

AI 驱动化工安全隐患智能识别与预警及其经济价值分析

李立群 (安徽省杰邦科技发展有限公司, 安徽 合肥 230041)

摘要: 随着数字化转型推进和新课标要求, AI 技术成为化工安全治理现代化的关键支撑。针对当前 AI 在化工安全领域应用适配性不足、落地难等问题, 本文构建“数据采集-智能识别-实时预警-安全保障”全流程技术体系, 整合多源数据与深度学习等算法, 实现设备、工艺、人员隐患的精准识别与分级预警。结合不同规模化工企业应用实践, 量化分析其在事故损失减少、管理成本降低等方面的直接经济价值与合规、社会效益。旨在为化工行业安全管理数字化转型提供参考。

关键词: AI 驱动; 化工安全隐患; 智能识别; 智能预警; 经济价值

中图分类号: TQ086; TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 005-0047-03

AI-Driven Intelligent Identification and Early Warning of Chemical Safety Hazards and Its Economic Value Analysis

Li Liqun (Anhui Jiebang Technology Development Co., Ltd., Hefei Anhui 230041, China)

Abstract: With the advancement of digital transformation and the requirements of new industry standards, AI technology has become a key support for the modernization of chemical safety governance. Addressing the current problems such as insufficient adaptability and difficulty in implementation of AI in the field of chemical safety, this paper constructs a full-process technical system of “data collection - intelligent identification - real-time early warning - safety guarantee”. By integrating multi-source data and algorithms such as deep learning, it realizes accurate identification and hierarchical early warning of hidden hazards in equipment, processes and personnel. Combined with the application practices of chemical enterprises of different scales, this paper quantitatively analyzes its direct economic value in reducing accident losses and management costs, as well as compliance and social benefits. The purpose is to provide reference for the digital transformation of safety management in the chemical industry.

Keywords: AI-driven; chemical safety hazards; intelligent identification; intelligent early warning; economic value

随着新一代信息技术与制造业深度融合, 数字化、智能化成为化工行业转型发展的必然趋势。以技术创新推动安全生产治理能力现代化, 要求打破传统管理模式的局限, 构建精准、高效、全面的安全防控体系^[1]。AI 技术属于数字经济时代的关键驱动力, 它在数据挖掘、模式识别、实时监测等各方面的优势同化工安全隐患识别预警的需求十分吻合^[2]。但是目前 AI 技术在化工安全领域的应用还处于起步阶段, 存在技术适配性差、数据质量参差不齐、经济价值难以量化、推广落地难等问题, 大多数企业仍然沿用传统的安全管理模式, 没有充分发挥出 AI 技术的赋能作用。因此本文对 AI 驱动的化工安全隐患智能识别与预警的技术体系、应用实践和经济效益做了系统的研究, 为化工行业的安全管理数字化转型和高质量发展提供系统的解决方案。

1 AI 驱动化工安全隐患智能识别与预警的技术体系

1.1 数据采集与预处理模块

数据采集是 AI 驱动安全识别预警的基础, 模块需要完成多源异构数据的全面采集与标准化处理。数据采集范围覆盖化工生产全过程, 设备运行数据由温

度传感器、压力传感器、振动传感器、液位传感器等设备对反应釜、储罐、管道、泵阀等主要设备运行参数进行实时采集^[3]; 工艺参数数据通过 DCS 系统采集反应温度、压力、流量、浓度等工艺参数; 环境监测数据通过气体传感器、温湿度传感器、风速传感器等对生产区域有毒有害气体浓度、易燃易爆气体浓度、环境温湿度等进行采集; 人员操作数据通过视频监控、人脸识别、操作记录仪等对人员进入危险区域、违规操作等行为数据进行采集。数据预处理阶段要开展数据清洗、数据集成、数据转换以及数据降维等工作, 借助剔除异常值、填补缺失值、统一数据格式、提取关键特征等方式, 把多源异构数据转变成 AI 算法能够处理的标准化数据, 保证数据品质和模型训练成效^[4]。对于传感器数据噪声干扰的问题, 采用移动平均法和小波变换相结合的方式对数据进行降噪, 提高数据的准确性。

1.2 智能识别算法模型

智能识别算法模型属于技术体系的核心部分, 依靠深度学习、计算机视觉、机器学习等人工智能技术, 构建多维度的隐患识别模型。用卷积神经网络算法来识别设备振动、温度和压力数据上的正常特征, 以此

判定设备出现了不正常的工作状态，比如轴承磨损、设备腐蚀、密封失效这些隐患；计算机视觉技术用来创建图像分析模型，通过分析监控视频中的图像内容，找出设备表面的裂纹、泄漏、防护设施缺失等可观察的隐患。工艺异常识别模型用循环神经网络算法，根据历史工艺参数数据建立正常的工艺曲线，在实时监测的基础上，对比当前工艺参数和正常工艺曲线的偏差情况，发现工艺参数超限、反应失衡等隐患。人员违规识别模型利用YOLO算法和行为识别技术相结合，对监控视频中的人员行为进行分析，识别出未佩戴防护用品、进入危险区域、违规操作设备等不安全行为。同时构建融合模型，对多维识别结果进行综合分析，消除误判干扰，提高隐患识别的准确度和可靠性。

1.3 实时预警与响应系统

实时预警与响应系统是AI驱动化工安全隐患治理的中枢，它要完成好隐患信息准确传递、分级处置调度的任务，保证隐患在萌芽阶段就被控制住。系统按照隐患严重程度、发展扩散速度、可能造成的损失规模，创建起四级预警机制，让预警方式同响应流程精确对接。一般预警是针对轻微、无即时风险的隐患，以系统弹窗、企业内部APP推送、短信通知的形式，同步通知现场巡检人员及时核查；较重预警是针对有逐步升级风险的隐患，在一般预警的基础上增加电话通知和现场声光报警，要求相关责任人15min内到达现场进行初步处置；严重预警是针对高风险隐患，立即启动应急指挥平台，联动企业安全管理部门、专职应急处置队伍，5min内完成响应，同时触发生产系统联动，采取降负荷运行、局部设备停机等紧急措施，遏制隐患扩大；特别严重预警是针对可能引发重大事故的紧急隐患，在上述所有措施执行的基础上，自动对接当地应急管理部门信息系统，实时上报隐患位置、发展态势、企业处置进展，争取外部救援支持。

响应系统内置有专业的隐患处置知识库，涉及设备故障、工艺异常、人员违规操作等各类隐患，根据不同级别、不同场景的隐患，整理出标准的处置流程和技术指导，即风险隔离步骤、应急物资使用规范、现场操作禁忌等主要内容。现场人员接收预警之后，可以快速调用对应的处置方案，并结合实时推送的隐患位置、现场环境参数等信息来开展科学的处置。系统可以实现处置过程的实时反馈，管理人员可通过平台随时查看处置的进程状况，出现复杂问题或者处置受阻时可发起远程会商，技术专家可以提供专业实时的指导从而形成预警触发、方案推送、现场处置、进度跟踪、专家支撑的闭环响应机制。从根本上避免因处置不及时、方法不当导致的安全隐患扩大的情况，

最大程度上降低安全隐患。

1.4 数据安全与可靠性保障

数据安全、系统可靠属于技术体系稳定运行的重要因素。在数据安全方面，采用数据加密技术对采集、传输、存储过程中涉及的数据进行全流程加密。传输时使用SSL/TLS协议，存储时采用AES256加密算法，以防止数据的泄露、篡改和窃取。建立数据访问权限管理体系，明确各岗位人员可以访问哪些数据，实行数据分级授权访问制度。定期开展数据安全审计与风险评估工作，及时处理存在的数据安全隐患。在系统可靠性方面，采用分布式架构设计，确保系统部分节点发生故障时仍能正常工作，提高系统的容错能力。建立冗余备份机制，及时对重要的数据和系统程序进行备份，防止数据丢失和系统崩溃。定时开展系统测试和维护工作，检查硬件设备、软件程序的运行状况，及时处理漏洞和故障，保证系统持续稳定地运转。同时，建立算法模型可靠性验证机制，通过离线测试、模拟场景测试、现场试点应用等不同阶段进行检验，确保算法模型在复杂的化工生产环境中能准确识别和发出预警^[5]。

2 应用实践与经济价值评估

2.1 典型应用场景实践

以某大型石油化工园区为例，该园区占地8.2km²，有23家化工企业，涵盖原油加工、化工合成、精细化工等诸多领域，设备密集、工艺繁杂、危险化学品储量大。园区引进AI驱动的安全隐患智能识别与预警系统之后，就对全园区安全隐患实施了智能化的管理。系统通过分析反应釜振动数据、温度数据提前72h识别出3台反应釜轴承磨损隐患，防止设备故障造成生产停机；通过对气体传感器数据和视频图像分析准确地找到管道微小泄漏2起，及时处理，没有发生危险化学品扩散；对人员进行管理共发现未佩戴防护用品、违规进入危险区域等不安全行为46起，及时给予警示并作出整改。该园区应用系统一年之后安全隐患识别效率提高80%、隐患整改及时率达到100%、无一般以上安全事故发生，实现了安全管理水平的提高^[6]。另外，系统在精细化工企业的间歇式生产、化工仓储企业危险品存储等场景中也得到了成功应用，并且取得了良好的安全防控效果。

2.2 直接经济价值量化分析

直接经济价值主要体现在事故损失减少、安全管理成本降低、生产效率提升三个方面。采用量化公式对直接经济价值进行计算，直接经济价值年提升额=事故损失减少额+安全管理成本节约额+生产效率提升带来的额外收益额。

事故损失减少额方面,参考化工行业平均数据,未应用 AI 系统时,中型化工企业年均一般及以上安全事故直接损失约 800 万元,应用系统后事故发生率下降 60%,年均事故直接损失减少 480 万元;间接事故损失(包括生产中断损失、设备维修损失等)约为直接损失的 3 倍,间接损失减少额约 1440 万元。

安全管理成本节约额方面, AI 系统可替代 50% 的人工巡检工作量,中型化工企业年均人工巡检成本约 600 万元,节约成本 300 万元;同时减少巡检设备购置与维护成本约 80 万元,合计节约安全管理成本 380 万元。

生产效率提升带来的额外收益额方面,系统减少生产停机时间年均约 15 天,中型化工企业日均产值约 50 万元,额外收益额约 750 万元。经计算,中型化工企业应用 AI 系统后,年均直接经济价值提升额约 3050 万元。

2.3 间接经济价值与社会效益

间接经济价值主要体现在合规成本降低、融资成本下降、市场竞争力提升等方面。①合规成本方面, AI 系统助力企业满足安全环保监管要求,减少因违规导致的罚款与整改支出,中型化工企业年均合规成本可降低 150-200 万元。②融资成本方面,安全管理水平的提升使企业信用评级提高,银行贷款利率可降低 0.5-1 个百分点,以年均融资额度 5 亿元计算,年均融资成本可节约 250-500 万元。③市场竞争力方面,安全管理能力成为化工企业参与项目投标、市场合作的重要考量因素,应用 AI 系统的企业在市场竞争中更具优势,可增加市场份额 5%-10%,带来显著的长期经济效益。

2.4 不同规模企业应用效果对比

不同规模化工企业因生产规模、技术水平、资金实力等差异, AI 系统应用效果存在一定差异。小型化工企业生产流程相对简单,隐患类型较少,但资金有限、技术人才缺乏,应用简易版 AI 系统后,隐患识别准确率可达 85% 以上,事故发生率下降 40%-50%,年均直接经济价值提升约 500 万~800 万元,投资回报率约 15%-20%,但系统适配性与扩展性有待提升。中型化工企业生产规模适中,技术基础较好,应用标准版 AI 系统后,隐患识别准确率可达 92% 以上,事故发生率下降 60%-70%,年均直接经济价值提升

约 2000 万~3500 万元,投资回报率约 25%-30%,系统运行稳定性与实用性较强。大型化工企业与化工园区生产复杂、隐患众多,资金与技术实力雄厚,应用高级版 AI 系统后,隐患识别准确率可达 95% 以上,事故发生率下降 70%-80%,年均直接经济价值提升约 5000 万元,投资回报率约 30%-40%,可实现多企业、多区域协同防控,形成规模化应用效应。总体来看, AI 系统在各类规模化工企业中均具有显著的应用价值,大型企业与应用效果更为突出,小型企业可通过分步实施、按需定制的方式逐步推进 AI 技术落地。具体如表 1 所示:

3 结语

AI 驱动化工安全隐患智能识别与预警是化工行业安全管理数字化转型的核心方向,也是实现安全保障与经济效益协同提升的关键路径。本文构建了涵盖数据采集、智能识别、实时预警、安全保障的全流程技术体系,结合典型应用场景量化分析了其直接与间接经济价值。未来,随着 AI 技术的持续迭代与行业应用的不断深化,需进一步聚焦场景化技术研发、跨系统集成、标准化建设与生态协同,推动 AI 技术与化工安全管理深度融合。推动化工行业向更安全、更高效、更可持续的方向发展,为国民经济高质量发展提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 孟祥超. 化工安全生产中自动化控制技术的运用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(10): 50-52.
- [2] 郑磊. 新环境下化工安全生产管理及事故应急措施 [J]. 大众标准化, 2025, (10): 143-144+147.
- [3] 孔建华. 智能巡检定位系统在煤化工安全生产管理中的应用 [J]. 甘肃科技, 2025, 41(04): 74-77.
- [4] 张宪瑞, 徐智博. 化工生产技术管理与化工安全生产的关联性探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(06): 22-24.
- [5] 李杨. 机器人在化工安全隐患排查中的应用探析 [J]. 山东化工, 2025, 54(06): 224-227.
- [6] 郭丽. 双重预防机制下化工安全管理模式的完善 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(23): 82-84.

作者简介:

李立群(1964-), 男, 汉族, 安徽合肥人, 大专, 中级注册安全工程师, 研究方向: 企业安全技术服务。

表 1 不同规模化工企业 AI 系统应用效果对比

企业规模	隐患识别准确率	事故发生率下降幅度	年均直接经济价值提升(万元)	投资回报率	核心应用优势
小型企业	≥ 85%	40%-50%	500-800	15%-20%	成本低、易操作、快速见效
中型企业	≥ 92%	60%-70%	2000-3500	25%-30%	性价比高、适配性强、稳定可靠
大型企业/园区	≥ 95%	70%-80%	≥ 5000	30%-40%	全场景覆盖、协同防控、智能化程度高