

钢结构防腐防火一体化涂层施工工艺创新

郑刚忠

温州建设集团有限公司 浙江 温州 325000

摘要：钢结构作为现代建筑的核心材料，其防腐防火性能直接关系到结构安全与使用寿命。传统防腐防火涂层施工存在工序繁琐、周期长、成本高及涂层相容性不足等问题，制约了工程效率与质量。本文聚焦钢结构防腐防火一体化涂层施工工艺创新，从材料选择与配比、表面处理技术、涂层施工工艺及质量控制技术等维度，探讨新型涂料研发、高效除锈工艺、智能化涂装设备应用及在线检测技术等创新要点，旨在通过一体化技术整合，突破传统工艺瓶颈，提升涂层综合性能，为钢结构防护工程提供高效、经济、可靠的施工解决方案。

关键词：钢结构；防腐防火；一体化；涂层施工；工艺创新

引言：钢结构凭借高强度、轻量化及施工便捷等优势，广泛应用于建筑、桥梁、能源等领域。然而，钢材易受环境腐蚀及火灾威胁，防腐防火涂层作为关键防护手段，其施工工艺的科学性与先进性至关重要。传统施工中，防腐与防火涂层分阶段施工，导致工序重复、交叉污染及界面结合不良等问题，难以满足现代工程对工期、成本及性能的多重需求。随着材料科学与施工技术的发展，一体化涂层技术通过整合防腐与防火功能，实现“一涂多效”，成为行业升级的重要方向。本文结合工程实践，分析传统工艺痛点，系统阐述一体化涂层施工工艺的创新路径，以期提升钢结构防护工程质量、推动绿色低碳施工技术发展提供理论与实践参考。

1 钢结构防腐防火一体化涂层技术概述

钢结构防腐防火一体化涂层技术，是通过研发具有多重防护功能的涂料，将防腐与防火两种性能集成于单一涂层体系的新型防护技术。其核心原理在于利用特殊配方，使涂层在常态下形成致密防腐膜，隔绝氧气、水分与腐蚀介质，防止钢材锈蚀；遇高温时，涂层迅速膨胀形成隔热炭化层，延缓热量传导，提升钢结构耐火性能。相较于传统防腐防火分步施工的方式，一体化涂层技术具有显著优势。一方面，它简化了施工流程，减少了涂层间的相容性问题，有效降低施工风险；另一方面，通过一次涂装实现双重防护，大幅缩短工期、降低综合成本。此外，一体化涂层凭借其良好的整体性，能够避免传统多层涂装因层间界面薄弱导致的剥落风险，提升防护体系的长期稳定性。该技术的应用对钢结构工程具有重要意义。在建筑、桥梁、能源等领域，一体化涂层技术不仅保障了钢结构的安全性与耐久性，还契合了绿色施工与可持续发展理念，成为推动钢结构防护技术革新的关键力量，为现代工程建设提供了更高效、可

靠的解决方案^[1]。

2 传统钢结构防腐防火涂层施工工艺现状

2.1 施工工序繁琐

传统钢结构防腐防火涂层施工工序包含多个复杂环节，前期表面处理需彻底清除钢结构表面的油污、锈迹、氧化皮等杂质，需严格按照Sa2.5或St3级标准执行，喷砂、抛丸、打磨等操作对工艺要求极高，任何残留杂质都可能成为涂层失效的隐患。表面处理完成后，底漆、中间漆、面漆需分层涂装，每层涂装不仅对涂刷厚度、方向有精确要求，且需严格控制各涂层间的干燥时间与间隔周期。钢结构构件的复杂几何形状和大量焊缝、边角部位，还需进行针对性的加强处理，人工操作难度大，容易出现漏涂、厚度不均等问题，整个施工流程环节多、技术标准高，导致施工过程极易出现质量波动。

2.2 施工周期长

传统钢结构防腐防火涂层施工受工艺和环境因素制约，工期冗长。表面处理阶段，大型钢结构工程因处理面积大，喷砂、抛丸作业效率低，即便使用高效设备，仍需逐段处理，且处理后需等待钢材完全干燥，防止二次返锈，耗时显著增加。涂层施工过程中，每层涂料干燥固化时间受环境温湿度影响严重，在低温、高湿环境下，涂料干燥速度大幅减缓，甚至出现不干现象。为达到设计厚度，每层涂料需多次重复涂刷，叠加多层干燥时间，形成较长施工周期。若施工中出现涂层缺陷需返工处理，更会进一步延长工期，严重影响整体工程进度和交付时间。

2.3 成本较高

传统钢结构防腐防火涂层施工在材料、人工、设备等方面成本压力突出。材料层面，高性能防腐防火涂料本身价格昂贵，随着环保法规趋严，对涂料VOC（挥发

性有机化合物)含量限制提升,迫使企业使用更环保、成本更高的原材料,进一步推高单价。施工环节,表面处理和涂层涂装需专业技术工人操作,人工成本显著高于普通工种;喷砂设备、喷涂设备等前期购置和后期维护保养费用高昂,设备运行还需消耗大量能源和耗材。此外,复杂施工工艺导致的高返工率,使得材料损耗、人工成本重复投入,同时施工周期延长带来的场地租赁、设备闲置等隐性成本也不容忽视,最终大幅增加工程整体造价。

2.4 涂层相容性和附着力问题

传统钢结构防腐防火涂层体系中,不同涂层间的相容性和附着力问题频发。由于底漆、中间漆、面漆由不同化学成分构成,若材料选择不当或配套不合理,涂层间可能发生化学反应,导致互溶性差,出现分层、咬底、开裂等现象。例如,溶剂型涂料与水性涂料混合使用时,极易因溶剂体系不匹配引发涂层失效。在附着力方面,即便钢结构表面处理达标,涂料本身的配方性能、施工工艺也会影响附着效果。涂料固化速度过快或过慢、施工时环境温湿度不适宜、涂层厚度不均匀等,都会削弱涂层与钢材表面的结合力,导致涂层在使用过程中受外界环境侵蚀、机械应力作用时,出现起皮、脱落等问题,严重降低钢结构的防护性能和使用寿命^[2]。

3 钢结构防腐防火一体化涂层施工工艺创新要点

3.1 材料选择与配比创新

3.1.1 新型涂料研发

传统防腐与防火涂料功能单一,难以满足钢结构复杂的防护需求,新型涂料研发成为一体化涂层技术突破的关键。研发人员通过融合纳米材料、复合树脂、相变材料等新型组分,赋予涂料多重防护性能。例如,在涂料中添加纳米二氧化钛、石墨烯等材料,可显著提升涂层的耐腐蚀性,其纳米级颗粒能够填充涂层孔隙,形成致密的物理屏障,有效阻挡腐蚀介质渗透;引入膨胀型阻燃剂与成炭剂复合体系,使涂料遇高温时迅速膨胀形成均匀、致密的炭化层,延缓热量传递。新型涂料注重环境友好性,研发水性涂料、无溶剂涂料替代传统溶剂型涂料,减少挥发性有机化合物(VOC)排放,降低对环境和施工人员健康的危害,推动钢结构防护材料向绿色、高性能方向发展。

3.1.2 涂料配比优化

涂料性能不仅取决于原材料的选择,科学的配比更是发挥其综合防护效能的核心。在防腐与防火功能的平衡上,需精确调控防锈颜料、阻燃剂、成膜物质等成分的比例。过多的阻燃剂可能影响涂层的柔韧性和附着

力,降低防腐性能;而防锈颜料占比过高,则会削弱防火膨胀效果。通过正交试验、计算机模拟等手段,研究人员探索出不同工况下的最佳配比方案。例如,针对海洋环境中的钢结构,适当增加锌粉等牺牲阳极材料的比例,提升涂层的阴极保护能力;在高温高湿环境中,优化树脂与填料的配比,增强涂层的抗湿热性能。此外,结合流变学原理,调整涂料的黏度、触变性等参数,使其在施工过程中具备良好的流平性和雾化效果,确保涂层均匀致密,实现防腐防火性能的最大化。

3.2 表面处理技术创新

3.2.1 新型涂料研发

传统防腐与防火涂料功能单一,难以满足钢结构复杂的防护需求,新型涂料研发成为一体化涂层技术突破的关键。研发人员通过融合纳米材料、复合树脂、相变材料等新型组分,赋予涂料多重防护性能。例如,在涂料中添加纳米二氧化钛、石墨烯等材料,可显著提升涂层的耐腐蚀性,其纳米级颗粒能够填充涂层孔隙,形成致密的物理屏障,有效阻挡腐蚀介质渗透;引入膨胀型阻燃剂与成炭剂复合体系,使涂料遇高温时迅速膨胀形成均匀、致密的炭化层,延缓热量传递。同时,新型涂料注重环境友好性,研发水性涂料、无溶剂涂料替代传统溶剂型涂料,减少挥发性有机化合物(VOC)排放,降低对环境和施工人员健康的危害,推动钢结构防护材料向绿色、高性能方向发展。

3.2.2 涂料配比优化

涂料性能不仅取决于原材料的选择,科学的配比更是发挥其综合防护效能的核心。在防腐与防火功能的平衡上,需精确调控防锈颜料、阻燃剂、成膜物质等成分的比例。过多的阻燃剂可能影响涂层的柔韧性和附着力,降低防腐性能;而防锈颜料占比过高,则会削弱防火膨胀效果。通过正交试验、计算机模拟等手段,研究人员探索出不同工况下的最佳配比方案。例如,针对海洋环境中的钢结构,适当增加锌粉等牺牲阳极材料的比例,提升涂层的阴极保护能力;在高温高湿环境中,优化树脂与填料的配比,增强涂层的抗湿热性能。此外,结合流变学原理,调整涂料的黏度、触变性等参数,使其在施工过程中具备良好的流平性和雾化效果,确保涂层均匀致密,实现防腐防火性能的最大化。

3.3 涂层施工工艺创新

3.3.1 新型涂装设备应用

传统涂装设备在效率与精度上难以满足一体化涂层施工需求,新型涂装设备的应用成为提升施工质量的关键。高压无气喷涂设备凭借其高压力、高流量特性,

可实现涂料的高效雾化,大幅提升涂层的覆盖效率,减少人工喷涂的不均匀性;智能机器人涂装系统通过编程控制,能够精准规划喷涂路径,自动调整喷涂角度与距离,尤其适用于复杂结构钢结构,避免人工操作的误差与安全隐患。此外,粉末静电喷涂设备利用静电吸附原理,使涂料均匀附着于钢结构表面,不仅提高涂料利用率,还能形成更致密的涂层,有效增强防腐防火性能,推动施工向自动化、精准化方向发展。

3.3.2 施工工艺参数优化

施工工艺参数直接影响涂层质量与施工效率,优化参数是一体化涂层施工的重要环节。喷涂压力、距离、速度等参数需根据涂料特性与钢结构表面状况进行调整。压力过大易导致涂料飞溅,造成浪费且影响涂层平整度;压力过小则涂层厚度不足,防护性能降低。通过试验确定涂料最佳雾化压力与喷涂距离,结合钢结构形状与尺寸,合理控制喷枪移动速度,确保涂层均匀覆盖。同时,环境温湿度对涂料干燥固化影响显著,需严格控制施工环境条件,如在湿度较高时采用除湿设备,温度较低时使用加热装置,为涂层固化创造最佳条件,保障涂层性能稳定。

3.3.3 多层涂装工艺改进

传统多层涂装存在工序繁琐、涂层间结合不良等问题,多层涂装工艺改进旨在简化流程并提升涂层整体性。创新采用“湿碰湿”涂装工艺,在底漆未完全干燥时直接喷涂中间漆或面漆,减少涂层干燥等待时间,提高施工效率,同时避免因表面污染影响层间附着力。此外,优化涂层间隔时间与涂装顺序,根据涂料固化特性,合理安排每层涂层的喷涂时间,使涂层间形成化学交联,增强层间结合力。针对厚涂型防火涂层,采用分层喷涂、逐层加厚的方式,防止涂层因一次性喷涂过厚出现开裂、脱落等问题,确保多层涂层协同发挥防腐防火功能,提升钢结构防护体系的耐久性。

3.4 质量控制技术创新

3.4.1 在线检测技术应用

传统涂层质量检测多依赖人工抽检与离线检测,存在滞后性和局限性,难以实时把控施工质量。在线检测技术的应用有效弥补了这一缺陷。利用光谱分析技术,可在涂装过程中实时监测涂料成分,确保涂料配比符

合标准;激光测厚仪能快速、精确测量涂层厚度,通过与预设参数对比,及时调整喷涂工艺,避免涂层过厚或过薄。此外,红外热成像技术可检测涂层表面的温度分布,快速发现因涂层缺陷导致的散热异常区域,如漏涂、孔洞等问题。声发射检测技术则能捕捉涂层内部微小裂纹扩展时产生的应力波信号,实现对涂层内部缺陷的早期预警。这些在线检测技术通过自动化、智能化的实时监测,显著提升了质量检测的效率与准确性,保障施工过程中的涂层质量稳定可控。

3.4.2 质量追溯体系建设

建立完善的质量追溯体系是保障钢结构防腐防火一体化涂层工程质量的重要举措。该体系以信息化技术为支撑,通过对原材料采购、涂料生产、施工过程、质量检测等全流程关键信息进行数字化记录与存储,实现质量信息的可追溯性。在原材料环节,记录涂料批次、供应商信息及检测报告;施工过程中,通过施工日志、设备运行数据、人员操作记录等,精确追踪每一道工序的执行情况;质量检测数据则完整保存,包括检测时间、方法、结果等。一旦出现质量问题,可通过唯一的产品编码或施工标识,快速追溯到具体的材料批次、施工人员、施工时间及操作环节,明确质量责任,同时为后续质量改进提供数据依据。此外,质量追溯体系还能增强施工企业的质量管控意识,提升客户对工程质量的信任度,推动钢结构防护工程质量管理规范化与标准化^[1]。

结束语

钢结构防腐防火一体化涂层施工工艺创新,为钢结构防护领域带来了革命性变革。通过材料、技术与管理的多维度突破,不仅解决了传统工艺工序繁琐、成本高昂等痛点,还显著提升了涂层的综合防护性能与施工效率。随着新型涂料研发、智能设备应用及质量追溯体系的不断完善,该技术正朝着绿色化、智能化方向迈进。

参考文献

- [1]范潇.工业钢结构厂房防腐防火的对措分析[J].山东工业技术,2019,(10):123-124
- [2]靳朝晖.钢结构厂房加工、安装及防腐涂装技术分析[J].纯碱工业,2023,(03):236-238.
- [3]段莹.钢结构厂房加工、安装及防腐涂装施工技术研究[J].造纸装备及材料,2022,51(09):138-140.