

AI 赋能下危险化学品仓储智能化监管体系构建

王志成 (儋州市应急管理局, 海南 儋州 571700)

王海英 (儋州市应急保障服务中心, 海南 儋州 571700)

摘要: 结合物联网大数据等新一代信息技术,以 AI 技术赋能为核心,本文提出危险化学品仓储智能化监管体系的构建方案,通过剖析传统监管体系现存的问题,对“感知层-传输层-平台层-应用层”这一四层技术架构展开设计。该体系经研究表明能够对危险化学品仓储的全流程以及全要素达成智能化监管,显著增强风险防控能力与监管效率,为危险化学品仓储安全管理给予实践参考和技术支撑。

关键词: AI 技术; 危险化学品; 仓储监管; 智能化体系; 风险防控

中图分类号: TQ086.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 032-0001-03

Construction of an intelligent supervision system for hazardous chemicals storage Empowered by AI

Wang Zhicheng (Danzhou Emergency Management Bureau, Danzhou Hainan 571700, China)

Wang Haiying (Danzhou Emergency Support Service Center, Danzhou Hainan 571700, China)

Abstract: By integrating new-generation information technologies such as the Internet of Things and big data, and with AI technology as the core, this paper proposes a construction plan for an intelligent supervision system for hazardous chemicals storage. Through analyzing the existing problems of the traditional supervision system, the four-layer technical architecture of “perception layer - transmission layer - platform layer - application layer” is designed. Research has shown that this system can achieve intelligent supervision over the entire process and all elements of hazardous chemicals storage, significantly enhancing risk prevention and control capabilities and supervision efficiency, and providing practical references and technical support for the safety management of hazardous chemicals storage.

Keywords: AI technology; Hazardous chemicals; Warehouse supervision; Intelligent system; Risk prevention and control

危险化学品具备易燃易爆有毒以及有害等特性,仓储环节涵盖存储搬运盘点等诸多流程,只要任何环节出现监管疏漏,就极有可能引发安全事故,对人员生命安全和生态环境构成威胁。近年来 2023 年某化工企业仓储区发生的危险化学品仓储事故引人关注,因温湿度监控失效,致使危化品自燃造成重大经济损失。这一系列频发的事故暴露出传统“人工巡检+定期排查”监管模式,存在实时性精准性方面的不足,在人工智能技术迅猛发展的当下,AI 在数据挖掘预测分析以及图像识别等诸多领域其优势正日益突显,这为危险化学品仓储监管实现智能化转型创造了条件。研究 AI 赋能情形下危险化学品仓储智能化监管体系如何构建,对于处理传统监管的痛点问题提高安全管理水准而言有着十分重要的现实意义。

1 传统危险化学品仓储监管体系的现存问题

1.1 监管方式滞后,人工依赖度高

传统仓储监管针对危险化学品主要依靠人工巡检,工作人员要定期检查仓储区的温湿度,危化品的堆放状态以及消防设施等情况。人工巡检存在难以全面覆盖的“盲区”,诸如高大货架顶部狭窄通道这类区域,人工判断时工作人员疲劳经验不足等主观因素

易产生影响,可能致使风险漏判。据统计我国危险化学品仓储事故 70% 与人工监管存在的疏漏有直接联系,传统的监管方式,已经难以满足大规模高风险的监管需要。

1.2 风险预警能力薄弱,应急响应滞后

危险化学品仓储风险呈现出隐蔽性以及突发性等特性,就像危化品泄漏在初期的时候,其浓度相对较低依靠人工很难做到快速察觉;在短时间内若温湿度异常未得到及时干预,有可能引发连锁反应,传统监管模式的风险预警大多依靠事后反馈,缺乏实时数据采集和分析能力难以达成“事前预防”。事故发生之后应急处置方面需依靠人工来汇总数据,并且制定方案这使得响应时间有所延长进而让事故损失进一步扩大,某仓储企业由于没能及时察觉危化品发生泄漏,致使处置时机被延误最终导致泄漏范围不断扩大对周边环境产生了影响。

1.3 数据孤岛现象严重,协同监管不足

企业内部存在生产仓储物流等多环节数据,与此危险化学品仓储监管涉及应急管理,市场监管环保等多个部门,在传统的监管情形里,各部门以及各环节的数据大多呈现出分散存储的状态。由于没有一个统

一的数据标准,也缺乏共享平台最终形成了“数据孤岛”,企业仓储区的实时监控数据无法被应急管理部门实时获取,并且企业对接环保部门的污染物排放标准也面临困难,这使得监管协同性处于较差状态。不仅使得跨部门应急联动难以有效开展,数据无法高效流转也降低了监管效率。

2 AI 赋能下危险化学品仓储智能化监管体系架构设计

结合 AI 技术优势针对传统监管体系的痛点,本文设计了“平台层-感知层-应用层-传输层”四层智能化监管体系架构,达成危险化学品仓储从“被动监管”到“主动防控”的转变具体架构呈现于图 1。

2.1 感知层:全要素数据采集,奠定监管基础

通过部署物联网设备,让感知层成为体系的数据来源,达成对危险化学品仓储全要素的实时采集。具体包括:

环境感知设备:在仓储区域安装 AI 温湿度传感器,气体传感器(像硫化氢氨气传感器这类)还有火焰探测器等设备,实时对环境参数予以采集,且采集精度能够达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (针对温湿度)和 0.1ppm (针对气体浓度)以此保证数据的准确性。

状态感知设备:采用 AI 视觉摄像头对人员操作行为(如是否违规进入禁区),危化品堆放状态(如是否超压包装是否破损)展开实时识别;把 RFID 标签安装到危化品容器上,并将危化品名称规格存储期限这类信息记录下来,达成“一物一码”的追溯;

设备感知设备:在消防水泵叉车等设备之上安装电流传感器,振动传感器对设备运行状态予以监测,防范因设备故障所引发的安全风险。

多类型设备经协同于感知层,达成“人机物环”数据的全面覆盖为后续 AI 分析给予高质量数据支撑。

2.2 传输层:稳定数据传输,保障信息流转

传输层把感知层所采集的数据以“5G+ 边缘计算”混合传输模式,高效且安全地传输到平台层:

5G 传输:实现实时数据(如视频流传感器数据)的高速传输,利用 5G 低延迟(端到端延迟 $\leq 10\text{ms}$)大带宽特性满足动态监控与实时预警需求;

边缘计算:部署边缘节点于仓储区,针对部分数据(像温湿度异常数据这类)开展本地预处理工作,以此削减数据传输量减轻平台层所承受的压力;本地快速响应可由边缘节点达成,像是一旦察觉到明火马上触发本地声光报警,从而为应急处置赢得时间。

采用加密传输协议(如 SSL/TLS)于传输层,确保数据在传输时不被窃取篡改以此保障数据安全。

2.3 平台层:AI 驱动数据处理,构建智能中枢

在体系里平台层处于核心位置,它把大数据处理以及 AI 分析的能力进行整合,达成数据的存储分析以及挖掘。主要涵盖三大模块:

数据存储模块:建立统一数据标准,打破“数据孤岛”实现跨部门跨环节数据共享,采用分布式数据库(像 Hadoop 这类),对感知层采集到的结构化数据(温湿度数值)以及非结构化数据(视频画面)进行存储。

AI 分析模块:集成多种 AI 算法,是平台层的核心功能。其中用于图像识别的是卷积神经网络(CNN),像是借助摄像头识别危化品包装是否破损,人员有无违规操作;用于时序数据预测的是循环神经网络(RNN),依据历史温湿度数据对未来 24h 环境变化趋势展开预测;结合危化品特性、环境参数、设备状态等多维度数据,运用深度学习模型开展风险评估工作,最终生成风险等级(低、中、高);

接口模块:对接企业 ERP 系统以及政府监管平台,借助提供的标准化接口达成数据的双向流转,企业能够借助接口来获取监管部门所制定的安全标准,与此监管部门能够实时地去调取企业仓储区的数据以此来让协同监管的效率得到提升。

2.4 应用层:场景化功能落地,实现智能监管

面向企业政府部门提供场景化监管功能,此功能基于平台层的数据分析结果,在应用层实现具体涵盖:

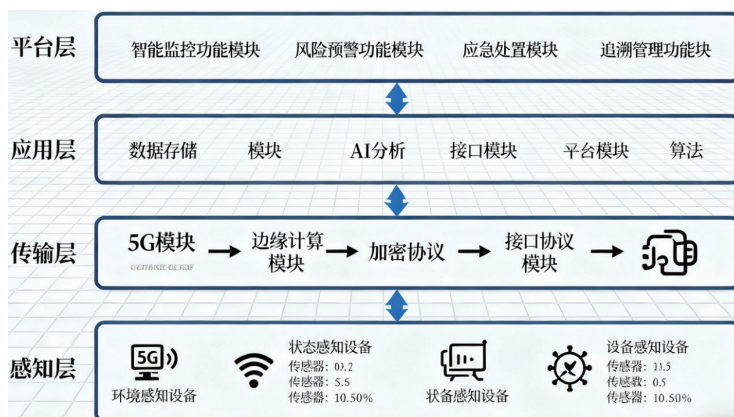


图 1 “感知层-传输层-平台层-应用层”四层智能化监管体系架构

智能监控功能：一旦发现违规行为（如人员未穿防护服进入仓储区），通过 AI 视觉分析对危化品堆放人员操作设备运行状态进行实时监控，即刻触发报警并推送至工作人员手机端。生成监控日报，自动对违规次数风险点分布进行统计，为监管提供依据。

风险预警功能：提前预警温湿度异常气体泄漏等风险，依靠的是 AI 预测模型，AI 模型在气体传感器检测到浓度超越阈值之际，迅速剖析泄漏源位置预测扩散范围，而后将预警信息推送至企业安全部门以及政府监管平台。

应急处置功能：事故发生后 AI 系统把事故数据（像周边人员分布、泄漏危化品种类以及泄漏量等）自动进行汇总，制定出应急处置方案诸如推荐疏散路线、对附近应急物资加以调配。将消防医疗部门进行联动，达成跨部门应急联动效果以此来缩短响应时间。

追溯管理功能：区块链技术与 RFID 标签被用于记录危化品从入库起始，历经存储阶段直至出库的整个流程数据，凭借区块链不可篡改的特性，保障数据真实且可靠。一旦事故发生能够迅速对责任环节展开追溯。

3 AI 赋能危险化学品仓储智能化监管体系的支撑措施

3.1 完善制度保障，规范体系运行

制度保障是体系落地的前提，一方面政府部门要制定 AI 监管技术标准，诸如将感知设备安装规范明确确定数据共享范围提出 AI 算法精度要求，防止企业“各自为战”。对采用 AI 监管体系的企业出台激励政策，给予补贴降低企业转型成本从另一方面看，构建责任追溯制度，把企业、政府部门于监管里的职责予以明确。像政府部门要定期检查体系运行状况，企业则需定期对 AI 设备展开维护，以此保证监管不存在死角。

3.2 强化数据安全，防范信息风险

数据安全的智能化监管的关键，针对存储传输的敏感数据（像危化品存储位置、企业生产数据这类），运用数据加密技术展开加密处理，以此防止数据出现泄露情况。构建访问权限管理机制，不同角色（监管人员、企业员工）具备不同的数据访问权限，防止越权操作，开展数据安全审计要定期进行，对安全漏洞予以排查。像借助 AI 技术监测数据访问行为是否异常，及时对网络攻击加以防范。

3.3 加强人才培养，提升技术能力

AI 监管体系的运行需要专业人才支撑，企业要强化内部培训工作，培养复合型人才，这类人才既要熟知危化品仓储管理相关知识，又要熟练掌握 AI 技术。定期安排员工参与数据分析培训，以及 AI 图像识别

培训，开设“危化品安全+AI”相关课程高校需调整专业设置，为行业输送专业人才。政府部门能够搭建人才交流平台，推动 AI 监管技术创新促进企业高校与科研机构展开合作。

4 结论与展望

本文所构建的 AI 赋能危险化学品仓储智能化监管体系，借由“感知层-传输层-平台层-应用层”这四层架构达成了危化品仓储全流程以及全要素的智能化监管。传统监管里人工依赖预警滞后，数据孤岛等问题被该体系有效解决，危险化学品仓储安全管理可借助该体系应用新路径，由此开辟显著提升监管效率降低事故发生率。

未来 AI 技术持续发展，危险化学品仓储智能化监管体系可在三个方向深化：构建仓储区虚拟模型需融合数字孪生技术，达成“物理实体-虚拟模型”的实时映射以此提高风险模拟和应急演练的精准性。二是开展 AI 大模型应用探索，借助训练危化品领域专属大模型达成更为复杂的风险剖析以及方案生成，依据多起事故案例自动归纳处置经验，建立全国统一的危险化学品仓储 AI 监管平台，推动跨区域监管协同达成跨部门跨省的数据共享以及联动监管，构建起“全国一盘棋”的安全防控格局。

参考文献：

- [1] 孟岩舟,王祥,尹涌.危险化学品的信息化、智能化监管[J].安全,2021,42(3):31-35.
- [2] 马全宇,张茂盛,丁宗超,等.基于深度学习的海关危险化学品数智监管新模式及应用[J].中国口岸科学技术,2024,6(4):41-48.
- [3] 赵彦利.基于时空信息的危险化学品全域监管系统研究[J].软件,2023,44(5):157-160.
- [4] 庞雷,任丽娟,强浩.“一物一码”化学品智能化管理系统的应用[J].中国核电,2025,18(3):406-409.
- [5] 唐永,寇江伟.AI机器视觉智能监管系统在危险化学品行业安全管控中的应用[J].化纤与纺织技术,2023,52(3):116-118.
- [6] 呼万军,李振鹏,嵇斌.危险化学品存储安全与环保风险管理策略研究[J].工程学研究与应用,2025,6(22).

作者简介：

王志成(1992-),性别:男,民族:汉,籍贯:海南省儋州市,学历:本科,职称:中级工程师,研究方向:安全工程。

王海英(1982-),性别:女,民族:汉,籍贯:内蒙古赤峰市,学历:本科,职称:中级工程师,研究方向:安全工程。