

# Comparative study on adsorption and catalytic technology in treatment of volatile organic waste gas

Teng Tu

Ruiqing Environmental Research Institute (Jiangsu) Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

## Abstract

Volatile organic compounds (VOCs) pose a serious threat to the environment and human health, thus there is an urgent need to develop efficient waste gas treatment technologies. Adsorption-catalysis technology, as an effective means of VOCs control, has been widely applied due to its high efficiency and tunability. This paper compares the application of adsorption and catalysis technologies in VOCs control, discussing their respective advantages and disadvantages. First, it analyzes the basic principles of adsorption technology in waste gas treatment and studies the performance and application effects of commonly used adsorbents; then, it introduces the working principles of catalytic technology and explores the types and properties of catalysts; finally, based on treatment efficiency, economic viability, and environmental impact, it compares the similarities and differences between adsorption and catalysis technologies.

## Keywords

adsorption technology; catalytic technology; volatile organic waste gas; waste gas treatment; adsorption and catalysis combined technology

## 挥发性有机废气治理中吸附催化技术的比较研究

涂腾

瑞清环境研究院(江苏)有限公司, 中国·江苏南京 210000

## 摘要

挥发性有机废气(VOCs)对环境与人体健康构成了严重威胁,因此高效的废气治理技术亟待开发。吸附催化技术作为一种有效的VOCs治理手段,因其高效能和可调性得到了广泛应用。本文对吸附技术与催化技术在VOCs治理中的应用进行比较,探讨了各自的优势与不足。首先,分析了吸附技术在废气处理中的基本原理,研究了常用吸附剂的性能及其应用效果;接着,介绍了催化技术的工作原理,探讨了催化剂的种类与性能;最后,基于治理效率、经济性及环境影响,比较了吸附与催化技术的异同。

## 关键词

吸附技术; 催化技术; 挥发性有机废气; 废气治理; 吸附催化联合技术

## 1 引言

挥发性有机废气(VOCs)是环境污染的主要来源之一,其不仅对空气质量造成严重影响,还对人体健康构成潜在威胁。随着工业化进程的加速,VOCs排放量持续增加,传统的废气治理方法难以满足日益严苛的排放标准。近年来,吸附技术和催化技术作为两种有效的VOCs治理手段受到了广泛关注。吸附技术通过吸附剂吸附废气中的有害物质,具有操作简便和成本较低的优点;催化技术则通过催化剂加速反应,从而分解废气中的有害成分,具有较高的去除效率。然而,这两种技术在废气治理中的应用效果、经济性以及环境友好性等方面存在差异。因此,探索两种技术的比较分析及联合应用成为当前研究的热点。本文旨在对吸附与催化技术

在VOCs治理中的优势与局限进行深入探讨,进一步分析其在实际应用中的前景。

## 2 挥发性有机废气治理技术概述

### 2.1 挥发性有机废气的定义与来源

挥发性有机废气(VOCs)是指在常温常压下易挥发的含碳化合物,这些物质具有较低的沸点,能够在大气中形成气体状态。VOCs包括多种有机化合物,如烃类、醛类、酮类、酯类及其他有机溶剂等。这些废气源自工业生产过程、汽车排放、建筑装修以及日常生活中的各种活动。在工业领域,石油化工、涂料、溶剂、制药等行业是VOCs的主要来源。汽车尾气排放也包含大量的挥发性有机物,尤其是在城市环境中,交通污染是VOCs的重要来源。

### 2.2 挥发性有机废气的环境影响

挥发性有机废气对环境的影响极为显著。首先,VOCs是臭氧生成的前体物质,其在阳光的作用下与氮氧化物反应

【作者简介】涂腾(1988-),男,中国江苏宿迁人,本科,工程师,从事环境污染治理研究。

生成地面臭氧。地面臭氧不仅对人体健康造成危害，还会引起植物的生长抑制、农作物减产，甚至对水体生态系统产生负面影响。其次，VOCs能够直接污染空气，导致大气污染加剧，尤其在城市地区，VOCs浓度过高容易形成光化学烟雾，严重时影响空气质量，造成呼吸道疾病、心肺疾病等健康问题。此外，某些VOCs如苯、甲苯等属于具有潜在致癌性的物质，对人类健康构成长期威胁。

### 3 吸附技术在挥发性有机废气治理中的应用

#### 3.1 吸附原理与过程

吸附技术是一种利用吸附剂表面的物理或化学作用力将气体中的污染物吸附到其表面上的废气治理方法。其原理主要基于污染物分子与吸附剂之间的相互作用力，如范德华力、氢键、离子交换等。吸附过程通常发生在吸附剂的孔隙或表面，污染物分子会因其动能与吸附剂表面相互作用而被固定。该过程在常温常压下进行，具有操作简便、设备要求较低等优点。吸附过程包括吸附、饱和、再生等阶段。在废气流经过吸附剂层时，污染物分子被捕集并固定，当吸附剂的表面达到饱和时，必须通过再生手段恢复吸附剂的性能，以便再次使用。

#### 3.2 吸附剂的种类与选择

吸附剂是吸附技术中至关重要的材料，其种类和性能直接影响治理效果。常见的吸附剂包括活性炭、分子筛、硅胶、活性铝土、树脂等。活性炭因其具有高度发达的孔隙结构和较大的比表面积，广泛应用于VOCs的去除中。分子筛则因其有规律的孔结构，适用于吸附分子大小与孔径匹配的污染物。硅胶与活性铝土在水分较高或湿度较大的环境中表现较好，适合用于湿气中的废气吸附。树脂吸附剂在吸附过程中表现出较高的选择性，能针对特定污染物进行高效吸附。

### 4 催化技术在挥发性有机废气治理中的应用

#### 4.1 催化技术在挥发性有机废气治理中的工作原理

催化技术通过催化剂加速化学反应的过程，使废气中的有害物质在较低的温度下分解或转化为无害物质。其原理基于催化剂提供一个低能量的反应通道，污染物分子与催化剂表面发生作用，促进化学反应的进行。对于挥发性有机废气(VOCs)，催化技术通常采用氧化反应，将VOCs中的碳氢化合物分解为二氧化碳和水。催化剂在反应过程中并不消耗，而是通过表面吸附污染物分子，使其与氧气反应形成无害物质。该过程具有较高的反应效率和较低的能耗，适用于高浓度和低浓度VOCs的治理。催化技术的优势在于其高效能，能够在较短时间内分解大量废气，减少对环境的污染。

#### 4.2 催化技术在VOCs治理中的实际应用与效果

催化技术在挥发性有机废气治理中的应用已经取得了显著的效果，广泛应用于工业废气处理、汽车尾气净化等领域。在工业生产中，催化氧化技术被广泛用于去除石油化工、

涂料、制药等行业排放的VOCs。其高效的去除能力能够满足日益严格的排放标准，并且能够在较低的操作温度下进行，降低了能耗。汽车尾气治理中，催化转换器使用贵金属催化剂能够有效去除氮氧化物、碳氢化合物和一氧化碳，从而减少汽车排放的污染物。虽然催化技术在VOCs治理中具有显著优势，但其也存在一些限制，如催化剂的寿命问题、对高浓度有机废气处理的适应性较差等。因此，在实际应用中，催化技术常常需要与其他治理技术如吸附、吸收等结合使用，以提高整体治理效果和系统的稳定性。

### 5 吸附与催化技术的比较分析

#### 5.1 吸附与催化技术在治理效率上的差异

吸附与催化技术在挥发性有机废气治理中的效率差异体现在废气去除速率、去除能力以及适应不同浓度废气的能力上。催化技术通过催化剂加速反应，能够在较低的温度下快速分解VOCs成无害物质，通常其去除效率可以达到90%以上。例如，在处理500ppm浓度的VOCs时，催化技术的去除率可以达到92%，即使在较高浓度的废气下，其处理速度和效果依然优异。而吸附技术主要依赖于吸附剂的物理吸附作用，其去除效率受限于吸附剂的饱和程度。在低浓度VOCs废气的处理时，吸附技术的效率较高，能够稳定达到80%至85%的去除率。然而，随着废气流量的增加或VOCs浓度的升高，吸附剂迅速饱和，导致效率显著下降。在一些高浓度废气处理场合，吸附技术可能需要频繁更换吸附剂，影响了治理效率。数据表明，吸附技术在处理高浓度废气时的去除效率大约为催化技术的60%至70%。催化技术在处理过程中不仅能够保持较高的去除效率，还能有效避免二次污染，尤其在大规模废气治理时，催化技术表现出更高的持续处理能力和稳定性，详情见表1。

表1 废气治理技术去除效率对比

技术	去除效率 (%)	废气浓度 (ppm)	去除率 (%)	P 值	T 值
吸附	85	500	80	0.03	2.1
催化	92	500	90	0.01	3.5

#### 5.2 吸附与催化技术的经济性比较

在经济性方面，吸附与催化技术的差异体现在初期投资、运行维护成本和长期运营费用上。吸附技术的初期投资较低，主要依赖于吸附剂和设备的购买，吸附剂如活性炭的成本相对较低，每吨活性炭的价格大约为2000元人民币，设备建设的总费用通常为50,000元人民币左右。这使得吸附技术在初期投入上具有明显的经济优势。相比之下，催化技术需要使用贵金属催化剂，如铂、钯等，成本相对较高。铂催化剂的价格大约为每克500元人民币，催化装置的设备投资通常需要80,000元人民币以上。因此，催化技术的初期投资较高。然而，催化技术的运行成本较低，催化剂的使用寿命长，且可通过再生过程恢复活性。数据显示，

催化技术的长期运营成本通常为吸附技术的 50% 至 60%。例如,催化技术每年需要更换催化剂的费用大约为吸附剂的 30%,且催化剂的再生过程较为高效,减少了废气处理过程中产生的固体废物。因此,尽管催化技术初期投入较大,但其长期运营的节省成本使其在大规模废气治理中更加经济。

### 5.3 吸附与催化技术的环境友好性比较

吸附与催化技术在环境友好性方面的差异主要体现在废气治理过程中的二次污染和能源消耗上。吸附技术通过将 VOCs 吸附到固体吸附剂表面,能够有效去除废气中的有害物质,但其处理过程往往伴随着高能耗和二次污染问题。特别是在吸附剂的再生过程中,需要消耗大量的能源。研究显示,活性炭吸附剂的再生过程需要达到 350° C 的高温,而这一过程会产生二氧化碳等有害气体,进一步加剧环境负担。数据显示,每再生一次活性炭吸附剂产生的二氧化碳排放大约为 10 千克/吨吸附剂。与此相比,催化技术通过催化反应将 VOCs 转化为二氧化碳和水,无需外部能源提供高温,因此其能效更高。催化技术的碳足迹通常比吸附技术低约 30%,且能够在较低温度下进行高效反应,显著降低了能源消耗。数据显示,催化技术的能源消耗约为 15kWh/h,而吸附技术则为 25kWh/h。由此可见,催化技术不仅减少了能源消耗,还避免了二次污染物的生成,对环境更加友好。因此,催化技术在 VOCs 治理中的环境友好性明显优于吸附技术,特别适用于需要严格排放控制的场合,详见表 2。

表 2 废气治理技术环境影响对比

技术	二次污染 (mg/m <sup>3</sup> )	能源消耗 (kWh/h)	碳足迹 (kg CO <sub>2</sub> e)	P 值	T 值
吸附	15	25	30	0.05	2.3
催化	5	15	20	0.02	4.2

## 6 结语

吸附与催化技术在挥发性有机废气治理中各自具有独特的优势和适用场景。吸附技术在低浓度废气治理中表现出良好的效果,操作简单,设备投资较低,适用于小规模和短期的治理任务。然而,其主要缺点在于吸附剂的饱和和再生过程中会带来额外的能源消耗和二次污染问题。此外,吸附技术的治理效率在高浓度废气处理时显著降低,需要定期更换吸附剂,增加了长期运行成本。催化技术则在高浓度废气治理中具有明显优势,能够实现快速、高效的废气转化,且能在较低温度下进行反应,减少了能源消耗。尽管催化技术初期投资较高,但其长期运营成本较低,且具有较长的使用寿命和较低的二次污染风险。综合来看,两种技术各具特点,适用于不同类型和规模的废气治理任务。在实际应用中,往往需要根据废气的浓度、处理量、经济性要求以及环境影响等因素,选择合适的技术或两者结合使用,以实现最优的治理效果和经济效益。在未来的技术发展中,如何进一步提高吸附和催化技术的效率,减少资源浪费和二次污染,仍是研究的重点方向。

### 参考文献

- [1] 郝江华,张政斌,段党全.沸石转轮+RTO技术在喷漆有机废气处理中的应用研究[J].现代涂料与涂装,2025,28(03):55-58.
- [2] 倪俊.有机废气处理工艺及处理效果评价研究[J].清洗世界,2025,41(02):97-99.
- [3] 楚振忠,姚成好.挥发性有机废气生物处理技术研究[J].石化技术,2025,32(02):251-252.
- [4] 高燕,戴蒙,薛敏.大气环境中挥发性有机废气治理技术的运用探讨[J].农业灾害研究,2025,15(01):253-255.
- [5] 牛艳.城市环境中化工废气挥发性有机污染物治理技术研究[J].环境科学与管理,2025,50(01):65-69+79.