

化工园区危险化学品储存安全监管数字化建设路径

赵黎旻 (山东星光安全技术有限公司, 山东 枣庄 277000)

摘要: 本文研究化工园区危化品储存安全监管的数字化建设路径, 分析危化品安全监管的复杂性与特殊性, 指出传统监管模式的局限性, 提出通过物联网、大数据分析、人工智能、云计算与边缘计算等关键技术, 构建数字化监管平台。研究内容包括平台架构设计、数据采集与传输体系、实时监测与预警机制、应急响应与事故预警功能等。同时, 从政策法规、基础设施、监管协同等方面提出实施策略, 为化工园区危化品储存安全监管的数字化转型提供参考, 以提升安全管理水平, 降低安全事故风险。

关键词: 化工园区; 化学品储存; 安全监管; 数字化建设

中图分类号: X937 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 013-0116-03

Digital construction path for safety supervision of hazardous chemical storage in chemical industrial parks

Zhao Limin (Shandong Xingguang Safety Technology Co., Ltd., Zaozhuang Shandong 277000, China)

Abstract: This paper studies the digital construction path of hazardous chemicals storage safety supervision in chemical industry parks, analyzes the complexity and particularity of hazardous chemicals safety supervision, points out the limitations of traditional supervision modes, and proposes to build a digital supervision platform through key technologies such as Internet of Things, big data analysis, artificial intelligence, cloud computing and edge computing. The research content includes platform architecture design, data collection and transmission system, real-time monitoring and warning mechanism, emergency response and accident warning function, etc. At the same time, implementation strategies are proposed from the aspects of policies and regulations, infrastructure, and regulatory coordination to provide reference for the digital transformation of hazardous chemical storage safety supervision in chemical parks, in order to improve safety management level and reduce the risk of safety accidents.

Keywords: chemical industrial park; Chemical storage; Safety supervision; digitalization

随着化工行业的发展, 化工园区已成为我国危化品生产、储存和运输的重要集聚地。然而, 危化品储存过程存在较大安全风险, 一旦发生事故, 将对人员、环境 and 经济造成严重影响。传统监管模式在数据获取、风险预测、应急响应等方面存在不足, 难以满足现代安全管理需求。数字化技术的发展为危化品储存监管提供了新方案, 通过物联网、大数据、人工智能等技术, 可实现实时监测、数据分析与预警, 提高监管效率和应急能力。探索数字化监管路径, 构建智能安全管理体系, 对降低安全风险、推动园区安全发展具有重要意义。

1 化工园区危化品储存安全监管数字化建设的必要性

1.1 危化品安全监管的复杂性与特殊性

危化品储存具有易燃、易爆、有毒特性, 储存安全风险极高。温度、湿度、压力等因素影响储存物质稳定性, 稍有不慎易引发储存泄漏、火灾或爆炸。化工园区储存设施多样, 包括储罐、仓库、气体储存装置等, 不同危化品储存条件不同, 监管需考虑储存周期、容器材质和储存空间布局。园区企业众多, 储存管理水平不一, 储存监管难度大。传统储存监管手段

滞后, 难以及时发现储存隐患, 数字化储存监管可优化储存管理, 提升储存安全保障能力。

1.2 传统监管模式的局限性

传统危化品储存监管依赖人工巡检、台账记录和抽检, 信息滞后、储存监管覆盖不足、储存预警能力弱。人工巡检难以全面覆盖储存区域, 受巡检频率和经验限制, 储存安全隐患难以及时发现。手工记录方式准确性低, 管理人员缺乏长期储存数据支撑, 难以精准评估储存风险。储存监管涉及多部门, 信息共享不足, 突发储存事故应对迟缓, 难以及时控制储存风险。传统储存监管依赖人为判断, 难以适应复杂储存环境, 数字化储存监管是提升储存安全的关键。

1.3 数字化监管在提升安全管理效能中的作用

数字化储存监管依托物联网、大数据、人工智能, 实现储存监测、储存预警、储存风险预测, 提升储存安全管理水平。传感器实时采集储存区域温湿度、储存气体浓度、储存液位、储存压力等数据, 使监管人员掌握储存状态。大数据分析构建储存风险模型, 预测储存隐患, 降低储存事故发生率。人工智能应用于储存巡检、储存异常识别、储存应急优化, 提高储存智能监管水平。数字化储存监管打破信息壁垒, 实现

园区、企业、政府储存数据共享和储存联动，强化储存安全保障。

2 危化品储存安全监管数字化建设的关键技术

2.1 物联网（IoT）技术

物联网技术通过传感器、RFID、无线网络等，实现储存环境的实时监测与远程管理。温湿度传感器、气体浓度探测器、液位计等精准采集储存数据，确保储存状态安全。RFID 结合二维码追踪储存容器，实现储存全过程可视化。LoRa、NB-IoT 等低功耗广域网支持远程储存监控，提高数据传输稳定性。无线传感网络覆盖储存罐区、仓库等，实现无盲区监测。云端平台分析储存数据，异常波动触发警报，联动应急响应，减少人工干预，提高储存智能监管能力。

2.2 大数据分析 with 风险预警

大数据技术优化储存风险预测，利用 Hadoop、Spark 等架构处理储存数据，提升计算效率。机器学习分析储存环境变量，识别温湿度、气体浓度、液位异常趋势，构建储存安全风险模型。关联分析算法溯源储存事故，高风险储存区域精准锁定。边缘计算优化储存监测终端处理能力，降低云端负荷，提高实时预警效率，增强储存安全防控能力。

风险指数（RR）可基于多因素加权计算：

$$R = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i$$

其中， W_i 为第 i 个储存环境变量的权重， X_i 为该变量的监测值。风险指数越高，说明储存区域的潜在风险越大，预警级别需相应调整。

2.3 人工智能（AI）

人工智能技术优化储存巡检、异常识别，提高储存安全管理水平。计算机视觉结合无人机、智能摄像头，实现储存区域智能巡检，识别泄漏、违规操作等异常。深度学习分析储存温湿度、气体浓度、液位波动，精准预测储存安全隐患。自然语言处理（NLP）优化储存应急响应，智能解析储存事故报告，提升调度效率。强化学习优化储存参数，降低事故风险。数字孪生技术构建储存虚拟环境，模拟储存风险演变，提高储存应急预案科学性。

2.4 云计算与边缘计算

云计算提升储存监管数据处理能力，AWS、Azure、阿里云等支持储存监测数据整合，提供高效并行计算。数据湖存储多源储存数据，提高储存查询和分析能力。SaaS 模式增强储存监管协同，支持远程储存管理。边缘计算部署储存终端，减少数据延迟，提高本地储存分析能力。5G+MEC（移动边缘计算）加

速储存设备与云端协同，优化储存数据传输。分布式计算架构提升储存系统高可用性，确保储存监管稳定运行。

数据传输延迟计算公式：

$$T_{\text{total}} = T_{\text{edge}} + T_{\text{cloud}} + T_{\text{network}}$$

其中， T_{edge} 为边缘计算节点处理储存数据的时间， T_{cloud} 为云端分析时间， T_{network} 为数据在网络中传输的时间。降低 T_{edge} 和 T_{network} 可有效减少整体延迟，提高数据处理效率。

3 危化品储存安全监管数字化建设路径

3.1 监管数字化平台总体架构设计

监管数字化平台架构需涵盖数据采集层、传输层、处理层、应用层四个核心模块，以支持储存监测、预警分析、远程管理。数据采集层部署多类型储存传感器，监测温湿度、气体浓度、液位、压力等储存状态参数，并通过 RFID 及视频监控对储存设施进行实时跟踪。传输层采用 5G、NB-IoT、LoRa 等无线通信技术，实现储存数据的低延迟、高可靠传输，支持边缘计算节点对储存数据进行本地处理，减少云端负荷。处理层采用分布式存储架构，Hadoop、Spark 等计算框架结合时序数据库，解析储存数据趋势，构建储存安全评估模型。应用层整合 GIS、三维可视化技术，形成储存区域智能监管系统，支持多终端访问，实现储存动态展示、报警推送、应急响应调度，提高储存监管效率。

3.2 数据采集与传输体系的构建

数据采集体系采用高精度储存监测设备，包括电化学气体传感器、超声波液位计、光纤光栅温度传感器等，确保储存环境参数的实时获取。无人机巡检结合 AI 图像识别，自动分析储存罐区泄漏、腐蚀、异常振动，提高储存隐患识别精度。数据传输体系采用 5G-SDN 架构，动态调整储存监测数据流量，保证海量储存数据的稳定传输。MQTT、CoAP 等轻量级协议应用于低功耗设备，提升储存传感网络能效。多路径数据冗余传输机制确保储存数据可靠性，在异常情况下自动切换备用通道，防止储存数据丢失或延迟，提高实时性和安全性。

3.3 实时监测与预警机制的建立

实时监测系统依托分布式传感器网络和工业物联网（IIoT），连续监控储存温度、压力、浓度变化，建立动态储存风险评估模型。基于 LSTM、XGBoost 等算法，处理时序储存数据，识别储存异常波动，预测泄漏、过热等高风险情况。智能预警机制采用分级响应体系，储存数据超出设定阈值时，通过短信、APP 推送、语音报警等方式通知管理人员。基于强化学习

的智能决策模型优化储存事故响应策略，结合自动喷淋、排风系统联动控制，实现早期干预。历史储存数据回溯分析结合贝叶斯网络，优化报警阈值，减少误报与漏报，提高储存预警准确度。

3.4 监管系统应急响应与事故预警功能

应急响应系统整合 SCADA、BIM、数字孪生技术，虚拟还原储存设施状态，模拟储存事故演变过程，优化储存应急处置预案。智能调度系统结合储存事故类型、位置、扩散趋势，自动匹配消防、通风、泄漏处理措施，提高响应速度。多传感器融合技术实时监测储存泄漏源，结合流体动力学模型（CFD），计算有害气体扩散路径，提前划定危险区域，引导人员撤离。事故预警模块结合气象数据，分析储存事故外部影响，动态调整应急资源部署。自动化安全联锁系统（SIS）在储存异常状态下触发紧急切断阀、增压排气设备，减少事故升级风险，提高储存事故处置能力，应急响应与事故预警技术标准见表 1。

表 1 应急响应与事故预警技术标准

应急响应要素	数值	技术标准
SCADA 监测周期	5 秒	高频采样
BIM 模型精度	±10cm	厘米级精度
数字孪生计算时延	200ms	低时延
传感器数据更新频率	1 秒	实时更新
气体扩散计算误差	±5m	高精度模拟
应急调度时间	30 秒	快速响应
事故预警提前量	15 分钟	提前感知
紧急切断阀响应时间	5 秒	自动触发
增压排气设备启动时间	10 秒	智能调节
危险区域划定误差	±3m	精准划定

4 危化品储存安全监管数字化建设的实施策略

4.1 政策法规与标准体系的完善

储存安全数字化监管需要完善法规标准，统一数据采集、风险评估、事故预警和应急响应机制。标准化储存监测要求涵盖物联网设备精度、无线通信协议（LoRa、NB-IoT）、储存环境阈值设定等，确保储存数据可靠性。区块链技术用于建立储存监管数据平台，实现储存数据共享，提高监管透明度。结合 BIM、CIM 技术，为储存设施建立全生命周期数字档案，保障储存监管数据的准确性和可追溯性。某沿海化工园区制定储存监测规范，部署 5000 个气体传感器，实现储存环境全覆盖。监管部门建立数据链路，气体浓度、温湿度、液位数据误差控制在 ±0.2%。企业按标准上传储存监测数据，系统基于 Hadoop 分析储存安全状况，储存超标报警次数下降 35%，事故响应时间缩短 40%，提高储存监管效率。

4.2 数字化基础设施的建设与升级

储存监管数字化基础设施包括高精度传感器、5G

通信基站、边缘计算节点和云端数据处理中心，构建高效、实时的储存监测体系。光纤温度传感器、红外气体检测仪、超声波液位计确保储存环境精准监测。5G-MEC 优化储存数据传输路径，降低延迟，提升远程监控能力。云平台采用分布式存储架构，提高储存数据冗余性，确保数据稳定存储。长三角某化工企业采用 5G+AIoT 储存监测系统，在 400 个储存罐区部署智能传感器，并通过 5G 基站连接云端平台。边缘计算架构使数据分析响应时间缩短至 10 毫秒，深度学习算法精准识别储存异常。系统部署后，储存泄漏检测时间缩短至 30 秒，识别率提升至 99.2%，储存安全巡检效率提高 85%。

4.3 监管机构与企业协同推进机制

储存安全数字化监管需监管机构与企业协同推进，构建跨部门数据共享机制，提高储存管理精准度。基于大数据的储存信用评价体系，实时评估企业储存管理水平，优化储存风险分级监管模式。GIS+AI 一体化调度系统提升储存事故应急能力，动态调整资源部署，提高储存应急反应效率。华北某省级储存监管平台建立企业储存信用评价体系，数据接入省级监管云，实现储存监测自动上传与风险评分。监管机构基于储存监测数据、历史违规记录等生成储存风险指数，无人机巡检 + 远程监控全天候掌握储存动态。系统启用一年，高风险企业储存整改率提升 60%，储存违规事件减少 50%，储存应急响应效率提升 30%。

综上所述，危化品储存安全监管数字化建设提升了储存管理的智能化、精准化和高效性。未来，物联网、人工智能、云计算等技术的发展将推动储存监管智能化。智能传感器提高储存数据采集精度，5G 与边缘计算增强实时监测与应急响应能力，大数据和深度学习优化储存风险预测，实现精细化管理。政府、企业、科研机构需协同推进标准体系，构建一体化储存监管平台。随着产业数字化升级，危化品储存监管将迈向智能决策、无人巡检、自动应急的新阶段，确保储存安全的长期稳定。

参考文献：

- [1] 李树娟,钟焕荣,等.精细化工园区危险化学品全生命周期安全管理策略探讨[J].合成材料老化与应用,2023,52(04):117-118+136.
- [2] 常明亮,汪卫国,等.化工园区危险化学品运输车辆聚集安全风险评价的关键问题[J].劳动保护,2023,(05):54-57+4.

作者简介：

赵黎旻(1986-),男,汉族,山东枣庄人,本科,工程师,研究方向:安全。