

基于成本效益视角的化工过程安全风险管理优化研究

张译文（江苏安泰安全技术有限公司，江苏 南通 226007）

摘要：传统的安全管理一般把重点放在技术层面的风险管控上，却忽略了管理措施背后所蕴含的经济合理性以及资源分配效率。在此情形下，有必要从成本效益视角出发重新思考化工企业安全投入的必要性与长期价值，并将经济性决策融入化工过程安全风险管理中，从而在保证安全水平的基础上优化资源配置，防止出现过度投入或者投入不足的情况，最终实现可持续风险管理。本文基于成本效益视角分析化工过程安全风险管理要点，并提出有实践意义的安全风险管理优化策略，希望为化工生产的精细化、经济化安全管理提供理论参考。

关键词：成本效益分析；化工过程安全；风险管理；经济性优化

中图分类号：TQ086；F406.7 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)031-0054-03

Research on Optimization of Safety Risk Management in Chemical Processes from a Cost-Benefit Perspective

Zhang Yiwen (Jiangsu Antai Safety Technology Co., Ltd., Nantong Jiangsu 226007, China)

Abstract: Traditional safety management generally focuses on risk control at the technical level, but neglects the economic rationality and resource allocation efficiency behind management measures. Under such circumstances, it is necessary to re-examine the necessity and long-term value of safety investment in chemical enterprises from a cost-benefit perspective, and integrate economic decisions into the safety risk management of chemical processes. This will optimize resource allocation on the basis of ensuring safety levels, prevent over-investment or under-investment, and ultimately achieve sustainable risk management. This paper analyzes the key points of safety risk management in chemical processes from a cost-benefit perspective and proposes practical optimization strategies for safety risk management, hoping to provide theoretical references for the refined and economical safety management of chemical production.

Key words: Cost-benefit analysis Chemical process safety; Risk management Economic optimization

化工行业身为国民经济关键支柱，其生产流程之中潜藏着十分突出的风险特性，使安全风险管理成为技术管理的核心议题，更是企业战略决策里不可缺少的经济考量。在当下越发激烈的市场竞争以及严格的安全环保规制环境下，企业迫切需要找寻一种可兼顾安全与效益的管理模式。成本效益视角为此构建了科学的分析架构，它将安全风险当作一种可量化的经济要素，促使管理者于风险识别、评估以及控制的各个阶段，谨慎权衡投入成本与潜在损失，做出最优的经济性决策。

1 成本效益视角的概述

成本效益视角属于一种系统的经济分析框架，其关键之处是将安全风险管理当作一项关键的战略投资，并非只是单纯的合规性成本支出。此视角要求企业在做决策时，要对实施各项安全措施投入的所有成本以及能避免的潜在事故损失和带来的综合效益做系统性的权衡与比较。在化工过程安全领域，成本效益分析突破了传统只关注技术可行性的限制，给企业管理者提供了量化的经济决策依据。它注重借助精细化的成本核算和效益评估，找出最具成本有效性的风险缓解方案，涉及对直接成本的考虑，也涵盖对间接成本以及无形效益的综合审视，促使安全管理从被动应

对转变为积极主动价值创造转型^[1]。

2 化工过程安全风险管理的要点及经济效益

2.1 风险辨识精准化

2.1.1 管理要点

风险辨识精准化乃是安全风险管理最为关键的基础所在，其重点是运用系统且科学的方式，全面识别并确定生产流程里潜在的危险源以及风险点。企业需摆脱传统的经验判断模式，综合运用危险与可操作性分析、故障模式与影响分析等先进的分析工具，针对工艺设备、操作规程以及环境因素展开深入细致的剖析，精准地勾勒出风险图谱。精准化管理不仅留意十分突出的重大危险源，还着重挖掘隐蔽的、有耦合性的潜在风险，保证辨识不存在遗漏之处，为后续的风险评估以及防控提供优质的数据基础与决策依据。

2.1.2 经济效益

达成精准化的风险辨识可带来可观的经济效益。借助前端精准定位，将有限的安全预算直接投向真正的高风险领域，很大程度上避免了因风险误判或者漏判而引发的盲目投入以及资源浪费。“有的放矢”的管理模式可有效预防那些有可能造成经济损失的重大事故，规避巨大的事故处置成本、生产停滞损失以及企业声誉受损等无形价值损失。从本质方面而言，精

准辨识是一种成本很低但效益很高的投资，是企业达成成本效益最优化的关键步骤。

2.2 防控措施系统化

2.2.1 管理要点

防控措施系统化着重把分散且孤立的防护手段整合成一个有机协同的纵深防御体系。其管理要点是按照风险等级，分层次、多维度地布置工程技术措施、维护管理措施以及个体防护措施，且要保证各措施之间紧密相连、互为备份。此系统不光有硬件层面的安全联锁、紧急停车系统以及防火防爆设施，以及软件层面的标准化操作规程、安全培训与绩效考核。核心以便打造一道从源头预防、过程控制直至末端缓冲的完整防线，保证在任何一个单一防护措施失效时，都有其他措施可有效介入，保障系统整体安全^[2]。

2.2.2 经济效益

系统化防控体系尽管在初期需要投入一定成本，然而其经济效益体现在全生命周期中成本的节约以及价值的创造方面。该体系借助措施之间的协同作用，凭借更低的总体成本达成了更高的安全可靠性，降低了因单一措施出现故障而引发事故的可能性，直接削减了高昂的事故善后费用，并且凭借保障生产装置可持续、稳定地运行，减少了非计划停车所造成巨大产量和利润损失。此外，一个可靠的系统可降低保险保费，还可以提高供应链上下游以及投资者的信心，带来隐形的经济收益，实现安全投入的长期经济回报。

2.3 应急响应敏捷化

2.3.1 管理要点

应急响应敏捷化所指的是，当突发安全事故发生之际，企业能够使企业快速、有序且高效地启动预案，控制事态的发展。其管理要点主要是构建一个完整的应急响应链条，涉及监测预警、信息传递、决策指挥、资源调度以及善后恢复等方面。其关键之处在于预案要有实用性，演练要实现常态化，以此保证各级人员职责清晰，反应熟练；同时，依靠物联网、大数据等技术达成实时风险监控与智能决策支持，大幅缩短从发现异常到采取有效行动的响应时间，以期能将事故控制在萌芽状态或者最小范围。

2.3.2 经济效益

安全事故发生之后，响应速度每快一秒，都可能意味着事故规模以及经济损失会以几何级数的形式减少。其可对事故的蔓延起到有效的控制作用，尽可能减少对关键生产设备造成的二次损害，保护企业的核心资产。快速的响应同样可缩短生产中断的时间，促使企业可以更快地恢复运营，直接减少因停产而带来的营业损失。从长远的角度来看，卓越的应急能力是

企业风险韧性的一种体现，可降低事故的绝对经济损失，保护企业的市场份额以及品牌价值。

3 基于成本效益视角的化工过程安全风险管理优化策略

3.1 成本精细化核算与风险优先级排序

化工企业面临着越发严峻的安全监管压力以及成本控制方面的挑战，在这样的背景状况下，达成安全资源的优化配置已然成为提升企业核心竞争力的关键所在。传统那种粗放式的安全管理模式大多时候会致使资源出现错配的情况，在某些低风险领域投入过度，或在高风险环节投入不足，难以从经济性角度来证实安全投入的价值。需引入成本精细化核算方法，以此为决策提供坚实的数据支持^[3]。

成本精细化核算促使企业摒弃将安全投入当作单一笼统支出的传统想法，而是对其展开系统性的识别、归集以及计量，涵盖直接成本，如安全设备采购与安装的费用、定期检测与维护的费用、安全培训方面的支出；间接成本，如因安全措施致使的产能或效率损失、专职安全管理人员的薪酬，以及更为隐蔽的无形成本，例如管理复杂度提高带来的协调成本。基于此，结合风险评价矩阵，针对已识别的各类风险开展量化评估，一般采用风险值作为排序的关键指标，将每单位风险值降低所对应的成本投入进行对比，就能算出不同风险控制措施的“成本效用比”，清楚地辨别出哪些措施可以最小的成本达成最大的风险降低效果，为风险优先级排序提供客观、量化的经济性依据。此外，企业可优先施行“成本效用比”低也就是性价比高的措施，对高风险且控制成本高的领域给予重点论证和规划，并暂缓或者取消对那些风险极低但控制成本高昂的项目的投入，以此保证安全预算投入到最需要且最有效的地方，较大提升资金的使用效率。

3.2 全生命周期成本效益动态评估体系构建

传统安全投资评估存在短视行为，只关注初始投入，却忽视长期运营、维护以及潜在事故成本。为克服这一弊端，构建贯穿项目始终的全生命周期成本效益动态评估体系十分关键，此体系能从时间维度拉长评估视角，对安全措施经济性做出更科学全面的判断，防止因低估长期成本或高估短期效益而做出错误投资决策。

成本方面涵盖初始投资成本、运营维护成本、定期更新改造成本以及最后的报废处置成本。效益方面覆盖事故损失避免效益、运营效率提升效益、保险费用折扣效益以及像品牌声誉、员工士气这类难以货币化但需要定性评估的无形效益。随后，应引入资金的时间价值概念，运用贴现法将未来不同时间点的成本

与效益现金流折算成现值，以便在统一的时间基准上开展净现值、效益成本比或投资回收期等指标的计算与比对。随着生产流程的改变、设备设施的磨损、物料特性变化以及外部法规标准的更新，原有的风险图谱和安全措施的有效性都会出现改变。因此，应建立定期复核机制，重新评估各项安全措施的生命周期成本与效益，依据评估结果动态调整安全策略和资源分配方案，以此保证安全投资的长期经济性，引导企业选择在全生命周期内净现值最高、最能持续创造价值的方案，达成安全绩效与经济效益在时间维度上的高度统一。

3.3 技术升级与成本削减的协同优化路径

随着工业4.0技术快速发展，物联网、大数据分析、人工智能以及数字孪生等创新技术给化工过程安全风险管理带来了变革机遇。智能技术可以提升本质安全水平，还开辟了凭借技术赋能实现安全成本优化削减的新途径。其最关键的是运用技术手段提高风险管理效率和精准度，在保障安全水平甚至使其有所提升的情况下，降低全生命周期综合管理成本。

技术升级的协同优化路径首先呈现于预测性维护对预防性维护的取代。借助布设智能传感器，针对关键设备的振动、温度以及腐蚀状态等展开实时在线监测，再运用算法模型来预测其剩余寿命与故障点，可达成从“按时检修”至“按需检修”的转变，规避定期大修所带来的巨大停工成本以及不必要的备件更换费用，同时在故障发生之前及时发出预警，大幅降低了非计划停车以及由此引发的次生安全风险，达成了安全性与经济性的双重收益。同时，先进过程控制系统凭借对生产过程的精细化智能控制，可将工艺参数稳定于最优区间，减少人为操作失误以及工况波动，直接从源头降低事故发生率，同时提高了原料利用率与产品收率，给予了可观的经济效益。最后，企业应全面考量技术方案的初始投入、运维成本、技术淘汰风险以及其所能带来的事故损失减少、运营效率提升、人力成本节约等综合效益。凭借科学的生命周期成本效益分析，挑选技术成熟度高、投资回报期短、协同效益较大的升级路径^[4]。

3.4 保险机制与风险转移的经济性决策框架

由于化工行业高风险特性一直存在，部分企业已采取了所有可行的内部安全措施，但其残余风险仍有可能给企业财务带来巨大威胁。因此，保险作为一种经典的风险转移手段，在企业全面风险管理体系里占据着关键位置。构建一个基于成本效益分析的经济性决策框架，可科学地指导企业决定何时自留风险、何时转移风险，以及如何以最优的成本结构配置保险方

案，实现风险融资策略的整体优化。

在此阶段，该决策框架的构建是从对风险自留以及风险转移的成本效益展开比较。风险自留的实质就是企业自己去承担潜在的损失，其成本涵盖为了应对可能出现的事故而预留的风险准备金以及有可能发生实际损失。风险转移指的是借助支付保险费，将潜在巨额损失的不确定性转变为确定的保险费用支出。经济性决策的关键就在于对比保险费支出和自留风险情况下的期望损失以及资本成本。若保险费远远高于期望损失与资本成本的总和，会倾向于自留风险；反之，则倾向于投保，对于发生概率低但后果严重的巨灾风险而言，保险可以相对较小的成本提供很宝贵的财务保障，其效益体现在防止企业因为一次事故就陷入财务困境甚至破产，经济效益比较突出。进一步地，企业可以凭借设定合理的免赔额和赔偿限额来主动管理保险成本，提高免赔额可降低保费支出，这实际上就是企业自留了小额的、可承受的高频低损风险，而只是将低频高损的灾难性风险转移给保险公司^[5]。

4 结语

综合来看，化工过程安全风险管理研究从成本效益角度出发，给企业给予了兼顾安全与经济的科学决策模式。此研究对风险辨识、防控以及应急响应的经济效益展开系统剖析，构建了涵盖成本核算、生命周期评估、技术升级以及风险转移等内容的优化策略体系，有力推动安全管理从被动合规向主动价值创造转变。实践证明，将经济性分析深入融入安全管理全过程，能优化资源配置效率，提高企业风险韧性，还可为化工行业达成安全发展与经济效益双重目标提供坚实支撑，对促进行业高质量可持续发展有关键实践价值。

参考文献：

- [1] 杨小峰. 本质安全理论在化工过程安全管理中的应用与实践 [J]. 化工管理 ,2025(14):106-109.
- [2] 蒋玮, 邬永利, 田永青, 等. 新形势下化工生产过程中安全管理要点分析 [J]. 内蒙古石油化工 ,2025,51(01):48-51.
- [3] 刘小勇, 王宇航, 李鹏智. 基于风险的化工过程安全管控实践 [J]. 化工管理 ,2023(15):85-87+111.
- [4] 刘其明. 化工过程安全管理对事故预防的必要性 [J]. 山东化工 ,2019,48(20):240-241.
- [5] 刘冲. 石化企业安全风险管理的探讨与实践 [J]. 浙江化工 ,2018,49(06):36-39+51.

作者简介：

张译文（1987-），女，汉族，江苏盐城人，研究生，工程师，研究方向：安全评价。