

Study on anticorrosion structure design and durability of desulfurization workshop building in coal power plant

Jianyang Wang Hui Zhou

Zhejiang Zheneng Technology Environmental Protection Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311121, China

Abstract

As a critical facility for controlling acidic gas emissions such as SO_2 , the desulfurization system in coal-fired power plants operates within an environment characterized by prolonged exposure to high humidity and corrosive chemical media. This creates a corrosive environment that accelerates the deterioration of building components, significantly compromising both the service life and safety performance of workshop structures. Starting from the operational environmental characteristics of desulfurization workshops, this study systematically analyzes corrosion sources and their mechanisms. By integrating practical engineering experience from concrete structures, steel structures, and protective systems, it proposes corrosion-resistant design strategies and durability enhancement techniques tailored to the specific corrosion features of desulfurization systems. The research findings provide theoretical support and practical guidance for improving the protective measures of desulfurization facility buildings in coal-fired power plants.

Keywords

coal-fired power plant; desulfurization workshop; building corrosion protection; structural design

煤电厂脱硫车间建筑防腐蚀构造设计与耐久性研究

王建阳 周辉

浙江浙能科技环保集团股份有限公司, 中国·浙江 杭州 311121

摘 要

燃煤电厂脱硫系统作为控制 SO_2 等酸性气体排放的关键装置,其建筑环境长期处于高温、高腐蚀性化学介质的复合作用下,建筑构件极易发生腐蚀劣化,严重影响车间结构的使用寿命与安全性能。本文从脱硫车间运行环境特征出发,系统分析了腐蚀源类型与作用机制,结合混凝土结构、钢结构及防护构造的工程实践经验,提出适应脱硫系统腐蚀特征的防腐蚀设计策略与耐久性提升技术路径。研究成果可为燃煤电厂脱硫设施建筑防护提供理论支撑与实践依据。

关键词

燃煤电厂; 脱硫车间; 建筑防腐蚀; 构造设计

1 引言

在“双碳”战略背景下,燃煤电厂承担着污染控制与能效优化的双重任务。脱硫车间作为烟气净化的重要环节,其建筑结构长期暴露于高温、高温、含酸(如 H_2SO_4 、 HCl)和高 Cl^- 离子浓度环境中,极易引发钢材锈蚀、混凝土碳化与开裂等结构耐久性问题。若未有效防护,不仅增加运维成本,亦可能导致结构安全事故。因此,脱硫车间建筑的防腐蚀构造设计亟需系统性研究,以提升其长期服役能力,确保电厂安全、高效运行。

2 脱硫车间腐蚀环境特征与作用机制

燃煤电厂的脱硫车间作为控制 SO_2 排放的关键场所,其建筑结构在长期运行中面临极为复杂的腐蚀环境。这些腐

蚀因素主要来自于脱硫系统所使用的工艺介质、高温高湿的空气环境、以及酸性液体的直接接触。在以石灰石—石膏法为主流工艺的湿法脱硫系统中, SO_2 在塔内与 CaCO_3 反应生成亚硫酸钙,进一步被氧化为石膏,同时伴随生成 SO_3 、 HCl 、 HF 等酸性组分^[1]。这些腐蚀介质以气溶胶、凝结液或微液滴的形式广泛分布于塔体内部、管道接口及排风系统,持续作用于钢结构、混凝土构件及内衬材料,形成以化学腐蚀、电化学腐蚀及湿热环境耦合作用为核心的腐蚀体系。特别是 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的协同存在显著加速了腐蚀反应过程,常常导致材料发生点蚀、晶间腐蚀乃至贯通性破坏,从而对建筑结构的长期稳定性构成实质性威胁。

腐蚀对建筑结构性能的破坏是一个累积性、不可逆的过程,通常起始于材料表层微损伤,并逐步向内部结构扩展,形成表现破损与力学性能下降的耦合破坏模式。以混凝土构件为例,当酸性气体与混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成 CaSO_4 、 CaCl_2 等可溶性盐类时,原有的碱性环境遭到破坏,

【作者简介】王建阳(1981-),男,中国浙江杭州人,本科,工程师,从事建筑工程研究。

钢筋钝化膜解体，电化学腐蚀加速启动^[2]。其生成的锈蚀产物体积膨胀，进而引起混凝土保护层鼓起、开裂与剥落，形成典型的“锈胀—剥蚀—剥落”破坏链条。对于钢结构而言，在脱硫环境中暴露的金属表面极易发生均匀锈蚀与局部蚀坑，其结果是有效承载截面逐渐减小，导致构件屈服强度下降、疲劳寿命缩短，甚至在持续荷载下发生脆性断裂。而结构防护层，如传统的油漆类防腐涂层，在高温高温条件下老化速度加快，涂层龟裂或脱落后将迅速失去屏蔽功能，造成防腐失效。

3 脱硫车间建筑防腐构造设计原则

3.1 防腐构造设计的基本理念与体系逻辑

面对脱硫车间多源腐蚀环境所带来的结构性能衰退风险，必须在建筑设计阶段前置性地引入防腐构造体系思维，通过构造优化实现对腐蚀因子的有效隔离与控制。其基本理念可归纳为“分区防控、多重阻隔、构造自愈、易于运维”四个方面。在分区防控层面，应依据腐蚀介质的分布强度、类型与传输路径，划分不同等级的防护区，针对高危部位（如塔底、设备基础、排风通道等）加强局部防护，避免一体化设计中“强弱混配”的系统短板。在多重阻隔方面，应构建“基材—界面层—防护层—排湿层”四层防护结构，通过材料性能差异与构造节点层次设计，实现从物理阻隔、化学惰化到电化学中断的全流程阻断腐蚀通道。在构造自愈方面，防护结构应具备一定的应力释放与裂缝闭合能力，例如通过自修复型高性能混凝土、柔性衬层或防腐砂浆包裹技术提升整体结构的应变协调性与损伤抑制能力。而在运维适配性方面，防护构造设计应优先考虑可视性、可拆卸性与可检测性，便于运维周期内的腐蚀状态跟踪与局部快速修复。总体而言，有效的防腐构造体系不应仅是材料的堆叠组合，而应是基于腐蚀机理认知、环境动态响应与构件功能集成的系统化设计

过程，具有主动适应与可持续干预能力，满足电厂脱硫车间长期稳定运行的高标准需求^[3]。

3.2 关键结构构件的防腐构造设计策略

在构造层面，针对脱硫车间中主要受腐蚀威胁的混凝土构件、钢结构构件以及围护系统，应分别制定针对性的防腐设计策略，并通过细部节点优化形成协同防护效应。混凝土构件方面，宜选用抗腐蚀性优异的高强、高致密性混凝土（如 C50 以上掺硅灰或粉煤灰混凝土），提高基体的抗渗性与抗碳化能力，同时增厚保护层厚度（不小于 60mm），并在表层喷涂憎水型硅烷渗透剂或柔性聚合物涂层，以延缓腐蚀介质渗入速度；钢筋宜采用热镀锌或环氧涂层钢筋，并避免结构露筋设计。钢结构构件方面，应采用环氧富锌底漆—环氧中涂—氟碳面漆三涂体系，涂层总厚度宜不小于 250 μm ，同时在连接板、节点部位采用锚固型密封胶嵌缝处理，减少毛细渗透通道。在条件许可下，可优先采用 304/316L 不锈钢或耐候钢构件用于高腐蚀区域。围护结构方面，如屋面、墙体和设备基础处，宜采用防酸 PVC 复合金属板材、耐腐蚀卷材或聚合物水泥砂浆构造，构造节点处应加设滴水线、防渗层及负坡设计，避免水汽长时间滞留。对于车间内设备基础与排水沟、沉积池等特殊部位，可采用抗腐蚀砖块铺贴、玻璃钢内衬或复合涂层构造，增强接触区域的耐化学腐蚀能力。所有细部构造均应避免积水平台、尖角开缝、封闭盲区等腐蚀热点的形成，强调“结构引导介质流动、构造协同系统排散”的一体化设计逻辑，以保障整体防腐体系的持久有效。在完成对关键构件防腐设计策略的系统梳理后，本文进一步将典型构造部位、推荐材料体系、防护性能及其耐久周期等要素加以整理，形成面向脱硫车间高腐蚀环境的构造设计适配表，以支撑各类防护措施的工程选型与寿命管理策略制定（见表 1）。

表 1 不同建筑材料与防护构造在脱硫车间腐蚀环境中的适用性比较

构造类型	典型部位	推荐材料或构造方式	防腐性能特点	耐久性建议周期（年）
混凝土构件	基础、柱、墙体	C50 掺硅灰高性能混凝土 + 硅烷渗透剂 + ≥60mm 保护层	高密实性、抗渗性强、碳化慢	30 ~ 50
钢筋	板柱内嵌钢筋	热镀锌钢筋 / 环氧涂层钢筋	抗电化学腐蚀，缓解锈胀效应	20 ~ 30
钢结构	排风管架、支撑系统	环氧富锌底漆 + 环氧中涂 + 氟碳面漆三层体系，≥250 μm	涂层致密，抗紫外与潮气腐蚀	10 ~ 20（视运维情况）
围护结构	屋面、墙面、设备基础	PVC 复合板 / 聚合物水泥砂浆 + 滴水线 + 负坡节点设计	耐酸碱、防水性能好	15 ~ 25
特殊构件	排水沟、沉积池、设备池	玻璃钢内衬 / 防腐砖 / 柔性复合涂层	高耐化学性、局部可维修性强	15 ~ 30
防腐砂浆衬层	高温接触部位	改性硅酸盐 / 玻纤增强型抗腐砂浆	柔性好、与基底适配性高	10 ~ 20
智能监测系统	构件节点、重点区域	光纤传感 / 无线温湿度感应 + 物联网平台	实时监控腐蚀动态、支持预测运维	实时在线

4 脱硫建筑耐久性提升路径与技术实现

4.1 结构耐久性评估框架与性能衰减规律识别

脱硫车间结构的耐久性受腐蚀介质浓度、气候循环频率、构造防护能力与材料本体性能等多种因素协同控制，具有强烈的时序衰减性与空间非均质性。因此，构建一套科学的结构耐久性评估框架，是实现脱硫车间寿命预测与主动维护的基础工作。目前，较为成熟的评估路径主要包括腐蚀环境等级识别、材料抗腐能力指标构建、构件劣化状态监测与寿命退化模型拟合四个步骤。其中，腐蚀环境等级可依据《GB/T 51231-2016 工业建筑防腐蚀设计标准》中对酸性气体浓度、 Cl^- 离子沉积速率、年平均相对湿度等因子的定量标准，结合现场实测数据进行归类；材料抗腐能力评估可通过快速腐蚀试验、电化学阻抗谱（EIS）、钝化膜穿透电位测试等手段获得关键参数，建立“腐蚀速率—渗透系数—抗蚀余寿”的多参数评价体系；而劣化状态监测则应依托无线传感系统布设温湿度、电位差、电阻率与应变等监测节点，掌握不同构件在运行过程中的应力水平与腐蚀响应路径，最终通过BP神经网络、多项式回归或Bayes残余寿命预测模型进行结构剩余寿命的定量分析。特别是在电厂复杂运行周期中，应充分考虑启停频繁带来的冷凝频次变化、检修阶段水汽开放暴露时间、紧急工况下排风中腐蚀物浓度激增等非稳定因素，以“动态腐蚀负载—构件响应速率—性能退化曲线”为基本评价逻辑，推动从“经验性定期检修”向“数据驱动型寿命管控”转变，为耐久性保障提供技术支撑。

4.2 多层次防护系统与智能化监控机制的协同构建

在强化耐久性技术路径中，构建“材料—构造—监测—修复”一体化多层次防护系统是当前工程界广泛认同的方向。该系统强调从被动防护向主动干预升级，以提高整体抗腐蚀能力与修复便捷性。材料层面，应在常规高性能混凝土（UHPC）或内掺锂基膨胀剂、水凝胶微胶囊等可修复材料，以延缓微裂纹扩展并封闭初始渗透通道；构造层面，应采用复合型防护构造（如双层涂层+玻璃纤维增强防腐砂浆+抗渗密封垫）的协同配置，特别在节点与设备基础等腐蚀敏感区域，强调高容错度、高弹性及冗余密封性能；监测层面，可部署基于

光纤传感、无线传输与物联网平台的腐蚀智能感知系统，通过实时采集温湿参数、pH值、电化学电位变化、涂层电阻等信息，实现脱硫车间腐蚀环境的时空动态建模，进而引入预测性运维（Predictive Maintenance）机制，及时开展重点区域修复作业；修复层面，应采用快速固化型防腐涂料、可带水施工的柔性内衬材料或模块化更换构件技术，确保在不停产或低干扰条件下完成维护操作，提高检修效率并降低结构长期退化风险。总体而言，耐久性提升路径不应限于设计阶段的强化抗腐性能，更应贯穿于结构全寿命周期，形成“设计—建造—监测—运维”闭环联动的技术链条，真正实现对腐蚀风险的前移预判与后移干预。

5 结语

燃煤电厂脱硫车间作为典型的高腐蚀性工业建筑，其结构耐久性直接关系到整个烟气治理系统的运行稳定性与安全性。本文在深入剖析脱硫工艺运行环境及腐蚀机制的基础上，系统提出了防腐构造设计原则与关键部位的防护策略，并进一步构建了以“结构评估—多层防护—智能监测—快速修复”为核心的一体化耐久性提升路径。研究表明，只有在设计初期即引入系统性的防腐理念，综合考虑材料本体、构造细节与运维机制，才能有效应对多源腐蚀荷载对建筑结构的持续侵蚀，延长其服役寿命，降低全生命周期维护成本。通过构建集成化、模块化与智能化的防护体系，可为我国燃煤电厂高腐蚀环境下的工业建筑提供更具前瞻性和适应性的耐久性保障方案，为能源基础设施绿色、安全、长效运行提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 黄丙利,马永全.胶囊含量对建筑防腐蚀环氧树脂涂层组织和力学性能的影响[J].材料保护,2021,54(06):79-82+101.
- [2] 袁静.建筑防腐蚀工程造价控制的策略[J].全面腐蚀控制,2021,35(01):54-55.DOI:10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2021.01.054.02.
- [3] 陶娟.论建筑防腐蚀施工的现场质量安全管理[J].全面腐蚀控制,2025,39(01):210-212+217.DOI:10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2025.01.210.03.