

基于化工企业运营的设备与人员安全管理及风险预防控制研究

白秋刚

广东 惠州 516000

DOI:10.61369/ME.2025120037

摘要：化工企业的安全管理涉及设备、人员等多方面，需结合风险预防控制理论，运用 HAZOP 等方法。通过设备全生命周期管理、人工智能故障预测等技术保障设备安全，构建多维培训体系提升人员安全素质。同时，建立安全绩效评价等系统，运用数字孪生等技术，实施 ISM 策略，设计故障自愈等系统，实现应急资源动态调度，未来还应在动态风险建模等方向深入探索。

关键词：化工企业；安全管理；风险预防控制

Research on Equipment and Personnel Safety Management and Risk Prevention Control Based on Chemical Enterprise Operation

Bai Qiugang

Huizhou, Guangdong 516000

Abstract : The safety management of chemical enterprises involves multiple aspects such as equipment and personnel, and needs to be combined with risk prevention and control theory, using methods such as HAZOP. By utilizing technologies such as equipment lifecycle management and artificial intelligence fault prediction, we ensure equipment safety and establish a multidimensional training system to enhance personnel safety skills. At the same time, establish safety performance evaluation systems, use digital twin technologies, implement ISM strategies, design fault self-healing systems, and achieve dynamic scheduling of emergency resources. In the future, further exploration should be conducted in areas such as dynamic risk modeling.

Keywords : chemical enterprises; safety management; risk prevention and control

引言

《化工企业安全生产提升实施方案（2024年）》强调要强化工企业安全管理与风险防控。化工企业安全管理内涵丰富，涵盖设备、人员等多方面，其运营具有特殊性，安全管理在风险管理中地位关键。风险预防控制的理论框架、设备全生命周期管理机制等对保障安全意义重大。新技术如基于人工智能的故障预测、数字孪生技术等不断涌现，为安全管理与风险防控提供有力支持。但目前仍存在研究空白，未来需深入探索动态风险建模等人机协同控制方向，以完善化工企业安全管理体系，实现行业安全可持续发展。

一、化工企业安全管理的理论基础

（一）化工企业安全管理的核心内涵

化工企业安全管理的核心内涵涵盖多方面。从基本概念看，设备安全管理指确保化工生产设备稳定、可靠运行，避免因设备故障引发安全事故，如定期对反应釜、管道等关键设备进行检测与维护^[1]。人员安全管理则聚焦于提升员工安全意识与操作技能，规范其在生产过程中的行为，减少人为失误。在化工企业运营中，安全管理具有特殊性，因其生产常涉及危险化学品、高温高压等复杂条件，一旦发生事故，后果严重。同时，安全管理在

风险管理中占据关键地位，它是识别、评估和控制各类风险的基础，通过有效的安全管理，可提前发现潜在风险并采取措施预防，从而保障化工企业生产运营的安全性与稳定性，维护员工生命健康及企业财产安全。

（二）风险预防控制的理论框架

在化工企业运营中，风险预防控制的理论框架至关重要。HAZOP（危险与可操作性分析）与 LOPA（保护层分析）等风险评价方法在化工场景中应用广泛。HAZOP 通过系统地对工艺过程进行审查，识别潜在危险和可操作性问题，分析偏离及其可能导致的后果，以此为风险预防提供基础。LOPA 则基于 HAZOP 的结果，

进一步评估风险的严重程度，确定所需的保护层，量化风险控制的需求。通过对这些方法应用逻辑的剖析，能构建起安全管理与风险控制间紧密的理论关联，将风险预防控制融入到化工企业的整体安全管理体系之中，为保障设备与人员安全奠定坚实的理论根基^[2]。

二、化工企业设备安全管理体系构建

（一）设备全生命周期管理机制

化工企业设备全生命周期管理机制涵盖从采购、安装、运维到退役的闭环管理流程。在采购环节，要依据企业生产需求与安全标准，严格筛选设备供应商，确保设备质量。安装时，由专业团队按照规范操作，保证安装精度与安全性。运维阶段，关键在于状态监测与预防性维护的实施路径^[3]。通过实时监测设备的温度、压力、振动等关键参数，运用大数据分析、故障诊断技术等，精准判断设备运行状态。一旦发现潜在故障迹象，立即开展预防性维护，及时更换磨损部件、修复隐患，避免故障扩大化。设备退役时，遵循环保与安全要求，妥善处理，防止对环境与人员造成危害，形成完整、高效、安全的设备全生命周期管理闭环。

（二）关键设备风险识别技术

针对化工企业中的反应釜、输送管线等核心设备，基于人工智能的故障预测与剩余寿命评估方法成为关键设备风险识别的重要技术。利用人工智能算法，如深度学习中的卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）及其变体 LSTM、GRU 等，可对设备运行时产生的大量数据进行深度分析^[4]。这些数据涵盖温度、压力、流量等各类参数，通过建立精准的模型，人工智能能够敏锐捕捉设备运行状态的细微变化，提前预测潜在故障，并对设备剩余寿命进行科学评估。相较于传统方法，基于人工智能的技术具有更高的准确性和前瞻性，能为化工企业设备安全管理体系构建提供有力的风险识别支持，助力企业及时采取针对性措施，保障设备安全稳定运行。

三、化工人员安全管理实施路径

（一）安全素质提升策略

1. 多维安全教育培训体系

构建包含 VR 事故模拟、行为矫正训练的分层教育模型，以此打造多维安全教育培训体系。借助 VR 事故模拟，化工人员能身临其境地感受事故场景，深入了解违规操作可能引发的严重后果，强化安全风险认知。行为矫正训练则通过观察和纠正人员日常操作行为，帮助其养成规范的操作习惯。同时，分层教育模型根据不同岗位、不同经验水平人员的特点，设计针对性的培训内容，如新员工着重基础安全知识与操作规范学习，经验丰富的员工聚焦复杂风险应对与新技术安全应用。这种分层与模拟、矫正训练相结合的方式，能全面提升化工人员安全素质，有效预防事故发生^[5]。

2. 安全绩效考核机制

设计 KPI-BSC 融合的安全绩效评价系统与激励约束制度，是提升化工人员安全管理水平的关键。KPI（关键绩效指标）与 BSC

（平衡计分卡）融合的安全绩效评价系统，能全面且精准地评估化工人员安全工作成效。从财务、客户、内部流程、学习与成长四个维度出发，结合关键安全绩效指标，可避免单一指标评价的片面性^[6]。一方面，对安全操作规范执行到位、隐患排查及时准确、应急处理得当的人员给予物质奖励，如奖金、奖品，以及精神激励，如公开表彰、晋升优先考虑等；另一方面，对违反安全规定、忽视安全操作流程的人员实施相应惩罚，像警告、罚款，严重者甚至解除劳动合同。通过这样的激励约束制度，促使化工人员高度重视安全工作，切实提升安全绩效。

（二）不安全行为干预方法

1. 行为安全观察系统（BBS）改进

优化化工场景下的 BBS 实施流程与数据采集标准，是提升化工人员安全管理的关键。在实施流程方面，应明确观察周期，缩短观察间隔，确保能及时捕捉不安全行为。同时，规范观察流程，观察人员需经过专业培训，熟悉化工生产各环节特点及潜在风险，按照标准流程开展观察，保证观察的准确性与一致性。在数据采集标准上，细化不安全行为分类，不仅涵盖常见操作失误，还应包括违反安全规程的潜在风险行为。明确数据记录格式，详细记录行为发生时间、地点、涉及人员及行为描述等信息。利用信息化手段实时采集与传输数据，以便及时分析处理，依据分析结果针对性制定干预措施，提升化工人员安全管理水平^[7]。

2. 神经认知干预技术

基于化工企业运营实际，神经认知干预技术可通过应用 EEG（脑电图）技术来有效监控人员注意力状态。EEG 技术能够精准捕捉大脑神经元活动产生的电信号，以此实时呈现化工人员的注意力集中程度及认知负荷等状态^[8]。基于此，开发实时预警装置意义重大。当 EEG 数据显示人员注意力不集中或认知负荷过高，可能导致不安全行为时，预警装置能及时发出警报，提醒化工人员调整状态，也让管理人员迅速采取相应措施，如安排人员休息、加强现场监督等。这种通过 EEG 技术监控并借助实时预警装置的神经认知干预技术，可有效预防因人员神经认知层面问题引发的不安全行为，保障化工人员作业安全。

四、风险预防与控制策略创新

（一）智能风险预警系统建设

1. 多源数据融合建模

智能风险预警系统建设中的多源数据融合建模，旨在整合化工企业多种来源的数据，实现更精准的风险预警。将 DCS（分布式控制系统）实时监测数据与巡检记录数据相结合，前者能实时反映设备运行参数，如温度、压力等，后者可补充设备外观、异常声响等现场情况。通过数据挖掘和机器学习算法，对这些数据进行深度分析与融合建模。挖掘不同数据间潜在的关联，如某些设备参数异常与巡检发现的特定故障迹象的关系。构建风险概率云图，以直观展示不同区域、设备或流程环节的风险概率分布，为风险预防与控制提供有力支持^[9]。

2. 数字孪生技术应用

在化工企业运营中，数字孪生技术应用于风险预防与控制意义重大。借助数字孪生技术，可构建与实体设备及作业场景高度相似的虚拟模型^[10]。通过实时采集设备运行数据、人员操作信息

等，同步映射到虚拟模型中，精准模拟设备与人员的动态行为。利用该虚拟模型，提前推演各种潜在风险场景，比如设备故障、人员误操作等引发的危险情况。基于推演结果，为处置决策提供科学依据，辅助管理者迅速制定针对性强的应对策略，如紧急设备关停方案、人员疏散路线规划等。这不仅提升了风险预警的准确性和及时性，还能在风险发生前就做好充分准备，大幅降低事故发生概率，保障化工企业设备与人员的安全。

(二) 本质安全工艺改进

1. 最小化 - 替代 - 缓和 (ISM) 策略

在化工企业运营中，最小化 - 替代 - 缓和 (ISM) 策略是本质安全工艺改进的关键。最小化旨在减少危险物质的使用量与存量，从源头上降低风险。比如通过精准的工艺计算，精确调控化学原料的投入，避免过量储备。替代策略着重用相对安全的物质替换高危险性的物质，例如以水基溶剂替代易挥发、易燃的有机溶剂。缓和策略强调降低操作条件的严苛程度，像降低反应温度、压力，让反应在更温和条件下进行。这三种策略相互配合，在化工工艺设计阶段，就能有效降低潜在风险，为化工企业设备与人员安全提供坚实保障，使整个生产过程更趋近本质安全。

2. 故障自愈系统设计

在化工企业运营中，故障自愈系统设计对设备与人员安全管理及风险预防控制意义重大。通过智能传感器实时监测设备运行参数，如温度、压力、流量等，精准捕捉设备潜在故障信号。利用大数据分析技术，对采集的数据深度挖掘，建立故障预测模型，提前预测故障发生可能性与时间。当监测到异常时，系统自动启动自愈程序，通过调整设备运行参数、切换备用部件等方式，尝试自行修复故障。例如，当某个关键部件温度过高，系统自动增加冷却介质流量或降低设备运行负荷，避免故障扩大化，确保设备稳定运行，降低对人员安全威胁，从根本上提升化工企业的安全性与稳定性。

(三) 应急响应能力提升

1. 智能应急预案系统

智能应急预案系统整合化工企业过往事故案例、专家知识及法规标准，构建基于案例推理 (CBR) 的应急决策知识库。该

系统借助信息技术，能快速检索与当前事故相似案例，为应急决策提供参考。当化工设备突发故障或人员面临危险场景，系统可依据输入的事故特征，迅速匹配类似案例解决方案，涵盖救援措施、人员调配、物资供应等方面。同时，系统具备学习功能，新案例解决后会自动更新知识库，持续完善应急策略。这种智能应急预案系统能显著提高化工企业应急响应速度与决策科学性，有效降低事故损失，保障设备与人员安全，是风险预防与控制策略创新的关键举措。

2. 应急资源动态调度

化工企业运营中，应急资源的动态调度对于提升应急响应能力至关重要。构建考虑风险扩散模型的可视化应急资源调配系统，可实现对各类应急资源实时状态的精准把控。通过该系统，依据风险扩散模型，模拟风险在化工生产场景中的蔓延态势，进而科学地动态调度资源。比如，当发生特定化学品泄漏事故时，系统能快速计算出可能受影响的区域和程度，将防护设备、救援人员等资源合理且及时地调配到关键地点。这种可视化的动态调度方式，不仅能确保资源的高效利用，避免资源浪费或过度集中，还能让指挥人员直观了解资源分布与调配情况，及时调整策略，有效提升应急响应速度与质量，最大程度降低事故损失。

五、总结

化工企业运营中的设备与人员安全管理以及风险预防控制是保障企业稳定发展的关键。从实践来看，需强化人员安全培训与设备全生命周期管理，这为安全管理提供了重要启示。在风险预防控制方面，创新技术路径有助于提升应对复杂风险的能力，如利用数字化技术实现实时监测与预警。面向工业4.0，构建化工安全智能管理体系迫在眉睫，借助智能化手段实现更高效的安全管理。然而，当前仍存在诸多研究空白，动态风险建模能更好模拟风险动态变化，人机协同控制可优化人机交互模式，未来应在这些方向深入探索，进一步完善化工企业安全管理与防控体系，确保化工行业安全、可持续发展。

参考文献

- [1] 沈艳洋. 基于相对风险管控系数的化工企业安全风险分级方法 [D]. 华南理工大学, 2022.
- [2] 刘解语. 化工企业双重预防体系模式研究及应用 [D]. 湖南科技大学, 2022.
- [3] 李通鑫. 基于可拓学的化工企业安全风险评价研究 [D]. 中国石油大学(华东), 2021.
- [4] 陈豫瑶. K化工企业财务风险管理研究 [D]. 河南科技大学, 2022.
- [5] 柳成琳. MF化工企业财务风险管理研究 [D]. 重庆工商大学, 2021.
- [6] 张苓利, 黄宏智. 化工企业的安全风险管理措施 [J]. 化工管理, 2021, (01): 120-121.
- [7] 陈维团, 张聚业. 化工企业安全生产管理 [J]. 山东化工, 2025, 54(06): 218-220.
- [8] 杨斌. 化工企业安全管理的对策研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(20): 86-88.
- [9] 梅艳新. 化工企业风险监控与安全管理预警技术 [J]. 当代化工研究, 2021, (07): 26-27.
- [10] 郑志国. 化工企业风险监控与安全管理预警技术 [J]. 当代化工研究, 2021, (17): 83-84.