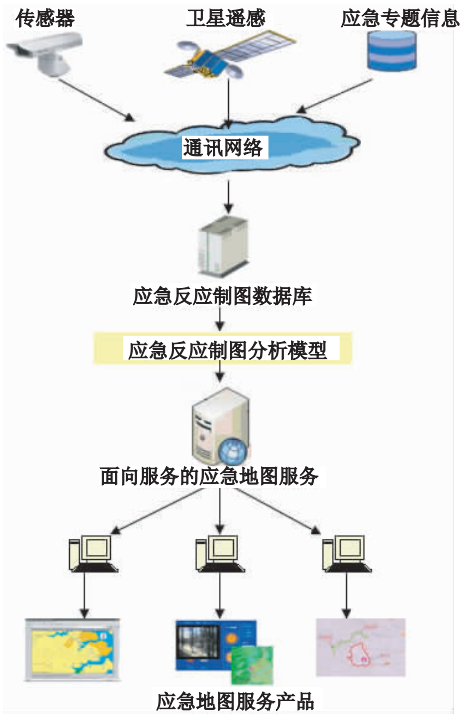


图 8 应急反应地图服务产品系统技术流程
Fig. 8 Workflow of emergency map service system

3.4 农村和农业信息化制图

农业和农业信息化过程中的地图制图,是作者所在的团队近两年来的主要工作领域。从理念上讲,采用的是“可视化管理”的理念和方法,即通过高新技术的集成来挖掘可视力,用系列二维、三维地图和动态地图与图表,实现既定性又定量、定位的可视化,一目了然地看清作物生长过程中所出现的各种问题,例如,出苗率、土壤水分、病虫害、长势、肥力等,就有可能采取及时的精确措施,逐步实施变量作业,以提高指挥决策水平和效率,达到提高作物产量和品质,降低成本和保护环境的目标。新型精准农业技术体系保证了人眼不能直接观看到的对象可以通过采用各种监测、测量设备获得真

实的数据,或者获得模拟量再经过数模转换装置转换为数字形式,进而实现计算机存储和管理,进而通过智能化方法或模型提炼出有用的信息,而后使用可视化手段转换为各种形式的可视化产品,例如,运用二/三维定位、划线、标注、挂标示牌、制表、制图等方法,生产出“文字的、数字的、图表或图形、

图像或组合形式的各种可视化产品,还可通过互联网或无线网实现远距离传输或共享。图 9 展示的是作者所在团队在中国科学院与沈阳军区农场开展精准农业技术集成与示范时的成果片断,4 幅地图分别是双山农场一队各地块的土壤氮含量图、土壤磷含量图、投入概算图和作物亩产图。

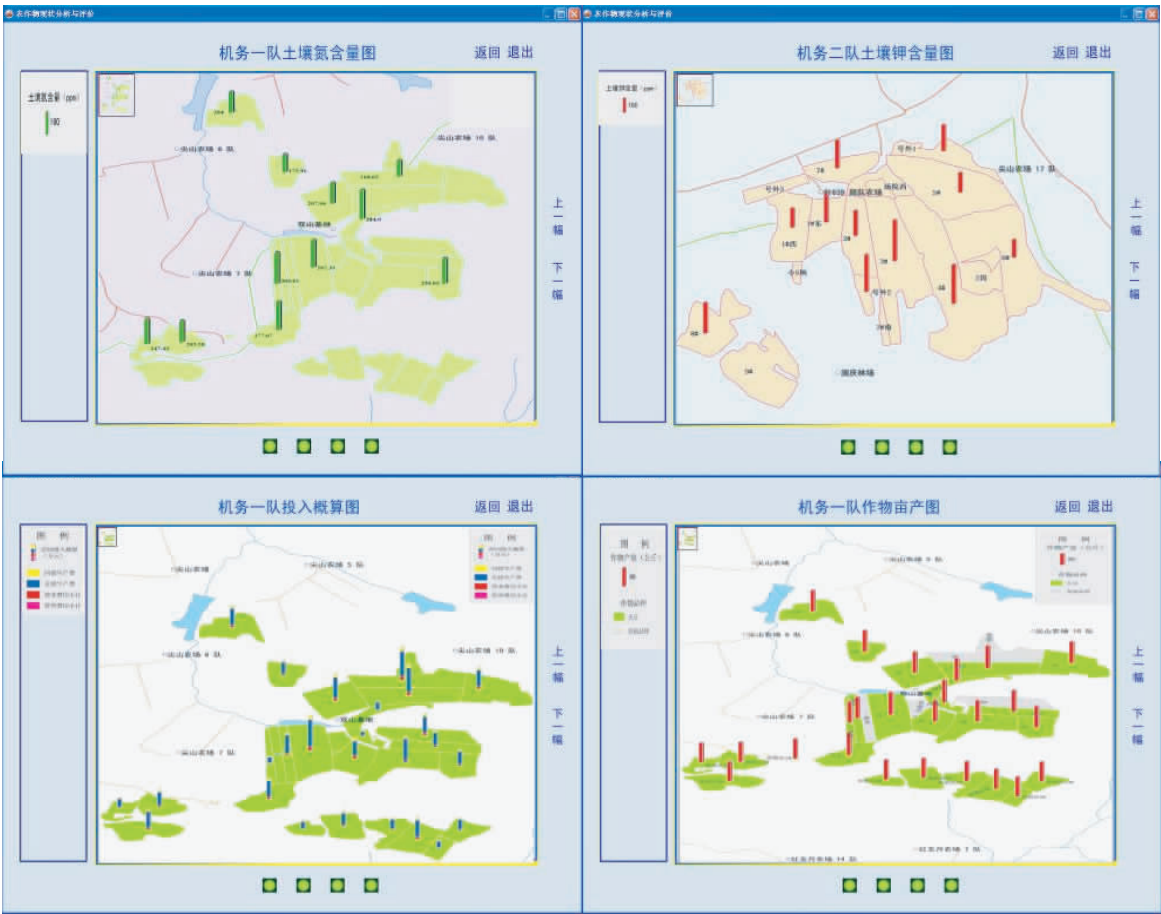


图 9 精准农业地图应用案例

Fig. 9 Sample of map application in precision farming

4 结语

数字地图是一种新型的地图信息源和地图产品。近年来无论在理论上或技术上,及在应用上均发生了很大变化。本文在以下方面做了较深入的研究:

(1)提出了数字地图理论新视点,包括根据高俊院士提出的“地图学四面体”理论所做的概括和理论框架梳理,以及提出数字地图研究成果的三维度(精度和科学性、抽象度和智能性、创意性)评价

标准体系。

(2)提出了数字地图的最新体系框架结构,即“1+7”结构(1 个主体,7 个研究方向),为数字地图的研究确立了核心研究方向。

(3)全面总结和展示了数字地图的制图技术进展,包括数字地图数据(管理)模型、制图综合、可视化和专题地图编制技术等。

(4)归纳和提出了数字地图产品系列的新框架,包括印刷地图、立体地图、电子地图、决策分析地图共 4 大类、7 个小类、21 个具体图种的产品分类体系。

(5)阐述和展示了数字地图的最新应用方向,

包括区域与城市规划、生态环境、应急反应和农村/农业信息化等四个领域的研究成果。

参考文献:

- [1] 齐清文,梁雅娟,何晶,等. 数字地图的理论、方法和技术体系探讨[J]. 测绘科学,2005,30(6):15-18.
- [2] 高俊. 地图学四面体——数字化时代地图学的诠释[J]. 测绘学报,2004,33(1):6-11.
- [3] Qi Q W, Liang Y J. Research and Development of Visualization-Analysis Oriented Digital Map Data Model [J]. Proceedings of Geo-informatics, 2008, 7143, 71433M.
- [4] 齐清文,刘岳. GIS 环境下面向地理特征的制图概括的理论和方法[J]. 地理学报,1998,53(4):303-313.
- [5] 齐清文,张安定. 关于多比例尺 GIS 中主导数据库多重表达的几个问题的研究[J]. 地理研究,1999,18(2):161-170.
- [6] 齐清文,赵小成,王凤满,等. 基于 MGE 的数字地图制图系统若干关键技术[J]. 地理科学进展,2001,20(增刊).
- [7] Qi Q W, Zhang A, Jiang L L, Zou X P, Xu L & Cheng X. Optimization of Mathematical Models for Thematic Maps[J]. SCIENCE CHINA Technological Sciences, 2010,53 (suppl 1): 15-24.
- [8] 姜莉莉,齐清文,焦健. 4D 一体化多媒体电子地图集理论方法和技术研究与开发——以《云南省生态环境多媒体电子地图集》为例[J]. 测绘科学,2006,31(4):37-41.
- [9] 齐清文,池天河,陈华斌,等. 地学信息产品的理论与技术研究[J]. 地理学报,2001,57(增刊).
- [10] 齐清文,池天河,廖克,等. 中国国家自然地图集电子版的设计和研制[J]. 地理科学进展,2001,20(增刊).
- [11] 池天河,齐清文,廖克,等. 中国国家自然地图集 Internet 版的设计和研制[J]. 地理科学进展,2001,20(增刊).
- [12] 齐清文,姜莉莉,梁雅娟,等. 生态环境类电子地图集的研究与开发[J]. 地理信息世界,2007.
- [13] Olson J M. The Effects of GIS and Digital Mapping on Cartographic Vocabulary [R]. Proceedings of ICC, 2001.
- [14] Liu H Y, Sun Q. The Digital Mapping System Establishing and Applying[R]. Proceedings of ICC,2001.
- [15] Corbett J M and Keller C P. Speaking Maps: Use of Digital Maps and Multimedia by Local Communities to Influence Decision Making in West Kutai Indonesia [R]. Proceedings of ICC,2003.
- [16] Cammack R G. Digital Paper Maps: A Framework for Making Digital Maps and Pens Work Across a Wireless Network[R]. Proceedings of ICC,2003.

Discussion on the Theoretic, Methodological and Technological System of Digital Map

QI Qingwen, JIANG Lili, ZHANG An

(State Key Laboratory of Resources and Environment Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Digital map represents an important symbol of Modern Cartography, and with it being the disciplinary core, there appeared several kinds of map products such as map databases, printed maps, electronic maps, mobile maps, and internet maps, etc., as well as variety of map developing and application modes. This paper discusses systematically the theory, method, technology and application of digital map. First of all, theoretic achievements of digital maps were expounded, and then the system structure frame of digital maps was discussed. Secondly, technological development of digital maps on data management, generalization, visualization and thematic map editing were presented. Thirdly, new framework of digital map products was raised up. Finally, some samples of digital map analysis and new way of applications were displayed. All this covered every point in the field of digital map research.

Key words: digital maps; new achievements; new technologies; new directions; new applications