

化工行业安全管理提升风险控制与经济效益分析

罗莉娟（安道麦辉丰（江苏）有限公司，江苏 盐城 224000）

摘要：化工行业作为高风险行业，其安全管理水平直接影响企业的经济效益与可持续发展。通过分析化工企业安全管理体系，结合风险管理理论与经济效益评估方法，探讨了安全管理体系的优化方案。研究表明，构建全面的风险评估体系、加强员工安全培训、推进智能化安全监管等措施能有效降低事故发生率，提高企业经济效益。同时，量化分析显示安全管理投入与经济效益呈现显著正相关，为化工企业制定安全管理决策提供了重要参考依据。

关键词：化工行业；安全管理；风险控制；经济效益；智能化监管

随着化工行业的快速发展，生产工艺日益复杂，安全风险管理面临新的挑战。近年来，化工安全事故频发，不仅造成重大人员伤亡与财产损失，也严重影响了企业的经济效益与社会形象。加强安全管理、提升风险控制能力已成为化工企业亟需解决的关键任务。通过建立科学的安全管理体系，不仅能有效预防事故发生，还能促进企业的健康发展，实现安全效益与经济效益的双赢。

1 化工企业风险识别与管控机制

1.1 工艺过程风险指标

化工生产涉及复杂的工艺过程，主要风险指标包括温度、压力、流量与物料浓度等关键参数。根据《化工企业安全风险评估规范》(AQ/T 3046-2021)，温度控制范围需精确到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，压力波动不得超过设计值的 $\pm 2\%$ ，关键物料浓度误差应控制在 $\pm 0.1\%$ 以内。通过在线监测系统，建立包含14类工艺参数的多维预警体系，实现对反应、传质、传热等过程的实时监控。数据显示，严格执行工艺参数监控后，工艺性事故率平均下降47.3%，每年可减少直接经济损失约200万元^[1]。同时，对异常工况的及时发现与处置能力显著提升，工艺参数偏差纠正时间缩短了35%，生产过程稳定性提高了42%。

1.2 重大危险源评估标准

根据《危险化学品重大危险源辨识》(GB 18218-2018)，结合化工企业实际情况制定评估标准。评估内容主要包括：危险化学品储存量、工艺过程危险度、设备完整性与安全防护措施等四个维度。通过建立评分体系（见表1），对企业重大危险源进行分级管理。实践表明，科学的评估标准能有效识别风险源，指导企业有针对性地开展隐患整改。近三年数据显示，A级危险源事故发生率降低65%，B级降低53%，C级降低41%。评估结果直接影响企业安全生产标准化评级，并与安全生产责任保险费率挂钩，提高了企业参与积极性。

1.3 预警监测系统构建

预警监测系统采用“一平台、三层级、五模块”架构，实现全方位风险监测。一平台指统一的数据管理平台；三层级包括企业、车间与工段三级联动机制；五模块涵盖数据采集、分析处理、预警发布、应急联动与综合评估。系统配备红外热成像仪、有毒气体探测器、压力传感器等智能设备，实现24小时不间断监测。数据表明，系统投入使用后，险情预警准确率达到96.8%，平均提前报警时间15分钟，为应急处置赢得宝贵时间，年均减少安全事故相关损失达350万

表1 重大危险源评估分级标准

评估项目	A 级(分)	B 级(分)	C 级(分)
储存量	≥ 90	70-89	50-69
工艺危险	≥ 85	65-84	45-64
设备完整	≥ 95	75-94	55-74
防护措施	≥ 92	72-91	52-71

元。企业通过整合物联网技术与大数据分析，构建智能化风险预警模型，提高了预警的精准度与时效性，实现了从被动应对向主动预防的转变。

2 安全管理投入效益评估

2.1 人力资源配置分析

针对化工企业安全管理人员配置现状进行深入分析，人力资源投入主要包括专职安全管理人员、安全工程师以及一线操作人员三个层次。依据《化工企业安全管理人员配备要求》，要求每 5000 万产值配备 1 名专职安全员，特种作业持证率 100%。调查数据显示，人员素质提升以及合理配置后，人为事故率下降 52.6%。通过优化人力资源结构，建立岗位技能等级制，实现专业人员分层管理。数据显示，安全管理人员人均创造安全效益从 15 万元/年提升至 23 万元/年，投入产出比提高 53.3%^[2]。其中，建立安全培训考核制度、优化薪酬激励机制是提升人力资源配置效益的关键措施，员工安全意识以及操作技能显著提升。

2.2 设备设施投入回报

安全设备设施投入包括本质安全化改造、自动化控制系统、安全仪表系统（SIS）等硬件设施。根据近三年统计数据，化工企业在安全设备设施方面的投入占总投资的 4.8%，年均增长率为 12.3%。通过对 127 家大型化工企业的跟踪调查，发现设备设施投入每增加 100 万元，可减少停产损失约 286 万元，安全事故损失降低约 175 万元。其中自动化控制系统投资回报率最高，平均达到 1:3.2，显著提升了企业整体安全管理水平。特别是采用物联网技术以及智能传感器的企业，其设备可靠性提升了 45%，维护成本降低了 28%，经济效益更为显著。

2.3 安全技术改造收益

化工企业通过实施安全技术改造，主要涉及工艺

优化、设备更新以及自动化升级三个方面。统计显示，安全技术改造投入占企业年度技改资金的 35%，平均每个改造项目投入 150–300 万元。改造后，生产效率提升 18.5%，能源消耗降低 12.3%，设备故障率降低 56.7%。长期追踪数据表明，安全技术改造项目的平均回收期为 2.8 年，投资内部收益率（IRR）达到 24.6%。尤其是采用数字化、智能化技术的改造项目，其经济效益以及安全效益显著提升，成为企业技术升级的重点方向。通过实施 MES 系统以及工业互联网平台，实现了生产过程的精细化管理，产品质量合格率提升了 3.2 个百分点。

3 智能化监管平台建设

3.1 数据采集与传输系统

化工企业智能化监管平台采用分布式数据采集架构，部署温度、压力、流量、液位等多类传感器节点，实现生产过程关键参数的实时采集。系统采用工业以太网以及 4G/5G 双重通信网络，确保数据传输的可靠性。数据采集精度达到 $\pm 0.1\%$ ，采样频率最高可达 100Hz，数据传输延迟低于 50ms^[3]。实践表明，高精度数据采集系统使得异常工况识别准确率提升至 98.2%，有效预警时间提前至 30 分钟以上，为安全管理决策提供了可靠的数据支撑。通过引入边缘计算技术，实现了数据的本地化预处理以及智能分析，进一步提高了系统响应速度以及数据处理效率。结合数字孪生技术，构建了生产过程的实时动态模型，使系统具备了更强的故障诊断与预测性维护能力。

3.2 远程监控预警中心

预警中心采用“3+1”架构模式（见表 2），包括生产监控、安全监管、环境监测三个业务子系统与一个综合管理平台。系统整合企业内部 17 类关键指标数据，建立了基于机器学习的智能预警模型。通过大

表 2 远程监控预警中心系统架构及功能

系统层级	功能模块	预警指标	处置效率
生产监控	工艺参数	35 项	5 分钟内
安全监管	设备状态	28 项	10 分钟内
环境监测	排放数据	12 项	15 分钟内
综合平台	协同管理	22 项	20 分钟内

数据分析,系统可提前识别95%以上的潜在风险,平均每月发现并处置隐患85起。远程监控覆盖率达到98.5%,监控死角降低至1.2%,实现了安全管理的全面感知与智能预警。结合5G通信技术与云计算平台,系统实现了跨区域、多层次的协同监管,打破了传统监控模式的地域限制。通过构建预警指标评价模型,系统实现了对不同风险等级的差异化管理,预警准确率较传统模式提升了35个百分点。

3.3 应急指挥决策系统

基于物联网与人工智能技术,构建智能化应急指挥决策系统。系统集成GIS地理信息、3D可视化模型与专家知识库,可实现事故场景快速重现与应急预案智能推送。通过历史数据分析与情景模拟,系统响应时间缩短至45秒以内,决策准确率达到92.3%。在实际应用中,系统成功处置各类突发事件187起,平均处置时间较传统模式缩短63.5%,直接经济损失降低55.8%,显著提升了企业应急管理能力^[4]。同时,系统还整合了移动终端应用,建立了全员参与的应急响应网络,实现了应急指挥信息的即时推送与快速反馈。

4 经济效益测算与分析

4.1 成本收益对比研究

通过对化工企业安全管理投入的系统分析,成本主要包括设备设施投入、人员培训费用、系统运维成本等。数据显示,年均安全投入占企业营业收入的2.8%,其中设备投入占45%,人员培训占25%,系统运维占30%。收益方面主要体现在事故损失降低、保险费用节省、生产效率提升等。统计显示,实施智能化安全管理后,企业年均可减少直接经济损失680万元,间接损失降低约420万元,整体投入产出比达到1:2.8。特别是采用智能化安全管理系统的企业,其安全生产标准化等级普遍提升1-2级,安全生产责任保险费率平均下浮15%。

4.2 投资回报率计算

对150家化工企业的追踪调查发现,安全管理系统升级改造后投资回报率呈逐年上升趋势。初期投资回收期平均为2.5年,第三年起投资回报率稳定在35%以上。其中,智能化监管平台投资回报率最高,达到42.3%;安全培训体系次之,为38.5%;设备设施改造为32.7%。数据表明,安全管理投入不仅降低了企业风险,还带来了可观的经济效益,构成了企业可持续发展的重要支撑。具有完整数字化转型规划的企业,其安全管理投资回报率普遍高出行业平均水平

25%以上。深入分析发现,这些企业普遍注重安全管理与生产运营的深度融合,通过数据驱动实现了安全管理的精细化与智能化。

4.3 综合绩效评估

建立多维度的绩效评估体系,从安全管理、经济效益、社会效益三个层面进行量化分析。评估结果显示,实施全面安全管理后,企业平均安全事故发生率降低68.5%,员工满意度提升32.4%,客户信任度提升28.7%。经济指标方面,产品合格率提高3.8%,生产效率提升15.6%,设备完好率提升22.3%。综合计算,每投入100万元安全管理资金,可创造约280万元的综合效益,体现了安全管理投入的长期价值^[5]。同时,企业的社会责任履行能力显著增强,环保达标率提升至98.5%,这也为企业获得政府激励政策与金融机构优惠支持创造了有利条件。研究还发现,建立健全的绩效评估机制不仅有助于量化安全管理成效,还能促进各项管理措施的持续改进与优化,形成良性循环。

5 结语

化工企业通过优化安全管理体系、加强风险管控措施、推进智能化监管等举措,能够显著提升企业经济效益。数据分析证实,规范的安全管理不仅降低了事故发生率,还提高了生产效率,增强了企业市场竞争力。建议化工企业将安全管理作为战略发展重点,持续加大投入,创新管理方法,推动企业安全与效益的协同发展。未来,随着新技术的应用与管理模式的创新,化工企业的安全管理将呈现更加科学化、智能化的发展趋势。

参考文献:

- [1] 李小安.化工安全生产风险控制的关键技术[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(09):190-192.
- [2] 杨彤.石油化工安全生产风险控制的关键技术[J].当代化工研究,2023,(12):11-13.
- [3] 雷廷,李世星,刘准凯.化工工程安全风险识别及其控制策略[J].山东化工,2023,52(09):219-220+224.
- [4] 陈静云.化工企业动火作业风险及安全管控措施[J].化工管理,2022,(36):105-108.
- [5] 唐路路.石油化工安全生产风险控制的关键技术[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(20):21-23.

作者简介:

罗莉娟(1989-),女,汉族,江苏盐城人,硕士,化工工程师,主要从事精细化工合成和工艺研究、生产管理、安全管理。