

数字化技术在历史纪念性建筑修复中的应用

王婧力

河北青年管理干部学院 河北石家庄 050031

摘要：数字化技术在历史纪念性建筑中的修复作用已经成为文化遗产保护的一大革新。文章研究分析数字化技术在历史纪念性建筑修复中的关键作用，如三维扫描、激光测绘、数字建模、增强现实等技术的运用。研究分析现代技术如何帮助专家们无损记录下建筑细节，模拟修复过程，这些技术在公众参与和教育当中发挥积极作用。数字化技术的运用，不仅提高了修复效率与准确性，也给历史信息提供再生的可能，让建筑遗产实现长期保存的同时，也实现了可持续发展。

关键词：数字化技术；历史纪念性建筑；修复

历史纪念性建筑是传承文化的重要载体，如故宫代表着封建王朝的过去；如西柏坡代表着党的光荣历史，上海四行仓库纪念馆代表着抗战精神等。新时期，历史纪念性建筑的保护和修复工作充满挑战，传统的修复面临挑战，这是因为传统修复依赖手工测量、经验判断等，这消耗时间和精力，也难以避免对建筑物原貌的干预。在数字化时代，新技术引进改变了这一现状。数字化技术的出现，通过高精度数据采集与分析，给建筑现状评估和历史状态复原等提供科学根据。

一、概述

在数字化时代科技发展影响各个领域，在诸多历史纪念性建筑物修复中引进数字化技术，对建筑物修复有重要作用。比如红色建筑物，在经历战火洗礼之后，建筑被破坏和毁损，这种情况下引进数字技术可以帮助建筑物重新焕发生机。国内，国家对文化遗产的保护工作引起重视，所以数字化技术在文化修复方面也取得了长足进步。很多高校和研究机构与企业合作，将先进的技术应用于建筑物的修复实践中。其中包含高精度复制、虚拟修复、材料试验性匹配等等。从建筑本身来看，历史纪念性建筑本身具备独特性以及复杂性，传统修复技术难以满足当下的需求，主要是材料、工艺、技术等方面面临诸多挑战。虽然历史纪念性建筑是具备历史和文化价值的建筑物，但在城市化发展中，对历史纪念性建筑的保护意识明显不足，这种社会氛围的影响，给建筑物的保护工作带来极大压力。

二、数字化技术修复建筑物的核心特征

（一）高精度数据采集

数字化技术在建筑物修复当中的运用，可实现高精

度的数据采集。如使用HS650等高精度三维激光扫描，对建筑物进行全面扫描，获取到毫秒级的点云数据。比如安徽理工大学在“红楼”项目中，通过数字化技术在拆除之前完成数据采集，这给后续的数字化存档、异地重建提供了精准的数据基础。高精度数据采集还可以使用无人机摄影测量与近景摄影测量结合技术，在技术使用的过程中，除了覆盖大部分范围的外部结构之外，也可以细致捕捉复杂或者是部分人力不能接近的内部细节，从而获得全面的数据，确保数据的全面和精准^[1]。

（二）虚拟模拟再现

虚拟技术在数字化修复建筑物当中可以发挥显著的作用，如BIM与三维建模，在运用的过程中使用的软件有IHD-3LS-SCENE、Autodesk ReCap和3Dmax等，在软件中将采集的数据转换成为高精度三维模型。在数据与模型的配合下不仅运用与重建，还支持在虚拟环境中修复方案的模拟。比如在河北古建筑物保护当中，周志军委员提出在三维模型的基础上进行虚拟修复设计，减少在实际操作当中对建筑物造成的破坏。虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术，创建沉浸式体验，比如通过VR技术来让专家与公众进入到古建筑物的内部，实现无损虚拟修复体验。同时AR技术也可以给现场修复提供实时的指导，加上信息叠加处理技术，让建筑物以更真实的方式呈现出来，增强互动性与教育价值。

（三）三维建模可视化

通过三维建模技术能构建历史纪念性建筑的结构以及细节，实现建筑结构细节的展示。通过三维建模可视化，建立起高精度的三维数字模型，将其作为数字资产，

除了修复之外，也作为长期管理和文化传播的重要标准资料。借助三维建模来直观展示建筑物的结构、内部损伤情况、修复的过程等等，方便专家分析，也方便观众理解建筑修复情况^[2]。基于三维模型，结合大数据分析来为修复决策提供可靠的根据，比如通过历史数据来预测未来可能出现的损伤，给出对应的维护策略。利用三维扫描建模，可以对建筑稳定性进行分析，给修复方案提供可靠的根据；在数字化技术的支持下，通过对历史建筑材料成分、物理特性进行分析，再选择合适的修复材料，确保修复效果。

三、数字化技术在历史纪念性建筑修复中的实践

（一）建筑结构的三维扫描

对历史纪念性建筑进行三维扫描来获得精确的三维数据，将数据作为结构稳定性分析的依据，可以给修复方案的设计提供可靠的依据。在历史纪念性建筑修复的过程中，使用地面激光扫描如Faro Focus S350结合无人机倾斜摄影技术，获得建筑的整体细节全覆盖；接下来通过点云建模，进行拼接、降噪处理，最后形成三维模型，在现代技术的支持下立面图、平面图以及剖面图的精准绘制。比如意大利的罗马斗兽场在进行修复之前，就是使用三维扫描技术来对建筑结构进行详细的分析。北京天坛和秦始皇兵马俑等的修复均是按照这样的方式来实现的。在修复工艺中，数字化技术对建筑结构进行扫描，避免了传统测绘技术对建筑物造成的二次损伤，同时这也给后续虚拟修复和3D打印复印提供了可靠的数据支持。

（二）材料分析与选择

通过数字化技术对历史纪念性建筑的化学成分和物理特性进行分析，再选择合适的修复材料处理^[3]。分析技术有光谱与CT扫描、3D打印材料等，光谱与CT扫描技术可以分析木材、石材的微观结构以及老化程度，3D打印材料属于先进技术的一种，使用生物降解材料或传统材料复刻缺损材料，再进行模拟即可。在材料分析之后进行修复的过程中，材料选择十分关键，通过扫描数据来匹配原始材料的纹理以及成分，再结合BIM模型测试材料的耐久性能。比如，哈尔滨市启动“历史文化建筑保护传承专项课题”以后，在市人大常委会牵头组织下，对621栋历史文化建筑进行数字化信息的采集与建档，实现老建筑的“数字孪生”，在数字技术的支持下全面完成市域范围内的所有历史文化建筑的数字化测绘与信息采集，从中华巴洛克历史文化街区三期首开的经验

亮相，游客们得以再见百年前的技艺。在该工程中，使用无人机、激光扫描等空地一体测绘技术，建立起数字化数据库，制作了历史建筑物的数字孪生三维模型，点云数据和三维模型精度达到全国领先水平。中华巴洛克历史文化街区依靠数字化技术实现历史文化建筑物的1:1复刻，让市民与游客实现超越时空的对话。除此之外甚至还利用全息测绘技术、虚实互动的业态结构和普惠多元的应用效果，荣获文化旅游发展潜力奖。

（三）修复过程的模拟

虚拟方阵技术优化修复方案的同时降低了历史性建筑物修复的试错成本。在虚拟环境中模拟修复结果，预测结构的稳定性。根据建筑物的情况，基于扫描数据编程机械臂执行清结与雕刻等操作，实现建筑物的修复。另外，还可以通过物联网技术实时监测修复后建筑物的温湿度与应力变化。以红色建筑为例，通过数字化建模，用数字技术赋能红色建筑来实现传承与保护。在扬州，扬州大学建筑科学与工程学院“红色建筑实践团”的师生们走进扬州古城，寻访红色建筑的修复路径。在首批建筑物中，选择了扬州市平民中学（江青烈士史料陈列馆）、朱自清故居、曹起潜故居、熊成基故居等扬州代表性的红色建筑。在修复建筑物的过程中，团队充分发挥现有资源，依托BIM工程中心以及智能建造实验室，将党史学习与专业实践结合起来，完成了中共一大会址、遵义会议会址等10座有代表性的红色建筑的数字化建模，通过打造红色建筑数字模型库，再通过VR技术来营造真实的情境，让红色建筑以数字化、动态化、多样化的方式呈现出来。在中共一大会址的建筑修复当中，团队成员针对红色建筑BIM建模基本数据缺乏的难题，充分发挥团队精神，查阅文献资料和实地查询，对红色建筑的基本尺寸进行整理，标注基本信息，再利用BIM、AR与VR等信息技术，对历史纪念性建筑物的结构分解、形态推理，再通过建模与渲染，最终实现红色建筑的数字化呈现。为了还原建筑的风格与色彩，团队使用Revit建立模型，再使用SketchUP对室内的吊灯、茶几等进行建模。通过BIM数字化建模和VR模拟，可以得到建筑修复过程的详细分析，也强化了团队成员对专业知识的综合运用。未来将会在这个基础上充分不断发展，使用数字化技术深入挖掘红色资源，让红色建筑以数字化的形式呈现出来，赓续红色精神^[4]。

（四）历史性建筑遗产的教育和展示

历史纪念性建筑之所以被人们重视就是自身所具备

的教育意义，数字化技术打破了时空观限制，让红色文化遗产真正“活起来”。目前在数字化技术的支持下，实现了历史纪念性建筑物的沉浸式展示和教育创新。在这个过程中，有VR/AR交互重现历史场景、线上数字展厅等，通过三维模型和语音导览来增强建筑的叙事性。在教育方面，通过3D打印文创，把建筑模型转化成为可触达的教具^[5]。借助数字化技术甚至可实现动态历史的复原，展示建筑在不同革命时期的演变。

如延安革命纪念馆，作为全国重要的革命纪念地与爱国主义教育基地，通过AR技术与游戏化思维将红色文化教育和现代科技融合起来，让参观者以沉浸式体验重温革命历史。AR互动体验不仅增强了参观的趣味性，也让年轻一代在参观的过程中更好理解与传承红色基因。在场馆外，入口处有AR引导牌，触发虚拟角色“小红星向导”，可获得一本电子“革命足迹护照”，向导将会介绍参观路线和打卡任务。在关键展区，通过AR还原历史场景，比如在“延安时期重要会议”展厅，可以看见虚拟毛泽东与周恩来等革命领袖进行讨论的场景，根据场馆的情况设置多个AR互动关卡，对重要文物展品设置AR信息层，游客可以通过手机来查看文物的3D复原效果和对应的历史背景，从而获得沉浸式体验。

井冈山VR红色旅游项目也是在数字化技术修复历史纪念性建筑物的基础上提出来的，江西井冈山利用虚拟现实、全息扫描、3D建模等技术，将井冈山的人文风光、红色革命文化与历史文物充分进行数字化重建，有过红色记忆的建筑物都以数字化的形式呈现出来，实现数字内容的云端存储、渲染以及推流，从而打造井冈山文旅VR风光片与教育课件。在技术实现的过程中，拍摄制作井冈山旅游风光的VR全景视频，用独特视角来展示井冈山的红色旅游资源以及绿色生态环境，从而给观众带来全新的视觉体验。该场景主要是通过VR弱交互内容制作，在游客游览的时候如果因为天气条件和

游客身体原因不能进入景点游览，则可通过VR眼镜来沉浸式体验。另外，通过强交互开发引进技术拍摄与制作具备体验性的VR音视频内容，还原与呈现红军战斗的场景，该场景可以让观众身临其境了解井冈山的革命斗争史，学习井冈山的红色文化。在移动数字博物馆VIP讲解与演示体验项目中，通过前端自动化采集、后端远程加工、3D建模等，给景区的VIP游客提供虚拟展演服务。通过5G技术和VR技术打破传统体验式红色教育的时空限制，给游客以及网民带来更多的视觉体验，让民众身临其境感受到当年红军战斗的场景，体验井冈山的红色文化。

结语

综上所述，数字化技术在历史纪念性建筑修复中的运用，保证修复工作的精确度，也给文化遗产的保护和传承提供新的可能。新时期数字化技术不断发展，在这种情况下建筑物修复工作面临更多细致的问题。面对新时期的挑战，更需要不断地探索和创新，用更多技术投入建筑物修复中，让历史纪念性建筑物焕发新的生命。

参考文献

- [1] 严志涛, 何骏朗, 刘杰. 基于BIM+技术的古建修复保护和古今建筑协调设计建造的应用研究[J]. 广东土木与建筑, 2024, 31(11): 4-7.
- [2] 李湘凌. 建筑修复加固工程中BIM技术的集成应用与实践[J]. 佛山陶瓷, 2025, 35(1): 95-97.
- [3] 巴钧才. 基于3D扫描技术的古建筑附着艺术品数字化研究[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2024, 271(4): 146-149.
- [4] 邓显石, 王俊, 肖泽忱. 古建筑木结构数字化加固技术路径探究[J]. 建筑与预算, 2024(8): 61-63.
- [5] 杨亚添. 全景技术在古建筑修复中的应用[J]. 佛山陶瓷, 2024, 34(1): 72-74.