引文格式：郭仁忠,张琛,杜清运,等. 数字时代的地图泛化与GIS升维[J]. 地理空间信息, 2026, 24(6):3-9. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.06.001

数字时代的地图泛化与GIS升维

郭仁忠[1]，张　琛[1]，杜清运[2, 3, 4]，任　福[2, 3, 4]，刘江涛[5]

（1. 深圳大学智慧城市研究院，广东 深圳 518060；2. 武汉大学 资源与环境科学学院，湖北 武汉 430079；
3. 武汉大学 地理信息系统教育部重点实验室，湖北 武汉 430079；
4. 自然资源部 数字制图与国土信息应用重点实验室，湖北 武汉 430079；
5. 深圳市规划和自然资源数据管理中心，广东 深圳 518000）

摘　要：经典地图学建立于地图投影、制图综合与符号系统三大理论之上，其二维静态的表达在面对数字时代的多元化应用场景时适应性日益不足。信息通信技术不断重塑地图学的技术范式与应用边界，观测技术的进步、表达能力的提升和应用需求的扩展使得地图逐渐呈现泛化特征。GIS渊源于地图学，地图的泛化又为GIS数据组织、空间分析和可视化的发展带来了新动力。本文分析了地图泛化的动因和GIS升维的路径，探讨了地图泛化推动GIS升维的逻辑，并以深圳市智慧城市案例展现了两者在数字时代下的内涵与外延变化。

关键词：地图泛化；GIS升维；数字时代；智慧城市

中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）06-0003-07

Extending Maps and Expanding GIS in the Digital Era

GUO Renzhong[1], ZHANG Chen[1], DU Qingyun[2,3,4], REN Fu[2,3,4], LIU Jiangtao[5]

(1. Research Institute for Smart Cities, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;
2. School of Resources and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
3. Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan 430079, China;
4. Key Laboratory of Digital Mapping and Land Information Application, Ministry of Natural Resources, Wuhan 430079, China;
5. Shenzhen Data Management Center of Planning and Natural Resources, Shenzhen 518000, China)

Abstract: Classical cartography is established upon the three theoretical pillars of map projection, map generalization, and map symbology. However, its two-dimensional, static representations are becoming increasingly inadequate when confronted with the diversified application scenarios of the digital era. Information and communication technology is continuously reshaping the technical paradigms and application boundaries of cartography. Advancements in observation techniques, the enhancement of representational capabilities, and the expansion of application demands have gradually led maps to exhibit a generalized character. While geographic information systems (GIS) originated from cartography, this character has, in turn, provided a new impetus for the development of GIS data organization, spatial analysis, and visualization. This paper analyzed the drivers of extending maps and the pathways for expanding GIS, and explored the underlying logic by which the former facilitated the latter. Finally, taking the smart city development of Shenzhen City, Guangdong Province as a case study, the paper demonstrated the evolution of both concepts' connotations and denotations within the digital era.

Key words: extending maps, expanding GIS, digital era, smart city

当前社会处于数字化转型阶段，信息通信技术（information and communication technology, ICT）正多方位、多视角、多领域地重塑社会生态范式，地图学和GIS也不能除外[1]。从古至今，伴随造纸术、印刷术、摄影术、计算机、移动互联网等一系列科技革命，地图的形态随历史发展不断演变[2]。进入数字时代后，地图的演变速度与广度更远超历史上任何时期。

著名哲学家维特根斯坦曾说过“语言的界限就是我们世界的界限”。该观点体现了一个哲学论断，即人类所认识、理解和表达的世界并非是实际存在的世界，而仅仅是人类能力所能认识、理解和表达的世界。类似地，人的听觉系统仅对特定频率范围的声波产生响应，对于蝙蝠运用的超声波或大象依赖

项目来源：国家自然科学基金资助项目（41930104、42401509）。

第一作者简介：郭仁忠（1956—），教授，中国工程院院士，研究方向为地图学、三维地籍、土地资源管理和智慧城市，E-mail：guorz@szu.edu.cn。

的次声波则无法直接感知；人的视觉系统也只对有限波长范围的光敏感，而鸟类对紫外波段、昆虫对红外波段的感知能力均超出了人类视觉的界限。地图也是人类创造的一种空间认知工具[3]。由此引申出一个值得思考的问题：地图对空间的表达是否同样存在界限？

地图构建地理世界而非复制地理世界[4]。传统地图主要基于地图投影、制图综合、符号系统所构成的经典理论框架，在有限的平面图幅上表达地理空间的对象分布[5-6]。地图投影将地球椭球投影至平面会产生误差，制图综合将大比例尺缩小到小比例尺需要做信息取舍和简化，符号系统将原始的空间数据、统计数据分类和转化为符号时同样也有信息丢失。因此，从地图学经典的3个理论可以看出，整个地图制图过程中存在大量的信息损失，这一现象也决定了地图对于空间表达的有限性。

在ICT技术的驱动下，地图所能表达的空间从地理空间拓展到地理、社会与信息构成的三元空间，采用的方式从单一的图形符号扩展到动静交融、维度多元的综合表达体系，实现了人与人、人与物、物与物之间信息获取、传递、认知等功能的广义空间表达，由此形成的地图称之为泛地图[7]。这一概念并不是对标准地图的简单否定或替代，而是地图学边界的合理延伸。与此同时，GIS植根于地图学并继承了地图学的思维，其理论基础与技术体系历来以地图为核心[8]。地图的泛化必然也对GIS的理论、方法和技术带来深刻影响，两者之间的关系如图1所示。本文就地图泛化与GIS升维两个问题展开了分析，旨在从理论视角阐述地图学和GIS在数字时代如何容纳和适应变化，探索二者在新时代背景下的创新发展路径。

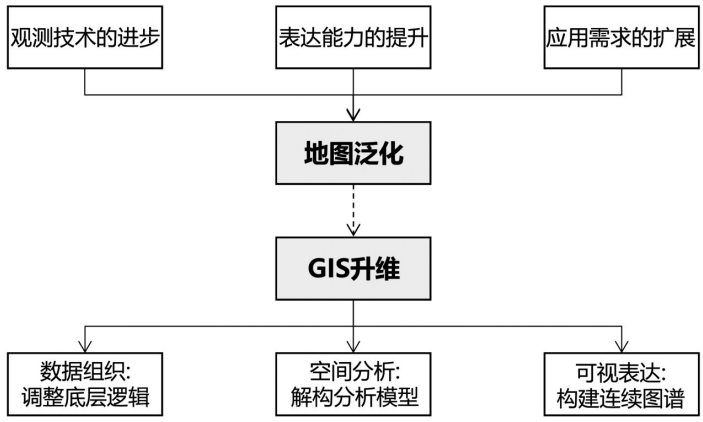


图1 地图泛化与GIS升维的基本逻辑

1 地图泛化：技术赋能与需求牵引

地图泛化并不是依据学科理论推导衍生的概念，而是技术发展与社会需求相互作用的必然结果，这一逻辑可以从观测技术、表达能力和应用需求三个维度加以阐释。

1.1 观测技术的进步

地图制图始终受到测量技术条件的影响。制图数据的获取早期主要依赖人工测绘、地面测量等技术手段，其核心任务是对地理空间进行几何化记录，因此形成了以点、线、面为基础的经典地图表达体系。受限于数据精度、获取效率等问题，地图通常采用固定比例尺、静态表达以及二维平面呈现方式，其数据组织形式也主要以矢量和栅格为主。这种技术条件决定了地图早期更加关注要素的空间位置、分布、形态等特征，也形成了地图学长期沿用的理论体系与制图范式。

对地观测、三维测图、物联感知等数据采集手段的丰富，促使人类获取的空间数据呈现爆炸性增长，海量多源异构的时空大数据不断涌现[9]。例如，激光点云通过海量离散点精细描述真实世界的空间结构，BIM数据不仅包含建筑物几何信息还集成了材料、结构和功能等语义属性，视频数据能够以连续帧形式记录动态场景，轨迹数据则反映了移动对象随时间变化的空间行为特征。相比矢量栅格数据，时空大数据不仅具有更高维度、更高精度和更强的时序性，还具有实时更新、动态变化和语义丰富等特点。以时空大数据密集型计算为特征的地图学科学范式，使地图学把着重点放在时空大数据的深加工方面[10]，地图学中经典的理论、方法和技术也因此开始面临挑战。

1.2 表达能力的提升

表达能力的提升是地图泛化的另一驱动因素。表达能力是指地图将空间信息转化为可感知、可理解、可交互的视觉或符号形式的能力，其提升体现在多个

方面：

1）表达维度：地图表达不再仅基于二维平面，也开始向三维延伸。实景三维、数字孪生等建模技术的运用，使地图中开始包含三维模型，不仅精确展现了地物的外观信息，而且描述了其三维立体组成结构、属性和语义，能够更加真实地还原地物[11]。

2）表达状态：地图不再只反映某一时刻的空间状态，也更加强调动态过程的表达。依托物联网传感器采集的数据，地图可以实时展示交通拥堵、人口流动、灾害扩散等时空变化过程，甚至实现对事物或现象发展的行为分析及趋势预测[12]。

3）表达内容：地图既能表达现实存在的空间，又能构建虚拟仿真环境。地图逐渐从单纯的信息展示工具演化为支撑分析、评价、模拟和预测的平台，能实现对森林火灾、洪水淹没、地质灾害等情景的模拟[13]。

4）表达风格：地图既可用统一符号的样式，又可呈现多种不同的视觉风格。水彩、素描、卡通、线划等风格的地图可以满足多媒体传播和个性化表达需求，成为兼具信息传达与视觉传播功能的综合媒介[14]。

5）表达尺度：地图可以集成多尺度数据并实时维护其一致性空间关系，尤其在网络环境下通过对地图数据建立逐级精细化的多层次表达模型，能实现从概略到精细化的渐进式可视化[15]。

6）表达空间：地图表达空间突破以地球为参照的地理空间范畴，从传统测绘空间扩展到了宇宙空间、室内空间、微观空间等可量测空间，覆盖多种类型且具有连续性[16]。

7）表达对象：地图可以描绘更细粒度的地理实体，具体的对象、目标、现象都能作为独立实体被表达与管理。实体在几何分析中能够保持自身的完整性，同时又可能与其他实体形成相互作用和关系[17]。

新技术的进步使得地图表达能力实现了显著提升。不同需求用不同的表达方法来传达不同信息，这是ICT技术支撑下地图所呈现的特征之一，地图对地理环境表达的边界也因此得以突破。

1.3　应用需求的扩展

应用需求为地图泛化提供了牵引力和方向。地图应用从传统的工程选址、路线导航等场景向规划设计、城市治理、交通系统、商业服务、公共服务等多类领域全面延伸[18]。不同行业和领域对空间信息的使用需求已远远超出标准地图的供给能力，主要体现在3个方面：①多源时空大数据的融入促使地图需要具备实时感知、监测、分析与决策等功能，应用需求由静态展示向动态监测与预测扩展；②数字文旅、城市规划、应急救灾等领域需要模拟真实地理环境，使用具备三维、四维甚至包含语义与行为的多维模型，应用需求由现实描述向虚实融合扩展；③除行政区划、城市路网等地理对象，建筑构件、市政设施、车辆行人、甚至花草树木也开始需要被管理和表达，应用需求从抽象概括向实体表达扩展。

可见，经典的地图学理论已难以支持形态各异的空间可视化产品或类地图。观测技术的进步、表达能力的提升和应用需求的扩展共同驱动地图在基础理论和方法上发生了变革。本质上，地图泛化的动因是顺应新兴技术与服务韧性需求，而其产生的结果必然是地图学的理论边界不断被突破和重塑。

2　GIS升维：挑战与路径

GIS是地图学的当代发展和数字化转型，继承了地图学的科学思维和技术特征，其本质上是基于地图的信息系统[19]。数字时代出现的各类新数据、新需求与新场景，对GIS三要素——数据组织、空间分析和可视化的理论与方法提出了挑战：矢量、栅格、属性三位一体的数据组织方法在二维地理信息处理中具有高度的完备性和工程适用性，但难以组织和表达海量的多模态时空大数据；围绕缓冲区分析、叠置分析、热点分析等构建的GIS空间分析方法在处理结构化空间数据时具有适配性，但在面对复杂时空动态过程以及时空规律挖掘问题时存在明显局限；以视觉变量为核心的可视化方法通过形状、尺寸、色彩等对地物进行符号表达，但视觉变量的类型和值域不足以覆盖全部要素或现象。

当经典理论无法支持多元应用时，学科亟需跳出应用问题本身，运用全局观、系统论视角，突破原有框架，寻找结构性变化以实现升维。

2.1　数据组织：调整底层逻辑

数据组织的升维方式是调整底层逻辑，建立多模态时空数据的统一组织平台。传统GIS多采用“纵向耦合”模式，例如规划GIS、土地GIS、交通GIS等各部门系统从数据采集、存储、计算到应用封闭运行，这一模式导致各系统数据有时存在不一致、不统一、不协调的现象[20]。数字时代的GIS需要转向“横向耦合”，本质上是构建开放式的数据平台作为基础设施，先实现多模态数据的统一汇聚与集成，再由各部门或行业各取所需、自主调取，进而开发面向各行各业的个性化应用，其模式如图2所示。这其中可能需要

解决若干核心问题：①异构数据的统一空间参照，在不同坐标系与不同时态的数据之间建立统一的空间基准以支撑跨模态运算；②不同数据模型之间的语义关联与互操作，通过本体建模等方式实现点云模型、建筑信息模型、三维地籍等数据在概念层面的一致性描述；③多模态数据的融合存储与高效检索，设计面向海量空间数据的检索引擎，兼顾数据完整性与查询效率。

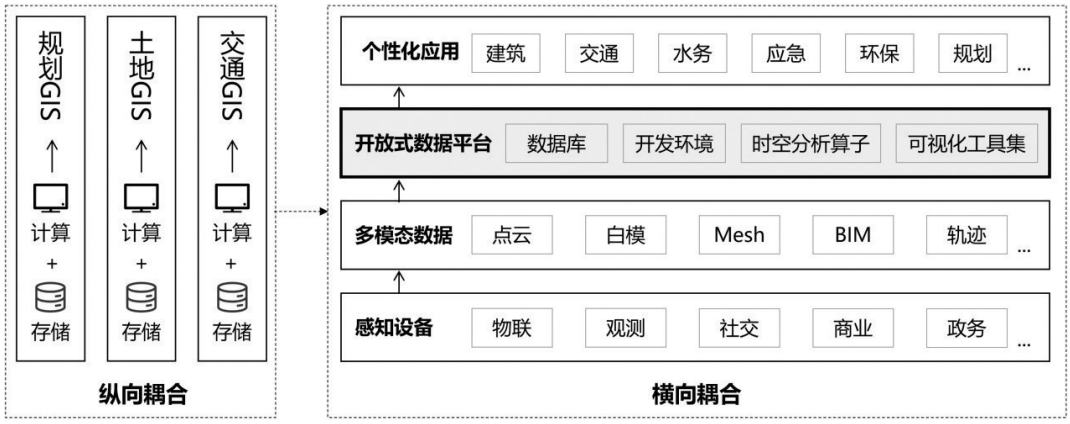


图2　数据组织从“纵向耦合”转向“横向耦合”

2.2　空间分析：解构分析模型

空间分析的升维方式是解构分析模型，从碎片化的单一分析工具转向结构化的共性支撑技术。随着GIS的应用场景越来越多元，针对矢量栅格数据的分析算法如缓冲区分析、叠置分析已难以解决复杂的空间问题，而统计学、拓扑学、图论、计算几何和信息论中已发展出处理相关性、关系不变性、连通性、几何运算和信息度量等一般性的分析方法，这些方法本质上并不依赖于特定数据模态，具备跨问题、跨场景的迁移能力。例如，图论中的最短路径算法既可用于道路网络，也可用于室内导航或供应链优化；空间自相关分析既可用于城市热岛检测，也可用于商圈辐射范围划定和流行病扩散模式识别。因此，空间分析的升维应以基础理论为底层支撑，实现共性技术与个性应用的分层，模式如图3所示。这一模式同样要求系统将基础分析功能与应用场景进行分层解耦，以时空分析算子的形式组织计算能力，通过接口标准化向上层应用开放，由使用者按需组装为具体分析流程。

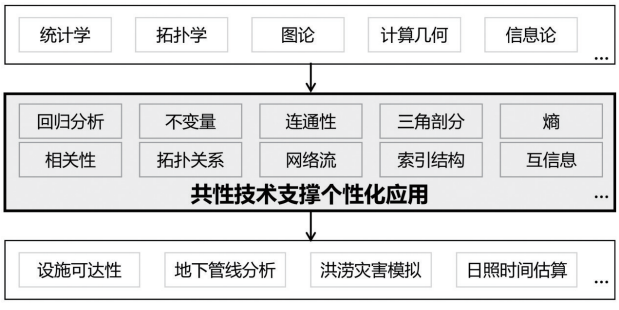


图3　空间分析以共性技术支撑个性化应用

2.3　可视表达：构建可视化图谱

可视表达的升维方式是运用“谱”的连续思维，构建可视化图谱。图谱的两端分别为写实与写意，常规地图仍遵循经典理论，位于图谱的中央[21]。写实端强调泛地图结果与表达对象的“形似”，可视化结果贴近于现实地理场景，能够尽可能高逼真还原现实地理场景，其类型以实景三维、数字孪生场景为代表；写意端强调地图结果与表达对象的“神似”，地图结果不再受准确位置表达的约束，转而以地图应用目的为导向，聚焦于地图主题的示意性表达，以达到简单、高效、直观表达关键信息的目的，其类型以Cartogram地图、Kriskograms地图为代表。理论上，可视化图谱不是一种离散的分类，而是从一端到另一端的连续分布，过渡区域涵盖变形地图、虚拟现实等大量中间形态。面对同一表达对象，制图者可以运用从具象到抽象、从一维到三维等可视化技术创建不同的可视化产品以适配各类应用场景，从而构建多种独立的连续图谱。

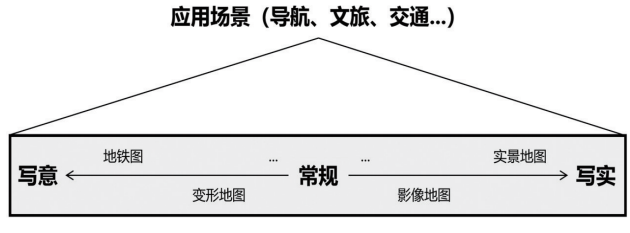


图4　可视化连续图谱

3　应用场景：以深圳市为例

建设数字中国是数字时代推进中国式现代化的重要引擎，而城市又是推进数字中国建设的综合载体，城市的数字化转型、智慧化发展是推动城市治理体系和治理能力现代化的必然要求。地图为城市要素和关系提供可视化表达方式，GIS也逐渐成为智慧城市的

操作系统[22]，两者在城市建设中不可或缺。

深圳市以不足2 000 km²的陆域空间承载高强度人口、产业和基础设施活动，同时具有山海城相融、地上下空间叠合、数字产业密集等特征。近年来，深圳市在各类智慧城市应用中形成实践，在地图泛化和GIS升维方面具有较强的城市样本意义，以下从数字政府、数字经济和数字社会3个方面进行概述。

3.1　数字政府

数字政府建设的核心任务，是以数据共享、业务协同和智能决策提升政府治理体系和治理能力现代化水平。对超大城市而言，数字政府首先面临的是治理对象高度复杂、治理空间持续拓展、治理过程动态变化以及跨部门协同难度较大等问题。

三维模型方面，深圳市面向拓展新质国土空间的迫切需求，以实景三维为基底打造了覆盖“空中、地面、地下、海洋”的城市四维时空数字底座，体现了地图在空间维数与表达对象上向更广袤物理空间的泛化，将低空、地下与海洋等物理空间均转化为可量算的数字空间（图5a、b、c）。

语义属性方面，深圳市聚焦复杂社会态势的精准治理，建立“地、楼、房、权、人”等要素协同更新机制，构建了社会治理统一地图，将地图表达对象由传统的二元地理空间，泛化至物理、社会与信息空间融合的“三元空间”，促使GIS从单一空间几何表述，升维至对治理要素的语义多维表达与知识化智能分析。社会治理地图打破了部门间数据协同与融合壁垒，赋予静态物理空间动态社会属性，极大提升政府的综合感知与精细化治理效能。

时序监测方面，深圳市促进GIS技术应用于城市规划、建设与管理全生命周期，实现各类BIM模型与实景三维及物联感知的融合，克服传统地图单一比例尺局限，实现表达尺度与可视范围向宏观、中观、微观多尺度跨越的泛化（图5d和5e）；同时标志着GIS核心管理模式向“时序化”与“全生命周期”的升维。GIS不仅还原了物理世界的内部结构与外在形态，更为城市运行态势的实时监控、全息感知与前瞻性仿真模拟构建了数据生态。

状态模拟方面，深圳市面向红树林、湿地、生物多样性等自然生态保护需求，在红树林区域构建了高逼真仿真仿生模型，使地图表达对象从静态地理要素扩展为具有生命状态、生态关系和演化过程的自然生命体（图5f）；GIS通过高光谱、激光点云、生态监测、仿生建模和时序分析，把生态空间从静态资源管理对象提升为可持续观测、可模拟评估的生态数字孪生对象。该技术既有利于生态保护和碳汇评估，又以更直观方式展现自然过程和生态价值。

应用服务方面，深圳市针对部门共建共享壁垒，汇聚多部门资源以GIS为核心，打造智慧城市操作系统，支撑逾400个智慧城市应用场景。该架构标志着GIS底层架构与功能定位由“封闭的纵向耦合”向“开放的横向耦合”的根本性转变，GIS平台从单一专业分析工具成为“智慧城市操作系统”，实现泛在空间信息按需调用与空间服务效能最大化。

3.2　数字经济

深圳数字经济具有产业链完整、创新主体活跃、应用场景丰富等特点，但也面临城市空间高密度运行、交通物流高频流动、低空资源开发利用、智能装备训练验证等一系列新问题。这些问题共同指向一个核心需求：需要把复杂城市空间转化为可被机器识别、可被算法计算、可被产业调用、可持续更新的数



a 低空数字空域网格图　b 城市三维地质图　c 海洋态势感知图

d 实景三维地图　e 城市设施室内建模　f 红树林仿真仿生建模

图5　深圳市城市时空数字底座建设实践

字空间资源。

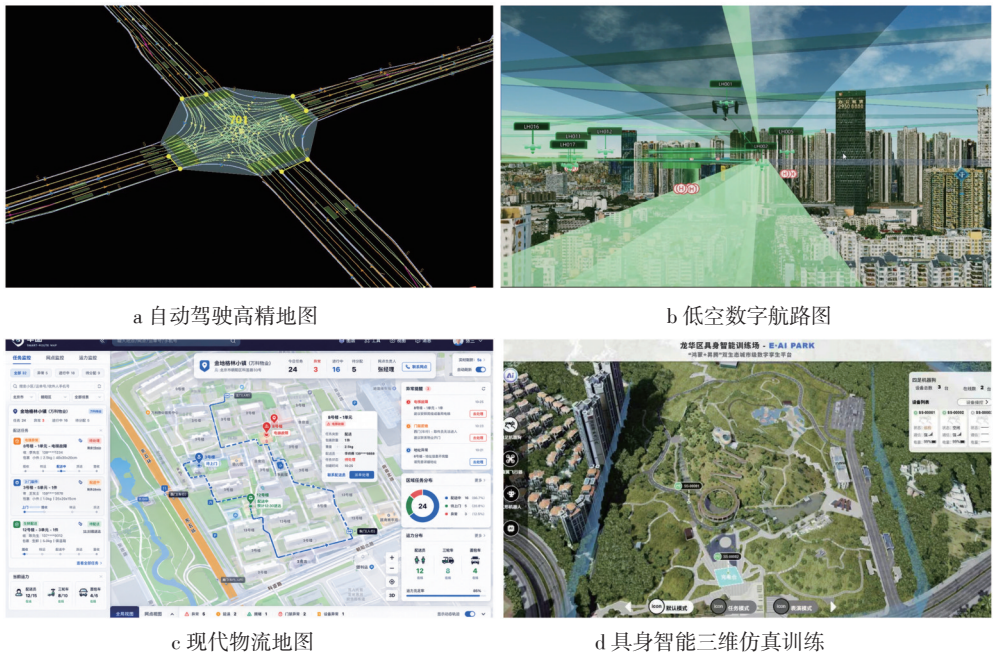
在智能交通领域，深圳市相关企业推动了交通数字孪生、自动驾驶众源时空数据更新、智能网联汽车高精度地图等技术创新。机器阅读的地图与传统地图具有较大差异，地图表达内容从道路几何表达扩展为道路语义、交通行为和环境特征表达（图6a），表达状态从离线静态地图扩展为高频更新的动态环境模型；GIS则从二维路网管理转向面向移动智能体的空间计算体系，为交通运行的智能优化和自动驾驶的商业化落地提供时空数据支撑。

在低空经济领域，深圳市政企合作建立全域的低空数字空域网格图，共同建设低空时空数字底座，尝试破解低空空域长期缺乏精细化表达、规则化组织和数字化运营能力等难题。地图泛化在这里体现为使低空从不可见的自然空间转化为可分层、可编码、可度量、可计算的立体空间对象（图6b）；GIS升维则进一步把低空空域组织为具有高度层、航线、起降点、障碍物、气象环境、通信条件和运行规则的综合空间系统，为低空交通组织、航线规划、风险评估和产业监管提供基础能力。

在现代物流领域，深圳市企业构建了物流行业高精地图，重点关注订单、车辆、网点、仓库、包裹和时间窗口之间的动态关系。地图从基础的地理底图向行业运行图转变，地图表达的重点由“地在哪里”扩展为“物如何流动、资源如何配置、网络如何优化”（图6c）；GIS则通过路径优化、网络分析、时空轨迹建模和运筹决策支持，将物流运行从经验调度提升为基于空间计算的系统优化，从而提升要素流转效率和城市运行效率。

在智能无人体系领域，无人机、无人船、无人车等具身智能，均需要大量接近真实世界的训练环境、验证场景和风险试错空间。现实城市中开展高频试验成本高、风险高、周期长，难以满足的迭代需求。地图泛化使地图从现实空间的再现，进一步扩展为可交互、可生成、可模拟的虚拟空间（图6d）；GIS升维则使空间表达具备时间分支、行为规则、物理约束和场景推演能力。

总体而言，数字经济的深圳实践证明地图泛化和GIS升维正推动空间信息从公共基础数据转化为新型生产要素，其价值不只在于提供位置服务，更在于支撑机器认知、网络优化、资源配置和场景仿真，进而成为城市新兴产业发展的共性基础能力。



a 自动驾驶高精地图　b 低空数字航路图

c 现代物流地图　d 具身智能三维仿真训练

图6　地图与GIS赋能数字经济

3.3　数字社会

社会生活日益数字化。公众对空间信息的需求已经从“查位置、看路线”扩展到沉浸体验、健康生活、生态认知、文化传播和参与治理等多层次需求。传统地图以专业性和工具性见长，但在面向公众的复杂场景中，单纯二维符号表达往往难以充分承载情感体验、场景理解和行为交互。面向社会公众对于地图泛化的需求，构建了丰富的跨媒介大众化地图产品，如反映特区改革成就的《深圳市地图集》（图7a）、“深圳印象”裸眼3D地图（图7b）、“山海连城”三维地图App（图7c）及自然资源地图小程序（图7d）等。深圳市的数字社会实践体现了地图载体从纸质地



a 深圳市地图集　b “深圳印象”裸眼3D地图　c “山海连城”三维地图　d 深圳自然资源地图小程序

图7　服务于社会生活的地图

图、电子地图扩展到移动应用、沉浸式展示、裸眼三维、文创产品和轻量化公共服务入口，GIS将空间索引、内容组织、服务导航和场景叙事结合起来，使地图成为连接城市历史、自然资源、公共服务和市民生活的综合媒介。

4　总　结

数字时代催生了层出不穷的新需求与新场景，地图与GIS在各类行业中的作用日益提升。技术赋能与需求牵引使地图呈现出显著的泛化特征，推动地图学理论不断突破传统边界。与此同时，地图的泛化对GIS的数据组织、空间分析与可视表达提出了全新挑战，亟需通过结构性升维来实现理论与方法的系统性变革。面对多元化的应用场景，唯有主动开放地图学与GIS的学科边界，发展底层理论、方法与技术，方能响应时代需求，让理论的灵魂跟上应用的脚步。

参考文献

[1] 郭仁忠,应申. 论ICT时代的地图学复兴[J]. 测绘学报,2017,46(10):1274-1283

[2] 孟立秋. 地图学的恒常性和易变性[J]. 测绘学报,2017,46(10):1637-1644

[3] 高俊,曹雪峰. 空间认知推动地图学学科发展的新方向[J]. 测绘学报,2021,50(6):711-725

[4] 王家耀. 时空大数据时代的地图学[J]. 测绘学报,2017,46(10):1226-1237

[5] 郭仁忠,陈业滨,赵志刚. ICT时代地图的科学概念及表达框架[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2022,47(12):1978-1987

[6] Maceachren A M. How Maps Work:Representation,Visualization,and Design[M]. Guilford Press,2004

[7] 郭仁忠,陈业滨,应申. 三元空间下的泛地图可视化维度[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2018,43(11):1603-1610

[8] 陈述彭. 地理系统与地理信息系统[J]. 地理学报,1991,46(1):1-7

[9] 李德仁,姚远,邵振峰. 智慧城市中的大数据[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2014,39(6):631-640

[10] 王家耀,武芳,闫浩文. 大变化时代的地图学[J]. 测绘学报,2022,51(6):829-842

[11] 朱庆,张利国,丁雨淋,等. 从实景三维建模到数字孪生建模[J]. 测绘学报,2022,51(6):1040-1049

[12] 陈军,武昊,刘万增. 自然资源“一张图”的技术内涵与发展方向[J]. 时空信息学报,2026,33(1):1-12

[13] 刘纪平,王琢璐,徐胜华. 人工智能时代下的应急测绘[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2025,50(6):1029-1041

[14] 吴明光,孙彦杰,闾国年. 地图风格迁移:概念、综述与展望[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2022,47(12):2069-2084

[15] 艾廷华. 网络地图渐进式传输中的粒度控制与顺序控制[J]. 中国图象图形学报,2009,14(6):999-1006

[16] 华一新. 全空间信息系统的核心问题和关键技术[J]. 测绘科学技术学报,2016,33(4):331-335

[17] 艾廷华,余华飞. 地理实体建模中的表达粒度问题[J]. 测绘科学技术学报,2025,41(5):441-447,485

[18] 刘纪平,车向红,王勇. 从第31届国际制图大会看地图制图学的研究进展[J]. 地球信息科学学报,2024,26(1):3-14

[19] 郭仁忠,陈业滨,赵志刚. GIS的科学概念转化:从Map-based GIS到Space-oriented GIS[J]. 测绘学报,2024,53(10):1853-1862

[20] 郭仁忠,贺彪,赵志刚. 智慧城市逻辑架构与孪生平台技术需求[J]. 测绘学报,2025,54(5):777-784

[21] 郭仁忠,陈业滨,马丁. 论ICT时代的泛地图表达[J]. 测绘学报,2022,51(7):1108-1113

[22] 郭仁忠,林浩嘉,贺彪,等. 面向智慧城市的GIS框架[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(2):1829-1835