

石油化工机电安装工程中的技术创新与风险管理

倪行秀

茂名市恒孚石化工程有限公司，广东 茂名 525000

DOI:10.61369/ME.2025120001

摘 要： 石油化工机电安装工程的技术创新与风险管理呈现显著的协同效应，智能化监测系统和先进施工工艺的应用提升了风险防控能力，而完善的风险管理体系保障了技术创新的可靠实施。研究显示，二者的有机结合不仅能降低事故率，还能优化工程效率，是实现行业高质量发展的关键。随着《“十四五”危险化学品安全生产规划方案》的实施，数字孪生、物联网等技术与风险管控体系的深度融合成为重要发展方向。

关 键 词： 石油化工；机电安装；技术创新；风险管理

Technological Innovation and Risk Management in Petrochemical Electromechanical Installation Projects

Ni Xingxiu

Maoming Hengfu Petrochemical Engineering Co., Ltd., Maoming, Guangdong 525000

Abstract： Technological innovation and risk management in petrochemical electromechanical installation projects demonstrate significant synergistic effects. The application of intelligent monitoring systems and advanced construction techniques enhances risk prevention and control capabilities, while a well-developed risk management framework ensures the reliable implementation of technological innovations. Studies indicate that the integration of these two aspects not only reduces accident rates but also optimizes project efficiency, serving as a key factor in achieving high-quality development in the industry. With the implementation of the "14th Five-Year Plan for Safe Production of Hazardous Chemicals," the deep integration of digital twins, IoT, and other technologies with risk management systems has become an important direction for future development.

Keywords： petrochemical; electromechanical installation; technological innovation; risk management

引言

石油化工机电安装工程作为现代工业体系的核心环节之一，其技术复杂性和高风险特征对工程管理提出严峻挑战。2022年3月，应急管理部发布《“十四五”危险化学品安全生产规划方案》，强调行业需在安全合规与技术创新间实现协同发展。当前，石化产业正加速向智能化、绿色化转型，数字孪生、物联网等技术的应用显著提升风险预警能力，而模块化施工、高性能防腐材料等新工艺则从源头上减少事故隐患。然而，技术创新的快速迭代也带来新的风险管控需求，需建立与新技术适配的资质认证和监管体系。2023年，行业内相关政策进一步要求加强技术标准与安全管理的融合，以应对新技术应用中的潜在风险。探讨技术创新与风险管理的协同机制，不仅关乎工程建设的安全与效率，更是实现石化行业高质量发展的关键路径。

一、石油化工机电安装工程概述

（一）石油化工机电安装工程的定义、范畴及特点

石油化工机电安装工程涵盖设备安装、管道敷设、电气系统配置及自动化控制等多个关键环节，是石化生产设施建设的重要组成部分。设备安装涉及塔、反应器、换热器、压缩机、泵组等大型机械设备的精准定位与调试；管道工程需满足高温、高压、易燃易爆、腐蚀性介质输送的严苛要求；电气系统包括供配电、防爆电气设备安装；自动化控制则依托 DCS、PLC 等系统实现生产流程的智

能化管理^[1]。此类工程具有显著的高风险性，技术复杂度高，施工环境常伴随高温、高压、易燃易爆等极端条件，同时需兼顾多专业交叉协作的挑战，对施工精度与安全性提出极高要求。

（二）石油化工行业对机电安装的特殊要求

石化行业的机电安装需严格遵循高温高压及易燃易爆环境下的技术标准，例如采用 ASME、API 等国际规范确保设备与管道的密封性及结构强度，并配备防爆电气设备以规避火灾风险^[2]。环保与节能要求进一步推动工程技术革新，如采用微泄漏阀门减少挥发性有机物排放，应用变频技术优化电机能耗，通过余热回收

系统提升能效。这些要求不仅影响材料与工艺选择，还促使工程设计与施工阶段融入全生命周期环保评估，以实现可持续发展目标。

二、石油化工机电安装工程中的技术创新

（一）智能化与数字化技术的应用

BIM（建筑信息模型）技术在石油化工机电安装工程中的应用显著提升了设计与施工效率，通过三维建模实现设备布局优化、管线碰撞检测及施工进度模拟，减少设计变更与返工。物联网技术结合传感器网络实时监测设备运行状态，采集振动、温度、压力等关键参数，结合大数据分析预测潜在故障，形成智能化运维体系。例如，某大型炼化项目采用基于物联网的预测性维护系统，将非计划停机时间降低30%，大幅提升生产稳定性与经济性^[9]。

（二）新材料与新工艺的推广

高性能防腐材料如镍基合金、氟塑料衬里管道在石化工程中的广泛应用，有效解决了酸性介质和高温环境下的设备腐蚀问题，延长设施使用寿命。模块化安装技术通过工厂预制和现场拼装相结合，缩短工期并降低高空作业风险^[4]。国内某乙烯项目采用模块化施工，将传统现场焊接工作量减少60%，工期压缩40%，同时焊接质量合格率提升至99.5%，体现了新工艺在施工质量、效率与安全方面的多重优势。

三、石油化工机电安装工程的风险管理

（一）风险识别与评估

1. 主要风险类型

石油化工机电安装工程面临的风险主要包括安全风险、质量风险及进度风险。安全风险主要源于高空作业、大型设备吊装、临时用电、动火作业等施工环节，可能引发高处坠落、机械伤害、触电、火灾等事故。质量风险涉及材料缺陷、焊接工艺不合格或设备安装偏差，导致系统泄漏或运行故障^[9]。进度风险则受天气条件、设计水平、供应链延迟及施工协调等问题影响，可能造成工期延误与成本超支。这些风险相互关联，例如质量缺陷可能升级为安全事故，而进度压力可能进一步加剧施工隐患。

2. 风险评估方法

工程实践中采用系统化工具进行风险评估，如失效模式与影响分析（FMEA）通过量化故障发生概率与严重程度，识别关键设备薄弱环节^[6]。危险与可操作性分析（HAZOP）则通过结构化审查工艺设计参数（如流量、压力、温度等），发现潜在操作偏差及连锁风险。某石化项目应用HAZOP对加氢装置进行风险审查，识别出高温管道保温失效可能导致的可燃气体积聚问题，并据此优化了监测方案^[7]。定量风险评估（QRA）进一步结合概率模型与后果模拟，为风险分级与管控优先级提供数据支撑。

（二）风险控制与应对措施

1. 技术层面的风险控制（如自动化监测与预警系统）

技术手段在风险控制中发挥核心作用，自动化监测系统通过实时采集压力、温度、振动等关键参数，结合智能算法实现异常工况预警。例如，某炼油厂在压缩机机组安装中部署在线监测系统，成功预警轴承磨损故障，避免非计划停机损失。防爆电气设计与本质安全设计从源头降低点火源风险，泄漏检测系统则采用

红外成像与激光光谱技术，显著提升危险气体泄漏早期识别能力^[8]。三维激光扫描辅助安装定位技术可将大型设备安装精度控制在0.05mm ~ 0.1mm范围内，有效规避因安装偏差导致的结构应力风险。

2. 管理层面的风险应对（如应急预案与安全管理体系）

管理体系构建风险防控的多重屏障，基于ISO 31000风险管理标准建立的风险管理框架明确风险识别、评估、处置的闭环流程。应急预案体系包含分级响应机制，针对火灾、泄漏等场景开展定期演练，某石化园区通过实战演练将应急响应时间缩短40%^[9]。安全管理体系整合PDCA循环与JSA工作安全分析法，将风险控制措施嵌入作业许可制度。承包商HSE绩效考核制度实施后，某项目承包商违规率下降65%，证明管理措施对施工行为的规范作用。数字化管理平台实现风险数据的可视化追踪，确保控制措施的有效执行与持续改进。

四、技术创新与风险管理的协同优化

（一）技术创新对风险管理的促进作用

1. 智能化技术降低人为操作风险

智能化技术的深入应用有效降低了传统施工过程中的人为操作风险。数字孪生技术通过构建高精度虚拟模型，可在施工前模拟并识别不同专业、不同工序之间可能存在的空间冲突、工序矛盾或设计不匹配等问题，显著减少现场返工。智能穿戴设备实时监测作业人员的生理状态和位置信息，在高温、高压、有毒等恶劣环境作业中发挥重要保护作用。自动化焊接设备在提升施工质量与效率的同时，也有效规避了人工焊接中可能出现的烫伤、触电、烟尘吸入等职业健康安全风险。远程监控系统实现了对危险区域的无人化巡检，极大降低了作业人员直接暴露于高风险环境中的概率^[10]。

2. 新工艺提高工程可靠性

新型施工工艺的应用从本质上提升了工程系统的可靠性。激光对中技术极大提高了大型设备的安装精度，有效降低运行中的机械故障。冷切割工艺完全规避了传统动火作业的安全隐患，在管道改造中展现出独特优势。复合材料修复技术实现了不停产条件下的设备维护，保障了生产的连续性。模块化施工方法通过工厂预制和现场组装相结合，显著减少高空作业、交叉作业等高风险施工环节，在提升施工效率的同时增强了工程安全性。

（二）风险管理对技术创新的约束与引导

1. 安全标准对技术选择的限制

石油化工行业严格的安全标准对技术创新应用形成重要约束。防爆等级要求直接决定了电气设备选型范围，本质安全型设备成为易燃易爆区域的强制性选择。工艺安全间距规范限制了设备布局的紧凑程度，促使三维模拟技术在设计阶段的应用。材料选择必须同时满足强度要求和腐蚀裕量标准，推动新型复合材料的研发应用。施工工艺需通过HAZOP分析验证，自动化焊接参数必须符合工艺评定要求。这些约束虽然限制了技术选择的自由度，但确保了创新技术应用的可靠性基础。

2. 风险控制需求推动技术升级

行业风险管控要求持续驱动技术创新发展。泄漏监测需求促进了光纤传感和激光检测技术的工程化应用。高空作业风险催生

了模块化施工和无人机巡检技术的快速普及。设备长周期运行要求推动了状态监测与预测性维护技术的迭代更新。工艺安全需求加速了智能控制系统与安全仪表系统的融合创新。环境保护压力促使低排放焊接工艺和 VOCs 回收技术的突破。这些由风险管理需求驱动的技术创新，不仅解决了具体工程问题，更形成了具有行业特色的技术发展路径。

（三）案例分析：典型工程实践

1.成功案例：某石化项目中的技术创新与风险管理结合

中石化青岛炼化公司在数字化转型中，通过整合智能巡检、人员定位及视频监控系统，实现了特殊作业全流程规范化管理。其数字化系统与政府监管平台互联，实现了高风险作业的实时监测，隐患整改率稳定保持在99%的高水平（见表4.1）。东明石化在应对极端天气时，依托 APC（先进过程控制）系统与 RTO（实时优化）技术，成功将装置自控率提升至98%以上，确保了装置安全平稳停工，有效避免了次生事故的发生。胜利油田创新研发了免登高功图采集装置（该装置无需人员攀爬井架即可远程获取油井示功图），显著减少了需登高等高危作业环节，使高风险作业数量下降17%，本质安全水平得到显著提升。这些案例充分证明，将智能化技术与严格的风险管控措施相结合，是石化行业有效降低事故发生率、提升生产安全可靠性的关键路径。

表 4.1 中石化青岛炼化公司智能化应用与成效

项目	内容
企业名称	中石化青岛炼化公司
转型领域	特殊作业全流程规范化管理
采用的技术/系统	智能巡检系统、人员定位系统、视频监控系统、数字化系统
具体实施措施	1. 整合智能巡检、人员定位及视频监控系统。 2. 数字化系统与政府监管平台互联。
取得成效	实现了高风险作业的实时监测。 2. 隐患整改率稳定保持在 99% 的高水平。

2.失败案例：风险忽视导致的技术应用问题

中石化某分公司“6·8”泄漏事故堪称安全生产领域的一记响亮的警钟。事故源于在阀门改造作业时，操作人员罔顾安全规范，在管道带压状态下贸然拆卸关键部件，致使大量乙烯瞬间泄漏。乙烯易燃易爆的特性，加之现场复杂环境，泄漏后迅速形成可燃混合气，遇火源即刻爆燃，最终酿成2人死亡的悲剧（见图4.1）。事故调查揭开了企业安全管理的乱象：变更管理程序形同虚设，设备结构改动前未进行专业风险识别；对外包单位监管缺失，违规操作未能及时制止。此外，部分中小危化企业也面临技术短板困境，因专业技术力量薄弱，难以精准编制风险管控清

单，导致数字化安全管理系统难以落地，隐患排查与治理陷入低效循环。这些案例深刻表明，即便企业拥有先进工艺技术，一旦脱离系统化风险评估与严格管理执行，细微的管理漏洞也可能引发灾难性后果，安全生产容不得丝毫侥幸与懈怠。



图4.1 中石化某分公司“6.8”泄漏事故现场图

五、总结

石油化工机电安装工程领域的技术创新与风险管理呈现出相互促进的辩证关系。智能化监测系统和先进施工工艺的应用显著提升了风险识别与防控能力，而完善的风险管理体系则为新技术的可靠应用提供了制度保障。实践表明，二者的有机结合不仅能有效降低事故发生率，还能优化资源配置、提高工程施工效率，是实现行业高质量发展的关键路径。

面向未来发展，石油化工机电安装工程将呈现智能化与绿色化深度融合的趋势。一方面，数字孪生、人工智能等新一代信息技术将推动风险管控向预测性、精准化方向发展；另一方面，碳中和目标将加速低碳施工技术和环保材料的创新应用。这要求行业在推进技术革新的同时，同步完善配套的安全标准和监管体系，通过技术创新与风险管理的协同进化，构建更加安全、高效、可持续的工程建设新模式。

参考文献

[1] 刘海鹏. 浅析石油化工工程中机电安装工程施工技术与质量管理 [J]. 石化技术, 2015(11):2.
[2] 胡忠耀. 石油化工机电设备安装试运行异常现象分析与对策研究 [J]. 化学工程与装备, 2016(9):3.
[3] 郭振春. 石油化工工程中机电安装工程的质量管理研究 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(1):35-37.
[4] 杨光辉, 杨同光, 崔明英, 等. 石油化工工程中机电安装工程施工技术与质量管理 [J]. 模型世界, 2023(7):64-66.
[5] [1] 吴敏巧. 浅谈机电安装工程项目施工安全风险管控 [J]. 文摘版: 工程技术, 2016, 000(003):P.176-176, 178.
[6] 苗淑伟, 张伟, 曹盟. 浅谈机电安装工程项目施工安全风险管控 [J]. 商品与质量·建筑与发展, 2014, 000(005):00240-00240.
[7] 屈中秋. 机电安装工程施工安全风险管控研究 [J]. 统计与管理, 2014(9):2.
[8] 尹璐. 机电安装工程施工安全风险管控对策探索 [J]. 装饰装修天地, 2016, 000(014):250-250.
[9] 李立群. 机电安装工程项目风险管理研究 [J]. 安防科技, 2020, 000(027):P.80-80.
[10] 岳宁. 机电安装工程项目施工的安全风险管理 [J]. 轻松学电脑, 2020, 000(012):P.1-1.