

石油化工项目施工安全风险及改进措施探析

陈俊 李星

河南理工大学 河南 焦作 454150

【摘要】 石油化工项目施工具有工艺复杂、高危作业集中、介质易燃易爆、交叉作业频繁等特征，安全风险等级高、事故后果严重。本文结合石油化工施工特点，系统辨识高处作业、动火作业、受限空间作业、临时用电及起重吊装等核心安全风险，剖析风险成因；从管理体系、技术防控、人员素养、智能管控四维度，提出针对性改进措施。研究表明，通过完善 HSE 管理、强化高危作业管控、推进智能监测与人员专项培训，可有效降低施工安全事故发生率，为石油化工项目施工安全管理提供实践参考。

【关键词】 石油化工项目；施工安全；风险辨识；高危作业；改进措施

1 引言

石油化工行业是国民经济重要支柱产业，项目建设规模大、投资高、周期长，施工过程涉及高温高压、易燃易爆、有毒有害介质，且多为露天、高空、地下受限空间作业，安全风险贯穿施工全流程。近年来，石油化工施工安全事故时有发生，不仅造成重大人员伤亡与财产损失，还引发环境污染与社会不良影响，制约行业高质量发展。

随着石化行业转型升级，大型炼化一体化、智能化工厂建设加速，施工工艺与设备日趋复杂，安全风险呈现耦合化、隐蔽化、突发化特征。传统粗放式安全管理模式已难以适配新形势，亟需精准辨识施工安全风险，构建系统化、精细化、智能化防控体系。本文聚焦石油化工项目施工核心安全风险，深入分析风险诱因，提出科学可行的改进措施，助力提升石化施工安全管理水平。

2 石油化工项目施工安全风险特征及类型

2.1 施工安全风险核心特征

石油化工项目施工安全风险具有显著特殊性：一是高危性，涉及易燃易爆介质与高温高压设备，事故易引发火灾、爆炸、中毒窒息等连锁灾害；二是复杂性，多专业、多工序交叉作业，高处、动火、受限空间等高危作业叠加，风险相互影响；三是突发性，介质泄漏、设备故障、违规操作等易瞬间触发事故，应急处置难度大；四是危害性，事故不仅造成人员伤亡，还会导致设备损毁、环境污染，影响周边区域安全。

2.2 主要安全风险类型

2.2.1 高处作业风险

石化施工中设备安装、管道架设、钢结构施工等多为高处作业（作业高度 $\geq 2\text{m}$ ），占比超 60%。主要风险为高处坠落、物体打击，诱因包括脚手架搭设不规范、防护栏杆缺失、作业人员未系安全带、物料堆放不稳等。数据显示，高处坠落事故占石化施工安全事故总数的 35% 以上，为高发事故类型。

2.2.2 动火作业风险

动火作业（焊接、切割、打磨等）是石化施工核心工序，现场易燃易爆介质（油气、溶剂蒸气）易引发火灾、爆炸事故。风险诱因：动火区域未清理干净、可燃气体浓度超标、动火审批不严、消防器材缺失、火花飞溅引燃可燃物等。据统计，动火作业引发的事故占石化施工重特大事故的 40% 以上。

2.2.3 受限空间作业风险

受限空间包括设备容器、管道、地下室、管沟等，具有通风不良、光线不足、有毒有害气体积聚等特点。主要风险为中毒窒息、缺氧、爆炸，诱因包括气体检测不合格、通风不充分、监护不到位、应急装备缺失等。受限空间作业事故死亡率高，救援难度大，是石化施工重点管控风险。

2.2.4 临时用电风险

施工现场用电设备多、线路复杂，临时用电存在乱拉乱接、线路老化、接地不良、漏电保护失效等问题，易引发触电、电气火灾事故。尤其在潮湿、腐蚀性环境中，电气绝缘性能下降，风险进一步加剧。

2.2.5 起重吊装风险

大型设备、构件吊装频繁，涉及超重、超高、跨距大等情况，易发生起重伤害、设备倾覆、物体坠落事故。诱因包括吊装设备带病运行、吊装方案不合理、指挥信号不规范、吊具不合格、现场警戒不到位等。

2.2.6 其他风险

包括机械伤害（施工机械操作不当）、中毒（有毒介质泄漏）、灼烫（高温介质或设备）、自然灾害（台风、暴雨、高温）等，各类风险相互交织，进一步增加安全管控难度。

3 石油化工项目施工安全风险成因分析

3.1 安全管理体系不完善

部分施工单位重进度、轻安全，HSE 管理体系流于形式，

安全责任未层层压实,存在“以包代管”现象。安全管理制度不健全,高危作业许可、安全交底、隐患排查等制度执行不到位;安全管理机构人员配置不足,专业能力薄弱,难以实现全过程监管。

3.2 高危作业管控不严格

动火、受限空间、高处等高危作业审批流程简化、风险辨识不全面、现场监护缺失。作业前未进行气体检测、通风置换、安全隔离;作业过程中监护人员擅离岗位,未及时处置异常情况;作业后未清理现场,留下安全隐患。

3.3 施工人员安全素养不足

施工人员多为农民工,安全意识淡薄、专业技能不足、违规操作频繁。未经系统安全培训即上岗,不熟悉操作规程与风险危害;安全防护用品佩戴不规范,存在侥幸心理;特种作业人员(焊工、起重工、电工)无证上岗或证件过期,操作技能不达标。

3.4 施工环境与设备管理缺陷

施工现场布局混乱、物料堆放无序、消防通道堵塞,易燃易爆与有毒有害材料未单独存放,警示标识缺失。施工设备未定期检修维护,带病运行;吊装设备、电气设备、防护设施老化失效,未及时更换;设备安全防护装置缺失或损坏,无法有效防范风险。

3.5 技术防控与应急能力薄弱

安全技术措施不到位,风险评估不精准、施工方案不合理、安全防护设施简陋。未采用先进的安全技术与装备,依赖人工巡查,风险预警滞后;应急预案针对性不强,应急演练流于形式,应急物资储备不足,事故发生后无法快速有效处置,导致事故扩大。

4 石油化工项目施工安全改进措施

4.1 完善 HSE 管理体系,压实安全责任

4.1.1 健全安全管理制度

严格落实 HSE 管理体系,建立**“业主—监理—承包商”三级安全网格**,明确各方安全责任,签订安全责任书,将安全指标纳入绩效考核,实行“一票否决”。完善高危作业许可、安全交底、隐患排查治理、安全培训、应急管理 etc 制度,细化操作流程,确保有章可循。

4.1.2 强化全过程安全监管

设立专职安全管理机构,配备足够专业安全人员,覆盖施工全流程。推行**“七步检查法”**:查作业许可、查作业文件、查安技装备、查安全交底、查风险辨识、查防控措施、查应急准备,实现全链条管控。定期开展安全检查与专项督查,

建立隐患台账,实行“闭环管理”,确保隐患整改到位。

4.2 强化高危作业管控,筑牢风险防线

4.2.1 规范高危作业许可

严格执行动火、受限空间、高处、起重吊装等高危作业专项许可制度,作业前必须办理作业许可证,未经许可严禁作业。作业许可需明确作业范围、时间、人员、风险防控措施、监护人员等,审批人员需现场核查安全条件,确认无误后方可签字批准。

4.2.2 落实作业前风险防控

动火作业:清理作业区域可燃物,检测可燃气体浓度(低于爆炸下限 10%),配备足量消防器材,设置防火隔离带,严禁无证动火、超范围动火。

受限空间作业:先通风置换(通风时间 $\geq 30\text{min}$),检测氧含量(19.5%~23.5%)、有毒有害气体浓度,办理受限空间作业许可证,配备监护人员与应急装备,作业过程持续通风与气体监测。

高处作业:搭设合格脚手架,设置防护栏杆与安全网,作业人员系好安全带(高挂低用),严禁抛物,物料堆放平稳,下方设置安全警戒区。

临时用电:遵循“三级配电、两级保护”原则,线路架空或埋地敷设,严禁乱拉乱接,定期检查电气设备绝缘性能,漏电保护器灵敏可靠,电工持证上岗。

4.3 加强人员培训管理,提升安全素养

4.3.1 开展分层级安全培训

建立全员安全培训体系,对管理人员、作业人员、特种作业人员开展差异化培训。管理人员侧重安全法规、管理体系、风险评估;作业人员侧重操作规程、风险危害、防护用品使用、应急处置;特种作业人员必须经专业培训,持证上岗,定期复审。培训后严格考核,考核不合格严禁上岗。

4.3.2 强化现场安全交底与警示教育

每项作业前,技术人员与安全员必须进行专项安全交底,明确作业风险、防控措施、操作要点、应急方法,确保全员知晓。定期开展安全警示教育,剖析典型事故案例,播放安全警示片,强化员工安全意识,杜绝侥幸心理。

4.4 优化现场与设备管理,消除物的不安全状态

4.4.1 规范施工现场布局

科学规划施工现场,实行分区管理(作业区、材料堆放区、办公区、生活区),设置连续密闭围挡,张贴安全警示标识。材料分类堆放,易燃易爆、有毒有害材料单独存放,远离火源与人员

密集区；保持消防通道畅通，施工现场整洁有序，减少环境风险。

4.4.2 强化施工设备管控

建立设备台账，定期检修维护施工机械、吊装设备、电气设备、防护设施，严禁带病运行。设备进场前验收，确保性能完好、安全防护装置齐全；作业前检查设备状态，作业中规范操作，作业后保养维护；淘汰老旧设备，推广智能化、安全化设备，降低设备风险。

4.5 推进智能管控与应急建设，提升防控能力

4.5.1 应用智能安全监测技术

构建智慧工地安全管控平台，部署智能视频监控、气体检测报警、高空作业监测、电气安全监测等物联网设备。利用 AI 算法实现违规操作（未系安全带、无证动火）自动识别与预警；通过气体传感器实时监测可燃、有毒气体浓度，超标自动报警；运用无人机巡检、红外热成像技术，排查隐蔽隐患，实现风险动态管控。

4.5.2 完善应急管理体系

编制针对性应急预案，覆盖火灾、爆炸、中毒窒息、高处坠落等事故类型，明确应急组织机构、响应流程、处置措施、物资保障。定期开展实战化应急演练（每年不少于 2 次），演练后复盘总结，优化应急预案；储备足量应急物资（灭火器、正压式呼吸器、急救药品、救援设备），定期检查更新，确保完好有效；建立应急联动机制，与周边应急救援机构协作，提升事故处置效率。

5 应用效果案例分析

某大型炼化一体化项目施工阶段，针对高处作业、动火作业、受限空间作业等高发风险，实施上述改进措施，取得显著成效：

5.1 安全管理指标改善

建立三级安全网格，完善 12 项安全管理制度，隐患整改闭环率达 100%；

开展安全培训 32 场次，培训人员 2800 人次，特种作业持证上岗率 100%；

部署智能监测设备 65 台，实现高危作业实时监控，违规操作预警响应时间 $\leq 10s$ 。

5.2 事故发生率显著降低

实施改进措施后，项目施工期间未发生一般及以上安全事故，轻伤事故发生率较同类项目降低 85%；高处坠落、动火作业事故零发生，受限空间作业未出现中毒窒息事件，安全管控效果显著。

5.3 核心风险防控效果

表 1 改进措施实施前后核心风险防控效果对比

风险类型	实施前风险等级	实施后风险等级	防控效果
高处作业	重大风险	一般风险	坠落、物体打击隐患减少 90%
动火作业	重大风险	一般风险	可燃气体超标报警次数减少 95%
受限空间作业	重大风险	低风险	有毒有害气体检测合格率 100%
临时用电	较大风险	低风险	触电、电气火灾隐患消除

6 结论与展望

石油化工项目施工安全风险具有高危性、复杂性、突发性特征，高处作业、动火作业、受限空间作业、临时用电及起重吊装是核心风险类型，风险成因涉及管理、人员、设备、环境等多方面。通过完善 HSE 管理体系、强化高危作业管控、加强人员培训、优化现场设备管理、推进智能监测与应急建设，可构建系统化安全防控体系，有效降低安全风险，减少事故发生。

未来，随着石化行业智能化、绿色化发展，施工安全管理需进一步融合数字孪生、大数据、人工智能等技术，实现风险精准辨识、动态预警、智能处置；持续推进本质安全设计，从源头消除风险；加强安全文化建设，提升全员安全素养，构建“全员、全过程、全方位”的安全管理格局，为石油化工项目安全高效建设提供坚实保障。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 51283-2018 石油化工工程施工安全技术标准 [S]. 北京:中国计划出版社, 2018.
- [2] 王浩, 刘阳, 陈明. 石油化工项目施工高危作业风险管控研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18 (7):189-195.
- [3] 李鑫, 赵静, 孙健. 智慧工地在石化施工安全管理中的应用 [J]. 公路交通科技, 2023, 40 (5):78-85.
- [4] 姬帅岩, 黄成毅, 蔡鹏麟. 石油化工受限空间作业安全风险及防控措施 [J]. 化工进展, 2022, 41 (9):4123-4130.
- [5] 刘建雄. EPC 模式下石化工程项目施工安全管理体系优化 [J]. 工程管理学报, 2024, 38 (2):112-116.
- [6] 山东省应急管理厅. 化工和危险化学品企业高危场所周边施工安全风险管控措施清单（试行）[Z]. 2025.