

Discussion on the key points of installation and management of petrochemical equipment

Cheng Yang

China National Petroleum Sixth Construction Co., Ltd., Guilin, Guangxi, 541001, China

Abstract

Petrochemical equipment installation and management is the key link to ensure the safe and efficient operation of the project. This article discusses the definition, characteristics, implementation process and core management points of petrochemical equipment installation management. Through the whole life cycle control, the application of digital management tools, multi-dimensional collaborative management and other means, the whole process of equipment installation and design specifications, industry standards and process parameters are deeply fit. In the management aspects of technology management, safety management, quality management, schedule and cost collaborative control, the management strategy of fine, intelligent and whole chain traceability is put forward, which provides scientific guidance and practical path for the installation and management of petrochemical equipment.

Keywords

petroleum; chemical equipment; installation and management

石油化工设备的安装管理要点探讨

阳成

中国石油天然气第六建设有限公司, 中国·广西 桂林 541001

摘要

石油化工设备安装管理是确保项目安全、高效运行的关键环节。本文详细探讨了石油化工设备安装管理的定义、特点、实施流程以及核心管理要点。通过全生命周期管控、数字化管理工具的应用、多维度协同管理等手段,实现了设备安装全流程与设计规范、行业标准及工艺参数的深度契合。在技术管理、安全管理、质量管理、进度与成本协同控制等方面提出了精细化、智能化、全链条追溯的管理策略,为石油化工设备安装管理提供了科学指导和实践路径。

关键词

石油; 化工设备; 安装管理

1 引言

石油化工行业作为国民经济的重要支柱,其设备安装管理直接关系到生产装置的安全稳定运行和企业的经济效益。随着技术的不断进步和管理理念的革新,石油化工设备安装管理面临着新的挑战和机遇。本文旨在通过深入分析石油化工设备安装管理的特点、流程与核心要点,探讨如何通过系统性规划、数字化管理工具的应用以及多维度协同管理,实现设备安装的高质量、高效率、高安全性,为石油化工行业的可持续发展提供有力支持。

2 石油化工设备安装管理概述

2.1 定义与范畴

石油化工设备安装管理是以项目全生命周期管控为主线,通过系统性规划、动态化组织、全维度协调及精准化控

制等手段,在确保安全性与经济性的前提下,实现设备安装全流程与设计规范、行业标准及工艺参数的深度契合。该管理活动贯穿于设备从入场到投产的全过程,其核心范畴不仅包含基础的设备进场验收、混凝土基础施工与养护、吊装就位精度控制、工艺管道焊接与法兰密封等常规环节,更需重点关注特种设备压力试验、电气仪表联调联试、自动化系统集成调试等关键技术节点。尤其在高温高压设备组对、防爆区域仪表安装等高风险作业中,需融合工程监理、质量监督、安全评估等多方力量,通过数字化管理工具实时追踪施工偏差,确保各环节符合 API 581 风险评估、ASME B31.3 工艺管道规范等行业技术准则,最终构建起覆盖技术实施、风险防控、质量追溯的立体化管理体系^[1]。

2.2 安装管理的特点

该工程实施过程面临多重技术与管理挑战,主要体现在工艺设备的高标准要求与系统性风险管控层面。技术层面需攻克高温高压反应器、易燃易爆介质储运装置等核心设备的精密安装难题,严格遵循 API 581 风险评估、ASME

【作者简介】阳成(1997-),男,中国广西桂林人,本科,助理工程师,从事化工、动设备、大型机组研究。

B31.3 工艺管道等国际规范,对焊接工艺评定、无损检测等关键环节实施全过程质量控制。跨专业协作维度要求构建三维协同机制,统筹土建基础设施施工、机械设备定位安装、电气仪表联调测试及自动化系统集成等工序衔接,尤其需强化界面管理以消除专业间的技术冲突与进度偏差。鉴于作业现场涉及受限空间、高空吊装及动火作业等高风险场景,须建立基于 HAZOP 分析和 JSA 评估的立体防控体系,通过智能安全监控平台实时追踪人员定位与设备状态。项目质量更关乎装置全生命周期效益,需运用数字化交付手段建立设备安装档案,结合应力分析、振动监测等数据优化运行参数,从源头降低非计划停机概率并构建预防性维护体系,确保投产后达到设计能效指标并控制全周期运营成本^[2]。

3 石油化工设备安装管理的实施流程

3.1 前期准备阶段

技术文件审查需全面验证设计图纸的合规性与可实施性,重点核查设备接口尺寸、材质等级与工艺流程图的一致性,确保技术参数符合 ASME、API 等国际规范,同时结合现场地质勘测数据、既有构筑物布局等实际条件进行三维模型碰撞检测;施工方案编制应基于风险预控原则细化作业指导书,涵盖大型设备模块化吊装受力分析、焊接工艺评定覆盖范围、压力试验介质选择及梯度升压控制等关键技术要求,采用有限元分析软件优化吊点布置,并针对特殊工况制定防风加固、地基承载力二次验算等专项预案;资源统筹管理需建立动态数据库,严格审核特种设备操作人员持证类别与有效期,实施焊工上岗前实操考核,同步跟踪履带吊性能检测报告、液压扳手校准证书等机具档案,通过供应链协同平台精准管控高强度螺栓、密封垫片等关键材料的进场批次与库存周期,配套设置临时仓储防潮防锈措施,实现人员资质、装备状态、物资保障的全要素预控机制。

3.2 过程控制阶段

项目执行需在进度、质量、安全三大维度构建精细化管理体系。进度管理层面引入 Primavera P6 与 BIM 4D 施工模拟技术,通过关键路径法优化工序逻辑关系,结合 Navisworks 模型碰撞检测预判施工冲突,动态调整土建交付与设备安装的时空匹配度,既规避交叉作业导致的窝工现象,又减少因设计误差造成的返工风险。质量管控聚焦工艺管道与压力容器核心环节,执行基于 ASME Section V 标准的全自动相控阵超声检测 (PAUT) 与数字化射线成像 (DR) 双重验证,对法兰密封面实施表面粗糙度检测、同心度激光校验及垫片压缩量测算,配套扭矩扳手分级紧固与液压拉伸器同步加载工艺,确保法兰接头符合 ASME B16.5 密封等级要求,同时建立焊缝编号与检测数据的区块链追溯系统。安全监督融合 JSA 与 Bowtie 风险分析法,针对 30 米以上高空组对作业部署防坠速差器与智能安全绳定位系统,对受限空间实施气体浓度网格化监测与智能通风联控控制,运用

UWB 定位终端与 AI 视频分析构建智慧工地监管平台,实时捕捉未系安全带、临边防护缺失等隐患,辅以数字孪生驱动的应急演练系统提升事故响应能力,通过多维度技术赋能实现本质安全提升^[3]。

3.3 验收与移交阶段

在功能性测试阶段,需构建多层次验证体系,通过空载试运行检测设备轴承温升与振动频谱,开展联锁逻辑的冗余测试及故障注入模拟,运用自动化测试平台验证安全仪表系统 (SIS) 响应时间阈值,同时采用氦质谱检漏仪对高压系统进行分级气密性试验,确保泄漏率低于 API 682 标准限值;文档档案管理应建立全生命周期电子档案库,系统性整合设备安装过程的关键数据链,包括压力容器监检证书、焊工资质备案表、射线检测底片及光谱分析报告,按照 ISO 9001 标准对竣工图纸实施版本固化,并采用区块链技术对材质证明书、第三方检测报告等文件进行加密存证,同步生成可追溯的元数据标签,确保技术文档与实体工程的时空一致性,为后续运维提供完整的数字化资产支撑。

4 石油化工设备安装管理的核心要点

4.1 技术管理精细化

在设备选型与适配过程中,需基于全生命周期成本分析框架,结合工艺介质的腐蚀速率、相态变化及流动特性(如含硫油气的高酸性、聚合物的非牛顿流体特性),科学选用抗应力腐蚀开裂的双相不锈钢、耐高温氯离子侵蚀的钛合金衬里等特种材料,同时依据 NACE MR0175 标准对酸性环境设备进行硬度控制,并针对低温深冷工况采用冲击韧性达标的 9% 镍钢材料;施工方案优化需融合数字化建造理念,通过 BIM 技术构建三维安装模型预演模块化吊装路径,采用有限元分析验证大型反应器裙座支撑的应力分布,结合激光跟踪仪实施机泵轴系对中精度微调至 0.02mm 以内,同步引入热成像技术监测高速离心压缩机的动态平衡状态,对高温管道支架实施热位移补偿设计,并运用数字孪生技术模拟试车阶段的振动频谱特征;技术交底实施需建立多维度穿透式管理体系,依托焊接工艺评定数据库 (WPS/PQR) 定制化推送坡口角度、层间温度等关键参数,采用智能扭矩扳手记录法兰螺栓的加载曲线并自动生成电子施工日志,针对垫片安装推行 "清洁 - 对中 - 预紧" 三阶可视化操作指南,通过 AR 增强现实设备投射密封面接触应力分布图,同时建立班组人员技能矩阵与实操考核机制,运用区块链技术对交底记录进行加密存证,最终形成覆盖材料科学、精密测量、智能制造的协同管控体系,并配套焊缝二维码追溯系统实现工艺参数与实体质量的精准映射。

4.2 安全管理零容忍

在项目全周期风险管理体系中,需构建覆盖预防、监控、处置全链条的智能化防控网络。风险分级管控层面,基于 ISO 31000 风险管理框架,采用 LEC 法(作业条件危险性评

价)与风险矩阵双轨并行机制,针对不同作业场景建立动态评估模型:对高温管道焊接作业引入能量隔离(LOTO)量化评估模型,计算暴露频率与潜在后果严重度;对储罐清洗作业运用CHEMS+软件模拟介质残留风险,结合历史事故数据库校准风险等级阈值,并通过智能看板实现风险热力图动态更新。应急管理实施模块化演练策略,运用CFD数值仿真构建三维泄漏扩散模型,在工艺区设置带有压力传感的模拟泄漏装置,配合MR混合现实设备开展沉浸式应急推演,同步测试消防泡沫覆盖效率与紧急切断阀锁响应时间,建立基于ICS事故指挥系统的多级响应程序,并配置移动式应急指挥车与卫星通信终端确保极端工况下的指挥链路畅通。智能监控系统集成UWB厘米级定位基站与LoRaWAN物联网,通过佩戴式智能终端实时捕捉人员行为轨迹与生理体征,结合数字孪生模型实现三维空间风险预警;可燃气体监测采用分布式部署策略,在管廊架设激光光谱式检测仪实现ppm级甲烷/苯系物连续监测,关键法兰处加装无线振动传感器捕捉微泄漏特征,数据经边缘计算网关进行模式识别后触发分级报警,同步联动DCS系统启动紧急通风与喷淋抑制。该体系通过机器学习持续优化风险预测算法,利用区块链技术固化隐患排查治理证据链,最终形成从风险量化评估、智能预警到应急资源优化调度的闭环管理机制,显著提升复杂工况下的本质安全水平与事故韧性。

4.3 质量管理全链条追溯

在材料入场控制环节,需构建全链条质量溯源体系,采用光谱分析仪验证管材元素成分符合ASTM A106标准,运用超声波测厚仪逐件核查管道壁厚偏差值,对阀门执行API 598标准的密封性测试与压力-温度额定值曲线校核,同时建立供应商黑名单动态管理机制,通过区块链技术对材质证明书、MTC检验证书进行不可篡改存证,并针对抗氢致开裂(HIC)钢板实施金相组织抽查;过程检验标准化推行需融合数字化管理手段,采用三维扫描技术生成焊口唯一性编码并关联至焊接工艺规程(WPS),配置带有温度传感器的智能焊机实时记录热输入量,通过X射线衍射仪(XRD)检测焊缝残余应力分布,同步建立焊工指纹数据库实现焊接参数与人员资质的双重绑定,针对镍基合金管道的GTAW焊接实施充氩保护浓度在线监测,并运用机器学习算法对UT检测波形进行智能判读;第三方监督介入应形成多维度验证机制,依据ASME Section VIII标准制定超高压反应器分级升压试验方案,引入TOFD(衍射时差法)与相控阵超声检测(PAUT)技术对厚壁容器进行全厚度缺陷扫描,委托具有NB认证资质的检验机构执行PMI(材料可

靠性鉴别)抽查,同时建立检测数据云平台实现NDT报告、水压试验曲线与设计文件的实时交叉验证,并配套数字化签章系统确保检验结论的法定效力,最终通过ASME认证审核与PED指令符合性声明,形成覆盖材料科学、检测技术、质量体系的闭环管控网络。

4.4 进度与成本协同控制

在项目全流程管控中,需构建基于数据驱动的工程管理生态系统。关键路径法(CPM)实施层面,采用Primavera P6软件建立多级进度网络,通过蒙特卡洛模拟分析压缩机曲轴箱研磨精度偏差、反应器催化剂模块组装工效波动等风险要素,结合激光扫描逆向建模技术实时比对施工进度与BIM 4D模型偏差,同步运用资源平衡算法优化塔吊使用效率与特种作业人员配置,对可能产生延期的关键工序部署备用施工班组与预组装策略,并建立基于机器学习的延期概率预警模型。动态成本管控深度集成BIM 5D与ERP系统,运用点云扫描技术构建钢结构余料三维数据库,通过材料切割优化算法生成最小损耗加工方案,对管道预制实施焊材消耗量实时追踪与AI预测补货机制,结合RFID芯片实现阀门法兰等关键物资的仓储定位与生命周期管理,同时开发数字孪生成本沙盘模拟不同施工方案的经济性差异,构建材料价格波动指数与汇率风险对冲模型。变更管理执行配置管理(CM)国际标准,依托CDE协同平台建立设计变更影响矩阵,运用Revit参数化模型即时计算管廊走向调整引发的碰撞点数量与修正工时,通过蒙特卡洛模拟量化评估工艺参数变更对HAZOP分析结果的扰动效应,配套实施变更冻结期制度与区块链存证流程,对重大变更设置多专业会签墙与数字线程(Digital Thread)验证机制,确保设计数据在施工图、预制加工与现场安装环节的一致性。

5 结语

综上所述,石油化工设备安装管理是一项复杂而系统的工程,需要综合考虑技术、安全、质量、进度与成本等多个方面。通过实施全生命周期管控、数字化管理工具的应用以及多维度协同管理策略,可以显著提升设备安装管理的精细化、智能化水平,确保项目安全、高效运行。

参考文献

- [1] 杨成坤,尹先清. 石油化工设备安装工程质量控制技术探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44 (14): 38-40.
- [2] 刘述宝. 探究石油化工装置静设备安装工程质量控制[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44 (10): 12-14.
- [3] 朱静晗. 石油化工设备安装中的常见问题及解决措施[J]. 辽宁化工, 2024, 53 (05): 801-803.