

Application of Digital Technology in Preventive Protection of Immovable Cultural Relics

Hui Li

Lanxi City Cultural Relics Protection and Management Office, Lanxi, Zhejiang, 321100, China

Abstract

Immovable cultural relics serve as vital physical carriers of historical and cultural information. Their preservation is susceptible to both natural and human factors, making preventive conservation—a practice of “prevention before occurrence”—a critical focus in their protection. In the digital age, digital technologies, with their precision, intelligence, and visualization capabilities, provide robust technical support for preventive conservation. This article examines the practical applications of digital tools—including 3D laser scanning, IoT, big data, and AI—in monitoring relics, managing environments, issuing risk alerts, and guiding conservation decisions, based on the actual needs of preventive conservation. The findings aim to offer reliable references for professionals in the field.

Keywords

Digital technology; Immovable cultural relics; Preventive protection

数字化技术在不可移动文物预防性保护中的应用

李慧

兰溪市文物保护管理所, 中国·浙江 兰溪 321100

摘要

不可移动文物是记载历史文化信息的重要物质载体,其保护工作容易受到自然因素、人为因素的影响,预防性保护强调践行“防范未然”的工作观念,也是不可移动文物保护工作的重要课题。在数字化时代下,数字化技术凭借自身的精准化、智能化、可视化优势,也为不可移动文物预防性工作提供技术支持。文章将根据不可移动文物预防性保护的实践要求,探索三维激光扫描技术、物联网技术、大数据技术、人工智能技术等数字化手段在文物本体监控、环境管理、风险警告、保护决策中的实践应用,为不可移动文物预防性保护工作者提供可靠的参考依据。

关键词

数字化技术; 不可移动文物; 预防性保护

1 引言

不可移动文物作为中华文明传承与发展的物质基础,有显著的不可再生性、不可替代性特点。随着外部环境持续改变,不可移动文物也受到风化、腐蚀、沉降、开裂等病害影响。过去抢救性保护工作通常在文物受到威胁后才实施干预,无法从源头解决文物病害问题。预防性保护重视对文物储存环境的监管、文物本体状态跟踪,能够及时发现外部风险,实施有效的防范对策,以免文物受到病害威胁。当前,数字化技术的推广与应用范围持续扩展,为不可移动文物预防性保护工作提供重要的技术支持,借助先进的数字化技术,能够解决传统保护工作的信息获取落后、数据处理效率低等实际问题,提高不可移动文物保护工作效能。

2 不可移动文物预防性保护的实践要求

不可移动文物预防性保护工作目标是保持文物本体状态稳定^[1],推迟减缓自然因素与人文因素对文物带来的威胁,其本质需求展现于以下几点:(1)精准监控,需要全面掌握不可移动文物本体的物理状态、附近环境参数,为风险识别提供精准的数据支持;(2)风险预警,根据数据监控情况,创建风险预估模型,以便第一时间发现潜在病害问题,提前传送预警信息,为应急处理工作开展争取更多时间;(3)科学决策,通过全面分析文物监控数据,找寻病害形成根本原因,掌握病害发展规律,为保护措施的制定提供可靠依据,减少外部因素对文物带来的影响。

除此之外,不可移动文物保护还要重视文化传承与大众教育,对不可移动文物保护的过程与成果数字化展现、信息共享共用也提出明确工作要求。这些要求相互关联,形成完整的不可移动文物预防性保护体系,而数字化技术的应用也为满足以上要求提供解决新思路。

【作者简介】李慧(1986—),女,中国山东新泰人,本科,馆员,从事文物保护研究。

3 不可移动文物保护工作数字化技术支持逻辑

数字化技术离不开数据支持,通过数据收集、数据分析、数据应用,为不可移动文物保护预防性工作提供全过程导向。在数据收集环节,工作者要借助各种传感系统、激光扫描技术,对文物本体与外部环境进行全面数据采集^[2],以便解决传统监控系统数据不全、精准度低下的问题;在数据分析环节,工作者使用大数据技术、人工智能技术,对多源异构数据实施清洗、整合与处理,深度剖析隐藏在数据中的逻辑关系,将“数据”转变成可用“信息”;在数据应用环节,工作者使用可视化、智能化决策系统,把分析结果应用到风险预估、环境控制、方案制定等环节,借助数字化系统,实现数据共享共用,向社会进行传播,做好文物保护与传承工作。此种技术逻辑思维,和不可移动文物保护预防性保护工作的监管需求、预警需求、决策需求相一致,使数字化技术成为促进不可移动文物保护预防性工作高效开展的重要引擎。

4 数字化技术在不可移动文物保护中的实践应用

4.1 三维激光扫描技术的应用

三维激光扫描技术在不可移动文物保护预防性保护工作中应用,主要通过发射激光束,全面收集文物表面信息,使工作者知晓不可移动文物的三维坐标、纹理信息,以便创建精度较高的三维数字化模型^[4],为文物本体保护提供可靠的数据支持,三维激光扫描技术的应用主要在不可移动文物建档与监控工作中体现。

在数字化建档过程中,由于不可移动文物体量比较大,结构相对复杂,常规的监测技术无法获取文物的重要空间信息。三维激光扫描技术支持非接触性测量,以免给不可移动文物带来二次威胁,且测量精准度比较高,可将文物的建筑结构、雕刻细节、病害分布特点等数据完整记录。以敦煌莫高窟文物保护为例,工作者借助三维激光扫描技术对洞窟中的壁画、彩塑实施全面扫描,建立三维数字模型,使壁画的色彩、线条等重要信息完整获得,还为后续文物病害分析、修复治理工作提供可靠的数据支持。

在本体状态监控方面,工作者对不可移动文物实施定期三维扫描,以便比较各个阶段三维模型,可及时发现文物本体的开裂宽度增加值、结构沉降值、风化面积扩大值等细微改变。例如,在山西云冈石窟预防性保护工作中,工作者借助三维激光扫描技术,定期扫描石窟造像,利用模型对比功能,工作者及时发现一部分造像出现的细小裂缝扩大现象,且结合环境数据,探索文物裂隙和温度、湿度的关联性,为制定预防性加护方案提供关键数据。相较于常规人为测量方式,三维激光扫描技术的合理影响,能够提高不可移动文物保护预防性保护监测的精准度,工作者通过全面评估不可移动文物的整体状况,可以弥补局部文物监测的不足。

4.2 物联网技术的应用

物联网技术是将各种传感装置、数据传输装置、智能终端相互连接形成网络,在不可移动文物保护预防性保护工作中,工作者运用物联网技术,能够实时采集、传送、分析文物附近环境数据,这也是预防性保护工作的核心技术支持,实现环境监控与智能调控。在环境参数监控方面,不可移动文物保护预防性保护工作者借助物联网系统,将温湿度传感装置、光照传感装置、气体传感装置、降水传感装置、振动传感装置相互集成,实现对不可移动文物储存微环境与宏观环境的全面监管。例如,对于古建筑进行文物保护预防性保护,工作者可以把温湿度传感装置安装在古建筑的各个部位,以便全面收集各个部位温湿度变化数据,进一步探索温湿度分布差异性以及对木材、砖瓦等建筑材料影响情况;对石窟寺进行文物保护预防性保护,工作者可借助气体传感装置,密切监测石窟内部和外部空气质量差异,客观评估污染物对石窟造像、壁画的腐蚀影响;在古遗址文物保护预防性保护工作中,工作者借助振动传感装置,对附近工程建设形成的振动进行监测分析,以免外部振动对遗址结构带来不利影响^[5]。

以上传感装置和手机的数据信息通过无线通信系统实现不间断传送,真正实现数据信息的同步更新、同步共享。相较于过去不可移动文物人工定时监测模式,物联网技术的应用支持“全天候”“全面化”监控,有效避免传统监控系统数据传输滞后、采样点固定有限的问题。例如,在敦煌莫高窟推出的“数字敦煌”项目中,借助物联网技术,创建环境监测系统,将传感装置安装于每个洞窟之中,实现对洞窟内温度、湿度、光照、二氧化碳浓度等参数全面监测,监测数据直接上传至中心系统,工作者在终端便可掌握洞窟的环境状况,为开展预防性保护工作提供重要的环境调控依据。

在环境智能调控方面,不可移动文物保护预防性保护工作者借助物联网,全面采集各项数据,且依照文物保护环境标准,利用智能监控装置,能够自动控制文物储存环境。例如,在古建筑内部,一旦温湿度传感装置监测发现湿度超出标准,便可启动智能调控系统,自动开启除湿装置;一旦光照传感装置监测发现光照强度过大,智能调控系统便可监测洞窟内外空气质量,通过空气质量差异对比,自动设置通风量,减少洞窟内污染浓度。此种监控与调节的闭环系统装置,能够对不可移动文物环境进行合理调节,以免受人为调控主观因素的影响,使文物保护环境安全稳定。例如,在兵马俑文物保护预防性保护工作中,工作者借助物联网技术,研发智能环境调控系统,实现对展厅内温度、湿度、光照、污染物浓度等环境参数监控,自动开启空调、除湿设备、新风系统等,使展厅环境始终在不可移动文物储存范围之内,推迟兵马俑风化速度、腐蚀速度,保证文物的完整性^[6]。

4.3 大数据与人工智能技术的应用

在数字化时代背景下,不可移动文物保护工作获得大量健康数据支持,人工智能技术、大数据技术等手段通过深

层分析数据信息,能够提高不可移动文物风险预估的精准性,使预防性保护决策更加科学有效。

4.3.1 建立风险预估系统

对于不可移动文物预防性保护工作,常规风险预估完全以工作者经验判断为主,容易受工作者主观意识影响,使风险预估工作效率下降。人工智能技术利用机器学习算法,对历史数据实施训练模拟,创建文物病害风险预估模型,以便及时发现潜在风险危机,做好预防性保护工作。例如,对于古建筑木材腐朽问题,工作者系统采集历史上各个温度、湿度、木材类型、通风条件下的木材腐朽数据信息,通过决策树等算法模拟训练,使模型依照不同的监测环境与木材状态数据,客观评估木材腐朽风险级别,一旦风险达到相应标准,可及时向工作者传送警示信息。

在石窟寺壁画风险预估中,文物预防性保护工作者要根据壁画的开裂程度、起甲数据、褪色情况,并结合湿度、温度、光照、污染物等环境数据,利用深度学习算法,建立风险危害预估模型,以便科学预测各个环境下壁画病害发展形势,为开展文物预防性工作提供可靠依据。以敦煌莫高窟为例,不可移动文物预防性保护工作者借助大数据技术,全面分析莫高窟壁画的病害数据、环境信息,及时发现壁画起甲问题和洞窟湿度变化有一定联系,通过建立风险预估模型,可在湿度达到设定标准时发送预警信息,工作者及时改善环境湿度,使病害问题得到有效控制。

除此之外,大数据技术还能探索多因素相关性,帮助不可移动文物预防性工作者准确识别不同风险因素的相互关系。有关研究指出^[4],古遗址沉降和降水、附近地下水开采、土壤结构改变因素有关。为此,不可移动文物预防性工作者借助大数据技术,能够分析不同因素对沉降的影响权重,为制定可行的预防性风险防控方案提供指导建议。

4.3.2 重视保护决策支持

在不可移动文物保护决策方面,人工智能技术的有效运用,需结合大量数据,为预防性保护工作方案的制定提供关键依据,解决过去工作决策依赖经验的弊端问题。在古建筑修缮决策方案制定中,文物预防性保护工作者全面分析历史修缮案例、古建筑结构信息、材料性能数据,借助人工智

能系统,能够为其提供最佳的修缮材料与修缮技术。例如,不可移动文物预防性保护工作者可借助人工智能技术,研发决策支持系统,以便将历史数据、监测数据、材料数据库进行整合,一旦发现相同病害,系统便可第一时间查找相关案例,提供最佳保护方案,并对保护效果进行科学评估。

在文物保护方案优化改进方面,大数据技术的应用,能够评估不同保护方案的应用效果。对于石窟寺防风化保护工作,工作者可运用数值模拟技术,对各种风化材料、不同建设方式进行分析,进而评估石窟造像保护工作实施成效,利用环境数据科学预测保护效果,选取最佳保护方案。除此之外,大数据技术还可确保资源合理配置,工作者对不同不可移动文物的风险等级、保护需求进行全面分析,可为其配备相关的监测设备,提供资金知识,使不可移动文物预防性工作效率进一步提升。

5 结语

综上所述,在数字化时代背景下,数字化技术的推广应用,为不可移动文物预防性保护工作提供重要技术支持,工作者可借助三维激光扫描技术、物联网技术等手段,提高文物本体监测精准化水平、环境调节智能化水平,帮助工作者及时发现外部风险危机,提高保护决策的科学性与有效性,使不可移动文物预防性保护工作效率进一步提升。

参考文献

- [1] 李向东,吴崇可.强降雨环境下文物受灾情况调查评估及预防性保护措施——以河南“720”特大暴雨灾害为例[J].中国文化遗产,2023(1):91-98.
- [2] 赵超辉,万金红.极端暴雨下不可移动文物脆弱性分析——以河南“7·20”暴雨为例[J].防灾减灾工程学报,2024,44(2):283-292.
- [3] 羊怀霞.数字化技术赋能墓室砖壁画保护和展示利用初探[J].文物鉴定与鉴赏,2025,302(11):30-33.
- [4] 崔扬,赵子潇,位周杰.不可移动文物预防性保护的重要性与实施策略[J].文苑,2023,(25):88-90
- [5] 夏智勇.数字化技术在不可移动文物保护中的应用[J].文物鉴定与鉴赏,2024(16):48-51.
- [6] 郭倩如,梅建军,潜伟.不可移动文物保护技术与法律的双重维系[J].中国文物科学研究,2015(3):5.