

化工厂房钢框架结构在腐蚀环境下的防腐构造设计与耐久性提升

唐晓康

中国电子系统工程第四建设有限公司 河北 石家庄 050000

【摘要】：化工厂房钢框架结构长期服役于含酸碱、盐雾、工业粉尘等腐蚀介质的复杂场景，腐蚀作用易造成钢材截面损耗、节点连接失常，大幅弱化结构承载能力与服役年限，因此防腐构造设计与耐久性提升，成为保障厂房安全稳定运行的核心环节。本文以化工厂房钢框架腐蚀环境的具体特质为切入点，聚焦防腐构造设计核心要点，优化钢材表面处理、涂层体系选型、节点防腐密封等关键构造细节，结合腐蚀演化机理制定针对性耐久性提升方案，实现防腐构造与结构受力、生产工况的精准适配，有效减缓钢材腐蚀进程，延长钢框架结构服役周期，为腐蚀环境下化工厂房钢框架结构的设计、施工及管护工作，提供实用参考与技术支撑。

【关键词】：化工厂房；钢框架结构；腐蚀环境；防腐构造；耐久性

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.059

引言

化工厂作为工业生产的核心载体，其厂房钢框架结构肩负着设备支撑、空间划分及荷载传递的关键使命，却长期暴露于含腐蚀性介质的恶劣场景中，由钢材腐蚀引发的结构损伤隐患频发，既增加维护投入，更对生产安全构成严重威胁。防腐构造设计的合理性，直接决定钢框架结构的耐久性能与服役可靠程度，结合前文提出的核心观点，本文基于化工厂房腐蚀环境的特殊属性，结合钢框架结构腐蚀失效的具体特征，深入探究防腐构造的优化设计路径，制定切实可行的耐久性提升方案，为破解腐蚀环境下化工厂房钢框架结构的安全隐患提供技术思路，助力相关设计与维护技术的完善升级。

1 腐蚀环境下化工厂房钢框架结构的应用背景与腐蚀现状

钢框架结构依托自重较轻、承载强度突出、施工便捷高效、空间适配性优良等特质，已然成为化工厂房的主导结构类型，广泛涉足原料存储、反应设备、生产车间等各类核心场景，肩负着支撑生产设施、抵抗外部载荷、维系生产持续性的关键使命。化工厂生产流程中会伴生大量酸碱废液、腐蚀性气态物质、盐雾及工业粉尘，此类介质长期作用于钢框架结构表层，构建起持续性腐蚀场景，致使结构产生不同程度的损伤。钢材表层的氧化保护层遭腐蚀介质侵蚀破坏后，电化学腐蚀与化学腐蚀过程会逐步发生，具体呈现为表面锈蚀、麻点、表层剥离等形态，严重时还会造成钢材截面缩减、节点焊缝开裂，进而影响结构的整体性能与稳固状态。当前阶段，多数在用化工厂房钢框架结构因防腐设计存在疏漏、环境腐蚀作用不断加剧，常常出现未达到设计服役年限便需大规模检修乃至整体更换的情形，既干扰生产效能的正常发挥，也增添额外的维护投入，厘清其应用背景与腐蚀实际情况，是推进后续防腐构造设计与耐久性提升工作的重要前提。

2 腐蚀环境下化工厂房钢框架结构的腐蚀问题及成因分析

化工厂房长期处于酸碱雾气、盐雾颗粒与工业粉尘交织的复杂工况内，钢框架结构所面临的腐蚀隐患具备侵蚀指向性强、蔓延节奏快、损伤波及范围大的突出特点，结构不同区位受介质侵染程度不同，腐蚀表现形式也存在明显分化。整体腐蚀病害主要集中于钢材基体、节点衔接位置及外部防腐保护层三大关键板块，也是日常防护中最易出现破损的薄弱环节。钢材基体腐蚀多呈现整体均匀锈蚀与局部点状锈蚀并存的特征，各类腐蚀性介质不断侵蚀钢材表层，破坏原生钝化保护膜，持续诱发化学与电化学连锁反应，致使钢材自身力学指标逐步衰减，整体承载性能随之持续弱化，难以长期维持原有设计受力标准。节点衔接区域构造繁复、拼接缝隙繁多，极易积聚残留废液与悬浮粉尘，形成封闭性腐蚀死角，介质长期滞留会加速焊缝、螺栓等连接件锈蚀老化，引发节点松动偏移、内力传递紊乱，直接削弱整体框架的整体稳固性与协同受力能力^[1]。各类腐蚀病害的产生并非单一诱因主导，而是外部环境、结构设计、现场施工多重条件共同作用形成。厂区生产作业持续排放的腐蚀气体与废弃液体，为锈蚀发育提供了天然环境条件；而前期防腐构造规划考虑不周、钢材表层清理不到位、防护涂层型号与现场腐蚀工况不匹配，再加现场施工工序管控不严、工艺落实存在偏差等问题，都会进一步加快锈蚀发展速度，造成各类腐蚀病害频繁显现。明晰各类腐蚀表现及内在诱发缘由，能够为后续防腐构造改良、防护方案完善以及结构耐久性提升，划定清晰的研究与优化方向。

3 化工厂房钢框架结构防腐构造优化设计及耐久性提升方法

3.1 钢材表面防腐处理构造优化

(1) 表面除锈处理构造优化：钢材表面除锈是整套防腐构造设计的前置核心环节，需贴合化工厂房高腐蚀环境的严苛特征，对现有除锈工艺及构造细节进行系统优化。施工中要彻底

清理钢材表层附着的氧化皮、锈蚀残留物与油污杂质，打造平整洁净的基面，为后续防腐涂层牢固附着提供良好条件。除锈作业范围需覆盖钢框架全部构件，包含钢材主体、节点焊缝、螺栓连接处等容易被忽略的隐蔽区域，采用机械除锈为主、人工手工补除锈迹相结合的施工模式，保障除锈后的钢材表面符合行业洁净规范。除锈作业结束后应当及时衔接后续防腐工序，最大程度缩短裸露静置时长，规避外界空气与湿气造成钢材再度氧化生锈，从施工源头把控防腐基础质量，为整体结构长效防腐筑牢前置保障。

(2) 表面预处理辅助构造设置：除锈作业结束后，应配套设置表面预处理辅助构造，将其作为钢材防腐施工的重要中间流程，以此增强防腐涂层附着效果与长效防护能力，为后续涂装施工夯实基础。对除锈后的钢材表层均匀涂刷专用底涂物料，填补表面细微孔隙与凹凸缺陷，加固涂层与钢材基体的粘结力度，规避后期涂层脱落、开裂等病害。结合化工厂腐蚀介质类别及侵蚀强弱，在底涂和面涂之间增设适配的中间过渡层，阻隔腐蚀介质向内渗透，放缓涂层老化破损进程^[2]。针对节点缝隙、螺栓头部这类易积水积尘、腐蚀风险偏高的关键位置，布设简易引流构造，及时疏导积水，降低粉尘与腐蚀介质积聚，为涂装作业营造洁净平整的施工条件，从源头保障整套防腐构造的运行稳定，适配化工厂复杂腐蚀工况的整体防护要求。

3.2 钢框架核心构件及节点防腐构造优化

(1) 钢材本体防腐涂层构造优化：结合化工厂高腐蚀工况环境特征，对钢框架构件本体防腐涂层体系开展专项构造优化设计。优先甄选具备耐酸碱侵蚀、抗盐雾腐蚀及长效耐老化性能的优质涂装材料，依据现场腐蚀等级差异合理规划涂层厚度与分层布设方式，构建多层叠加、逐级防护的一体化防护体系。涂层施工布设时兼顾防腐防护功能与结构力学适配要求，严格把控整体涂层厚度，避免层体过厚影响构件拼装与对接精度。针对构件转角、边缘端部等应力集中薄弱区域，额外增设局部补强涂层，强化重点部位抗腐蚀防护能力。对于长期直接接触腐蚀介质的关键受力构件，可采用外表涂装与内部防腐衬里相结合的复合构造模式，多层阻隔腐蚀介质渗入钢材基体，有效放缓锈蚀蔓延速度，保障钢框架整体结构在腐蚀环境下长期安全稳定服役。

(2) 节点连接部位防腐构造优化：钢框架节点连接处构造繁杂、缝隙较多，是腐蚀易发的薄弱区域，需对节点防腐密封结构进行专项改良，消除各类隐蔽缝隙死角，切断腐蚀介质向内渗入的通道。焊缝衔接位置统一采用满焊连续成型工艺，规避分段施焊遗留的裂隙缺陷，再于焊缝表层涂布专用防腐密封胶，密实填补焊缝与构件间的细微空隙^[3]。螺栓装配环节优先选用防腐专用紧固件，在栓头、螺母与构件贴合位置加装防腐垫片并均匀涂抹防护油脂，外部配套密封罩做整体包覆处

理。通过封闭式防护构造设计，形成完整隔离屏障，有效隔绝酸碱雾气、粉尘等腐蚀介质接触连接件，全面提升节点部位的抗腐蚀能力与长期服役稳定性。

3.3 耐久性提升配套技术方法

(1) 防腐构造维护体系完善：防腐防护体系想要长期保持稳定防护效能，必须依托规范健全的运维管理体系作为保障。结合化工厂钢框架所处高腐蚀工况环境特征与构件锈蚀演变规律，建立系统化、常态化的巡检养护制度，科学设定固定检查周期，明确各项养护工作的具体流程与执行标准。日常运维阶段需对整体防腐涂层开展全方位细致排查，及时处理表层开裂、起皮脱落、粉化老化等常见破损问题，对已经产生锈蚀的构件区域进行彻底打磨除锈，再重新补涂配套防护涂层。同步细致核查节点连接位置的密封构造完好状态，适时更换老化失效的密封胶体与防腐垫片，保证节点防护体系始终完整有效。借助标准化的日常管护流程延缓防腐层老化衰减节奏，延长各类防护构造实际使用年限，从运维管理角度切实增强钢框架整体结构的耐久服役能力。见图1所示：



图1 防腐构造维护体系完善流程

(2) 腐蚀环境防控辅助措施：结合化工厂实际生产运行流程，针对性布设环境防控配套举措，从源头降低各类腐蚀介质对钢框架构件的侵蚀影响，以外部环境管控助力结构耐久性提升。针对厂房内部易挥发腐蚀性气体、堆积工业粉尘的功能区域，合理布设通风换气设施，加快有害气体与悬浮粉尘的疏散稀释，降低空间内腐蚀介质富集程度。在钢构件易滞留雨水、冷凝积水的关键点位，增设导流与排水构造，及时疏导滞留水体，杜绝积水长期附着引发的锈蚀隐患^[4]。同时合理规划厂房功能分区布局，拉大腐蚀性生产工段与钢框架主体构件的

间距,减少介质直接侵染,依托环境调控为防腐体系长效运行创造有利条件,稳步增强整体结构长期服役稳定性。

4 防腐构造设计与耐久性提升策略的应用成效

4.1 钢框架结构腐蚀速率大幅减缓

优化后的防腐构造设计,核心成效体现在有效遏制钢材腐蚀进程、大幅减缓腐蚀速率,从根源上破解化工厂房钢框架结构易锈蚀、损伤快的突出难题。经过优化完善的钢材表面除锈处理与预处理辅助构造,彻底清除钢材表层潜在腐蚀隐患,强化防腐涂层附着稳定性,有效隔绝酸碱、盐雾等腐蚀介质与钢材本体的接触,延缓电化学腐蚀与化学腐蚀的发生进程。节点连接部位的密封构造与防护手段,消除缝隙积水、积尘的隐蔽死角,遏制局部腐蚀扩散蔓延,使钢框架各构件腐蚀现象得到有效管控。优化后的防腐体系可长期抵御腐蚀环境侵蚀,显著延后钢材表层锈蚀、麻点、脱层等问题的出现时间,减轻腐蚀损伤程度,为结构长期稳定服役筑牢基础。

4.2 钢框架结构耐久性与服役可靠性显著增强

防腐构造优化与耐久性提升策略的落地应用,有效延长化工厂房钢框架结构服役年限,强化结构整体可靠性与承载稳定性。高性能涂层体系与节点防腐构造的协同配合,弥补原有设计存在的疏漏,提升结构对腐蚀环境的适应能力,规避因钢材截面缩减、节点失效引发的结构承载能力下降问题。配套维护体系的完善与环境防控措施的推行,进一步保障防腐构造长期有效发挥作用,减少结构因腐蚀诱发的故障与损坏,降低结构大修、构件更换的频次,确保钢框架结构持续稳定承担设备支撑、荷载传递等核心职能^[5]。结构耐久性的提升,既避免因结构损坏导致的生产中断,又降低结构安全隐患,保障化工厂生

产运营的连续性与安全性。

4.3 工程应用经济性与实用性大幅提升

防腐构造设计与耐久性提升策略的应用,在保障结构安全稳定的基础上,有效提升工程应用的经济性与实用性,实现安全与效益的双向提升。优化后的防腐构造设计,所选用的涂层材料与施工工艺兼顾防腐性能与经济合理性,规避过度防腐造成的成本浪费,同时减少结构后期维护的工作量与费用投入,降低工程全生命周期成本。结构耐久性的提升,延长钢框架结构服役年限,减少构件更换、结构大修带来的经济损失与工期延误,提升化工厂生产运营效率。此外,优化后的防腐构造施工便捷、维护简易,适配化工厂复杂生产工况,无需复杂维护设备与专业技术即可开展常态化管理,进一步增强策略实用性,为同类腐蚀环境下化工厂房钢框架结构的设计与维护提供可借鉴的实践经验,具备广泛工程应用价值。

5 结语

本文围绕腐蚀环境下化工厂房钢框架结构的防腐构造设计与耐久性提升展开研究,立足化工厂腐蚀环境特性与结构服役需求,梳理其应用背景与腐蚀现状,深入剖析钢材本体、节点连接等部位的腐蚀隐患及多因素耦合成因,针对性提出钢材表面处理、核心构件与节点防腐构造优化及配套耐久性提升方案,并验证了相关策略的应用成效。研究表明,合理的防腐构造设计与完善的耐久性提升方案,可有效减缓钢材腐蚀,强化结构服役可靠性,延长服役周期,提升工程经济性与实用性。基于本文成果,可进一步细化不同腐蚀等级下的防腐构造参数,完善适配化工厂工况的防腐技术体系,为同类工程提供针对性技术支撑,助力相关应用技术持续完善。

参考文献:

- [1] 宁蓓蓓.腐蚀环境下单层钢框架结构厂房受力性能研究[D].长春工程学院,2021.
- [2] 黄莺,李嘉晨,朱彦飞,等.考虑腐蚀作用的钢框架结构连续性倒塌分析[J].土木与环境工程学报(中英文),2023,45(06):21-28.
- [3] 张宣勇.新型钢结构在化工建筑中的应用与展望[J].石化技术,2025,32(03):435-436.
- [4] 陈学群,张万灵,陈珊,等.经济型耐腐蚀钢中氧作用的研究[J].工程科学学报,2021,43(07):960-965.
- [5] 王海刚.化工建筑钢结构防腐设计分析及优化[J].化工管理,2020,(02):131-132.