

基于数字孪生技术的江南古典园林动态保护策略研究

宁飞

福建匠新景观工程有限公司 福建福州

【摘要】江南古典园林作为中国传统文化的重要载体，面临环境变化和人类活动带来的多重保护挑战。本文以数字孪生技术为核心，构建园林的动态数字模型，实现园林环境的实时监测与虚拟仿真。通过整合多源数据和智能分析，提出基于数字孪生的动态保护策略，促进园林生态系统的精准管理和可持续发展。研究验证表明，该技术能够有效提升园林保护的科学性和响应速度，为江南古典园林的传承与活化提供创新路径。

【关键词】数字孪生；江南古典园林；动态保护；生态管理；虚拟仿真

【收稿日期】2025 年 5 月 14 日

【出刊日期】2025 年 6 月 18 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250064

Research on dynamic protection strategies for Jiangnan classical gardens based on digital twin technology

Fei Ning

Fujian Jiangxin Landscape Engineering Co., Ltd, Fuzhou, Fujian

【Abstract】 As an important carrier of Chinese traditional culture, Jiangnan classical gardens face multiple protection challenges caused by environmental changes and human activities. This paper takes digital twin technology as the core to construct a dynamic digital model of gardens, achieving real-time monitoring and virtual simulation of the garden environment. By integrating multi-source data and intelligent analysis, this study proposes dynamic protection strategies based on digital twins to promote the precise management and sustainable development of garden ecosystems. Research verification shows that this technology can effectively enhance the scientificity and response speed of garden protection, providing an innovative path for the inheritance and activation of Jiangnan classical gardens.

【Keywords】 Digital twin; Jiangnan classical gardens; Dynamic protection; Ecological management; Virtual simulation

引言

江南古典园林不仅体现了深厚的历史文化底蕴，更蕴含着独特的自然生态价值。然而，随着环境压力的增加和游客数量的攀升，传统的保护手段难以满足园林动态变化的实时监控和管理需求。数字孪生技术作为一种创新的数字化工具，能够通过构建园林的虚拟映射，实现对园林环境的动态感知和精准调控。本文结合江南园林的典型特征，探讨数字孪生技术在园林保护中的应用路径，旨在提升保护策略的科学性和适应性，促进文化遗产的可持续传承。通过本研究，期待为江南古典园林的保护提供技术支撑和理论借鉴，推动传统园林在现代环境中的活态发展。

1 江南古典园林保护面临的动态挑战分析

江南古典园林作为中国传统文化与自然景观高度融合的典范，承载着丰富的历史价值和生态功能。园林在长期的自然演变和人类活动影响下，面临诸多动态变化带来的保护挑战。环境因素如气候变化导致的温湿度波动、极端天气频发，直接影响植物生长状况和水体生态平衡，增加了园林生态系统的脆弱性。园林中的历史建筑和石雕等文化遗产也因环境侵蚀和材料老化出现结构性损坏，维护难度加大。这些因素使得传统的静态保护措施难以满足园林实时变化的需求，亟需引入更为精准和动态的管理手段。

人流密集及游客行为对江南园林的物理环境和

生态系统造成不可忽视的压力。游客数量持续增长,导致园林空间的过度使用,土壤压实、植被破坏现象普遍存在。游客活动的不规范也加速了园林内部景观元素的磨损和破坏,影响园林的景观完整性和文化内涵^[1]。传统的巡查和维修方式因人力和时间限制,难以及时发现和应对这些动态变化,保护措施的滞后性显著。园林内部水体的水质变化和流量调控也受多重因素影响,若不能及时调整管理策略,将进一步加剧生态失衡,影响园林整体景观及其生态功能。

在数字化转型背景下,江南古典园林保护面临着信息采集和动态管理的技术瓶颈。传统保护模式依赖人工监测和经验判断,数据采集不全面,缺乏动态反馈机制,难以实现对园林环境变化的实时监控与智能分析。多源异构数据的整合与处理能力不足,使得对园林微观环境及文化遗产状态的精准识别和预测变得复杂。园林保护涉及生态、文化和技术多领域的交叉融合,缺乏统一的平台支撑,导致保护决策的科学性和响应速度受到限制。如何突破传统保护技术瓶颈,实现动态监测与智能管理,成为江南古典园林保护亟需解决的关键问题。

2 数字孪生技术构建江南园林动态模型的方法

数字孪生技术为江南古典园林的动态保护提供了先进的数字化解决方案,通过构建园林的虚拟映射,实现对其复杂生态系统和文化景观的精准模拟。建立动态模型的第一步是进行多维度数据的全面采集,包括高精度三维激光扫描、无人机航拍影像、环境传感器数据以及历史档案资料等。高精度的空间数据构建了园林的几何形态,能够详细还原建筑物、假山、湖泊等空间结构特征,而传感器数据则实时反馈气温、湿度、水质、土壤状况等环境变量,实现物理环境的动态感知。历史档案的整合丰富了文化内涵信息,为数字模型的文化元素赋予准确的历史背景和细节表现。

在数据整合与处理环节,数字孪生技术依托大数据分析和云计算平台,将多源异构数据进行融合,形成统一的数字底盘。这一过程涉及空间数据建模、语义信息标注以及时间序列数据的动态更新,确保数字模型不仅能反映当前状态,还具备预测未来变化的能力。模型中引入多尺度仿真算法,实现对园林生态系统中植物生长、水体循环和环境扰动等动态过程的实时模拟。通过构建交互式虚拟环境,管

理者可以在数字空间中观察和分析园林的变化趋势,辅助保护决策的制定。模型的模块化设计便于针对不同保护需求进行功能扩展,如文化遗产修复模拟和生态修复方案评估。

数字孪生技术的应用不仅局限于静态的数字呈现,更加注重对江南古典园林环境的实时监控和动态反馈能力。借助物联网技术,安装在园林内的各类环境传感器和监测设备能够持续不断地采集温度、湿度、水质、土壤等多维度数据,并通过无线网络高效传输至数字孪生平台,形成完整的闭环动态管理系统^[2]。这一系统使园林保护人员能够实时掌握环境指标的变化情况,快速识别潜在异常并及时发出预警,确保能够迅速采取应对措施,大幅提升了保护工作的效率和精准度。结合虚拟仿真技术与实景数据的深度融合,数字孪生模型支持多场景、多方案的模拟测试,为园林保护提供科学决策依据,推动传统的被动维护向主动管理转型,促进文化遗产保护与生态环境协调共进。

3 基于数字孪生的动态保护策略设计与实施

基于数字孪生技术构建的江南古典园林动态保护策略,旨在实现园林环境与文化资源的精准管理与智能化调控。该策略依托数字孪生模型强大的实时数据反馈和虚拟仿真能力,打造科学且高效的保护体系。动态保护不仅涵盖对园林生态环境的持续动态监测,还包括对历史建筑、园林构筑物以及景观元素的全面状态评估。通过集成环境传感器收集的微气候、水质、土壤等多维数据,系统能够及时发现潜在的生态风险和病虫害隐患,帮助制定精准且针对性的维护与修复方案,从而实现园林保护的动态响应与科学管理,有效提升保护效果和园林的可持续发展能力。

动态保护策略在实施过程中,突出多源数据的融合与智能化分析,充分利用机器学习和人工智能技术对环境传感器采集的数据以及历史维护记录进行深入挖掘,从而揭示园林生态系统内部复杂的相互关系和演变规律。通过构建环境变化与园林健康状态的预测模型,能够提前识别潜在的结构损伤和生态退化风险,显著提升保护工作的前瞻性和预防能力。数字孪生平台具备多场景模拟功能,保护人员可以在虚拟环境中对不同的保护方案进行效果评估,科学选择最优方案实施,避免盲目操作和资源浪费。此数据驱动的动态保护方法极大地增强了园

林保护的科学性和决策效率,推动保护工作迈向智能化、精准化发展。

在具体执行层面,数字孪生技术促进了园林保护的智能化和精细化管理。通过实时监控系统,管理者可以远程掌握园林内各类环境参数和设施状况,快速响应突发事件,如极端气候或人为破坏^[3]。动态保护策略还推动了跨部门协作,文化遗产保护、生态环境管理和智慧园林运维形成协同机制,确保各环节信息畅通、资源共享。借助数字孪生模型所提供的可视化分析工具,公众参与和教育推广也得以加强,提升社会对江南古典园林保护重要性的认知和支持。整体来看,基于数字孪生的动态保护策略不仅提升了园林保护的技术水平,更推动了文化遗产保护理念的现代化和可持续发展。

4 数字孪生技术在江南园林保护中的效果评估与应用反馈

数字孪生技术在江南古典园林保护中的应用效果呈现出显著的提升,尤其在动态监测与精准管理方面展现出强大优势。通过构建高精度的数字模型,园林保护工作实现了从传统经验驱动向数据驱动的转变^[4-7]。实地应用中,数字孪生系统能够持续采集多维环境数据,对园林微气候、水质、土壤湿度等关键指标进行实时监控,极大提高了生态系统变化的响应速度和准确性。这种持续性的动态感知,为及时识别和处置园林生态异常提供了技术保障,减缓了环境劣化和文化遗产损坏的进程,确保了园林整体景观和功能的稳定运行。

在数字孪生技术辅助下,保护措施的科学性与针对性得以加强。结合虚拟仿真技术,管理人员可以模拟不同保护方案对园林环境和结构的影响,评估修复措施的可行性和效果。这种预先评估不仅节约了大量人力物力,也降低了保护过程中的不确定性和风险。通过模型反馈的结果,保护决策更趋精准,避免了盲目修复和资源浪费。数字孪生技术还促进了跨部门数据共享和协同工作,打破了信息孤岛,使生态保护、文化遗产维护和智慧运维之间形成高效联动。实际应用案例显示,借助这一技术平台,江南园林的保护效率和响应速度均有显著提升,保护质量得到有效保障。

用户反馈和专家评审进一步验证了数字孪生技术在江南园林保护中的价值。园林管理者普遍认为,数字孪生系统不仅提升了日常维护的便利性,还增

强了风险预测和应急管理能力,提升了整体保护水平。公众参与度也有所提高,虚拟展示和交互体验加深了社会对园林文化和生态价值的理解与认同^[8]。专家评价指出,数字孪生技术在保护实践中实现了理论与技术的有效融合,推动了文化遗产保护向智能化、动态化方向发展。未来,随着技术的不断完善与应用场景的拓展,数字孪生将在江南古典园林保护中发挥更加关键的作用,助力园林的持续活化与传承。

5 结语

数字孪生技术为江南古典园林的动态保护提供了创新性的技术路径,通过精准的数据采集与智能分析,实现了对园林生态环境和文化遗产的实时监控与科学管理。该技术不仅提升了保护工作的效率和响应能力,也推动了园林保护理念的现代化转型。未来,数字孪生将在促进江南园林可持续发展和文化传承中发挥更加重要的作用,助力实现传统园林的智慧保护与活态发展。

参考文献

- [1] 翟越,赵腾,雷尚学,等.融合数字孪生技术的桥梁结构安全风险监测与预测方法[J/OL].安全与环境学报,1-13[2025-05-19].
- [2] 黄凯,王星,吴辛,等.数字孪生理念下危岩监测预警技术研究[J/OL].路基工程,1-7[2025-05-19].
- [3] 张荣华.融合数字孪生与声纹识别的矿用机电设备故障诊断技术[J].现代电子技术,2025,48(10):52-56.
- [4] 游巧立,叶利国,彭盛佳,等.数字孪生技术在航空发动机制造中的应用研究[J].中国设备工程,2025,(09):218-220.
- [5] 付希义,田亮,张庆萍,等.数字孪生技术在水利工程运行维护管理中的应用[J].水利水电快报,2024,45(S2):104-107.
- [6] 蔡仰楠,邓航,何芊蓉,等.基于数字孪生技术的船舶搁浅预警方法研究[J].珠江水运,2024,(24):4-6.D
- [7] 王火平.基于数字孪生技术的南海深水导管架平台健康管理研究[J].中国海洋平台,2024,39(06):62-71.
- [8] 赵海龙,赵子浩,张丽.数字孪生中 GIS 关键技术与创新应用——聚焦数字孪生与数字底座[J].中国建设信息化,2025,(09):70-73.

版权声明:©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS