

# 数字孪生技术在博物馆安防系统中的应用与安全防护升级路径

崔震宇

上海博物馆

DOI:10.32629/etd.v6i11.17512

**[摘要]** 数字孪生技术凭借实时映射、智能预警等特性,为博物馆安防系统升级提供新路径。其核心应用涵盖文物安全监测、人员流动管控、设备联动运维等场景,通过数据融合、风险预判、应急响应等升级路径,打破传统安防数据割裂、预警滞后等局限,构建“主动防控、智能协同”的一体化安防体系,有效提升文物保护与人员管理效能,助力博物馆安防从被动处置向智能防控转型。

**[关键词]** 数字孪生技术; 博物馆安防系统; 安全防护; 实时映射; 智能预警

**中图分类号:** G264.2 **文献标识码:** A

## Application of Digital Twin Technology in Museum Security Systems and Pathways for Security Enhancement

Zhenyu Cui

Shanghai Museum

**[Abstract]** Leveraging its characteristics of real-time mapping and intelligent early warning, digital twin technology provides a new pathway for upgrading museum security systems. Its core applications encompass scenarios such as cultural relic safety monitoring, personnel flow management, and coordinated equipment operation and maintenance. Through pathways including data integration, risk prediction, and emergency response, this technology overcomes the limitations of traditional security systems, such as fragmented data and delayed warnings, to construct an integrated security system characterized by "proactive prevention and intelligent coordination." This effectively enhances the efficiency of cultural relic protection and personnel management, facilitating the transformation of museum security from passive response to intelligent prevention and control.

**[Key words]** Digital Twin Technology; Museum Security System; Security Protection; Real-Time Mapping; Intelligent Early Warning

### 引言

博物馆作为文物保护与公众服务的重要载体,传统安防系统依赖孤立设备,存在响应被动、管控低效等问题,难以适配复杂安防需求。数字孪生技术通过构建物理空间与数字场景的精准映射,可实现安防数据互通、风险提前预判与应急高效处置。本文围绕该技术应用基础、核心场景及升级路径展开分析,为博物馆安防智能化升级提供实践参考。

#### 1 数字孪生技术应用于博物馆安防系统的基础条件

数字孪生技术应用于博物馆安防系统,需依托数据采集、模型构建、算力支撑三大协同作用的基础条件。数据采集需覆盖博物馆全维度信息,通过物联网传感器、高清摄像头、RFID等设备,实时采集空间结构(建筑布局、展厅分区)、设备状态(监控、探测器、门禁运行参数)、环境感知(温湿度、光照)及人员流动(游客动线、工作人员位置)数据,确保数字与物理空间信息同

步;模型构建需打造高保真数字孪生体,不仅还原建筑几何形态,还需映射安防设备联动关系、文物摆放与保护要求,具备动态更新与多维度数据叠加能力,形成“空间-设备-文物-人员”关联的数字场景;算力支撑则依赖边缘计算与云计算结合的架构,边缘计算处理红外报警、人员闯入等实时性数据以保障响应速度,云计算承担海量数据存储、历史回溯与复杂场景仿真,为安防策略优化提供算力保障,三者共同为技术落地奠定基础<sup>[1]</sup>。

#### 2 数字孪生技术在博物馆安防系统中的核心应用场景

##### 2.1 文物安全实时监测与异常预警

文物安全是博物馆安防的核心目标,数字孪生技术可实现文物全生命周期的精准监测。通过在文物展柜、存储柜安装微型传感器,采集文物周边的温湿度、振动、光照等环境数据,并实时映射到数字孪生模型中,当环境参数超出安全阈值(如湿度

过高导致文物霉变风险、振动强度超标可能引发文物损坏),模型可自动标记异常区域,触发预警信号,同时推送至工作人员终端,提示及时干预。对于珍贵文物,模型可模拟环境变化预判风险;一旦发生位移或展柜异常开启,模型能结合多源数据快速定位异常,生成安全报告,为处置提供精准信息。

### 2.2 换展过程监控留档

在博物馆换展过程中,数字孪生技术可实现对展柜开启与文物移动的全程监控与留档。通过将涉及各展柜拍摄角度的摄像头与数字孪生模型绑定,并集成展柜布防监控系统,系统可在展柜门磁开启时自动截取监控视频画面,并长期保存至数字档案。该功能将原本仅保留90天的安防事件追溯日期延长至少10倍,为后续文物状态核查、责任追溯提供长期、可靠的图像依据,显著提升换展过程的安全性与可追溯性。

### 2.3 人员流动智能管控与区域防护

针对博物馆人员流动的复杂性,数字孪生技术可实现人员动线的实时追踪与区域防护。通过数字孪生模型叠加人员定位数据,清晰呈现游客与工作人员的实时位置、移动轨迹,当游客进入限制区域(如文物修复区、藏品库房)、停留时间过长,或人员密度超出展厅承载上限时,系统可自动触发预警,通过声光提示、广播引导等方式疏导人员,同时通知安保人员前往处置。在高峰期,可通过模型仿真预判拥堵节点,提前调整安防部署,避免安全事故;对于工作人员,可通过模型设定权限分区,监控工作人员是否按规定路线巡检、是否在授权区域操作,确保文物接触与管理的合规性,防范内部安全风险。

### 2.4 孪生地图追踪

针对观众财物丢失、儿童走失等博物馆常见问题,数字孪生技术可通过孪生地图追踪功能提升处理效率。系统在数字孪生模型中可视化呈现观众的实时游览轨迹,当发生财物丢失或儿童走失事件时,安保人员可快速检索相关时间段的轨迹数据,定位当事人最后出现的位置及移动路径,大幅缩短搜寻时间,提高事件处置效率与成功率。

### 2.5 安防设备联动控制与状态运维

数字孪生技术可实现博物馆安防设备的一体化联动与智能运维,打破传统设备孤立运行的局限。在数字孪生模型中,所有安防设备(摄像头、探测器、门禁、消防系统)的状态实时可见,当某一设备触发报警(如红外探测器监测到闯入信号),系统可自动联动周边设备,调整摄像头角度聚焦异常区域,开启附近门禁的锁定功能,同时触发消防系统的预警准备,形成“报警-联动-处置”的闭环响应,提升应急处置效率。在设备运维方面,数字孪生模型可记录设备运行参数(如摄像头工作时长、探测器灵敏度),通过数据分析预判设备故障风险(如摄像头镜头污染导致画面模糊、探测器电量不足),提前推送维护提示,避免因设备失效导致安防漏洞;同时,可通过模型模拟设备升级后的运行效果,如新增摄像头的覆盖范围与监控盲区,为设备优化部署提供决策依据,确保安防设备始终处于最佳运行状态<sup>[2]</sup>。

### 2.6 应急场景仿真推演与处置方案优化

面对火灾、地震、人员恐慌等突发应急场景,数字孪生技术可通过仿真推演提升处置能力。基于博物馆数字孪生模型,可模拟不同应急场景下的物理空间变化(如火灾蔓延路径、建筑结构受损情况)、人员疏散路线的拥堵点、文物转移的安全通道,提前规划最优应急方案,包括人员疏散顺序、文物抢救优先级、应急设备启用流程。在日常培训中,可利用模型构建虚拟应急场景进行沉浸式演练。同时,通过历史事件复盘,在模型中分析处置不足,优化方案,提升实战能力。

## 3 基于数字孪生技术的博物馆安全防护升级路径

### 3.1 数据融合升级

数据融合是博物馆安全防护升级的根基,核心是突破传统安防系统数据割裂痛点,构建“多源数据-统一标准-协同关联”的全域安防数据体系。(1)需要统一数据采集标准,针对设备数据(摄像头参数、红外探测器信号)、环境数据(温湿度、光照)、人员数据(游客轨迹、工作人员身份)、文物数据(摆放位置、展柜参数),制定标准化格式与传输协议,避免设备厂商差异、数据类型不同形成信息孤岛,确保数据可直接接入数字孪生平台,实现实时互通。(2)建立数据关联映射机制,在数字孪生模型中搭建逻辑关联网络:将文物展柜与周边监控绑定,异常时快速调取画面;将人员身份与门禁、通行记录联动,实现“验证-权限-追溯”全管控。同时引入周边气象(暴雨、大风)、交通(拥堵)数据,预判设备受潮、游客滞留风险,提升数据利用价值。(3)构建数据质量管控体系,通过实时校验、冗余清洗、误差修正保障数据准确完整,让数字孪生模型成为“数据驱动”的安防核心,为后续风险预判与决策提供可靠支撑<sup>[3]</sup>。

### 3.2 风险预判升级

(1)建立多维度风险识别指标体系,全面覆盖核心风险类型:文物风险设定环境异常(温湿度超标阈值)、位移振动(振动频率上限)指标;人员风险明确非法闯入(禁区停留时长)、拥挤踩踏(单位面积人员密度)标准;设备风险划定故障失效(摄像头离线时长)、功能异常(探测器误报率)参数;环境风险确定火灾(烟雾浓度阈值)、地震(震动强度等级)、极端天气(高温临界值)指标,为风险识别提供量化依据。(2)利用机器学习算法构建风险预判模型,基于历史数据训练,从而能够预判如季节更替时的湿度风险、高峰期的拥挤节点等。模型实时分析数字孪生平台动态数据,当监测到指标接近风险阈值时,自动生成预警信息,通过系统弹窗、短信推送至负责人,实现“风险未发先觉”。(3)后台算法升级:以智能拓展应用,在满足硬件设备基本数据采集要求的基础上,持续通过数字孪生基座集成新型后台算法(如优化图像识别、行为分析算法),实现功能增强与性能提升,减少对前端硬件设备频繁更换的依赖,显著降低技术升级的实施成本,实现更具性价比的系统进化。(4)结合数字孪生模型开展风险场景推演,如预判展厅电路短路引发火灾时,在模型中模拟火灾蔓延路径、烟雾扩散速度,评估文物受损范围与人员疏散难度,据此增设灭火器、优化疏散通道,将风险控制萌芽状态,推动安防从“被动应对”向“主动防控”转变。

### 3.3 应急响应升级

(1) 建立秒级响应联动机制, 在数字孪生平台预设多套应急预案。当红外探测器监测到人员闯入文物库房时, 系统1秒内启动联动: 库房周边摄像头自动聚焦并录制视频, 门禁立即锁定, 广播播放警示语音, 同时将预警信息与现场画面推送至指挥中心及附近安保人员终端, 实现“预警即联动”, 缩短响应时间。(2) 构建智能资源调度系统, 在数字孪生模型中整合应急资源: 标注安保人员实时位置、应急设备存放点(含灭火器、急救箱)、医疗救助站分布。当展厅发生文物轻微位移时, 系统自动调度最近的安保与文物修复人员, 规划最短路线; 若发生游客恐慌拥挤, 快速协调多区域安保疏导, 指引医疗站待命, 避免资源调度混乱延误处置。(3) 完善应急处置闭环管理, 事件处置中, 数字孪生模型实时记录设备启动时间、人员到达时间、处置措施, 形成电子台账; 事件结束后, 通过模型回溯流程, 分析联动延迟、路线绕远等问题, 优化方案并将数据纳入历史数据库, 构建“预警-联动-处置-复盘”的完整闭环<sup>[4]</sup>。

### 3.4 管理模式升级

(1) 构建分级管控体系, 基于数字孪生平台设置三级权限: 一级权限赋予安保指挥中心, 可查看全馆数据、调度所有资源, 如远程控制摄像头角度、下达门禁指令; 二级权限分配给展厅管理人员, 仅处理负责区域轻微异常(游客越线); 三级权限开放给文物保护人员, 聚焦文物状态监测, 确保各岗位各司其职、数据共享。(2) 推行智能化巡检模式, 破解传统人工巡检效率低、易遗漏的难题。在数字孪生模型中预设巡检路线, 涵盖文物展柜、安防设备、消防通道, 设置重点检查点。巡检人员携带平板终端, 按指引上传设备状态、环境参数, 系统自动对比当前数据与历史均值、标准阈值, 发现设备参数异常时提示重点核查, 提升巡检效率与准确性。(3) 打造全员参与的安防生态, 将数字孪生平台与游客导览APP、工作人员管理系统联动。对游客, APP推送安防提示(禁止触摸文物、疏散路线), 开放“异常反馈”功能; 对工作人员, 将安防操作(设备检查、应急处置)纳入绩效考核, 激励全员重视安防, 形成“平台统筹、全员协同”的新模式。

### 3.5 技术迭代升级

(1) 跟踪前沿技术融合, 聚焦数字孪生与人工智能、5G、区块链的结合: 引入AI视觉识别, 精准区分游客“无意靠近”与“故意触摸文物”, 减少误判; 利用5G保障库房角落等信号薄弱区域的数据传输速度, 避免滞后; 探索区块链保护文物数据, 确保状态记录、事件信息不可篡改, 提升可信度。(2) 开展定制化研发, 针对博物馆安防特殊性开发专用模块: 针对书画文物对温湿度的敏感性, 研发“文物微环境仿真模块”, 模拟温湿度波动对纸张的影响; 针对大型博物馆多展厅管理需求, 开发“跨展厅协同管控模块”, 实现展厅火灾时周边设备同步联动, 避免技术“一刀切”的适配问题。(3) 建立技术评估与更新机制, 每季度评估系统性能, 检测数据采集精度、预警响应速度、应急处置效率, 对比行业先进水平, 结合博物馆新增展厅、设备更新等需求, 识别模型更新滞后、算力不足等短板, 制定计划升级传感器、提升服务器算力、优化算法, 确保技术与安防需求同步, 提供持续保障。

## 4 结语

数字孪生技术在博物馆安防中的应用, 重构了安防系统的运行逻辑与管理模式。从多维度应用场景落地到全流程升级路径实施, 该技术有效破解了传统安防的核心痛点, 实现了从数据割裂到全域协同、从被动响应到主动防控的转型。未来, 随着技术持续迭代融合, 将进一步夯实博物馆文物保护与公众安全保障基础, 推动安防体系向更智能、高效的方向发展。

### [参考文献]

- [1]郭红艳,徐华,刘力红.博物馆安全技术防范系统设计概述[J].智能建筑电气技术,2023,17(02):1-6.
- [2]黄兆强,蔡红,查波,等.现代博物馆入侵探测技术应用研究[J].智能建筑电气技术,2023,17(02):10-13.
- [3]于鞍宁.基于数字化、信息化的智慧博物馆安防优化设计研究[J].包装工程,2025,46(12):566-571.
- [4]马春红.博物馆数字化展示技术的应用及虚拟展览研究[J].商展经济,2021,(018):14-16.