

基于数字孪生的综合管廊安防系统虚实联动机制

陈伟华

乌鲁木齐鸿利盛祥安防技术有限公司 新疆乌鲁木齐

【摘要】随着城市基础设施建设的不断发展,综合管廊作为城市地下管网的集中载体,承载着电力、通信、供水等多种城市功能。如何确保管廊的安全运行成为了城市管理中的关键问题。基于数字孪生技术的安防系统,通过实时监控、数据融合、虚实联动等手段,为综合管廊提供了智能化的安全保障方案。该系统通过数字孪生模型精确复刻管廊实体,结合虚拟仿真与物理系统的双向互动,实时预警、精准定位潜在风险,提升了管廊的防护能力与响应效率。此种机制不仅优化了管廊安防管理流程,还增强了城市基础设施的韧性,推动了智慧城市的发展。

【关键词】数字孪生;综合管廊;安防系统;虚实联动;智能化管理

【收稿日期】2025 年 8 月 23 日 **【出刊日期】**2025 年 9 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250224

Virtual-real linkage mechanism of digital twin integrated utility tunnel security system

Weihua Chen

Urumqi Hongli Shengxiang Security Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang

【Abstract】 With the continuous development of urban infrastructure, utility tunnels serving as centralized conduits for underground pipelines now carry critical urban functions including power supply, telecommunications, and water distribution. Ensuring their safe operation has become a pivotal challenge in urban management. The security system based on digital twin technology provides intelligent safety solutions through real-time monitoring, data integration, and virtual-real interaction. By accurately replicating physical tunnels through digital twin models and enabling bidirectional interaction between virtual simulations and physical systems, this approach enables real-time risk alerts and precise hazard detection, significantly enhancing tunnel protection capabilities and response efficiency. This mechanism not only optimizes security management processes but also strengthens the resilience of urban infrastructure, driving the advancement of smart cities.

【Keywords】 Digital twin; Utility tunnel; Security system; Virtual-real interaction; Intelligent management

引言

随着城市化进程的加快,地下综合管廊作为城市基础设施的重要组成部分,逐渐成为保障城市运行稳定的关键设施。随着管廊规模的增大及复杂性的提升,传统的安防管理方式显现出诸多不足。数字孪生技术的引入,为管廊安防提供了全新的解决方案。通过对管廊物理实体的虚拟复制,不仅能够实现对管廊全生命周期的实时监控与精准管理,还能有效实现虚拟世界与现实世界的联动与互动,为安防预警、故障诊断等提供高效支持。这一创新机制,为提升管廊的安全性和运行效率开辟了新的路径。

1 综合管廊安防面临的主要问题与挑战

综合管廊作为现代城市基础设施的重要组成部分,承担着能源、通信、供水等多重功能,随着城市化进程的推进,管廊建设规模不断扩大。随着综合管廊数量的增加和管理复杂性的提升,安防问题逐渐突显,给城市管理者带来巨大挑战。管廊内部设施涉及多个领域的运行,对任何潜在的安全隐患都必须保持高度警觉^[1]。管廊内的设备与线路长期暴露在地下环境中,面临着外部自然灾害、设备老化、维护不到位等风险,这些问题使得管廊的安全隐患不断增加。尤其是在恶劣的地下环境中,安防设施的监控手段和响应机制往往无法及时有效地进行预警与处理,造成对潜在风险的忽视或响应滞后,进

一步加剧了安防管理难度。

传统的管廊安防管理模式存在诸多局限性。以往安防管理多依赖人工巡检和静态监控设备,在面对庞大且复杂的管廊系统时,信息传递不畅、反应速度慢、判断准确性差,导致一些突发性安全事件难以及时发现并有效解决。当前的安防系统往往缺乏对管廊运行状态的全局监控,未能形成完善的风险评估体系,管理者对潜在隐患的识别与预警存在较大盲区。随着综合管廊管道数量的增加,传统方式不仅消耗大量人力物力,还无法实现快速、精确的风险定位和有效的应急响应。

在这种背景下,如何通过创新技术提升管廊安防管理水平,成为亟待解决的问题。数字孪生技术的引入为管廊安防带来了突破性进展。该技术能够通过实时传感器数据,构建管廊设施的虚拟模型,实现对管廊运行状态的全面数字化模拟与分析。这种虚拟与现实的深度融合,使得管廊的各类安全隐患能够在数字环境中被精准识别与预测,从而提升管廊安防系统的灵活性和实时性^[2]。管廊虚拟模型的不断优化与迭代,不仅提高了对异常情况的预警能力,也帮助管理者更好地做出决策与响应。这种集成虚拟仿真与物理环境互动的虚实联动机制,将极大地改善现有的安防系统,解决当前面临的诸多安全管理难题。

2 数字孪生技术在综合管廊安防中的应用机制

数字孪生技术的引入为综合管廊安防系统带来了全新的应用模式。这项技术通过建立管廊的虚拟模型,精确模拟其运行状态、结构变化以及外部环境的影响,使得每一个物理组件都能够在数字化空间中得到实时反映。通过传感器与物联网技术的结合,数字孪生模型能够实时接收管廊内外各类数据,如温度、湿度、压力等重要环境参数,以及设备的运行状况^[3]。这些数据通过集成分析系统的处理,能够精确捕捉管廊中可能出现的安全隐患,如设备故障、管道泄漏等问题。数字孪生的应用不仅仅是为了数据的可视化,更重要的是它能在虚拟环境中进行动态模拟,提前预测潜在风险和故障,形成一个全面的安防监控网络。

通过虚拟与现实的双向交互,数字孪生技术的核心优势在于它能够实现“虚实联动”机制。当虚拟模型中的某个部分发生变化时,系统会即时反应,并与管廊的实际设施进行同步。若检测到虚拟环境中的某个危险指标超过预设阈值,系统会自动触发警报,通知管理人员进行检查或采取应急措施。这

种联动机制不仅减少了人工干预的需要,还提高了安防响应的效率。在复杂的地下管廊环境中,数字孪生能够精准模拟并呈现所有关键设施的状态,实时定位问题所在,快速生成应急预案,确保在出现突发情况时能够做到快速反应和精准应对,从而提升了整体的安全防护能力。

数字孪生技术还支持对管廊的长期运行状态进行历史数据分析和趋势预测。在综合管廊的日常管理中,管道和设备的长期使用难免出现磨损、老化等问题,传统的管理模式往往难以及时发现并做出调整。而通过数字孪生的系统,管理员可以对历史数据进行深度挖掘,发现潜在的安全隐患,并基于大数据分析和机器学习算法,预测管廊设施的未来运行趋势。这种基于数据的预警机制为管廊安防提供了更加科学的决策支持,确保在设备或系统故障发生前采取必要的预防措施,从而大大降低了突发事件的发生率和管廊运行的安全风险^[4]。数字孪生技术的全面应用,推动了管廊安防系统的智能化、精准化和高效化,为智慧城市建设提供了有力支持。

3 虚实联动机制如何提升综合管廊安防效率与响应能力

虚实联动机制通过将物理管廊与虚拟模型深度融合,显著提升了综合管廊安防系统的效率和响应能力。通过传感器、实时数据采集以及虚拟环境的交互作用,虚实联动机制能够在管廊内部署多个监控节点,确保管廊每一部分的状态都能得到精确的数字化映射。虚拟模型反映了实际管廊的运行状况,任何环境变化、设备故障或安全隐患都会被及时识别并呈现在虚拟环境中^[5]。通过这种实时动态的监控,虚实联动机制能够快速响应突发事件,帮助管理者快速做出决策并采取必要的应急措施。通过对实时数据的即时分析,系统能够精准捕捉异常信号并主动提出报警提示,极大提高了安防系统的预警性和反应速度。

虚实联动机制在管廊发生安全事故时提供了更加高效的应急响应能力。基于虚拟环境的实时仿真和模拟,系统能够重现管廊内发生事件的全过程,迅速定位问题的根源,缩短事故响应时间。与传统的安防系统相比,虚实联动机制能在事件发生前进行准确预测,提前触发预警,减少了事故对管廊设施的潜在损害。此外,虚拟仿真环境中的应急响应流程能够模拟不同情况下的应对策略,指导管理人员根据具体情况采取最优处理方式。这种高效的响应机制不但提升了

管廊安防的整体效率,也显著增强了对突发事件的应对能力,减少了人为失误和处理延误的风险。

虚实联动机制还支持对管廊运营全程的实时监控和数据分析,从而进一步提升了安防效率。在传统安防管理模式,管廊的监控主要依赖静态监控设备和人工巡检,效率低且存在监测盲区。而虚实联动机制通过将数据实时反馈到虚拟模型,使得每一处细节都能在虚拟环境中获得精准再现^[6]。这一机制能够实时同步管廊内外部环境变化,及时发现并解决管廊设备老化、环境变化等潜在隐患,确保管廊的持续安全运营。通过数据驱动的方式,虚实联动不仅提升了管廊设施的整体安全性,还优化了安防资源的配置,提高了管廊运营管理的整体效率。

4 数字孪生与虚实联动融合带来的管廊安防创新突破

数字孪生与虚实联动的融合为综合管廊安防带来了前所未有的创新突破。通过创建管廊的虚拟模型,系统能够在数字环境中精准再现物理管廊的每个细节,这为安防管理提供了全新的视角^[7]。虚拟模型不仅实时展示管廊内各项设备、管道及其运行状态,还通过与实际管廊的实时数据对接,形成了虚拟与现实的高度同步。这种技术融合为管廊管理者提供了动态监控与精准预测的能力,使得潜在的安全隐患能够在问题发生之前被捕捉到,避免了传统安防系统中信息滞后的问题。

在管廊的安全管理中,数字孪生与虚实联动的融合使得对突发事件的响应更加高效。通过实时仿真和模拟,系统可以在发生事故时立即进行重现,帮助管理者迅速定位问题根源并采取有效措施。不同于传统方法依赖人工巡检和静态监控,虚实联动可以自动分析事故数据并生成应急处理方案。该技术不仅提升了应急响应的速度,还减少了人为操作的干扰,确保了处理过程的科学性和精准性。管廊的复杂环境和巨大的数据量,常常使得传统安防手段难以高效覆盖,而数字孪生与虚实联动的结合有效弥补了这一短板,使得安防管理更加智能和自动化。

数字孪生与虚实联动机制的融合还极大提升了管廊的全生命周期管理能力。从管廊的建设、运营到维护,数字孪生技术能够提供实时的监控与数据反馈,支持全程的风险预测与性能评估。通过对历史数据的深入分析,系统能够发现管廊设施的潜在老化或故障趋势,提前进行维修与优化^[8]。虚实联动还使得管廊

的操作与维护变得更加透明,所有操作和故障修复过程都能够在虚拟模型中进行模拟和追踪。这一机制不仅提升了管廊安防的实时性和精准性,还为城市基础设施的长远发展提供了强有力的技术支持,推动了管廊管理从传统模式向智能化、数字化转型的进程。

5 结语

数字孪生与虚实联动技术的融合,极大提升了综合管廊安防的智能化水平与应急响应能力。该技术不仅实现了对管廊全生命周期的精准监控,还有效解决了传统安防系统中的时效性和精准度问题。虚拟与现实的深度结合为管廊的安全管理提供了全新的视角和高效手段,减少了事故发生的可能性,并在突发事件中实现了快速响应和精准处置。随着这一技术的进一步发展和应用,管廊安防将变得更加智能、可靠,助力城市基础设施的可持续发展。

参考文献

- [1] 陈志武. 数字孪生预警调度在福州市“高水高排”工程中的应用[J].吉林水利,2025,(09):63-67.
- [2] 杜沛,沈扬杰,刘振夏,等. 面向情景模拟与决策的数字孪生海岸带建设[J].地球信息科学学报,2025,27(09):2106-2116.
- [3] 俞肇元,张恒才,董震,等. “地球系统数字孪生与场景智能计算”专栏导言[J].地球信息科学学报,2025,27(09):1997-1998.
- [4] 杨欣雨,付翔,王思琦,等. 煤矿综采工艺数字孪生与系统开发[J/OL].内蒙古工业大学学报(自然科学版),1-8.
- [5] 仲雨泽,孟志伟. 市政综合管廊预制拼装施工技术[J].建筑工人,2025,46(09):35-38.
- [6] 吴素清. 多元支护下综合管廊基坑围护结构力学行为与稳定性评估[J/OL].铁道建筑技术,1-5.
- [7] 马杰. 高密度城区地下综合管廊建设技术探究[J].现代工程科技,2025,4(16):13-16.
- [8] 包晨雷,苏展,刘宸硕,等. 综合管廊内供水管道不同连接方式力学特性分析[J].上海建设科技,2025,(04):59-63+68.

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