

# 明清古建筑数字化保护研究——以甘肃贡院明远楼为例

孙伟轩

兰州交通大学建筑与城市规划学院

DOI:10.32629/bd.v9i5.4455

**[摘要]** 文章以甘肃贡院明远楼为研究对象,研究了信息技术在古建筑数字化保护中的应用,通过 Unreal Engine 5平台实现建筑本体的高精度数字化复原,以高质量数字渲染信息为古建筑数字复原的核心,该方法不仅能够建立永久性数字档案,其参数化构件库和 workflow 对同类古建筑保护具有推广价值。PBR 次时代建模流程突破了传统保护手段在精度、真实感和交互性方面的局限,为文化遗产的数字化保护与活化利用提供了可借鉴的技术方案,展现了信息技术在建筑遗产保护领域的重要应用前景。

**[关键词]** 数字复原; 虚幻引擎; 古建筑保护

**中图分类号:** TU761.6 **文献标识码:** A

## Research on the Digital Preservation of Ancient Architecture from the Perspective of Information Technology

Weixuan Sun

School of Architecture and Urban Planning, Lanzhou Jiaotong University

**[Abstract]** Taking the Mingyuan Tower of the Gansu Gongyuan as the research subject, this study investigates the application of information technology in the digital preservation of ancient architecture. Utilizing the Unreal Engine 5 platform, a high-precision digital reconstruction of the architectural structure was achieved, with high-quality digital rendering as the core of the restoration process. This method not only establishes a permanent digital archive but also offers a reusable component library and workflow applicable to the preservation of similar historic buildings. The PBR (Physically Based Rendering) next-generation modeling technique overcomes the limitations of traditional methods in terms of accuracy, realism, and interactivity. It provides a replicable technical solution for the digital preservation and revitalization of cultural heritage, demonstrating the significant potential of information technology in the field of architectural heritage conservation.

**[Key words]** Digital reconstruction; Unreal Engine; ancient architecture conservation

万源阁原为甘肃举院遗存明远楼,刘尔忻迁建于五泉山,供奉中华四圣四贤,以明中华学术之渊源流派,他将三层题名万源阁,祀儒家四圣伏羲、周文王、周公和至圣先师孔子,联曰“以阴阳消长,定世界安危”,中层为“思源楼”,祀宋明理学家四贤周敦颐、邵雍、程颐和朱熹,联曰“为千秋绵绝学,留一线是微阳”,底层为“望来堂”,联曰“正学废兴关世运,斯文绝续在人才”,用作兰州儒贤商量学术和刘尔忻讲课教学之用,万源阁为明远楼的修复提供了良好的基础。<sup>[1]</sup>

古建筑是独特的人文信息载体,有着大量宝贵的历史人文信息资源,同时也是研究现代人类文明的重要艺术资源。但是近年来,由于受旅游业、生活环节污染等原因的影响,不少古代建筑不同程度地出现了变形和破坏。目前,真正掌握了中国古建筑传统工艺的工匠凤毛麟角,对古建筑安全防护和模拟复原更是

任重道远。从基础数据采集到沉浸式文化展示,相关研究已形成多层次、多目标的技术体系。林丁欣等人系统阐述了BIM技术在古建筑保护中的应用价值,指出其能够构建涵盖全生命周期信息的建筑模型,为保护与修缮工作提供了完备的数据支撑。<sup>[2]</sup>乔学良等人进一步探讨了“BIM+三维扫描”的技术融合路径,该方案通过非接触式测量实现了古建筑的高精度实景复制,有效提升了数据采集的完整性与准确性。<sup>[3]</sup>在数字化复原与展示层面,研究重点从几何形态的重建延伸至文化内涵的表达与传播。李新月等人以避暑山庄碧静堂为例,展示了数字复原技术在重现已损毁建筑场景、提升公众历史感知方面的潜力。<sup>[4]</sup>高宇等人以徽州金紫祠为例,不仅基于Unreal Engine 5实现了室内空间的虚拟现实交互,更针对古建筑建模的细节处理与引擎优化提出了一套系统性方法,显著提升了虚拟体验的真实感与流

畅性。<sup>[5]</sup>总体而言,现有研究从精准数据采集到沉浸式文化体验有较为完整的技术方法,然而,如何选择并优化与之相匹配的全过程技术路径,仍需进一步探讨。

### 1 Physically Based Rendering(PBR)次世代古建筑数字复原思路

传统的古建筑数字复原流程大多是绘制CAD图纸,再利用SU等建模软件复原,最后导入lumion渲染,这种流程不仅耗时,而且模型精度与最终展示效果差强人意,结合BIM技术开展古建筑的数字保护工作,由于不同建模软件的功能和侧重点不同,将不同古建筑所应用的虚拟现实技术进行有机融合,从而实现最佳的表达效果,以高质量数字渲染信息为古建筑数字复原的核心,即在复原工作流程的选择上采用PBR工作流,复原文化遗产的真实质感。相较于传统建模,PBR次世代建模渲染出的视频和模型质量更高,具体流程为在扫描获得点云模型后,通过三维软件进行初步的数据整理和建模,通过maya对模型进行展uv工作,从而形成由少量信息组成的基础模型,再利用ZBrush软件为模型搭建更多的面和信息细节,并使用Marmoset Toolbag软件进行高低模烘焙,使得模型仅有少量的面构成但仍然搭载更多的建筑信息,最后将模型导入至Substance Painter进行贴图工作,对比于传统建模软件的贴图,Substance Painter更好的展现材质在不同光影、环境等影响下的效果,更具有动态性。所有的建模工作完成后,将模型导入Unreal Engine 5 (UE5) 渲染平台,通过Lumion全局光照系统和Nanite虚拟几何体技术突破了传统渲染的限制,能够实现影视级的交互体验,通过Unreal Engine 5渲染视频,制作动画从而实现搭载高质量数字渲染信息的古建筑VR、AR、以及LBE互动交互设计,更好的将古建筑模型展示给用户。(图1)



图1 明远楼场景搭建模型

## 2 甘肃贡院明远楼数字化复原实践

### 2.1 多源数据采集与形制考证

研究综合运用三维激光扫描与文献考据方法,遵循数据为本的原则,旨在建立一个兼具精确性与历史真实性的数字模型。针对该木构阁楼内部空间狭窄、构件复杂的特点,在建筑外部布设多个扫描站点,确保覆盖所有立面与屋顶,采用互补对称的布局以减少扫描盲区。在形制考证方面,通过文献与图像证据的交叉验证,确保复原对象为“甘肃贡院明远楼”而非简单的复原五

泉山万源阁现状。查阅《甘肃新通志》《皋兰县志》等史料,确认明远楼“高五丈余,三重檐,歇山顶”的基本形制。关键证据来自莫理循1910年拍摄的甘肃贡院明远楼老照片,通过将老照片与现状点云模型进行透视叠合与特征点对比,发现若干关键差异。原明远楼屋顶为更显雄浑、坡度更陡的官式歇山,正脊两端设鸱吻,垂脊有仙人走兽;二层及以上为直棂栏杆,风格简洁古朴,且一层有台基及缓坡。这些发现成为模型修正的重要依据。对于建筑背面、室内梁架等缺失信息,采用类型学类比方法,参考同期同类建筑进行符合历史逻辑的推演。

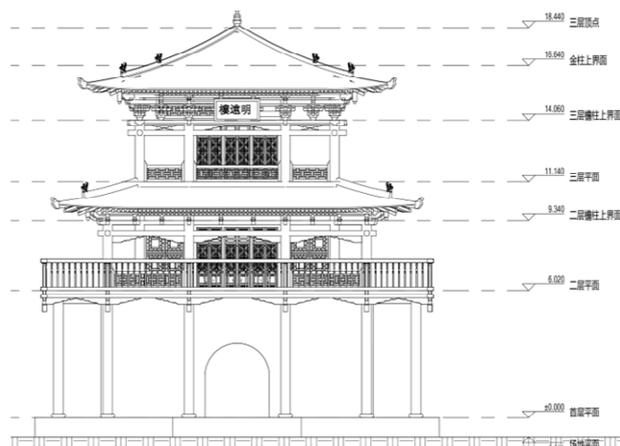


图2 明远楼南立面图

### 2.2 明远楼模型数字复原

数据采集完成后,进行建筑模型的数字复原。将激光扫描数据导入到点云处理软件中,使用点云编辑工具进行初步筛选和清理,移除噪点和重复点,确保数据的准确性和一致性。在数据预处理完成后,将优化后的点云数据导入DCC软件,形成粗略模型,根据扫描得到的模型参数以及相关文献记载绘制明远楼的平立剖面草图,调整优化数据后导入Revit,开始进行明远楼详细模型的重建,根据历史资料和专业知,对初步模型进行细化和调整,确保模型恢复出建筑的历史原貌。针对明远楼作为官式木构建筑的特点,以处理后的点云数据为基准建立精确的轴网系统,随后基于历史考据成果创建包含斗拱、梁柱等关键构件的参数化族库。斗拱系统通过设置斗口尺寸为核心参数,实现不同规格构件的自动生成与装配。在建模的同时,为每个构件赋予材质、年代、保存状况等完整的非几何信息,建立符合文化遗产保护需求的扩展数据库。通过实时比对点云、自动生成图纸进行多轮验证,确保模型的准确性。这一方法高质量完成了明远楼数字化复原,同时建立了可重复使用的参数化构件库,大多数构件可直接或调整后应用于同类官式清代建筑,为古建筑数字化保护的标准化发展提供了重要技术支撑。

## 3 结论

研究通过甘肃贡院明远楼的数字化复原实践,系统探索了信息技术在古建筑保护中的创新应用路径,形成了一套行之有效的技术方法体系,取得了显著的研究成果,同时也为同类文化遗产的数字化保护提供了借鉴的经验。研究构建了“多源数据

融合—BIM参数化建模—PBR材质还原—实时引擎展示”的完整技术路线。通过三维激光扫描与历史文献考证相结合,解决了传统保护中形制考证依据单一、精度不足的问题。采用Revit与Dynamo协同的BIM参数化建模方法,建立可重复使用、可调节的清代官式建筑构件族库,有效应对了古建筑构件标准化程度高但细节复杂的建模挑战,提升了建模效率与准确性。通过引入PBR次世代工作流与UE5虚拟引擎,突破了传统贴图在表现木材质感、年代感、光泽等材料真实感方面的局限,实现了对建筑材质与场所空间的高度还原。古建筑保护的本质是文化记忆的传承,研究通过一套整合性的技术方案证明,在数字化时代,我们能够通过技术手段精准留存建筑的物质形态,更能通过创新的展示与交互方式,有效激活其内在的文化价值,高质量多信息数字模型搭建了一座连接过去与未来的数字桥梁,让文化遗产得以在新的时空维度中延续生命。

#### [参考文献]

[1]邓明.明远楼与甘肃贡院的兴废[J].档案,2008,(05):36-

38.

[2]林丁欣,燕宁娜,赵振炜.BIM技术在古建筑保护过程中的应用研究综述[J].陶瓷,2021,(08):113-114.

[3]乔学良,乔广宇,李明科,等.BIM+三维扫描技术在古建筑及文物复原方面的工程应用[J].四川建筑科学研究,2022,48(03):20-24.

[4]李新月,苏丽萍.数字技术在古建筑遗址复原中的应用研究——以避暑山庄碧静堂为例[J].文物鉴定与鉴赏,2023,(06):42-45.

[5]高宇,刘梦妍.虚拟现实技术在徽州古建筑数字复原中的运用——以黄山市徽州金紫祠的主祠堂为例[J].工程与建设,2023,37(03):861-863.

#### 作者简介:

孙伟轩(2000--),男,汉族,甘肃省兰州市人,在校研究生,研究方向建筑遗产保护。