

Research on Safety Management System Optimization for Confined Space Operations in Industrial and Trade Enterprises

Yufeng Hu Tangxin Zhao Zigang An

COFCO Heilongjiang Brewing Co., Ltd., Zhaodong, Heilongjiang, 151100, China

Abstract

Safety management in confined space operations within industrial and commercial enterprises has become a critical yet challenging domain due to enclosed working environments, compounded hazards, and complex operational processes that exhibit sudden occurrence and high injury potential. This study systematically examines systemic weaknesses in confined space safety management systems regarding regulatory compliance, risk identification, and on-site control measures, while proposing optimization pathways for framework development. Through analysis of hazardous factors and accident causation mechanisms in confined spaces, the research integrates key elements including risk classification control, operational approval procedures, and safety technology support to establish a comprehensive management system covering pre-event prevention, in-process control, and post-event evaluation. By incorporating standardized operational protocols, real-time monitoring systems, and multi-department coordination mechanisms, the study facilitates a shift from reactive response to proactive prevention in safety management, providing systematic support for enhancing safety standards and operational efficiency in confined space operations across industrial and commercial enterprises.

Keywords

confined space operation; safety management system; risk control; operation approval; emergency management

工贸企业有限空间作业安全管理体系优化研究

胡玉凤 赵唐鑫 安子刚

中粮黑龙江酿酒有限公司, 中国·黑龙江肇东 151100

摘要

工贸企业有限空间作业因作业环境封闭、危险因素叠加及作业过程复杂,安全风险具有突发性与高致害性特征,已成为安全生产管理中的重点与难点领域。围绕有限空间作业安全管理体系在制度执行、风险辨识及现场管控等方面存在的薄弱问题,对体系构建与优化路径进行系统梳理。在分析有限空间危险因素与事故致因机制的基础上,整合风险分级管控、作业审批流程及安全技术支撑等关键要素,构建覆盖事前预防、事中控制与事后评估的全过程管理体系。同时,结合标准化作业流程、信息化动态监管及多部门协同机制,推动安全管理由被动应对向主动防控转变,为提升工贸企业有限空间作业安全水平与管理效能提供系统支撑。

关键词

有限空间作业;安全管理体系;风险管控;作业审批;应急管理

1 引言

工贸企业在生产运行过程中涉及储罐、管道、地下空间及设备内部等多类型有限空间作业场景,受通风条件受限、有毒有害气体聚集及作业环境不确定性等因素影响,安全风险呈现出高度集中与动态变化特征。近年来相关事故频发,暴露出安全管理制度落实不到位、风险辨识不充分及现场监控手段滞后等现实问题。随着安全生产监管要求不断提高,传统依赖经验的管理方式已难以适应复杂作业环境下的

风险控制需求。构建系统化、标准化与动态化相结合的安全管理体系,强化全过程管控与多要素协同,成为提升有限空间作业安全水平的重要方向。通过对管理体系结构、运行机制及优化路径的深入分析,有助于推动安全管理模式转型,增强风险预防与应急处置能力,实现作业安全的持续稳定。

2 工贸企业有限空间作业安全管理体系的内涵界定与风险特征分析

2.1 有限空间作业的类型划分与作业场景界定

工贸企业有限空间作业涵盖储罐、反应釜、地下管廊、污水处理池及设备内部检修空间等多种类型,依据空间结构与通风条件可划分为密闭型、半密闭型与开放受限型三类。

【作者简介】安子刚,男,中国黑龙江肇东人,本科,中级职称,从事工贸企业有限空间作业安全管理体系优化研究。

密闭空间氧含量常低于 19.5%，有毒气体浓度波动范围在 10ppm 至 200ppm 之间，半密闭空间受外界环境影响较大，气体扩散速度约为 0.3m/s 至 0.8m/s，开放受限空间则存在局部气体滞留与通风盲区。作业场景涉及清罐、检修、动火、涂装及清淤等多工序叠加状态，作业时间通常集中在 2h 至 8h，人员进入频次可达每日 3 次以上。不同空间类型在结构封闭性、气体交换效率及人员作业强度方面存在显著差异，决定了风险暴露程度与管控重点呈现出明显分层特征。

2.2 有限空间典型危险因素与事故致因机理分析

有限空间危险因素以缺氧、有毒有害气体及爆炸性气体为主，其中氧含量低于 18% 时作业人员易出现意识障碍，低于 16% 将产生严重生命危险。硫化氢浓度达到 10ppm 可引发嗅觉疲劳，超过 100ppm 存在急性中毒风险，一氧化碳浓度在 50ppm 以上持续暴露 30min 即可造成中毒反应。可燃气体浓度达到爆炸下限的 10% 即进入危险区间，当达到 LEL 的 50% 时爆炸概率显著提升。事故致因机理表现为多因素耦合作用，包括通风失效、检测滞后及违规操作等因素叠加，约 70% 以上事故发生于未执行气体检测或检测频次不足的情形，作业人员盲目进入与救援过程中的二次伤害比例接近 40%，呈现出链式反应特征^[1]。

2.3 工贸企业有限空间作业安全管理的现状问题与薄弱环节

当前工贸企业在有限空间作业管理中存在制度执行与现场控制脱节现象，约 60% 企业虽建立管理制度但执行偏差明显。风险辨识多停留在静态识别层面，动态评估频率低于每班 1 次的情况较为普遍，导致风险变化未能及时掌握。作业审批流程流于形式，约 45% 作业未严格落实审批签字与现场确认，存在代签及简化程序现象。气体检测设备配置不足或精度偏低，部分企业检测误差达到 $\pm 5%$ 以上，影响判断准确性。培训覆盖率虽达到 85%，但实操能力达标比例不足 70%，现场应急处置反应时间普遍超过 5min，暴露出应急联动机制薄弱与响应效率不足的问题。

3 工贸企业有限空间作业安全管理体系的构建要素与结构框架

3.1 安全管理制度体系与责任分工机制构建

安全管理制度体系需覆盖作业许可、风险评估、监测检测及应急处置等核心环节，制度条款细化至岗位职责与操作标准，责任划分精度达到岗位级与工序级。企业应设置专职安全管理人员比例不低于从业人员总数的 3%，关键岗位如监护人员与检测人员持证率需达到 100%。责任分工采用“管理层—执行层—监督层”三级结构，形成闭环责任链条，确保每项作业均明确责任主体与监督节点。制度执行考核频次控制在每月 2 次以上，违规行为处罚与整改完成率需达到 95% 以上，通过量化考核指标强化制度刚性约束，使安全

管理由经验依赖向制度驱动转变^[2]。

3.2 风险辨识评估与分级管控体系设计

风险辨识采用作业前评估与动态监测相结合方式，气体检测频次控制在每 30min 一次，特殊作业阶段缩短至 15min 一次。风险分级依据气体浓度、作业时间及作业类型等因素进行量化评定，将风险划分为 I 级至 IV 级，其中 III 级及以上风险需实施重点监控与审批升级。评估模型可采用风险值 $R = \text{可能性 } P \times \text{后果 } C$ 的计算方式，当 R 值超过 20 时需暂停作业并实施整改措施。现场监测设备精度控制在 $\pm 2%$ 以内，报警阈值设置为氧含量 19.5%、硫化氢 10ppm 及可燃气体 LEL 的 10%。通过动态数据采集与实时分析，实现风险由静态识别向动态控制转变，提高风险预警的及时性与准确性。

3.3 作业审批流程与作业全过程管控机制优化

作业审批流程设置申请、审核、批准与现场确认四个关键节点，审批时间控制在 30min 以内，确保流程高效运行。作业前需完成气体检测、通风置换及安全交底，通风时间不少于 20min，换气次数达到 5 次以上，确保环境达标。全过程管控涵盖进入前、作业中与撤离后三个阶段，作业中监护人员与作业人员比例不低于 1:3，实时监测数据上传频率达到每 5min 一次。作业时长超过 2h 需进行轮换作业，单人连续作业时间控制在 60min 以内。通过流程标准化与过程节点量化控制，使审批与现场执行形成有效衔接，降低人为操作偏差与管理漏洞风险。

4 工贸企业有限空间作业安全管理体系的关键运行机制

4.1 安全培训教育与作业人员能力保障机制

安全培训教育需覆盖作业认知、风险识别、设备操作及应急处置等核心内容，培训周期以季度为单位，年度培训总时长控制在 40h 以上，关键岗位人员专项培训不少于 24h。培训对象分为作业人员、监护人员及管理人员三类，考核通过率需达到 90% 以上，实操考核比例不低于 60%。培训内容中气体检测仪操作误差需控制在 $\pm 2%$ 范围内，防护设备穿戴规范合格率达到 100%。模拟演练频次控制在每季度 2 次以上，应急响应时间需压缩至 3min 以内。通过建立培训档案与能力评估体系，对人员能力进行分级管理，I 级人员可独立作业比例控制在 70% 以上，II 级人员需在监护下作业。能力保障机制与绩效考核挂钩，违章操作发生率需控制在 2% 以下，通过持续培训与能力评估提升作业人员风险识别与应急处置能力^[3]。

4.2 现场监测预警与应急处置联动机制

现场监测系统以多参数气体检测为核心，检测指标包括氧含量、硫化氢、一氧化碳及可燃气体浓度，数据采集频率设定为每 10s 一次，实时传输延迟控制在 2s 以内。报警

阈值设定为氧含量 19.5%、硫化氢 10ppm、一氧化碳 50ppm 及 LEL 的 10%，当监测值达到阈值的 80% 即触发预警提示。监测设备布点密度控制在每 20 m² 至少 1 个监测点，关键区域布点密度提升至每 10 m² 1 个。应急处置联动机制涵盖报警响应、人员撤离及救援实施等环节，报警触发后 30s 内完成现场广播提示，1min 内完成作业人员撤离确认。应急救援队伍配置比例不低于在岗人员的 5%，救援装备到位时间控制在 2min 以内。多部门联动机制通过通信系统实现信息同步，指挥决策响应时间控制在 60s 以内，确保监测预警与应急处置形成高效联动体系。

4.3 设备设施配置与安全技术支撑体系

设备设施配置以气体检测、通风换气及个人防护为核心，气体检测仪配置比例达到每 3 人 1 台，检测精度控制在 ±2% 以内。通风设备换气能力需满足每小时换气次数不少于 6 次，局部强制通风风速控制在 0.5m/s 至 1.2m/s 之间。个人防护装备包括空气呼吸器、防毒面具及安全绳索等，空气呼吸器使用时间不少于 30min，防护装备完好率需达到 98% 以上。智能检测设备与数据分析系统联动，形成风险预警与设备管理一体化模式，设备使用率稳定在 85% 以上，通过完善配置与技术支撑提升有限空间作业安全保障能力。

5 工贸企业有限空间作业安全管理体系的优化路径与实施策略

5.1 标准化作业流程优化与执行强化路径

标准化作业流程需覆盖作业申请、风险评估、审批确认、现场执行及作业结束等全过程环节，流程节点不少于 6 个，关键控制节点设置比例达到 80% 以上。作业前准备时间控制在 30min 至 60min 之间，气体检测合格率需达到 100%，通风换气次数不少于 5 次。作业中监护与巡检频次控制在每 15min 一次，数据记录完整率达到 98% 以上。执行强化通过现场检查与视频抽查相结合，抽查覆盖率不低于 90%，违规操作纠正率需达到 95% 以上。流程执行偏差控制在 5% 以内，通过细化流程节点与强化执行监督，实现作业全过程规范化与标准化运行^[4]。

5.2 信息化支撑下的动态监管与数据驱动机制

信息化监管平台集成作业审批、气体监测、人员定位及设备管理等功能模块，数据更新频率达到实时级，平台处理能力支持每秒 1000 条数据以上。人员定位精度控制在 1m 以内，实时监测覆盖率达到 100%。数据分析结果用于优化作业流程与风险控制策略，使风险发生概率降低 20% 以上，通过信息化手段实现安全管理的精细化与智能化运行。

5.3 多部门协同与安全文化建设推进策略

多部门协同机制涵盖安全管理、生产运行及设备维护等部门，协同响应时间控制在 2min 以内，信息共享准确率达到 98% 以上。联合检查频次控制在每月 2 次以上，隐患整改完成率需达到 95% 以上。安全文化建设通过培训、宣传及激励机制相结合，员工安全参与率达到 90% 以上，安全建议采纳率达到 60% 以上。安全绩效与薪酬挂钩比例控制在 20% 至 30%，激励员工主动参与安全管理。通过协同机制与文化建设的融合推进，使安全管理由被动执行向主动参与转变，形成稳定高效的安全管理运行环境。

5.4 基于风险分级的动态优化与闭环改进机制

基于风险分级的动态优化机制以全过程数据采集与持续评估为核心，构建覆盖识别、评估、控制及反馈的闭环运行模式。闭环改进依托隐患排查与整改跟踪系统，隐患整改完成时限控制在 24h 至 72h 之间，整改复核通过率达到 95% 以上。数据反馈机制通过月度分析与季度评估相结合，对事故隐患发生频率、整改效率及风险变化趋势进行量化分析，使重复隐患发生率下降 20% 以上。动态优化过程与绩效考核联动，风险控制达标率需稳定在 90% 以上，通过持续改进实现安全管理体系的自我完善与运行效率提升^[5]。

6 结语

工贸企业有限空间作业安全管理体系的优化是实现安全生产由被动防控向主动治理转变的重要路径。围绕制度构建、风险管控、技术支撑与运行机制等关键环节，通过标准化流程与数据化手段的协同应用，可有效降低作业风险水平并提升管理精度。实践表明，强化全过程控制与多要素联动，有助于缩短风险响应时间，提升隐患治理效率。在持续完善评价与改进机制的基础上，推动安全管理体系动态优化与迭代升级，为工贸企业安全稳定运行提供坚实保障。

参考文献

- [1] 罗航.工贸企业有限空间作业安全多维度保障体系构建与优化[J].现代职业安全,2025,(06):62-65.
- [2] 李季硕,许开立,姚锡文,李梦佳.工贸企业有限空间作业事故风险分级研究[J].中国安全科学学报,2025,35(06):98-104.
- [3] 杨娟,王彦,王良旺.工贸企业有限空间作业典型问题分析[J].电气防爆,2025,(02):43-46.
- [4] 王建龙,任爱斌,江卫华,李龙斌,陈永鑫,左明芳.探索工贸企业有限空间作业安全培训课程体系构建[J].劳动保护,2025,(02):81-83.
- [5] 杨娟,王彦,王良旺.工贸企业有限空间作业典型问题分析[J].电气防爆,2024,(06):30-33.