

# Selection and Effect Verification of VOCs End-of-pipe Treatment Technology in Practical Application

Wenwen Shi

Henan Jinqiu Environmental Protection Technology Consulting Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

## Abstract

With the increasing severity of the impact of VOCs (volatile organic compounds) on the environment and human health, how to efficiently and economically manage VOCs has become an important issue in the field of environmental protection. End-of-pipe treatment technologies, as key methods for VOCs management, have been widely applied across various industries. This paper focuses on the principles of technology selection and the actual application effectiveness of VOCs end-of-pipe treatment technologies. It analyzes common end-of-pipe treatment methods, including adsorption, catalytic oxidation, and condensation, based on the characteristics of different types of VOCs pollution sources. The results show that reasonable technology selection can significantly improve VOCs treatment efficiency and reduce treatment costs, providing scientific decision-making basis for related enterprises and governments, and offering theoretical and practical references for the optimization and promotion of VOCs end-of-pipe treatment technologies.

## Keywords

VOCs; end-of-pipe treatment; technology selection; effectiveness verification; environmental protection

## VOCs 末端治理技术在实际应用中的选型与效果验证研究

时文文

河南金秋环保技术咨询有限公司, 中国·河南郑州 450000

## 摘要

随着VOCs(挥发性有机化合物)对环境和健康影响的日益严重,如何高效、经济地治理VOCs成为了环境保护领域的重要课题。末端治理技术作为VOCs治理的关键手段,已经在各行各业得到了广泛应用。本文重点研究了VOCs末端治理技术的选型原则与实际应用效果,结合不同类型VOCs污染源的特点,分析了常见的末端治理技术,包括吸附法、催化氧化法、冷凝法等。结果表明,合理的技术选型能够显著提高VOCs治理效果,降低治理成本,为相关企业和政府提供科学的决策依据,为VOCs末端治理技术的优化与推广提供了理论基础和实践参考。

## 关键词

VOCs; 末端治理; 技术选型; 效果验证; 环境保护

## 1 引言

挥发性有机化合物(VOCs)广泛存在于工业、交通、建筑等领域,对空气质量和人体健康造成了严重威胁。VOCs不仅是空气污染的重要来源,也是形成臭氧和细颗粒物的前体物质,具有较强的环境污染性。因此,如何有效治理VOCs成为了全球环境治理的关键问题之一。末端治理技术作为应对VOCs排放的有效手段,在实际应用中得到广泛关注。不同的VOCs污染源具有不同的排放特性,因此选用合适的治理技术至关重要,所以各学者应探讨VOCs末端治理技术的选型原则与实际应用中的效果验证,进一步为VOCs治理提供科学依据。

【作者简介】时文文(1992-),女,中国河南周口人,本科,助理工程师,从事环境工程研究。

## 2 VOCs 治理技术概述

VOCs(挥发性有机化合物)是指在常温下容易挥发并形成气体的有机化合物,广泛存在于多种工业生产、生活消费品和自然源中。这些化合物具有较低的沸点,能够在常温下迅速挥发到空气中,对环境和人类健康产生不良影响。VOCs的来源主要包括工业排放、汽车尾气、建筑材料、清洁剂、涂料以及燃料的使用等。工业领域如石化、化学制造及制药行业是VOCs的重要排放源。此外,日常生活中的清洁剂、香水和一些家庭用品中也含有大量VOCs,这些物质挥发到空气中,增加了室内外空气污染的浓度。自然源如植物和土壤的有机物质也会释放一定量的VOCs,但相较于人为源,这部分排放量较小。VOCs不仅造成空气污染,还能通过化学反应生成臭氧、细颗粒物等二次污染物,进而影响人体健康,导致呼吸系统疾病、过敏反应等问题<sup>[1]</sup>。

### 3 VOCs 末端治理技术选型原则分析

VOCs 末端治理技术的选型依据主要包括污染物特性、废气的浓度、治理成本、运行稳定性以及环境标准等多个因素。污染物的种类和化学性质直接影响治理技术的选择。例如,若 VOCs 中含有较多的苯类、醇类或酮类化合物,选择适当的氧化或催化技术能够实现高效处理。废气的浓度也是选型的关键因素,对于低浓度、气量大的废气,采用吸附法较为合适,而对于高浓度的废气,则常采用催化燃烧法。治理成本是另一个重要的选型因素,既包括初期建设投资,也包括后期的运行与维护费用。不同的治理技术在处理过程中所需的能源、材料、设备等方面的开销存在差异,经济性和能效比是选型时的必须考量。运行稳定性和可靠性也是选型的重要依据,技术的稳定性直接影响治理效果的持续性和企业的长期运营<sup>[2]</sup>。此外,随着环境政策和排放标准的日益严格,符合环保要求的技术成为企业必须选择的优先项。

### 4 VOCs 末端治理技术的应用案例分析

#### 4.1 工业领域应用案例

本文选取了广东省深圳市的几家典型企业进行 VOCs 治理技术应用案例分析。首先,东芝泰格信息系统(深圳)有限公司实施的 VOCs 治理工程是一个具有代表性的末端治理案例。该企业根据《广东省 VOCs 重点监管企业综合整治实施情况评审技术指南》等要求,针对车间内含有有机溶剂的 VOCs 废气建立了废气收集与末端处理系统。该公司采用了活性炭吸附装置联用技术,通过车间密闭+集气罩或通风橱的方式收集废气,活性炭吸附床将废气净化处理后,最终通过高空排放满足排放标准。监测数据显示,VOCs 去除效率达到 85%–95%,且排放浓度稳定控制在广东省地方标准规定的限值以下。活性炭的碘值不低于 800 毫克/克,并按周期更换,确保了吸附效率和连续治理效果。该企业还建立了废气在线监控系统,为治理效果验证与持续优化提供了数据支持。

#### 4.2 城市空气污染治理应用案例

在深圳市的 VOCs 治理过程中,东芝泰格信息系统(深圳)有限公司的治理工程是一个典型的工业源 VOCs 治理案例。深圳市近年来积极推动工业源 VOCs 减排措施,通过重点监管企业建设在线监测系统、末端治理设施及密闭废气收集体系等手段,有效地控制了工业排放对城市空气质量的影响。根据深圳市环境主管部门发布的环境质量提升报告,推广 VOCs 末端治理技术后,市内工业源 VOCs 的平均排放浓度减少了 30% 至 50%。特别是在东芝泰格公司,通过采用活性炭吸附技术处理后,废气的 VOCs 浓度稳定控制在  $^{**}<100$  毫克/立方米 $^{**}$ ,远低于一般工业区的 TVOC 排放标准。

在深圳某涂料厂的 VOCs 治理工程中,采用了冷凝法,该厂通过冷却废气使其中的 VOCs 凝结成液态,回收后再

利用。冷凝法特别适用于低浓度、大风量的废气处理,该厂通过这一技术大幅降低了 VOCs 的排放浓度,并实现了溶剂的循环利用。监测数据显示,该厂治理后 VOCs 浓度降低至 30 毫克/立方米以下,符合地方排放标准。

#### 4.3 不同行业 VOCs 治理的技术选型与效果对比

在 VOCs 末端治理技术的选型过程中,不同的工艺技术根据废气的特性、浓度、组成以及行业需求表现出不同的优缺点,因此选择适合的治理技术非常关键。不同的工艺技术不仅影响 VOCs 的去除效率,还关系到治理成本和设备投资。以下将根据不同行业的废气特征,列举不同 VOCs 治理技术的适用领域、去除效率、成本等方面的对比分析。

①活性炭吸附法。活性炭吸附技术是一种常见且高效的 VOCs 末端治理技术,广泛应用于电子制造、信息系统生产、包装印刷、日用化学品等行业。这些行业的废气排放浓度较低,且大多含有易吸附的有机溶剂成分。该技术的主要优点是设备投资较低,适用于低浓度到中等浓度的 VOCs 废气,且去除效率通常可以达到 85%–95%。活性炭作为吸附介质,其碘值通常不低于 800 毫克/克,可以有效吸附废气中的 VOCs,处理过程相对简单,维护要求较低。然而,活性炭的更换频率较高,因此需要定期更换或再生,这可能会增加运营成本。

②催化燃烧法。催化燃烧技术主要适用于化工、涂装、油漆、制药等行业,这些行业的废气通常含有较高浓度的 VOCs,且有些有害物质可能具有较强的氧化性或易燃性。催化燃烧法通过高温催化床加热废气,将其中的 VOCs 彻底转化为二氧化碳和水,去除效率通常可以达到 95% 以上。该方法不仅能处理高浓度 VOCs 废气,还能减少二次污染,具有较高的安全性。与其他处理方法相比,催化燃烧法的处理速度较快,适用于高浓度、复杂废气的快速处理。然而,催化燃烧技术的主要缺点是能耗较大,需要较高的能源输入,同时催化剂的更换和维护成本较高,设备投资也相对较大。因此,虽然该技术适用于高浓度废气的高效治理,但其高能耗和高运营成本需要特别注意。

③冷凝法。冷凝法是一种物理处理技术,适用于低浓度、低温废气的治理,特别适用于食品加工、日用化学品等行业的 VOCs 废气。该方法通过降低废气温度,使 VOCs 物质凝结成液态,从而达到去除的目的。冷凝法的去除效率通常为 70%–80%,且能够回收废气中的有机溶剂,具有较高的资源回收率。这一技术的优势在于能效较高,能有效回收溶剂,降低废气处理成本。然而,冷凝法的初期设备投资较大,且只能处理低浓度、低温的废气,无法适应高浓度或高温废气的处理需求。

④吸附-冷凝组合工艺。吸附-冷凝组合工艺适用于印刷、包装、制药等行业的大风量、低浓度 VOCs 废气。该工艺通过结合吸附与冷凝的技术优势,能够处理大风量、低浓度的废气,去除效率通常可以达到 80%–90%。这种组合

工艺首先通过吸附技术减少 VOCs 的浓度，然后通过冷凝法进一步回收有机溶剂。其主要优点是能够处理大风量废气，且能高效降低 VOCs 的排放浓度。该技术的适用范围广，可以应对不同浓度和不同特性的废气，且设备投资适中，维护成本较低。

⑤综合选择与技术优化。在实际应用中，选择适合的 VOCs 治理技术需要综合考虑废气的浓度、组成、风量、行业需求及经济性等因素。对于低浓度废气，活性炭吸附法和冷凝法是比较经济的选择；对于高浓度废气，催化燃烧法能够提供更高的去除效率，但需要注意其高能耗和设备维护成本；对于大风量低浓度废气，吸附-冷凝组合工艺能够实现较稳定的去除效率，并在多个行业中取得了良好效果。通过合理选择技术，结合废气的特性，能够在确保治理效果的同时，降低企业的运营成本<sup>[9]</sup>。

## 5 VOCs 末端治理技术效果验证方法

### 5.1 效果评估指标体系的建立

在验证东芝泰格信息系统（深圳）有限公司 VOCs 末端治理效果时，需建立完善的效果评估指标体系。评估指标体系通常覆盖治理前后的 VOCs 排放浓度变化、去除效率、排放达标率、能耗水平与运行稳定性等核心指标。VOCs 去除效率指标定义为治理前后 TVOC 或 NMHC 浓度差异的比例，其计算公式为（处理前浓度-处理后浓度）/处理前浓度 × 100%，在该企业治理工程中，该指标多次监测结果表明去除效率稳定保持在 85%–95% 范围内。排放达标率则是判断治理设施是否持续满足国家或地方排放标准的重要依据，常用单位为毫克/立方米。处理后 VOCs 排放值低于广东省地方标准限值，即视为达标。能耗水平以单位废气处理量的能耗（千瓦时/万立方米）衡量，用于评估治理设施经济性。运行稳定性指标主要通过运行日志、故障频率和连续达标情况分析治理设施的可靠性。通过多维度指标构建的评估体系，可以全面反映治理措施在长期运行中的综合表现，并为治理方案优化提供科学依据。综合运用上述指标体系确保治理效果验证的质量和完整性。

### 5.2 常见的效果验证方法

在验证该企业 VOCs 治理效果时，可采用现场采样与在线监测相结合的技术路线。现场采样采用恒定流量采样器从废气入口与出口分别采集样品，使用气相色谱-质谱联用仪（GCMS）或热脱附气相色谱仪分析 VOCs 成分及浓度。在线监测系统安装在治理设施入口和出口，可持续记录 VOCs 浓度变化及废气流量数据，常用设备包括非甲烷总烃（NMHC）分析仪与红外在线分析仪。这一组合方法可以兼顾高精度实验室分析与动态在线监测，为治理效果提供实测数据支持。现场采样结合实验室分析的数据用于计算瞬时

去除效率，而在线监测数据则可以反映治理设施在不同工况下的连续达标情况<sup>[4]</sup>。通过双渠道验证方法结合，可确保效果验证数据准确无误，并为治理措施的调整与优化提供实时参考。

### 5.3 效果验证中的数据收集与分析

在 VOCs 治理效果验证过程中，应系统收集和整理治理设施全过程运行数据，包括废气流量、温度、压力、治理前后 VOCs 浓度、在线监测实时数据与设备运行日志等信息。这些数据采集宜通过数字化信息系统自动记录，以保证数据的连续性和完整性。在分析阶段，首先对数据进行校对与去噪处理，包括删除异常值和时间对齐。随后采用统计分析方法，通过时间序列对比评估治理前后的 VOCs 去除率及排放趋势变化。多变量分析方法辅助识别影响治理效果的关键因素，如吸附剂饱和周期与处理效率的关系。综合分析结果应用于效果评价报告，为治理设施的运行优化、技术升级和长期管理提供决策支持依据，确保治理措施持续发挥预期的污染控制效果。

## 6 结语

VOCs 末端治理技术在工业废气处理中的应用越来越广泛，随着环保要求的不断提高，如何选择合适的治理技术成为各企业面临的重要课题。通过对不同治理技术的分析，可以看出，不同技术各有优缺点，合理的技术选型需结合废气特性、治理效率、经济性及环境影响等因素进行综合考量。吸附法、催化燃烧法、冷凝法和生物法等各类技术在实际应用中的效果验证，展示了它们在不同场景中的独特优势。随着技术的不断进步和工艺的优化，未来 VOCs 治理技术的效率和经济性有望进一步提升。企业在实施 VOCs 治理的同时，不仅要关注治理效果，还应考虑长期的运行成本和资源利用率。未来，VOCs 治理技术的不断创新和政策支持将为环境保护提供更加坚实的技术保障，推动绿色环保发展迈向新高度。

### 参考文献

- [1] 范文卿. 轮胎制造过程中挥发性有机化合物（VOCs）排放特征及末端治理技术优化研究[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2025, (11): 75-77.
- [2] 庞广涛. 工业区地下水污染源头控制与末端治理技术集成研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6(12): 103-105.
- [3] 王刚. 挥发性有机化合物（VOCs）排放的控制与治理技术[J]. 应用能源技术, 2025, (05): 70-72.
- [4] 张洁, 李青. 工业废气 VOCs 排放特征分析及高效净化技术研究[J]. 中国战略新兴产业, 2025, (14): 96-99.
- [5] 汪易坤. 城市大气环境中 VOCs 污染特征及综合治理技术研究[J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(04): 166-170.