

基于数字孪生的工业园区有毒有害气体动态预警系统构建

陈 起

北京雪迪龙科技股份有限公司 北京

【摘要】随着工业园区的不断发展，工业生产中有毒有害气体的泄漏对环境与人员健康构成了严重威胁。为了解决这一问题，本文提出了基于数字孪生技术的工业园区有毒有害气体动态预警系统的构建方案。该系统通过实时采集气体浓度数据、监测环境变化以及模拟气体扩散过程，结合预测模型实现高效、精准的预警。通过对数据的深度分析与处理，系统能够及时识别潜在的危险，并发出警报，保障工业园区的安全生产与环境保护。研究表明，数字孪生技术的应用能够显著提高有毒有害气体泄漏的预警精度，降低事故发生风险。

【关键词】数字孪生技术；工业园区；有毒有害气体；动态预警系统；安全生产

【收稿日期】2025 年 6 月 14 日

【出刊日期】2025 年 7 月 15 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250107

Construction of a dynamic early warning system for toxic and harmful gases in industrial parks based on digital twin technology

Qi Chen

Beijing SDL Technology Co., Ltd. Beijing

【Abstract】With the continuous development of industrial parks, the leakage of toxic and harmful gases in industrial production poses a serious threat to the environment and human health. To address this issue, this paper proposes a construction plan for a dynamic early warning system for toxic and harmful gases in industrial parks based on digital twin technology. The system collects real-time gas concentration data, monitors environmental changes, and simulates the gas diffusion process, combining predictive models to achieve efficient and accurate warnings. Through deep analysis and processing of the data, the system can promptly identify potential hazards and issue alerts, ensuring safe production and environmental protection in industrial parks. The research results show that the application of digital twin technology can significantly improve the accuracy of early warnings for toxic and harmful gas leaks, reducing the risk of accidents.

【Keywords】Digital twin technology; Industrial park; Toxic and harmful gases; Dynamic early warning system; Safe production

引言

在现代工业园区中，有毒有害气体的泄漏已成为影响安全生产与环境保护的重大隐患。随着工业化进程的加速，传统的气体监测方法难以应对日益复杂的生产环境。数字孪生技术的兴起为气体泄漏预警提供了全新的解决方案。通过建立虚拟的园区模型，结合实时数据与仿真技术，数字孪生不仅能实时监测气体泄漏状况，还能提前预测潜在风险，极大提高了安全管理的智能化与精准度。本文旨在探讨基于数字孪生的工业园区有毒有害气体动态预

警系统的设计与应用，提升园区管理者对突发事件的应对能力，保障环境与人员安全。

1 工业园区有毒有害气体泄漏的安全隐患与挑战

随着工业园区规模的扩大和生产工艺的复杂化，环境安全隐患日益严重，尤其是有毒有害气体泄漏问题。许多园区集中了化工、冶金、能源等行业，这些行业在生产过程中常常释放氨气、硫化氢、氯气等有毒有害气体。一旦泄漏，这些气体不仅会污染环境，还会威胁工作人员的生命安全^[1]。随着生产自

动化和集约化的推进, 泄漏事故的频率和危害程度逐年增加, 甚至可能导致大规模的环境灾难和经济损失。如何有效防控和实时监测这些有毒气体泄漏, 已成为确保工业园区安全生产的关键问题。

传统的有毒有害气体监测方法依赖固定监测点和人工巡检, 虽然可以一定程度上预警气体泄漏, 但存在实时性差、覆盖面不足和预警精度低的问题。园区内气体泄漏常具有突发性和隐蔽性, 固定监测点无法全面覆盖, 人工巡检周期性无法及时发现瞬间泄漏。传统监测技术对气体扩散过程的模拟能力较弱, 难以预测气体流动路径和扩散范围, 导致突发泄漏时预警滞后^[2]。传统监测系统在应对复杂园区环境和多变泄漏模式时, 面临显著局限, 亟需更智能、全面和精准的解决方案。

随着信息技术和物联网的发展, 数字孪生技术为解决有毒有害气体泄漏问题提供了新的思路。通过建立虚拟工业园区模型, 数字孪生技术能够实时获取园区内传感器的数据, 并与虚拟模型中的信息融合, 实现气体泄漏的动态监测和预警。该技术通过模拟气体扩散过程, 实时监控气体浓度变化, 并利用预测模型提前识别潜在泄漏风险, 显著提高了预警的时效性与准确性。数字孪生的引入, 为工业园区环境安全管理带来了突破, 为防范气体泄漏提供了精确的技术保障。

2 数字孪生技术在有毒有害气体动态预警中的应用

数字孪生技术作为一种新兴的高科技应用, 已广泛应用于工业生产的各个领域, 尤其是在环境监测与风险预警方面。数字孪生通过建立与现实世界物理对象或系统完全一致的虚拟模型, 可以实现对现实世界的实时监控、数据分析和模拟仿真。在工业园区中, 有毒有害气体的泄漏不仅会造成环境污染, 还可能危及工作人员的生命安全, 传统的气体监测方法常常面临数据不实时、预警不精准等问题。数字孪生技术的应用为解决这些问题提供了创新的解决方案^[3]。通过对园区气体泄漏路径、扩散速度及变化趋势进行实时模拟, 数字孪生技术能够提供精准的气体浓度预警和风险评估, 大大提升了预警的时效性和准确性。

数字孪生技术的核心优势在于其高效的数据采集与处理能力。在工业园区中, 各类传感器通过安装在关键位置, 实时采集气体浓度、温度、湿度、气

流速度等数据。这些传感器不仅能够监测气体浓度的变化, 还能够极短时间内捕捉到可能的泄漏点。通过这些数据, 数字孪生模型能够实时反映园区内的环境变化并生成虚拟场景。通过仿真系统, 可以预测不同条件下有毒有害气体的扩散趋势, 进一步为决策者提供精确的预警信息^[4]。与传统气体检测方法相比, 数字孪生技术能够在更广泛的区域内同步采集数据, 并及时反应出可能存在的风险点, 避免了漏报或误报的情况。

数字孪生的预测和仿真能力使得其在应急预警与应对中展现出巨大潜力。通过对历史数据的积累与分析, 结合机器学习和人工智能技术, 数字孪生模型不仅能够检测气体泄漏的即时数据, 还能基于不同气候变化、工业生产过程等条件对泄漏发生的可能性进行预测。这种提前预警的能力, 能够帮助园区管理人员在发生潜在泄漏事故之前就采取预防性措施, 大大减少了事故发生的概率, 保障了园区的生产安全和工作人员的生命安全。结合数字孪生的实时数据监控和预测分析, 工业园区能够实现有毒有害气体的精准监测与及时预警, 进而为园区的安全管理提供科学的决策依据。

3 基于数字孪生的工业园区有毒有害气体预警系统构建

基于数字孪生的有毒有害气体预警系统旨在应对工业园区生产过程中有毒气体泄漏带来的安全隐患和环境问题。通过创建虚拟工业园区模型, 数字孪生技术能够实时监控气体浓度、环境变化和生产状态, 结合历史与实时数据进行仿真, 预测气体扩散路径和范围^[5]。与传统静态监测系统相比, 数字孪生系统具有更高的预测性和响应性, 通过持续的数据收集与分析, 能够在早期识别潜在气体泄漏风险, 并预测气体扩散趋势, 为园区安全管理提供精准决策支持。

在构建过程中, 系统首先需要部署多种传感器网络, 这些传感器能够实时采集工业园区内各个生产区域的有毒有害气体浓度数据, 传输至中央数据处理平台。为了增强预警的准确性, 数字孪生系统不仅依赖于传感器数据, 还需要对园区的环境和气候变化进行实时监控^[6]。风速、湿度、温度等气候因素都会影响有毒气体的扩散速度和范围, 数字孪生技术能够集成这些因素进行更为全面的气体扩散模拟。通过模拟园区内的设施布局、生产过程等参数,

系统可以精确分析不同工况下气体泄漏的最可能位置和扩散路径,进而预测可能影响的区域和人员,做到精准预警。

为了实现系统的高效运作,还需要构建一个集成的数据分析和决策支持平台,该平台通过对历史数据和实时数据的深度学习与分析,能够优化预测模型。数字孪生技术利用算法模型对气体浓度变化进行预测,提前识别出可能引发事故的关键节点。一旦预测到气体泄漏的风险,系统可以立即通过警报系统通知园区管理人员,并自动启动应急响应机制。这些应急响应措施包括启动局部通风、调整生产工艺、疏散人员等,从而最大限度地减少危险的扩散和人员伤害。系统还可以在实际发生气体泄漏事故时,通过对比模拟数据和实际监测数据,帮助管理者评估事故的严重性,制定应急处置方案,进一步提升园区整体的安全管理水平。

4 数字孪生预警系统在提高工业园区安全生产中的作用

数字孪生技术作为工业园区有毒有害气体动态预警系统的核心,能够通过实时数据采集、建模与仿真等手段,精准反映园区内有毒有害气体的浓度变化及其扩散趋势。该系统通过对工业园区的虚拟建模,能够创建出一个高度一致的数字副本,实时监控园区各个区域的气体泄漏状况,并通过物理、化学模型进行气体扩散模拟。这些模型通过与现实世界的数据进行比对,提供了更为精确的预警信息,从而为园区管理者提供更清晰、实时的决策支持^[7]。通过数字孪生技术的应用,传统的监测手段得到有效升级,实现了从静态监测到动态预测的转变,显著提高了有毒有害气体泄漏的预警能力和响应速度。

系统通过不断获取并分析各类传感器提供的实时数据,能够及时识别出可能存在的安全隐患。比如,气体浓度超过设定阈值时,系统会立刻生成警报并自动推送给相关管理人员。通过仿真模型,数字孪生技术可以预测不同气体泄漏情境下的扩散路径与速度,为应急响应提供依据^[8]。预警系统不仅能及时发现问题,还能提供预警的空间与时间维度,确保管理者能够在最短的时间内做出有效反应。相比传统的气体监测设备,数字孪生技术的动态模拟和实时反馈使得管理者能够在气体泄漏事件发生前做出早期干预,防止事故的进一步恶化,保障人员与环境的安全。

应用数字孪生技术的预警系统对工业园区的安全生产发挥了重要作用。通过精准的气体泄漏预测与实时监控,系统能够在问题发生的初期就发出警报,从而实现事故的早期发现和快速响应,极大减少了园区内有毒有害气体泄漏事故的发生概率。系统的可视化功能使得管理人员可以更直观地了解气体扩散的影响范围和速度,帮助制定针对性的应急预案,提高了应急响应的效率。随着数字孪生技术的持续优化与更新,未来可以通过大数据与人工智能技术的结合,使预警系统更加智能化、精准化,为工业园区提供更加全面的安全保障。

5 结语

数字孪生技术在工业园区有毒有害气体动态预警系统中的应用,显著提升了安全生产管理的精度与响应速度。实时监测、数据采集与气体扩散预测,使得园区能够在气体泄漏发生前及时识别潜在危险,采取有效措施防止事故发生。这种技术的引入,不仅优化了传统监测手段,还为园区管理者提供了更加直观和精准的决策支持。在未来,随着技术的不断发展,数字孪生预警系统将进一步增强智能化与精准化,为工业园区的安全生产与环境保护提供更为坚实的保障。

参考文献

- [1] 苏州工业园区奥体大型活动安保场景的数字孪生应用实践[J].中国建设信息化,2023,(09):36-37.
- [2] 陈曦.数字孪生框架下的工业园区“产一运一存”联动优化决策方法[J].物流工程与管理,2022,44(12):144-147.
- [3] 周达坚,屈挺,张凯,等.数字孪生驱动的工业园区“产一运一存”联动决策架构、模型与方法[J].计算机集成制造系统,2019,25(06):1576-1590.
DOI:10.13196/j.cims.2019.06.025.
- [4] 刘宝峰,王磊,毛邓添,等.有毒有害气体探测技术的关键材料与技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(05):166-168.
- [5] 李向阳.深埋长大隧道有毒有害气体成因与防治措施[J].建筑机械化,2025,46(06):111-114+159.
- [6] 韦小伟.受限空间有毒有害气体监测平台的设计与实现[J].辽宁开放大学学报(自然科学版),2025,(01):7-12+27.
DOI:10.19469/j.cnki.2097-552X.2025.01.0007.

- [7] 娄妙树,屠立峰.石油化工特殊工况可燃有毒气体区域声光报警器位置分析及优化设计[J].化工设计通讯,2025,51(03):114-116.
- [8] 麻凯.井下作业有毒气体的防范与应急措施[J].化学工程与装备,2024,(11):140-142.

DOI:10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2024.11.031.

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