

智能监测技术在危险化学品储存安全管理中的应用

赵云亮（河北兴华生物科技有限公司，河北 新乐 050700）

张佃喜（河北泽晨环保科技有限公司，河北 石家庄 050000）

摘要：本文聚焦智能监测技术在危险化学品储存安全管理中的整合应用，目的在于解析怎样凭借技术手段来对安全风险防控效能进行系统性的提升。核心内容涉及感知层部署、数据传输集成、智能分析预警以及可视化决策支持等诸多环节当中技术融合的路径。研究结果显示，深度应用这类技术能够让危险化学品储存环境的实时监控能力得到显著增强，使风险早期识别的精度得以提升，提高应急响应的智能化水平，进而为安全管理范式的升级给予关键支撑。

关键词：智能监测技术；危险化学品；储存安全管理；应用；风险预警

中图分类号：X937 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167（2025）027-0139-03

Application of Intelligent Monitoring Technology in the Safety Management of Hazardous Chemical Storage

Zhao Yunliang (Hebei Xinghua Biotechnology Co., Ltd., Xinle Hebei 050700, China)

Zhang Dianxi (Hebei Zechen Environmental Protection Technology Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei 050000, China)

Abstract: This paper focuses on the integrated application of intelligent monitoring technology in the safety management of hazardous chemical storage, aiming to analyze how to systematically enhance the effectiveness of safety risk prevention and control through technical means. The core content involves the paths of technology integration in various links such as the deployment of the perception layer, data transmission integration, intelligent analysis and early warning, and visual decision support. The research results show that the in-depth application of such technology can significantly enhance the real-time monitoring capability of the hazardous chemical storage environment, improve the accuracy of early risk identification, and increase the intelligence level of emergency response, thereby providing key support for the upgrading of the safety management paradigm.

Keywords: Intelligent monitoring technology; Hazardous chemicals; Storage safety management; Application; Risk early warning

危险化学品的储存存在易燃易爆、有毒有害等方面的复杂风险，其安全管理对保障生命财产及生态环境至关重要。当前依赖人工的传统管理模式在实时性、风险预警精准度以及应急决策支持等方面，均存在极为显著的局限性。所以急切需要在相关技术方面寻求突破。智能监测技术凭借其具备的动态感知能力、数据融合能力以及智能分析能力等，为有效解决上述挑战提供了全新的可能性，成为提升危险化学品储存本质安全水平的必然趋势和发展方向。

1 危险化学品储存安全管理与智能监测技术的理论基础

1.1 危险化学品储存的安全风险

《危险化学品安全管理条例》第三条 本条例所称危险化学品，是指具有毒害、腐蚀、爆炸、燃烧、助燃等性质，对人体、设施、环境具有危害的剧毒化学品和其他化学品。易燃易爆物质对点火源极为敏感，即使局部能量释放也可能触发快速且难以控制的链式反应，形成爆炸冲击波或大规模火灾。有毒有害化学

品具有潜在的急性健康损害能力，其蒸气或粉尘在特定浓度条件下可对人体呼吸系统、神经系统等重要器官功能造成显著影响甚至永久性损伤，泄漏形成的浓度梯度则决定了危害范围。腐蚀性物质可能直接损害接触者的皮肤及粘膜组织，其对储存容器内壁材料的持续侵蚀作用更会显著削弱设备的结构完整性，增大意外破裂或泄露发生的可能性，进而引发二次污染。化学品泄漏一旦发生便具有潜在的扩散性特征，特定类型的毒性物质可通过水体或大气的流动介质向周边环境迁移转化，不仅威胁临近区域的生态平衡，还可能对生物多样性和水资源构成长期且不可预测的压力，形成区域性环境风险事件（见表1）。

1.2 智能监测技术的基本原理与核心功能

智能监控是以嵌入式视频服务器与智能行为识别算法为核心的技术系统，通过分析行人、车辆等目标行为实现实时预警，具备物体识别、越界检测、轨迹跟踪及反常行为预警等功能，主要应用于交通管理、安防监控与社区物业管理领域。在危险化学品储存安

表 1 危险化学品储存核心风险特征矩阵

风险维度	表现特征	典型物质案例	潜在耦合风险示例
易燃易爆风险	点火敏感度高，能量释放快，易形成链式反应	如低闪点有机溶剂，不稳定氧化剂	火灾导致容器破裂引发有毒物质扩散
有毒有害风险	急性健康损害强，暴露途径多（吸入、皮肤等）	如挥发性神经毒剂，高毒性粉尘物质	泄漏沉降物腐蚀设施基础
腐蚀泄漏风险	对材料 / 组织持续侵蚀，破坏设备密封性	如强酸强碱溶液，活性卤素化合物	设备失效后引燃邻近可燃物
环境扩散风险	迁移性强（水 / 气），转化复杂，生态毒性持久	如高溶解性重金属盐，亲脂性有机污染物	地下水污染间接威胁健康

全管理方面，智能监测技术架构以物联网感知层作为神经末梢，部署于危险化学品储罐与管廊的传感器网络持续采集温度压力变化、液体存量波动及气体浓度漂移等物理参数，这些原始数据经由专用通信协议传输至云端或边缘计算节点^[1]。大数据处理引擎对海量异构信息进行清洗整合，建立包含历史运行记录与实时动态的储存状态数据库，人工智能算法继而从复杂数据流中挖掘潜在规律，训练出的预测模型可辨识储罐腐蚀速率异常加速、微量泄漏特征扩散等隐蔽风险信号。核心功能体现在对风险因子的超前洞察，机器学习驱动的分析系统不断优化储罐安全运行边界的动态阈值，一旦监测指标突破预设的安全区间，实时预警模块立即触发分级报警协议，同步向管理人员推送风险定位与处置建议，整个过程构建起从物理感知到智能决策的闭环响应体系。

2 当前危险化学品储存安全管理面临的关键问题

2.1 传统人工巡检依赖性强，实时性与覆盖度不足

在危险化学品储存安全管理的现行运行框架内，依赖人员周期性现场检查的模式主导了风险信息的采集流程，该模式固有的滞后性构成了获取异常动态信号的显著障碍。人工巡查的时间间隔特征使得区域内在两次检查窗口之间存在较长的潜在隐患潜伏期，某些快速发展的泄漏或浓度异常累积无法及时进入管理视野。固定的人员行走线路规划与复杂储存区域实际风险演变的非对称性形成潜在错位，环境变化诱导的新生风险点未必落入预设巡查范围。巡检结果的完整性记录与多班组历史数据之间的精细关联分析缺乏自动支撑平台，不利于识别渐进式的安全隐患演化特征。

2.2 风险预警能力薄弱，难以精准识别和快速响应

现有管理模式中多源监测数据处于割裂状态，视频监控、气体浓度传感与压力读数等关键信息缺乏有效关联分析机制，导致无法构建起对风险演化路径的整体认知图谱，管理者难以在事故萌芽阶段获得具有预见性的综合研判依据^[2]。风险确认环节通常需要反复人工核查验证，从发现异常到启动应急措施之间存在较长的决策链条，报警信号传递与响应指令执行过

程消耗的时间窗口常常滞后于风险演化的实际进度，使得本可控制的局部隐患升级为系统性安全事件的可能性持续存在。

2.3 安全管理数据分散，难以有效整合分析与追溯

原始数据存储格式的结构化差异导致跨系统信息调用时频繁遭遇语义解析障碍，基础数据清洗工作需要耗费大量人力完成格式转换与异常值修正，阻碍了高效的数据聚合进程。关键参数历史变化趋势追踪受制于分散存储架构，管理人员在分析特定时段事故诱因时不得不从多个独立数据库手动提取碎片化信息，依赖人工拼接还原事件全貌的追溯方式极大增加了时间成本与操作误差风险，难以形成对储存环境安全状态的全局性风险洞察^[3]。

3 智能监测技术在危险化学品储存安全管理中的具体应用

3.1 感知层技术应用

智能传感器网络构成了安全监测的底层触角，这些微型感知设备如同神经末梢般密集分布于储罐外壁、管道接口与库区空间，持续追踪储存环境的细微变化。温度传感节点实时捕捉储罐表面及周边空气的热量波动，其高精度特性可识别由化学反应失控或外部热源引发的异常温升趋势；压力传感装置则直接嵌入储罐内部或输送管道关键节点，通过动态感知密闭空间内压力参数的连续变化，为判断容器结构完整性及内部反应状态提供原始依据。与之配合的液位传感器采用非接触式雷达或超声波技术穿透罐体壁障，全天候反馈储罐内化学品的实际存量高度，既防范因过量充装导致的溢流风险，也预警异常消耗可能暗示的隐蔽泄漏。气体传感器阵列战略性地部署于通风口、地沟及设备间隙等易积聚区域，针对特定危险化学品的挥发特性定制检测模块，例如对苯系物设置光离子化探测器，对硫化氢则配置电化学单元，实现有毒可燃气体浓度的秒级响应。泄漏监测体系融合了线型感温电缆与液体传感胶带双重防线，前者沿管线走向敷设以定位绝缘层破损引发的局部过热，后者铺设在储罐围堰与地面沟槽中精准捕获液体渗漏的初始信号。

3.2 数据传输与平台层应用

物联网通信技术构建了感知数据流动的神经网络, 储罐区密集部署的温湿度、压力、泄漏气体传感器网络生成连续原始信息流。依托具有强抗干扰特性的工业无线传感网以及抗腐蚀设计的现场总线系统, 这些表征储存状态的关键物理量得以从高危区域可靠地汇集至边缘计算节点。数据采集模块在此节点完成多源信号的初步滤波与时间戳同步, 剔除由电磁环境或机械振动引发的噪声干扰, 确保后续分析的底层信息具备时空一致性基础^[4]。针对大型园区覆盖需求, 低功耗广域物联网技术为分散的储存单元提供远距离穿透性传输能力, 窄带物联网特性尤其适用于深罐区这类复杂金属结构环境中的信号稳定上传。云平台集成构成信息汇聚与价值提炼的核心载体, 经过预处理的海量传感数据流持续注入分布式存储集群。基于储存安全逻辑定制的数据治理框架在此激活, 系统自动识别并归类不同储存单元的关键指标序列, 例如易燃液体储罐的温度历史趋势、剧毒品仓库的通风负压波动曲线, 构建起结构化的储存安全主题数据库。集成在平台层的时序分析引擎执行连续状态扫描, 其内嵌的智能预警模型结合具体危险化学品的理化特性阈值, 实时解析诸如异常温升速率、压力梯度剧变等潜在风险征兆。平台可视化界面向安全管理方动态映射设施整体运行全景, 高亮标注预警区域及其关联的物料信息、MSDS关键条目, 驱动巡检人员精准定位目标储存单元。

3.3 数据分析与预警层应用

储存环境的历史温度压力记录与实时动态信息在时序数据库中进行比对, 大数据分析引擎识别出偏离正常波动区间的异常模式, 例如储罐压力曲线在无操作指令时的持续攀升或特定区域温度分布的异常热点。人工智能模型深度挖掘这些异常背后的潜在关联, 基于腐蚀速率演算模型判断储罐壁厚减薄趋势, 或是通过气体浓度扩散图谱反推可能的微量泄漏源位置。风险预测模块进一步整合气象数据与设备运行日志, 对雷暴天气下易燃易爆蒸汽积聚概率或老旧阀门失效可能性进行量化评估, 生成未来数小时至数天的风险热力图。分级预警机制依据风险严重程度自动触发响应流程, 轻微异常生成工单推送至巡检终端, 中等风险启动声光报警并锁定相关区域进出权限, 高危信号则直接联动应急控制系统开启喷淋稀释或紧急排空程序。预警信息同步可视化呈现于三维厂区模型, 闪烁的储罐图标与风险等级色块帮助管理人员快速定位问题核心, 辅助决策界面同时推送同类事故处置案例的关键参数供参考。

3.4 可视化与应急响应应用

在危险化学品储存安全管理系统的实际运行中,

实时状态可视化展示构成日常监控的核心支撑, 集成平台将分散传感器获取的温湿度、液位、气体浓度等储存关键参数投射到数字化厂区模型中。三维立体的虚拟场景动态呈现各储存单元物质分布热力图与安全态势等级标注, 操作人员能够快速识别高危区域如剧毒品库房压力异常区域或易燃液体储罐集群的超容风险点。依托 GIS 定位叠加的资产管理系统同步显示应急资源位置状态, 涵盖消防设备可用性信息以及特定危险化学品专用吸附剂储备情况, 为后续响应准备基础数据铺垫。智能辅助决策支持模块在预警触发后随即激活, 其内嵌的应急推理引擎调取当前储存物料的 MSDS 特性参数以及泄漏扩散模型数据。系统根据传感器实时捕捉的事故特征进行情景匹配运算, 算法自动过滤与现储存场景冲突的处置方案后推送优先级最高的行动指南^[5]。安全专家库积累的历史案例数据辅助动态修正控制建议, 例如在腐蚀性化学品储罐微量泄漏场景下, 系统会结合风速风向信息预判受影响区域并提示隔离特定通风阀门避免事故链蔓延。联动控制机制在决策方案确认后展开自动执行流程, 管理系统向储存区域的智能终端设备发送标准化操作指令序列。安装在防火分区隔离门的气动执行器依据信号自动闭锁阻止危险扩散, 同时启动预设的应急泄压排放系统对目标储罐实施减压操作。

综上所述, 通过构建能覆盖感知、传输、分析与决策全链条的体系, 智能监测技术有效解决了在危险化学品储存方面传统人工监管的实时性不足与预警滞后等问题, 对风险主动防控能力实现了大幅提升。未来应深化多源技术融合应用方面的工作, 强化智能算法在复杂场景下预测的可靠性, 推动监测系统与应急管理体系的深度协同。进一步对边缘智能、数字孪生等技术和安全管理之间创新结合点展开探索, 如此将助力构建更自主、更韧性的危险化学品智能安全生态。

参考文献:

- [1] 黄瑜钿, 蔡英俊. 进出口危险品储存、经营场地安全许可资质介绍 [J]. 中国海关, 2024(12):42-43.
- [2] 毛世宇. 加强炼化企业危险化学品安全监管工作的有效措施 [J]. 石油化工安全环保技术, 2024, 40(05):25-27+6.
- [3] 林建. 石油化工企业危险化学品储存安全管理及事故应急管理 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(14):7-9.
- [4] 蒋善臣. 危险化学品安全管理路径分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(13):85-87.
- [5] 丁仕勇. H 公司危险化学品仓储作业安全风险评价研究 [D]. 青岛: 青岛科技大学, 2024.