

轨道车辆涂装中的防腐蚀技术研究与实践

唐世周 王晓东 杨延龙 金喆 王贝
中车大连机车车辆有限公司 辽宁 大连 116022

摘要: 轨道车辆, 作为城市交通的脊梁, 其运行环境的多样性和复杂性对其耐久性提出了严峻挑战。防腐蚀涂装技术作为延长车辆使用寿命、保障行车安全的重要手段, 一直是行业研究的热点。本文深入探讨了轨道车辆涂装中的防腐蚀技术, 从材料选择、工艺优化到实践应用等多个维度进行了全面剖析, 旨在为轨道车辆的防腐蚀涂装提供理论与实践指导。

关键词: 轨道车辆; 涂装; 防腐蚀技术; 研究现状; 实践应用

引言

随着城市化进程的加速, 轨道车辆在城市交通中的作用日益凸显。然而, 复杂的运行环境使得轨道车辆易受到腐蚀的威胁, 进而影响其安全性和经济性。防腐蚀涂装技术, 作为一道重要的保护屏障, 对于确保轨道车辆的长期稳定运行具有重要意义。本文旨在系统梳理轨道车辆涂装防腐蚀技术的研究现状, 并结合实践经验提出针对性的优化策略。

1 轨道车辆涂装防腐蚀技术概述

1.1 防腐蚀涂装的基本原理与重要性

防腐蚀涂装是通过在金属表面形成一层连续、致密的涂层, 以隔绝腐蚀介质与金属基材的接触, 从而达到防腐蚀的目的。这层涂层不仅能有效抵抗水分、氧气、盐雾等环境因素的侵蚀, 还能在一定程度上减缓金属的电化学腐蚀过程。对于轨道车辆而言, 防腐蚀涂装的重要性不言而喻, 它直接关系到车辆的使用寿命、行车安全以及运营成本。

1.2 防腐蚀涂料的类型及其特性分析

防腐蚀涂料种类繁多, 根据其主要成分和性能特点可分为无机涂料、有机涂料和复合涂料等。无机涂料如锌粉涂料、硅酸盐涂料等, 具有优异的耐热性、耐候性和耐腐蚀性, 适用于高温、高湿等恶劣环境; 有机涂料如环氧树脂、聚氨酯等, 则具有良好的附着力、柔韧性和装饰性, 适用于对美观度有一定要求的场合。复合涂料则结合了无机和有机涂料的优点, 具有更加全面的性能表现。在选择防腐蚀涂料时, 需根据轨道车辆的具体运行环境和涂装要求进行综合考虑。

2 轨道车辆涂装防腐蚀技术研究进展

2.1 新型防腐蚀涂料的研发与应用

随着材料科学的持续进步与创新, 新型防腐蚀涂料如雨后春笋般不断涌现, 为轨道车辆的防腐蚀涂装提供

了前所未有的丰富选择。其中, 纳米复合涂料凭借其独特的性能, 已成为当前研究的热点。纳米复合涂料巧妙地融合了纳米技术与传统涂料科学, 利用纳米材料的特殊效应, 如小尺寸效应、表面效应等, 大幅提升了涂层的各项性能。这些纳米粒子在涂层中形成了致密的网状结构, 有效阻止了腐蚀介质如水分、氧气、盐雾等的渗透, 从而显著增强了涂层的耐腐蚀性。同时, 纳米粒子的加入还显著提高了涂层的硬度和耐磨性, 使其在面对恶劣环境时更具耐久性。另一方面, 水性涂料以其环保、低能耗的特点, 在新型防腐蚀涂料领域同样占据了一席之地。这类涂料以水为溶剂或分散介质, 相较于传统的溶剂型涂料, 大大降低了挥发性有机化合物(VOC)的排放, 减轻了对环境的污染。同时, 水性涂料的涂装过程更为简便, 能在常温常压下进行, 降低了能源消耗和生产成本。此外, 水性涂料还具有良好的附着力和装饰性, 能满足轨道车辆对美观度的要求。这些新型防腐蚀涂料的研发与应用, 不仅提升了轨道车辆的防腐蚀性能, 还推动了涂料行业的绿色转型^[1]。未来, 随着科技的不断发展, 我们有理由相信, 会有更多性能优异、环保友好的新型防腐蚀涂料问世, 为轨道车辆的长期稳定运行提供更加坚实的保障。同时, 这也将促进涂料行业与轨道交通行业的深度融合, 共同推动城市交通的可持续发展。

2.2 涂装工艺的优化与创新实践

2.2.1 高压无气喷涂技术

高压无气喷涂技术是一种先进的涂装工艺, 它通过高压泵将涂料增压至数十至数百大气压, 然后通过特制的喷嘴以极细的雾状喷出, 使涂料微粒均匀、密集地附着在工件表面。这一技术凭借其独特的优势, 在轨道车辆防腐蚀涂装领域得到了广泛应用。首先, 高压无气喷涂技术能够显著提高涂层的均匀性。传统的刷涂或滚涂

方式往往难以保证涂料在工件表面的均匀分布，而高压无气喷涂则通过精确控制涂料的喷射压力和角度，实现了涂料微粒在工件表面的均匀覆盖。这不仅提升了涂层的美观度，更重要的是确保了涂层性能的均一性，从而提高了防腐蚀效果。其次，高压无气喷涂技术能够大幅增强涂层的附着力。由于涂料微粒在高压下被细化，它们能够更深入地渗透到工件表面的微观凹凸和孔隙中，形成机械锚固效应。同时，高压喷射还能有效排除工件表面的空气和水分，减少了涂层内部的缺陷和应力集中，进一步增强了涂层与基材的结合力。这种强附着力不仅保证了涂层在使用过程中的稳定性，还能有效抵抗外界环境对涂层的破坏。高压无气喷涂技术通过提高涂层的均匀性和附着力，为轨道车辆的防腐蚀涂装提供了有力保障。随着这一技术的不断发展和完善，我们有理由相信，它将在未来的轨道车辆涂装领域发挥更加重要的作用。同时，这也推动涂装行业向更高效、更环保、更经济的方向发展。

2.2.2 电泳涂装技术

电泳涂装技术是一种高效且先进的涂装方法，它巧妙地运用了电泳原理，在金属表面沉积形成一层均匀且致密的涂层。电泳，简单来说，就是带电粒子在电场作用下的定向移动。当涂料中的带电粒子被置于电场中时，它们会按照电荷的正负和电场的方向，有序地移动并沉积在作为电极的金属表面上。这一技术的核心优势在于其能够确保涂层的高度均匀性。由于电泳过程中带电粒子的定向移动是均匀且一致的，因此沉积在金属表面上的涂层厚度和成分分布都非常均匀，几乎不存在厚薄不一或成分偏析的问题。这种均匀性不仅提升了涂层的美观性，更重要的是，它确保了涂层在防腐蚀、耐磨等方面的性能更加稳定可靠。此外，电泳涂装技术还能形成致密的涂层结构。由于涂料粒子在电场作用下的紧密排列和沉积，涂层内部的空隙和缺陷大大减少，从而有效阻止了水分、氧气等腐蚀介质渗透到金属基材中。这种致密性不仅增强了涂层的防腐蚀性能，还延长了涂层的使用寿命^[2]。电泳涂装技术的应用范围广泛，尤其适用于对涂层质量和性能要求较高的金属制品，如轨道车辆。在轨道车辆的防腐蚀涂装中，电泳涂装技术能够显著提升车辆的耐蚀性和使用寿命，为城市轨道交通的安全和可靠运行提供有力保障。随着科技的不断进步和创新，电泳涂装技术将继续在金属表面处理领域发挥重要作用，推动相关行业的持续发展和进步。

2.2.3 粉末涂装技术

粉末涂装技术，作为一种先进的涂装方法，以粉末

涂料为主要原料，并通过静电吸附和熔融固化等关键步骤，在工件表面形成一层坚固且性能优异的涂层。这项技术以其独特的优势，在多个工业领域中都得到了广泛的应用。粉末涂装技术最显著的特点之一是无溶剂挥发。与传统的液态涂料相比，粉末涂料在涂装过程中无需添加任何溶剂，从而彻底避免了挥发性有机化合物（VOC）的排放。这不仅有助于改善工作环境，减少空气污染，还符合当前绿色环保的生产理念。其次，粉末涂装技术能够实现涂层厚度的精确控制。通过调整静电吸附的条件和熔融固化的参数，可以轻松地控制涂层的厚度，满足不同工件和应用场景的具体需求。这种灵活性使得粉末涂装技术在处理复杂工件和多样化涂装要求时更具优势。此外，粉末涂装技术所形成的涂层还具有优异的性能。经过熔融固化后，涂层与基材之间形成了牢固的结合，具有出色的附着力。同时，涂层本身也具有有良好的耐磨性、耐化学腐蚀性和抗紫外线性能，能够有效保护工件免受外界环境的侵蚀^[3]。粉末涂装技术凭借其无溶剂挥发、涂层厚度可控以及优异性能等多重优势，在工业涂装领域中占据了重要的地位。随着科技的不断进步和创新，我们有理由相信，粉末涂装技术将在未来发挥更加重要的作用。

3 轨道车辆涂装防腐蚀技术应用与优化策略

3.1 涂装前的预处理技术与要求

轨道车辆的涂装前预处理是确保涂层质量和附着力的关键步骤。这一过程绝非简单的表面处理，而是涉及到一系列精细的化学和物理操作，包括除锈、清洁、磷化等核心环节。除锈是预处理的首要任务，旨在彻底清除金属表面的锈蚀和氧化物。这些杂质不仅影响涂层的美观性，更可能削弱涂层与基材的结合力，导致涂层过早失效。因此，选用合适的除锈方法和化学药剂至关重要。清洁则是为了去除金属表面的油污、尘埃和其他污染物。这些杂质同样会干扰涂层的形成和附着力，因此必须采用专业的清洁剂和设备，确保金属表面达到涂装要求的清洁度。磷化作为一种重要的表面处理工艺，能够在金属表面形成一层致密的磷酸盐膜。这层膜不仅提高了金属的抗腐蚀性能，还为涂层提供了良好的附着基础。磷化过程中的温度、时间和浓度等参数都需要严格控制，以确保磷酸盐膜的质量和均匀性。值得注意的是，不同材质的轨道车辆对预处理的要求也有所不同。例如，钢铁和铝合金在化学性质和处理难度上存在差异，因此必须根据具体材质选择合适的预处理方法和化学药剂。此外，预处理过程中的操作细节同样不容忽视，如工件的摆放方式、处理液的更换周期等都会影响

到预处理效果。

3.2 涂装施工过程中的质量控制与管理

涂装施工是确保轨道车辆获得优质涂层的关键环节，其中的质量控制与管理尤为重要。施工过程中的每一个环节，无论是环境的调控、涂料的处理，还是设备的选择和使用，都直接关系到最终涂层的质量。第一，环境温度、湿度和清洁度是必须严格控制的三大要素。过高的温度可能导致涂料干燥过快，形成裂纹；湿度过大则可能影响涂料的附着力和干燥速度；而清洁度不佳则可能引入杂质，影响涂层的平整度和光泽度。因此，施工过程中必须遵循涂料厂商的施工建议，确保环境条件在最佳范围内。第二，涂料的搅拌、稀释和过滤等细节也不容忽视。涂料在使用前必须充分搅拌，以保证其各组分的均匀混合；稀释时则需按照厂商推荐的比例进行，避免影响涂料的性能；过滤则是为了去除涂料中的杂质和颗粒，确保涂层的平滑度和细腻度。第三，采用先进的涂装设备和工艺也是提升涂层质量的有效途径。自动化喷涂线、机器人喷涂等先进设备和技术能够显著提高涂层的均匀性、致密性和附着力，同时减少人为操作带来的误差和不确定性^[4]。第四，质量监控和检测手段也是确保涂层质量的重要环节。通过涂层厚度测量、附着力测试等手段，可以及时发现施工过程中的问题并进行调整，确保每一道涂层都能达到预期的厚度和性能要求。

3.3 涂装后的维护与检修策略

涂装后的维护与检修策略，对于确保车辆长期保持良好的防腐效果至关重要。维护与检修的首要任务是定期对涂层进行检查。这包括目视检查和仪器检测等多种手段。目视检查可以初步发现涂层表面的损坏、脱落等问题，而仪器检测则能更加准确地评估涂层的厚度、附着力等关键指标。通过这些检查，可以及时发现涂层存在的问题，为后续的处理提供依据。一旦发现涂层损坏或脱落，必须立即进行修补。这包括局部重涂、打磨修复等应急措施。局部重涂可以快速恢复涂层的完整性，防止腐蚀介质进一步侵蚀基材；而打磨修复则可

以处理涂层表面的微小缺陷，提高涂层的光泽度和美观度。这些修补工作必须及时、有效，以确保车辆的防腐性能不受影响。在特定情况下，如涂层老化、失效等严重问题出现时，整体重涂可能是必要的。整体重涂相当于对车辆进行一次全面的翻新，可以彻底恢复车辆的防腐性能，延长其使用寿命。当然，整体重涂的成本和工作量都相对较大，因此必须根据实际情况进行决策。为了确保维护与检修工作的有效实施，建立完善的制度和流程至关重要。这包括明确责任人和时间节点、制定详细的工作计划和流程、提供必要的培训和支持等。只有这样，才能确保维护与检修工作的持续性和有效性，为轨道车辆的长期稳定运行提供有力保障。

结语

轨道车辆涂装中的防腐技术是保障车辆长期安全运行的关键所在。通过深入研究和不断实践，我们已经在防腐涂料研发、涂装工艺优化以及实践应用等方面取得了显著成果。然而，随着科技的进步和环保要求的提高，轨道车辆涂装防腐技术仍面临诸多挑战和机遇。未来，我们需要继续关注和研究新一代防腐涂料（如智能涂料、自修复涂料等）的研发与应用；探索更加高效、环保的涂装工艺和设备；以及完善涂装前后的预处理、质量控制与维护检修体系。相信在广大科研工作者的共同努力下，轨道车辆涂装防腐技术将迎来更加美好的明天。

参考文献

- [1]吴争,王志刚.轨道车辆用车轮防腐涂装工艺研究[J].安徽冶金科技职业学院学报,2018,28(01):12-14.
- [2]刘钢,郝君福,鞠志强等.浅谈轨道交通车辆涂装工序外包过程质量管理[J].现代涂料与涂装,2023,26(03):53-55.
- [3]周立强,曹忠富,陈刚等.水性漆在轨道交通轮对上的应用研究[J].上海涂料,2021,59(05):5-9.
- [4]宗屿.环保水性涂料在轨道车辆涂装中的使用[J].粘接,2022,49(04):46-49+59.