引文格式：柯婷,杨品福,任福,等. 内河航行参考图地图符号形式化表达[J]. 地理空间信息, 2024, 22(12): 102-105. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.12.023

内河航行参考图地图符号形式化表达

柯　婷[1]，杨品福[2]，任　福[1,3,4*]，李连营[1,3]，杨　晨[1]
（1. 武汉大学资源与环境科学学院，湖北 武汉 430079；2. 长江航道局，湖北 武汉 430010；
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）

摘　要：视觉变量作为基本视觉要素，能识别和区分地理要素，有效表达地理信息，并提供美感和视觉吸引力，在地图符号设计和表达中起关键作用。为规范地图符号设计流程，从“表象-抽象-具象”的设计层级理念出发，确定构成地图符号的12类基本图元要素，对视觉变量内容进行分析研究，厘清了适用于地图符号设计的六类变量内容：形状、尺寸、方向、色彩、位置和注记，基于视觉变量的组合构建了地图符号设计的形式化表达方法，通过开发地图符号自动化插件工具验证了该表达方法的可行性。结果表明，该方法的应用保持了地图符号设计的一致性和规范性，可促进地理信息的传达和地图符号设计的发展与创新，为今后不同图种的地图符号设计与更新提供新的思路和方法。

关键词：视觉变量；地图符号；图元要素；形式化表
中图分类号：P285　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）12-0102-04

Formalized Expression of Map Symbols for Inland Navigation Reference Map

KE Ting[1], YANG Pinfu[2], REN Fu[1,3,4], LI Lianying[1,3], YANG Chen[1]
(1. School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
2. Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China;
3. Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
4. Key Laboratory of Digital Mapping and Land Information Application, Ministry of Natural Resources, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Visual variables, as fundamental visual elements, play a crucial role in the design and expression of map symbols. They enable the identification and differentiation of geographical features, effectively convey geographical information, and provide aesthetics and visual appeal. To standardize the map symbol design process, we adopted the design hierarchy concept of “representation-abstraction-concretion”, identified 12 basic graphic elements that constitute map symbols, analyzed and explored the content of visual variable, and clarified six variable contents applicable to map symbol design, such as shape, size, direction, color, position, and annotation. Based on the combination of visual variables, we established a formalized expression method for map symbol design, and verified the feasibility of this method through the development of an automated map symbol plugin tool. The results indicate that the application of this method maintains consistency and standardization in map symbol design, promotes the communication of geographical information, and facilitates the development and innovation of map symbol design, which can provide new ideas and approaches for the design and update of map symbols in different types of maps in the future.

Key words: visual variable, map symbol, primitive element, formalized expression

地图作为地理空间数据可视化的主要表现形式，生动地表达了空间现象的特征，是人们认识世界的重要工具[1]。地图符号是地图的表达方式，它是由各种基本图形元素变化组合而成的[2]，用于代表某个等级或类别的地理目标，一般表现为由点、线、面组成的几何图形或非几何图形[3]。在实际应用中，为确保地图的准确性和可靠性，地图符号往往需要跟随地物特征的变化而更新，以此来提供最新的地理信息，因此选择符合规范标准且形式一致的符号设计方法至关重要。根据地图学和视觉表达设计领域的研究结果可知，在地图制图过程中，通常采用视觉变量来指导地图符号的设计[4-6]。视觉变量的概念自1967年由法国地图制图学家Bertin提出以来，备受地图学领域学者的关注。如高玉荣[7]等对比分析了平面地图和三维场景

收稿日期：2023-10-07。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（42071448）。
第一作者简介：柯婷（1999—），硕士研究生，研究方向为地图制图表达，E-mail：3075722@qq.com。
通信作者：任福（1976—），博士，教授，研究方向为智能专题地图制图，E-mail：renfu@whu.edu.cn。

在可视化表达上的异同，提出了形状、空间姿态、尺寸、纹理、明暗度、阴影和清晰度6个三维模型的视觉变量；曹亚妮[8]等对电子地图视觉变量及符号设计规律进行了分析研究，综合考虑视觉变量的艺术性，提出了8个构成符号的视觉变量，即形状、尺寸、色彩、方向、透明度、图案、渐变和图片。翁敏[9]等根据形状、尺寸、色彩、方向和纹理5种视觉变量特征，阐述了专题地图中不同表现层次下的符号设计方法。综上可知，目前地图符号设计的研究大都集中于发掘更新视觉变量理论内容，使之更适用于特定图种的地图符号设计理念与视觉感受，但针对以视觉变量内容为核心进行地图符号设计与表达鲜有研究探讨。而视觉变量作为图形符号设计的理论基础[7]，在地图符号设计过程中描述和控制视觉元素的属性，决定了地图符号的视觉形态。因此，通过视觉变量的不同组合，使得符号之间既呈现关联性，又表现差异性，从而反映出地图内容的内在规律[10]。故为规范地图符号设计流程，基于现有研究结果，探究一类适用性较强的视觉变量组合形式化表达方法对地图符号的更新和设计有着重要的研究意义。本文从“表象–抽象–具象”的设计层级理念剖析地图符号的设计过程，确定构成地图符号的基本图元要素，基于视觉变量内容及其属性，构建地图符号形式化表达方法，并在Visual Studio环境下利用ArcEngine实现基于该方法的自动符号化插件工具，以《内河航行参考图编绘规范》为实验案例绘制区域样图，以此来验证该方法的可行性。总体框架如图1所示。

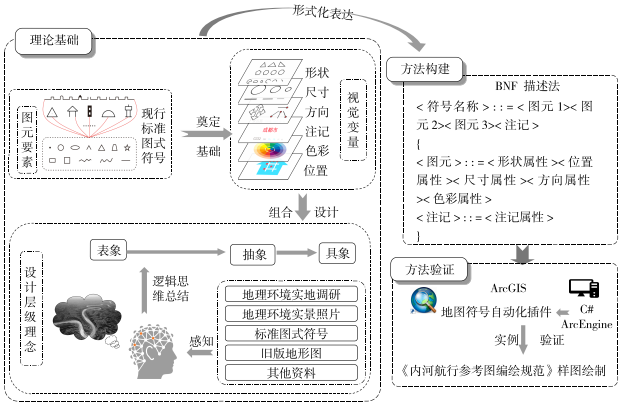


图1　总体框架图

1　地图符号图元要素

图元是构成符号的基本图形或图案单元，用于表示地理要素或属性。通过不同的图元排列组合，可以创造出具有识别性、统一性和灵活性的地图符号，其具有唯一的视觉特征，符合地图符号设计的“典型代表性”要求。因此，确定基本图元类别是地图符号设计的首要工作，本文以国家基本比例尺地图图式为图元要素研究对象，对其中的地图符号进行拆分重组，确定了基本图元类型，共12类，如图2所示。

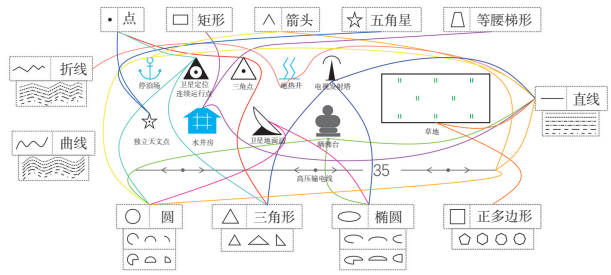


图2　图元类型

2　地图符号设计层级

图元要素的确定为地图符号的设计提供了基本的构成要素和表达方式。在地图符号的设计过程中，为确保准确性和易读性，通常将地理实物“图形化”，即对制图形象素材进行整理、夸张、变形，使其成为易辨认且结构较简单的规则图形（即图元），要求对形象素材进行概括且保留基本特征，达到象征性强、图形清晰的效果。如图3所示，本文将地图符号设计过程的设计层级分为“表象–抽象–具象”，为地图符号的形式化表达奠定了理论基础。

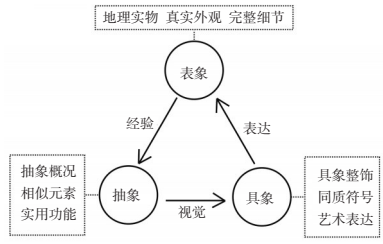


图3　地图符号设计层级

其中表象层次是最具体和直接的层级，符号在该层级上尽可能接近所表示的地理要素的真实外观，通常具有较高的细节和准确性，能够提供更直观的地理信息。抽象层级是对表象层级中的地理实物进行线划概括和简化的层次，需要确定地理实体的层次和重点，根据制图经验将其表示为更为简洁和通用的形式，这一阶段的符号具有较高的一般性和可应用性。具象层级通过对抽象层级的线划要素进行更兼顾易读性和美观性的符号修饰过程——主要考虑线划要素设计的视觉元素特征，运用意象手法，采用不同的视觉变量组合来进行具象表达，强调地理要素的具象符号易识别性和图形的清晰度。以烟囱、岸标和信号杆为例，将该理念应用于实际地图符号设计中，设计过程如图4所示。

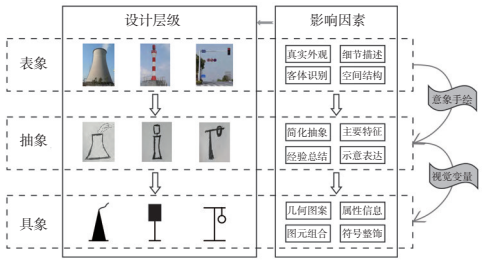


图4 地图符号设计过程

3 视觉变量的基本内容

视觉变量的概念是由Bertin·J在其专著《图形符号学》提出的，它是图形符号的基本要素，主要有形状、尺寸、色彩、亮度、方向和纹理，统称为“视觉变量”。自概念提出以来，不少国内外相关学者根据Bertin·J的理论提出了不同的见解[11-13]，但目前针对视觉变量的内容尚未有统一的定义，综合来看Bertin的视觉变量理论相对较为严密，本文结合地图符号特征和符号化的可扩展性要求，确定在符号化过程中起主要作用的视觉变量内容为形状、尺寸[14]、方向、色彩、位置和注记6种。

4 视觉变量的组合方法

本文根据“表象-抽象-具象”的设计层级理念，基于12类图元要素，通过6类视觉变量的不同组合来设计地图符号。地图符号是描述地图的语言，其中每个符号可视为一个词语，而构成符号的视觉变量则是组成该词语的词素，这种组合结构确保了符号的逻辑性和可派生性[15]。因此，将视觉变量组合过程进行可视化是地图符号设计的关键环节。参考巴科斯-诺尔范式（Backus-Naur Form, BNF）表示法来制定符号设计与表达规则，构建视觉变量组合的形式化表达方法来表示符号构成过程中各图元要素间的结构、相互关系和格式。表达方法中的其他规则表示内容详见表1。

根据研究可知，以符号特征为基础，针对性地设计形状、色彩、尺寸、方向、位置和注记视觉变量属性信息，再通过不同视觉变量的组合，即可得到具有具体象征意义的地图符号[16]。常见的地图符号有点状符号、线状符号和面状符号3种，本文以内河航行参考图中3种典型地图符号为例，运用该方法进行形式化表达，得到了“信号杆”（点）、“水底管道”（线）和“边岸芦苇地”（面）的视觉变量组合方案，如图5所示。

由图5可知，通过视觉变量的组合可以得到具有稳定象征性的地图符号。这种组合过程是一个将隐喻含义叠加到视觉变量中的过程。在设计视觉变量时，主要参考客观环境并提取各要素的代表性特征，将这些特征融入视觉变量中，从而强调符号的象征意义。以信号杆符号为例，通过形状、颜色和图元要素的尺寸搭配，可清楚地理解其表示的是信号杆，使得符号的象征意义得到了加强。以边岸芦苇地符号为例，用轮廓线表示芦苇地区域的范围，芦苇符号的分布样式和间距则通过不同的视觉变量来逐一表达。这种组合方式可有效地避免信息缺失，使地图更具可读性和准确性。

表1 表达方法规则

符号	说明
:: =	连接左部和右部：左部由右部产生
/	选择图元样式属性（如图元x）或注记内容
{}	包含一个符号的所有规则内容
<>	规则内容项，按顺序确定绘图层次
$[s,(x_1,y_1),m,\alpha_1]$	表示该部分所绘制的图元重复规则：基于上一图元，s为缩放比例（scale），(x_1,y_1)为沿正南和正东方向的偏移距离，m为重复数，α_1为偏移角度
$\&[(x_2,y_2),\alpha_2]$	以&左部符号为重复的整体属性，在面符号中表示按x_2，y_2间距铺满轮廓线，α_2为基于该符号的偏移角度
$[(x,y),(x,y),\cdots]$	线图元类中表示拐点坐标，可缺省

注：其中“注记”视觉变量可缺省，字体若无需加粗、斜体、上下标等则可缺省，位置默认居中可调整。

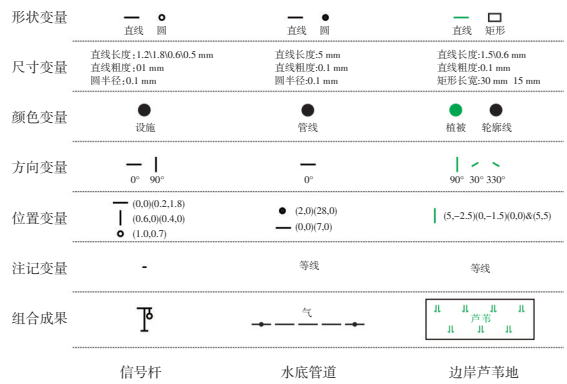


图5 点线面符号的视觉变量组合方案示例

5 自动符号化工具及实例验证

采用Visual Studio软件环境下的C#编程语言开发了地图符号自动化插件，对视觉变量组合设计方法进行了验证，功能界面如图6所示。

该插件提供了快速生成和更新地图符号的功能，用户可以通过在界面中选择合适的视觉变量，并进行组合和调整，快速生成符合需求的符号，极大地简化了繁琐的手工操作。本文将该插件工具运用于《内河

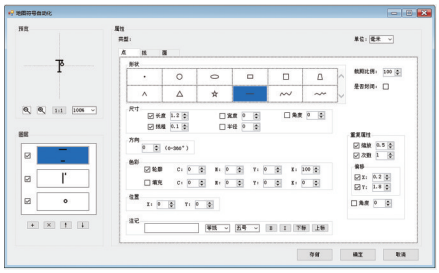
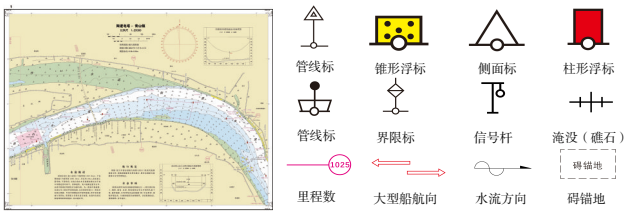


图6　地图符号自动化插件功能界面

航行参考图编绘规范研究》项目中的图式符号部分，并以长江中游地区（武汉至宜昌）为样图区域进行实例验证，样图涉及的内河航行参考图相关地图符号实例如图7b所示，实例数据中岸线附属及陆上部分主要采用2022年实测资料；助航标志参照2022年枯水期航标配布情况进行统计，所绘制的内河航行参考图整体效果如图7a所示。



a 阳逻水道样图　　b 阳逻水道样图中部分地图符号

图7　样图效果展示

该图幅涉及的地图符号形状、色彩、尺寸和方向等各方面都参照视觉变量组合方法进行设计，符号与具象间有较好的相似性，说明了地图符号设计的有效性和合理性，同时，该图幅的规范和美观效果也得到了认可，目前已在《长江中游航行参考图（武汉至宜昌）》图集中有所体现。在此基础上，制图者设计地图符号的过程中可以根据实际需要更新部分视觉变量内容，实现地图符号的批量更新，创造出更多样化、更具代表性的符号，使地图上的地理特征更加丰富和生动，并将其存储于符号库，在保证其规范性的同时较大地提高了地图制作的效率和质量，节省人力和时间成本，为用户提供了更好的地理信息服务。

6　结　语

视觉变量是地图符号设计中最基本的视觉要素，其通过各种视觉特征和属性来表达地理信息，同时也是地图符号与观察者之间的桥梁，通过形状、色彩、尺寸和方向等特征，传达地图上的地理概念和属性，在地图符号设计与表达中具有重要的地位和作用。本文基于“表象-抽象-具象”的地图符号设计层级，确定视觉变量的组合和具体参数属性，对地图符号的设计过程进行了形式化表达，并通过编写了相应的程序和实例样图的绘制，得到了较好的地图可视化效果，表明了该方法的可行性和有效性。这种方法在地图制作中具有广泛的应用前景，为地理信息的可视化呈现和更新提供了一种准确、实用的解决方案。

参考文献

[1] 赵成福,王苑,李永花,等. 基于ArcGIS Engine的符号化研究与实现[J]. 地理空间信息,2009,7(4):57-60

[2] 魏文展,钟业勋,黄仁涛,等. 地图符号视觉变量数学定义的研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2002(5):511-515

[3] 陈嬿,张琼文,王嘉琪,等. 地图符号与情绪效价对AR地图用户空间记忆的影响研究[J]. 图学学报,2023,44(2):399-407

[4] 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):1 033-1 048

[5] 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):17-27

[6] 逯鹏,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(12):2 015-2 025

[7] 高玉荣,朱庆,应申,等. GIS中三维模型的视觉变量[J]. 测绘科学,2005,30(3):41-43

[8] 曹亚妮,江南,张亚军,等. 电子地图符号构成变量及其生成模式[J]. 测绘学报,2012,41(5):784-790

[9] 翁敏,黄谦,苏世亮,等. 基于皮尔斯符号三元观的专题地图符号设计[J]. 测绘地理信息,2021,46(1):44-47

[10] 王明军,杜清运,蔡忠亮,等. 基于Web的地图符号设计与实现[J]. 地理空间信息,2006,4(1):9-11

[11] 俞连笙. 地图符号的哲学层面及其信息功能的开发[J]. 测绘学报,1995,17(4):259-266

[12] 马耀峰. 专题地图符号构成元素的研究[J]. 地理研究,1997,16(3):23-31

[13] Keates J S. Some Reflections on Cartographic Design[J]. The Cartographic Journal,1993,30(2):199-201

[14] 王家耀,孙群,王光霞. 地图学原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2014

[15] 郭立新. 海图符号语言的语法规则构建与实现技术[D]. 郑州:信息工程大学,2012

[16] 蒋秉川,夏青,岳利群,等. 基于三维地图视觉变量理论的三维符号设计[J]. 测绘科学,2009,34(6):159-161