

基于多种数字化采集手段的古建筑细节信息记录与分析

任道国

河北省文物与古建筑保护研究院，河北石家庄，050000；

摘要：在浩瀚的历史长河中，古建筑作为人类文明的瑰宝，承载着丰富的文化记忆与精湛的技术传承。然而，岁月侵蚀与自然风化让这些珍贵的文化遗产面临前所未有的挑战。为了有效保护这些不可再生的资源，数字化技术应运而生，为古建筑的保护与研究开辟了新纪元。基于多种数字化采集手段的古建筑细节信息记录与分析，不仅是对传统保护方法的革新，更是对古建筑文化价值的深度挖掘与传承。

关键词：数字化采集；古建筑；细节；信息记录

DOI：10.69979/3029-2727.24.11.034

数字化采集手段以其高精度、高效率、非接触式等优势，成为古建筑细节信息记录的重要工具。从卫星遥感技术的宏观监测，到无人机航拍的灵活拍摄，再到近景摄影测量与三维激光扫描的精细捕捉，每一种技术都在其特定领域内发挥着不可替代的作用。它们共同构建起一个全方位、多尺度的古建筑数字化信息库，为后续的保护修复、科学研究及文化传播提供了坚实的数据支撑。

1 建筑文化遗产数字化发展应用研究现状

在当前建筑文化遗产保护领域，数字化技术的深入应用正以前所未有的方式重塑着我们对古建筑保护、传承与利用的理解与实践。随着信息技术的飞速发展，特别是近年来元宇宙概念的兴起与3D技术的日益成熟，古建筑的保护不再局限于传统的物理修复与隔离保护，而是迈向了更为广阔的数字化探索之路。这一转变，不仅深刻体现了科技与文化融合的必然趋势，也为古建筑的保护与活化提供了前所未有的契机^[1]。

具体而言，数字化技术的应用在建筑文化遗产保护中展现出了多层次、多维度的价值。在信息采集与建档方面，新型测绘技术与BIM（建筑信息模型）的深度融合，极大地提升了数据采集的精度与效率，实现了古建筑空间结构、材质纹理乃至历史变迁信息的全方位记录，为后续的修缮设计、学术研究及公众教育提供了坚实的数据基础。这一过程，不仅确保了古建筑信息的完整性与准确性，还促进了数字档案库的建立，使得古建筑的历史记忆得以长久保存并便于全球共享。数字化技术在修缮施工与预防性保护中发挥着关键作用。通过三维扫描、虚拟现实（VR）等技术，可以模拟古建筑在不同环境下的状态变化，预测潜在风险，制定科学合理的保护方案。这种基于数据的决策支持，不仅提高了修缮工作的科学性与针对性，还有效降低了对古建筑本体的直接

干预，延长了其使用寿命。同时，数字修复技术的应用，使得一些难以现场实施的复杂修复工作得以在虚拟环境中完成，为公众提供了直观的修复效果预览，增强了保护工作的透明度与参与感。此外，数字化展示与交互体验成为了连接古建筑与公众的新桥梁。借助VR、移动互联网等平台，人们无需亲临现场即可身临其境地探索古建筑的每一个角落，感受其独特的艺术魅力与文化底蕴。这种沉浸式的体验方式，不仅拓宽了古建筑文化传播的边界，还激发了公众对文化遗产保护的兴趣与热情，促进了文化遗产的活化利用与社会价值的最大化。

2 数字化采集手段

2.1 卫星遥感

卫星遥感技术作为现代对地观测的重要手段，以其覆盖范围广、数据获取周期短、信息量大等优势，在建筑文化遗产的大范围变化监测中发挥着不可替代的作用。该技术通过搭载在卫星上的传感器，对地球表面进行非接触式的远距离探测，收集并分析地表反射或发射的电磁波信息，从而实现了对地表物体的识别和监测。在建筑文化遗产保护领域，卫星遥感技术主要用于监测大范围内不可移动的建筑文物受自然环境（如气候变化、地质灾害）及人为活动（如城市扩张、建设施工）等因素影响下的变化情况。通过定期获取的高分辨率卫星影像，研究人员可以对比分析建筑遗产的形态、结构、色彩等特征的变化，及时发现并评估潜在威胁，为制定针对性的保护措施提供科学依据。此外，卫星遥感技术还能结合历史数据，预测建筑遗产未来的变化趋势，为长期保护规划提供数据支持。尽管卫星遥感技术在建筑文化遗产的宏观监测中表现出色，但在数据化采集的精细度方面仍存在一定的局限性。由于卫星距离地表较远，其获取的影像分辨率有限，难以捕捉到建筑遗产的细微特征，如雕刻细节、材质纹理等。因此，在需要高精度

数据支持的研究或保护项目中,卫星遥感技术往往需要与其他数字化采集手段相结合,以弥补其不足。

2.2 无人机航摄

无人机航摄技术以其灵活性强、成本相对较低、数据采集效率高等特点,在建筑文化遗产的三维数据采集方面展现出了独特的优势。无人机搭载高清相机或激光雷达等传感器,能够在低空飞行过程中快速环绕建筑物拍摄多个视角的影像图片,为构建逼真的三维实景模型提供丰富的数据源。在建筑文化遗产保护中,无人机航摄技术不仅能够轻松获取建筑顶部及周边环境的高维度数据,解决了传统地面测绘设备难以触及的难题,还大大提高了数据采集的效率和精度。通过无人机倾斜摄影技术,可以构建出具有高度真实感的三维实景模型,这些模型不仅能够直观反映环境地形地貌、建筑高度、高程等信息,还能为修缮设计、预防性保护等工作提供精准的数据支持^[2]。此外,无人机航摄技术还广泛应用于智慧城市、“房地一体化”等大型项目,以及分布零散、范围广阔的村落建筑遗产的保护与研究中。然而,无人机航摄技术也面临着一些挑战和限制。首先,尽管无人机具有高度的灵活性,但在复杂环境(如强风、雷电、磁场干扰等)下飞行仍存在安全隐患,需要采取有效的防护措施和应急预案。其次,无人机主要用于空中拍摄,难以进入室内及建筑物檐口下部等遮挡区域,这可能导致构建的三维实景模型在这些区域出现模型扭曲、变形、空洞等问题。为了弥补这一不足,可以结合地面三维扫描技术或其他数字化采集手段进行补充数据采集。

2.3 近景摄影测量技术

近景摄影测量技术,作为一种基于摄影原理的测量方法,其操作简便、成本低廉,使得使用单反相机等普通摄影设备即可展开工作。这一技术通过采集拍摄具有较大重叠度的相邻影像,利用摄影测量原理对影像进行解析,从而获取高精度的三维空间信息。在建筑文化遗产保护中,近景摄影测量技术主要用于采集建筑檐下等存在遮挡关系的数据以及室内数据,与无人机航摄技术形成有效互补^[3]。

近景摄影测量技术通过精确控制拍摄参数和影像重叠度,能够获取到高于无人机航摄的精细数据,特别是在细节丰富的建筑檐下和室内空间,能够捕捉到更多细微的结构特征和纹理信息。该技术不受飞行限制,可以灵活调整拍摄角度和距离,深入建筑内部进行数据采集,弥补了无人机难以进入室内及遮挡区域的不足。相比于其他高精度数据采集手段,近景摄影测量技术的设备成本较低,且操作简便,适合大规模推广应用。

2.4 三维激光扫描

三维激光扫描技术,又称为“实景复制”技术,是测绘领域的一项重大技术创新。该技术通过发射激光束并接收其反射信号,直接获取建筑物表面排布密集的三维点云数据。这些点云数据精确真实,能够高度还原古建筑的原貌,为建筑遗产的数字化保护提供了强有力的技术支撑。三维激光扫描技术能够获取到建筑表面每一个细节的三维坐标信息,构建出高度真实的三维模型。这种模型不仅精度高,而且能够保留建筑材料的质感、纹理等细节信息。与传统测绘手段相比,三维激光扫描技术无需与古建筑直接接触,避免了因测绘手段不当而对建筑实体造成的损坏。这对于脆弱易损的古建筑遗产来说尤为重要。该技术既可用于建筑物室内数据的采集,也可用于室外数据的获取,实现了对建筑遗产的全面覆盖。同时,扫描过程中可根据需要调整扫描精度和范围,满足不同应用场景的需求^[4]。

尽管三维激光扫描技术在建筑文化遗产保护中展现出巨大潜力,但其高昂的成本仍是制约其广泛应用的主要因素之一。由于扫描数据量巨大,处理和分析这些数据需要高性能的计算机设备和专业的软件支持,这增加了测绘工作的成本和难度。此外,对于大型复杂的古建筑遗产来说,单次扫描可能无法覆盖全部区域,需要多次扫描并进行数据拼接处理,这也增加了工作的复杂性和时间成本。

3 基于多种数字化采集手段的古建筑细节信息记录与分析

3.1 外业数据采集

外业数据采集是古建筑数字化保护的第一步,也是基础性工作。其核心在于通过科学合理的布局与操作,精确捕获建筑物的三维空间信息。这一过程包括现场踏勘、方案设计、控制网与扫描站布设、靶球公共点选取等多个环节^[5]。

在项目启动之初,进行详尽的现场踏勘至关重要。通过对古建筑及其周边环境的全面考察,收集相关资料信息,如建筑历史、结构特点、损坏状况等,为后续工作提供重要依据。同时,根据建筑的实际状况,设计科学合理的扫描方案,明确数据采集的目标、范围、精度要求等。尽管在部分项目中,由于仅需要相对坐标精度,未进行大地坐标系的统一控制网布设,但扫描站的合理布设对于确保数据采集的连续性和完整性仍具有决定性作用。扫描站之间需保持足够的重叠度,以确保后期点云数据的拼接和配准顺利进行。同时,通过选取适当的靶球公共点,增加数据配准的可靠性和精度。靶球公共点的选取需综合考虑扫描站之间的视线遮挡、距离以

及位置分布等因素。理想情况下,靶球应位于两个或多个扫描站的共同视野内,且相互之间保持一定距离,以避免数据冗余和误匹配。在本项目中,通过精心布置,仅需三个公共靶球即可满足精度要求,体现了高效与精准的平衡。

3.2 内业数据处理

内业数据处理是将外业采集的原始数据转化为高质量点云信息的关键环节。这一过程包括去噪、精简、配准拼接和点云影像融合等多个步骤。原始数据中往往包含大量噪声和冗余信息,需要通过滤波、去噪等处理手段,剔除无关干扰,保留有价值的空间信息。同时,对点云数据进行精简处理,减少数据量,提高处理效率,为后续的三维模型重建提供基础。基于靶球等公共特征点的配准拼接是内业数据处理的核心步骤。通过算法匹配不同扫描站采集的点云数据,实现空间位置的无缝对接。这一过程要求精度高、误差小,以确保最终模型的完整性和准确性。点云数据虽然提供了建筑物的三维几何信息,但缺乏色彩和纹理等视觉特征。通过将点云数据与高清影像进行融合处理,可以生成兼具几何与视觉信息的彩色点云数据,使模型更加生动逼真。

3.3 三维模型重建

三维模型重建是古建筑数字化保护的核心成果之一。通过精细的三维建模,可以直观、准确地表达古建筑的结构和细节信息,为保护修复、文化传播等工作提供有力支持。针对古建筑结构的复杂性,采用分层建模策略是提高效率与精度的有效途径。通过将古建筑分解为基座、木柱结构、屋顶等不同层次,依次进行建模,可以降低工作难度,提高建模效率。同时,结合二维平面图、立面图和剖面图等辅助资料,将建模工作由繁到简,确保模型的准确性和完整性。在三维模型重建过程中,软件的选择与协同工作至关重要。本研究采用 RealWorks 与 SketchUp 软件协同完成建模任务。RealWorks 用于根据点云数据绘制二维图并提取特征点、线、面; SketchUp 则用于具体的模型构建工作。通过软件间的无缝对接和数据共享,可以充分发挥各自优势,提高建模效率和精度。

3.4 精细构件的模型重建

斗拱作为中国传统木构件建筑中的典型代表,其结构复杂、工艺精湛,是数字化建模中的难点和重点。以郑氏宗祠中的一处复杂斗拱为例,本研究通过高精度的点云数据精确量测斗拱构件的几何尺寸,并采用人机交

互方式完成模型重建。首先根据点云数据分别完成斗和拱的三维建模。斗的建模相对简单,通过精确量测其长度、宽度和高度等几何尺寸即可完成。而拱的建模则更为复杂,需考虑其长条状结构和两边弯曲的特性。通过多角度投影和精细调整,确保拱的模型与原始数据高度一致。在完成斗与拱的分别建模后,根据二者之间的相对高度和咬合关系进行拼接整合。通过不断调整和优化模型结构,最终得到完整且准确的斗拱模型。这一过程不仅考验了建模者的技术水平,也体现了数字化技术在古建筑保护与传承中的巨大潜力。

4 结束语

综上所述,基于多种数字化采集手段的古建筑细节信息记录与分析,不仅是对古建筑物理形态的精准复制,更是对其文化内涵的深刻诠释。这一过程不仅要求技术的精准与高效,更需要跨学科知识的融合与创新。随着科技的不断进步,我们有理由相信,未来的古建筑数字化保护将更加智能化、精细化,为后人留下更加完整、真实的文化遗产。同时,这些数字化成果也将成为连接过去与未来的桥梁,让古建筑的智慧与美丽跨越时空的界限,继续照亮人类文明的征途。因此,我们应不断探索和应用新的数字化技术,为古建筑的保护与传承贡献智慧和力量。

参考文献

- [1]孙同帅,蔡骅.基于AR技术对中国古建筑的数字化保护研究——以江西南昌滕王阁为例[J].住宅与房地产,2021,(16):19-20.
- [2]何聪祥,王聪华,雒伟群.三维激光扫描技术在民族建筑数字化保护中的应用——以咸阳清渭楼三维模型构建为例[J].西藏科技,2020,(04):73-77.
- [3]卜亚平,任智龙.木质古建筑三维数字化保护探讨——以渭源灞陵桥为例[J].科技风,2019,(05):111+115.
- [4]吴宁,吴凯乐,温天蓉.古建筑3D数字化方法研究[J].建筑与文化,2018,(03):53-54.
- [5]泽金.世界文化遗产数字化保护与建设初探——以西藏罗布林卡古建筑为例[J].文物保护与考古科学,2017,29(04):115-122.

作者简介:姓名:任道国(1983.9),性别:男,民族:汉,籍贯:山西省汾阳市,学历:大学本科,单位:河北省文物与古建筑保护研究院,职称:助理馆员,研究方向:文物保护工程。