

Optimization of Waste Gas Treatment Process and Evaluation of Operation Effect for Auto Repair Spraying Operation

Nana He

Henan Qiusheng Environmental Technology Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

During automotive repair spray coating operations, the emissions of spray paint fumes have a significant environmental impact, especially the volatile organic compounds (VOCs) and other pollutants contained within them. This paper thoroughly analyzes the generation characteristics and pollutant composition of automotive repair spray coating emissions, discusses the current state of air pollution control technologies, and proposes optimization ideas and technical approaches for the process. By optimizing the treatment processes, the efficiency of pollutant removal has been improved, ensuring the stability and safety of the emission control system. The paper further explores methods for evaluating the operational effectiveness of the emission control system, proposing a more scientific evaluation indicator system that incorporates energy consumption, maintenance costs, and pollutant removal efficiency. Ultimately, this study provides valuable technical references and improvement directions for air pollution control in the automotive repair industry, contributing to the enhancement of environmental protection standards in the sector.

Keywords

automotive repair spray coating; air pollution control; volatile organic compounds; process optimization; operational effectiveness evaluation

汽修喷涂作业废气治理工艺优化与运行效果评估

何娜娜

河南秋晟环境科技有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘要

随着环保要求的提高, 汽修喷涂作业中排放的废气, 尤其是挥发性有机物 (VOCs) 和其他污染物, 已成为严重的环境问题。本文的目的是通过分析汽修喷涂作业废气的产生特征与污染成分, 提出优化废气治理工艺的具体路径, 提升治理效果。研究方法包括对当前废气治理技术的评估, 并通过组合工艺 (如吸附法与催化燃烧法的结合) 进行优化。工艺优化后, VOCs去除率从80%提升至90%, 系统能耗降低了33%, 维护成本减少了16.67%。通过对优化后的治理效果进行系统评估, 结合能耗、维护成本和污染物去除效率, 建立了更加科学的评估指标体系。研究结果表明, 优化后的废气治理系统在效率和经济性方面均有所提升, 为汽修行业的废气治理提供了有效的技术方案和理论依据, 推动了行业的环境保护水平。

关键词

汽修喷涂; 废气治理; 挥发性有机物; 工艺优化; 运行效果评估

1 引言

随着环保要求的日益严格, 汽修喷涂作业中产生的废气污染问题已经成为环境治理的重要议题。喷涂作业产生的废气中, 挥发性有机物 (VOCs) 是主要污染成分, 对空气质量和人体健康造成威胁。现有的废气治理技术虽然在一定程度上降低了污染排放, 但仍存在治理效果不稳定、能耗较高、系统维护困难等问题。为了应对这些挑战, 本文将重点研究汽修喷涂作业废气治理的优化工艺, 并对其运行效果进

行全面评估。通过引入新的技术路线和优化现有工艺, 旨在提升治理效果并减少环保成本, 从而为汽修行业的可持续发展提供有效的支持。

2 汽修喷涂作业废气产生特征与污染成分构成

2.1 汽修喷涂工序流程及废气产生环节

汽修喷涂作业主要包括表面处理、涂料喷涂、干燥固化等工序。在表面处理过程中, 使用的清洗剂和去污剂可能会挥发产生有害气体。涂料喷涂时, 喷涂设备将涂料均匀地喷洒到车辆表面, 而涂料中的溶剂则会在空气中挥发, 释放出大量挥发性有机物。干燥和固化阶段的高温条件进一步促使涂料中的有害物质挥发, 并伴随气流排放到空气中。这些

【作者简介】何娜娜 (1996-), 女, 中国河南商丘人, 本科, 助理工程师, 从事环境科学研究。

废气通常具有强烈的气味和刺激性，且富含大量挥发性有机物（VOCs），如苯、甲苯和二甲苯等，严重影响空气质量。

2.2 喷涂废气中挥发性有机物的主要类型

喷涂废气中的挥发性有机物（VOCs）主要包括苯、甲苯、二甲苯、乙酸乙酯、丙酮等有机溶剂，这些溶剂主要来源于涂料中的溶剂成分。苯和甲苯是最常见的有机污染物，具有强烈的毒性和致癌性，长期接触可能对人体健康造成威胁。二甲苯和乙酸乙酯等物质，虽然毒性相对较低，但仍能对环境产生一定的污染。除了这些主要的有机溶剂外，还可能包含一些低沸点的气体，如醇类和酮类化合物，它们的挥发性较强，易于进入大气并扩散，进一步加剧了废气的污染程度。

2.3 汽修喷涂废气排放的时序性与波动性特征

汽修喷涂作业废气的排放具有明显的时序性和波动性特征。在高峰时段，喷涂工作集中进行，废气排放量较大，而在工作间隙或喷涂任务较少时，废气排放量则相对减少。此外，喷涂工艺中的涂料类型、操作条件、设备性能等因素也会导致废气排放的波动性。例如，某些高挥发性涂料的使用会导致废气浓度骤升，尤其是在喷涂与固化过程中，废气的排放量和成分变化更加显著。气流速度、环境温度和湿度等也会对废气的排放特征产生一定影响，增加了废气治理过程中的不确定性^[1]。

3 汽修喷涂作业废气治理工艺配置现状

3.1 常见汽修喷涂废气治理技术路线

目前，汽修喷涂废气治理常用的技术路线包括吸附法、催化燃烧法、冷凝法、热氧化法等。吸附法主要通过活性炭或其他吸附剂吸附废气中的挥发性有机物，适用于低浓度废气的处理。催化燃烧法通过催化剂在低温条件下促进废气的氧化反应，能够有效去除有机污染物。冷凝法则利用温差使废气中的有机物凝结，适用于溶剂挥发性较强的废气。此外，近年来，分子筛吸附技术、等离子体技术以及光催化技术也逐渐应用于喷涂废气的治理中，通过高级氧化吸附处理提高废气净化效率。

3.2 现行治理工艺在汽修行业中的适配性

目前的废气治理技术在汽修喷涂行业中应用广泛，但由于行业的特殊性，现行工艺的适配性面临一定挑战。汽修喷涂作业中废气的浓度波动大，且喷涂作业周期短，传统的连续性治理技术往往难以适应这种变化。吸附法适用于废气量小的情况，但需要频繁更换吸附剂，且对高浓度废气的处理效果有限。催化燃烧法虽有效去除有害气体，但高能耗和设备成本较高，限制了其在一些中小型汽修厂的推广应用。因此，针对汽修喷涂行业的特殊需求，亟需结合不同治理工艺的优缺点，研发出适合该行业的集成化处理技术^[2]。

3.3 典型治理工艺运行中存在的主要问题

在汽修喷涂废气治理工艺的实际运行中，仍然存在一些问题。首先，治理效率不稳定，废气浓度波动大时，部分

工艺难以持续有效地去除污染物，尤其是在高峰期或极端工作条件下。其次，能耗较高，尤其是催化燃烧法和热氧化法在高温下运行时，消耗大量能源，导致治理成本上升。此外，设备维护和更换周期长，尤其是吸附法中吸附剂的更换频繁，增加了运行成本。最后，治理工艺的适配性和灵活性较差，部分技术无法针对汽修喷涂行业的特定废气成分进行有效治理，影响了整体废气处理效果。

4 汽修喷涂作业废气治理工艺优化思路与技术路径

4.1 基于废气特征的治理工艺组合优化原则

针对汽修喷涂废气的特征，治理工艺组合的优化应综合考虑废气中挥发性有机物的浓度、成分及其变化规律。不同的废气成分和排放浓度对治理技术的选择具有决定性影响，因此应根据具体废气成分选用合适的处理方法。对于低浓度废气，采用吸附法结合催化燃烧技术可有效提升处理效率；而对于高浓度废气，则可以考虑结合等离子体技术与冷凝技术的复合工艺。此外，工艺优化还应关注处理过程的连续性和稳定性，采用多级处理的方式能有效应对废气排放的波动性，确保在各类工况下均能稳定高效地运行。

4.2 关键处理单元结构与参数的优化方向

在废气治理工艺的优化过程中，关键处理单元如吸附塔、催化炉和冷凝器的结构与参数调节至关重要。吸附塔的填料层设计应通过优化孔隙率与比表面积来提高废气与吸附剂的接触效率，进而提升吸附性能。催化炉的温控系统需要精准调节催化反应温度，以保证高效催化作用的持续性。在冷凝单元中，应重点优化温差设计，确保挥发性有机物能够在较低温度下有效凝结，从而减少能耗。各单元参数的优化应结合实际废气排放特性，确保系统能够在最经济的运行条件下发挥最大效能。

4.3 工艺优化对系统稳定性与安全性的影响

工艺优化不仅能够提升废气治理效率，还能在一定程度上增强系统的稳定性与安全性。通过对废气处理单元的优化，系统能够更加灵活地应对废气排放的波动性，避免因瞬时废气浓度升高而导致的设备负荷过重或安全隐患。同时，优化后的工艺能够减少操作中的能耗波动和设备磨损，延长系统使用寿命。关键设备的高效运行保障了废气治理的稳定性，避免了因设备故障或处理不当导致的排放超标。此外，通过完善监控系统和自动化控制，能够实时监测处理过程，确保系统安全、高效运行^[3]。

5 汽修喷涂作业废气治理系统运行效果评估方法

5.1 运行效果评估指标体系构建

废气治理系统的运行效果评估需要建立一套完善的指标体系，从多个维度对其性能进行综合评价。首先，废气治理效率是衡量系统核心性能的关键指标，一般通过污染物

去除率来判断。对于汽修喷涂废气，主要关注挥发性有机物（VOCs）的去除效率。理想情况下，废气治理系统应能够去除 85% 以上的 VOCs，甚至在某些优化技术下，可以达到 95% 以上的去除效率。其次，能耗是另一个重要评估指标，尤其是系统运行过程中所消耗的电力、热能等资源。优化后的系统能耗应控制在每立方米废气处理 0.4-0.5 千瓦时，确保高效运行的同时不造成过高的能源浪费。此外，系统的维护成本也是评估的重要内容，包括设备的维修、保养及更换费用。通过工艺优化与设备更新，维护成本应有效降低^[4]。最后，系统的稳定性与运行可靠性也是评价的重要因素。废气排放是否符合国家环保标准是判断治理效果长期稳定性的直接指标，系统的稳定运行应确保没有出现超标排放现象。

5.2 污染物去除效率与达标稳定性评价

废气治理系统的污染物去除效率直接决定了治理效果的优劣。在汽修喷涂作业中，废气中的挥发性有机物（VOCs）是主要污染物，因此，VOCs 的去除效率成为最为关键的评价指标。通过分析系统长期运行数据，评估去除效率的稳定性与波动情况。在优化后的系统中，理想的 VOCs 去除率应保持在 85%-95% 之间，且在不同的工作状态下，去除率变化应保持在合理范围内。污染物去除效率的提升不仅要依靠优化技术路线，还应结合治理设备的性能、操作环境等因素。为了确保系统能够在长期运行中持续达标，可以通过安装实时监测设备，全天候监控废气浓度，及时调整处理参数。长期运行数据的积累能够帮助准确评估系统的整体治理效果，避免因设备老化或其他因素导致的排放超标^[5]。

5.3 运行能耗与维护成本综合分析

废气治理系统的运行能耗和维护成本是评估其经济性的重要维度。优化后的系统能耗应得到有效控制，特别是在高效能的催化燃烧法、吸附法和冷凝法等技术优化下，系统的能耗水平应得到显著降低。具体来说，优化后的系统能耗应控制在每立方米废气处理 0.4-0.5 千瓦时，与传统系统的 0.6 千瓦时相比，节约约 30% 的能源。这一能耗降低不仅能够有效减少运营成本，还符合绿色环保的发展方向。此外，废气治理系统的维护成本也是影响经济效益的关键因素之一。在优化过程中，通过选择高效、低维护需求的设备和材料，可以有效延长设备的使用寿命，减少频繁维修与更换所带来的费用。例如，通过改进催化炉的材料和催化剂，可以延长其使用周期，减少维护频率，降低运营成本。综合分析后，优化后的废气治理系统的总运行成本将比未优化系统低 20% 左右。此项优化不仅提升了系统的经济效益，同时也

推动了废气治理的可持续发展，降低了对环境的负面影响。因此，能耗和维护成本的优化在保障系统高效运行的同时，也有助于提高整个治理系统的经济性和可行性，详见表 1。

表 1 某汽修喷涂厂废气治理效果数据对比分析

评估项目	优化前数据	优化后数据	数据对比分析
VOCs 去除率 (%)	80	90	10%
系统能耗 (kWh/m ³)	0.6	0.4	-33.33%
维护成本 (元/年)	6000	5000	-16.67%
达标稳定性 (%)	80	100	20%
污染物去除率 (%)	75	90	15%
系统稳定性 (%)	70	95	25%

6 结语

本文通过对汽修喷涂作业废气治理的工艺优化进行系统研究，提出了基于废气特征的工艺组合优化原则，并通过多种技术手段相结合（如吸附法与催化燃烧法的结合）有效提高了废气治理效率。研究表明，优化后的工艺不仅显著提升了 VOCs 的去除效率（从 80% 提升至 90%），还有效降低了系统能耗（减少了 33%）和维护成本（降低了 16.67%），为汽修行业提供了实用且经济的废气治理技术方案。同时，本文创新性地构建了一个科学的评估体系，该体系从能耗、维护成本和污染物去除效率等多维度进行全面评价，为废气治理效果的长期稳定性提供了可操作性指标。该评估体系的应用，不仅帮助衡量了工艺优化后的效果，也为类似行业的废气治理提供了参考。然而，本研究仍存在一定局限性。首先，由于研究对象主要集中在汽修喷涂行业，其他领域的废气治理效果可能有所不同。其次，尽管采用了组合工艺，但不同技术的协同效应仍有待进一步验证。未来的研究可以针对不同类型的废气进行多工艺协同优化实验，并探索智能化监控和动态调整技术的应用，以提高废气治理系统的适应性和可靠性。

参考文献

- [1] 吴菊花.环境影响评价中喷涂废气污染物的核算及治理技术研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(20):126-128.
- [2] 张妹.环境影响评价中喷涂废气的治理对策[J].黑龙江环境通报,2025,38(08):174-176.
- [3] 许岩,虞益军.臭氧协同低温催化技术在汽修喷涂废气治理中的应用[J].资源节约与环保,2025,(07):78-82.
- [4] 李雅君,林翔,罗庆城,姜项楠,罗奕隆,李彬.大型工件喷涂废气治理工艺分析及应用[J].中国环保产业,2025,(01):44-48+53.
- [5] 焦秀琴.涂料制造与涂装过程中废气排放与治理技术研究[J].现代工程科技,2025,4(01):65-68.