

数字孪生技术在项目全生命周期安全管理中实践及应用

张瑜珊

兰州兰石集团有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i4.15110

[摘要] 本文围绕数字孪生技术,在项目全生命周期安全管理中的应用展开研究,系统阐述了其在安全管理实践中的基本原则,如全程协同一致等,并提出了完善数据体系等优化对策。通过数字孪生技术的深度融合与智能化应用,有助于提升安全管理的科学性,为实现工程项目全生命周期的安全、高效运行提供了创新路径。

[关键词] 数字孪生技术; 全生命周期; 安全管理

中图分类号: TU714 **文献标识码:** A

The Practice and Optimization of Digital Twin Technology in the Full Life Cycle Safety Management of Projects

Yushan Zhang

Lanzhou Lanshi Group Co., Ltd.

[Abstract] This paper explores the application of digital twin technology in the full life cycle safety management of projects. It systematically outlines the fundamental principles of digital twin technology in safety management, such as consistent collaboration throughout the project lifecycle, and proposes optimization strategies, including improving the data system. By deeply integrating and intelligently applying digital twin technology, it enhances the scientific approach to safety management, providing an innovative pathway for ensuring the safe and efficient operation of engineering projects throughout their entire life cycle.

[Key words] Digital Twin Technology; Full Life Cycle; Safety Management

数字孪生技术作为融合物理世界与虚拟空间的前沿手段,在工程建设领域中得到广泛应用,尤其在项目全生命周期安全管理中。数字孪生通过构建动态、实时的虚拟模型,实现对施工现场的全方位监控,提升了管理的科学性。当前,随着工程项目复杂性的提升,传统安全管理模式面临诸多挑战,亟需借助数字化手段进行升级。因此,探索数字孪生在实践具有重要意义。

1 项目全生命周期安全管理的概述

项目全生命周期安全管理是指在项目的策划到运维各阶段,系统的识别安全风险,确保人员等安全,它强调风险管控的前移,将安全理念贯穿于整个项目周期,而不仅限于施工阶段,该管理模式通过建立统一的管理体系,协同各参与方,提升风险预控能力,降低事故发生率,提升项目的安全管理水平。随着信息技术的发展,全生命周期安全管理,正逐步实现从静态管理向动态监控、智能预警的转变,推动安全管理模式的现代化^[1]。项目全生命周期安全管理的特点,其主要体现在其覆盖的广泛性、系统性,确保项目从规划到运维的每一个环节都能符合安全要求,最大限度地减少安全风险,全生命周期安全管理强调预防为主,

在项目初期,通过风险识别来预测可能出现的安全问题,并采取预防措施,这种管理方法要求项目团队充分考虑安全因素,确保设计方案符合安全标准,项目全生命周期安全管理还注重动态监控,随着项目的推进,可能出现新的安全风险,因此需要通过实时监控等手段,及时识别安全问题。

2 数字孪生技术在项目全生命周期安全管理中实践的基本原则

2.1 全程协同一致

在项目全生命周期,“全程协同一致”是核心原则之一,强调在项目从规划、设计、施工到运营的各阶段中,各参与方实现信息共享,传统的安全管理模式往往存在阶段割裂、信息孤岛等问题,导致安全风险在不同环节中传递受阻,而通过数字孪生构建的虚实融合环境,各专业能够在同一数字模型上进行协同操作,使得安全管理工作始终处于一个动态闭环中,实现对潜在风险的统一认知^[2]。在实践中,实施“全程协同一致”原则,有助于打破设计之间的壁垒,提高安全管理的系统性,例如,设计阶段模拟分析的安全风险可直接传递至施工团队,提前布控;而施工现场采集的实时数据,这又能反哺到运维阶段进行预警分析,

这种协同不仅提升了管理效率,也降低了安全漏洞的产生概率,随着物联网、云计算等技术的进一步发展,全程协同将成为推动项目安全管理数字化转型的支撑。

2.2实时动态感知

“实时动态感知”是关键原则,指的是通过物联网传感器、视频监控等手段,实时采集项目现场的各类数据,如人员位置等,并同步传输至数字孪生平台,该平台通过与物理实体的持续交互,形成一个动态更新的虚拟模型,使管理人员能够全面地掌握项目现场的安全状态,快速识别潜在风险,在实际应用中,实时动态感知不仅提升安全管理的响应速度,还增强了预测性^[3]。例如,当系统感知到施工现场气体浓度达到预设阈值时,系统立即触发三级报警机制,一级报警(预警)通过现场声光提示及移动端推送,通知作业人员检查设备密封性,二级报警(干预)自动联动通风系统(如启动轴流风机)并切断相关区域电源,三级报警(疏散)若浓度持续上升,触发全局广播并启动应急预案(基于数字孪生模型的实时路径优化),从而实现“防患于未然”,此外,实时数据还为各阶段安全决策提供了准确依据,推动从“事后处置”向“事前预控”转变,随着技术的不断发展,实时动态感知能力将成为项目安全管理智能化的重要标志。

2.3数据驱动决策

“数据驱动决策”是重要原则,强调依托大量、多源的数据,指导安全管理活动,传统安全管理往往依赖经验,容易导致决策滞后,而数字孪生通过整合传感器采集等多维度数据,构建全息数字模型,实现对风险因素的精准识别、趋势预测,为各阶段的安全决策提供可靠支撑,在实践中,数据驱动不仅提升了决策的科学性,还显著增强了应急响应的精准度^[4]。例如,通过分析人员流动轨迹、机械运行参数,可以动态调整安全策略,优化施工组织,减少事故隐患,同时,基于数据的安全绩效评估,为管理者提供量化依据,推动安全管理从经验型向智能型转变,随着大数据的不断发展,数据驱动将成为实现主动预警核心手段,全面提升项目安全管理水平。

2.4风险预警前置

“风险预警前置”是核心原则之一,强调在风险尚未演化为事故之前,通过技术手段实现提前识别、动态监测与智能预警,数字孪生系统能够基于实时采集的数据,通过与历史事故模型进行比对分析,识别出潜在的安全隐患,并在风险临界值未达成前向管理者发出预警,确保采取及时有效的控制措施,最大限度降低安全事件发生的可能性,在具体应用中,风险预警前置可通过仿真推演等功能,模拟不同施工场景下的风险演化路径,并提出最优应对方案^[5]。例如,针对高处作业等高风险工序,系统可基于实时监测结果与天气等综合因素自动评估风险等级,提前预警作业风险;在运维阶段,也可对设备运行状态进行趋势分析,预测故障节点并提前干预,此原则的贯彻,有助于实现由被动响应向主动预控的安全管理转变,构建更加智能化的安全保障体系。

3 数字孪生技术在项目全生命周期安全管理中应用的优化对策

3.1完善数据体系

当前,许多项目在数据采集、传输、存储等方面存在标准不统一等问题,严重制约了数字孪生模型的准确性,要实现高效的安全管理,必须构建涵盖设计、施工等阶段的全周期,确保数据来源可靠、格式统一,为孪生模型的构建与运行奠定坚实基础。在实践中,应加强对数据采集端的规划,科学布设传感器,确保关键安全数据的全面获取。同时,建立统一的数据标准,推动信息系统的互联互通,实现跨阶段的数据整合共享。此外,还需完善数据清洗、分类,构建高质量的数据资产库,通过完善数据体系,不仅能够提升数字孪生模型的实时性,也为后续的智能预警、仿真推演提供坚实的数据支撑,全面增强项目的安全管理能力。

3.2优化模型精度

数字孪生模型的精度直接影响风险识别的准确性,同时也会关系到预警机制的灵敏度,当前部分项目在建模过程中存在简化处理等问题,导致模型与实际运行状态存在偏差,难以实现高效的风险预测,因此,必须从建模源头着手,通过提升数据质量、增强建模细节等方式,持续优化孪生模型的真实性和准确性,在具体实践中,数字孪生模型应加强与设计、施工等阶段数据的深度融合,确保模型参数的全面性;同时引入BIM等先进技术,提升模型对复杂场景的表达能力。对于关键设备与高风险工序,应构建精细化的微观模型,增强对局部异常的感知能力,此外,还需定期开展模型校验与仿真比对,持续修正偏差,保持模型的动态适应性,通过优化模型精度,能够有效提升风险预测的前瞻性,为构建智能化的全生命周期安全管理体系提供有力支撑。

3.3强化实时监测

实时监测作为数字孪生模型感知物理环境的基础,直接决定了系统对安全风险的识别能力,目前,部分项目监测手段存在覆盖面不足等问题,难以满足动态化的需求,因此,需加快监测技术的系统布局,实现对人员等关键要素的全面、持续感知,在具体实施中,应根据不同阶段,科学部署各类物联网传感器等,实现人员行为、设备状态与环境变化等安全指标的高频采集。同时,通过建立统一的数据接入与处理平台,将现场监测数据实时接入数字孪生系统,并结合人工智能算法实现异常识别,此外,还应完善数据传输网络与预警机制,确保关键风险信息能够第一时间推送至相关管理人员,通过强化实时监测,不仅提高了安全隐患的感知深度与广度,也为风险预警提供了坚实的数据支撑,全面提升项目安全保障能力。

3.4建设项目风险库

构建风险库是优化数字孪生技术,在项目全生命周期安全管理中应用的重要举措,旨在实现风险信息的系统化管理与知识积累,通过收集、整理项目不同阶段发生的安全隐患、事故案例等数据,建立结构化、可查询的风险数据库,可为数字孪生模型提供丰富的历史对照信息,当前,部分项目在安全管理中存在

风险信息分散等问题制约了风险识别,因此,构建高质量的风险库已成为提升数字孪生智能分析能力的关键,在实施过程中,应结合项目类型、建设规模及安全管理需求,明确风险库建设目标,确保库内信息具有针对性。风险库应涵盖风险来源、触发条件等核心要素,并通过标准化格式进行录入维护。同时,可借助大数据分析与自然语言处理技术,从各类文档、监测记录中自动提取关键信息,提升构建效率,风险库还应实现与数字孪生系统的无缝对接,使其在模型运行过程中能主动调用匹配的风险案例,实现快速比对、智能推演,通过构建完善的风险库,不仅有助于实现知识的积累与复用,还能增强系统的学习与适应能力,全面提升项目的安全管理水平。

3.5 推进系统集成

推进系统集成是提升数字孪生技术应用效率的重要对策,当前许多项目中存在各类信息系统相互独立的问题,导致安全管理过程中信息传递不畅,制约了数字孪生平台的整体功能发挥,通过实现设计、施工等阶段相关系统的深度融合,可构建统一、高效的数字化安全管理体系,充分发挥数据协同的优势,增强全过程安全防控能力,在具体推进过程中,应首先梳理项目全生命周期内涉及的主要信息系统,如BIM系统等,制定统一的数据标准与接口协议,打通不同系统间的数据壁垒。构建统一的集成平台,实现数据的集中接入、统一管理 with 可视化呈现,确保各类信息能够实时共享,此外,还应推动平台功能的协同开发,使风险预警等功能能够在同一系统中高效运行,提升整体操作便捷性,通过推进系统集成,不仅可显著提升数字孪生平台的智能化水平,还能有效促进各参与方协同管理,推动项目安全管理模式向集成化发展。

3.6 构建知识库

在项目全生命周期安全管理的过程中,构建系统化的知识库,以此提升安全管理效能,知识库可作为安全信息的集中载体,整合项目从规划设计、施工建造到运营维护各阶段的安全管理数据,包括风险源识别、隐患排查记录等,通过语义建模、标签分类等方式,将海量非结构化信息转化为结构化的知识条目,便于系统快速调用,为项目管理者提供科学决策支持,此外,知识

库还能实现与BIM、传感器等多源数据平台的对接,形成动态更新的知识体系,为数字孪生模型提供精准的安全管理语义支撑。构建知识库不仅助力技术集成,还可为项目团队提供标准化、可复用的知识服务,增强团队对风险的预判能力,在实际运维中,工作人员可通过可视化界面,获取实时的安全作业指导与预警信息,从而提升应急响应速度,同时,借助人工智能技术对知识库进行深度学习,实现对项目现场复杂情境的智能分析,不断强化系统的安全管理能力。

4 结语

数字孪生技术为项目全生命周期安全管理注入了新的活力,推动安全管理从静态走向动态、从经验走向智能,通过强化数据支撑、优化模型精度、实现系统集成等优化对策,能够全面提升风险识别,构建更加科学的安全保障体系,随着技术的不断演进,数字孪生将在工程建设安全管理中发挥越来越关键的作用,为实现项目高质量发展提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1]陈霞,杨磊.水利工程设计优化中数字孪生技术的实践方法与效果分析[C]//2024(第十二届)中国水利信息化技术论坛.山东安澜工程建设有限公司;聊城黄河水务局东阿黄河水务局,2024.
- [2]窦耀,胡振宇,刘利鹏,等.智能仓储调度系统的优化设计与数字孪生仿真实现[J].进展,2024(15):78-80.
- [3]刘驰,夏磊,刘猛.泗河数字孪生流域建设的实践与思考[J].治淮,2023(11):33-34.
- [4]盛志刚,舒全英,徐侃,等.数字孪生曹娥江流域试点建设实践与探索[J].水利信息化,2024,(03):18-22+36.
- [5]崔雷.数字孪生技术在现代化水利工程中的应用[J].科技与创新,2023(22):143-145.

作者简介:

张瑜珊(1987--),女,汉族,甘肃武威市古浪县人,本科,注册安全工程师,主要研究企业双重预防机制建设,安全管理体系建设,数字化系统在安全管理方面应用等。