

从类型化到数字化：传统村落保护路径建构研究

罗苾, 李鹏昊, 季铁
(湖南大学, 长沙 410082)

摘要: **目的** 以传统村落保护为出发点, 从类型学与数字化相结合的视角, 探讨传统村落数字化保护路径的设计与建构, 旨在对未来传统村落的保护与修复、数字更新与营建、文化传承与资源共享提供思路。**方法** 通过实证研究方法, 反思传统村落保护中的现有问题; 结合知识图谱文献研究和数据模型方法, 进行类型学与数字化保护的关联性探讨, 展开对传统村落物质层面与非物质层面多元属性的分析, 试图明晰“文化-营造”的类型层级, 建立非单一类型层级的传统村落数字化保护研究框架。**结果** 基于双重本体语义模型数据库的构建, 实现了“数据采集与模型重现-数据处理-类型提取-解释分析-路径应用”的传统村落保护工作路径。**结论** 双重层级的构建解决了文化延续与乡村营建的衔接问题, 在设计实践工作中作用于不同的应用方向。

关键词: 传统村落保护; 类型学; 文化-营造; 数字化路径; 数字化应用

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)14-0056-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.14.006

From Typology to Digitalization: Research on Path Construction of Traditional Village Protection

LUO Jin, LI Peng-hao, JI Tie
(Hunan University, Changsha 410082, China)

ABSTRACT: Starting from the traditional village protection, this paper discusses the design and construction of the digital protection path of traditional villages from the perspective of typology and digitization, aiming to provide help for the protection and restoration, digital renewal and construction, cultural inheritance and resource sharing of traditional villages in the future. Through the empirical research method, the existing problems in traditional village protection put forward profound reflection. And according to the knowledge mapping literature analysis on the relationship between typology and digital protection, it is proposed to construct a non-single level research framework to digitally protect traditional villages. By analyzing the multiple attributes of traditional villages at the material and non-material levels, a new type net of “Culture-Construction” is established. Based on the construction of dual ontology semantic model database, the traditional village protection working path of “Data collection and model reproduction-Data processing-Type extraction-Interpretation and analysis-Path application” was realized. The construction of dual levels solves the problem of the connection between cultural continuation and rural construction, meanwhile, acts on different application directions in design and practice.

KEY WORDS: traditional village protection; typology; Culture-Construction; digital path; application of digital technology

收稿日期: 2021-04-27

基金项目: 国家社科基金艺术学重点项目“全球化、智能化引领的非物质文化遗产创新生态体系建构研究”(20AG011); 国家科技部, 国家重点研发计划-现代服务业共性关键技术研发及应用示范“中国设计风格的经典文化元素及原型数据库研发”(2019YFB1405702)

作者简介: 罗苾(1975—), 女, 湖南人, 湖南大学讲师, 主要研究方向为乡村人居环境、传统村落保护与更新、非遗文化生态。

通信作者: 季铁(1972—), 男, 湖南人, 博士, 湖南大学教授, 主要研究方向为设计艺术学、数字文化创新、非遗文化生态。

2021年2月14日中国“最后的原始部落”翁丁村老寨发生火灾，传统村落保护与发展的议题又一次从“出现了问题”的视角进入了大众视野。目前全国共有6819个村寨被认定为中国传统村落，而根据中国村落文化研究中心的调查发现，2004—2010年，黄河、长江流域的传统村落平均每天消亡1.6个^[1]，其消亡速度远超想象，传统村落的保护状况问题凸显。与此同时，现代化进程导致传统村落的衰败，传统的农业生产方式被打破，致使村落文化的衰退和营造技艺的遗失^[2]。随着数字技术在乡村实践中的不断发展，如何通过数字技术实现对传统村落的有效保护，形成既能延续传统文化，又能推动当代乡村营建的传统村落数字化保护路径，成为当前亟待探讨的课题。

以翁丁村为代表的旅游开发型、博物馆型传统村落静态式保护大行其道，忽略了文化发展的必然性^[3]。传统村落作为一个集实体空间与情感、历史、艺术等文化社会关系的“超有机体”，将文化、建筑等任一要素单独剥离出来进行保护，都会使其丧失多元价值。而在整体性保护中，传统村落要素繁杂且数据庞大，已远非传统手段能够进行采集、处理、分析和调用。长期以来，类型学研究为传统村落的传承保护与设计实践提供了适当方法，当前数字技术的发展则为其创造了良好的依托平台，如何在类型学视角下构建符合大数据处理分析的数字化路径，对于深入传统村落的系统性研究和当代动态保护具有切实意义，两者共同作用可为传统村落保护建构更为全面系统、更符合当下实情的数字化路径。

1 类型学与传统村落数字化保护的关联性研究

1.1 类型学内涵解读

类型化是人类理智行为活动的本质特征，认知和艺术创作也具有这样的思维模式^[4]。古罗马时期维特鲁威使用“*genus*”一词区分柱子，这是类型学思想在建筑学领域的早期应用^[5]。而当代建筑类型学则由罗西（Aldo Rossi）在昆西（Quatremère de Quincy）的基础上进行拓展，提出类型学所研究的对象是建筑的“原型”。类型学不是简单地对既有建筑进行分类、模仿与复制，而需要研究类型是如何产生作用方式和实际价值^[6-7]。从广义上而言，研究文化传统或者地域特性中的城市（聚落）“原型”，及其作用的过程，都属于建筑类型学的研究范畴。通过类型学研究，人们探究建筑的本质内核，并按照自然与社会的发展规律指导设计。然而通常情况下，由于认知限制，类型学在建筑学的研究中需要通过增加条件，使其条理化，才能协助人们认知并进行讨论。

1.2 经典类型学在传统村落保护中的运用

在我国传统村落的演变中，一脉相承的物质要素即传统内核，这与“原型”的概念不谋而合，因此类型学也成为乡村聚落研究中的重要方法之一。在CNKI数据库中，对2000年以后的期刊文献以“类型/形态”+“传统村落/传统聚落/历史村落/古村落”为主题进行检索，去除无关文献后，共获得有效文献1372篇（截至2021年4月）。使用Citespace对这部分文献进行关键词聚类分析，见图1，可发现在既有研究中，排在前十五位的关键词聚类中（#0-#14），除直接相关的关键词外，对于景观基因（#4）、保护（#6）、可持续发展（#7）、影响因素（#10）、公共空间（#13）的研究较多。由此可见，类型学已成为传统村落保护研究的重要视角，也是传统村落保护的重要方式，且其中的研究主题主要聚焦于村落和聚落形态、景观基因、价值评价、影响因素分析等诸多方面。然而在类型学视角下，有关传统村落保护的系统化路径尚未形成，尤其是结合数字技术方面的研究仍需深入。

1.3 类型学与数字化的关联性研究

类型学与数字化在本质上密切相关。传统类型学被视为由经验主义获得，与认知存在着必然联系，但聚落和建筑中蕴含着多重信息，已远非人脑可以长期储存并即时调用，而数字化平台可以有效地解决这些问题。同时，从数字化保护的角度来说，分类思维也是最常用的思维方式，以历史建筑信息模型（HBIM）的构建为例，通常是在Autodesk Revit软件中采用结构-类型方法，协助数据的采集、测量与建模，以辅助对建筑的认知^[8]。具体而言，在开展数字化保护的过程中，借助类型学方法可对各成分价值属性加以分类，采取控制变量的方式研究不同类型的属性；而在类型识别过程中，借助数字化技术帮助理清各要素之间的相互关系，管理并有效地调用数据。

在既有研究中，基于CNKI中文数据库，检索以“数字/数字技术”+“传统村落/传统聚落/历史村落/古村落”为主题的期刊文献（截至2021年4月），除去无关文献外，共获得有效文献125篇。通过Citespace软件进行关键词时区图分析，见图2。由分析结果可知，早期的相关研究萌芽于2010年前后对于文化遗产的研究；2013年，数字技术才真正出现于传统村落保护的研究进程中；而自2015年起，相关研究数量激增，数字技术逐步成为传统村落保护的研究热点，且研究方向开始呈现出多样化趋势。就研究主题而言，包括文化遗产、文化保护、数字化保护、数字乡村建设等；就具体技术而言，包括数据平台、3D技术、人机交互、虚拟现实（VR）、增强现实（AR）等。然而，目前从类型学视角下针对传统村落数字化保护的相关研究仍然较少。

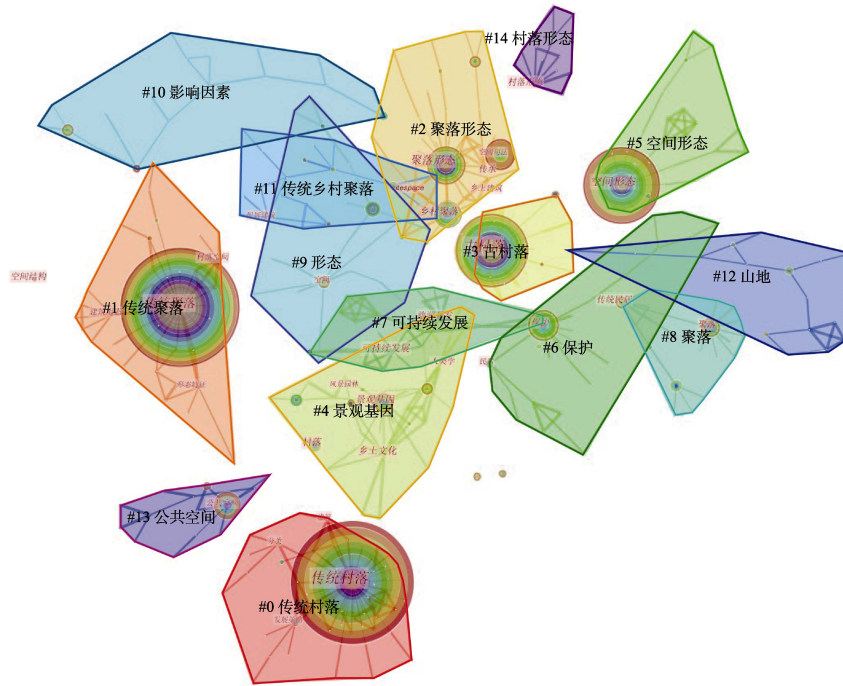


图1 关键词聚类分析
Fig.1 Keywords clustering analysis

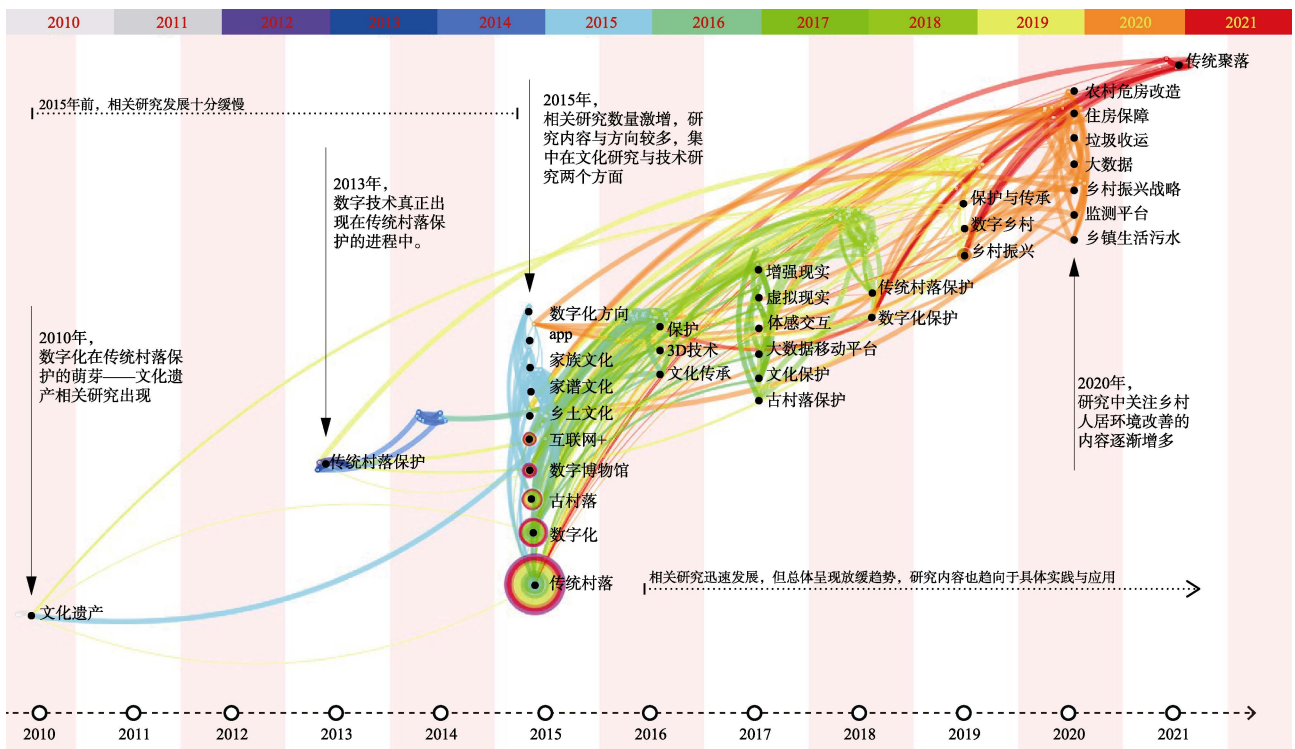


图2 关键词时区图
Fig.2 Keywords time zone diagram

2 类型学视角下传统村落数字化保护路径设计

类型学为传统村落保护创造了多样化方向, 数字技术则为其当代实施和发展提供了可能性和必要保

障。从类型学视角下建构传统村落数字化保护的实现路径, 依据传统村落文化和乡村营建之间的关联性, 设计重点包括以下方面, 见图 3。首先以“文化-营造”双层级类型网络为核心, 搭建本体语义模型框架和数据库, 在此基础上实施信息数据采集和三维

模型重现，据此进行类型提取与分析，最终反馈与修正数据。

2.1 “文化-营造” 双层级类型网络构建

传统村落设计内容庞杂，需要采取条理化方法解析各类型数据信息，分析其中属性与内在关联，并通过建立系统性类型网络框架，才能实现快速采集储存与获取信息，进而实现数字化保护的应用。

以“文化-营造”的双重视角进行类型层级的构建，能够有效避免单一类型分层的不足。文化是传统村落不同于一般村落的重要因素，从表达层次上有物态、行为和心态 3 种^[9]，但仅以文化要素进行分类，难以直接指导村落保护与营建实践。营造视角则立足于具体建设实践，依据各类营建要素，在对乡村空间结构进行划分时，对照 Argan 提出的建筑类型学分类方法^[10]，可将传统村落划分为聚落级、建筑级和构造级 3 个类型层级，然而仅针对营建要素进行分层，往往忽视了传统村落中的文化因素。

由此可见，传统村落的文化和营造具有“一体两面”性，文化传承以实体营造为物质载体，实体营造则以传统文化为内容依托，文化在村落营建过程中不断延续。从本质上而言两者相互渗透，文化传承与营造变迁共同推动着传统村落的演进过程。因此，以文化为轴线纵向深入，以营造为线索横向展开，通过构建双重视角的类型网络，可有效提高数字技术在村落保护与设计实践中的应用水平。

2.2 双重本体语义模型框架与数据库搭建

本体是一种公认语汇，用于指导实现特定思想的行动过程。本体既展示了包含语义结构的大量信息，也描述了以信息共享和管理为目标的数据联系^[11]，可以被理解为对象与对象关联的集合。为了方便传统村落信息采集、分析、统一管理 with 快速使用，可根据传统村落“文化-营造”双重类型体系，生成传统村落本体语义模型，以此为基础进行传统村落数据库的设计。

传统村落的保护不只是实体研究，更包含对文化和社会深层次的探索。当前研究领域与研究方向的多元使得单一语义的模型与现实需求不符，建立实体营造与非实体文化双重语义本体模型的必要性凸显。CIDOC CRM 模型是文化遗产领域中相对成熟的模型架构，旨在为文化遗产信息集成提供通用且可扩展的语义框架，以促进信息共享与理解^[12]。将此模型拓展并运用到传统村落“文化-营造”双重知识本体语义模型的构建，框架见图 4。除了各类事物本身的基本信息外，从文化知识本体角度加入物态、行为和心态由表层到深层的模型信息，从营造知识本体角度加入聚落、建筑和构造由宏观到微观的模型信息，各层级要素共同定义出信息转译框架，从而形成基于传统村落保护的语义模型。

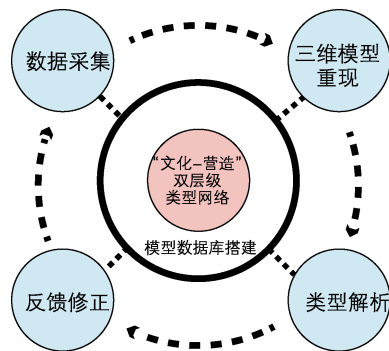


图 3 类型学视角下传统村落数字化保护路径设计模式
Fig.3 Design mode of constructing the digital and typological protection path of traditional village

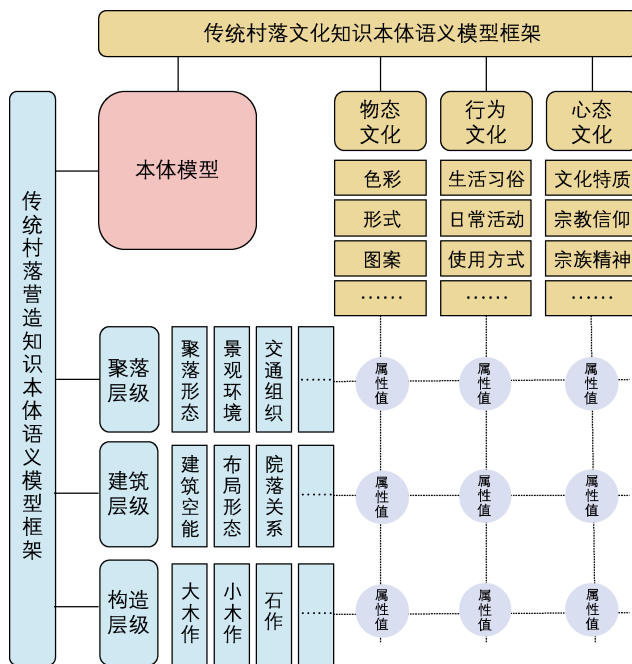


图 4 “文化-营造” 双重知识本体语义框架
Fig.4 Semantic framework of “Culture-construction” dual knowledge ontology

传统村落保护数据库是实现数据资源调配的重要平台。根据“文化-营造”双重知识体系的重构，结合用户需求，构建传统村落保护信息库，建立起“本体-信息-属性”三级数据库结构^[9]，搭建出的总体框架见图 5。该框架提供双重检索机制，在前端可以根据目的异同选择不同入口，进而获取属性与属性值。同时对不同知识密度的层级进行划分，针对不同需求开放不同层级，以实现数据资源的有效配置。

2.3 传统村落数据信息采集与模型重现

传统村落数据信息采集与基础模型建立是数据库构建的基础，也是实现传统村落保护的第一步，可为乡村实践提供基础信息。在信息采集的过程中，根据信息载体的形式可分为物质载体信息和非物质载体信息两类。

载体决定着信息采集的方式。物质载体信息采集主要通过无人机倾斜摄影和三维激光扫描技术进行，

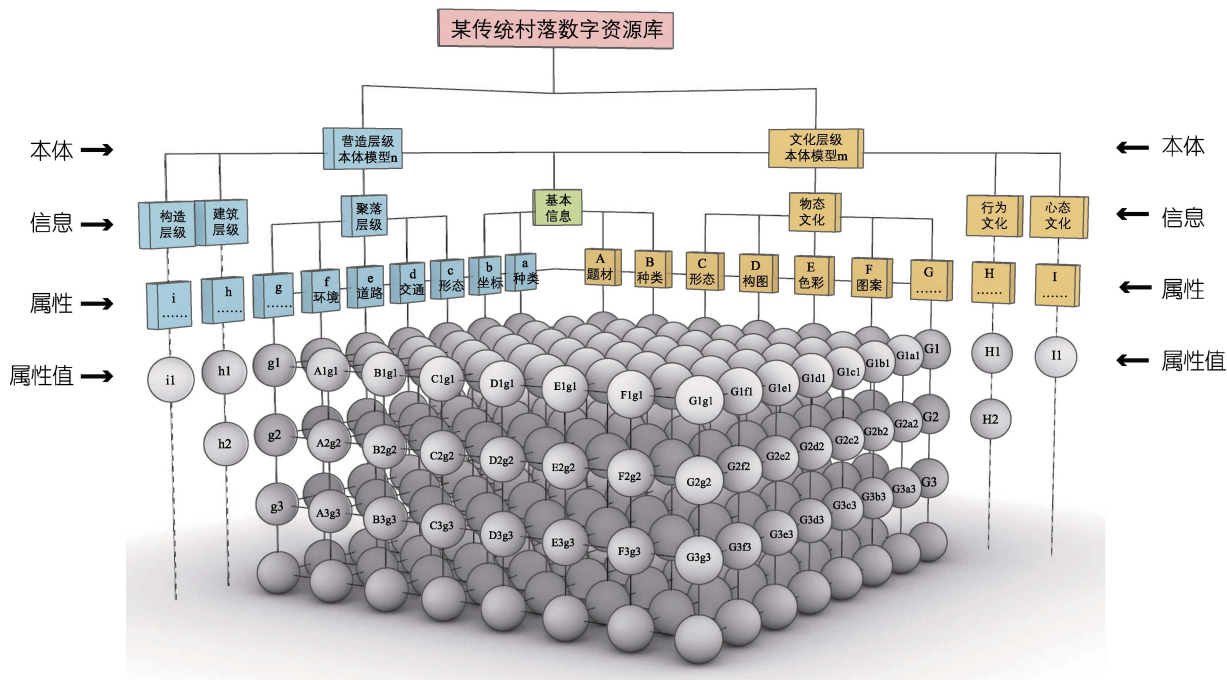


图 5 某传统村落数据库
Fig.5 Schematic diagram of a traditional village database

对中小尺度建筑、院落、景观等信息完成点云数据采集^[13]，而大尺度的村落等信息采集则需要结合地理信息系统（GIS）、遥感系统（RS）和全球定位系统（GPS）等技术协助。在物质信息采集过程中通常按照营建顺序进行，以便于数据整理与模型建立。而针对例如历史、文化、社会关系、宗族宗教活动、情感记忆等非物质载体信息，则需要结合史料文献、音视频、民族志和口述史等进行知识图谱的构建，并建立与物质载体的联系。

三维模型重现是数据采集结果呈现与入库的要点之一，通过 ICP 算法进行点云拼接，并执行人工检查和微调^[14]，结合使用 Autodesk Revit、Microstation 等 BIM 技术平台构建 HBIM 平台，从而实现三维模型的建构；同时结合非物质信息进行综合处理，最终完成数据库录入。在三维模型实体建构上，应借鉴“结构-类型”树^[6]进行重现，既与营建逻辑一致以指导乡村建设，又符合类型研究的需求。

2.4 基于属性值的双重类型分析

类型分析是该保护路径建构中最重要的一步，也是将类型学研究结果落实到设计实践中的核心环节。根据数据库中的属性值，通过聚类分析方法展开特征数据提取分析，并结合人工报告分析修正，进而得出相应的类型数据^[15]；此外，在针对未知类型发掘和村落演变新趋势的研究上，可采用深度学习技术并辅助人工核验的方法，解决大数据处理与识别相对困难的问题。

在类型解释问题上，同样需要从文化和营造的双重视角进行。通过解读文化传承与营造技艺变迁长期

作用的相互关系，及其与发展的必然联系，可进一步研究村落形态的变化与村落社会关系的核心迁移。值得注意的是，尽管在长期学习后，机器可以解释简单的客观信息，但在非实体信息的解读上仍需要人工介入。类型分析与解释的结果，尤其是针对新类型的研究，在经过传统村落基础数据印证之后，反过来也可以实现对数据库属性类型的补充与修正。

3 传统村落数字化保护的路径建构

3.1 数字化保护工作流程

在传统村落数字化保护路径设计完成后，通过田野调查开展标准规范的数字化采集，以获取传统村落保护各种本体的相关内容，据此进行三维模型重现与知识图谱的构建，并以文献、图像、音视频、点云数据、三维模型等方式录入传统村落数字资源库中，经过数据整合与整理，实现初步资源数据库建设；进一步以基础数据库为依据，展开人工介入与机器学习相互配合的类型识别，分析总结并探索传统村落中文化与营造双重语义模型视角下的属性类型，进而指导传统村落保护与当代营建工作。详细的传统村落数字化保护路径建构工作流程见图 6。通过前端检索的设计，以及不同知识密度层级的设计，最终实现成果的按需获取。

3.2 数字化保护应用方向

建筑类型学通常是针对现实问题进行分析和思考的结果，不只关注于对传统与既有内容的解释，更关注于设计的方法，旨在通过建筑（或其他空间）介

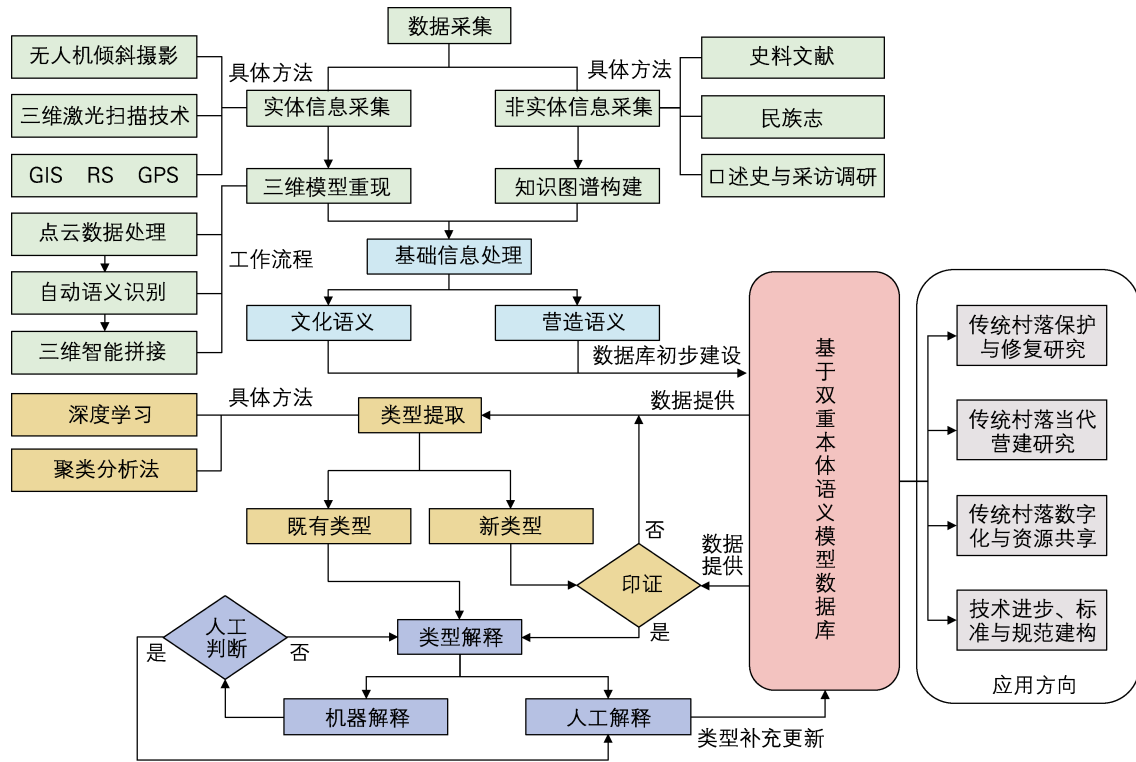


图 6 传统村落数字化保护路径工作流程

Fig.6 Workflow of traditional village digital protection path

入城市（聚落）的发展指导设计实践^[16]，因而对传统村落保护的实践应用，也成为从类型学视角构建数字化保护路径的重要环节。通过构建基于“文化-营造”双层级语义模型的传统村落数据库，可有效解决将文化资源应用于传统村落营建中的实践问题。具体的应用方向包括以下三个层面。

首先是基于“文化-营造”双重视角下传统村落的保护与修复研究。通过双重层级类型共同建立 HBIM 三维模型，根据属性特征进行量化分析与分层分类研究，图 7 示范了基于 HBIM 模型的不同层面分析^[17]，以实现地域性住宅不同类型要素的有效解读，进而有针对性地提出保护与修复的阶段性方案。此外，通过建立数据平台，可拓展长期监测平台建设，为全面保护重点遗产的机制生成提供保障。

其次是数据驱动下的传统村落当代营建活动。根据数字化途径解析村落空间的类型，强调信息技术对“历史内涵”和“抽象特性”的研究，不仅能够实现在新乡村营建过程中的有效创新，既保证了空间场所的现代适应性，又充分保留了传统文化，而且易于接受和效仿。通过数据库类型检索，一方面可以高效调用并提取传统营造技艺；另一方面可以根据语汇关系迅速生成大量的组合方式，指导新的建筑营建过程，不同参数构成下建筑本体模型的多种组合方式，见图 8^[18]。同时在营建过程中，对于村落发展以及建筑形制等还可获得较好的模拟预测，一定程度上可以推演出建成后的空间、环境和交往关系等的变化，从而

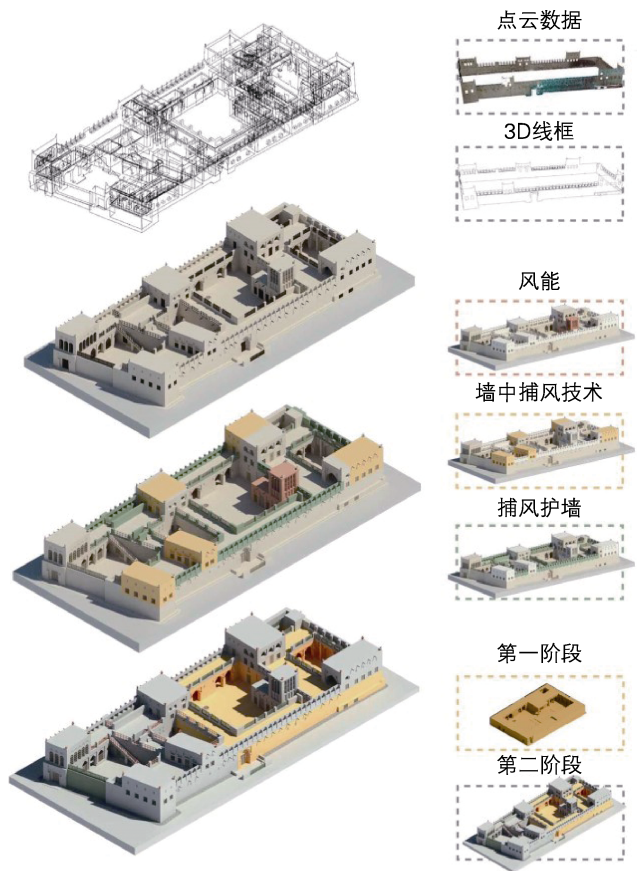


图 7 基于 HBIM 对 Shaykh Isa bin Ali Al-Khalif 住宅不同层面的分析

Fig.7 Different HBIM-based analysis realised for the house of Shaykh Isa bin Ali Al-Khalifa

有效避免对乡村环境破坏。此外，在未来的营建过程中，基于扩展现实（XR）的智能建造技术将提供新的营造模式^[19]，而数字模型与数据库的构建，能够为此提供有效的基础。

再次是传统村落的数字化建设与知识融合发展。通过不同层级的知识密度设计，及对不同群体进行权限设置，有助于实现传统文化传承与信息共享。一方面借助音视频、游戏和 XR 技术构建数字博物馆，实现对传统村落、传统建筑以及传统技艺、文化活动的可视化展现，同时增强体验与讲解、教学功能，让一般用户通过博物馆、二维码、网页等方式进行体验，可促使实现传统文化的传播，以及传统村落文化的有

效传承；另一方面针对专业团队，利用深度信息共享，可带动相关研究的进一步发展，并吸取其他研究成果对数据库与类型研究进行补充，图 9 展示了专业用户如何通过耳机、手机、平板电脑、计算机等不同终端，参与历史建筑的信息共享与信息补充^[20]。

基于类型学的传统村落数字化保护体系的构建中，亟需打破各平台信息互通的壁垒。通过传统村落数字化保护的路径建构，有助于从应用层面推动各类技术的发展，实现技术与信息的互联互通，以及专业标准和规范的建立，从而打破资源共享之间的技术屏障，促进传统村落数字化保护技术的全面发展。

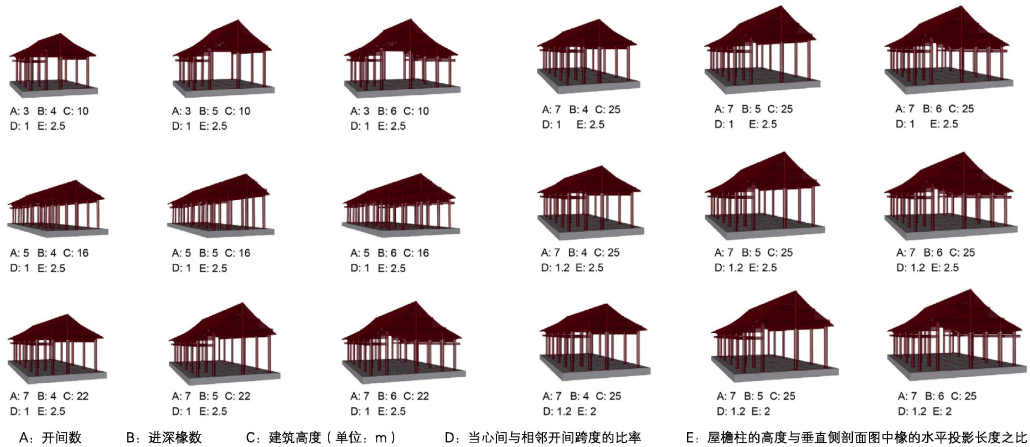


图 8 基于 5 类参数值变化衍生的 18 种建筑单体式样

Fig.8 Eighteen variations of the individual building with different values of the five parameters



图 9 米兰理工大学历史图书馆的 HBIM 模型在不同终端参与历史信息记录与信息共享
Fig.9 The HBIM model on Historical Library of Politecnico di Milano participates in historical information recording and information sharing from different devices

4 结语

当前传统村落保护过程中问题频发,其中保护水平不佳、保护技术落后等问题值得深思。类型学理论与方法一直是传统村落保护研究的重要根基,近年来数字技术的进步则为保护技术的发展提供了新的机遇。研究发现,类型学与数字化之间具有强关联性,因此,本研究试图从类型学视角下探索传统村落的数字化保护路径,提出基于“文化-营造”双重类型层级来构建传统村落数据库的方法,以数字化技术为依托开展类型提取与研究工作,以推动传统村落保护、乡土营造和文化遗产等实践工作。类型学是传统村落保护的经典方法,也是传统村落数字化保护路径的核心思想和设计依据;数字技术的应用为传统村落的类型研究与内涵传承提供了更为高效便捷的途径。从类型化到数字化,是应对新时期传统村落保护问题和需求的必然选择。为了确保类型学视角下数字化保护路径的有效实施,未来仍需要众多学科与学者的共同努力:一是构建可行的标准与规范,其中包括传统村落数字化登记标准、数据使用标准、监测与预警标准等;二是突破技术之间的屏障,尤其是打破各平台之间数据联通的壁垒,降低数据转换带来的技术和时间成本;三是大力发展现有技术。目前在机器学习、机器视觉、实时监测等数字化技术上还存在诸多难点尚未解决,仍有待进一步研究,且随着现有技术的发展也将对该保护路径不断补充和修正。

参考文献:

- [1] 方莉. 传统村落急剧消失意味着什么? [N]. 光明日报, 2014-01-09(005).
FANG Li. What Does the Rapid Disappearance of Traditional Villages Mean? [N]. Guangming Daily, 2014-01-09(005).
- [2] 武嘉怡, 柯培雄. 象征主义设计手法在地域文化保护中的启示与应用[J]. 包装工程, 2019, 40(22): 280-282.
WU Jia-yi, KE Pei-xiong. Inspiration and Application of the Design Method of Symbolism in Regional Culture Protection[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(22): 280-282.
- [3] 闵晓蕾, 季铁, 郭寅曼. 社会转型过程中的文化视域与设计生态[J]. 包装工程, 2019, 40(20): 22-31.
MIN Xiao-lei, JI Tie, GUO Yin-man. Cultural Perspective and Design Ecology in the Process of Social Transformation[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(20): 22-31.
- [4] 汪丽君. 广义建筑类型学研究[D]. 天津: 天津大学, 2003.
WANG Li-jun. A Study on the Generalized Architectural Typology[D]. Tianjin: Tianjin University, 2003.
- [5] 维特鲁威. 建筑十书[M]. 北京: 北京大学出版社, 2012.
VITRUVIUS. Ten Books on Architecture[M]. Beijing: Peking University Press, 2012.
- [6] 阿尔多·罗西. 城市建筑学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
ALDO R. Urban Architecture[M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2006.
- [7] 朱镛. 类型学与阿尔多·罗西[J]. 建筑学报, 1992(5): 32-38.
ZHU Pei. Typology and Aldo Rossi[J]. Architectural Journal, 1992 (5): 32-38.
- [8] LI D Y, LI K, WU C. The Application of Typology Method in Historical Building Information Modelling (HBIM) : Taking the Information Surveying and Mapping of Jiayuguan Fortress Town as an Example[C]. Gottingen: 26th International Symposium of ICOMOS/ISPRS-International-Scientific-Committee-on-Heritage-Documentation (CIPA) on Digital Workflows for Heritage Conservation, Copernicus Gesellschaft MBH, 2017.
- [9] 李辉, 何人可, 肖狄虎. 面向设计的地域文化数字资源库研究[J]. 包装工程, 2016, 37(18): 86-91.
LI Hui, HE Ren-ke, XIAO Di-hu. Regional Culture Digital Resource Database Design-oriented[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(18): 86-91.
- [10] 魏春雨. 建筑类型学研究[J]. 华中建筑, 1990(2): 81-96.
WEI Chun-yu. Research on Architectural Typology[J]. Huazhong Architecture, 1990(2): 81-96.
- [11] SEVILLA J, CASANOVA-SALAS P, CASAS-YRUR-ZUM S, et al. Multi-Purpose Ontology-Based Visualization of Spatio-Temporal Data: A Case Study on Silk Heritage[J]. APPLIED SCIENCES-BASEL, 2021, 11(4): 1316.
- [12] 陈艳, 周馨. 基于 CIDOC CRM 的文化遗产资源的元数据集成——以 DC 元数据的映射为例[J]. 现代情报, 2010, 30(5): 60-63.
CHEN Yan, ZHOU Xin. Metadata Integration of Cultural Heritage Resources Based on CIDOC CRM: Take the Mapping of DC Metadata as an Example[J]. Journal of Modern Information, 2010, 30(5): 60-63.
- [13] 何原荣, 陈平, 苏铮, 等. 基于三维激光扫描与无人机倾斜摄影技术的古建筑重建[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(6): 1343-1352.
HE Yuan-rong, CHEN Ping, SU Zheng, et al. Ancient Buildings Reconstruction Based on 3D Laser Scanning and UAV Tilt Photography[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2019, 34(6): 1343-1352.
- [14] 王玮琦, 游雄, 杨剑, 等. 一种改进匹配点对选取策略的 ElasticFusion 室内三维重建算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(9): 1469-1477.
WANG Wei-qi, YOU Xiong, YANG Jian, et al. Elastic Fusion for Indoor 3D Reconstruction with an Improved Matching Points Selection Strategy[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(9): 1469-1477.
- [15] 王金. 基于三维扫描技术的计算机辅助陶器类型学研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2018.
WANG Jin. A Study of Computer Assisted Pottery Ty-

- pology Based on 3D Scanning Technology[D]. Beijing: University Of Science & Technology Beijing, 2018.
- [16] 王飒. 传统建筑空间图式研究的理论意义简析[J]. 建筑学报, 2011(S2): 99-102.
WANG Sa. A Brief Analysis of the Theoretical Implication of the Studies on Space Schema of Chinese Traditional Architecture[J]. Architectural Journal, 2011(S2): 99-102.
- [17] BANFI F, BRUMANA R, ALJISHI A, et al. Generative Modeling, Virtual Reality and HBIM Interaction: Immersive Environment for Built Heritage: Case Study of Shaikh Isa Bin Ali House, Bahrain[C]. Göttingen: 2nd International Conference of Geomatics and Restoration (GEORES), Copernicus Gesellschaft MBH, 2019.
- [18] WANG Y, AGKATHIDIS A, CROMPTON A et al. Parametrising Historical Chinese Courtyard-Dwellings: An Algorithmic Design Framework for the Digital Representation of Siheyuan Iterations Based on Traditional Design Principles[J]. Frontiers of Architectural Research, 2020, 9(4): 751-773.
- [19] ALIZADEHSALEHIA S, HADAVI A, HUANG J C. From BIM to Extended Reality in AEC Industry[J]. Automation in Construction, 2020(116): 103254.
- [20] BANFI F, BRUMANA R, STANGA C. Extended Reality and Informative Models for the Architectural Heritage: From Scan-To-Bim Process to Virtual and Augmented Reality[J]. Virtual Archaeology Review, 2019, 10(21): 14-30.
-
- (上接第 55 页)
- [11] 吴育华, 侯妙乐, 石力文. 文物古迹监测中空间信息技术应用的要点分析及实践探索[J]. 地理信息世界, 2018, 25(5): 18-22.
WU Yu-hua, HOU Miao-le, SHI Li-wen. Key Points Analysis and Practical Exploration of Spatial Information Technology Application in Cultural Relics and Monuments Monitoring[J]. Geomatics World, 2018, 25(5): 18-22.
- [12] 岳琪峰, 黄睿, 冯伟, 等. 基于图像分析的室外文物病害演变监测方法与应用实例[J]. 敦煌研究, 2017(4): 130-136.
YUE Qi-feng, HUANG Rui, FENG Wei, et al. Outdoor Heritage Deterioration Monitorina: Method and Practice[J]. Dunhuang Research, 2017(4): 130-136.
- [13] GUAN Y X, FANG Z, WANG T R. Fire Risk Assessment and Daily Maintenance Management of Cultural Relic Buildings Based on ZigBee Technology[J]. Procedia Engineering, 2018, 211: 192-198.
- [14] 向南, 杨恒山, 李晓武. 历史建筑保护中物联网监测方案的探讨[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2016, 29(3): 71-75.
XIANG Nan, YANG Heng-shan, LI Xiao-wu. Discussing Internet Monitoring Plan for Historical Building Protection[J]. Journal of Hunan Institute of Science and Technology (Natural Sciences), 2016, 29(3): 71-75.
- [15] 李晓武, 蔡颖洁. 崇圣寺三塔物联网监测及数字化实践[N]. 中国文物报, 2017-02-17(10).
LI Xiao-wu, CAI Ying-jie. Monitoring and Digital Practice of Internet of Things in the Three Pagodas of Chongsheng Temple[N]. China Cultural Relics News, 2017-02-17(10).
- [16] 安程, 吕宁. 基于常态条件的石窟寺监测数据预警应用初探[J]. 文博, 2021(1): 97-103.
AN Cheng, KYU Ning. A Preliminary Investigation on the Preventive and Data Monitoring System of Grotto Temples under Normal Conditions[J]. Relics and Museology, 2021(1): 97-103.
- [17] 王旭东. 基于风险管理理论的莫高窟监测预警体系构建与预防性保护探索[J]. 敦煌研究, 2015(1): 104-110.
WANG Xu-dong. Construction of a Monitoring and Precaution System and Exploration of Preventive Conservation at the Mogao Grottoes Based on Risk Management Theory[J]. Dunhuang Research, 2015(1): 104-110.
- [18] 李晓武, 杨恒山, 向南. 不可移动文物风险管理体系构建探讨[J]. 自然与文化遗产研究, 2019, 4(7): 74-85.
LI Xiao-wu, YANG Heng-shan, XIANG Nan. Discussion on the Construction of Risk Management System of Immovable Cultural Relics[J]. Study on Natural and Cultural Heritage, 2019, 4(7): 74-85.