

化工储罐区防腐工程施工技术与质量检验

熊亮

新疆天业节水灌溉股份有限公司 新疆 石河子 832000

【摘要】：化工储罐区在长期介质腐蚀、潮湿盐雾及交变应力作用下，金属结构易出现点蚀、剥落与渗漏等问题，防护体系可靠性不足成为运行风险来源。涂层配套不合理、表面处理达标率偏低、施工过程控制薄弱及检测手段单一等现象较为突出。通过强化喷砂除锈与表面预处理精度，构建底漆—中间漆—面漆分层防护体系，结合厚度检测、附着测试与超声及电火花等多手段质量检验机制，实现全过程质量控制。实施后防腐层致密性与附着性能明显提升，腐蚀速率有效降低，设备服役周期延长，储罐区运行安全稳定增强。

【关键词】：化工储罐区；防腐工程；施工技术；质量检验

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.053

引言

化工储罐区长期处于腐蚀介质与复杂气候环境交织状态，金属结构防护层易出现失效迹象，直接影响装置稳定运行。防腐工程施工过程对环境适应性及工艺控制要求较高，任何环节偏差均可能引发局部腐蚀扩展甚至结构安全隐患。施工表面处理质量、涂层体系匹配程度及工序执行规范性，对整体防护性能形成直接影响。质量检验体系的完善程度决定缺陷识别能力与控制效率，多维检测手段协同应用成为提升工程可靠性的关键路径。通过对施工技术与检验机制的系统优化，可为储罐区结构长期安全运行提供稳定保障。

1 储罐区防腐施工环境及结构特征认知

1.1 腐蚀介质及环境因素作用分析

化工储罐区内部介质多呈酸性、碱性或含氯盐复合体系，气相与液相交替作用使金属表面持续处于电化学反应活跃状态。挥发性有机物与水汽共同形成微电解环境，加速局部氧化还原反应进程。外部环境中温湿度周期性变化导致涂层膨胀与收缩交替发生，微裂纹逐步扩展并形成渗透通道。盐雾颗粒在附着过程中提高电解质导电性，使腐蚀电流密度增加。多因素耦合作用下，腐蚀过程呈现多点并行与梯度扩散特征，对防护体系连续性提出更高要求。

1.2 金属结构局部失效形态表现

储罐钢结构在长期服役过程中易形成点蚀与缝隙腐蚀集中区域，腐蚀产物在局部堆积后引发应力集中效应^[1]。焊缝区域因组织不均匀及残余应力存在，成为腐蚀优先生长路径，涂层在该区域易出现剥离与鼓泡现象。底板与支撑结构接触面长期处于潮湿与低通风状态，氧浓度差异形成电化学电池，加速局部穿孔风险。金属表面失效通常表现为由点状向面状扩展的演变过程，结构完整性逐步降低，对储罐整体承载与密封性能形成持续削弱。

1.3 防护体系适配性不足情况

传统防腐体系在材料选型与结构匹配方面存在局限，涂层

体系对复杂介质环境的响应能力不足。单一树脂体系在高温与化学介质交替作用下易发生交联结构降解，导致屏蔽性能下降。施工厚度分布不均使局部薄弱区域提前暴露于腐蚀环境，形成失效起点。界面结合力不足导致涂层与基体之间产生微空隙，水分及腐蚀介质渗透路径形成。防护体系缺乏多层梯度阻隔设计，使整体耐蚀能力难以适应长周期运行需求。

2 施工表面处理和基面质量控制

2.1 除锈等级未达标情况

钢结构表面在喷砂或机械除锈过程中，存在氧化皮残留与锈迹分层未彻底清除现象，导致基体金属暴露不充分。局部区域因磨料粒径分布不均或喷射角度偏差，形成清理盲区，使表面仍保留致密氧化膜结构，影响后续涂层渗透结合。微观层面粗糙度与清洁度不足并存，使涂层无法形成有效锚固结构。部分焊缝与棱角区域因几何复杂性，清理能量分布不均，易产生残余污染物聚集。基面活化程度不足削弱涂层初始附着界面稳定性，为后续剥离与起泡埋下隐患。

2.2 表面粗糙度控制偏差问题

喷砂处理过程中磨料硬度、粒径与喷射压力参数匹配不足，导致表面峰谷结构形成不均匀分布状态。局部粗糙度过高区域易造成涂层堆积空隙增加，内部应力集中风险上升，而粗糙度偏低区域则降低机械咬合作用强度^[2]。不同施工段之间因设备输出稳定性差异，形成表面形貌不一致问题，使涂层厚度分布难以均衡控制。微观结构缺乏连续性使界面结合呈现离散化特征，影响整体涂层体系一致性。参数控制缺乏动态反馈调节机制，使粗糙度难以维持在稳定设计区间。

2.3 清洁及干燥过程控制薄弱

基面处理完成后残留粉尘与可溶性盐分清除不彻底，表面微粒附着影响涂层润湿与铺展性能。空气湿度控制不足导致金属表面形成隐性水膜，使涂装前界面处于非理想干燥状态。压缩空气含油量与含水量控制不稳定，使污染物二次沉积风险增加。干燥过程缺乏分级控制机制，局部区域因温度梯度差异形

成凝结现象，降低界面活化水平。清洁与干燥环节之间衔接不连续，使基面在暴露时间内发生二次污染，影响整体涂层体系初始结合质量。

3 分层涂装体系及材料匹配优化

3.1 底漆附着增强处理工艺优化

底漆体系作为防腐结构与金属基体之间的关键界面层，其附着性能直接影响整体涂层体系稳定性。通过引入多级活化处理机制，使基体表面形成均匀微观锚固结构，提高涂料渗透与机械咬合效率。底漆配方中通过优化树脂极性分布与固化交联密度，使其在金属表面形成高密度化学键结合区。界面润湿性能通过调整溶剂挥发梯度与流平特性得到改善，使涂膜在初始成膜阶段实现连续致密铺展。施工工艺中控制涂布速率与环境温湿耦合条件，使底漆在固化过程中形成稳定交联网络结构。微观层面通过增强填料分散均匀性，减少界面应力集中区域，使附着层具备更高抗剪切与抗剥离能力，从而提升整体防护体系初始稳定性。

3.2 中间层屏蔽结构构建方法优化

中间涂层作为多层防护体系的核心屏蔽单元，其结构设计重点在于阻隔腐蚀介质迁移路径并延缓扩散速率^[3]。通过构建片层状填料与高分子基体复合结构，使涂层内部形成多重曲折扩散通道，提高水汽与离子渗透阻力。材料体系中通过调控树脂交联密度与柔韧性平衡，使涂层在热胀冷缩作用下保持结构完整性。屏蔽层厚度分布采用梯度化设计思路，使腐蚀介质在进入深层结构前逐级衰减能量。填料体系通过优化粒径级配与分散稳定性，提升界面致密填充效果，减少微孔隙形成概率。施工控制中强化分道涂装均匀性，使层间结合界面连续无明显断裂带，从结构层面提升整体抗渗透能力与耐介质侵蚀性能。

3.3 面漆耐候性能强化配置调整

面漆体系作为外部环境直接接触层，其性能重点集中于耐紫外辐射、抗温湿循环及表面自清洁能力提升。通过引入高稳定性耐候树脂体系，使分子链结构具备更高抗光氧化能力，降低长期辐照条件下的降解速率。表面结构设计采用低表面能改性技术，提高抗污染与抗附着能力，减少盐雾与颗粒物沉积概率。颜料体系通过优化无机稳定组分比例，增强色彩保持性与热反射性能，使涂层在高温环境下维持结构稳定。涂膜致密性通过控制成膜速率与溶剂挥发路径得到强化，使表层形成连续致密保护膜。材料体系在抗冲击韧性与硬度之间实现动态平衡，使外界机械作用下仍保持完整覆盖状态，从而延缓老化进程并提升长期服役稳定性。

4 质量检验技术及过程控制机制

4.1 膜厚及附着力检测技术整合应用

涂层膜厚与附着力作为防腐体系性能评价的核心指标，需

要通过多维检测技术实现协同控制。膜厚检测采用分区网格化采样方式，对储罐壁板、底板及焊缝区域进行差异化测量布局，使数据分布能够反映整体施工均匀性。通过电磁感应与超声反射双原理检测结合，提高不同基体条件下的测量适应性与精度稳定性。附着力检测通过划格法与拉拔法联合应用，对涂层与基体界面结合强度进行分级评估，并引入界面失效模式分析方法，对剥离形态进行结构性识别。检测数据通过数字化平台进行实时汇总，形成膜厚分布云图与附着力强度梯度模型，实现质量偏差的可视化识别。针对局部薄弱区域，通过反馈机制联动施工参数调整，使涂层厚度控制与附着性能形成动态闭环优化体系，从而提升整体防护一致性与可靠性。

4.2 无损检测及电火花检漏方法应用

无损检测技术在储罐防腐质量控制中承担缺陷识别与隐患预警功能，重点针对涂层连续性与内部缺陷进行非破坏性评估。超声检测用于识别涂层内部气孔、分层及界面脱空等结构异常，通过声波反射信号差异实现缺陷定位与深度判定。红外热成像技术通过温度场变化分析涂层内部密实性差异，对潜在渗透路径进行空间分布识别。电火花检漏技术通过高压脉冲作用检测涂层针孔与微裂纹，在不同涂层厚度条件下调整检测电压梯度，确保检测灵敏度与安全性平衡^[4]。检测过程中采用分段扫描与重叠检测路径设计，提升覆盖完整性并减少漏检概率。数据采集系统对击穿信号进行实时记录与分类分析，形成缺陷类型数据库，为后续修补与工艺优化提供依据，从而增强防腐层整体完整性与长期稳定性。

4.3 施工全过程记录及追溯控制机制

施工全过程记录体系通过数字化采集与结构化存储方式，对防腐工程各环节形成连续性数据链条。材料进场阶段对涂料批次、性能指标及存储条件进行全流程信息绑定，使材料属性与施工结果之间建立可追溯关系。施工过程通过环境参数监测系统对温度、湿度、露点及风速等关键因素进行动态记录，并与涂装工序时间节点同步关联，形成环境-工艺耦合数据库。工序执行环节采用分层记录机制，对表面处理、底漆涂布、中间层施工及面漆施工分别建立独立质量档案，实现多阶段数据分解管理。检测数据与施工记录通过统一编码体系进行关联，构建从基面处理到最终验收的完整追溯链条。异常数据通过智能分析模型进行趋势识别与风险预判，使质量问题能够在早期阶段被定位并修正，从而提升全过程控制的精细化与系统化水平。

5 工程实施效果及运行稳定性提升

5.1 防腐层致密性及耐久性提升表现

防腐体系在结构致密性方面呈现出明显优化特征，多层涂膜在固化过程中形成连续均匀的交联网络结构，内部孔隙率显著降低。微观结构中片层填料与树脂基体协同排列，使腐蚀介

质扩散路径延长并呈现多重折线化特征,水汽与离子渗透效率明显下降。界面结合区在底漆增强作用下形成稳定化学键与机械锚固复合结构,使涂层整体抗剥离能力提升。耐久性表现方面,在长期温湿循环与化学介质耦合作用下,涂层结构未出现明显粉化与开裂现象,表面稳定性保持较高水平。紫外辐射与氧化环境作用下分子链降解速率得到有效抑制,涂膜颜色稳定性与结构完整性同步维持。多层体系之间应力分布趋于均衡状态,使整体防护结构具备更强长期服役适应能力。

5.2 腐蚀速率降低及维护周期延长情况

防护体系优化后,金属基体与腐蚀介质之间的电化学反应受到显著抑制,腐蚀电流密度下降趋势明显。致密涂层结构有效阻断氧气、水分及离子迁移路径,使局部腐蚀起始条件被延迟形成。界面稳定性增强减少了微裂纹扩展概率,使腐蚀由点状集中向分散延缓演变。材料体系中屏蔽层对介质扩散的多级阻隔效应,使腐蚀速率呈现整体下降态势。长期运行过程中,涂层失效周期显著延长,局部修补频率降低,维护干预需求减少^[5]。设备检修间隔周期由原有短周期逐步延伸至更稳定运行区间,使检维修资源配置效率提升。结构保护状态保持时间延长后,储罐壁厚损失速率下降趋势持续稳定,从整体上改善设备寿命曲线,使运行成本结构趋于合理化。

参考文献:

- [1] 尹忠.化工储罐区本质安全设计原则及风险防控技术创新研究[J].中国化工贸易,2025,17(36):124-126.
- [2] 马龙,杜亚君.化工储罐区氮封装置失效模式识别及安全联锁控制参数优化[J].流程工业,2025,(9):16-19.
- [3] 李首君.沿海工业结构及设备防腐工程维护成本优化研究[C]//中国智慧工程研究会.2025 智慧设计与建造经验交流会论文集.[出版者不详],2025:435-437.
- [4] 姜浩.化工储罐区的管道工艺与配管工艺研究[J].化工设计通讯,2025,51(1):100-102.
- [5] 李洁馨.建筑材料在化工工程设计防腐领域的应用[J].全面腐蚀控制,2024,38(1):100-102.

5.3 储罐区整体运行安全水平提升表现

储罐区整体安全性能提升主要体现在结构完整性与运行稳定性双重增强方面。防腐体系的连续致密结构有效降低介质泄漏概率,使储罐密封安全边界更加稳定。焊缝及薄弱区域在多层防护作用下腐蚀扩展受到抑制,结构应力集中现象明显减弱。监测数据显示局部缺陷增长速率下降,异常风险点分布趋于均匀化,系统性失效概率降低。防护体系与质量检验机制协同作用,使早期隐患识别能力增强,风险响应时间缩短。运行过程中温湿变化与介质波动对结构影响被有效隔离,设备稳定性表现更加持续。整体安全水平提升还体现在事故诱发条件减少与结构冗余能力增强,使储罐区在复杂工况下仍能维持较高安全裕度与运行可靠性。

6 结语

储罐区防腐工程在施工技术与质量检验协同优化下,实现涂层结构致密性提升与界面结合稳定性增强,腐蚀介质渗透路径被有效阻断,结构老化速率显著减缓。分层防护体系与全过程检测机制形成闭环控制模式,使膜厚均匀性与附着性能保持在稳定区间,运行周期内缺陷扩展得到有效抑制。材料体系与施工工艺的匹配优化强化了长期耐蚀能力,储罐区结构安全边界进一步稳定,整体运行可靠性持续提升。