



# 基于可视化维度的泛地图表达机制

遆 鹏<sup>1</sup> 侯晓彤<sup>1</sup> 李志林<sup>1</sup> 代如玉<sup>1</sup> 陈业滨<sup>2,3</sup> 郭仁忠<sup>2,3,4</sup>

1 西南交通大学地球科学与环境工程学院国土空间可持续发展研究院, 四川 成都, 611756

2 深圳大学建筑与城市规划学院智慧城市研究院, 广东, 深圳, 518060

3 自然资源部国土空间大数据工程技术创新中心, 广东 深圳, 518060

4 武汉大学资源与环境科学学院, 湖北 武汉, 430079

**摘 要:**在信息与通信技术的推动下,地图可视化表达呈现出突破创新和拓展泛化的趋势,然而地图设计与制作过程仍然高度依赖制图者的自然智能和专业经验等主观性因素。为适应信息化时代下地图表达与制作的客观化和自动化需求,同时推进地图学理论方法与新型地图可视化技术的同步发展,首先基于泛地图可视化维度体系和地图功能体系,建立表达需求与可视化维度的关联关系;然后分析不同可视化维度类型所对应的典型地图可视化形式,构建表达需求解析→可视化维度组合→表达形式建立→地图表达的泛地图表达机制。这进一步拓展了地图学研究和实践应用,助力地图设计、表达和制作逐步走向大众化。

**关键词:**泛地图;地图可视化;地图表达机制;可视化维度

**中图分类号:**P208;P28

**文献标志码:**A

地图是人类三大通用语言之一,以图形可视化的方式表达空间对象和现象的特征及其关系,是人们认识世界的工具,也是人们改造世界的成果,地图使用贯穿了整个人类文明发展历程<sup>[1-2]</sup>。地图表达从最早以粗放式描述地理空间,演进为近代基于一定数学理论进行地理空间和社会人文空间的刻画<sup>[3-4]</sup>。当前,随着信息和通信技术(information and communication technology, ICT)的迅速发展,信息空间的数字自由充分解放了传统地图可视化表达的物理约束,出现了大量有别于传统地图的新型地图,地图表达向多维度、层次化、立体化进行拓展、创新和突破,从而呈现出典型的泛化特征<sup>[5]</sup>。然而,新型地图作品的繁荣泛化主要是在信息技术驱动下的进步,大量新型地图并未被传统地图学理论体系所论述,地图学理论发展严重滞后于技术创新,无法指导当前信息化时代的地图实践<sup>[6]</sup>。

随着信息时代网络技术、智能感知技术、人工智能技术等快速发展,地图学进入了大变化时代,地图科学的社会影响力也与日俱增<sup>[7]</sup>。文献[8]讨论了信息化时代下地图表达面临的基本问题,认为新时代地图表达与制作应向客观化和

自动化方向发展,从而应对信息环境下时空数据的动态性、快速性、可变性等特征,并指出其实现的关键在于减少地图制作中的主观因素,达到地图的客观化设计与动态自适应表达。当前尽管在信息化环境下地图表达技术获得了创新进步,然而地图设计与制作的过程仍然沿袭传统方式。首先制图者根据表达对象特征进行制图需求分析,并结合制图数据特点设计适宜的可视化表达形式和方式;然后基于视知觉理论和视觉表达变量组合或复合进行地图要素表达与符号化,最终实现地图可视化。此过程中,地图表达设计和符号化的关键环节仍然高度依赖制图者的专业素质、制图经验、艺术素养等主观性因素。为提升地图制作的客观化和自动化水平,大量学者针对地图表达的自动化实现进行了探索研究,包括多尺度表达<sup>[9]</sup>、基于信息量的最优地图表达<sup>[10]</sup>、形式化符号表达<sup>[11]</sup>、自适应表达等方面<sup>[12]</sup>。文献[13-14]基于地图模板+表达变量的模式,自动化制作特定类型或面向某一应用目标的专题地图;文献[15-17]针对地图表达机制构建进行了探索,首先将表达对象分为专题要素和地图背景两类,然后分别自动化选择适宜的视觉表达变量和符号,最后生成

收稿日期: 2022-08-16

项目资助:国家自然科学基金(41930104, 41871365);科技基础资源调查专项(2019FY202504);四川省科技项目(2020JDTD0003)。

第一作者: 遆鹏, 博士, 副教授, 博士生导师, 研究方向为地图学与空间信息可视化。pti@swjtu.edu.cn

通讯作者: 李志林, 博士, 教授, 博士生导师。dean.ge@swjtu.edu.cn

地图表达。然而,当前相关研究主要面向制作某一类已确定的地图表达(如地形图或某一类型的专题地图),主要提升了传统地图生成过程中地图符号表达环节的自动化程度。而对于自动化地图设计,即从实际需求转化至适宜的地图表达形式和方式的过程,仍然缺乏相关研究,其难点在于实际需求往往是从一个或几个视角去要求相应的地图可视化表达,例如认知对象演变可能需要动态表达,面向认知效率提升可能需要定性示意性表达等,而最终地图可视化表达则需要完整的可视化特征进行构建。例如,在动态表达需求下,地图表达仍然需要确定二维或三维、矢量或栅格形式等可视化特征,当前该部分工作仍然由制图人员完成。

本文面向信息时代赋予地图表达的新要求,以提升地图设计和制作的客观化和自动化程度为目标,结合当前地图表达技术的泛化发展,提出泛地图表达机制,旨在进一步拓展地图学研究

和实际应用,推进地图学理论方法研究与新型地图表达技术的同步发展,助力地图设计、表达与制作逐步走向大众化。

## 1 泛地图表达机制构建的基本思路

根据地图表达的内涵,文献[18]从人们认识和理解地图的不同视角出发,根据当前新型地图可视化表达形式和方式,提出了地图可视化维度的概念并构建了维度体系,包括时间结构、几何逻辑、空间维数、空间组织、表现形式、对象状态、表达尺度、载体介质、空间参照面和读图者视点等10类可视化维度以及25类子可视化维度,如图1所示。可视化维度体系构建了完整的地图可视化表达特征,是地图可视化表达的本征模型<sup>[5]</sup>,为自动化实现从实际需求到最终的地图可视化表达提供了桥梁作用,从而减少地图表达中需要制图者主观判断的影响,为构建面向客观化地图制作的地图表达机制构建奠定了基础。

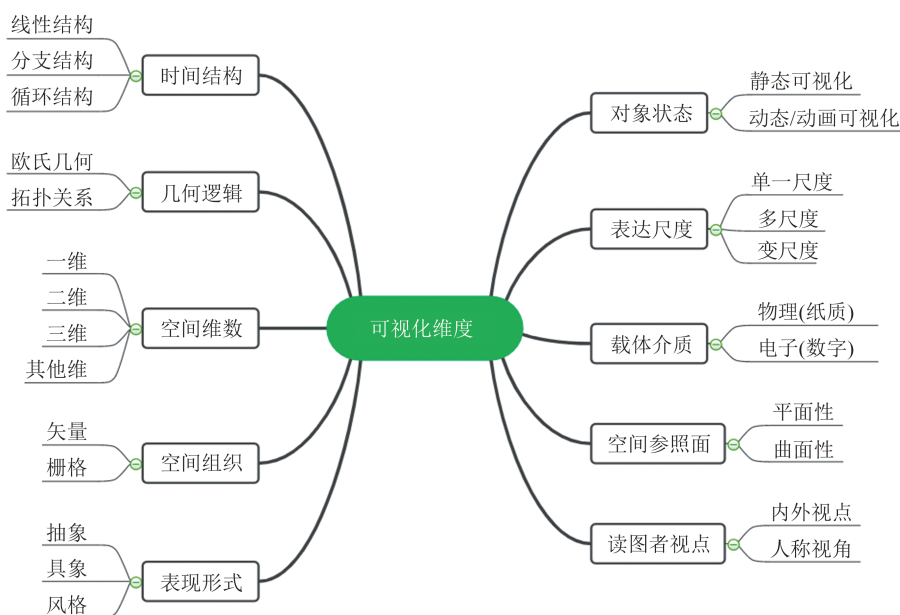


图1 泛地图可视化维度体系<sup>[5]</sup>

Fig.1 Visualization Dimension System of Pan-Map<sup>[5]</sup>

在ICT时代,地图可视化表达向多维度、层次化、立体化进行拓展、创新和突破<sup>[5]</sup>。这种泛化地图表达极大推动了地图功能的提升,例如全景三维地图更加符合人们自然认知习惯,示意性地图表达更有助于人们定性推理决策,艺术型地图表达风格有利于文化传播等。然而,这些新型的地图可视化表达技术并未包含在现有地图表达机制及相关理论研究的范畴内。因此,本文基于可视化维度体系,首先从地图功能提升的角度

分析泛化可视化表达需求,建立表达需求与可视化维度的关联关系;然后,顾及传统和新型地图可视化表达形式和方式,分析可视化维度与典型地图可视化表达形式和方式之间的关联关系;最后,构建泛地图表达机制。该机制基本实现思路如图2所示,首先根据泛化可视化表达需求的分析,建立从实际用途、制图数据特征和用户需求3个方面到表达需求的解析转化,然后基于构建的表达需求与可视化维度的关联关系,确定面向地

图表达形式所需要的可视化维度组合,最后基于可视化维度与典型地图可视化表达形式和方式的关联关系,确定地图可视化形式。

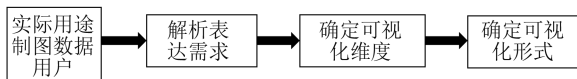


图2 泛地图表达机制构建的基本思路

Fig.2 Construction of Representation Mechanism of Pan-Map

## 2 基于地图可变性功能提升的地图泛化表达需求与可视化维度的关系构建

从满足人们认识现实世界需求的角度出发,地图功能被划分为信息承载功能和解释反映功能的两种不变性功能,以及认知功能、传递功能、决策支持功能和社会功能4种可变性功能<sup>[19]</sup>。不变性功能是任何形式的地图都应具备的基本能力。而对于满足不同的实际应用需求,地图可以具备一种或多种可变性功能。由于技术手段的限制,传统地图可视化主要以二维单一比例尺静态展示为主,并以制图者主导制作的方式将地图信息单向传输给使用者。地图分析过程仍然是基于人的智能进行解译和信息组织关联,地图只是辅助工具。面向地图多尺度表达的需求,主要采用的方式是生产不同单一比例尺的地图。因此,在传统展示环境的限制下,地图可变性功能只是较低层次的实现,其静态性和单一均匀比例尺的表达形式并不符合人们对于真实环境的认知习惯。作为人们空间认知的重要工具,当前地图只是起到了辅助决策的作用,文献[20-21]认为地图可以具备引导行为决策的功能。在信息化环境下,数字空间展示自由能够极大推动地图功能的提升,因此本文基于地图可变性功能并顾及现有新型地图可视化表达形式和方式,从功能提升的角度分析地图泛化表达需求,建立其与可视化维度的关系,为泛地图表达机制构建提供支持。

### 2.1 地图可变性功能的提升

对于地图认知功能,本文面向不同的应用需求,从易于认识和认知两个角度进行分析。面向地图可变性功能提升的泛化需求主要包括:(1)提升自然认识能力,现实世界中对象和现象都是以动态变化形式存在的,对于反映地理对象和现象的时空分异、演化过程及其要素相互作

用,数字环境中地图动态化表达更加符合人们的自然认知习惯;传统地图以平面为载体并采用单一尺度和正射投影表达形式,其表达受到显示模式和展示介质的约束,并不符合人们对于现实对象的全方位多视角观察的认知习惯,现有研究表明,地图从单一视点 to 多视点的变化增强了地图信息传输效率<sup>[22]</sup>。(2)提升定性认知能力,对于许多常见地图应用,人们通常需要高度抽象的定性化信息表达<sup>[23-24]</sup>,而传统地图上存在的冗余信息往往会增加认知负荷,从而降低识图效率。因此简化冗余信息的同时保留必要认知特征信息的示意性表达已经受到大量学者关注,如心象地图<sup>[25]</sup>。(3)提升决策支持功能,传统基于地图的决策分析主要采用地图阅读和图解方式<sup>[26]</sup>。信息空间不仅能够实现地图上数据和信息的关联可视化表达,并且支持地图系统的图解、数学分析方法、人工智能的专家系统,从而更好地实现地图决策辅助功能。除了辅助决策,一些学者认为地图可以具备引导决策的功能<sup>[20-21]</sup>。通过有意图改变特定地图要素的符号表达形式和风格统一性,形成目标地图要素与其他要素的差异表达,以达到引导用图者形成某种特定认知并影响其行为决策的目的<sup>[27-29]</sup>。(4)提升社会传播功能,地图社会功能是指通过地图可视化表达形成非空间性的社会行为或意识。面向社会功能提升的泛化需求主要指地图制图风格根据应用目的进行表现和自由切换,从而实现商业和行业宣传、社会意识构建和国家文化传播等效果。

### 2.2 面向地图可变性功能提升的泛化表达需求分析

基于§2.1中面向可变性功能提升的地图能力需求分析,可以将地图泛化表达需求归纳为7个方面,包括动态化、真实感、多视角、多尺度、示意化、聚焦化和意图化。针对每个泛化表达需求的分析如下:(1)动态化,地图可视化表达采用动态方式反映对象或现象的变化,其主要关联的可视化维度为对象状态中的动态可视化以及时间结构,同时动态方式则需要电子载体介质进行支持。(2)真实感,地图可视化表达逼近于表达对象的现实视觉表现,例如影像地图、实景三维地图,其主要关联的可视化维度为表现形式中的具象。(3)多视角,用户可以采用不同视角观察地图,以支持“远粗近细”的自然认知习惯。其主要关联的可视化维度为读图者视点、空间维数中的三维展示空间,并且辅以人图交互方式。(4)多尺度,



不同比例尺地图可以自由切换展示,以支持多尺度认知和分析的需求,切换方式可以分为不同单一比例尺地图之间切换和连续比例尺展示。其主要关联的可视化维度为表达尺度中的多尺度,并且辅以人图交互方式。(5)示意化,地图采用简化的可视化表达方式,从而忽略或减少不必要信息的展示,同时保持有效的地图认知。其主要关联的可视化维度为表现形式中的抽象和几何逻辑中的拓扑关系。(6)聚焦化,地图可视化表达需要重点关注用户感兴趣的特点对象或特定区域。其主要关联的可视化维度为表达尺度中的变尺度,而变尺度不能呈现精确的空间位置,只能保持几何逻辑可视化维度中的拓扑关系。(7)意图化,地图可视化表达需要反映某一特定意识,从

而实现引导决策或社会意识传递。其主要关联的可视化维度为表现形式中的风格,包括整体风格和风格混合两种方式。

2.3 地图表达需求与可视化维度之间的关联关系

表1展示了表达需求与可视化维度的关联关系,由于传统地图可视化形式和展示环境的局限性,所能采用的可视化维度类型基本上已经被限定(对应传统表达需求)。而对于数字展示环境下的泛化表达需求,基于§2.2中面向地图可变性功能提升的表达需求分析,本文建立了与其主要相关的可视化维度的关系(对应泛化表达需求),其他未确定的可视化维度可以根据制图数据特征和用户偏好进行确定和选择。

表1 表达需求与可视化维度的关联关系  
Tab.1 Relationship Between Representation Requirements and Visualization Dimensions

表达需求		时间结构	几何逻辑	空间维数	表现形式	对象状态	空间组织	表达尺度	载体介质	空间参考面	读图者视角
传统表达需求	展示需求		欧氏	二维	抽象	静态		单一尺度		平面	第三人称
	多尺度需求		欧氏	二维	抽象	静态		多个单一尺度		平面	第三人称
	分析需求		欧氏	二维	抽象	静态		单一尺度		平面	第三人称
	单向传递需求		欧氏	二维	抽象	静态		单一尺度		平面	第三人称
泛化表达需求	动态化需求	√				动态			电子		
	真实感需求				具象						
	多视角需求			三维					电子		√
	多尺度转换需求							多尺度	电子		
	示意化需求		拓扑		抽象						
	聚焦化需求		拓扑					变尺度			
	意图化需求				风格						

注:√表示相关联的可视化维度,但子可视化维度需要根据实际需求确定

3 可视化维度与典型地图可视化表达形式的关系构建

基于§2中表达需求与可视化维度的关系构建,实现了从实际需求到可视化维度的关联。本节主要分析不同类型的可视化维度对应的现有典型地图可视化形式,为泛地图表达机制构建提供可视化维度到地图表达形式的关联关系。然而并不是所有的可视化维度都是与地图表达形式直接相关,其中空间维数和空间组织是地图可视化表达的内在性质,载体介质决定了地图可视化表达的环境,对象状态是地图可视化表达的方式手段,这4类可视化维度主要取决于具体地图表达形式的需求。因此,这里主要针对其他6类可视化维度,即时间结构、几何逻辑、表现形式、

表达尺度、空间参照面以及读图者视点,结合现有地图可视化表达形式和技术,分析描述其对应的典型地图可视化表达形式,如图3所示。

3.1 时间结构与可视化表达形式

面向时间结构的地图可视化表达主要反映空间对象或现象随时间的变化,包括线性结构、分支结构和循环结构3类子维度。

1)线性结构,表达线性时间结构最为常见的一种形式是将地图与时间轴结合,通过选择时间轴上的时刻节点或时段线进行相关信息的视角线性结构展示,如谷歌地图的时间轴功能可帮助查看过去任意一天去过何处。反映随时间变化的动态地图可视化表达形式将不同时间的地图进行叠加,并以动画形式按照一定顺序进行逐一呈现,主要用于重现过去或预测未来发展<sup>[30-31]</sup>。



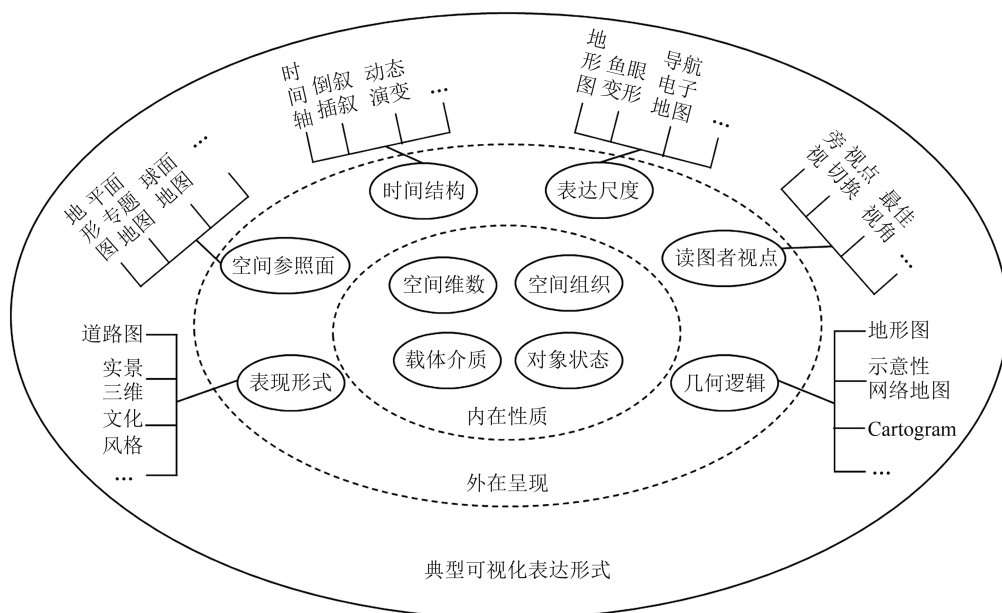


图3 可视化维度与典型地图可视化形式

Fig.3 Visualization Dimensions and Typical Map Visualization Representations

2)分支结构和循环结构。当前动态地图可视化表达形式主要以表现时间自然顺向变化为主,同时也出现了反映不同时间结构的倒叙和插叙的手法<sup>[32]</sup>,这种循环和分支时间结构的可视化表达形式可为基于地图的城市变化和歷史变迁研究提供新的思路<sup>[33]</sup>。

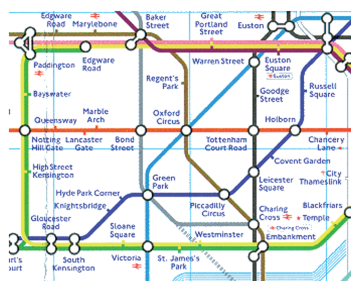
### 3.2 几何逻辑与可视化表达形式

几何逻辑主要反映地图可视化表达是否保证空间位置精确,包括欧氏几何和拓扑关系两类子维度。

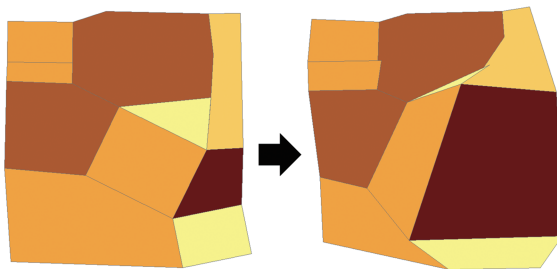
1)欧氏几何。传统地形图可视化表达形式以详实反映地理空间对象和现象的角度,精确地保持了地理要素的位置、形状、距离等度量特征。

但从利于地图使用和理解的角度,相关研究表明精确性并不是必要的,认知学研究表明人的推理决策行为大部分是在定性表达基础上完成的<sup>[34]</sup>。

2)拓扑关系。保持必要认知特征同时忽略精确性的示意地图表达形式已经得到许多学者的关注,图4(a)是面向线状要素的示意性地图表达,通过保留拓扑及相对性关系,将线路形状和方向进行简化,从而提升了使用者的认知效率<sup>[35-37]</sup>;图4(b)是面向面状要素的Cartogram地图可视化表达形式,对每个面状要素进行面积变形并尽量保持其相对位置关系,使其与所要表达的属性信息数量成一定的比率关系,从而通过不同面状要素面积的差异反映其属性信息数量的差异<sup>[38]</sup>。



(a) 示意性网络地图表达形式



(b) Cartogram表达形式

图4 示意性地图表达形式

Fig.4 Representations of Schematic Maps

### 3.3 表现形式与可视化表达形式

表现形式包括抽象、具象、风格3类子可视化维度,图5展示了部分子可视化维度对应的典型地图可视化形式。

1)抽象表现形式。抽象表现形式是传统地

图主要采用的形式,通过抽象化的点、线、面等符号表现了对象的空间位置、形状、分布等特征,主要有地形图、土地利用地图、行政区划、道路地图等类型。相对于标准地图,示意性地图等主要关注与拓扑关系的体现,并不需要保持精确的位置和形状,

是具有更高抽象程度的地图可视化表达形式。

2)具象表现形式。具象表现形式主要以体现表达对象的真实性为目标,通过高逼真还原现实地理场景的手段,从而更好地支持交通出行、环境监测预警、市政管理服务等领域的实际应用,常见实景地图有影像地图和实景三维地图两种可视化表达形式。影像地图主要采用将专题地图符号或其他信息叠加在航空或卫星影像上的方式<sup>[39-40]</sup>(见图5(a)),实景三维地图常基于360°全景照片结合地理实体三维模型的方式生成实际环境的表达<sup>[41]</sup>(见图5(b))。

3)风格表达形式。除了抽象和具象的表现形式外,当前更多种类的艺术风格也融入到地图可视化表达中<sup>[42]</sup>,例如文化风格、绘画风格(见图5(c))、卡通风格等,显著提升了地图的美观性和艺术性,更易于被普通大众喜爱和接受。此外,相关研究基于人们认知习惯,通过在一幅地图上进行有意图的差异化风格表达可以实现引导人们决策行为的效果,主要包括增加或增强专题符号和改变特定地理要素表达形式两类方式。第一类方式主要利用专题符号突出表达特定信息,从而引导人们决策行为,例如通过增强地图上公共设施表达效果以引导人们步行出行的意愿<sup>[29]</sup>(见图5(d)),通过增加公交地图上车辆出发时间、等待时间、当前位置以及行驶方向信息的差异化表达提升用户寻找最快路线的效率<sup>[28]</sup>,通过反映路线拥堵情况差异的符号表达实现交通分流<sup>[43]</sup>。第二类方式主要通过改变特定地理要素自身特征的方式实现对于人们行为决策的引导作用,例如通过改变地图上路线几何形状引导用户路线选择行为<sup>[43-45]</sup>。



(a) 影像地图<sup>[39]</sup>

(b) 具象三维地图表达<sup>[41]</sup>



(c) 绘画风格地图表达<sup>[42]</sup>

(d) 决策引导地图表达<sup>[29]</sup>

图5 不同表现形式维度的地图可视化表达

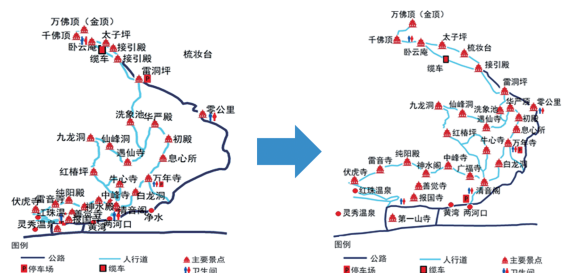
Fig.5 Maps with Different Representation Types of Visualization Dimensions

### 3.4 表达尺度与可视化表达形式

表达尺度包括单一尺度、多尺度和变尺度3类可视化维度:(1)传统地图以单一尺度表达为主,典型地图形式包括地形图、专题地图、道路地图等表达形式;(2)对于多尺度地图,当前常用的表达形式主要是基于多个比例尺地图的导航电子地图,通过不同比例尺地图的切换以实现地图多尺度展示;(3)变尺度表达是通过改变地图单一均匀比例尺的表达形式(见图6),将关注对象区域进行相对放大,其他区域相对收缩,从而提升了关注对象的表达清晰度,非常适合小屏幕设备显示。变尺度表达主要包括针对地图某个局部区域和整个区域的两种类型<sup>[46]</sup>。鱼眼变形是一种典型针对局部区域的变尺度表达方法,即将用户周围区域放大的同时压缩其他区域<sup>[47-48]</sup>(见图6(a))。针对地图整体区域的方法主要通过压缩地图上稀疏区域和增大密集区域的方式提升地图整体的表达清晰度<sup>[12,49]</sup>(见图6(b))。



(a) 面向局部区域放大的鱼眼变形地图表达<sup>[47]</sup>



(b) 面向整体分布均匀化的变尺度地图表达<sup>[49]</sup>

图6 变尺度地图可视化表达

Fig.6 Variable Scale Map Representations

### 3.5 空间参照面与可视化表达形式

空间参照面包括平面和曲面两类子维度:(1)传统地图是以平面基底进行空间对象的展示,包括地形图、日常使用的导航地图;(2)数字展示环境能够突破平面基底的约束,如Google Earth可以实现曲面基底的地图可视化表达基于立体或者球面的空间环境的呈现,可以增强地图用户对于地理对象或现象更为直观的体验感,同时空间参照面的相互切换也提升了用户在识别、认知、分析时的多方位、多角度、多层次的空间感受。



### 3.6 读图者视点与可视化表达形式

读图者视点包括内外视点和人称视角两类子维度:(1)传统地图展示只能实现对象外部可视化、“自上而下”的第三人称的空间观察视角。数字空间实现了地理空间及其对象的多角度表达,主要体现为对象展示可以包括外视点(外表可视化)和内视点(内里可视化),以空间侧视、旁视、透视以及 360°全视的第一人称视角。内外视点主要基于对象多尺度表达形式,可以采用交互缩放方式实现不同视点间的表达尺度变换。(2)面向多视角表达需要的现有地图可视化表达形式主要包括通过最佳观察位置实现最优信息传递效率<sup>[22,50-51]</sup>和通过交互方式由用户选择观察视角,如 Google Earth 球面展示环境。

## 4 泛地图表达机制构建

泛地图表达机制是实现从实际需求向地图可视化表达形式的实现流程。本文首先基于已构建的表达需求与可视化维度的关联关系,实现从实际用途、制图数据特征和用户需求到表达需求的解析转化;然后确定所需要的可视化维度组合;最后基于可视化维度与典型地图可视化表达形式和方式的关联关系,确定地图可视化形式。泛地图可视化表达机制流程如图 7 所示,主要包括 3 个部分:(1)从实际用途、制图数据和用户 3 个方面确定地图表达需求;(2)从地图表达需求构建可视化维度组合;(3)从可视化维度组合构建最终地图可视化表达形式。

### 4.1 表达需求解析与实现方式

表达需求解析需要考虑 3 个方面:(1)根据实际用途,解析地图主题和应用情景,从而确定地图功能需求;(2)根据制图数据特点,确定制图数据对于地图可视化表达的约束条件,如二维制图数据只能支持二维地图可视化表达;(3)根据用户偏好确定地图功能需求和可视化表达约束,如用户希望示意性表达或者三维表达形式。

表达需求解析实现方式可以采用以下两种类型:(1)用户选择结合制图数据约束的方式,即用户根据实际用途并结合表达偏好进行功能需求选择,最后结合制图数据约束条件确定可视化表达需求;(2)系统根据实际用途进行情景自动解析,结合制图数据和用户偏好的约束条件确定可视化表达需求。

### 4.2 可视化维度选择与组合

对于可视化维度选择,在确定表达需求组合

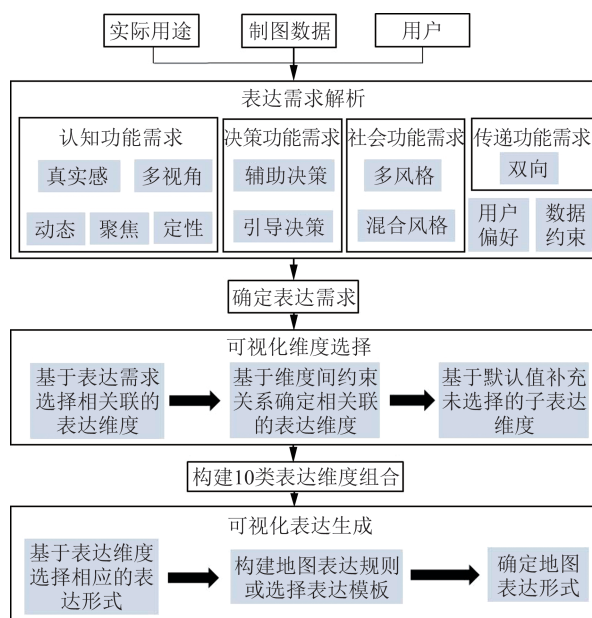


图 7 泛地图可视化表达机制

Fig.7 Visualization Representation Mechanism of Pan-Map

后,需要对可视化维度之间的限制关系进行分析,即当某一类可视化维度确定后,其他与其有限制关系的可视化维度也应自动确定。10类可视化维度间的主要单向限制关系包括:(1)时间结构与其他可视化维度并未有限制关系,但可以采用动态和第一人称方式进行呈现,以获得较为自然的时间变化;(2)几何逻辑包括欧氏几何和拓扑关系两类子可视化维度,其中欧氏几何与其他可视化维度并未有限制关系,而拓扑关系则需要表现形式中的抽象子可视化维度支持;(3)空间维数与其他可视化维度并未有限制关系;(4)空间组织与其他可视化维度并未有限制关系;(5)表现形式与其他可视化维度并未有限制关系;(6)对象状态包括静态和动态两类子可视化维度,其中静态与其他可视化维度并未有限制关系,而动态则需要载体介质中的数字子可视化维度支持;(7)表达尺度包括单一尺度、多尺度和变尺度三类子可视化维度,其中单一尺度和多尺度与其他可视化维度并未有限制关系,而变尺度表达则会导致地图变形以至于无法保证欧氏距离的准确性,但同时需要保证正确的空间认知,所以需要几何逻辑中的拓扑子可视化维度支持;(8)载体介质包括纸质和数字两类可视化维度,其中数字与其他可视化维度并未有限制关系,而基于纸质载体的地图表达只能采用空间维数中的一维和二维的子可视化维度、对象状态中的静态子可视化维度、读图者视点中的外视点和第三



人称视角子可视化维度;(9)空间参照面与其他可视化维度并未有限制关系;(10)读图者视点包括外表视点、内里视点、第一人称视角、第三人称视角四类子可视化维度,其中外表视点和第一人称视角与其他可视化维度并未有限制关系,内里视点和第三人称视角需要载体介质中的数字子可视化维度支持。

在确定可视化维度组合时,首先基于§2建立的表达需求和可视化维度之间的关联关系,确定与表达需求直接相关的可视化维度类型;然后对于未能被确定的可视化维度类型,一种简单易行的确定方式是设立可视化维度的默认类型,当并未有明确可视化维度类型要求时以默认类型作为选择结果。顾及到地图常见表达需求和简单表达形式,基础默认类型组合可以设定为时间结构(线性结构)、几何逻辑(欧氏几何)、空间维数(二维)、空间组织(矢量)、表现形式(抽象)、对象状态(静态)、表达尺度(单一尺度)、载体介质(电子)、空间参照面(平面)、读图者视点(外视点及第三人称)。此外默认子类型的设定需考虑制图数据的类型。

#### 4.3 可视化表达形式建立:表达规则 vs 地图模板

在可视化维度组合确定后,需要构建最终地图可视化表达形式。首先基于§3中建立的不同可视化维度与其对应的典型地图可视化表达形式的关联关系,确定地图表达形式。然后对于需要组合多种地图表达形式的情况,可以采用基于表达规则和基于地图模板的两类方式。

第一类方式需要将不同表达形式的表达规则进行提炼和合并,然后选择适宜的地图表达生成方法,例如顾及多约束条件的数学优化建模方法<sup>[37]</sup>。第二类方式需要首先制作典型地图可视化表达模板库,然后根据需求进行模板的选取和组合,并生成最终地图表达,其中模板的选取可以采用机器全自动选择和用户参与选择两种方式。

基于模板的地图制作效率高,然而需要准备大量的典型地图表达模板,并且可能无法实现不常见的地图表达形式。在第一类方式中,传统实现表达规则的提炼和合并主要基于制图者的专业能力,随着信息化时代下人工智能的发展,文献<sup>[52]</sup>基于已有地图,采用机器学习方式进行表达规则提取并应用于相关算法开发,这种方式也为辅助实现客观化和自动化地图制作提供了新途径。

## 5 结 语

随着信息和通信技术的迅速发展,涌现了大量的地图可视化表达新形式和新技术。这种地图的泛化表达促进了地图功能的提升,更加符合人们的认知和使用习惯,同时也可以更好地支持用户决策和社会文化传播用途。然而地图可视化表达生成过程中的关键环节仍然采用传统方式,即根据实际需求确定适宜的地图可视化表达形式的过程仍然是基于制图者的自然智能和专业经验进行判断和实现。因此本文基于10类可视化维度,根据当前地图泛化表达形式,通过构建表达需求与可视化维度之间的关联关系,分析综述不同的可视化维度类型对应的典型地图可视化表达形式,构建了从实际需求到地图表达形式转换的泛地图表达机制。

本文研究是对地图表达机制的有益探索,希望能够推进信息化时代下地图表达与制作的客观化和自动化实现,同时推动地图学理论方法研究与新型地图表达技术的同步发展,以及地图实践应用逐步走向大众化和社会化服务。当前已有学者致力于地图学数学化基础的构建,以期为客户化地图理论和自动化方法提供基石和途径,包括制图综合的自然法则<sup>[53]</sup>、地图符号表达的代数运算规则<sup>[11]</sup>、地图空间信息度量<sup>[54]</sup>等。因此未来研究将在已有地图学理论的数学化探索工作的基础上,重点关注地图表达机制及其各个环节的数学化理论、实现方式和方法。

## 参 考 文 献

- [1] Guo Renzhong, Ying Shen. The Rejuvenation of Cartography in ICT Era [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10): 1274-1283 (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] Niu Ruchen, Deng Guochen. Map Culture and Its Values: Interview with Academician Wang Jiayao [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2014, 39(12): 3-7 (牛汝辰, 邓国臣. 地图文化及其价值观: 王家耀院士专访[J]. 测绘科学, 2014, 39(12): 3-7)
- [3] Yan Haowen, Zhang Liming, Du Ping, et al. We-Map: A New Type of Map in the Era of We Media [J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2016, 33(5): 520-523 (闫浩文, 张黎明, 杜萍, 等. 自媒体时代的地图: 微地图[J]. 测绘科学技术学报, 2016, 33(5): 520-523)

- [4] Wang Jiayao, Sun Qun, Wang Guangxia. Principle and Method of Cartography [M]. Beijing: Science Press, 2006 (王家耀, 孙群, 王光霞. 地图学原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006)
- [5] Guo Renzhong, Chen Yebin, Ying Shen, et al. Geographic Visualization of Pan-Map with the Context of Ternary Spaces[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(11): 1603-1610 (郭仁忠, 陈业滨, 应申, 等. 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)
- [6] Guo Renzhong, Chen Yebin, Zhao Zhigang, et al. A Theoretical Framework for the Study of Pan-Maps[J]. *Journal of Geomatics*, 2021, 46(1): 9-15 (郭仁忠, 陈业滨, 赵志刚, 等. 泛地图学理论研究框架[J]. 测绘地理信息, 2021, 46(1): 9-15)
- [7] Wang Jiayao, Wu Fang, Yan Haowen. Cartography: Its Past, Present and Future[J]. *Acta Geodae-tica et Cartographica Sinica*, 2022, 51(6): 829-842 (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)
- [8] Li Zhilin, Liu Wanzeng, Xu Zhu, et al. Cartographic Representation of Spatio-Temporal Data: Fundamental Issues and Research Progress[J]. *Acta Geo-daetica et Cartographica Sinica*, 2021, 50(8): 1033-1048 (李志林, 刘万增, 徐柱, 等. 时空数据地图表达的基本问题与研究进展[J]. 测绘学报, 2021, 50(8): 1033-1048)
- [9] Li Z L. Algorithmic Foundation of Multi-scale Spatial Representation[M]. London: CRC Press, 2007
- [10] Bjørke J T. Exploration of Information Theoretic Arguments for the Limited Amount of Information in a Map [J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2012, 39(2): 88-97
- [11] Li Z L. Word Structures of Map Language: Spatio-Spectral Structure of Map Symbols[C]. Invited Presentation, ICA Workshop on Theoretical Cartography and Geo-Information Science, Beijing, China, 2014
- [12] Li Z L, Ti P. Adaptive Generation of Variable-Scale Network Maps for Small Displays Based on Line Density Distribution [J]. *GeoInformatica*, 2015, 19(2): 277-295
- [13] Chen Zhijun, Chen Jianguo. Automated Batch Mapping Solution for Serial Maps: A Case Study of Exploration Geochemistry Maps[J]. *Journal of Geology*, 2013, 37(3): 9 (陈志军, 陈建国. 系列地图批处理自动成图解决方案——以勘查地球化学系列图为例[J]. 地质学刊, 2013, 37(3): 9)
- [14] Song X P, Duan D B, Zhang Q L. The Method of Making Thematic Maps in Batch Based on Arcpy [J]. *Journal of Heilongjiang Institute of Technology*, 2017, 31(2): 36-40
- [15] Cai Z L, Wang Q, Weng M, et al. Information Organization and Visualization Mechanism of Electronic Map[J]. *Geo-Spatial Information Science*, 2008, 11(4): 262-268
- [16] Yin Zhangcai, Li Lin. Cartographic Representation Model Based on XML[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(2): 135-138 (尹章才, 李霖. 基于XML的地图表达机制研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(2): 135-138)
- [17] Yuan Tian, Wang Guangxia, Zhou Xiaojun, et al. Research on Location Map Expression Operation Mechanism Based on Template[J]. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2016, 25(11): 54-59 (袁田, 王光霞, 周小军, 等. 基于模板的位置地图表达运行机制研究[J]. 测绘工程, 2016, 25(11): 54-59)
- [18] Guo Renzhong. A Pan - Maps Study: Framework and Progress[R]. High-Level Lectures on Surveying and Mapping, 2021 (郭仁忠. 泛地图学研究: 框架与进展[R]. 测绘大讲堂, 2021)
- [19] Freitag U. Map Functions [J]. *Cartographica*, 1993, 30(4): 1
- [20] Dodds R, Joppe M. Promoting Urban Green Tourism: The Development of the Other Map of Toronto[J]. *Journal of Vacation Marketing*, 2001, 7(3): 261-267
- [21] Brown A, Emmer N, van den Worm J. Cartographic Design and Production in the Internet Era: The Example of Tourist Web Maps[J]. *The Cartographic Journal*, 2001, 38(1): 61-72
- [22] Li Z L, Ho A. Design of Multi-scale and Dynamic Maps for Land Vehicle Navigation[J]. *The Cartographic Journal*, 2004, 41(3): 265-270
- [23] Kitchin R M. Cognitive Maps: What are They and Why Study Them? [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 1994, 14(1): 1-19
- [24] Downs R M, Stea D. Image and Environment: Cognitive Mapping and Spatial Behavior[M]. Piscataway: Transaction Publishers, 2017
- [25] Ai Tinghua. Maps Adaptable to Represent Spatial Cognition[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(2): 347-354 (艾廷华. 适宜空间认知结果表达的地图形式[J]. 遥感学报, 2008, 12(2): 347-354)
- [26] Coventry K R, Tenbrink T, Bateman J. Visual Language of Spatial Planning[M]. Oxford: Oxford University Press, 2013
- [27] Pontikakis E, Twaroch F. Schematic Maps as an Alternative to Point Coverages When Topographic

- Maps are not Available[C]// The Conference on Information Visualization, Washington DC, USA, 2006
- [28] Hochmair H. The Influence of Map Design on Route Choice from Public Transportation Maps in Urban Areas[J]. *The Cartographic Journal*, 2009, 46(3): 242-256
- [29] McNeill L H, Emmons K. GIS Walking Maps to Promote Physical Activity in Low-Income Public Housing Communities: A Qualitative Examination [J]. *Preventing Chronic Disease*, 2012, 9: E17
- [30] DiBiase D, MacEachren A M, Krygier J B, et al. Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization[J]. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1992, 19(4): 201-214
- [31] Li Lin, Miao Lei. Models of Temporal Dynamic Map[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2004, 29(6): 484-487 (李霖, 苗蕾. 时间动态地图模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(6): 484-487)
- [32] Ying Shen, Hou Siyuan, Su Junru, et al. Characteristics of the Game Map[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(9): 1334-1343 (应申, 侯思远, 苏俊如, 等. 论游戏地图的特点[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(9): 1334-1343)
- [33] Wang Daiming. On Time Art of Video Game[J]. *Journal of Hubei Three Gorges University*, 2004, 26(3): 31-34 (汪代明. 论电子游戏的时间艺术[J]. 三峡大学学报(人文社会科学版), 2004, 26(3): 31-34)
- [34] Papadias D, Sellis T. Qualitative Representation of Spatial Knowledge in Two-Dimensional Space[J]. *The VLDB Journal*, 1994, 3(4): 479-516
- [35] Ti P, Li Z L. Generation of Schematic Network Maps with Automated Detection and Enlargement of Congested Areas[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014, 28(3): 521-540
- [36] Li Z L. General Principles for Automated Generation of Schematic Network Maps[J]. *The Cartographic Journal*, 2015, 52(4): 356-360
- [37] Lan T, Li Z L, Ti P. Integrating General Principles into Mixed-Integer Programming to Optimize Schematic Network Maps[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019, 33(11): 2305-2333
- [38] Sun H, Li Z L. Effectiveness of Cartogram for the Representation of Spatial Data[J]. *The Cartographic Journal*, 2010, 47(1): 12-21
- [39] Aly H, Basalamah A, Youssef M. Map++ : A Crowd-Sensing System for Automatic Map Semantics Identification[C]// The 11th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking, Singapore, 2014
- [40] Meng Liqiu. The Constancy and Volatility in Cartography[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10): 1637-1644 (孟立秋. 地图学的恒常性和易变性[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1637-1644)
- [41] Cinnamon J, Gaffney A. Do-it-Yourself Street Views and the Urban Imaginary of Google Street View[J]. *Journal of Urban Technology*, 2022, 29(3): 95-116
- [42] Su Shiliang, Wu Linying, Du Qingyun, et al. Cultural Landscape Map Design: Visualization Objects and Artistic Style[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2021(3): 81-86 (苏世亮, 吴林颖, 杜清运, 等. 文化景观地图设计: 表达对象与艺术风格[J]. 测绘通报, 2021(3): 81-86)
- [43] Fuest S, Grüner S, Vollrath M, et al. Evaluating the Effectiveness of Different Cartographic Design Variants for Influencing Route Choice[J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2021, 48(2): 169-185
- [44] Guo Z, Zhao J H, Whong C, et al. Redesigning Subway Map to Mitigate Bottleneck Congestion: An Experiment in Washington DC Using Mechanical Turk[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2017, 106: 158-169
- [45] Morgagni S. East or West? Map Design and Passenger Path Decisions on Mass Transit Networks [C]. The 2nd Schematic Mapping Workshop, TU Wien, Vienna, Austria, 2019
- [46] Ti P, Li Z L, Xu Z, et al. Optimizing the Balance Between Area and Orientation Distortions for Variable-Scale Maps[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2016, 117: 237-242
- [47] Harrie L, Sarjakoski L T, Lehto L. A Variable-Scale Map for Small-Display Cartography[J]. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2002, 34(4): 237-242
- [48] Li Q Q. Variable-Scale Representation of Road Networks on Small Mobile Devices[J]. *Computers & Geosciences*, 2009, 35(11): 2185-2190
- [49] Wang Liying, Ti Peng, Yu Chonghu, et al. Generation of Variable-Scale Route Maps with Consideration of Distortion Reduction for Small Display Sizes[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, 19(9): 1245-1252 (王俐颖, 遆鹏, 喻崇湖, 等. 顾及形变控制的小屏幕变比例尺交通路线图生成方法[J].



- 地球信息科学学报, 2017, 19(9): 1245-1252)
- [50] Mashimo S, Daimon T, Kawashima H. Driver's Characteristics for Map Information Representation (North up Map/Heading up Map) in Navigation Displays[C]// Vehicle Navigation and Information Systems Conference, Ottawa, ON, Canada, 1993
- [51] Tobias C. Older Users and In-Vehicle Navigation Map Design Elements [C]//The CHI Conference Extended Abstracts, Santa Clara, California, USA, 2016
- [52] Lan T, Li Z L, Peng Q, et al. Automated Labeling of Schematic Maps by Optimization with Knowledge Acquired from Existing Maps [J]. *Transactions in GIS*, 2020, 24(6): 1722-1739
- [53] Li Z L, Openshaw S. A Natural Principle for the Objective Generalization of Digital Maps [J]. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1993, 20(1): 19-29
- [54] Li Z L, Gao P C, Xu Z. Information Theory of Cartography: An Information-Theoretic Framework for Cartographic Communication [J]. *Journal of Geodesy and Geoinformation Science*, 2021, 4(1): 1-16

## Construction of Pan-Map Representation Mechanism Based on Visualization Dimension System

TI Peng<sup>1</sup> HOU Xiaotong<sup>1</sup> LI Zhilin<sup>1</sup> DAI Ruyu<sup>1</sup> CHEN Yebin<sup>2,3</sup> GUO Renzhong<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Institute of Sustainable Development of National Land, Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China

<sup>2</sup> Research Institute for Smart City, School of Architecture and Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China

<sup>3</sup> Technology Innovation Center of Territorial & Spatial Big Data, MNR, Shenzhen 518060, China

<sup>4</sup> School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** With the advancement of information and communication technology (ICT), a large number of new visualization types and techniques of map representation have been developed, and the term of pan-map is proposed due to these new cartography visualizations. However, the map design and production still greatly depend on map makers' experiences and professional skill, which cannot meet new requirement in ICT era. In order to enhance the objective and automatic levels in the process of map design and production in information era, and keep developing of map theories with the new techniques of cartography visualization, this paper aims to develop the visualization mechanism of pan-maps representations. In this paper, the relationships between requirements of pan-map representations and visualization dimension types are constructed based on visualization dimension system and map functions. An analysis on the typical map visualization of different visualization dimension types has been conducted. The visualization mechanism of pan-maps has been constructed and follows the strategy "analysis of representation requirements → combination of visualization dimensions → determination of visualization representation types → map visualization". This study is helpful to the developments of cartography research and applications, the popular map design, representation, and production.

**Key words:** pan-map; cartography visualization; visualization mechanism; visualization dimension

**First author:** TI Peng, PhD, associate professor, majors in map theory, cartography, GIS and spatial information visualization. E-mail: pti@swjtu.edu.cn

**Corresponding author:** LI Zhilin, PhD, professor. E-mail: dean.ge@swjtu.edu.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China (41930104, 41871365); Science and Technology Fundamental Resources Investigation Program of China (2019FY202504); Sichuan Science and Technology Program (2020JDTD0003).

**引文格式:** TI Peng, HOU Xiaotong, LI Zhilin, et al. Construction of Pan-Map Representation Mechanism Based on Visualization Dimension System [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 2015-2025. DOI: 10.13203/j.whugis20220490 (遆鹏, 侯晓彤, 李志林, 等. 基于可视化维度的泛地图表达机制 [J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2022, 47(12): 2015-2025. DOI: 10.13203/j.whugis20220490)