

钢结构构件锈蚀防护处理研究

陈鹏展 张巍 孙登攀 费传金 贾雁凯

中国建筑第八工程局有限公司上海分公司，上海市浦东区，200120；

摘要：钢结构构件因其高强度、耐久性和适应性广泛应用于各类建筑与工程中，但其防腐问题仍然是工程领域亟待解决的难题。随着气候变化和环境污染的加剧，钢结构的锈蚀现象愈加严重，造成的经济损失和安全隐患不容忽视。本文探讨了钢结构构件锈蚀的形成机理，分析了国内外钢结构防腐技术的发展历程，并深入剖析了当前防腐技术所面临的挑战。通过对涂层技术、金属表面处理、环境友好型防腐技术等关键防护措施的分析，提出了优化的防腐策略和施工工艺。文章旨在为钢结构防腐技术的应用与推广提供理论支持与实践指导，最终实现对钢结构长期稳定性的保障。

关键词：钢结构；锈蚀防护；防腐技术；涂层防护；表面处理

DOI：10.64216/3080-1508.25.11.001

引言

钢结构作为现代建筑的重要组成部分，其优越的力学性能和设计灵活性使其成为众多工业与民用工程的首选。然而，在日益严苛的环境条件下，钢结构锈蚀问题严重制约了其使用寿命与安全性。钢材表面形成的锈蚀，不仅影响外观，还会削弱结构承载力，甚至导致重大工程事故。面对这一挑战，钢结构防腐技术的研究与发展显得尤为重要。随着技术的进步，国内外对钢结构防腐的关注逐渐增多，但目前的防护措施仍无法完全应对环境变化带来的复杂性。因此，探索更加高效、长效的防腐技术，不仅是工程领域的迫切需求，也关系到公众安全与生态环境的可持续发展。

1 钢结构构件锈蚀防护的研究背景

1.1 结构构件锈蚀的形成机理

钢结构的锈蚀过程是一个自然的物理化学现象，它的产生主要由外部环境的变化以及钢铁本身的性质决定。当钢材暴露于湿气、氧气和污染物中时，电化学反应启动，导致金属表面与空气中的氧气发生反应，形成氧化铁。铁的氧化不仅仅是物理损伤，还会在表面形成一层松散的氧化皮，这层皮并不能完全隔绝外界的侵蚀，反而成为电流传导的媒介，进一步加速腐蚀的进程。长期的湿润或腐蚀性介质，如酸雨、海水等，加剧了这种腐蚀的恶性循环。因此，了解其形成机理对于钢结构的防护尤为重要。

1.2 钢结构防腐技术发展现状

随着越来越多钢结构在各行业的应用，对应的钢结构防腐技术也由传统的普通油漆涂层防腐转化为先进、

高效防腐技术。钢结构防腐最初的防护办法是使用普通的油漆进行覆盖，此种方法造价低，但防腐效果欠佳，容易在外力环境下氧化生锈。近些年来，随着材料技术的进步，防腐涂层逐渐出现了高分子类的合成聚合物、环氧树脂等高效率防腐涂料，且防腐性能较高，能够显著提高钢结构的使用年限。近几年来，电化学保护、阴极保护等新技术不断出现在钢结构的防腐领域。

2 钢结构防腐技术面临的主要问题

2.1 环境因素对钢结构锈蚀的影响及控制难度

外部环境是造成钢结构锈蚀的主要原因之一，水蒸气的含量、空气温度、盐雾含量、大气中其它酸性成分等含量都会加速钢铁锈蚀速率，而沿海城市或工业发达的城市，空气含盐分、酸性成分含量大，钢结构锈蚀在较短时间内就会变得异常严重，空气湿度变化影响锈蚀反应的进行频次，在冬天这种湿度变化，霜雪融化又容易诱发局部点状锈蚀加速。所以这种自然因素的不可控性也使得钢结构的防腐工作往往无法真正做到量体裁衣，成为防腐工作的难处所在，这也亟待在各种特殊环境里做好防腐除锈工作^[1]。

2.2 现有防护技术的局限性与实施难点

尽管当前各种防腐技术发展迅速，但技术条件仍然受限以及现实操作中存在的诸多难题仍然存在。例如，在运用涂层类技术进行涂层防腐时，因为施工环节中所处的施工环境、涂层的质量以及环境等多方面因素容易受到制约。此外，涂层材料在高温、水浸泡甚至化学腐蚀等环境下，易产生短时间保护失效。上述这些涂层材料对某些特殊环境防腐防护难以实现。由于海上平台以

及大型桥梁等特殊领域、特殊工况环境大、成本高的传统防腐措施难以实现防腐要求。除了还有较多使用高效的、环保的防腐保护材料,但这些新技术的发展依然受限于高的生产成本、复杂的施工工艺,在使用上有困难。由此可见,如何才能在有限的资金内获得较高的防腐效果,是技术突破的关键。

2.3 钢结构防腐技术应用中的经济与社会挑战

在钢结构防腐技术的实践中,存在的问题不仅仅在于技术层面的方面,还关乎到经济层面与社会层面问题。很多企业需要巨额的资金在实施初期进行防腐处理的铺设,而后续也需要花费大量的成本进行持续的维护,在实际防腐工作中,难免会导致很多中小企业在实际防腐工作中花费大量资金,但是出于经济方面的考虑,只能够实施简化型的防腐技术,而长期使用中,钢架受到侵蚀的状况更加严重。钢结构防腐技术的实施需要专业人才及高技术含量的施工人员的支持,但是在实际的防腐工作中很多地区缺乏人才培养及专业的技术人才,难以对钢结构防腐技术的有效性 with 广泛性进行普及与应用。随着对环境保护要求的越来越高,很多腐蚀钢材产品中的有毒成分已经被淘汰了,这就对腐蚀钢结构的现有技术的改进和替换提出了更多社会责任的考量。在现实的钢架防腐工作中,能否在尽可能的合理范围内保证经济效益的提升,并满足环境和社会要求,形成双重的压力。

3 钢结构构件锈蚀防护处理的关键技术

3.1 涂层防护技术的优化策略与应用方法

在钢结构防腐工程中,涂层是处理的关键,而涂层的有效与完善应为其优化途径,选择适宜的涂层是防护结构的一大重点。一套优质的涂层必须对防腐性较强、与材料有较好的附着力、具有耐磨性的同时,能与复杂环境的变化相适应。合理的选材与技术合理性的结合应为实现涂层的持续性与防护的关键。合理的材质选择应综合考量诸多方面的性能与防护作用,以适应相对恶劣的高湿、高温、盐雾等环境中存在。例如,选用环氧树脂材料(epoxyresin)、聚氨酯材料(polyurethane)作为防护的材质具有较强的耐腐蚀性、耐候性等。针对化学工业的特殊环境中存在,也可以选用氟碳涂料(fluorocarboncoatings)作为防护的材质,在化学腐蚀、热稳定等领域具有较好的防护作用。除合适的选材外,也应强化涂料施工过程中施工的要点、防护涂装的注意事项。涂层均匀、厚度、附着力、均一性、强度等

直接关系涂层的质量效果,以机械喷涂、真空涂装、自动化涂装等先进施工工艺代替传统的人力操作方式,保证施工质量;对涂层的环境质量进行管控,在控制环境温度、湿度时也会影响涂层固化的程度。由此可知,施工工艺的改进不仅要从施工材料上进行创新,在施工工艺流程中同样要提高精细化水平^[2]。改进钢结构的防护涂层技术中另一个重要的方法就是对涂层实施定期检查及保养,钢结构经长期暴露后涂层难免出现老化、局部脱落等问题,建立科学合理的钢结构涂层保养管理体系、定期钢结构防腐巡检、钢结构涂层的局部修复以及对涂层防护状态的监测都是涂层防护质量管理工作中的重要组成部分。通过建立涂层质量信息档案,并运用数据分析、智能监测系统实施涂层的健康“护理”来保证钢结构长期运行中较好的涂层防护能力。

3.2 金属表面处理技术的技术优化与应用步骤

金属表面处理技术是当前实现钢结构防腐防锈的主要方法,其主要作用是增强金属表面的抗腐蚀力,并在很大程度上延长金属钢材的使用寿命。传统金属表面处理技术主要有喷砂处理技术、磷化处理技术、酸洗处理技术等,其具有一定的提高钢材表面附着力的改进效果,且提升作用无法长期稳定存在。因此,对金属表面处理技术进行改进,尤其是实现传统金属表面处理技术的改良与现代金属表面处理技术的结合运用,十分关键。在金属表面处理技术的选择中,可以借助激光清洗(laser cleaning)技术对金属锈蚀层、油脂污染物和其它污染物的清洗,并在金属基体结构不变情况下,提高钢材表面的附着力。该清洗技术不仅节能环保,而且还可以实现对清洗精度温度和深度等方面的控制。此外,还可以利用金属表面涂覆技术(metalsurfacepainting)增强金属表面的防腐性能,常见的有镀锌处理技术、喷涂金属技术,此种方法可实现对金属表面的防腐层涂覆,使金属表面与内层金属相隔离,从而提升钢结构表面的防腐能力。尤其是应用于海工、化学等特殊领域,对金属表面处理工艺能够形成有效的防腐蚀隔离层,保护钢结构的不被腐蚀破坏^[3]。工艺的改进依赖于设备的进步。随着智能机器的应用,金属表面处理自动化水平也不断提升。通过数字控制装置,对清洗、涂覆的时间、压力、温度等进行准确控制,实现表面处理质量的提升。同时,现代化无损检测技术(NDT)也方便、快捷和准确地对金属表面处理质量进行检测,确保各项工序都达标,不产生操作误差。

3.3 环境友好型防腐技术的选择与实施路径

环境友好型防腐技术的引入,不仅响应了全球环保政策的需求,也顺应了可持续发展战略的趋势。在钢结构的防腐过程中,采用传统的化学防腐涂料往往会带来一定的环境污染和安全隐患。因此,寻找一种更加绿色、环保的防腐方法,成为技术发展的必然方向^[4]。选择环境友好型防腐技术的关键,是要确保其在降低对环境的影响的同时,依然能够保持较高的防腐效果。例如,水性涂料(waterborne coatings)逐渐成为环保防腐领域的首选。与传统溶剂型涂料相比,水性涂料不仅不含有害溶剂,减少了挥发性有机物(VOCs)的排放,还具有较强的附着力和耐腐蚀性。这类涂料尤其适用于钢结构表面的长期防护,且在施工过程中更加安全、易操作。除了水性涂料,纳米防腐技术(nanotechnology)也是近年来环保领域的一项创新突破。通过在涂料中加入纳米材料(如二氧化钛、纳米氧化锌等),可以显著提高涂层的耐腐蚀性、耐候性和自清洁能力。这些纳米材料的微观结构和高表面积使得涂层在面对腐蚀介质时,能够形成更强的保护膜,延缓锈蚀过程。

3.4 钢结构防腐施工工艺的标准化与质量控制策略

钢结构防腐施工不是简单的施工操作,它是确保建筑物长久使用、降低后期维护成本的重要环节。当前施工质量参差不齐,提升防腐施工工艺的规范性是保障质量、提升效率的根本措施。要规范化操作就需要制定一个统一的工艺流程、统一的施工标准。不论选用何种涂料,还是涂装技术的具体操作,都需根据不同工况和使用需求进行精细化的设定,避免盲目施作引发的施工质量问题^[5]。规范化首先从钢材的表面处理做起,将每一块钢板做到一定程度的干净和粗糙,这为后续防腐涂层的黏结度奠定基础。其次是对于涂装工艺制定规范流程,如涂料的调和配比、喷涂厚度、烘干时长等都需要做精细控制。不仅需加强施工工艺的规范化操作,做好施工人员的技术培训和资质认证工作,保证每一个操作环节都高质量施工。加强施工过程中的质量管控,如利用先进的监测设备,实时监视施工各个环节。利用智能化设备和在线检测装置,对涂层厚实程度、均匀性、干燥度等进行监测,从源头上保障施工质量。加强施工过后质量检查与验收工作,采用规范质量检测与评估的方法,每个施工环节都要符合行业标准,最终形成长效防腐。

3.5 长期防腐效果评估与维护管理的方法与策略

钢结构的防腐是一个长期的、动态的工程,防腐效果和维护管理措施直接对结构耐久性和安全性能产生重大影响。因此有必要开展系统的长期评价维护。对防腐工程施涂完成后开展周期性的现场测试是确保防腐有效性和寿命的最重要的环节。针对防腐涂料的施工质量,通过合理的检测周期开展涂层检测,通过涂层附着力、防腐抗老化性能、表面缺陷等方面的评估,及时发现腐蚀部位,为后期维护提供数据保障。针对钢结构长期防腐的维护,关键还是通过科学的方案,在定期检查防腐涂层的基础上,对有失效的涂层和腐蚀的部位开展局部修补、涂层修补、防腐层加固等措施,维护提高防腐涂层的长期防护寿命。开展防腐维护管理也应在针对防腐设计使用年限和钢结构本身使用年限、环境状况和加载情况等方面的综合考虑,确保防腐措施能够根据工程实际情况进行适当的调整^[6]。

4 结束语

综上所述,钢结构腐蚀与防护研究是一个不可规避的问题,需要从多方面考虑安全、经济及环保等诸多因素,防腐技术从喷涂到镀锌涂装及防腐体系、环境保护与可持续发展等方面日趋完善,每一次技术革新,都为钢结构的长久稳定提供着源源不断的动力,当前防腐领域的技术问题虽然很多,但是通过技术的进步与标准化工序的应用相信未来的防腐体系会更加有效持久,更加环保。因此,钢结构的防腐体系的不断完善不仅是解决目前腐蚀与防护问题的必然趋势,同时也是将工程带往更趋向可持续性、更加智能化方面发展的重要环节。

参考文献

- [1] 苏雷. 选煤厂的钢结构腐蚀因素分析及预防措施[J]. 环境技术, 2023, 41(2): 128-132.
- [2] 郭凯宁. 钢结构在极端环境下的耐久性与完整性评估[J]. 产品可靠性报告, 2024(12): 121-122.
- [3] 魏欢欢, 雷天奇, 郑东东, 等. 锈蚀钢结构连接节点抗震性能研究进展[J]. 装备环境工程, 2023, 20(1): 97-103.
- [4] 杨璐. 青藏铁路格拉木段站台钢结构雨棚锈蚀分析[J]. 结构工程师, 2024, 40(2): 155-162.
- [5] 唐江飞. 基于机器视觉的铁塔钢结构锈蚀检测技术[J]. 中国新技术新产品, 2024(6): 69-71.
- [6] 戴润达, 于红杰, 付常谊, 等. 环槽铆钉连接副抗腐蚀性性能及夹紧力群铆试验研究[J]. 世界桥梁, 2023, 51(2): 76-81.