

Corrosion Characteristics and Protective Measures of Industrial Buildings

Wenxiang Li Zhijun Yao Yida Chen

Hunan Hualing Xiangtan Iron and Steel Co., Ltd., Xiangtan, Hunan, 411101, China

Abstract

The long-term use of industrial buildings is closely related to their corrosion protection capabilities. Structural corrosion issues not only affect building safety, but also have significant impacts on the economy and environment. This paper comprehensively explores the corrosion characteristics and protective measures of industrial buildings, covering four main forms of corrosion: chemical, electrochemical, high-temperature, and microbiological. It analyzes their mechanisms, influencing factors, and response strategies. In addition, the performance of traditional and new anti-corrosion materials was evaluated, while paying attention to anti-corrosion considerations in structural design. It was suggested to build a comprehensive maintenance and monitoring system to achieve long-term durability and reliability of industrial buildings.

Keywords

industrial construction; corrosion characteristics; protective measures; chemical corrosion

工业建筑的腐蚀特性及防护措施

李文翔 姚知君 陈一达

湖南华菱湘潭钢铁有限公司, 中国·湖南湘潭 411101

摘要

工业建筑的长效运用与腐蚀防护能力是紧密相连的, 结构的腐蚀问题不仅影响建筑安全, 同时也对经济和环境带来显著影响。论文综合性地探讨了工业建筑腐蚀特性及其防护措施, 其中覆盖了化学、电化学、高温和微生物四种主要存在的腐蚀形式, 分析了它们的机理、影响因素以及应对策略。此外, 还评估了传统与新型防腐材料的性能, 同时关注结构设计中的防腐蚀考量, 并建议构建全面的维护和监测体系, 以实现工业建筑的长期耐久性和可靠性。

关键词

工业建筑; 腐蚀特性; 防护措施; 化学腐蚀

1 引言

工业建筑作为现代化生产的基石, 承受着多样化的腐蚀环境挑战, 腐蚀防护的优劣直接关系到建筑物的安全、稳定以及经济效益。因此, 论文系统分析工业建筑面临的各类腐蚀特性, 完善现有防护措施, 并提出优化方案。化学和电化学腐蚀作为最常见的腐蚀形式, 二者的机理及影响因素均有深入研究; 高温和微生物腐蚀则因其独特影响, 成为防腐研究领域的新焦点。另一层面, 通过提升传统防腐材料性能和发展新型技术, 加上在结构设计阶段的防腐考量, 可极大增强工业建筑的腐蚀抵抗力。最后, 一个健全的维护和监测体系, 是持续保障工业建筑安全运行不可或缺的一环。

2 工业建筑腐蚀特性分析

2.1 化学腐蚀现象及其影响因素

化学腐蚀现象源于炼钢厂内相对较高的污染物浓度, 其中就包括硫化物、氯化物与酸性气体, 这些物质与结构材料接触时, 会激发一系列的化学反应, 逐渐破坏其结构完整性。并且温度因素亦不容忽视, 特别是在高温熔炼过程中释放的蒸汽与气体, 它们可能加速化学反应的速率, 使得金属元素与周围环境中的腐蚀介质反应得更为剧烈。

炼钢厂内需要有大量的水来进行降温, 因此当湿度水平提高时, 空气中的湿气会增强构件表面的电解质膜, 从而为电化学腐蚀提供媒介, 极大地推动腐蚀反映的问题。同样重要的是, pH值的偏离也直接影响腐蚀速率: 酸性或者碱性环境会促进腐蚀性离子与金属表面的交换作用, 进而导致材料性能的降低^[1]。化学腐蚀的发生很大程度上与材料本身特性密切相关, 金属的合金元素及其电化学性质决定了其与腐蚀介质相互作用的倾向与能力。举例来说, 含有被动化薄

【作者简介】李文翔(1992-), 男, 中国湖南冷水江人, 硕士, 工程师, 从事工业建筑研究。

膜的如不锈钢的结构元件，相较于碳钢在化学腐蚀环境中展现出更强的抵抗力。

2.2 电化学腐蚀机理与防护难点

电化学腐蚀为工业建筑，尤其是炼钢厂带来的挑战，确实属于需要细致分析与专业处理的问题。源于电化学作用引发的金属材料退化，其机理复杂，涉及金属、电解质以及电极反应等多个方面^[2]。在此环境下，金属表面作为阳极，另一部分金属或是相同金属的不同区域作为阴极，介于两者之间的电解质（大多数情况下就是水中溶解的氧气或其他化学物质）促使电流流动而触发腐蚀。

应对策略应从增强材料耐腐蚀性能和切断电化学反应链两大方向出发。首选方法是选用耐腐蚀性更强的材料，如不锈钢或经过特殊处理的合金钢，其在电化学腐蚀环境下的稳定性相较一般碳钢显著提高。另外，应用表面处理技术，如镀锌或涂覆防腐涂层，可以有效隔离金属与腐蚀介质的直接接触，降低电化学腐蚀的风险。还可以采用电化学保护，如阴极保护，也是解决电化学腐蚀问题的一种高效手段。通过施加反向电流，改变金属表面的电位，使其处于被动状态，从而减缓或停止腐蚀过程。然而，这一方法需要精确地控制和维持，以确保长期效果，并防止可能的过保护导致的其他问题。

2.3 高温腐蚀特征及应对策略

在炼钢厂等高温作业场景下，材料所受高温腐蚀形式以金属元素在高温条件下与周围气体或其他化学物质反应，导致材料强度与性能的下降，如氧化、硫化及碳化等现象的发生，而这些化学反应均会随温度升高而加快。

为应对此类腐蚀，一项重要的手段是通过使用耐高温材料，如高温合金和陶瓷涂层等，以提升结构组件的耐蚀性。这类材料通常具有高熔点及良好的稳定化学性，能在极端温度条件下维持其物理及化学属性，降低腐蚀速率。除了材料本身的选择，表面保护技术也可以预防此问题。例如应用热喷涂技术，可以在工业组件表面形成一层耐磨、耐高温的保护膜，以隔离直接接触的热源。此外，巧妙的设计工艺，如制造工艺中引入保护气氛，利用惰性气体或还原气氛以抑制氧化反应，也是阻止或减缓高温腐蚀的有效途径。

在结构性的策略安排上，预防为主的理念不容忽视。工业建筑的设计需要充分考虑高温环境对材料的潜在影响，通过避免设计上潜在的热桥效应和热应力集中，以减轻构件的热负荷。同时，应实行严格和定期的维护监测，针对关键区域和构件执行温度监测与材料性能检测，以便于发现及时采取补救措施。而针对炼钢厂特别是炼钢炉等关键设备，建议深入研发与应用新型耐腐蚀耐热涂料，这包括研究如何降低涂层在高温下的气孔率，优化涂层结构来提高其反应产物的逸出能力，以及利用纳米技术等先进领域改善涂层材料的耐热与防护性能。

2.4 微生物腐蚀的识别与防治

在工业建筑的腐蚀问题中，微生物诱发的腐蚀现象逐渐受到重视，其隐蔽性和复杂性使得识别与防治比较棘手。微生物腐蚀通常发生于微生物活动旺盛的环境，如缺乏适当排水系统的湿润区域，实地观测到的征兆包括结构表面的异常沉积物、颜色变化或是地坑外观。

在炼钢厂等工业环境中，细菌可以通过代谢产生腐蚀性的化合物，其中硫酸盐还原菌(SRB)是极为“臭名昭著”的，它能促进硫化氢生成并引起硫化物应力裂纹。早期识别的方法可包括微生物监测，利用培养基透视并计算特定的细菌，实验分析如电子显微镜下的微观结构变化，及时做出反应是较为关键的。

防治策略应聚焦在控制微生物的活动和中断其腐蚀作用，策略包括环境控制、定期清洁和微生物活性的化学抑制。环境控制策略意味着对湿度和温度的严格管理，结构设计的时候应该力求避免积水的设计缺陷，并排除导致结构损害的设计弱点。例如，结构中凹陷部位及难以排水的角落，应尽可能设计成易于清洁的空间，从而降低微生物聚集的可能性。并且化学抑制剂的使用也是常规做法，比如广泛应用的生物剂可以抑制或消灭特定的微生物群体。然而，不能忽略生物剂本身的选择性和环境影响，需谨慎选择，避免对环境造成不利影响，并考虑到微生物抗药性的发展。

3 工业建筑腐蚀防护措施研究

3.1 传统防腐材料的改良与应用

当前，对传统防腐材料的创新改良主要集中在优化防腐机理、延长使用寿命以及提升生态环境适应能力三大关键点上。具体应用方面，环氧树脂涂料以其出色的附着力和形成致密保护膜的能力，被广泛用于防腐涂层制造。最新研究着力在纳米填料的添加及固化工艺的创新上，以实现涂层性能的显著优化，其中通过引入纳米二氧化硅、纳米氧化铁等填料，不仅提升了防腐层的力学性能，还显著增强了其化学稳定性和抗高温能力^[3]。此外，采用UV固化等绿色技术，进一步降低挥发性有机化合物的排放，使之更符合环保要求。

在镀层材料的选择和应用上，热镀锌技术通过形成牢固的锌基保护层，有效隔离金属基体与腐蚀介质接触，延缓腐蚀进程。针对高温下锌层易发生氧化的问题，可以添加稀土元素对提高膜层的高温抗氧化性能的效果。

现阶段，耐腐蚀合金的开发也在不断的进展，如Al-Zn-In的牺牲阳极材料，凭借其在激烈腐蚀环境下的稳定电化学性能及较佳的阳极效率，赢得了工业界的关注，特别在海洋和盐雾环境下的应用潜力巨大。

推进传统防腐材料的改良与应用，关键在于将材料科学、表面工程与电化学等多学科领域的研究成果有效结合，形成一条集成化、定制化的创新链。这一进程不仅需要专业

技术人员和科研机构的通力合作，更依赖于工业实践的反馈与指导，从而实现实验室到生产线的无缝对接。

3.2 新型防腐技术的开发与实践

探索与落实新型防腐技术，突破性在于采用智能材料与纳米技术相结合的方法，开发具有自愈合功能的防腐涂层。这类涂层借助微胶囊或纳米载体，将修复剂包裹其中，在腐蚀介质侵袭导致涂层损伤时，能自动释放修复剂进行现场快速修补，恢复其保护功能。这种自愈合防腐技术以其主动防御和延长维护周期的优势，在提高炼钢厂设施耐腐蚀性能的同时，明显减少了维护成本。

另一个创新方向是利用超疏水性表面技术，模仿自然生物表皮结构的特征，通过特定的表面处理和涂层形成技术，实现超疏水性表面的构造。这种表面能显著降低水分与基材直接接触的机会，有效减少腐蚀介质的侵入，为金属结构提供了额外的保护层。在高湿度等极端环境条件下，超疏水性技术表现出的防腐效果，为其在工业应用提供了巨大的潜力。还有电化学保护技术的革新，特别是导电聚合物的应用，也为防腐领域注入了新活力。通过在腐蚀易发区域施加微小的外加电流，强化金属表面的钝化层，从而在微观层面上阻断腐蚀反应的进行。配合智能感应系统，可以根据腐蚀状态实时调整保护参数，充分发挥材料的防护作用。

3.3 结构设计中的防腐蚀考量

在炼钢厂等工业建筑的设计过程中，针对炼钢厂特有的工业环境，结构设计师需要深入理解不同腐蚀机制及其对各种建筑材料的影响。例如，炼钢厂内部常见的高温、湿气、化学物质蒸发等因素，都可能导致金属和非金属材料的加速腐蚀。因此，设计时选择适宜的材料和构造方式，对于实现有效的腐蚀控制尤为重要。首先需要考量的是在设计初期即选用具有高耐腐蚀性能的材料。针对炼钢厂的特殊环境，不锈钢、镀锌钢及含有镍、铬等合金元素的特种钢材，因其优异的防腐特性而常被选用于关键结构部位。采用高性能混凝土、添加抗腐蚀剂或纤维增强的混凝土，也能有效延缓结构的腐蚀过程。

设计构造上的创新思考，如避免设计中产生容易积水的死角、确保良好的排水系统和通风条件，同样对于控制腐蚀至关重要。打磨平滑的接触面、采用斜面设计以促进雨水流走，以及在结构接缝处使用密封材料阻止水汽侵入，均是值得考虑的细节措施。还有就是利用现代信息技术手段，结合计算流体动力学（CFD）和有限元分析（FEA）等模拟技术，可对设计方案进行优化，通过预测腐蚀风险点，指导结构设计的调整。这种方法不仅提高了设计效率，也显著增强

了结构的防腐能力。

3.4 维护与监测体系的构建

构建完善的维护与监测体系的第一步就是拟定出一个包罗万象的维护计划，主要内容应详尽列明各项检查的时间表与责任分配，并配套相应的标准操作流程（SOP）文件，确保每次检查都严格遵守既定的工业标准和最佳实践。而且监测体系中对腐蚀监测技术的应用，需要能够实时捕捉腐蚀状态，提供即时的数据支持。例如，利用电化学阻抗谱（EIS）能够评估保护层的完整性；应用线性极化电阻（LPR）技术可以准确量化腐蚀速率。此外，长期稳定性良好的金属损失感应器和环境敏感植入物等，也能通过测定其在特定环境下的腐蚀耗损，间接体现整体结构的腐蚀状况。

为了利用监测数据优化维护行动，采纳先进的数据分析技术是必要的。结构健康监测（SHM）系统能够集成多个传感器模块，形成分布式监测网络。依靠数据挖掘及模式识别算法，该系统可分析出腐蚀发展的趋势，实施预测性维护。例如，通过对历史腐蚀数据的分析，可以推断出某些区域的高腐蚀风险，以及可能的潜在破坏形式，实施针对性地检查与干预措施，并且建议整合互联网技术与移动通信手段，可以将监测数据上传至云端数据库，通过专业的云计算服务，实现维护数据的集中处理与智能分析。这种结合物联网（IoT）的维护监测体系将工业建筑腐蚀防护推向智能化、自动化领域。

4 结语

论文旨在强调，对工业建筑腐蚀特性的深入理解及有效防护措施的实施对维护工业设施的稳定性具有决定性意义。从化学、电化学、高温到微生物腐蚀，各种腐蚀机制的揭示为工业建筑提供了针对性的维护策略。同时，打破传统思维，运用创新材料和技术，以及前瞻性的结构设计考量，为工业建筑的腐蚀防护提供全新视角。未来，维护与监测体系将在智能化、自动化的发展趋势下，继续扮演着至关重要的角色，为炼钢厂等工业建筑赋予更强的生命力与更广的发展空间。

参考文献

- [1] 郭永杰.工业建筑结构防腐设计问题探讨[J].居业,2022(7):106-108.
- [2] 王嘉琪,李莉,刘婷婷.工业建筑屋面用铝锰合金的腐蚀行为[J].中国腐蚀与防护学报,2022,42(4):693-698.
- [3] 相晶磊.工业建筑防腐蚀工程设计策略[J].全面腐蚀控制,2022,36(4):95-96.