

特种设备在石化行业中的管理要点及风险防控

王涛

珠海裕珑石化有限公司, 广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ME.2025030008

摘 要 : 石化行业特种设备管理涉及多方面。介绍其种类及技术特征, 阐述 QHSE 与 PAS55 融合对设备完整性管理的作用, 还涉及检修计划编制、技术改造、失效概率模型等内容, 以及腐蚀监测、缺陷识别、数据传输等技术, 同时强调培养方案、绩效考核、绿色维修和管理要点及风险防控。

关 键 词 : 石化行业; 特种设备; 管理

Management Essentials and Risk Prevention for Special Equipment in Petrochemical Industry

Wang Tao

Zhuhai Yulong Petrochemical Co, Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract : Special equipment management in the petrochemical industry encompasses multifaceted approaches. This paper introduces equipment categories and technical characteristics, elaborates on the role of integrating QHSE (Quality, Health, Safety, Environment) with PAS 55 (Asset Management) in enhancing equipment integrity management. It further addresses maintenance planning, technical renovation, failure probability modeling, as well as corrosion monitoring, defect identification, and data transmission technologies. The study emphasizes training programs, performance evaluation, green maintenance practices, and synthesizes management essentials with risk prevention strategies.

Keywords : petrochemical industry; special equipment; management

引言

石化行业中的特种设备管理至关重要, 涉及多种设备及复杂技术。2021 年发布的相关安全生产政策强调了对特种设备安全管理的重视。压力容器、工业管道、起重机械等特种设备具有不同技术特征, 需考虑多种因素确保安全运行。在管理方面, 国际国内标准存在差异需关注。QHSE 管理体系与 PAS55 资产管理标准融合应用对设备完整性管理有重要意义, 同时 RBI 检验策略与工作许可制度及 JSA 安全分析方法联动用于检修计划编制。其他如技术改造、失效概率模型构建、应急预案制定、腐蚀监测技术集成等方面也各有要点, 共同构成石化行业特种设备管理体系。

一、石化行业特种设备管理基础理论

(一) 特种设备分类与技术特征

石化行业中的特种设备种类繁多, 具有不同的技术特征。压力容器是常见的特种设备之一, 用于储存和处理各种介质, 其设计和制造需考虑压力、温度、介质腐蚀性等因素, 以确保安全可靠运行^[1]。工业管道在石化生产中起着输送介质的关键作用, 其特点包括长距离、复杂的介质成分以及不同的压力和温度条件, 对管道的材质、连接方式和防腐措施有严格要求。起重机械用于吊装和搬运重物, 在石化行业的设备安装和维护中不可或缺, 其技术特征涉及起重量、起升高度、工作半径等参数, 这些参数决定了起重机械的选型和使用条件。同时, 国际上的 API、ASME

标准与国内的 TSG 规范在这些特种设备的要求上存在一定差异, 在实际管理中需加以关注和对比。

(二) 石化行业 HSE 管理框架

在石化行业 HSE 管理框架中, QHSE 管理体系与 PAS55 资产管理标准的融合应用至关重要。QHSE 管理体系涵盖了质量、健康、安全 and 环境等多个方面, 为企业的运营提供了全面的管理规范。PAS55 资产管理标准则侧重于资产的全生命周期管理, 包括资产的规划、获取、运营、维护和处置等环节。两者的融合能够实现优势互补, 提高企业的管理效率和资产效益。设备完整性管理 (MI) 的构建逻辑基于此融合应用, 旨在确保设备在整个生命周期内的可靠性和安全性, 减少设备故障和事故的发生, 保障石化行业的生产运营顺利进行^[2]。

二、设备综合管理体系构建

（一）检维修项目管理流程

基于 RBI 检验策略进行停机检修计划编制时，需考虑与工作许可制度（PTW）和 JSA 安全分析方法的联动。RBI 检验策略通过对设备风险的评估确定合理的检验周期和方法，为停机检修提供依据^[3]。在计划编制过程中，要与 PTW 制度紧密结合，确保检修工作的合法性和安全性。PTW 制度规范了检修工作的许可流程，明确了各项工作的责任和权限。同时，引入 JSA 安全分析方法，对检修作业进行详细的风险分析。通过 JSA 分析识别潜在的危险有害因素，制定相应的控制措施，将风险降低到可接受的水平。这种联动机制有助于提高检修计划的科学性和有效性，保障石化行业特种设备的安全运行。

（二）技改项目管理要点

技术改造项目，HAZOP 与 SIL 定级流程至关重要。HAZOP 通过对系统全面的分析，识别潜在的危险与可操作性问题，为后续的风险防控提供依据^[4]。SIL 定级则进一步确定安全仪表系统所需的安全完整性等级，确保设备在运行过程中的安全性。

同时，资金预算控制与变更管理（MOC）的综合实施方案不可或缺。在资金预算控制方面，要精确核算项目所需资金，合理分配资源，避免资金浪费或不足。对于变更管理，需建立严格的流程，对任何可能影响设备性能、安全等方面的变更进行评估和审批，确保变更的合理性和安全性，保障技术改造项目的顺利实施。

三、特种设备风险管理体系

（一）风险识别与评估方法

1. 定量风险评估模型

构建基于 FMEA - 贝叶斯网络的设备失效概率模型，首先利用 FMEA 对特种设备进行失效模式与影响分析，确定潜在的失效模式及其原因和影响程度^[5]。在此基础上，将其结果融入贝叶斯网络，通过贝叶斯推理计算设备在不同工况下的失效概率。对于腐蚀速率预测，可结合设备材质、运行环境等因素建立相应的预测模型。剩余寿命评估算法则综合考虑腐蚀速率、设备当前状态以及运行历史等，准确评估特种设备的剩余使用寿命，为风险防控提供有力依据。

2. 应急预案构建

应急预案构建需针对反应釜泄漏、管道破裂等典型事故。首先应设计多级响应预案，不同级别对应不同程度的事故状况及应对措施。对于反应釜泄漏，需考虑泄漏物质的性质、泄漏量及可能造成的危害范围等因素制定相应措施。对于管道破裂，要依据管道输送物质、压力以及破裂位置等确定应急方案。同时，明确逃生路线至关重要，应根据事故发生地点的布局和可能的危险扩散方向，规划出安全、合理且易于识别的逃生路径。应急资源配置标准也需明确，包括消防器材、防护用品、救援设备等的种类和数量，确保在事故发生时能够及时获取所需资源，有效应对事故，保障人员安全和减少财产损失^[6]。

（二）防控技术应用体系

1. 腐蚀监测技术

电阻探针适用于监测腐蚀速率较快的环境，能实时反馈腐蚀信息。超声波测厚主要用于检测设备壁厚的变化，可确定腐蚀程度及剩余壁厚，对保障设备安全运行至关重要。FSM 场指纹法可对大面积金属表面进行腐蚀监测，能检测出微小的腐蚀变化，尤其适用于复杂结构设备^[7]。根据不同技术的特点和优势，可提出集成方案。以石化行业的特种设备为例，对于易发生快速腐蚀的部位可优先采用电阻探针；对于关键部位且需精确测量壁厚的，选择超声波测厚；对于大面积且结构复杂的设备表面，应用 FSM 场指纹法。通过集成多种腐蚀监测技术，构建在线监测系统，实现对特种设备腐蚀状况的全面、实时监测。

2. 智能诊断技术

声发射检测与红外热像技术在承压设备缺陷识别中具有重要作用。声发射检测可实时监测设备内部缺陷的产生和扩展，通过对声发射信号的分析，确定缺陷的位置和严重程度^[8]。红外热像技术则利用物体的热辐射特性，检测设备表面温度分布的异常，从而发现潜在的缺陷。同时，AI 算法在故障预警中也有应用，但需明确其适用边界。不同的 AI 算法适用于不同类型的故障模式和数据特征。在实际应用中，需根据具体情况选择合适的算法，并通过大量的实践案例进行验证和优化，以提高故障预警的准确性和可靠性。

四、管理优化实施路径

（一）信息化平台建设

1. 物联网技术应用

设计基于 5G 网络的设备状态数据传输架构，实现特种设备状态数据的高效、实时传输，为后续的管理和分析提供数据支持^[9]。5G 网络的高速率、低延迟和高可靠性特性，能够满足石化行业对设备状态监测的严格要求。同时，利用数字孪生技术构建特种设备的三维可视化模型，实现对设备的全方位、多角度监测和管理。通过数字孪生技术，可以实时反映设备的实际运行状态，预测设备可能出现的故障和风险，提前采取措施进行预防和修复，提高设备的运行效率和安全性，保障石化行业的生产稳定。

2. 大数据分析平台

在信息化平台建设的大数据分析平台部分，可构建设备绩效指标（KPI）评估模型。通过收集特种设备的各类运行数据，利用大数据分析技术对这些数据进行深度挖掘和分析，从而建立起准确反映设备运行状况的 KPI 评估模型^[10]。在此基础上，实现可靠性数据分析与维护决策的智能联动。当数据分析显示设备可靠性出现异常时，系统能够自动触发维护决策机制，为维修人员提供精准的维护建议和决策依据，确保特种设备的安全稳定运行，提高石化行业的生产效率和安全性。

（二）人员能力建设

1. 三级培训体系

规划涵盖特种设备操作证、NDT 检测资质与注册安全工程

师的阶梯式培养方案。对于特种设备操作证，应根据不同设备类型和操作要求，制定详细的培训课程和考核标准，确保操作人员具备扎实的理论知识和熟练的操作技能。在 NDT 检测资质培养方面，注重理论与实践相结合，通过实际案例分析和模拟检测操作，提高检测人员的专业水平和故障诊断能力。针对注册安全工程师的培养，要强化安全管理知识和法规标准的学习，培养其综合分析和解决安全问题的能力，同时注重实践经验的积累，使其能够在实际工作中有效防控特种设备相关风险。

2. 绩效考核机制

建立包含 MTBF、维修成本率等核心指标的设备管理绩效考核矩阵是至关重要的。MTBF 即平均故障间隔时间，它能反映设备的可靠性，通过对其监测和分析，可以了解设备的运行状况，为维护和改进提供依据。维修成本率则体现了设备维修投入与产出的关系，合理控制维修成本率有助于提高企业经济效益。在绩效考核矩阵中，应明确各指标的权重和目标值，以便准确评估设备管理绩效。同时，要建立完善的数据收集和分析系统，确保指标数据的准确性和及时性。通过这样的绩效考核机制，可以激励员工积极参与设备管理，提高设备的运行效率和可靠性，降低设备故障率和维修成本，从而保障石化行业特种设备的安全稳定运行。

（三）技术创新方向

1. 新型检测技术

脉冲涡流检测在带保温层设备中具有良好应用前景。它无需拆除保温层即可检测设备腐蚀情况，能有效提高检测效率、降低成本。通过发射脉冲信号并分析反馈的涡流信号变化，可确定设备壁厚减薄程度等关键信息。相控阵超声技术革新要点包括探头设计的优化，实现更好的波束聚焦和角度控制，提高检测分辨率

和准确性。同时，信号处理算法的改进能够更精准地分析超声回波信号，识别微小缺陷。其多通道、多角度检测能力，可对复杂形状的特种设备进行全面检测，为石化行业特种设备的安全管理提供更可靠的技术支持。

2. 绿色维修技术

在绿色维修技术方面，对于特种设备在石化行业的应用至关重要。冷切割技术在石化行业防爆区域作业时，需深入研究其作业规程，确保操作的安全性和规范性。这包括对切割设备的选型、切割参数的设定以及操作人员的技能要求等方面的考量。无火花工具的应用同样需要明确作业规程，防止在作业过程中产生火花引发爆炸危险。同时，要对环保清洗剂进行技术经济性论证。分析其清洗效果、对设备的腐蚀性以及成本效益等因素，选择最适合石化行业特种设备维修的环保清洗剂，以实现绿色维修，减少对环境的影响，提高维修效率和质量。

五、总结

特种设备在石化行业的管理要点及风险防控至关重要。PDCA 循环通过计划、执行、检查 and 处理的不断循环，实现设备管理的持续改进，确保设备始终处于良好运行状态。同时，区块链技术在检验记录存证方面具有巨大潜力，其不可篡改和可追溯的特性，能够保障检验记录的真实性和可靠性，为设备管理提供有力支持。在实际管理中，应注重管理体系建设与技术看新双轮驱动。一方面，完善的管理体系能够规范设备管理流程，提高管理效率；另一方面，技术创新能够引入新的管理手段和方法，提升管理的科学性和精准性。只有两者相辅相成，才能有效防控风险，保障特种设备在石化行业的安全稳定运行。

参考文献

- [1]王梦.石化行业潜在污染区域空间分布与风险预测研究[D].东南大学,2022.
- [2]罗奋金.贵阳地铁3号线工程项目特种设备风险管理研究[D].重庆大学,2022.
- [3]靳禹飞.基于灰色系统理论的特种设备风险评价方法研究[D].首都经济贸易大学,2021.
- [4]裴江波.石化行业绿色供应商的评价与选择研究[D].北京化工大学,2021.
- [5]蒋天宁.石化行业智能工厂能力成熟度评价研究[D].东北林业大学,2021.
- [6]王磊.特种设备管理与维修要点[J].设备管理与维修,2021,(06):35-36.
- [7]张鲁新.石化企业特种设备管理存在的问题及应对措施[J].山东化工,2021,50(13):152-153+156.
- [8]陈欣维.石化行业排污许可证管理要点探讨[J].油气田环境保护,2021,31(03):8-10.
- [9]莫斌.特种设备管理及维保要点[J].中国科技纵横,2023(3):81-83.
- [10]温泉.基于数据统计分析的特种设备风险防控研究[J].机电工程技术,2022(004):051.