

传统砖木建筑虚拟交互展陈与教辅系统建构： 从测绘实践到构件认知的数字化传承

叶柯宏¹，郑舒心¹，骆奕延¹，吴炳南¹，王凯一²，朱炜¹

1. 浙大城市学院国土空间规划学院，浙江 杭州 310015

2. 浙大城市学院计算机与计算科学学院，浙江 杭州 310015

DOI:10.61369/JAID.2025020004

摘要：针对传统砖木建筑保护传承中展陈互动性不足、教育认知碎片化等问题，本研究依托浙江三门源叶氏民居的测绘实践，基于 SketchUp 建模技术与 Unity 引擎开发虚拟交互系统，通过构建系统化的木构建筑构件分类体系，实现文化传播与专业教育的深度融合。本文从“项目数据采集——分类建模——构件分类逻辑——技术路径——交互应用理论价值”展开论述，为传统砖木建筑数字化传承提供可复制的实践范式。

关键词：古建筑测绘；产学协同；教学资源；文化传承

Virtual Interactive Exhibition and Teaching Auxiliary System Construction of Traditional Brick and Wood Architecture: Digital Inheritance from Surveying and Mapping Practice to Component Cognition

Ye Kehong¹, Zheng Shuxin¹, Luo Yiyang¹, Wu Bingnan¹, Wang Kaiyi², Zhu Wei¹

1. School of Spatial Planning and Design, Hangzhou City University, Hangzhou, Zhejiang 310015

2. School of Computer and Computing Science, Hangzhou City University, Hangzhou, Zhejiang 310015

Abstract： In response to the problems of insufficient interactive display and fragmented educational cognition in the protection and inheritance of traditional brick and wood buildings, this study relies on the surveying practice of Ye's residential houses in Sanmenyuan, Zhejiang, and develops a virtual interactive system based on SketchUp modeling technology and Unity engine. By constructing a systematic classification system for wooden building components, it achieves a deep integration of cultural dissemination and professional education. This article discusses from the perspective of "project data collection – classification modeling – component classification logic – technical path – theoretical value of interactive application", providing a replicable practical paradigm for the digital inheritance of traditional brick and wood architecture.

Keywords： surveying and mapping of ancient architecture; collaboration between industry and academia; teaching resources; cultural inheritance

一、背景

传统砖木建筑是中国五千年历史建筑文化的重要载体之一。采用木材作为材料，以模数作为设计标准、以榫卯作为主要结合手段，采用传统工具加工安装的技艺是中国传统砖木结构建筑的重要特征。2009年，中国传统木结构营造技艺入选“人类非物质文化遗产代表作名录”。^[1]作为江南文化的主要传播地区，浙江省在城乡各地保留了唐宋以来的官式、民间各类型古建筑。浙江省125处全国重点文物古建筑中，砖木结构建筑（非经幢、塔、牌坊等）占比达53.4%。^[2]

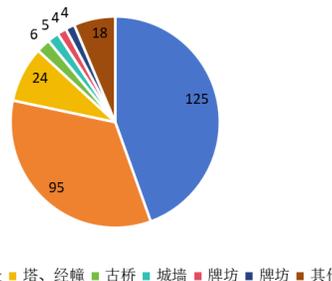


图1 浙江省全国重点文物保护单位分类统计

2023年时任浙江省文物局局长杨剑武提出对木构廊桥，需要“加强营造技艺传承人培训，形成木拱廊桥传统营造技艺传承人的梯队。大力推进廊桥营造及相关习俗的活态传承”。^[3]但是因为传

项目信息：本研究基于国家级大学生创新创业训练计划项目：基于传统砖木建筑虚拟交互展陈与教辅系统（202413021027）。

作者简介：叶柯宏（2002.12—），女，汉族，浙江台州人，浙大城市学院国土空间规划学院建筑学本科生，研究方向：传统砖木建筑。

统建筑特别是文物建筑的属性，很少进行“落架大修”，大众几乎没有机会接触到文物建筑的核心技艺和文化元素。

现有各博物馆、艺术馆对江南传统砖木建筑的展示多使用图片文字介绍、小尺度模型或者简单互动的传统展陈方式。博物馆展示模型（如庆元廊桥博物馆）多停留在外观静态复刻，忽视斗拱组合（如五铺作斗拱的承重逻辑）、榫卯咬合（如燕尾榫连接梁柱）等核心技艺，有碍建筑与文化内涵的整体性表达，导致公众对“粉墙黛瓦”的视觉认知与建筑技术内涵严重割裂，不能完整传播传统砖木建筑的建筑技艺及其蕴含的历史文化艺术价值。因此需要利用现代数字化手段，让传统瑰宝火起来、让传统技艺活起来。

二、技术的思考

高等学校的建筑学专业实践教学中有历史建筑（古建筑）测绘，每年都有大量的在校学生“中国建筑史”课程的理论学习后参与到历史建筑（古建筑）的调研、测量和图纸绘制，为传统建筑文化的保护留下了大量的资料。用虚拟现实数字化技术将这些资料运用起来，活化、推广传统文化的同时也可以帮助建筑学专业学生更好地学习传统建筑中的知识。

（一）建筑教学的认知局限

“中国建筑史”是建筑学专业的核心专业课程。传统教学中，“中国建筑史”课程受限于课堂模型的局部性与测绘实习的片段化，学生难以建立构件关联认知。学生仅能接触大、小木作的基础构件，而有效学习需在“情境化实践”中完成知识建构。虚拟交互系统可突破物理空间限制，可通过三维拼装、实时反馈（如错误拼接提示），弥补传统教学的碎片化缺陷，帮助学生实现“书本理论—测绘实践—真实建筑”的三维映射以提高学习的效果，培养专业素养，理解技艺内涵，提升文化自信。

（二）技术赋能的传承机遇

虚拟仿真技术不仅是展陈工具，更是重构认知逻辑的媒介。虚拟现实技术（VR）与 WebGL 跨平台开发为解决上述问题提供可能。通过数字化建模与交互设计，系统可还原建筑营造过程，自动验证榫卯咬合规则。兼顾公众科普（如漫游体验）与专业教育（如构件拼装），形成“展陈+教辅”双功能体系，推动文化遗产从“静态保护”向“活态传承”转型。利用虚拟仿真技术可以开发教学辅助系统可以帮助学生更直观地学习传统木构建筑中的重要知识点，更好地理解传统技术中蕴含的文化思想。同时，基于网络的交互式技术也可以作为公众科普展示的平台，宣传文物的同时促进公众特别是在校学生更全面地了解文物，更深入地接触文物的文化内涵。

三、测绘实践：从物理空间到数字孪生的转化路径

（一）项目基础：叶氏民居三维测绘的数据采集

研究选取衢州龙游三门源叶氏民居（第七批国家重点文物保护单位）为对象，结合“传统建筑测绘”课程，采用三维激光

扫描获取点云数据，经 MeshLab 去噪、Blender 网格优化后，对隐蔽构件（如斗拱层叠关系）进行考据补充，结合现场调研与《营造法式》条文补充细节，建立包含尺寸（如木柱 Z-2 直径 320mm）、材质（如楠木纹理贴图）、历史信息（如“月梁 L-2-2 为清中期典型做法”）的几何模型。测绘成果包含 1:50 三维视图、构件细部纹样图。



图 2 叶氏民居测绘现场照片

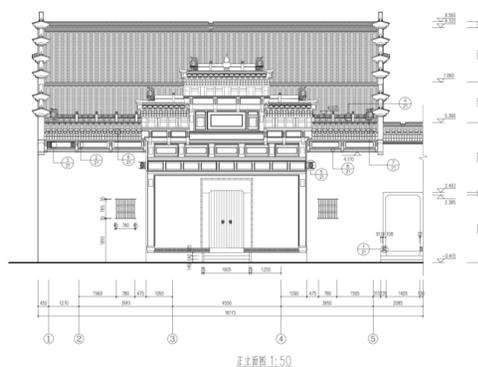


图 3 叶氏民居测绘图纸

（二）SU 建模的分层解构策略

几何建模：以“参数化组件”为单元，将建筑拆解为基础（台明、柱础）、屋身（柱、梁、枋）、屋顶（椽子、瓦作）三大模块，遵循“从构件到整体”的拼装逻辑。例如，柱础（Z-1）附石材纹样，木柱（Z-2）标注“收分”“侧脚”等营造特征。

语义标注：在 SU 组件属性中嵌入构件名称（如“五铺作斗拱 D-1”）、功能（承重 / 装饰）、历史背景（如“月梁 L-2-2 源自宋代《法式》规制”），形成可交互的数字档案。



图 5 构件分类大纲

轻量化处理：通过 SU 插件优化面数，结合 LOD 技术生成三级精度模型（高模用于本地 VR、低模用于网页端），确保

WebGL 环境下加载速度 < 3 秒，兼容 Oculus Rift 等设备的实时交互需求。

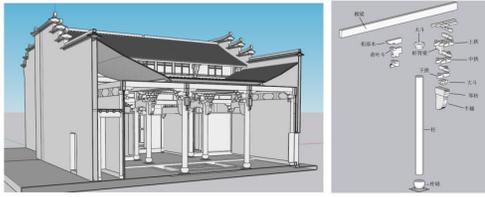


图 4 叶氏民居整体素质模型及构件拆解

四、项目研究系统架构：逻辑框架与数字化映射

本项目结合建筑学专业历史建筑测绘实践的成果，基于 Unity 引擎及 WebGL 技术，开发能够对传统砖木建筑（国家级文保单位）进行在线多用户使用的虚拟展示及互动组建功能的展陈与教学辅助系统。系统集大众宣传与专业教育为一体，既可以多方位展现文物建筑的全貌，又可以介绍传统建筑的构件知识与建设逻辑和方法。

（一）模型管理：分类依据的理论溯源

建筑模型后台管理功能提供上传和修改传统建筑模型，标识模型名称、属性，定义拼接逻辑等数据管理功能。同时，系统支持多人在线协作，开展学团队协作定义。借鉴《营造法式》“大木作—小木作”二分法，结合现代建筑结构理论，建立“功能—形态—构造”三维分类框架：

功能维度：分为承重构件（柱、梁、斗拱）、维护构件（墙、门窗）、装饰构件（砖雕、牛腿），明确各构件在力学体系中的角色（如斗拱“承重+减震”双重功能）。

形态维度：按建筑层级划分为基础构件（阶条石 J-3、天井 J-4）、垂直构件（木柱 Z-2、马头墙 Q-3）、水平构件（桁条 L-1-2、椽子 W-4），构建空间组织逻辑。

构造维度：以榫卯类型为核心，如梁柱间“燕尾榫”、斗拱“华拱—泥道拱”组合，标注拼接规则，为交互系统的逻辑判断提供依据。

（二）模型展示与拼接：数字化分类的应用创新

本项目使用最新的 unity 跨平台技术开发，使用 C# 脚本语言，开发拥有查看建筑部件、提供说明、拼装组件、逻辑判断以

及行为分析对功能的科普互动系统以及专业教学的辅助工具。系统使用跨平台的编译方式实现基于 WebGL 的在线网页交互。可在本地或者在线使用 Oculus Rift、HTC Vive 等头戴式设备或 PC 键盘进行互动操作。同时，拥有对接 SkectUp、3ds Max 等通用建模格式的数据库接口，可以不断丰富系统内容。

（三）网络与数据管理

系统采用了基于云的服务器架构，通过互联网将虚拟现实应用部署到云端。用户可以通过 WebGL 技术，在浏览器中直接访问虚拟现实应用，无需下载安装任何软件。系统可提供数据管理系统，用于存储和管理用户数据、操作记录等。

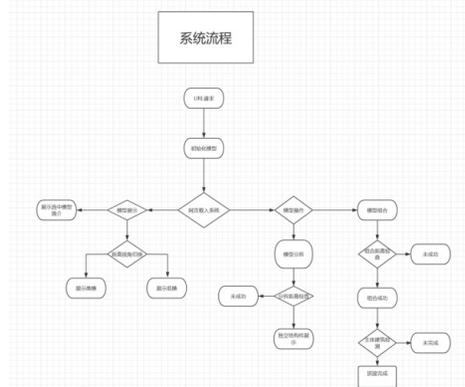


图 6 系统功能逻辑

五、结束语

传统砖木建筑的数字化传承，本质是文化基因的转译与再生。本研究通过测绘建模、构件分类与交互系统开发，构建了从物理空间到数字空间的认知桥梁。虚拟交互系统不仅解决了“如何看”的展陈问题，更回答了“如何理解”的认知难题——通过可操作的数字构件，公众与学生得以在交互中“触摸”营造智慧，实现文化遗产从“物的保存”到“人的传承”。未来可进一步融合 AI 辅助设计（如自动生成构件拼接方案）、AR 实地导览（如现场扫描触发虚拟构件解析），推动传统建筑技艺在数字时代的活态延续。

参考文献

- [1] 赵玉春, 张欣. 中国传统木结构营造技艺列入联合国教科文组织非物质文化遗产名录 10 周年访谈 [J]. 中国艺术时空, 2019, (06): 12-16.
- [2] 浙江省文物局. 浙江省全国重点文物保护单位名单 [EB/OL]. http://www.zj.gov.cn/art/2020/6/12/art_1639081_43375775.html, 2025.6.29.
- [3] 国家文物局. 廊桥保护 三年可期 [EB/OL]. http://www.ncha.gov.cn/art/2023/11/2/art_722_185006.html, 2024.3.9.