

引文格式:何蓓洁,赵宇,何捷,等.使用认知-实践模型的古地图信息本体建模:以样式雷建筑图档为例[J].武汉大学学报(信息科学版),2024,49(4):546-561.DOI:10.13203/j.whugis20220684



Citation: HE Beijie, ZHAO Yu, HE Jie, et al. Ontology Modelling of Ancient Map Information Through a Cognition-Practical Model: A Case Study of the Yangshi Lei Archives[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2024, 49(4):546-561.DOI:10.13203/j.whugis20220684

# 使用认知-实践模型的古地图信息本体建模: 以样式雷建筑图档为例

何蓓洁<sup>1</sup> 赵宇<sup>1</sup> 何捷<sup>2</sup> 马昭仪<sup>3,4</sup>

1 天津大学建筑学院,天津,300072

2 哈尔滨工业大学(深圳)建筑学院,广东 深圳,518055

3 南洋理工大学人文学院,新加坡,639798

4 南洋理工大学全球亚洲跨学科研究所,新加坡,639798

**摘要:**作为知识表征手段和思维工具,古地图反映了人类认知、表征和实践的历史。但目前古地图的知识组织方法尚无法结构化记录其图面的表征信息同背后的概念、实践、物质之间的复杂关系,桎梏了地图学史知识形成、流通和转译方面的深入研究。为解决这一问题,引入新的本体框架用以描述古代地图知识,为此提出了实践、物质、认知、表征、逻辑5个世界的古地图认知-实践模型,并复用文化遗产通用本体国际文献工作委员会(International Committee for Documentation,CIDOC)概念参考模型(conceptual reference model, CRM),以此为基础,新的模型可记录“地图载体”“地图信息”“认知概念”“事件”“实物”“数字图像”之间的语义关系。选取清代建筑工程图纸样式雷图档进行案例实证,结果表明该模型能够有效描述选取的4张地图载体涉及的各类复杂语义关系。该本体促进了对样式雷图涉及的概念流转和其作为表征性实践的理解,并将有助于古地图的关联管理、标准化共享和知识挖掘,推进古地图的知识史和数字研究范式。

**关键词:**地图学史;本体;空间认知;表征性实践;CIDOC-CRM;知识史;定性空间表征;样式雷图档

中图分类号:P289:P208 文献标识码:A

收稿日期:2022-10-17

DOI:10.13203/j.whugis20220684

文章编号:1671-8860(2024)04-0546-16

## Ontology Modelling of Ancient Map Information Through a Cognition-Practical Model: A Case Study of the Yangshi Lei Archives

HE Beijie<sup>1</sup> ZHAO Yu<sup>1</sup> HE Jie<sup>2</sup> MA Zhaoyi<sup>3,4</sup>

1 School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2 School of Architecture, Harbin Institute of Technology(Shenzhen), Shenzhen 518055, China

3 School of Humanities, Nanyang Technological University, 639798, Singapore

4 Global Asia Interdisciplinary Graduate Programme, Nanyang Technological University, 639798, Singapore

**Abstract:** Objectives: Ancient maps, as external representations of human knowledge and tools for thinking, reflect human history of perception, representation and practice of the world. However, current knowledge organization methods to these diverse ancient maps are not yet capable of structurally recording the complex relationships between the representations and the concepts, practices and materials they represent. This problem is an obstacle to in-depth and systematic study of the history of cartography, especially on discussions of the formation, circulation and translation of cartographic knowledge. To address this problem, a novel ontology framework is introduced to describe knowledge of ancient maps. Methods: We propose the cognition-practice model of ancient maps, comprising five domains: Practice, material, cognition, representation, and logic. Based on this model and International Committee for Documentation (CIDOC)

基金项目:国家重点研发计划(2020YFC1522405)。

第一作者:何蓓洁,博士,副教授,主要研究领域为建筑史、清代样式雷世家及图档、建筑遗产保护。hebeijie@tju.edu.cn

通讯作者:马昭仪,博士生。zhaoyi001@e.ntu.edu.sg

conceptual reference model (CRM), the proposed ontology framework can describe the relationships among the map information, including map carrier, information object, cognitive concept, event, physical thing, and digital image. To validate this framework, architectural engineering drawings from Yangshi Lei Archives in Qing Dynasty are selected as a case study. **Results:** The result shows that the ontology framework effectively describes the complex semantic relationships involved in 4 maps from Yangshi Lei Archives, thus revealing the flow of the conceptual world behind these drawings and the corresponding representations involved in different practices of creating Qing Ding-Ling Tomb and of communications between architects and the emperor. **Conclusions:** The framework facilitates the understanding of maps as representational practices and can contribute to the associated management, standardized sharing and knowledge mining of ancient maps, promoting the development of intellectual history and the digital research paradigm of ancient maps.

**Key words:** cartography history; ontology; spatial cognition; representational practice; CIDOC-CRM; history of knowledge; qualitative spatial representation; Yangshi Lei archives

地图是人类创造的一种空间认知工具, 旨在促进信息和知识的传递和交流<sup>[1]</sup>。古地图虽然不同于基于投影理论的现代地图, 但它蕴含着传统的空间认知与表征体系<sup>[1-3]</sup>, 并与其所在社会的生产、生活体系密切交互。而近半个世纪对古地图和地图学史的讨论不仅补充了一般史料无法传达的历史信息<sup>[4-5]</sup>, 支撑了科技史与测绘史的研究, 更从知识史<sup>[6-7]</sup>的崭新视角展现了探索这类独特史料所蕴含的社会与政治权力、世界文化观以及人类不同的实践知识体系的可能<sup>[8-9]</sup>。

作为人类文化传承的物质载体和文化遗产的组成部分, 古地图所涉及的丰富而隐含的信息和语义关联需要被全面记录和归档, 以支持数字时代对文化遗产的解释、管理和保护工作。大多数拥有古地图的馆藏机构都有着对地图编目和数字化的传统, 但其使用的元数据组织方式缺少语义层次结构, 无法支持对纷繁复杂古地图所蕴含的表征、用途和社会知识背景等复杂性问题的系统性讨论。随着数字人文、数字遗产领域的兴盛, 近年来档案知识组织的新趋势是利用链接开放数据和层级性关联复杂语义的本体技术对档案数据进行深度的关联管理、标准化共享乃至知识挖掘。基于本体这一新方法, 相继有学者对地图内部的图例<sup>[10]</sup>和表征对象空间拓扑关系<sup>[11-12]</sup>、地图外部的地理空间信息和历史“事件”<sup>[13-14]</sup>进行建模。上述本体<sup>[11-12, 14]</sup>还融合了一系列更为通用的标准框架, 如基于定性空间表征的区域连接演算(region connection calculus, RCC)<sup>[15]</sup>、文化遗产通用本体国际文献工作委员会(International Committee for Documentation, CIDOC)概念参考模型(conceptual reference model, CRM)<sup>[16]</sup>、基于CRM和开放地理空间信息联盟标准的CRM-

geo<sup>[17]</sup>等。对地图内部信息的提取方面, 则发展出了基于国际图像互操作框架和网络地图切片服务的地图手工注释工具如 Recogito<sup>[18]</sup>和 Georeferencer<sup>[19]</sup>, 以及自动提取地图图形要素<sup>[20]</sup>和地图文字<sup>[21]</sup>的机器学习方法。而这些方法促进了对空间知识的再挖掘, 如通过自动提取地图要素来追溯西方城市化过程<sup>[22]</sup>等应用。

地图作为知识表征手段和思维工具的一种, 在人类空间知识史的发展中不断推动着实践、物质和概念的相互作用<sup>[23]</sup>。但是, 前述对地图信息管理的丰富方法多数将地图信息与地理实物直接相连, 从而将地图降格为外部物质世界变化的记录来源, 忽视了地图作为概念世界和物理世界中介的这一本质, 禁锢了古地图作为空间概念史研究材料的广泛可能。即使一些研究<sup>[11-12]</sup>将地图上的表征信息与概念对象联系起来, 而不是直接与外部物质世界联系, 但这些概念物缺乏与其社会语境的明确关联和概念组织, 因而无法很好地作用于概念史研究。

艺术史中的图像志方法在一定程度上回应了历史语境缺失的困境<sup>[24]</sup>, 例如文献[25]基于视觉表征本体(visual representation ontology, VIR)<sup>[26]</sup>和 CIDOC CRM 的历史绘画本体, 根据图像志理论建构了历史绘画的图像表征信息、信息表征的概念物以及外部社会背景的语义关联。然而, 图像志根据研究者自身学识直接建立图像的概念和物质世界之间联系的方法, 忽视了表征的实践性<sup>[27]</sup>, 既无法描述地图所表征的概念与人类认知活动交互的历史过程, 也无法描述地图作为解决与空间有关问题的工具对物质世界产生的影响。从行动者网络理论<sup>[28]</sup>来看, 地图在整个生命周期中都不断与物质世界的人、机构及其他

人工物纠缠<sup>[29]</sup>,也因而间接与概念世界纠缠。而从对概念世界和物质世界的作用来看,地图通过各类实践不断展开并最终成为不断影响世界发展的“铭文”和“命题系统”<sup>[30]</sup>。

因此,只有将地图的物质、认知、表征与其相关的实践(包括身体的、社会的、技术的、政治的等)相结合,才能理解作为解决方案的地图如何诞生的发生论问题,及其后在实践和话语中所发展出的作用和影响,乃至更长时段的迭代问题<sup>[30]</sup>,这是一种超越传统科学史范式的知识史视角。为了以数字驱动方式深入挖掘古地图相关知识体系的形成、流通与转译等知识史问题,本文旨在构建一个古地图本体,以全面、连贯地描述古地图的表征、概念、实践、物质之间不可分割的关系;并根据新提出的古地图认知-实践模型,复用并扩展以“事件”为核心的遗产领域通用本体CIDOC CRM建立古地图本体。在进行案例验证时,选择了实践事件和所涉物质明确,同时概念世界自成体系,表征有一定代表性的清代建筑工程图纸样式雷图档,以体现本体的效用。

## 1 构建古地图的本体模型

为扩大本体的应用范围从而促进地图知识史数字范式的广泛研究,本文采用了宽泛的古地图定义:凡使用形象表征方式描述与空间相关概念者均可归为古地图,无论单行印刷本、书籍插图、绘本乃至岩画,且可包含政区图、河工图、军事图、城池图、山川图、民生图、海图、星图、各类土著地图等不同种类。进而通过分析相关模型推出古地图认知-实践模型,确定了古地图本体建构所需的核心概念和关系,并基于这些核心概念进行了一定的拓展。

### 1.1 古地图认知-实践模型

为了对作为人类认知工具的古地图进行本体建模,首先需要理解人们如何认识世界,以及被理解的空间特征在心理概念化后发展出的抽象范式最终如何在计算机系统中表示,即认知模型。文献[31]提出用于地理信息本体建模的“5个世界”认知模型,该模型通过物质、认知、表征、逻辑、执行5个层次较好地反映了人类地理空间认知和表达的过程。本文在Fonseca等<sup>[31]</sup>的认知范式基础上,提出古地图认知模型包括物质、认知、表征、逻辑共4个层次,描述古地图涉及的空间认知和知识表达过程:人类通过认知系统感

知、认知真实物质世界中的现象,这一过程发生在认知世界;在地图上以各种符号对认知世界进行表达发生在表征世界;而本体则是逻辑世界的组成部分,是为了便于计算机处理、存储而对这一过程进行的形式化描述。

在前述认知模型基础上,本文基于通用文化遗产本体CIDOC CRM框架进一步提出古地图认知-实践模型。CIDOC CRM是文化遗产领域的形式本体,于2006年通过了国际标准的认证,其命名空间为 <http://www.cidoc-crm.org/cidoc-crm/>(缩写为前缀crm)。该模型通过对文化遗产信息资源中的隐性概念、显性概念及其关系的定义和形式化描述,提供一个通用的、可扩展的语义框架,促进文化遗产领域的知识共享<sup>[32]</sup>。CIDOC CRM以“事件”实体(crm: E2 事件实体)为中心,描述、整合地图及其相关“物质对象”(crm: E18 物质对象)和“概念对象”(crm: E28 概念对象)间的关系<sup>[33]</sup>。这些不断变化的实体通过不同的“事件”联系,并与包括“行动者”(crm: E39 行动者)、“地点”(crm: E53 地点)在内的其他实体建立更加广泛的关联。古地图认知-实践模型在前述物质、认知、表征、逻辑4个世界基础上增加实践世界,实践能够关联物质、表征、认知,同时还能表达认知世界通过实践对物质世界的影响(见图1)。

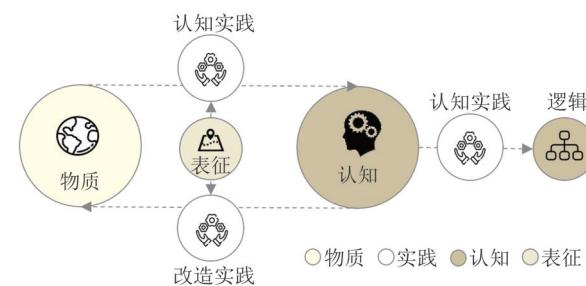


Fig. 1 Cognition-Practice Model of Ancient Map

在物质、认知世界都起作用的空间关系对于古地图空间认知研究异常重要,故本文提出的认知-实践模型还对空间关系进行了定义。一般地理的空间关系都基于欧几里得的点、线、面表达,比如文献[14]利用空间坐标、地名录来记录地图信息的外部地点,以关联表征世界和物质世界。但是这种抽象的数学空间系统往往不能够描述古地图中相对模糊、注重上下文表达的经验空间。为了处理古地图中的这种定性空间关系,认知-实践模型特别引入了逻辑化描述实体和实体关系的定性空间表征(qualitative spatial represen-

tation, QSR)<sup>[34]</sup>。其表达方式与语义网类似并支持推理,其中经典的 RCC8 理论能够描述两个区域间的相同、相离、外切、重叠和内切及其逆关系、内含及其逆关系,并能够通过 GeoSPARQL 进行推理。

## 1.2 古地图顶层本体

本体基于语义网结构,最小信息单位为三元组,每个三元组都以主语-谓语-宾语表达式的形式表示,其中主语(也称定义域)和宾语(也称值域)是实体,通常对应于自然语言中的名词,谓语则是描述两个名词之间关系的动词或形容词。

根据§1.1提出的古地图认知-实践模型,研究复用了 CIDOC CRM 中的相关概念和属性,并扩展了其中有关地图的概念和属性,从而建构了古代地图信息本体(复用部分的命名空间仍用前缀 crm 表示,扩展部分则用 am 表示)。因此,在本体的逻辑世界中,其他 4 个世界及其相互关联被相关的概念和属性填充:物质世界包括各类“实物”(crm: E18 实物)、“地点”(crm: E53 地点)等,以及人工生产的“地图载体”(am: L1 地图载体)和作为复制品的“数字地图”(am: L2 数字地图);认知世界包括各类“认知概念”(am: L3 认知概念);表征世界则为“地图信息”(crm: E73 地图信息),被物质世界的“地图载体”(am: L1 地图载体)所承载;上述 3 个世界的实体都可以被实践世界的各类“事件”(crm: E5 事件)所关联。顶层本体所涉及的核心概念定义如下。

1) “地图载体”(am: L1 地图载体):人造实体物(crm: E24 人造实体物)的子类,指作为物质对象的地图,是“地图信息”(crm: E73 地图信息)的物理载体,属于物理世界。如绘制地图的图纸载体。

2) “地图信息”(crm: E73 地图信息):概念对象(crm: E28 概念对象)的子类,囊括了“地图载体”所承载的信息对象,是非物质的概念性实体,属于表征世界。如地图上的图例符号、文字、图形等。

3) “实物”(crm: E18 实物):囊括了地图所描绘的物质性实体,属于物质世界。该类的实例包括人工实物(如道路、建筑等)和自然实物(如山、河流等)。

4) “地点”(crm: E53 地点):指“实物”的物理位置,属于物质世界。

5) “认知概念”(am: L3 认知概念):概念对象(crm: E28 概念对象)的子类,指人类通过感知

和认知物质世界中的“实物”对象后,在认知世界中形成的各类概念,通常涉及“地图载体”外部复杂的领域知识。此外,由于“认知概念”与“地图信息”分属于认知世界和表征世界,因此两个类别不相交。

6) “事件”(crm: E5 事件):囊括了地图生命周期中出现的一切实践活动,包括生产地图和使用地图两种,后者也包括了学者用于生产“推测概念”“地图信息”“数字图像”的研究类事件。

7) “推测概念”(am: L9 推测概念):认知概念(am: L3 认知概念)的子类,指由学者结合各类材料研究还原的“认知概念”。

8) “数字图像”(am: L2 数字图像):人造实体物(crm: E24 人造实体物)的子类,指地图数字化所产生的数字地图复制品。

古地图本体具体关系的描述见图 2。实践世界的“事件”与其他世界中“地图载体”“实物”“认知概念”“推测概念”的关联,通过复用“发生现场存在”(crm: P12 发生现场存在)进行了较为宽泛的描述:“实物”和已有的“认知概念”通过生产地图“事件”产生出新的“认知概念”和对应的“地图载体”;而在使用地图“事件”中,“地图载体”和对应的“认知概念”(包括“推测概念”)被阅读、识别从而在认知世界流转,并可能反过来对物质世界的“实物”产生某种影响。生产地图“事件”和阅读地图“事件”都可以被进一步拆解成多个子“事件”,例如生产地图“事件”可粗略分为认知、绘图、改造“事件”,而使用地图“事件”可粗略分为认知、决策和进一步的行动和话语“事件”。

“认知概念”及其变化贯穿了每一个大小“事件”。对于学者研究“事件”所还原的“推理概念”,使用“论及”(crm: P67 论及)描述其和表征性“地图信息”的关系,而“地图信息”则又被“地图载体”所“承载”(crm: P128 承载)或被其复制品“数字图像”所“描绘”(crm: P62 描绘)。但需注意的是,“推理概念”可以无限接近于“认知概念”,但由于其作为当代使用地图事件的结果,因而无法等同于后者。

“实物”与其所在“地点”之间的关系采用“目前或曾经被置放于”(crm: P53 目前或曾经被置放于)描述。而对于“地图载体”“数字图像”“实物”所在“地点”以及“认知概念”的实例与同类型实例之间的定性空间关系,如地图上各元素之间的相对位置,在顶层本体中则采用“有定性空间关系”(am: Y1 有定性空间关系)表达。

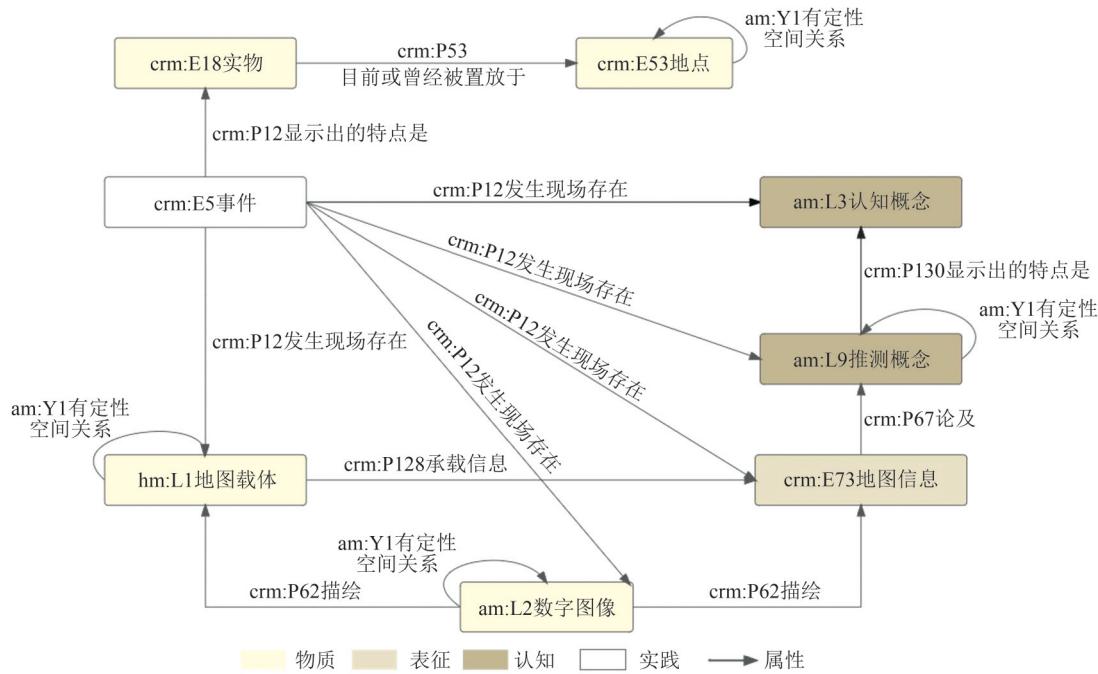


Fig. 2 Top-Level Ontology of the Ancient Map

### 1.3 核心概念和关系的扩展

通过复用CIDOC CRM中的相同或相近概念,以及已有古地图元数据<sup>[35]</sup>及相关语义框架研究<sup>[14]</sup>中的基本概念,对古地图顶层本体的“事件”“地图载体”“地图信息”“数字图像”和“地点”的核心概念进行扩展(见图3)。借鉴QSR的空间关系<sup>[34]</sup>,对顶层本体中“地图载体”“数字图像”“认知概念”的空间拓扑关系进行描述。

#### 1.3.1 核心概念的扩展

“事件”关联着地图生命周期中人物、时间、地点。人物可分为“绘图者”(am: L17 绘图者)、“使用者”(am: L18 使用者)、“收藏者”(am: L19 收藏者),其他相关者则复用其父类“人物”(crm: E39 人物)记录。本体主要记录生产地图“事件”关联的“绘制时间”(am: L15 绘制时间),其他与地图相关的“时间”复用crm: E52 时间。各“事件”对应的“地点”则复用crm: E53 地点。

“地图载体”主要关联地图的基本特征信息,舆图元数据标准<sup>[33]</sup>中有较多元素可以描述相关信息,研究将其与CIDOC CRM建立映射关系以表达相关概念。包括“题名”(crm: E35 题名)、“责任者”(am: L10 责任者)、“尺寸”(crm: E54 尺寸)、“比例”(am: L11 比例)、“色彩”(am: L11 色彩)、“馆藏单位”(crm: E39 馆藏单位)、“馆藏档案号”(crm: E42 馆藏档案号)、“附注”(am: L20 附注)。“资源集”(crm: E78 资源集)一般指多个单张地图组成的图纸集合,而“地图载体”一般以

单张图纸为单位记录。“相关资源”与“地图载体”之间的关系采用“有组成部分”(crm: P46 有组成部分)描述。

“地图信息”由“语言信息”和“图像信息”组成:“语言信息”(crm: E33 语言信息)包括文本及各类字符,如数字、文字等;“图像信息”(crm: E36 图像信息)则指可识别的图像的基本类型,如山、建筑等。“图像信息”的“再现法”采用am: L6 再现法描述,该类为crm: E55 Type 的子类,取值范围包括平面、立面、透视、外轮廓等,“图像信息”的“表征色彩”则采用am: L7 表征色彩描述。“地图信息”与“语言信息”“图像信息”之间采用“有组成元素”crm: P106 有组成元素关联,表示“地图信息”的实例包括“语言信息”或“图像信息”的实例。对于已经形成固定表达形式的图例,研究通过参照地图图例本体(map legend ontology, MLO)<sup>[10]</sup>,扩展“图例”概念(am: L8 图例)作为“图像信息”的子类,并使用“图例类型”(am: L31 图例类型)来区分其填充方式(点、线、面)。

“数字图像”的相关概念有“数字图像”的“图像编号”(am: L12 图像编号)、“图像格式”(am: L13 图像格式)、“图像大小”(am: L14 图像大小)、“分辨率”(am: L15 分辨率)、“图像颜色”(am: L16 图像颜色)。

“地点”由其所关联的“地名”(crm: E48 地名)和“空间坐标”(crm: E47 空间坐标)来描述。

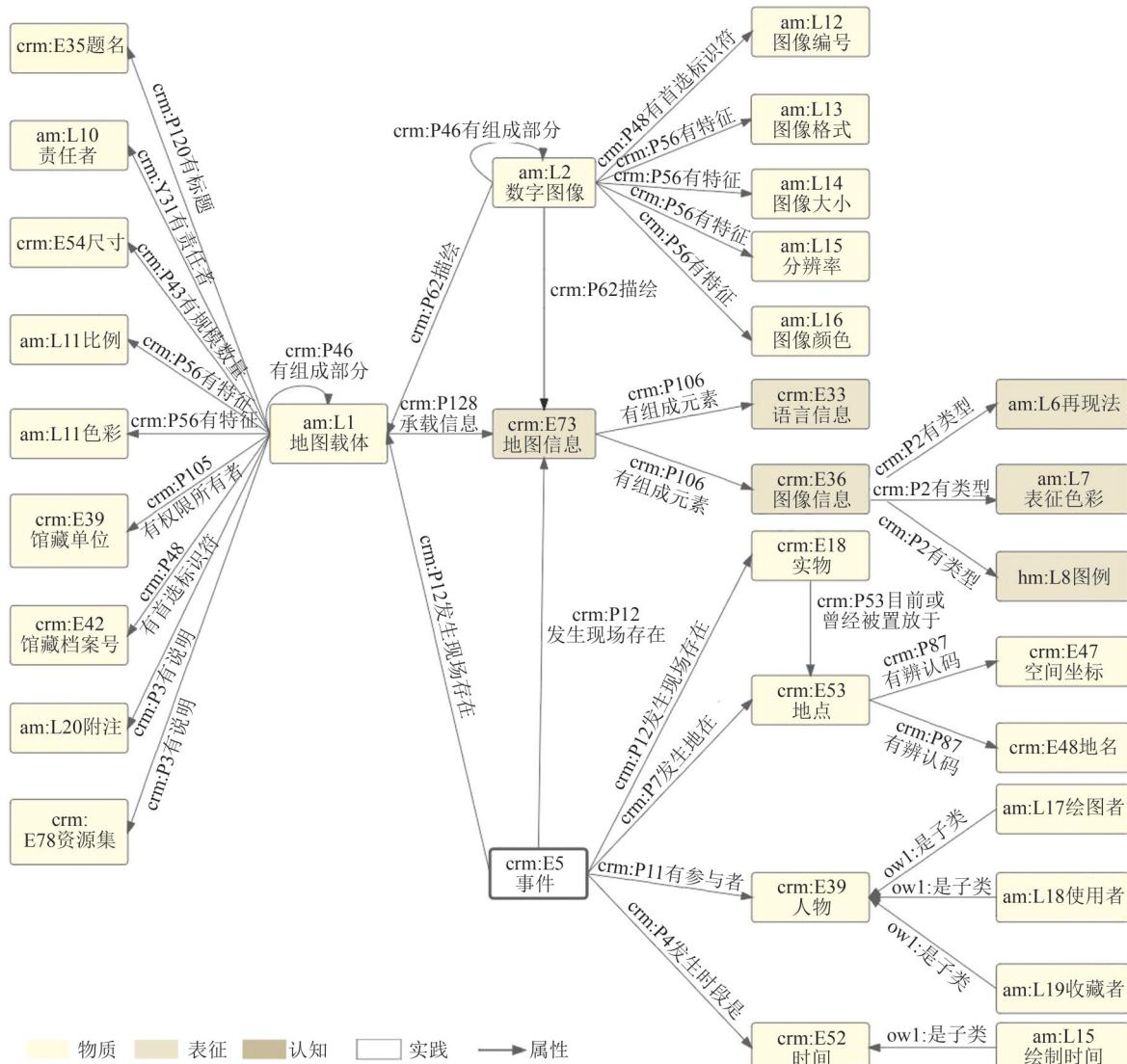


图3 核心概念的扩展

Fig. 3 Extension of Core Concepts

### 1.3.2 “定性空间表征关系”的扩展

“数字图像”和“推测概念”涉及的二维、三维空间关系的描述除直接应用RCC8,还进一步借鉴了3D空间拓扑关系的方向描述方式:全局方向包括东、南、西、北、东南、东北、西南、西北,局部方向包括上、下、左、右、前、后<sup>[36]</sup>。RCC8、全局方位、局部方位在描述实体空间关系时起到了不同维度的定位作用。其中,为了描述中国地图中常见的轴线关系,为“重叠”(am:Y6重叠)添加了子属性“位于轴线”(am:Y23位于轴线)(见表1)。

## 2 以样式雷图档为例的实证研究

样式雷图档是清代雷氏家族主持并参与皇家建筑工程时设计、绘制、写作并搜集的建筑画

样和相关文件<sup>[37]</sup>,其中翔实载述了清代有关国家级大型工程的机构设置与运作、选址勘测、规划设计、施工以至传统工艺等方面详情,对探索中国古代建筑设计思想、理论和方法、施工技术和管理制度,乃至清史、图学史、古代科技史,以及相关文物建筑保护和研究均具重大价值<sup>[38]</sup>。2007年,中国国家图书馆藏“清代样式雷建筑图档”被联合国教科文组织列入《世界记忆名录》<sup>[39]</sup>。样式雷图档作为中国古代建筑工程图纸可被广义地视为一种专题地图,反映了包括选址勘测、规划设计、施工等一系列复杂的工程实践,并通过丰富的制图体系表达了当时人们对建筑及地理空间形态和空间关系的认知,是清代人认知、设计和改造空间的媒介。

为了验证古地图本体在描述表征、概念、实践、物质关系的效用,需选择表征有一定代表性、

表1 “定性空间表征关系”的子属性

Tab. 1 Sub-Properties of “Has Qualitative Spatial Representation”

属性	属性描述	对称性	类型
相同	am: Y2 is equal to	对称	
外切	am: Y3 is externally connected to	对称	
内切	am: Y4 is tangential proper part of	非对称	RCC8
相离	am: Y5 disconnects from	对称	
重叠	am: Y6 partly overlaps	对称	
内含	am: Y7 is nontangential proper part of	非对称	
在上方	am: Y9 is above	非对称	
在下方	am: Y10 is below	非对称	
在左方	am: Y11 is to the left of	非对称	局部方位
在右方	am: Y12 is to the right of	非对称	
在前方	am: Y13 is in front of	非对称	
在后方	am: Y14 is behind of	非对称	
在东边	am: Y15 is to the east of	非对称	
在西边	am: Y16 is to the west of	非对称	
在南边	am: Y17 is to the south of	非对称	
在北边	am: Y18 is to the north of	非对称	
在东南方	am: Y19 is to the southeast of	非对称	全局方位
在东北方	am: Y20 is to the northeast of	非对称	
在西南方	am: Y21 is to the southwest of	非对称	
在西北方	am: Y22 is to the northwest of	非对称	

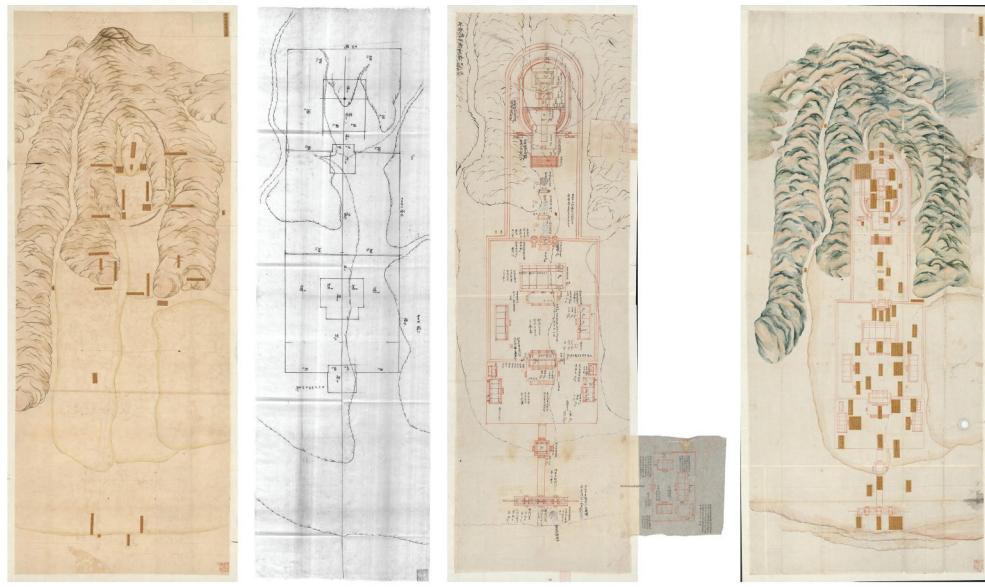


图4 样式雷图档中有关定陵的古地图案例

Fig. 4 Map Carriers from Yangshi Lei Archives About Construction Engineering of Ding-Ling Tomb

## 2.1 古地图案例的基本描述

地图基本描述以实物“地图载体”和“数字图像”为核心，在建立二者关联的同时也包括了题名、馆藏单位、尺寸、色彩、制作时间、主题类别等基本内容（见表2）。图4中选定的4张图纸均产生于咸丰八年（公元1858年），其中平安峪地盘画

概念世界复杂、实践“事件”和所涉物质明确的古地图系列加以验证。由于大部分古地图的生产和使用语境缺乏连贯记录，本文选用了数量较多、内容相互关联、地图内外语义复杂的特殊古地图——清代建筑工程图纸样式雷图档系列，以充分体现本体的效用。样式雷图档涉及了选址勘测、规划设计、施工等复杂的建筑实践活动，这些生产图和用图的“事件”被其他文字性史料全面地记录了下来，而其丰富的图像表征所表达的包括建筑规划、设计、风水、建造在内的复杂概念体系也已经得到了基本廓清<sup>[38,40]</sup>。

本文从清代帝王咸丰皇帝的陵寝——定陵工程图档中选取了4张生产时间较为靠近的“地图载体”（见图4），通过相关论文<sup>[41]</sup>的描述对“地图信息”及其相关实践、概念、实物、地点进行关联描述。建模分为3个部分：地图基本描述呈现了一般的“地图载体”元数据编目所关注的信息，而起框架性作用的地图实践活动在时空层面使不同世界的实体得以关联和讨论，表征与“认知概念”部分则可以基于前述基础跨地图、跨时空地系统讨论地图的概念世界、表征世界和实践世界的变化。

样（181-0001）为确定勘测选址后绘制的正式图纸（图4(a)），其余3张图纸被鉴定为随方案演变所产生的初始规划图（270-0004）（图4(b)）和两张规划设计图（182-0016、181-0015）（图4(c)、4(d)），体现了此次定陵规划设计逐步完善的过程<sup>[40]</sup>。

表2 与定陵建筑工程4张“地图载体”相关的实体

Tab. 2 Entities Related to “Map Carrier” from Construction Engineering of Ding-Ling Tomb

馆藏档案号	题名	馆藏单位	图纸尺寸/cm <sup>2</sup>	地点	色彩	数字图像			附注	CVAT标注
						编号	色彩	大小/MB		
crm:E42 Identifier	crm:E35 Title	crm:E39 Actor	crm:E54 Dimension	crm:E53 Place	am:L11 Color	am:L12 Identifier	am:L16 Color	am:L14 Extent	am:L20 Description	am:L2 Digital Image
181-0001	平安峪中国地盘画样	国家图书馆	159.8×61.4	定陵	多色	181-0001C	彩色	4.02	确定选址后绘制的正式图	
270-0004	平安峪地势约拟规制糙底	中国国家图书馆		定陵		270-0004B	黑白	9.63	182-0016 方案底图,仅绘制各进院落及主要建筑的控制线	
182-0016	平安峪地盘画样贴签尺寸子底	中国国家图书馆	124.5×39.7	定陵	双色	182-0016C	彩色	0.697	在182-0015基础上,将宝城面宽10丈地宫方案与总体布局方案合并、微调后形成的第二套规划方案	
181-0015	平安峪中国地盘画样	国家图书馆	159.0×67.2	定陵	多色	181-0015C	彩色	1.99	修改182-0016而成的彩绘正式图	

## 2.2 古地图案例的实践活动

“事件”实体将实践活动与“地图载体”“认知概念”及“实物”相连,打破了“地图载体”所涉及的物质世界与概念世界的分隔,并有助于进一步探索古地图作为人类认知工具随时间的效用变迁问题。

定陵是清东陵的第四座帝陵,位于裕陵以西的平安峪。咸丰元年(1851年)开始选址,咸丰八年(1858年)钦定平安峪为万年吉地,次年(1859

年)动工,同治四年(1865年)皇帝下葬<sup>[41]</sup>。在定陵动工的前一年(1858年),发生了一系列勘测平安峪地形、根据地形进行建筑规划及深化规划设计的实践活动,将其中181-0001、270-0004、182-0016、181-0015这4张“地图载体”对应的4次工程“事件”依次命名为“平安峪选址”“定陵规划设计01-01”“定陵设计01-02”“定陵设计01-03”(见图5),这些“事件”产生了相互关联的“认知概念”和“设计方案”(crm:E29设计方案,“认知概念”

的子类),并生产了对应的4张“地图载体”。4张“地图载体”的生产时间前后相继,后生产的“地图载体”利用了之前的“地图载体”及其涉及的

“认知概念”。而这些历史上的“认知概念”可以由当代的研究事件产生一个近似的“推理概念”。

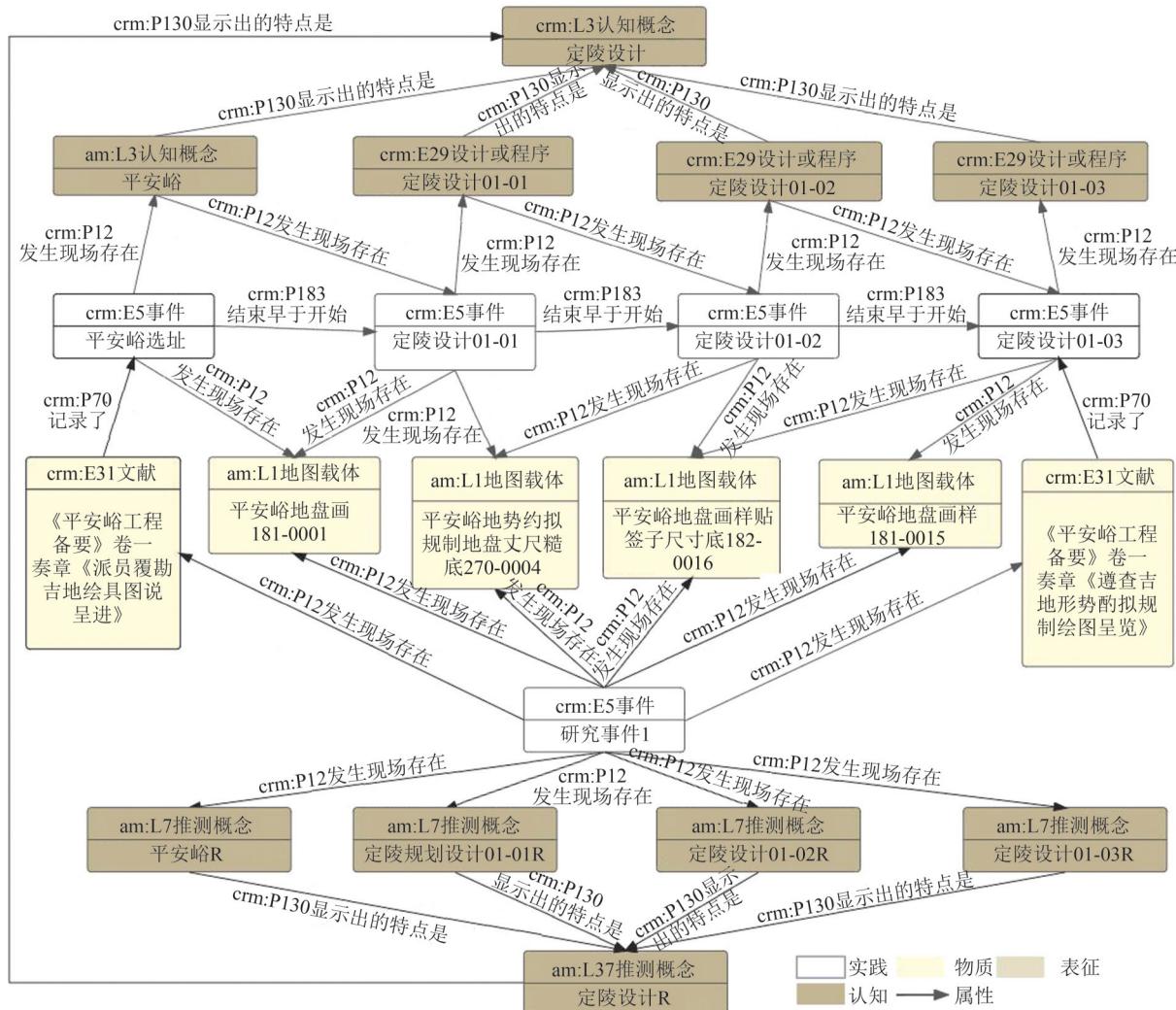


图5 古地图载体案例中的各类实践事件与认知概念、实物的语义网

Fig. 5 Semantic Web of Practical Events, Cognitive Concepts, and Physical Things in the Case of Map Carriers from Ding-Ling Tomb

《平安峪工程备要》以文字记录了“平安峪选址”和“定陵设计01-03”事件的相关信息(见图6)。以“平安峪选址”事件为例,还包括了“覆勘平安峪”和“呈进1”事件,而整个选址事件产生了认知概念“平安峪”和地图载体“平安峪地盘画样”(181-0001)。根据对《平安峪工程备要》卷一中的奏章《派员覆勘吉地绘具图说呈进》进行文本标注,“覆勘平安峪”事件发生于咸丰八年八月二十日至二十五日,由章京司员户部郎中王正谊、钦天监博士方达、圆明园苑丞松瑞对现位于“唐山市遵化市清东陵”的实物“平安峪”进行了勘测考察,而后产生的地图载体“平安峪地盘画样”(181-0001)于九月初二呈进给咸丰皇帝用于

决策。该奏章还记录了与地图载体181-0001内容相互印证的具体内容(根据勘测确定的穴中、山向及其与东西山的距离)。

### 2.3 建筑实践中的古地图表征与概念

利用计算机视觉注释工具<sup>[42]</sup>对“地图载体”的复制品“数字图像”进行手工标注,将整幅地图分解成诸多“数字图像”切片,建立切片与表征性“地图信息”及“推测概念”的联系,从而进一步讨论跨地图的概念、表征和实践的关系。

表征性的“地图信息”分为“图像信息”(crm:E36图像信息)和“语言信息”(crm:E33语言信息),对图像信息采用类型化的命名方式,并使用“再现法”(am:L6再现法)和“图例”(am:L8图

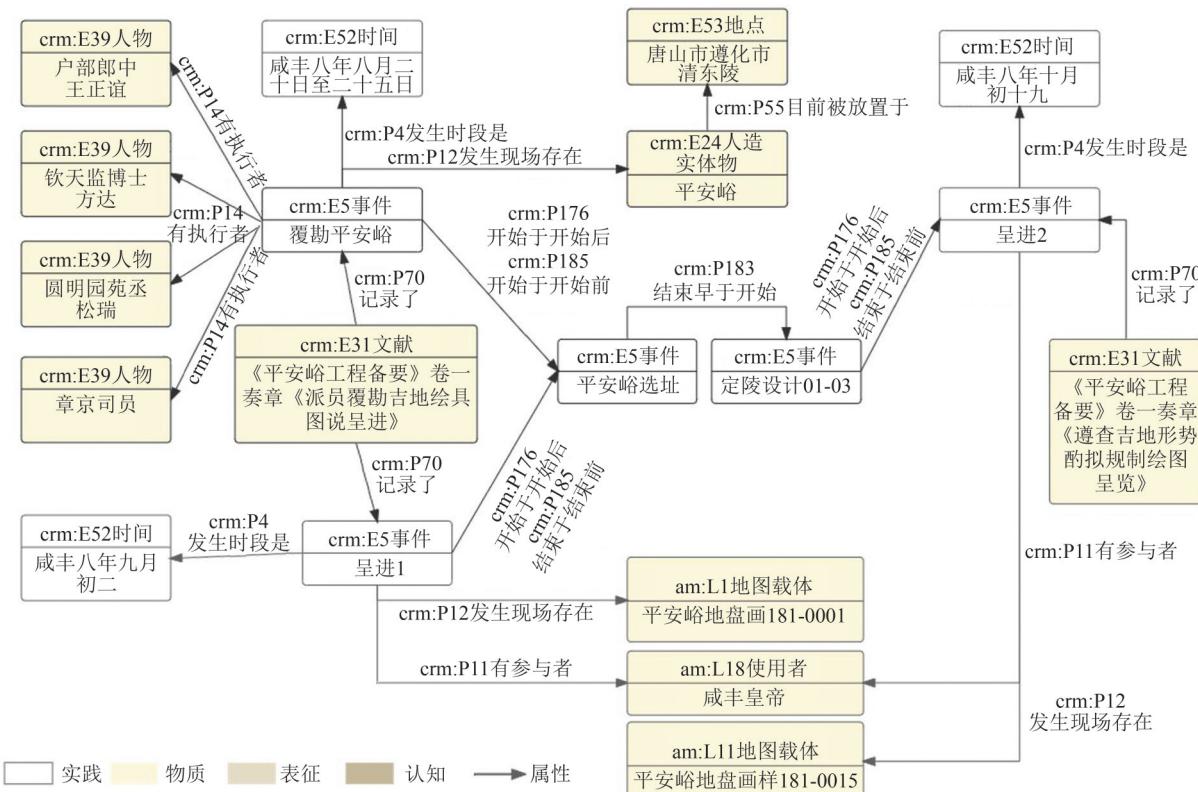


图6 基于历史档案文本标注的地图载体相关的事件、实物、人的建模

Fig. 6 Events, Physical Things, and Actors Related to Map Carriers Based on Text Annotation of Archivals

例)来进一步区分图像信息的类型。数字图像切片涉及概念的词表最佳来源为原地图中的语言信息,也可从同时代相关的其他历史文献或已有研究中获取。

### 2.3.1 单张地图的表征与概念关系:地形概念的表征

通过对数字图像切片进行手工标注和属性分配将初始选址阶段图纸中的数字图像与地图信息(图7(a))、地图信息与推測概念(图7(b))进行串联,其中推測概念所使用的词汇基本来自于同一张图上的语言信息。数字图像181-0001C-0004利用“图像信息”的方式表征了推測概念“靠山”,该概念在空间上也位于其周边切片0005、0007所描绘的“内东山”“内西山”的中心。用于放置地宫棺床的“穴中”概念则内含于“靠山”中,并有语言信息“内东山至穴中宽五丈三尺”与“穴中至内山西山边宽四丈七尺”描绘了其与“内东山”“内西山”概念的距离。在空间上经过“穴中”,并位于“靠山”轴线的“山向1”概念则被0001切片的图像信息所描绘,也被“壬山丙向兼子午三分辛亥辛巳分金”的语言信息描述了其具体方位。

### 2.3.2 地图间概念的关系:设计方案对地形的改造

通过将选址和初始设计阶段的地图载体之

间的概念进行关联,可以发现地图被如何用以完成对概念的继承和再创造(见图8)。第二阶段初始规划事件生产出的地图载体270-0004继承了前一张181-0001选址图所涉及的“平安峪”概念。两张图的推測概念“平安峪”和“定陵设计01-02”在其组成部分方面有所重叠:它们共有“山向1”子概念,而设计概念组成中与勘测概念不同的组成部分,即“地宫设计”和“隆恩殿设计”,也与后者的子概念“山向1”“穴中”和“靠山”有空间上的关系。实际上,270-0004的设计方案正是通过前一张图所确定的“山向1”“穴中”和“靠山”进一步确定了概念物主要建筑与概念物山体及它们之间的空间布局关系:概念物主要建筑“地宫设计”和“隆恩殿设计”的中轴线被安排在了“山向1”上,而由于山体与建筑的概念物在空间上部分重叠,原本的“靠山”也被“靠山改造”设计方案替代。

### 2.3.3 地图间的表征关系:符号化表征和设计实践的关联

将3张定陵规划设计阶段图纸中的同类概念表征方式进行比较分析,从而可以理解不同表征在不同实践中的具体作用。在前后3张用于规划设计的地图载体上,对“隆恩殿设计”这一理想单体建筑设计概念均使用了“平面”化的图像信息表征方式,表达了“单体建筑”在平面上的布局,

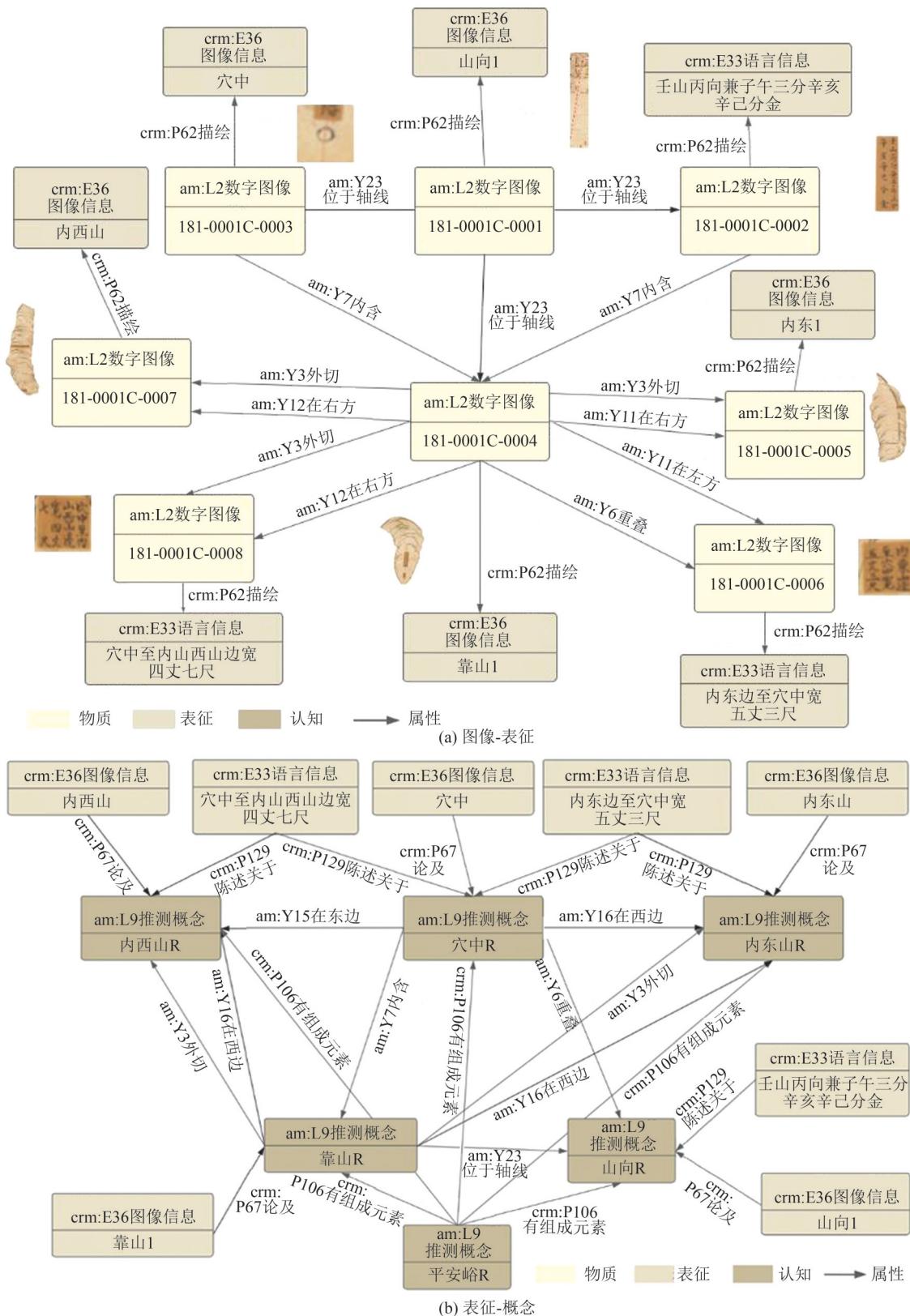


图7 单张地图的图像-表征-概念(基于181-0001C的图像标注)

Fig. 6 Image-Representation-Concept in One Map Carrier Based on Image Annotation of 181-0001C

并且使用了稳定的符号化图例(如“窗”)来组合表达(见图9)。但在3张不同实践阶段的地图载体上,“单体建筑”的表征在逐步细化:初始规划图中的270-0004B-0001采用了外轮廓的简单表

征方式;在稍后的规划设计草图中,182-0016C-0002利用了复杂而稳定的符号体系表达了平面上建筑的柱网结构、门、窗、墙、台基的组合关系,以及汉字和苏州码(一种便捷记数系统)表达的

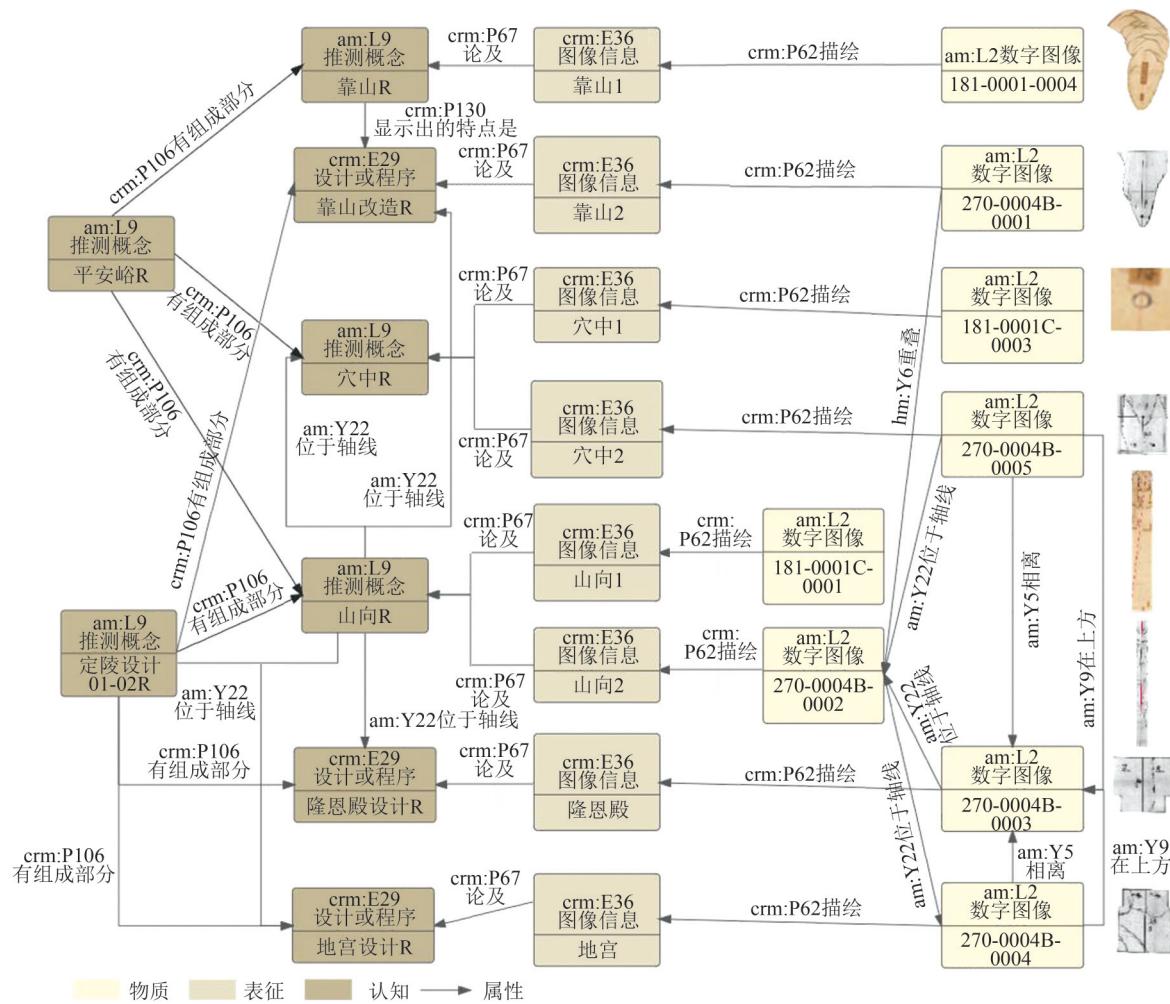


图8 不同地图间的概念继承与概念创新(基于181-0001C、270-0004B的图像标注)

Fig. 8 Inheritance and Innovation of Cognitive Concepts Between Different Map Carriers Based on Image Annotation of 181-0001C and 270-0004B

尺寸信息;规划设计终稿中的181-0015C-0002则采用了和规划设计草图一样的符号体系只是用笔更为正式,但对于语言信息的表征方式有了较大变化——草图中表征建筑的图像信息采用了比黑色的语言信息更为显眼的红色,但终稿中则正相反,采用了比红色线条的建筑表征更为显眼的红色贴签和标签上的黑色汉字来表达建筑命名和尺寸信息,从而在进呈后方便皇帝更容易地利用贴签定位建筑并获得有关建筑的描述。

3张规划设计图中对山体的设计方案也使用了“符号”化的图像信息表征方式(见图10)。虽然对“山”的表征方式随设计推进看似越发详细,规划设计终稿中的181-0015C-0001甚至看起来像一幅不分虚实笔触的山水画,但这些不同版本的“山”符号在外轮廓、信息传递的深度和内容层面并无太多区别,这也说明了其表征的“靠山改造”概念在几张图中不是重点分析对象。但为了表征这些没有区分的“山”概念,却采取了不同的

“山”符号,其背后的缘由应与其所涉的不同实践目的有关。为此可以将3个实践阶段对山的表征与对建筑的表征方式联系起来分析:初始规划图的目的是针对既有的山水空间概念对建筑进行大体的定位规划设计,而此地图载体中的“山”(270-0004B-0001)采用了和其“单体建筑”(270-0004B-0001)同样的外轮廓化的平面表征,说明这样的简单方式已经能够有效帮助建筑定位的推敲实践;在更为详细的规划设计草图中,虽然都是平面表征,但区别于作为重点表达对象的“单体建筑”(181-0016C-0002)所采用的红色、几何化的表征方式,“山”(181-0016C-0001)只是采用了黑色、白描的方式用以反衬建筑;而规划设计终稿中的“山”(181-0015C-0001)采用了比前两种“山”更为立体和整体的山水画式符号(与此类似的是选址阶段呈给皇帝的181-0001也采用了山水画式符号),这种更为直观的方式与其“单体建筑”共同表现了建筑与风水格局的整体关系。

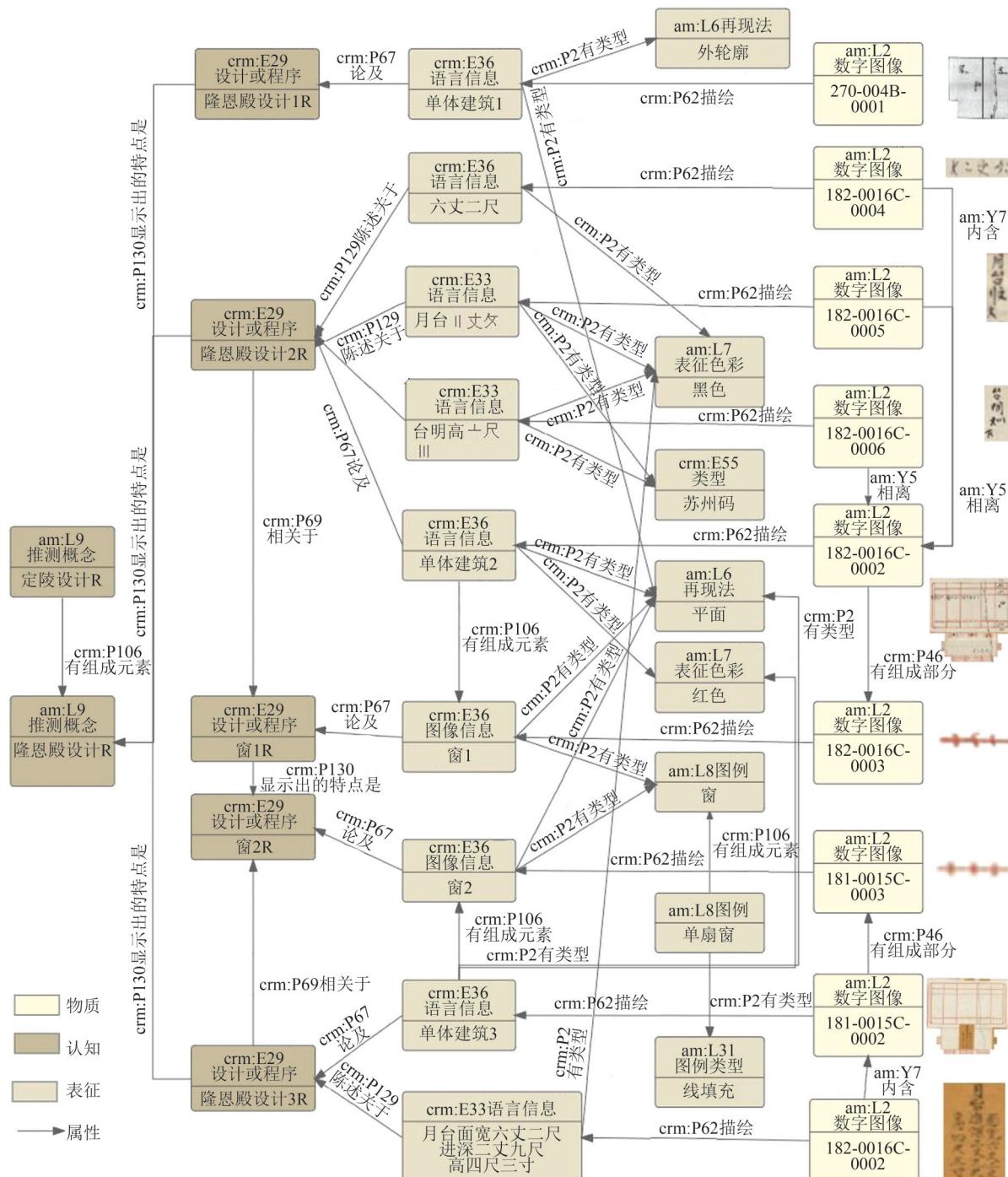


图9 建筑设计方案的不同表征方式(基于270-0004B、182-0016C、181-0015C图像标注)

Fig. 9 Different Representations of Architectural Design Concepts Based on Image Annotation of 270-0004B, 182-0016C, 181-0015C

#### 2.4 对古地图案例认知-实践性表征的讨论

为了利用基于认知-实践模型的古地图本体框架对4张清代定陵工程地图信息建模进行案例验证,本文根据已有研究,首先基于同时代文本档案对4张案例地图所涉及实践世界的不同工程事件和行动者进行了描述,其次将地图上语言信息涉及的概念与图像信息对应,从而建立了局部

概念和整体概念之间的关系,然后通过不同地图之间概念的关联分析描述了认知世界中概念继承和概念创新的流动过程,最后通过与概念世界、实践世界的交叉观察来表征世界实体的异同。

通过多种来源的图像、语言信息的关联,认知-实践模型首先从概念与实践的关系角度揭示

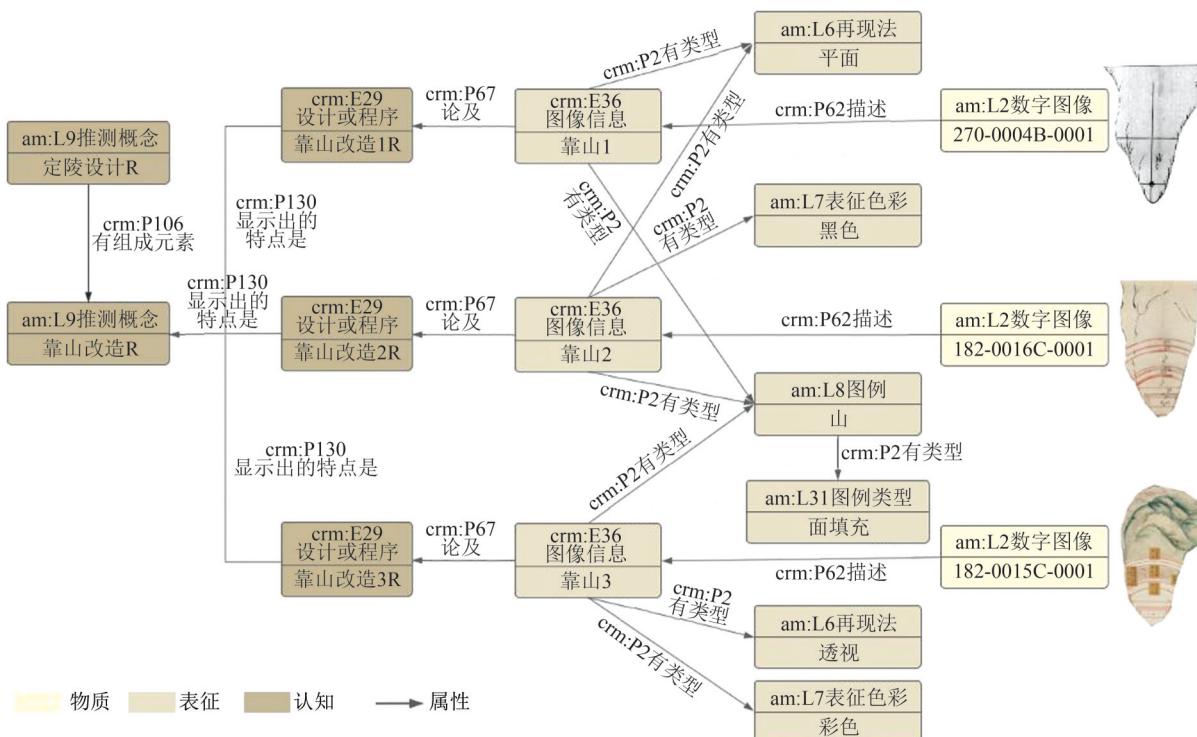


图10 山体设计方案的不同符号化表征(基于270-0004B、182-0016C、181-0015C图像标注)

Fig. 10 Different Symbolic Representations of Mountain Modification Concepts Based on Image Annotation of 270-0004B, 182-0016C, 181-0015C

了勘测实践采用的风水概念通过“山向”“穴中”等影响陵寝建筑组群概念生产的方式以及建筑单体设计概念进一步深化的方式,而这些概念随时间的变化又反过来说明了清代皇陵工程实践在选址、规划、设计中的具体展开方式。

由于定陵工程涉及不同的行动者对同类认知概念的处理实践,而认知-实践模型自然可以解释作为实践中介的地图表征所反映的不同行动者在实践和认知方面的异同。从设计师自用的规划设计草图和呈给皇帝的终稿采用了同样的建筑符号体系来看,清代样式房中以雷思起为主的设计师们和咸丰皇帝显然在对建筑的认知方面可以共享一套表征体系。但对认知、实践进行控制变量后,表征世界体现出的异质性也说明了不同行动者的认知差异及对地图载体所用的表征语言对这一习得性差异的调适。从草图的表征组合来看,画图人应该已经惯于借助不同细粒度的平面化表征(如外轮廓、复杂的建筑符号)并辅以简单的苏州码尺寸信息,在距大尺幅图纸或近或远的位置进行与空间概念相关的不同细粒度的分析、推敲和创作实践。但呈阅给习惯诗文书画的咸丰皇帝的终稿,其表征方式更加注重对文字信息、山水画式符号和整体空间关系的表达,这在一定程度上说明了对咸丰皇帝认知建筑

概念来说,设计师习惯的分析性的、几何化的建筑平面表征反不如建筑命名和尺寸等文字信息有效,而设计师习惯的山体衬建筑的平面化表征也不如完整的、透视化的山体搭配几何化的建筑表征更能凸显二者的关系。这种表征性差异反映了地图载体背后的两种实践和认知体系,但画图人利用表征语言的变化使其在一定程度上迎合读图人不同的知识框架。因此概言之,清定陵工程地图载体所使用的表征方式可说是内嵌于不同认知模式的行动者的实践活动,而地图载体本身则给其概念世界的流动及不同人针对概念的交流和沟通、创造和推敲的实践提供了一个半标准化的操作平台。

### 3 结语

为了促进知识史视野下古地图知识形成、流通与转译问题的数字研究范式,本文提出了古地图认知-实践模型和古地图本体模型,并选取了涉及复杂工程实践、概念及表征体系的清代样式雷图档进行了标注实验。实验结果表明,该模型能够通过拓展部分本体结构有效支持描述,并记录古地图所涉及的表征、实践、概念及物质之间的复杂语义关系,有助于理解表征何以在概念和实

践的互动中发生的问题。但在建模时,该本体对于隐含的历史事件和研究类事件并没有详细拓展,同时对于古地图表征与概念的关联尚未清晰界定具体操作方式。这一问题与认知心理学和计算机视觉领域的语义鸿沟问题有关,并且应该强调的是,作为解决与空间有关特定问题而出现的地图,其所联结的概念体系可能由于其实践性而具有一定的偶然性,因而需要积累大量的知识库以发现其共性、多样性和历史变化。而后续该本体将会应用到更多的案例中,同时,应该测试计算机视觉技术和自然语言处理技术加入的大规模本体填充的简化程序,从而自动提取古地图和历史文本中的表征、概念和实践的具体实例,并不断积累古地图知识库,推动数据挖掘、知识推理方法研究地图学史和形象史的新范式。

## 参考文献

- [1] Wu Mingguang, Sun Yanjie, Lü Guonian. Cartographic Style Transfer: Idea, Review and Envision [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(12): 2069–2084. (吴明光, 孙彦杰, 阎国年. 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.)
- [2] Chen Yimei, Guo Wei. Cartographic Research on Chinese Traditional Maps [J]. *Landscape Architecture*, 2022, 29(6): 128–134. (陈忆湄, 郭巍. 中国传统舆图的制图学研究 [J]. 风景园林, 2022, 29(6): 128–134.)
- [3] Harley J B, Laxton P. The New Nature of Maps: Essays in the History of Cartography [M]. London: Johns Hopkins University Press, 2002.
- [4] Burke P. Eyewitnessing: The Uses of Images as Historical Evidence [M]. Ithaca: Cornell University Press, 2001.
- [5] Chen Zhongdan. On the Function of Image to Prove History [J]. *History Teaching*, 2013 (1): 61–66. (陈仲丹. 图像证史功用浅议 [J]. 历史教学(中学版), 2013(1): 61–66.)
- [6] Burke P. What Is the History of Knowledge? [M]. Cambridge, MA: Polity Press, 2015.
- [7] Renn J. From the History of Science to the History of Knowledge and Back [J]. *Centaurus: International Magazine of the History of Science and Medicine*, 2015, 57(1): 37–53.
- [8] Harley J B, Woodward D. The History of Cartography: Cartography in Prehistoric, Ancient, and Medieval Europe and the Mediterranean [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1987.
- [9] Pan Sheng. A Perspective on the Map or Cartographic History Studies in Western: Collective Interesting, Postmodern Turn, and Diversity [J]. *Journal of Chinese Historical Geography*, 2019, 34 (1): 139–158. (潘晟. 西方地图史研究: 收藏兴趣、后现代转向、多样化 [J]. 中国历史地理论丛, 2019, 34 (1): 139–158.)
- [10] Gao S, Janowicz K, Zhang D W. Designing a Map Legend Ontology for Searching Map Content [J]. *Advances in Ontology Design and Patterns*, 2017, 32: 119–130.
- [11] Görz G, Scholz M. Semantic Annotation for Medieval Cartography: The Example of the Behaim Globe of 1492 [J]. *e-Perimetron*, 2013, 8: 8–20.
- [12] Murrieta-Flores P, Favila-Vázquez M, Flores-Morán A. Spatial Humanities 3.0: Qualitative Spatial Representation and Semantic Triples as New Means of Exploration of Complex Indigenous Spatial Representations in Sixteenth Century Early Colonial Mexican Maps [J]. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 2019, 13(1/2): 53–68.
- [13] Ikkala E, Hyvönen E, Tuominen J. Geocoding, Publishing, and Using Historical Places and Old Maps in Linked Data Applicationss [C]// Digital Humanities in the Nordic Countries 3rd Conference, Helsinki, Finland, 2018.
- [14] Gkadolou E, Prastacos P. Historical Cartographic Information for Cultural Heritage Applications in a Semantic Framework [J]. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 2021, 56(4): 255–266.
- [15] Cohn A G, Bennett B, Gooday J M, et al. RCC: A Calculus for Region Based Qualitative Spatial Reasoning [J]. *GeoInformatica*, 1997, 1(3): 275–316.
- [16] Bruseker G, Carboni N, Guillem A. Cultural Heritage Data Management: The Role of Formal Ontology and CIDOC CRM [M]// Vincent M L, Bendicho V M L M, Ioannides M, et al. *Heritage and Archaeology in the Digital Age*. Berlin: Springer, 2017.
- [17] Hiebel G, Doerr M, Eide Ø. CRMgeo: A Spatio-temporal Extension of CIDOC-CRM [J]. *International Journal on Digital Libraries*, 2017, 18(4): 271–279.
- [18] Simon R, Barker E T E, Isaksen L, et al. Linking Early Geospatial Documents, one Place at a Time: Annotation of Geographic Documents with Recogito [J]. *e-Perimetron*, 2015, 10(2): 49–59.
- [19] Fleet C, Kowal K C, Pridal P. Georeferencer: Crowd Sourced Georeferencing for Map Library Col-

- lections[J]. *D-Lib Magazine*, 2012, 18(11/12): 52.
- [20] Enescu I I, Tsorlini A, Hurni L. Towards a Comprehensive Methodology for Automatic Vectorization of Raster Historical Maps[J]. *e-Perimetron*, 2016, 11(2): 57–76.
- [21] Li Z K, Guan R Y, Yu Q M, et al. Synthetic Map Generation to Provide Unlimited Training Data for Historical Map Text Detection[C]//The 4th ACM SIGSpatial International Workshop on AI for Geographic Knowledge Discovery, Beijing, China, 2021.
- [22] Uhl J H, Leyk S, Li Z K, et al. Combining Remote-Sensing-Derived Data and Historical Maps for Long-Term Back-Casting of Urban Extents[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(18): 3672.
- [23] Schemmel M. Spatial Thinking and External Representation: Towards a Historical Epistemology of Space [M]. Berlin: Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, 2016.
- [24] Panofsky E. Meaning in the Visual Arts: Papers in and on Art History [M]. Garden City, New York: Doubleday, 1955.
- [25] Baroncini S, Daquino M, Tomasi F. Modelling Art Interpretation and Meaning. A Data Model for Describing Iconology and Iconography [J]. *Aida Informazioni*, 2021(1/2): 39–62.
- [26] Carboni L. An Ontological Approach to the Description of Visual and Iconographical Representations [J]. *Heritage*, 2019, 2(2): 1191–1210.
- [27] Del Casino V J, Hanna S P. Beyond the Binaries: A Methodological Intervention for Interrogating Maps as Representational Practices[J]. *ACME: An International Journal for Critical Geographies*, 2006, 4(1): 34–56.
- [28] Latour B. Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory [M]. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- [29] Ingold T. Bringing Things Back to Life: Creative Entanglements in a World of Materials [EB/OL]. (2010-01-10)[2022-06-01]. <https://eprints.ncrm.ac.uk/id/eprint/1306>.
- [30] Kitchin R, Gleeson J, Dodge M. Unfolding Mapping Practices: A New Epistemology for Cartography[J]. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2013, 38(3): 480–496.
- [31] Fonseca F T, Egenhofer M J. Ontology-Driven Geographic Information Systems [C]//The 7th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, Kansas City, Missouri, USA, 1999.
- [32] ICOM/CIDOC Documentation Standards Group. Definition of CIDOC Conceptual Reference Model. Version5.0.4 [EB/OL]. (2019-10-08) [2022-09-20]. [https://cidoc-crm.org/sites/default/files/Documents/cidoc\\_crm\\_version\\_5.0.4.html](https://cidoc-crm.org/sites/default/files/Documents/cidoc_crm_version_5.0.4.html).
- [33] Bruseker G, Carboni N, Guillem A. Cultural Heritage Data Management: The Role of Formal Ontology and CIDOC CRM[M]//De Fanti T, Grafton A, Levy T E, et al. Heritage and Archaeology in the Digital Age. New York: Springer, 2017: 93–131.
- [34] Stell J G. Qualitative Spatial Representation for the Humanities[J]. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 2019, 13(1/2): 2–27.
- [35] Yao Boyue, Shen Yunyun, Feng Xiangyun. Generation of Descriptive Metadata Standards of Ancient Atlases: A Case Study[J]. *Library and Information Service*, 2005, 49(8): 67–71. (姚伯岳, 沈芸芸, 冯项云. 輿图描述元数据规范设计与案例分析[J]. 图书情报工作, 2005, 49(8): 67–71.)
- [36] Li C L, Lu J J, Yin C, et al. Qualitative Spatial Representation and Reasoning in 3DSpace[C]//The Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, Changsha, China, 2009.
- [37] National Library of China. Yangshi Lei Archive[EB/OL]. (2020-04-17) [2022-09-20]. <http://www.nlc.cn/nmcb/gcjpdz/ysl/>. (中国国家图书馆. 样式雷 [EB/OL]. (2020-04-17) [2022-09-20]. <http://www.nlc.cn/nmcb/gcjpdz/ysl/>)
- [38] He Beijie, Wang Qiheng. The Research History of Style Lei Family and Its Architectural Drawings in Qing Dynasty[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2017. (何蓓洁, 王其亨. 清代样式雷世家及其建筑图档研究史[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.)
- [39] UNESCO. Qing Dynasty Yangshi Lei Archives [EB/OL]. (2022-09-20) [2022-09-20]. <https://en.unesco.org/memoryoftheworld/registry/523>.
- [40] Wang Qiheng, Wang Fangjie. A Typical Case of Chinese Ancient Architecture Design: An Analysis of the Design of Ding-Ling Tomb in Qing Dynasty (Previous Part)[J]. *Journal of Chinese Architecture History*, 2016(1): 3–45. (王其亨, 王方捷. 中国古建筑设计的典型个案: 清代定陵设计解析(中篇)[J]. 中国建筑史论汇刊, 2016(1): 3–45.)
- [41] Wang Fangjie. Research on the Design of Ding-Ling Tomb [D]. Tianjin: Tianjin University, 2017. (王方捷. 清代定陵设计研究[D]. 天津: 天津大学, 2017.)
- [42] Intel. Computer Vision Annotation Tool[EB/OL]. (2022-09-18)[2022-09-20]. <https://cvat.org/>.