

文化遗产性村落的数字化模型表达方法研究

刘琦

(广州大学, 广州 510000)

摘要: 在文化遗产数字化保护的浪潮下, 传统村落的保护与发展开始采用一些先进的媒介与技术, 可以快速采集、整理和展示历史建筑的数据。文化遗产性村落作为城市文化的载体, 具有深厚的历史和人文价值。本文基于对比香港大澳村和广州蚌湖圩两个传统水乡村落的建筑保存完整度, 构建了“记录型”复现和“再现型”复现两条数字化技术路径。通过保存完整和缺失严重的历史聚落对比, 验证了不同对象需要匹配不同数字化复现策略的适用性和有效性, 为传统村落数字化保护提供了可操作的技术路径选择依据和方法论支持。

关键字: 传统村落; 数字化; 三维重建

Research on Digital Modeling and Representation Methods of Cultural Heritage Villages

LIU Qi

(LIU Qi Guangzhou University ,Guangzhou,China)

Abstract: In the wave of digital preservation of cultural heritage, the protection and development of traditional villages have begun to adopt advanced media and technologies to quickly collect, organize, and display data on historical buildings. Cultural heritage villages, as carriers of urban culture, possess profound historical and artistic value. This paper, based on a comparison of the architectural preservation integrity of two traditional water villages, Tai O Village in Hong Kong and Banghuwei in Guangzhou, constructs two digital technology paths: "record-based" and "representation-based" reconstruction. Through a comparison of well-preserved and severely damaged historical settlements, the applicability and effectiveness of matching different digital reconstruction strategies to various objects are verified, providing a viable basis for selecting technical paths and methodological support for the digital preservation of traditional villages.

Key words: Traditional villages; Digitalization; 3D reconstruction

【作者简介】 刘琦, 女, 广州大学美术与设计学院研究生, 研究方向为艺术设计

引言

遗产性村落是城市文化遗产的重要组成部分，具有深厚的历史和文化价值，也是城市传统文化的重要载体。随着数字化技术不断地迭代升级，为传统村落文化的保护提供了多样性的途径。在面对文化遗产建筑自然风化、人为破坏或者结构形体复杂等问题时，传统保护手段难以全方面准确记录其结构特征。数字重建技术的应用强调构建完整的三维模型以及多维数据整合，实现传统建筑的精细塑造，最终推动其活态化传承与可持续发展，并提升传播广度和影响力。

1. 数字遗产研究现状

对于遗产数字化保护研究来说，遗产三维信息数据采集就是遗产数据库构建的基础^①。遗产数据采集一般会根据主体现存状况选择不同测量技术获取相关数据信息，小型文物的数据采集可以采用三维激光扫描，大型文物建筑的数据则需要采用光学遥感、激光测绘、机载雷达等叠加方法获取。

1.1 点云扫描与激光测绘

三维激光密集点云扫描也称点云扫描，是一种基于外差式多频相移三维光学测量技术，广泛应用于汽车工业、航天航空以及文物数字化领域。点云扫描具有扫描和测量数据密集、自动拼接和重叠面和扫描速度快等特点，能够实现复杂建筑结构在数字化空间的精准表达，这也是点云技术被广泛应用于古建筑数字保育的原因。此外，点云扫描和激光测绘采用的非接触式测量手段，满足了最小干预原则的核心保护需求。另一方面，点云扫描技术在古建筑保护角度的应用存在一定的局限性，它对纹理、光照的依赖和细节丰富区域，如建筑边缘或复杂斗拱结构的数据稀疏性，是导致信息丢失的重要因素。

点云扫描针对复杂的空间具有高效与准确性。特别是存在多处小空间、地面高差和内部错层的空间，点云扫描可以对全部角落进行扫描，能够有效减少文物建筑测绘所产生的误差。类似于空间狭窄、有诸多细部构造与设计的建筑，点云扫描可以补足传统测绘方式容易存在的误差，精确还原空间原貌。三维激光扫描技术在监测文物建筑结构变形、建筑材料形状改变等方面，具有良好的应用前景^②，可以实现文物建筑的动态化检测，使视觉化信息变得生动具体，搭建过去、现在与未来的保护桥梁。

^①陈晓皎,苗甜,唐晓腾,等.文化遗产数字化保护及可视化[J].包装工程,2022,43(20):26-37

^②麦贤敏,王晓亮,钟磊,等.三维激光扫描在文物建筑保护中的应用——以德格印经院为例[J].中国名城,2022,36(08):21-28.

1.2 三维重建与再现型视觉化

基于视觉的古建筑文化遗产三维重建一直是计算机视觉领域的研究难点和热点之一。基于视觉的三维重建主要依靠人工图形学建模方法，这个过程包括三个步骤：（1）获取二维图像，从不同视角匹配同一空间点的图像特征；（2）摄像机标定，即规定拍摄时摄影机的位置、方向以及内部参数；（3）根据上述两个变量参数的结果，获取拍摄物体的空间或物体的结构。

三维重建技术通过多张二维图形或视频序列，通过计算机视觉算法重建目标对象或空间的三维结构。这一过程不依赖于现场扫描设备，而是通过人工通过不同图像推算物体的位置与形态，最后通过 Sketch Up 或 3Ds Max 恢复三维模型，是近年来数字文化遗产的重要研究方法之一。与激光扫描等高精度测量技术不同，三维重建强调视觉特征、相机几何关系与空间推算能力，更适用于数据缺失、现场难以复原或需要对历史场景进行推演的文化景观或遗产性建筑。

2. 案例

本章以香港到村与广州蚌湖圩这两个典型的水乡传统村落作为对照个案，通过分析其在保护传统建筑实践中所采用的数字化策略差异，论证在遗产性村落中应依据遗产现状、建筑特征与文化类型的不同，选择具有针对性的数字技术路径。

2.1 大澳村

（一）村落概况

大澳是香港大屿山西海岸的一个传统渔村，作为一个小型定居点，主要是广东人和客家人住在此。大澳村以渔业文化、海盐生产、红树林沼泽和香港最大的高跷楼区而闻名，早起历史遗留下来的高跷房屋约 350 间，但自上世纪 70 年代以来，这些地区的吊脚房屋开始逐渐减少。

在香港，大澳棚屋是具有代表性的遗产性非正式住区。大澳村为典型的沿海渔村与海上棚户聚落的复合体，木桩架高的棚屋建造源于对潮汐变化与渔业生产的长期适应，居民的生活方式被视为重要文化遗产。如今的吊脚楼普遍老化衰败，并经常遭受台风、火灾以及污水等的环境影响，但由于缺乏持续维护和制度支持，其物质脆弱性和文化保护诉求之间存在不平衡。

（二）大澳村的建筑特征及遗产现状

大澳村现存的高跷房屋面临着内部和外部的威胁，除了自然发生的台风、洪水等危险，

人为地自主翻新、增加或修改建筑结构，导致这些房屋结构复杂且拥挤。这些棚屋以木桩或者金属桩将房屋构建于水面之上，通常以轻型木构、金属框架和波纹铁皮作为主要材料。棚屋的结构和高度没有统一规律，其结构高度依赖本地居民的手工经验和建造技艺，最终呈现出不规则排列和高密度堆叠形态。高跷屋房屋内各空间分区有很强的物理关联性，各个家庭之间的共享空间和物理连接是长期存在的，这也是促进居民之间和谐关系的重要因素。

从空间功能来看，棚屋兼具居住、渔具储存、加工操作和社交活动等多种用途。棚屋之间以木桥、平台等狭窄步道互相连接，构成半开放半私密的空间关系。棚屋内部复杂的巷道和高度重叠的共享空间，以及厚重的生活痕迹导致保护介入手段有很强的局限性，但值得肯定的是由于政府的严格管制，现存的高跷房屋大部分保存完整，这为揭示船民独特的生活方式和空间实践，以及采取何种数字信息技术进行保护具有重要意义。

（三）数字化复原实践

香港理工大学团队对大澳村棚屋保护项目实现高精度建模与虚拟展示，即形成了公开的数字档案，也为公众提供了全新的视角了解大澳村居民的生活方式和房屋内部结构。大澳村现存棚屋体量庞大，保存和自主修复状况参差不齐，狭窄的空间覆盖着居民日常生活和出海渔具，传统的测绘方式难以满足模型精度要求。

香港理工大学团队对大澳村 20 个家庭的高跷住房进行采样，通过 3D 扫描和数字绘图对这 20 个高跷住房条件进行实物描述。团队在研究中应用徕卡 BLK2GO 便携式扫描仪点云数据采集，BLK2GO 扫描速率为每秒 420,000 点，在室内环境中的精度为 ± 10 毫米，为高保真度地记录高跷房屋提供了内部条件。为了确保图纸完整性，团队设计了一个工作流程，首先，在获取高跷房屋住户的同意后，使用 10-15 分钟进行房间内部扫描。获得扫描模型后，研究人员使用 360Register (BLK2GO 版) 软件从 BLK2GO 大院下载点云信息并验证扫描质量。最后，通过调整点云分辨率大小使其与多数 3D 建模程序兼容，并探索是否可能使用数字绘图程序中提取出典型的正射影建筑图纸^①。徕卡 BLK2GO 点云扫描设备为高跷房屋提供足够的分辨率，研究人员不仅可以房屋模型中创建完整的平面切片，用于起草初始平面图，针对已被摧毁的房屋，同样可以根据现存的扫描模型来起草描述性的平面图。

这些房屋模型和平面图最终被香港理工大学团队的研究人员进行编码，并逐一作房屋

^①Elkin, D.K., Louw, M., Leung, C.Y., Xiaolu, N.W. and Wernli, M., 2023. Spatial agency practice in Tai O Village: colonial legacies and spatial-architectural approaches to collaborative urban futures. ARQ: Architectural Research Quarterly, 27(3), pp.237-254.

空间分配分析。这些 3D 扫描数据将在未来对大澳高跷房屋的数字保护发挥重要作用，即使在将来这些房屋都会被拆除，都可以为未来进一步的民族志和人类学提供机会^[3]。

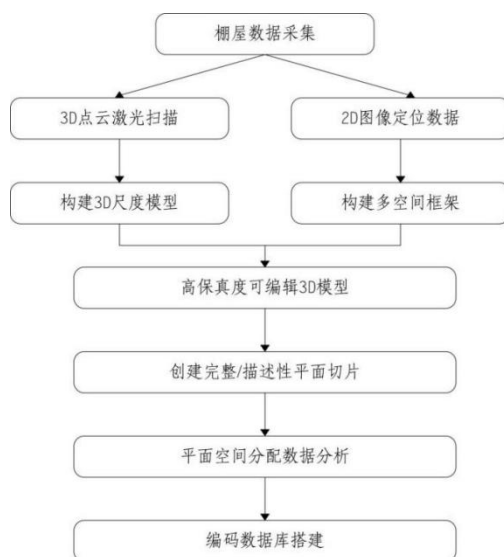


图 1 基于 3D 点云扫描提取建筑平面技术路线图（图片来源：作者自绘）



图 2 徕卡 360 储存器模型截图^[3]（原始分辨率）



图 3 徕卡 360 储存器模型截图^[3]（底分辨率）

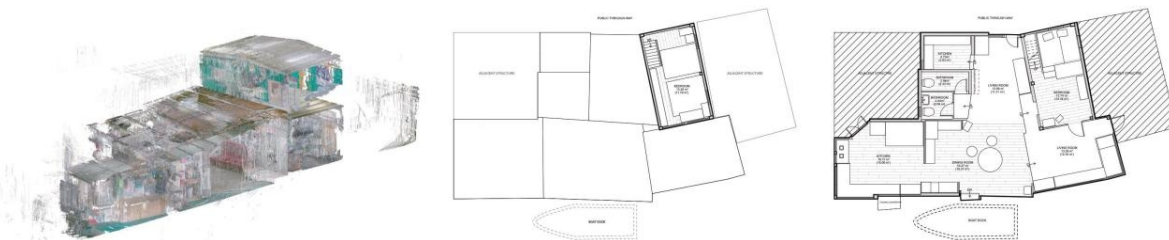


图 4 房屋案例：023157 扫描模型与平面图^①（底分辨率）

^①Elkin, D., Leung, C.Y., Xiaolu Wang, N. and Yan, W.Y., 2023. Digital cultural heritage conservation: sampling stilt houses in Tai O Village.

2.2 岭南传统村落—蚌湖圩

（一）村落概况

蚌湖圩是岭南传统的滨江圩镇，作为原生态的传统圩市，保留着完整的文化脉络及街区空间形态的传承^①。蚌湖圩位于广州市白云区镇湖村，依流溪河北岸而建。村落经历两百余年的发展与沉淀，逐渐形成了以玉虚宫、华侨大剧院以及谢瑞造故居为核心的历史建筑群落。

与广州许多传统村落相似，因本土经济低迷的发展状况，蚌湖圩的“空心化”日趋严重，仅有少量老年居民仍居住在旧村中，多数居民已经搬离村落或移至圩市东北角的新村生活。蚌湖街区日渐出现衰败痕迹，街区中许多民居的建筑功能处于不断转换的状态，特别是无规则散落在街区的中华侨建筑多数出现坍塌，只保留了建筑的基本结构。

（二）蚌湖圩的建筑特征及现状

蚌湖村落内多数建筑为传统岭南风格，少部分由侨商回国建造的公共建筑呈现中西合璧风格，所用的材质、结构以及装饰元素与民居有所差异。村落内的民居建筑统一采用红砖或传统青砖建造，屋顶为普通青瓦硬山顶，骑楼样式与普通样式结构混合并不规则分布在各个街巷之间。与民居建筑因村民持续居住、定期翻新外立面或阳台等区域甚至重建而得以维持较完整的外观不同，蚌湖圩中具有公共属性的建筑，如蚌湖大剧院、华侨广播站与徐炳华牙科等，在缺乏资金和专业维护的情况下逐渐陷入失养状态。岭南地区常年潮湿和长雨季、多台风的气候状况使这些建筑普遍受到严重破损，其中部分已经外墙坍塌，只保留下框架结构，形成高风险的废弃状态。另一部分建筑则因长期闲置而被村民堆满杂物，占据原有使用空间，完全丧失原本建筑功能，已无法正常使用。

根据实地调查，村落内结构完好、设施齐全的建筑占 40.45%；结构基本完好、设施基本齐全的建筑占 35.94%；结构较差，基础设施简陋的建筑占 23.61%。现存的传统建筑接近半数均为砖木结构，这也是大部分建筑衰落破败，无法保持完整的重要原因之一。从遗产保护的视角看，这一现象反映了公共建筑在乡村环境中的脆弱性。这类空间的破败和不完整性导致文化认同和身份认同的断裂，也削弱的整体聚落景观的连续性。通过数字文化保育的方式介入传统村落不仅可以提升村民对本土文化的感知度，更是为后续的振兴实践提供强有力的基础条件。

^①刘琦.文化多样性的蚌湖圩历史街区空间设计研究[D].广州大学 2023.

（三）数字化复原实践

在当今数字化时代，实景三维建模作为构建真实世界数字化表达的关键技术，正在广泛应用于城市规划、国土资源管理、文化遗产保护和应急救援等众多领域^①。蚌湖圩街区建筑呈现的坍塌状态无法满足点云构建和三维激光扫描的条件，因此本次研究中选择贴近摄影测量技术与人工测量结合的多源数据融合的路线，对村落街区的建筑进行“再现型”数字化实践。

通过现场勘查，多数建筑四周有院落或围栏，外部有杂物或树木遮挡，在屋檐上部存在盲区，贴近摄影测量布站具有局限性。首先，通过无人机航线规划获取航拍数据，将获取的航拍影和底图数据导入 AutoCAD 中，系统会自动识别坐标系，通过已知控制点来统一投影，可以确保所有数据基于正确的空间框架中。第二步，高分辨率底图导入 AutoCAD 后，使用栅格矢量工具自动识别建筑区域和街道分布，树木或其他遮挡因素部分手动补齐，建筑区域生成面状要素，街巷则生成线状要素。最后通过对矢量图层进行命名和分类管理，获得蚌湖村落高精度规划底图。研究根据文化内涵以及建筑价值对村落中的 7 幢建筑进行人工测量，其中 3 幢为公共建筑，4 幢为民居建筑。人工测量的内容涵盖梁、柱子、门窗以及楼梯等构件的尺寸，以及纹理的高分辨率拍摄。针对已经大部分坍塌或部分坍塌的建筑，需要结合村志中的图片进行复原。结合人工测量、历史图像和贴近摄影测量数据，利用 Rhino 和 Sketch Up 进行三维模型构建。首先，先在 Rhino 中建立建筑的基础框架，如地台、梁、柱子、窗门洞等构建；其次，通过 Sketch Up 进行细节补充，包括地面、墙面纹理、装饰线与构建等；最后，通过 Enscape 完成真实渲染，同时输出 2D 图像和 360° 全景沉浸式视图，模拟真实的空间沉浸体验。

在完成单体建筑与景观环境还原后，各类数据和模型被整合到同一文件中，生成完整的村落 360°全景沉浸式视图，直观地展示了村落历史街区设计方案的效果。通过这样的数字化复原实践，能够有效推进蚌湖圩的数字化保护工作，确保蚌湖圩文化多样性的遗产得到更好地传承与弘扬。

^①刘婧璐;刘天琦;西北干旱地区夯土建筑遗产的数字重建与文化叙事传播研究——以骆驼城遗址为例[J];城市建筑;2025,21

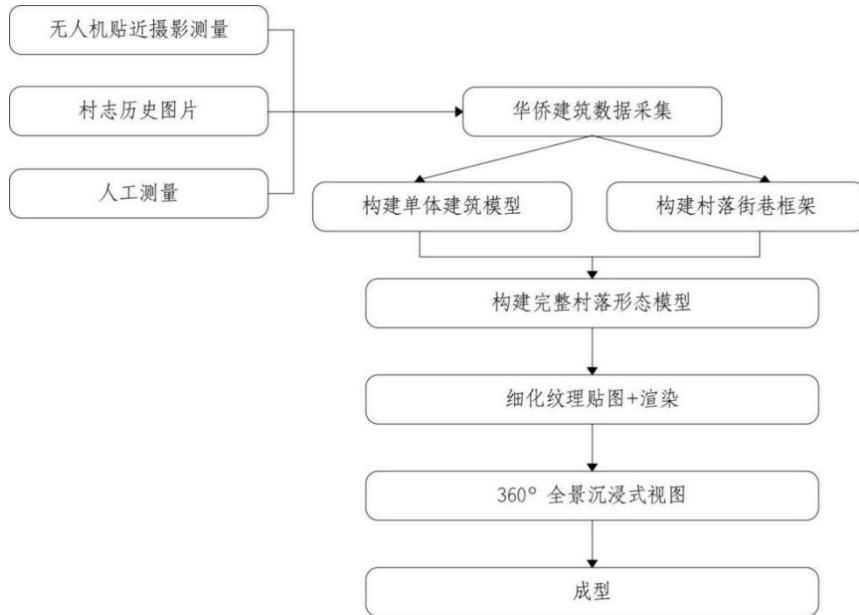


图5 三维建模技术路线图 (图片来源: 作者自绘)



图6 村落街巷三维建模图 (图片来源: 作者自绘)



图7 单体建筑三维建模图 (图片来源: 作者自绘)

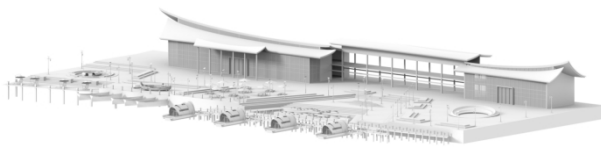


图8 单体模型效果图与测量平面图 (图片来源: 作者自绘)

3. 文化遗产数字化的路径探索

传统村落作为历史上人们用于生产生活的长于, 是传统文化积淀地, 承载着独特的本土文化, 是文化遗产的重要载体。随着信息更迭的速度不断加快, 传统的保护和传承技艺呈现出滞后、形式单一等问题, 使得传统或本土文化的保护与传承出现了危机, 实现传统村落数字化保护具有突破性和必要性。

三维信息科技的快速发展让数字化传统村落保护拥有更多选择。三维激光扫描、倾斜

摄影测量、贴近摄影测量以及点云数据的多样复合路径，弥补了传统测量的不足，可以实现文化遗产建筑系统化和科学化的管理。文化遗产性村落保存情况不尽相同，研究者可以根据研究主体的现实情况选择单一或者复合的技术路径，对建筑进行复现。本文研究的两个案例分别代表“记录型”复现和“再现型”复现的数字化实践，在保存状况较为完整的建筑中，数字化重建更适合采用激光扫描结合点云数据的方法；而对于类似蚌湖圩这类缺失情况严重的对象，则更需要参考历史图像或文献资料，依赖人工建模的方式实现数字化再现。

结语

本文以香港大澳村和广州蚌湖圩为例，开展文化遗产性村落数字化保护实践探索。通过分析两个完整程度不同的村落建筑，并对比两者之前数字化技术路径的应用效果，探索基于建筑保存状况的传统村落数字化复现路径选择框架。尽管点云数据和激光扫描等技术能够实现高精度复原，人工建模的补足仍不可缺少。对于保存完整的建筑，采用三维激光扫描、贴近摄影以及点云数据处理为核心“记录性复现”路径，其目的在于高精度记录和构建建筑原貌数据库；对于缺失严重的建筑，采用基于历史图像、文献资料及人工推演建模的“再现型复现”路径更为合适，以合理补全缺失信息。选择合适的数字技术，可以实现遗产性建筑的数字化保护本体完整信息存档，为未来的保护与发展提供路径和参考。

【参考文献】

- [1] 陈晓皎,苗甜,唐晓腾,等. 文化遗产数字化保护及可视化[J]. 包装工程, 2022, 43(20): 26-37
- [2] 麦贤敏,王晓亮,钟磊,等.三维激光扫描在文物建筑保护中的应用——以德格印经院为例[J].中国名城,2022,36(08):21-28.DOI:10.19924/j.cnki.1674-4144.2022.08.004.
- [3] Elkin, D.K., Louw, M., Leung, C.Y., Xiaolu, N.W. and Wernli, M., 2023. Spatial agency practice in Tai O Village: colonial legacies and spatial-architectural approaches to collaborative urban futures. ARQ: Architectural Research Quarterly, 27(3), pp.237-254.
- [4] Elkin, D., Leung, C.Y., Xiaolu Wang, N. and Yan, W.Y., 2023. Digital cultural heritage conservation: sampling stilt houses in Tai O Village.
- [5] 刘琦.文化多样性的蚌湖圩历史街区空间设计研究[D].广州大学 2023.DOI:10.27040/d.cnki.ggzdu.2023.001759.
- [6] 王倩,刘攀.多源数据融合背景下测绘新技术在古建筑实景三维建模中的应用研究[J].科技创新与应用,2025,15(28):37-41.DOI:10.19981/j.CN23-1581/G3.2025.28.007.
- [7] 刘婧璐;刘天琦;西北干旱地区夯土建筑遗产的数字重建与文化叙事传播研究——以骆驼城遗址为例[J];城市建筑;2025,21