

Research on the Application of Construction Project Safety Management Based on Digital Twins

Haobo Huang

Beijing Capital Airport Power Energy Co., Ltd., Beijing, 122000, China

Abstract

Full management is a very important component of construction projects, but at present, there are generally problems in project safety management, such as insufficient safety awareness, inadequate training, insufficient resource investment, lax supervision, and incomplete emergency management, which limit and restrict the implementation process of construction projects. The paper analyzes the feasibility of implementing digital twin technology in construction project safety management, systematically summarizes the main components of the digital twin system for construction project safety management, and elaborates on the challenges faced by the application of digital twin systems in construction project safety management at the current stage. Overall, it indicates that digital twin technology has great potential in the safety management of construction projects, which can significantly improve the construction safety performance of construction projects, reduce accident rates, and optimize resource allocation and management efficiency.

Keywords

construction engineering project; safety management; digital twin; building information modeling

基于数字孪生的建筑工程项目安全管理应用研究

黄浩博

北京首都机场动力能源有限公司, 中国 · 北京 122000

摘要

安全管理是建筑工程项目中非常重要的组成部分,但现阶段项目安全管理普遍存在安全意识不足、培训不充分、资源投入不足、监管不力和应急管理不完善等问题,限制制约了建筑工程项目的实施进程。论文分析了数字孪生技术在建筑工程项目安全管理中实施可行性,系统总结了建筑工程项目安全管理数字孪生系统的主要组成部分,并阐述了现阶段在建筑工程项目安全管理应用数字孪生系统面临的难题。总体表明,数字孪生技术在建筑工程项目安全管理具有极大的潜力,可以显著提高建筑工程项目施工安全性能,降低事故率,并优化资源配置和管理效率。

关键词

建筑工程项目; 安全管理; 数字孪生; 建筑信息模型

1 引言

建筑工程项目管理是通过先进技术手段和有效人为管理,对建筑工程设计规划、成本控制、施工进度、质量控制、安全和风险管控等一种系统管理活动。建筑工程项目管理过程中涉及建筑师、工程师、承包商、供应商和客户等多方权益,且极易受到天气、法律等外部因素变化影响^[1]。管理活动中通常涉及复杂的技术问题和解决方案,需要调动大量的物料、机械和人力资源,并且有着严格的时间限制,因此有效管理对建筑工程项目顺利进行有着至关重要的影响。

随着建筑工程的复杂性增加,传统的项目安全管理方法面临越来越多的挑战。数字孪生技术(Digital Twin)是

一项整合物联网(IoT)、大数据、人工智能、机器学习和云计算等技术,旨在建立物理空间实体与其数字空间虚拟映射,实现实时数据更新和决策支持,这一映射被称为数字孪生体或数字孪生模型^[2]。这种技术的主要目标是对物理空间实体在其整个生命周期内的特征、行为、形成过程和性能等进行详细描述和建模。数字孪生概念最初由美国宇航局(NASA)在2002年进行早期太空任务模拟时提出,用于全面模拟宇宙飞船的物理模型。该技术能够实现对实际场景进行情景模拟、故障诊断和预测,及时发展实际工况中潜在运行风险,已经在制造业、建筑业和医疗行业等得到了广泛关注^[3]。

数字孪生技术作为一种先进的数字化工具,可以通过构建建筑工程项目的虚拟映射,实时监控和反馈建筑工程项目运行状态和预测潜在风险,并提前采取有效措施避免事故的发生或降低事故的影响程度,从而极大地增强安全管理的

【作者简介】黄浩博(1987-),男,中国河南鹤壁人,本科,工程师,从事工程项目管理研究。

能力。将数字孪生技术应用实施在建筑工程项目安全管理中，可以有效强化施工现场的监控、分析和预测能力，提升建筑项目的安全、效率和决策质量。论文旨在探讨数字孪生技术在建筑工程项目安全管理中的核心功能、实施案例、面临的挑战以及未来的发展方向，并系统探讨了如何有效利用数字孪生技术来提升建筑安全，为工程管理者提供一种安全管理创新途径。

2 项目安全管理数字孪生可行性分析

建筑工程项目安全管理数字孪生过程就是构建一个虚拟项目安全管理模型，实时映射和模拟建筑工程项目的运行情况并预测可能存在的问题。在建筑工程项目安全管理中建立数字孪生系统的涉及多个层面的考量，包括技术需求、成本效益、操作挑战、法规遵从性以及预期的项目影响。

2.1 技术可行性

建筑工程项目安全管理数字孪生系统需要进行实时监控数据采集、数据集成和分析、预测维护和风险评估。数据采集的完整性和有效性是数字孪生系统可靠的前提和基础。建筑工程项目安全管理数字孪生需要对施工现场进行实时监控，并通过虚拟模型预测可能的安全问题。通过模拟不同的安全事故情景，可以预先识别风险并采取预防措施。数字孪生过程中，需要使用高精度传感器、激光扫描和摄影测量技术等来实现建筑工程现场位置追踪、结构健康监测和环境条件等各项基础同步数据采集。目前，摄像头、传感器、无人机、智能穿戴设备等可以实现实时监控数据采集。数据集成和分析是整合来自施工现场的各种数据，如环境数据、设备状态和工人行为，并利用机器学习和人工智能，对大量数据进行有效分析，快速准确地识别事故模式和根本原因，进而改进安全管理措施。预测维护和风险评估是通过对设备和结构进行持续的监控，数字孪生可以预测何时需要维护或更换部件，从而防止事故的发生。实时风险评估帮助项目团队及时响应可能的安全问题，减少事故和延误。目前现有的遗传算法、神经网络等机器学习算法可以对收集的数据进行分析，预测潜在的安全风险和维修需求。项目安全管理数字孪生可行性分析如图1所示。



图1 项目安全管理数字孪生可行性分析示意图

2.2 经济可行性

建立建筑工程项目安全管理数字孪生系统需要综合考

量初期投资、运营成本、预期效益等。数字孪生系统初期投资主要包括软硬件资源、开发或购买相应的软件平台以及进行人员培训等费用。数字孪生系统运行成本主要包括定期维护和更新、软件升级和硬件更换等，同时还包括专业人员进行持续监控和数据分析所带来的人力成本。建立建筑工程项目安全管理数字孪生系统的初期投资和运营成本较高，对于一些中小规模建筑工程项目来说可能是一个很大的挑战。但一旦数字孪生系统能够有效运行，可以实现实时监控建筑工地的安全状况，有效预测潜在风险并及时采取控制措施，从而减少事故发生的可能性和相应的经济损失。相应会大幅度降低人员伤亡情况，从而降低法律诉讼费用及项目延误风险。对于大型和长期项目而言，虽然项目安全管理数字孪生系统前期投入较大，但长远来看，可以实现提高安全性、减少事故和提升项目管理效率的目的，其长远的经济效益往往能够覆盖初期的高成本投入。对于小型或短期项目，需要仔细考虑成本与收益之间的平衡。

3 项目安全管理数字孪生模型构建

构建建筑工程项目安全管理的数字孪生模型是一个涉及多个技术层面和综合数据管理的复杂过程。数字孪生虚拟模型构建是实现数字孪生系统应用的基础，该模型需要整合三维建筑信息建模、数据采集、网络通信、数据处理、预测分析等多种技术方法或手段，已实现对建筑工程项目安全管理过程中的安全问题进行有限管理。

项目安全管理数字孪生系统将建筑信息模型（BIM）、物联网（IoT）、人工智能（AI）等多种技术整合在一起，提供一个全面的安全管理解决方案。按照功能及作用等分类，项目安全管理数字孪生系统主要包括硬件层、数据层、通信层、平台层和应用层等。

3.1 硬件层

硬件层主要作用是通过数据收集技术及装备对施工现场的人员、环境和作业条件等信息进行实时监控。施工现场作业及进展情况主要是利用安装在施工现场的温度、湿度、振动传感器、摄像头、无人机等进行实时数据采集处理。现场施工人员信息主要是通过智能头盔和安全背心等穿戴设备实时监测工人的生理状态、位置和分布数据等。环境监测主要是通过传感器等对天气条件、有害气体浓度等进行监测，或利用气象数据等其他数据源接入。

3.2 数据层

数据层主要是指将各种传感器和设备收集而来的实时数据流进行高效的数据处理和存储设施，可以对施工现场各类安全事故数据、施工日志等历史数据和记录进行数据储存、更新等。

3.3 通信层

通信层的主要作用是将传感器和其他数据源收集到的数据进行高效、安全和实时传输。在建筑工程项目安全管理

数字孪生系统构建过程中,通信层对系统的性能影响至关重要。通信层要求具有实时性、可靠性、安全性、可扩展性和低运行维护成本等,可以确保数字孪生系统能够实时处理和响应传入的数据。因此,在设计过程中,需要通信系统能够与各种传感器和设备兼容,并尽可能支持多种通信协议和接口标准,且能够适应不同的施工环境和变化的项目需求,从而能够为建筑工程项目安全管理数字孪生模型提供坚实的数据支持,确保整个系统的高效运行和安全性。

3.4 平台层

在建筑工程项目安全管理数字孪生模型中,平台层可以说是模型的中心枢纽,主要包括数据管理系统、分析引擎、仿真工具、可视化界面以及各种应用程序接口等,其功能可以概括为将通信层收集的数据进行高效可靠的整合、处理、分析和可视化,为项目安全管理者提供支持决策和实施安全策略。平台层需要能够将传感器数据、环境监控数据、项目管理软件和 BIM 系统、GIS(地理信息系统)等不同源的数据进行有效整合,支持复杂的数据分析和机器学习算法,并使用云计算和边缘计算等先进的数据处理技术,实施高效处理数据。通过接入仿真工具能模拟各种施工情况和紧急事件,评估不同应对措施的效果支持风险评估、事故预测和安全优化等功能。因此平台层要求具有良好的可扩展性、动态可视化界面、清晰用户交互与协作,可以为使用者提供定制化的用户界面和控制面板,适应不同用户的需求和权限。总体而言,平台层是为建筑工程项目提供全面的安全管理支持的主要交互界面,帮助项目团队高效地识别风险、做出决策,并实时监控施工过程,确保工程安全。

3.5 应用层

应用主要是指实际应用于施工安全管理的工具和系统,如预警系统、风险评估工具、事故仿真模拟等。用户接口,提供交互功能让用户能直接操作和获取所需信息。

4 项目安全管理数字孪生面临挑战

建筑工程项目安全管理是一个具有高度组织性、讲究策略和多变的领域,采用数字孪生技术虽然可以显著提升项目安全管理的管理安全性和管理效率,但目前为止仍存在一些技术和管理挑战。

4.1 数据质量和一致性

建筑工程项目安全管理数字孪生系统需要大量的数据支持,包括建筑设计数据、施工数据、传感器数据等。确保这些数据的质量和一致性对于建立可靠的数字模型至关重要,但在实际项目中,数据可能来自不同的来源、格式不一致、质量参差不齐,因此需要统一数据标准和进行数据清洗工作。

4.2 集成和互操作性

在建筑工程项目中,通常涉及多个不同的软件系统和

数据平台,如 CAD 软件、BIM 软件、项目管理软件等。现有技术仍然很难将这些系统和平台进行有效集成,实现高效实时的数据无缝传输。

4.3 计算资源和性能需求

建筑工程项目安全管理数字孪生系统需要大量的计算资源和高性能的计算能力,同时还需要高效的优化算法模型,尤其是在面临多维数据黑箱操作实时分析,需要确保在有限计算资源条件下,采用所构建的算法模型快速高效预测分析。

4.4 安全和隐私保护

建筑工程项目安全管理数字孪生系统中涉及大量的敏感数据,包括建筑设计数据、施工进度数据、设备状态数据等。在进行孪生系统构建时,需要建立相应的安全防护措施,以确保这些数据的安全性和隐私保护,防止数据泄露和未经授权的访问。

4.5 项目安全管理和决策支持

在建筑工程项目安全管理数字孪生系统中,需要有效的项目安全管理和决策支持机制,以确保项目按时、按质高效安全完成,并能够及时响应变化和风险。

总体而言,建筑工程项目安全管理数字孪生系统具有复杂性、动态性、技术性、时效性和资源密集性等特点,在管理过程中涉及建筑师、工程师、承包商、供应商和客户等多方权益,且受到诸如天气、法律变化等外部因素的影响。同时项目安全管理过程中通常涉及复杂的技术问题和解决方案。随着更好记的数据分析和人工智能算法的应用、标准化和规范化的推进、可持续性和环境监测的整合,数字孪生技术将继续扩展其在建筑工程安全管理中的作用,且未来还将不限于风险管理和应急响应,还可以在建筑工程设计、施工管理和长期维护等多个阶段进一步拓展应用,持续提升建筑工程项目的智慧化水平。

5 结语

论文主要针对建筑工程项目安全管理数字孪生技术进行分析,重点关注如何利用数字孪生技术改进和增强建筑工程项目的安全性能。论文从建筑工程项目安全管理数字孪生可行性、系统主要组成和现阶段面临的调整等进行分析。总体表明,数字孪生技术在建筑工程项目安全管理具有极大的潜力,可以显著提高建筑工程项目施工安全性能,降低事故率,并优化资源配置和管理效率。

参考文献

- [1] 栾雪雁.A住宅楼项目施工质量管理研究[D].济南:中国海洋大学,2012.
- [2] 徐阳,金晓威,李惠.土木工程智能科学与技术研究现状及展望[J].建筑结构学报,2022,43(9):23-25.
- [3] 刘刚,马智亮,曾勃,等.数字孪生技术在建筑工程中的应用研究综述[J].土木建筑工程信息技术,2023,15(6):1-8.