

人工智能时代建筑遗产数字化展示的研究进展

丁玎, 鲜礞, 秦媛媛

摘要: 【目的】研究旨在探讨人工智能 (AI) 技术在建筑遗产数字化展示领域的研究进展与应用潜力, 以推动 AI 技术在建筑遗产保护与传承中的深入应用。【方法】通过文献综述法, 系统分析 AI 技术在建筑遗产数字化展示中的发展阶段、技术路径及应用案例, 并归纳其嬗变过程与核心特征。【结果】AI 技术在建筑遗产传承中的应用经历了四个阶段, 逐步从技术支持转向智能决策, 从人工为主发展为人机协同, 应用场景也从单一走向全面覆盖。其路径主要包括参数化设计、沉浸式体验及融媒体推广等。同时, AI 技术的应用也存在数据采集复杂等挑战。【结论】AI 技术为建筑遗产的数字化保护与活化提供了创新路径, 未来需优化算法模型、强化跨学科协作, 探索新兴场景的应用潜力, 以推动文化遗产的可持续传承与传播。

关键词: 人工智能; 遗产保护; 设计方法; 智能化

引用本文格式 丁玎, 鲜礞, 秦媛媛. 人工智能时代建筑遗产数字化展示的研究进展 [J]. 创意设计源, 2025(4):21-26.

Research Progress on the Digital Display of Architectural Heritage in the Age of Artificial Intelligence

DING Ding, XIAN Meng, QIN Yuanyuan

Abstract: [Purpose] This study aims to explore the research progress and application potential of artificial intelligence (AI) technology in the field of digital exhibition of architectural heritage, with a view to promoting the in-depth application of AI technology in the conservation and inheritance of architectural heritage. [Method] Through a literature review, this study systematically analyzed the developmental stages, technological pathways, and application cases of AI technology in the digital exhibition of architectural heritage, and summarized its evolutionary process and core characteristics. [Result] The application of AI technology in the inheritance of architectural heritage had undergone four stages. It had gradually shifted from technical support to intelligent decision-making, evolved from human-dominated to human-machine collaboration, and expanded its application scenarios from singular to comprehensive coverage. The pathways primarily included parametric design, immersive experiences, and converged media promotion. However, the application of AI technology also faced challenges such as complex data collection, et al. [Conclusion] AI technology provides innovative pathways for the digital conservation and revitalization of architectural heritage. In the future, it is essential to optimize algorithmic models, strengthen interdisciplinary collaboration, and explore the application potential of emerging scenarios to promote the sustainable inheritance and dissemination of cultural heritage.

Key words: artificial intelligence; heritage conservation; design method; intellectualize

[基金项目] 本文系 2025 年度四川省铸牢中华民族共同体意识研究基地项目“建筑学视野下抗震救灾记忆与中华民族共同体意识共生机制研究”(项目编号: ZL-C2550); 2024 年度四川省社会科学重点研究基地区域文化研究中心项目“区域视角下巴蜀传统村落价值评估与保护体系研究”(项目编号: QYYJC2416) 阶段性研究成果。

引言

“让收藏在博物馆里的文物、陈列在广阔大地上的遗产、书写在古籍里的文字都活起来”, 这是习近平总书记对文化遗产寄予的殷切期望。建筑遗产作为城市历史的见证和文化的瑰宝, 承载着丰富的历史信息 and 民族记忆, 其保护与传承一直是学术界和实践领域关注的

焦点。随着科技的飞速发展, 人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 技术正逐步渗透到建筑设计与文化遗产保护领域, 为建筑遗产的传承与发展注入了新质生产力。

在建筑遗产的保护与修复方面, AI 技术可通过对古建筑三维扫描、图像识别与分析, 高精度识别其结构特征、材

质特性及破损状况, 为修复工作提供数据支撑与科学参考^[1]。例如, 借助深度学习 (Deep Learning, DL) 算法对古建筑图像进行自动识别与分类, 可以极大提高修复工作的效率和准确性^[2]。此外, AI 技术还能够通过模拟古建筑的历史变迁过程, 预测其未来状态, 为预防性保护提供有力支持。

在建筑遗产的数字化传承方面，AI 同样发挥着重要作用。通过运用大数据、虚拟现实（Virtual Reality, VR）、增强现实（Augmented Reality, AR）、混合现实（Mixed Reality, MR）、动作捕捉等技术，AI 能够构建出高度仿真的古建筑虚拟环境，使公众在虚拟世界中体验古建筑的历史风貌和文化内涵。这种沉浸式的体验方式不仅增强了公众对建筑遗产的认知和兴趣，也为建筑遗产的传播与普及提供了新途径。自 2023 年以来，建筑遗产数字化的政策措施密集出台，优秀成果与标杆案例不断涌现，不仅显著增强政策引导力度和项目带动作用，也逐步构建起更加系统化的制度框架。数字技术为建筑遗产的保护、传承与创新开辟了新篇章，从初步尝试的“点状实践”迈向全面铺开的“体系构建”，展现出新质生产力的蓬勃发展态势^[3]。

尽管 AI 技术在建筑遗产传承中展现出巨大的潜力，但其应用仍面临诸多挑战。首先，获取和处理建筑遗产的数据难度颇高，需要投入大量的人力、物力和财力。其次，AI 技术在建筑遗产保护中的应用尚处于起步阶段，相关算法和模型尚需不断优化和完善。再次，如何平衡人工智能技术与传统建筑技艺之间的关系，实现二者的有机结合，也是当前亟待解决的问题。

在此背景下，本研究通过综述国内外相关文献，系统梳理人工智能技术在建筑遗产数字化展示领域的研究成果，分析其在参数化设计、沉浸式体验、融媒体推广等方面的研究与应用现状与潜力，并探讨当前面临的挑战与未来发展方向，为后续研究和实践提供有益的参考和借鉴。

一、研究方法

基于 Web of Science 和中国知网等中外文献数据库平台系统，检索主题词包含“人工智能（AI）”与“建筑遗

产（Building Heritage）”的研究成果，截至 2024 年 12 月 16 日，共检索出 1990 年至 2024 年发表的中文文献 34 篇（18.7%）、外文文献 148 篇（81.3%）。

通过分析文献发现，AI 在建筑遗产保护领域的研究呈现快速增长的态势。中文文献不仅涵盖了对 AI 方法的深入探讨，例如深度学习（Deep Learning, DL）^[4]、大数据分析在遗产病害识别与修复建议中的应用^[5]，还包含了对建筑遗产保护本质的理性思辨，如预防性保护理念的推广与实践。相比之下，英文文献更加注重实证研究和算法工具的创新性运用。其中，元胞自动机（Cellular Automata, CA）^[6]、卷积神经网络（Convolutional Neural Network, CNN）^[7]和生成对抗网络（Generative Adversarial Network, GAN）^[8]是广泛应用于建筑遗产数字化重建、损伤检测与评估、环境智能调控等方面的 AI 算法。

本文按时间顺序，将文献研究归纳为 4 个阶段。初步探索与数字化记录阶段（1990—1999 年）：该阶段研究主要是运用数字化手段对建筑遗产进行记录与保存，例如应用摄影测量、3D 重建等技术对建筑遗产的外观和结构进行数字化建模。这些数字化记录为后续的研究和保护工作奠定了基础。智能监测与评估阶段（2000—2009 年）：这一阶段的研究重点是开发能够实时监测建筑遗产健康状况的智能系统，以及利用 AI 算法对遗产的保存状态进行评估和预测。这些技术的应用显著提高了建筑遗产保护的效率和准确性。信息整合与知识图谱构建阶段（2010—2019 年）：在这一阶段，学者们开始利用大数据和 AI 技术对建筑遗产的多源异构数据进行整合和分析，构建建筑遗产的知识图谱，以实现遗产信息的全面管理和深入挖掘。此外，VR 和 AR 等技术在建筑遗产展示和教育中的应用也逐渐增多。智能保护与可持续利用阶段（2020—

2024 年）：该阶段不仅关注遗产的预防性保护和修复，还探索如何利用人工智能技术促进建筑遗产的可持续利用。例如，通过开发智能管理工具优化遗产的日常维护，利用深度学习算法进行遗产病害的自动识别和修复建议，以及结合物联网（Internet of Things, IOT）技术实现遗产环境的智能调控等。此外，AI 还在建筑遗产的活化利用、旅游开发等方面发挥了重要作用。

二、人工智能在建筑遗产传承方面的嬗变过程

本部分旨在剖析 AI 技术发展的特点、变化与趋势，以期揭示 AI 对建筑遗产保护与传承的深远影响。

（一）机制的嬗变：从“技术支持”到“智能决策”

在早期技术支持阶段，AI 主要作为技术支持工具应用于建筑遗产的传承工作。例如，VR 和 AR 技术被用于创建虚拟环境，使观众能够身临其境地体验历史建筑的风貌^[9]。同时，无人机与遥感技术也被用于建筑遗产的监测与数据收集^[10]。然而，这些技术大多处于辅助地位，决策过程仍主要依赖专家的经验 and 判断。

近年来，随着 AI 技术的不断进步，其在建筑遗产传承领域的应用逐渐从技术支持转变为智能决策。其一，基于机器学习（Machine Learning, ML）和深度学习的算法能够分析大量历史数据，预测建筑遗产的健康状况和维护需求^[11]。例如，云冈石窟应用缪子成像技术探测石窟内部结构，结合 3D 缪子成像反演算法，实现石窟的 3D 成像与“体检”，为预防性保护提供了科学依据。其二，结合自然语言处理和知识图谱技术，构建建筑遗产的知识库，为保护与传承策略的制定提供科学依据^[12]。例如，以乡村聚落的自然环境和人文传统为基础的自组织 AI 模拟方法，可以为新

村建设提供本土文化传承的规划设计策略,有利于乡村特色文脉和风貌的保护^[13]。其三,应用深度学习算法对古建筑图像进行自动识别与分类,检测墙体开裂、漏水等病害,并提供修复建议,提高修复工作的效率和准确性^[14]。这些智能系统不仅能够处理复杂的数据,还能根据分析结果自动生成决策建议,从而极大地提高了决策的科学性和准确性。

(二) 流程的嬗变:从“人工为主”到“人机协同”

在早期阶段,建筑遗产的相关工作流程主要依赖人工操作。研究人员需要通过实地考察、手动测量、绘图等方式收集建筑遗产的相关数据,并依靠个人经验与专业知识进行分析与判断。这一过程不仅耗时费力,且容易受到主观因素的影响。

如今,建筑遗产传承的工作流程逐渐转变为人机协同模式。在这一阶段,AI技术能够辅助研究人员进行数据采集、处理与分析工作,大大提高了工作效率与数据准确性。例如,利用无人机与遥感技术进行快速测量与监测^[11],相关数据可以直接导入SketchUp等建筑设计常用软件,不仅可以快速精准建模^[15],还可以结合机器学习算法进行下一步的数据分析与预测^[12]。欧盟发布的报告《人工智能在文化遗产与博物馆场景中的复杂挑战和新机遇》指出,巴黎圣母院火灾后的虚拟重建,是融合AI、机器学习与测绘等技术完成的一个典型范例^[16]。我国成功研发出一项村落文化高保真实景3D重建及混合可视化引擎方案,该方案突破传统实景3D技术的局限,创新性地采用可微辐射场技术,仅凭手机、运动相机、无人机等便携式采集设备,即可快速生成超写实风格的乡村三维地图,显著提升了文化遗产数字化保护的效率和真实感^[17]。该方案还可以结合大场景增量加载、多

尺度融合渲染、混合可视化交互等技术,达成轻量化且深度沉浸的互动效果,最终展现一个自然逼真、虚实交融的数字村落全貌。不仅如此,智能系统还能够根据分析结果自动生成保护与传承策略建议,为研究人员提供决策支持。在这一过程中,AI技术与人类智慧相互补充、协同作用,共同推动建筑遗产传承事业的发展。

(三) 应用的嬗变:从“单一场景”到“全面覆盖”

初期,对AI的应用主要集中在单一场景,如数字化展示^[7]、监测与数据收集^[11]等。这些应用虽然在一定程度上提高了保护与传承的效率,但尚未形成全面覆盖的应用格局。

近年来,AI技术逐渐扩展到全面覆盖。内部结构的监测与评估方面,结合LOT技术的智能监测系统能够实现对建筑遗产内部环境的实时监测与调控^[18],而基于云计算的智能分析平台则能够处理海量数据,为保护与传承策略的制定提供有力支持^[19]。外部环境的保护与规划方面,AI技术也发挥着重要作用。例如,中国人民大学数字人文研究院推出的“基于文化数字化和生成式AI的城市记忆建构方案”依托深厚的历史文化资源考证及北京城市记忆专题数据库,整合地理信息系统(Geographic Information System, GIS)、数字建模技术以及VR、AR等前沿科技,生动再现了自公元前1046年至今,跨越3000余年的北京城市空间演变历程,构建了一部物理维度与时间维度交织的四维北京城市发展史诗^[20]。

三、人工智能为建筑遗产数字化展示提供的路径

通过上述分析可以发现,AI在建筑遗产数字化展示中的应用逐渐成为研究热点,不仅增强了公众对建筑遗产的感知和兴趣,还为传统建筑文化的传播与

普及提供了新的途径。

(一) 参数化设计

参数化设计是一种基于算法和数学模型的设计方法,通过将设计变量转化为参数,实现对建筑形态、结构和功能的灵活调整。通过参数化模型,可以对历史建筑的结构、材料和装饰细节进行精确建模和分析,从而为修复和保护提供科学依据。这种方法不仅提高了设计的灵活性,还能够更好地保留建筑的历史特征和文化价值^[21],更为设计师及利益相关者的沟通创造了便利条件。

目前,参数化设计在建筑遗产数字化展示中的应用已经涉及城市、街区、单体等各个层面。在城市层面,有学者通过Rhino等计算机辅助设计软件,对古代绘画中的城市环境进行参数化建模^[22]。在街区层面,已有研究通过形状方法的引入^[23],使数字化生成既符合场地形态特征、又符合我国传统建筑风水认知的四合院街区方案成为可能。在单体层面,参数化设计也有了多角度的应用。例如,通过参数化技术生成传统的抬梁式木作结构^[24];四合院的一系列视线特征也可以通过空间句法来推导(见图1)。又如,一款“AI旧房改造”的工具,可以通过分析建筑遗产的照片及用户提供的描述词,一键生成遗产建筑改造的方案效果图(见图2)。

(二) 沉浸式体验

沉浸式体验技术通过创建高度仿真的虚拟环境,使用户能够身临其境地感受建筑遗产的历史风貌和文化内涵^[25]。沉浸式体验技术的核心在于通过VR、AR和MR等技术,将用户置于一个高度仿真的虚拟环境中,从而实现与建筑遗产的深度互动(见图3)。AI在这一过程中的作用主要体现在三个方面。其一,内容生成与优化。利用生成对抗网络GAN技术和深度学习算法,AI可以生成高质量的虚拟建筑模型和历史场

景。例如, GAN 技术可以对建筑遗产的缺失部分进行虚拟重建, 生成逼真的纹理和细节, 增强用户体验的真实感^[26]。此外, 深度学习算法还可以对虚拟环境中的光照、材质等进行优化, 进一步提升视觉效果。其二, 交互性增强。AI 通过动作捕捉和自然语言处理技术, 实现用户与虚拟环境的自然交互。例如, 利用深度学习算法对用户手势和语音指令进行识别和处理^[27], 用户可以与虚拟角色或场景进行互动。其三, 个性化体验。基于用户数据和行为分析, 人工智能可以为不同用户提供个性化的沉浸式体验。例如, 通过分析用户的浏览历史和兴趣点, 系统可以动态调整虚拟环境中的内容展示, 为用户提供定制化的文化故事^[28]。

近年来, AI 助力建筑遗产的沉浸式体验主要应用于数字孪生与虚拟人物创建、沉浸式交互与数字化复原、裸眼 3D 与历史场景重现等领域。例如, 三星堆博物馆采用单目捕捉技术, 实现了游客真人驱动的数字形象交互, 无需穿戴设备即可精准捕捉面部及全身肢体动

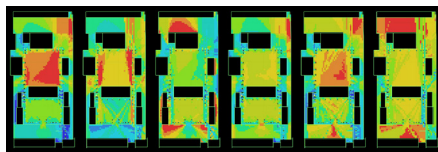


图 1 利用空间句法推导四合院的视线特征
图片来源: 西南交通大学王宇扬博士



图 2 “AI 旧房改造”工具应用实例
左: 改造效果图, 右: 原始底图;
底图来源: 作者自摄于西川邮政管理局楼



图 3 苏继贤旧居的 AR 展示
图片来源: 西华大学马利亚副教授

作, 提供了高级别的交互体验^[29]; 西安城墙利用 AI 生成诗歌, 结合西安城墙历史文化元素, 打造诗词大模型, 为游客提供了个性化的诗词体验^[30]; 张掖大佛寺创建了数字人虚拟 IP “党项公主云灼”, 通过 3D 扫描、数据矫正和深度学习技术, 复原了党项公主形象, 并提供了虚拟换装和互动体验^[31]; 保利艺术博物馆利用裸眼 3D 技术, 生动再现了圆明园兽首所在的海晏堂盛景, 通过真 3D、大角度的呈现方式还原了历史细节^[32]。

(三) 融媒体推广

融媒体推广在建筑遗产数字化展示中的应用, 是近年来文化遗产保护与传播领域的重要发展方向。通过结合多种数字技术, 如 VR、AR、3D 建模、多媒体交互等, 融媒体推广在提升建筑遗产展示效果方面具有增强体验感与参与度、突破物理限制、促进文化传播与教育、支持可持续发展等多重优势。

第一, 融媒体推广通过沉浸式体验和互动设计, 极大地增强了观众对建筑遗产的兴趣和参与感^[33]。例如, 通过虚拟漫游和互动游戏, 观众可以更深入地了解建筑的历史背景和文化价值。这种参与式体验不仅提升了公众的文化素养, 还促进了对文化遗产的保护意识。第二, 通过虚拟方式展示难以到达或保护条件苛刻的建筑遗产。例如, 通过视频映射投影和增强现实技术, 可以为观众提供虚拟参观体验, 从而克服了地理位置和物理条件的限制^[34]。第三, 通过数字化手段将建筑遗产的文化价值传播到全球各地^[35]。例如, 通过社交媒体平台和短视频内容, 可以将建筑遗产的精彩瞬间和背后故事迅速传播给大众。数字化展示还为教育提供了丰富的资源, 学生可以通过虚拟展览学习建筑的历史、艺术和技术特点。第四, 数字化技术有助于实现文化遗产的可持续保护。例如, 通过建立数字档案库

和知识图谱, 可以长期保存建筑遗产的详细信息, 并为未来的保护工作提供数据支持^[36]。

四、人工智能在建筑遗产数字化展示方面的挑战与趋势

(一) 挑战

随着 AI 技术的迅猛发展, 其在建筑遗产传承领域的应用不断拓展与深化, 为文化遗产的保护与传承提供了新的路径和方法。作为 AI 技术的重要分支, 沉浸式体验技术在建筑遗产展示与传播中展现出独特优势与广阔前景, 然而在实际推广与应用中仍面临诸多挑战。

1. 技术成本与普及性

由于投资成本较高, AI 技术在一些小型博物馆或偏远地区难以广泛应用。以设备为例, 高质量的 VR 设备和 3D 扫描设备不仅价格昂贵, 还对使用环境和操作人员的专业性提出了较高要求。这些设备通常需要专业的技术人员进行日常维护和操作, 进一步增加了使用门槛和成本^[37]。因此, 高昂的设备购置费用以及后续的维护和人员培训成本, 使得沉浸式体验技术在资源有限的地区难以快速普及。

2. 用户体验的优化

尽管当前的技术已经能够提供一定的沉浸式体验感受, 但在交互的自然性和流畅性以及画面的真实性方面仍有待提高。例如, 动作捕捉技术在复杂环境下的精度和延迟问题、部分画面过于粗糙等问题仍需解决。

3. 内容创作的可持续性

沉浸式体验内容的创作需要大量的时间和资源投入, 且需要跨学科、多行业团队的通力合作。如何解决内容创作的可持续性, 是未来需要解决的重要问题。

(二) 趋势

随着 AI 技术的不断进步和应用场景的持续拓展, 建筑遗产传承领域正迎来前所未有的发展机遇。

1. 数据融合与知识图谱的构建

未来,建筑遗产的数字化传承将更加注重多源异构数据的融合与知识图谱的构建。随着大数据技术的广泛应用,建筑遗产相关的各类数据(如历史文献、考古资料、3D扫描数据等)将得到更全面的收集与整合。AI技术,特别是深度学习算法,能够对这些复杂数据进行深度挖掘与分析,构建出详尽的建筑遗产知识图谱。这一图谱不仅能够全面展示建筑遗产的历史沿革、结构特征、文化内涵等信息,还能为保护与修复工作提供科学依据,推动建筑遗产研究的深入发展。

2. 智能化保护与修复

AI技术在建筑遗产保护与修复中的应用将不断深化,通过图像识别、3D重建等技术,AI能够精确识别建筑遗产的结构特征、材质纹理及破损状况,为修复工作提供精准指导。同时,结合LOT、传感器等技术,AI还能实现对建筑遗产健康状况的实时监测与预警,为预防性保护提供有力支持。未来,随着算法模型的不断优化和完善,智能化保护与修复将成为建筑遗产传承的重要手段。

3. 跨领域融合与创新应用

建筑遗产的数字化传承将更加注重跨领域融合与创新应用。一方面,AI技术将与建筑学、历史学、考古学等多个学科相结合,推动建筑遗产研究的深入发展。另一方面,建筑遗产的数字化成果将广泛应用于城市规划、旅游开发、文化创意等多个领域,形成多元化的应用场景。例如,通过AI技术生成的建筑遗产虚拟场景,可用于城市规划中的历史风貌保护、旅游开发中的虚拟导览等。

4. 可持续利用与社区参与

未来,建筑遗产的数字化传承将更加注重可持续利用与社区参与。通过AI技术的支持,建筑遗产将得到更有效的保护和利用,实现文化遗产的可持续发展。同时,建筑遗产的数字化传承还将

促进社区参与和公众教育,提高公众对文化遗产保护的意识和参与度。通过组织线上线下的互动活动、开展文化遗产教育课程等方式,建筑遗产将成为连接过去与未来、促进社区文化认同的重要纽带。

五、结语

在AI技术的飞速发展中,建筑遗产的传承与保护工作迎来了前所未有的机遇与挑战。AI技术结合3D扫描、图像识别、VR、AR等先进技术,构建了高度仿真的建筑遗产虚拟环境,使公众能够身临其境地感受历史建筑的风貌与文化内涵。这种沉浸式的展示方式不仅极大地增强了公众对建筑遗产的认知和兴趣,还为建筑文化的传播与教育提供了新的途径。特别是在数字孪生、虚拟人物创建、沉浸式交互等领域,AI技术正展现出巨大的应用潜力和广阔的市场前景。

尽管AI技术在建筑遗产数字化展示中取得了显著进展,但仍面临技术成本、用户体验优化、内容创作可持续性等诸多挑战。展望未来,随着AI技术的不断进步和应用场景的持续拓展,建筑遗产的数字化展示将更加注重个性化体验、跨领域融合与创新应用。通过不断优化算法模型、提升数据处理能力、丰富展示内容与形式,AI技术将为建筑遗产的数字化展示提供更加智能、高效、沉浸式的解决方案。

参考文献

- [1] 张献泽,潘文特.面向人工智能时代的建筑设计方法综述[J].新建筑,2024(5):67-72.
- [2] CAO R,FUKUDA T,YABUKI N. Quantifying visual environment by semantic segmentation using deep learning—A prototype for sky view factor[C]// Proceedings of The 24th International Conference on Computer-

Aided Architectural Design Research In Asia (CAADRIA): 卷 2. Victoria University of Wellington: Victoria University of Wellington, 2019: 623-632.

- [3] 腾讯研究院,腾讯SSV/数字文化,中国传媒大学文化产业管理学院.探寻中华文化数字生命力:中国文化遗产数字化研究报告2023-2024[R/OL].(2024-12-10)[2025-08-28].<https://mp.weixin.qq.com/s/rf3Oq3oEa2Xd4oAAN8cDew>.
- [4] 章泉丰.数字技术在建筑遗产保护领域的应用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023(32):87-89.
- [5] 李爱群,侯妙乐,董友强,等.建筑遗产大数据的构建探索[J].自然与文化遗产研究,2020,5(4):27-36.
- [6] HERR C M, KVAN T. Adapting cellular automata to support the architectural design process[J]. Automation In Construction, 2007(16):61-69.
- [7] GAO L ,WU Y Q,YANG T, et al. Research on image classification and retrieval using deep learning with attention mechanism on diaspora Chinese architectural heritage in Jiangmen, China[J]. Buildings,2023,13(8):1-19.
- [8] CICEK S,TURHAN G D,TASER A. Deterioration of pre-war and rehabilitation of post-war urban landscapes using generative adversarial networks[J]. International Journal of Architectural Computing. 2023(21):695-711.
- [9] FAZIO S,TURNER J. Bringing empty rooms to life for casual visitors using an AR adventure game: Skullduggery at old government house[J]. ACM Journal on Computing and Cultural Heritage, 2020, 13(4): 26.
- [10] RUA H,ALVITO P. Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage - The case-study of the Roman villa of Casal de Freiria[J]. Journal of Archaeological Science, 2011,

38(12): 3296–3308.

[11] YU T, LIN C, ZHANG S, et al. Artificial intelligence for Dunhuang cultural heritage protection: the project and the dataset[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2022, 130(11): 2646–2673.

[12] DUGULEANA M, BRICIU V A, DUDUMAN I A, et al. A virtual assistant for natural interactions in museums[J]. *Sustainability*, 2020, 12(17): 6958.

[13] 李欣. 传统乡村聚落的人工智能生成模拟研究: 以湖南通道侗族聚落为例 [D]. 天津: 天津大学, 2019:21–33.

[14] 李玉婷, 吴琪, 刘佳鑫, 等. 深度学习和三维重建在古建筑表面损伤检测中的运用 [N]. *山西科技报*, 2025–06–16(A07).

[15] 张然. SketchUp 与天宝软硬件 BIM 数字化及 AI- 改变世界的工作方式 [R]. 成都: 天宝公司, 2024:10–13.

[16] 陈越, 程世卓, 陈征, 等. 传统与数字共力下的巴黎圣母院灾后修复技术研究 [J]. *城市建筑*, 2024, 21(13):65–68.

[17] 范小菊. 古村落数字化保护探究 [J]. *现代经济信息*, 2016(11):430–431.

[18] VAN HEES R, NALDINI S, LUBELLI B. The development of MDDS-COMPASS compatibility of plasters with salt loaded substrates[J]. *Construction and Building Materials*, 2009, 23(5):1719–1730.

[19] ESPINA-ROMERO L, GUERRERO-ALCEDO J. Fields touched by digitalization: analysis of scientific activity in Scopus[J]. *Sustainability*, 2022, 14(21): Article 14425.

[20] 冯惠玲, 祁天娇. 数字化驱动中华优秀传统文化创造性转化创新性发展: 以“北京记忆”数字展陈出海为例 [N]. *中国档案报*, 2024–12–26(4).

[21] SEGEUR-VILLANUEVA S, CAICEDO-LLANO N, ZZRCONER, et al. Parametric integration of multiple criteria from a cultural heritage perspective[J]. *Applied Sciences*, 13(16): Article 9195.

[22] DING D, YU X, WANG Z. The evolution of the living environment in Suzhou in the Ming and Qing dynasties based on historical paintings[J]. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, 2021, 14(2): Article 20.

[23] WANG Y Y, CROMPTON A, AGKATHIDIS A. The Hutong neighbourhood grammar: a procedural modelling approach to unravel the rationale of historical Beijing urban structure[J]. *Frontiers of Architectural Research*, 2023, 12(3):458–476.

[24] WANG Y Y, LI X W. The AI's cognition of the cultural characteristics underlying Chinese courtyard dwelling a visual perception-based approach for Siheyuan plan classification using machine learning and convolutional neural networks[C]. *The 42nd Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, 2024: 643–652.

[25] 陈慧霞. 数字文旅时代博物馆沉浸式体验设计研究: 以扬州中国大运河博物馆为例 [J]. *文物鉴定与鉴赏*, 2022(13):46–49.

[26] 蒙胜宇, 许心慧. 基于生成对抗网络的建筑平面图像生成及其隐空间探索 [J]. *中国建筑装饰装修*, 2022(12):87–92.

[27] 刘仁助. 基于深度学习的虚拟现实场景生成算法研究 [J]. *信息记录材料*, 2024, 25(4):153–155.

[28] 宋荣华. 人工智能在数字媒体内容生成与个性化推荐中的应用 [J]. *电脑知识与技术*, 2025, 21(21):101–103.

[29] 夏梦雪, 吕逸飞. 数字时代文物虚拟展示实践研究: 以三星堆文物为例 [J]. *东方收藏*, 2023(3):116–119.

[30] 张欢. 古遗址文化的现代化传播: 以西安城墙泛文化为例 [J]. *科技传播*, 2019, 11(10):172–173.

[31] 朱旭东. 张掖大佛寺文物研究所: “云灼公主”火爆全网成为数字IP顶流 [EB/OL] (2024–04–23)[2025–08–28]. <https://mp.weixin.qq.com/s/hHwN46gneQBVWCRgZZ7EpQ>.

s/hHwN46gneQBVWCRgZZ7EpQ.

[32] 腾讯研究院. 腾讯探元计划场景共建成果 (四): “真”3D 技术打开保利艺术博物馆通往圆明园的“任意门”. [EB/OL] (2024–07–23)[2025–08–28]. https://it.sohu.com/a/795474261_455313.

[33] CRISAN A, PEPE M, COSTANTINO D, et al. From 3D point cloud to an intelligent model set for cultural heritage conservation heritage[J]. *Heritage*, 2024, 7(3):1419–1437.

[34] 王晓煜, 杨丽. 数字重构技术在文化遗产保护与传播中的应用研究: 以数字敦煌为例 [J]. *信息与电脑 (理论版)*, 2018(20):157–159.

[35] 杨扬. 融媒体语境下博物馆文化传播路径新探: 以河南博物院为例 [J]. *新闻爱好者*, 2024(5):77–79.

[36] 邵晓霞, 高子怡. 重塑与建构: 融媒体环境下石窟文化遗产的价值传播 [J]. *西部文艺研究*, 2024(4):216–223.

[37] 陈彦颖, 王天阳. 虚拟现实技术介入艺术治疗研究 [J]. *创意设计源*, 2024(5):64–68.