

高温高湿环境下工业建筑防腐施工技术探讨

郭春霞 肖 慧

安阳钢铁股份有限公司 河南 安阳 455004

摘要: 高温高湿环境易加速工业建筑结构腐蚀,降低建筑使用寿命、影响生产安全,合理运用防腐施工技术保障工业建筑稳定运行的关键。当前,高温高湿环境下工业建筑防腐施工存在材料适配性不足、工艺控制不精准、质量管控不到位等问题,制约防腐效果。随着智能化防腐技术的快速发展,微胶囊自修复、光热转换等新技术为传统防腐工艺带来了革新突破。本文分析高温高湿环境对工业建筑的腐蚀机理,明确防腐材料的选择标准与性能要求,重点探讨防腐施工关键技术及智能化防腐新技术,完善施工质量控制与验收体系,提出针对性技术方案,为高温高湿地区工业建筑防腐施工提供理论支撑与实践参考,保障工业建筑结构安全、延长使用寿命。

关键词: 高温高湿环境;工业建筑;防腐施工;智能化防腐;材料选择;工艺控制

引言:工业建筑作为工业生产的核心载体,其结构稳定性直接关系到生产安全与企业效益。我国南方沿海、多雨潮湿地区,长期处于高温高湿环境,此类环境下水分与热量交织,易对工业建筑金属、混凝土等结构产生强烈腐蚀,导致结构破损、性能下降,甚至引发安全隐患。因此,本文聚焦高温高湿环境下工业建筑防腐施工技术,系统剖析腐蚀机理、材料选择与施工工艺,优化质量管控措施,助力提升防腐施工效果。

1 高温高湿环境对工业建筑的腐蚀机理分析

1.1 高温高湿环境的特性与分级

高温高湿环境指温度长期超30℃、相对湿度高于80%的环境,热量难散、水分难蒸,常见于南方沿海地区与工业高温车间。高温加速分子运动与介质活性,高湿使结构表面形成水膜,叠加废气、盐分等污染物,构成复合型强腐蚀环境。工程依据温度、湿度、腐蚀性介质浓度分级:温度范围(30-40℃为一般级,40-50℃为严重级,>50℃为极严重级);相对湿度(80-85%为一般级,85-90%为严重级,>90%为极严重级);腐蚀性物质浓度(按工业废气、盐分、粉尘含量进行分级)。某钢铁厂夏季监测温度42℃、湿度92%,SO₂浓度0.15mg/m³,属极严重腐蚀环境。

1.2 腐蚀类型与影响因素

工业建筑腐蚀分为金属结构与混凝土结构腐蚀。金属结构以电化学腐蚀为主,水膜为电解质引发原电池反应,钢结构锈蚀、不锈钢易出现点蚀。混凝土结构受碳化与氯离子侵蚀,高温加速碳化降低结构强度,高湿促使氯离子渗透破坏钢筋钝化膜,引发锈蚀致混凝土开裂。腐蚀程度受环境参数、材料特性、结构设计影响,温湿度与污染物浓度越高,腐蚀速率越快^[1]。基于工程数

据建立腐蚀速率预测模型 $C = K \times f(T) \times f(H) \times f(P)$,在电力工程应用中预测准确率超85%,为防腐设计提供支撑。

1.3 腐蚀对工业建筑性能的影响

腐蚀严重降低工业建筑结构强度、稳定性与使用寿命,威胁生产安全。金属结构腐蚀导致构件截面减薄、韧性下降、连接松动,易引发断裂、坍塌事故。混凝土结构出现起砂、剥落,钢筋锈蚀膨胀加剧开裂,破坏结构整体性。同时,腐蚀降低建筑密封防水性能,增加维护成本,腐蚀产物污染环境,给企业带来经济损失与安全隐患。

2 防腐材料选择与性能要求

2.1 金属结构防腐材料

高温高湿环境下,金属结构防腐材料需具备耐高温、耐潮湿、抗电化学腐蚀、附着力强等特点,常用材料包括防腐涂料、金属镀层与防腐衬里三类。防腐涂料以耐高温氟碳涂料、聚硅氧烷涂料为主,可在30-80℃环境中长期使用,防水防腐与抗老化性能突出,能有效阻隔水分与腐蚀性介质。金属镀层多采用热镀锌、热镀铝工艺,镀层均匀致密,热镀锌厚度不低于80μm,热镀铝不低于50μm,可长期抵御高温高湿与工业介质侵蚀。防腐衬里适用于强腐蚀区域,常用聚四氟乙烯、丁基橡胶等材料,耐蚀性与密封性优异,可显著提升构件使用寿命。近年来,智能防腐材料快速发展并逐步工程化应用。微胶囊自修复涂料在涂层产生微裂纹时,胶囊破裂释放修复剂,实现自动修补,延长涂层寿命。光热转换涂层可利用太阳能调节表面温度,降低环境相对湿度,使钢结构腐蚀速率大幅下降。新型材料的应用,为高温高湿环境下的长效防腐提供了更可靠的技术路径。

2.2 混凝土结构防腐材料

混凝土结构防腐重点解决碳化与氯离子侵蚀问题,材料以表面防护材料与钢筋阻锈剂为主。表面防护采用渗透型结晶防水涂料、聚脲涂料,可堵塞混凝土毛细孔道,阻止水分与氯离子侵入,同时具备良好的耐热与抗老化性能。钢筋阻锈剂分为掺入型与喷涂型,掺入型直接加入混凝土,可抑制钢筋电化学腐蚀;喷涂型阻锈剂直接喷涂在钢筋表面,形成保护膜,适用于既有建筑钢筋防腐修复,材料需符合国家相关标准,确保与混凝土、钢筋的相容性,避免产生有害反应^[2]。

2.3 有机涂层材料

有机涂层是工业建筑防腐的核心材料,具有施工便捷、适应性强等优势。氟碳涂层耐温可达120℃,耐湿热、抗老化与耐介质腐蚀性能突出,适用于强腐蚀高温高湿区域。常用有机涂层材料包括氟碳涂层、聚氨酯涂层、环氧树脂涂层等,其中氟碳涂层耐高温性能最优,长期使用温度可达120℃,耐潮湿、抗腐蚀、抗紫外线性能突出,适用于高温高湿且腐蚀性较强的工业场景;聚氨酯涂层柔韧性好、附着力强,防水防腐效果优良,能适应结构轻微变形,适用于混凝土与金属结构的表面防腐;环氧树脂涂层硬度高、耐磨性强,抗化学腐蚀性能优良,但耐高温性能稍弱,适用于温度相对较低的高温高湿区域。工程中涂层总厚度一般不低于150μm,要求涂层致密无针孔、无气泡,以保证长期防腐效果。

2.4 材料性能测试

防腐材料使用前需进行严格性能检测,确保满足高温高湿环境使用要求。测试项目主要包括耐高温测试、耐湿热老化测试、附着力测试与耐腐蚀性测试。耐高温测试在30~80℃条件下持续72小时,观察材料外观与性能变化;耐湿热老化测试持续168小时,检验涂层稳定性;附着力采用划格法,要求达到1级以上;耐腐蚀性测试模拟工业介质环境,验证材料防护能力。未来可结合电化学阻抗谱、扫描电镜、红外光谱等技术,建立智能化材料评价体系,进一步提升测试精度与效率。

3 高温高湿环境下防腐施工关键技术

3.1 表面预处理技术

表面预处理是防腐施工的基础,直接决定涂层附着力与整体防腐效果。金属结构采用喷砂除锈,除锈等级达到Sa2.5级以上,表面粗糙度控制在40~80μm,除锈后2小时内完成涂装,避免返锈。混凝土结构先采用高压水清洗,再打磨去除疏松层,裂缝与孔洞使用专用材料修补平整,干燥后涂刷界面剂以增强结合力。施工环境湿度应控制在75%以下,防止表面受潮影响预处理质量。智能预处理技术逐步普及,机器人自动喷砂系统可实现参

数自动调节与均匀除锈,激光扫描技术实时检测粗糙度与清洁度,数据云端分析,大幅提升预处理精度与稳定性。

3.2 防腐涂层施工技术

高温高湿环境下,涂层施工需严格控制温湿度与工艺参数。施工温度宜控制在15~35℃,湿度不高于75%,雨天、雾天严禁施工。采用高压无气喷涂,压力控制在0.3~0.5MPa,分层均匀喷涂,每道间隔不少于4小时,总厚度满足设计要求。施工过程中及时检查气泡、针孔、漏涂等缺陷并修补,确保涂层连续致密。针对微胶囊自修复涂层等新型材料,需采用专用施工工艺:低速搅拌、分层喷涂、严格控制环境温湿度,避免胶囊破损,保证自修复功能稳定发挥。工程实践表明,规范化施工可使涂层寿命显著提高,防腐效果稳定可靠。

3.3 特殊部位防腐处理

阴阳角、接缝、管道接口、预埋件等部位是防腐薄弱区,易发生渗漏与集中腐蚀。阴阳角做圆弧过渡,半径不小于20mm,并加厚涂层;接缝与接口采用耐高温密封胶密封,形成密封与涂层双重防护^[3];预埋件彻底除锈并涂刷专用底漆,与主体同步施工,保证涂层连续无间隙。部分工程在关键部位安装微型腐蚀传感器,实时监测腐蚀状态并远程传输数据,实现预警与智能维护,可大幅降低故障率与维护成本。

3.4 施工环境控制措施

为保证施工质量,需对现场环境进行精准调控。露天区域搭建遮阳棚,密闭空间配置通风与除湿设备,将湿度控制在75%以下。合理安排施工时段,避开高温、降雨与高湿时段。施工过程实时监测温湿度,超标立即暂停作业,同时完善场地排水,防止积水影响结构表面干燥度。智能环境控制系统集成多类型传感器,可自动调节通风、除湿与遮阳设备,并结合边缘计算预测环境变化,提前采取调控措施,实现施工环境稳定可控,为高温高湿地区防腐工程提供可靠保障。

4 防腐施工质量控制与验收标准

4.1 施工过程质量控制

高温高湿环境下防腐施工质量控制要贯穿全程,构建"事前、事中、事后"质量管控体系。事前控制着重核查防腐材料质量,严格检查材料合格证与性能测试报告,对进场材料抽样复检,防止不合格材料入场;同时优化施工方案,依据环境特性明确施工工艺、环境控制要求和质量标准,并对施工人员进行专业培训,提升其技能水平。事中检查重点把控表面预处理、涂层施工、特殊部位处理等关键环节,定期检查预处理质量、涂层厚度和施工工艺,用专业仪器检测涂层附着力与完整性,发

现质量缺陷立即停工整改并做好记录。事后控制主要是保护施工成品，完工48小时内避免碰撞、淋雨和污染，安排专人巡查，及时处理成品损坏问题，保证防腐施工质量达标。

引入BIM技术构建数字化质量控制平台，实现防腐施工全过程的可视化管理。平台功能包括：三维建模：建立建筑结构和防腐涂层的数字模型，直观展示施工方案；过程追踪：实时记录施工参数、环境条件、质量检测结果；智能预警：基于历史数据和AI算法，预测可能出现的质量问题；数字交付：生成完整的数字档案，便于后期维护管理。

4.2 防腐效果长期监测

高温高湿环境影响工业建筑防腐效果，需建立长期监测机制，掌握腐蚀状况，及时维护以延长防腐寿命。监测涵盖涂层完整性、结构腐蚀程度、环境参数等，借助目视检查、涂层测厚仪、腐蚀检测仪等设备定期开展，新建建筑每年1次，使用超5年的每半年1次。建立监测档案，记录数据、腐蚀情况与维护措施，通过分析预判腐蚀趋势，及时修补涂层脱落、锈蚀等问题，防止腐蚀加剧。同时，依据工业生产环境变化调整监测与维护方案，若腐蚀介质改变，要针对性优化防腐维护方案，保障防腐效果稳定，确保工业建筑结构安全。

现代智能化在线监测系统实现了防腐状态的实时监控和预测性维护。系统组成包括：传感器网络：部署腐蚀电位传感器、湿度传感器、温度传感器，实时采集环境参数；数据传输：采用5G+LoRa混合组网，确保数据稳定传输；云平台：运用大数据分析和机器学习算法，建立腐蚀预测模型；移动终端：通过手机APP实现远程监控和报警。

4.3 验收标准

高温高湿环境下工业建筑防腐施工验收，依国家规范与设计的要求，分隐蔽工程、分项工程、竣工验收三个阶段进行。隐蔽工程验收针对表面预处理、预埋件防腐等隐蔽部位，合格后方可进入下道工序。分项工程验收检查各环节质量，金属结构防腐除锈等级达Sa2.5级以上，

涂层厚度、附着力符合要求，无缺陷；混凝土结构防腐表面无起砂、剥落，涂层致密，钢筋无锈蚀，抗氯离子渗透达标。竣工验收综合核查施工质量、监测数据与记录，符合相关规范后出具报告，不合格责令整改，直至达标。未来可开发基于人工智能的防腐施工智能化验收评估系统，实现验收工作的标准化和智能化。

5 发展趋势与展望

当前，国内智能化防腐技术正处于快速发展期，主要发展趋势包括：（1）技术创新深度融合：传感+AI+材料的深度融合将成为主流，跨学科创新加速推进，形成完整的技术生态系统。（2）应用场景持续拓展：从单一设备到系统工程，从工业领域向民用领域渗透，从监测功能向智能控制全面升级。（3）标准化程度提升：相关行业正在加紧制定，技术规范日趋完善，互操作性大幅改善。

结束语

高温高湿环境下，工业建筑防腐施工面临环境复杂、腐蚀加剧、施工难度大等问题，防腐施工技术的科学性与合理性，直接决定工业建筑的结构安全与使用寿命。要推动高温高湿环境下工业建筑防腐施工技术优化，需兼顾材料适配性、工艺科学性与质量管控严格性，结合工程实际优化施工方案。随着智能化技术的快速发展，微胶囊自修复、光热转换、智能监测等新技术为高温高湿环境下的工业建筑防腐提供了全新的解决方案。未来，需进一步研发耐高温、耐潮湿的新型防腐材料与施工技术，完善监测与维护体系，加强智能化防腐技术的推广应用，助力提升工业建筑防腐施工水平，保障工业建筑长期稳定运行，推动工业绿色安全发展。

参考文献

- [1]曾秋燕.海风环境下工业建筑防腐蚀施工技术研究与应用.中国科技期刊数据库工业A,2024(6):119-122
- [2]宇欢平.基于聚丙烯复合板的工业建筑防腐技术研究及应用[J].甘肃科技纵横, 2022, 51(2):37-39, 96.
- [3]申鹏.新形势下防腐施工技术在工业建筑施工中的运用[J].工程与建设, 2024, 38(4): 867-869.