

化工园区重大危险源风险分级管控与智能化预警系统构建策略

高彭, 许浩, 庞丽丽, 凌瑞昕
鲁西化工集团股份有限公司, 山东 聊城 252211
DOI:10.61369/ERA.2026060026

摘要 : 针对化工园区重大危险源数量多、分布密、关联性强的风险特征, 传统“人防”模式难以适应动态管控的需求。本文提出构建风险分级管控与智能化预警系统, 通过建立全息化危险源辨识机制、差异化分级标准与责任体系, 部署多源数据融合感知层、预警模型与闭环处置机制, 形成风险等级与预警联动、数据驱动优化及两级平台协同的融合路径, 并明确分阶段实施与制度保障策略。该系统旨在实现从被动响应向主动预防的转型, 提升化工园区安全韧性与应急效能。

关键词 : 分级管控; 全域监测; 预警响应; 动态优化

Construction Strategy of Risk Grading Control and Intelligent Early Warning System for Major Hazard Sources in Chemical Industrial Parks

Gao Peng, Xu Hao, Pang Lili, Ling Ruixin
Luxi Chemical Group Co., Ltd., Liaocheng, Shandong 252211

Abstract : In response to the risk characteristics of chemical industrial parks, such as numerous major hazard sources, dense distribution, and strong interconnections, the traditional "human defense" mode is difficult to meet the requirements of dynamic control. This paper proposes to build a risk grading control and intelligent early warning system. By establishing a holographic hazard source identification mechanism, differentiated grading standards and responsibility system, deploying multi-source data fusion perception layer, early warning model and closed-loop disposal mechanism, a fusion path of risk level and early warning linkage, data-driven optimization and two-level platform collaboration is formed. And the phased implementation and institutional guarantee strategies are clearly defined. This system aims to achieve the transformation from passive response to active prevention, and enhance the safety resilience and emergency efficiency of chemical industrial parks.

Keywords : grading control; global monitoring; early warning response; dynamic optimization

引言

随着我国社会经济发展, 化工园区的集聚优势日渐突出, 一批批化工园区项目相继落地。伴随而来的生产装置大型化, 生产工艺复杂性以及园内企业多元化都给园区的安全生产管理带来很大的挑战。化工园区重大危险源呈现数量多、分布密、关联性强的典型特征, 传统“人防”模式难以适应动态风险管控要求。构建风险分级管控与智能化预警系统, 是实现从被动响应向主动预防转变的必然路径, 亦是提升园区整体安全韧性与应急效能的核心抓手。

一、化工园区重大危险源风险识别与分级体系构建

(一) 危险源全息化辨识机制

化工园区重大危险源风险管理, 始于对危险源的全面精准辨识。建立全息化机制, 是从物料危害、工艺风险、设备完整性、环境敏感性四个维度构建系统化风险识别框架。该机制要求对园

区内所有重大危险源开展静态属性建档与动态行为追踪, 将设计阶段、运行阶段及变更管理过程中存在的风险因素纳入统一视图。通过构建能够动态更新的危险源数据库, 达成信息的一次采集、多方共享以及实时校准, 从根本上消除因为信息滞后或者责任交叉而产生的辨识盲区。这一机制得到确立之后, 为后续开展的风险分级工作、管控资源分配工作以及预警阈值设定工作提供

作者简介: 高彭 (1988.10-), 男, 汉族, 山东聊城人, 本科, 中级注册安全工程师, 研究方向: 化工行业全场景安全管控体系落地与技术迭代, 石油化工企业系统性安全风险防控体系建设。

了完整并且可靠的数据基础。

（二）风险分级标准与评估方法

在完成了对危险源进行全息化辨识的基础之上，需要建立起统一的风险分级标准以及评估方法，以此来实现风险管理的差异化以及精准化。采用定性和定量相结合的风险矩阵模型，把事故后果的严重性以及发生的可能性当作两个基本的维度来进行综合度量^[1]。其中，后果的严重性包含人员伤亡、财产损失、环境破坏以及社会影响这四个层面，可能性评估则综合考虑设备失效的概率、工艺偏离的频率以及管理失效的程度等因素。依据评估得出的结果，把重大危险源划分成红、橙、黄、蓝这四个等级，红色代表最高的风险等级，然后依次递减。不同的等级对应着差异化的管控主体以及响应层级：红色风险由园区管理部门提升级别进行监管，橙色风险由企业主要负责人重点进行管控，黄色与蓝色风险则由企业专业部门以及车间实施常规管理。该分级体系为后续开展的差异化管控措施制定工作以及预警阈值设定工作提供了明确的依据^[2]。

二、风险分级管控的责任机制与执行路径

（一）企业主体责任、园区监管责任、第三方技术支撑责任的界面划分

在风险分级体系确立之后，需要通过明确的责任划分以及差异化的管控清单，将管理要求转化成为可以执行的具体行动。企业作为重大危险源安全管理的责任主体，承担着风险辨识、日常监测、隐患整改以及应急准备等直接责任，确保各项管控措施能够落实到位。园区管理机构履行统一的监管职责，负责制定园区层面的风险管控标准，组织开展监督检查以及综合评估工作，并且对红色与橙色风险实施重点监管。第三方技术服务机构则提供专业化的支撑，承担监测系统的运维工作、风险评估的复核工作、预警模型的校准工作等技术服务，确保管控工作具备科学性以及客观性^[3]。三方责任明确之后，必须针对每一处重大危险源建立“一源一档、一源一策”的差异化管控清单，详细记载风险等级、管控措施、责任主体、检查频次以及应急处置要点，形成可以追溯、可以考核的闭环管理依据。

（二）分级管控措施的精准落地

针对那些属于不同风险等级的重大的危险源，必须要采取有着差异化、精准化特点的管控方面的措施，以此来确保管理方面的资源和风险的程度能够相互匹配。对于红色风险等级，实施提级管理，由园区管理机构直接介入并监督，责令企业在限定期限内完成系统性整改，并部署在线监测设备实施全天候实时监控，确保风险处于受控状态。对于橙色风险等级的情况，采取重点进行监管的方式，由企业的主要负责人牵头来制定治理的方案，明确整改的时限，园区的监管机构增加现场巡查的频次，定期地跟踪整改进展的情况。对于黄色与蓝色风险等级的情况，把它们纳入常规管理的范畴，由企业的专业部门以及车间按照标准化的作业程序开展日常的检查与维护，持续地推进降低风险的措施，并且通过岗位培训以及风险告知卡等形式，确保作业人员能够充分

地认知相关的风险^[4]。各个等级的管控措施之间形成梯次的衔接，实现风险治理的精准化以及高效化。

（三）管控效能评估与动态调整

风险分级管控体系的持续的有效性，依赖于对管控效能进行科学的评估以及对风险等级进行动态的校准。设置风险管控的绩效考核的指标，从隐患的整改率、监测数据异常的频次、预警响应的时效、巡查覆盖的完整性等维度，对企业以及园区管理方的履职情况进行量化的评价。考核结果纳入企业安全生产诚信体系及园区管理部门年度评价，形成正向激励与反向约束相结合的工作机制。在此基础之上，依托运行数据的积累以及事件回溯的分析，定期地开展风险等级的校准。具体来说，依据在线监测数据所反映的设备运行的状态、工艺参数波动的情况，结合日常检查当中发现的隐患的类型以及整改的难度，还有近周期之内发生的异常事件或者险兆事故，对现有的风险等级进行重新的评估^[5]。对于风险状况有显著改善的危险源，可以下调风险的等级，相应地调整管控资源的配置；对于风险呈现上升趋势的，则及时地上调等级并且强化管控的措施，确保分级的结果始终和风险的实际情况保持一致。

三、智能化预警系统的总体架构与技术支撑

（一）系统设计原则

智能化预警系统的设计，目的是构建覆盖化工园区整个区域、贯穿风险管控全部过程的主动防御的体系。系统遵循全域感知的原则，通过部署多层次的感知终端，实现对重大危险源工艺的状态、设备的健康、环境的参数以及人员的行为进行全面的监测，消除监测的盲区。坚持数据驱动的原则，以实时采集的多源数据作为核心的资产，替代传统的经验判断，为预警决策提供客观的依据。突出预警精准的原则，通过融合机理的模型和数据的模型，降低误报和漏报的比率，确保预警信息具备实际的指导价值。强调响应闭环原则，建立从预警触发、信息推送、处置确认到结果反馈的完整链路，杜绝预警信息悬置^[6]。此外，系统的设计和园区现有的安防、应急、环保等专业化的系统保持相互连通，避免形成信息的孤岛，实现数据的共享和业务的协同，从而支撑园区整体安全管理的一体化运行。

（二）多源数据融合与边缘感知层

多源的数据相融合以及边缘进行感知的这一层，它是属于智能化预警系统的数据方面的基础，承担起前端信息去采集以及初步做处理这样的核心功能。在重大的危险源以及关键的区域之处，系统去部署各类在线做监测的仪表，实时地去采集温度、压力、液位、可燃以及有毒气体浓度等关键的工艺参数以及安全指标。视频 AI 设备针对生产装置区、储罐区、装卸站台等重点部位开展全天候视频做监控，通过图像识别技术自动检测人员违章的行为、设备异常的状态以及环境的变化。物联网传感终端达成对关键设备振动、腐蚀、温度等健康状态做连续的监测，以及气象条件、泄漏扩散等环境指标做动态的感知。上述感知终端所采集到的数据通过边缘计算节点开展就近处理以及协议转换，达成

工艺参数、设备状态、环境指标、人员行为这四类信息的实时汇聚以及标准化接入，给后续预警分析提供完整、及时、可信的数据支撑^[7]。

（三）预警模型与阈值管理体系

预警模型以及阈值管理体系是智能化预警系统的核心决策的环节，决定着预警输出的准确程度以及有效程度。系统构建基于机理模型跟数据模型相融合的预警算法，其中机理模型依托工艺原理、物料特性以及设备失效模式，建立参数变化跟风险演化之间的因果关联；数据模型则利用机器学习方法，从历史运行数据当中挖掘异常模式以及潜在规律，两者相互补充，提升预警的灵敏程度以及可靠程度。在阈值管理方面，依据风险等级以及工艺特点，设定关注、预警、报警这三级阈值。关注阈值用来提示参数偏离正常范围，预警阈值标识风险上升需要采取预控措施，报警阈值则表明已接近事故临界状态必须立即处置。在此基础上，区分三种预警类型：参数超限预警针对单一指标超限，趋势异常预警识别参数持续劣化趋势，耦合风险预警则捕捉多参数交互引发的复合风险，实现对风险状态的全方位感知^[8]。

四、分级管控与智能化预警的融合机制与实施路径

（一）分级管控与智能化预警的融合机制

风险等级与预警联动策略是实现分级管控与智能化预警深度融合的核心环节。针对不同风险等级的重大危险源，系统配置差异化的监测灵敏度与预警阈值，高风险源对应高灵敏度监测与低阈值预警，确保风险在萌芽阶段即可被及时捕捉；橙色及以下风险则依据风险程度逐级放宽监测参数与预警边界。在预警触发了之后，系统自动去识别当前的风险等级，并且关联和这个等级对应的应急预案，明确应急响应的流程、资源调配的方案以及人员职责的分工，实现从风险识别一直到应急响应的没有缝隙的衔接^[9]。这种联动策略把风险分级的结果直接映射到预警参数以及应

急准备上面，有效地缩短了风险识别和响应处置这两者之间的决策链条。

（二）实施路径与保障措施

数据驱动的管控策略优化是推动风险分级管控与智能化预警系统持续演进的核心动力。系统通过对历史预警数据进行系统性的分析，识别出风险管控当中的薄弱环节，这些环节包括高频预警的点位、误报以及漏报的分布特征、响应处置的滞后环节等等，为管控资源优化配置提供量化的依据。在这个基础之上，引入机器学习算法，对风险分级边界以及预警阈值进行动态的优化。算法依据实际运行的数据以及历史事件的结果，持续地学习风险演化的规律，自动地调整分级参数以及阈值的设定，让风险等级评估更加符合实际的状况，预警触发更加趋向于精准。这种优化机制实现了从静态预设朝着动态自适应的转变，确保系统在面对工艺变更、设备老化、外部环境变化的时候，始终保持着对风险状态的准确刻画以及及时的响应^[10]。

五、结论

综上所述，化工园区重大危险源风险分级管控以及智能化预警系统的构建，它的核心价值在于实现安全管理从被动响应朝着主动预防的根本性的转变。通过建立全息化风险辨识、差异化分级管控、精准化预警响应与动态化优化改进的完整链条，系统将分散的管理要素整合为有机整体，显著提升了园区整体的安全韧性与应急效能。实践表明，仅仅单一地依赖技术投入或者制度约束都很难达到理想的效果，只有坚持“技术+管理”双轮驱动，以数据智能作为支撑，以责任体系作为保障，才能够实现风险治理的精细化以及长效化。面向未来，随着物联网、大数据以及人工智能技术的持续不断地演进，化工园区安全治理将会迈入以数据作为驱动、以预测作为核心的智能化新范式。

参考文献

[1] 李蕾. 基于风险分级管控的化工园区安全管理体系构建研究 [J]. 上海安全生产, 2024, 15 (3): 45-48.
[2] 李松明. 基于大数据驱动的化工园区企业动态风险分级管控系统的研究与实现 [J]. 华南理工大学学报, 2024, 52 (4): 112-118.
[3] 侯文涛, 张金岩. 化工园区石油化工装置拆除过程风险分析及安全控制研究 [J]. 山西化工, 2023, 43 (2): 56-60.
[4] 徐清军. 基于事故树和层次法的装置拆除中高处坠落事故风险分析 [J]. 化工安全与环境, 2022, 35 (6): 32-36.
[5] 黄兰, 多英全, 杨国梁, 易益茹. 危化企业安全风险分级管控实施工作程序与评估方法研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19 (8): 78-84.
[6] 曲秋影. 化工园区安全风险动态管控技术研究 [J]. 中国石油大学学报, 2024, 48 (3): 102-107.
[7] 纪永瑞. 化工园区风险分级管控平台建设研究 [J]. 中国石油大学学报, 2023, 47 (5): 89-94.
[8] 张丹. 滨州市化工企业风险分级管控和隐患排查治理体系建设 [J]. 中国石油大学学报, 2022, 46 (4): 75-80.
[9] 唐海江. 化工园区应急管理评价指标体系设计 [J]. 化工管理, 2023, 31 (7): 62-66.
[10] 于世震. 浅谈化工园区公共管廊事故应急救援体系建设 [J]. 化工管理, 2024, 32 (9): 55-59.