

浅谈工业源 VOCs 气体污染治理对策

白丹丹

内蒙古岫川工程技术有限公司

DOI:10.12238/eep.v7i9.2258

[摘要] 工业源挥发性有机物(VOCs)作为大气污染的主要来源之一,对环境和人体健康产生了严重的负面影响。本文将探讨工业源VOCs气体污染的治理对策,结合当前污染现状,系统分析各类治理措施的适用性与效果。在对工业源VOCs的成因进行解析的基础上,进一步阐述各类治理工艺的特点与优劣,并从技术、经济以及政策等多方面提出可行性建议。文章旨在为相关治理政策的制定和企业的环保决策提供科学依据,以实现VOCs排放的有效控制。

[关键词] 工业源; 挥发性有机物; 气体污染; 治理对策; 环境保护

中图分类号: O659 文献标识码: A

Discussion on Countermeasures for Industrial VOCs Gas Pollution Control

Dandan Bai

Inner Mongolia Yuchuan Engineering Technology Co., Ltd

[Abstract] Industrial volatile organic compounds (VOCs), as one of the main sources of air pollution, have serious negative impacts on the environment and human health. This article will explore the control measures for industrial VOCs gas pollution, and systematically analyze the applicability and effectiveness of various control measures based on the current pollution situation. Based on the analysis of the causes of industrial VOCs, this paper further elaborates on the characteristics and advantages and disadvantages of various treatment processes, and proposes feasible suggestions from multiple aspects such as technology, economy, and policies. The article aims to provide scientific basis for the formulation of relevant governance policies and environmental decision-making of enterprises, in order to achieve effective control of VOCs emissions.

[Key words] industrial source; Volatile organic compounds; Gas pollution; Governance measures; environmental protection

引言

挥发性有机物(VOCs)是工业活动中广泛存在的污染物,种类繁多,来源复杂,是导致雾霾和光化学烟雾等环境问题的关键成分之一。近年来,随着工业化进程的加速,VOCs的排放量持续增长,严重影响了空气质量和人体健康。VOCs的治理已成为大气污染防治的重要议题,亟需有效的技术与政策手段来减少其对环境的影响。本文将重点探讨工业源VOCs气体污染治理对策,分析当前存在的主要问题,结合实际需求和先进技术,提出相应的改进措施和建议,以期为相关部门的环境治理提供参考。

1 工业源VOCs污染的主要特征与成因分析

1.1 工业源VOCs的主要特征

工业源VOCs具有组分复杂、多样化的特点,涉及碳氢化合物、醛类、酮类、醇类等多种成分。根据不同行业的特点,VOCs的排放量和组分存在显著差异。比如石化行业的VOCs多以碳氢化合物为主,而印刷涂料行业则以苯系物和醇类为主。VOCs的主

要特点还在于其具有易挥发性,能在空气中迅速扩散,导致大面积的空气污染。研究表明,工业源VOCs的排放浓度和成分不仅受到原材料及生产工艺的影响,还与排放点的温度、压力等环境因素息息相关。

工业源VOCs具有高度的反应活性,尤其在光照和高温条件下,极易与大气中的氮氧化物发生光化学反应,生成臭氧和其他光化学氧化剂。除了产生二次污染物外,VOCs还具有一定的毒性,部分物质对人体健康有直接危害,如苯类化合物具有致癌性,醛类物质会导致呼吸道刺激症状。因此,工业源VOCs的排放不仅仅是环境污染问题,更是涉及公众健康的重要课题^[1]。

1.2 工业源VOCs的成因分析

工业源VOCs的排放主要来源于生产过程中原材料的挥发、设备泄漏及废气排放等环节。在石化、化工、印刷、涂料等行业中,原材料在储存、转运、反应及生产加工过程中会有大量的VOCs逸散。尤其在无完善封闭设备或泄漏控制不当的情况

下，VOCs的无组织排放问题尤为严重。工业生产的多样化和复杂性使得VOCs的排放具有不可控性和不确定性，这也是治理工作的难点之一。

1.3 VOCs污染的环境与健康危害

VOCs在环境中与氮氧化物反应，形成臭氧和细颗粒物（PM_{2.5}），这些污染物是导致光化学烟雾和雾霾的重要因素。臭氧是强氧化剂，高浓度臭氧不仅会导致植被损害，还会对建筑物和材料产生腐蚀作用。此外，VOCs还会与其他污染物形成二次有机气溶胶，进一步加剧空气污染问题。

长期暴露在高浓度的VOCs环境中，对人体健康的危害十分显著，可能导致呼吸道疾病、皮肤过敏、神经系统损害等问题，部分VOCs甚至具有致癌性。例如，苯及其衍生物具有强烈的毒性，长期吸入可能会导致血液系统疾病如白血病，甲醛等醛类物质则会导致呼吸系统和皮肤的过敏反应。因此，对VOCs的控制不仅是环境保护的需要，也是保障公众健康的必要措施^[2]。

2 工业源VOCs治理技术与适用性分析

2.1 吸附技术及其应用

吸附技术是一种常见的VOCs治理手段，主要利用吸附剂（如活性炭）来捕捉废气中的有机成分。吸附技术具有操作简单、适应性强等优点，尤其适用于低浓度VOCs的处理。近年来，为提高吸附效率和降低成本，新型吸附剂的开发得到了广泛关注。例如，沸石分子筛因其优异的热稳定性和较高的吸附容量逐渐在VOCs治理中得到应用。此外，吸附过程中的再生技术也备受重视，如利用热再生或微波再生技术延长吸附剂的使用寿命，从而降低整体的运行成本。数据表明，利用新型再生吸附剂，VOCs的去除效率可达95%以上，同时大大降低了废弃吸附剂的产生量，详情见图1。

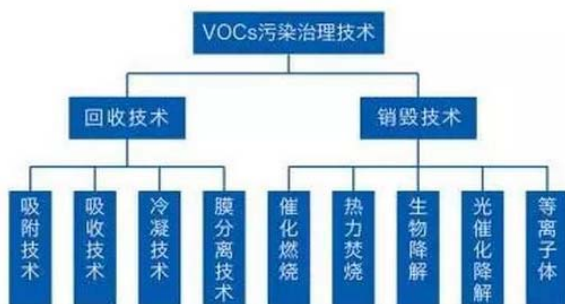


图1 VOCs治理技术内容

2.2 催化燃烧技术的原理与效果

催化燃烧技术是通过催化剂将VOCs氧化为无害的二氧化碳和水，其优点在于能够在较低温度下实现高效净化。该技术尤其适用于高浓度、低风量的VOCs废气处理。在应用过程中，催化剂的选择及活性稳定性对治理效果至关重要。贵金属催化剂虽然效果显著，但成本较高，且容易受污染而失效。近年来，随着新型催化剂的研发，催化燃烧技术的经济性和适用性得到了较大的提升。

催化燃烧技术还包括蓄热式催化燃烧（RCO）技术，该技术通

过蓄热体的反复加热与冷却循环，提升了热能利用率，降低了能源消耗。研究表明，采用RCO技术的企业，其能源消耗相较于传统催化燃烧技术减少了约30%。此外，非贵金属催化剂如钴、镍等的应用，也在一定程度上降低了治理成本，使得该技术在中小型企业中得到了推广。

2.3 吸收法及其在VOCs治理中的应用

吸收法是通过吸收液与废气中的VOCs接触，使其溶解或发生化学反应来达到净化目的。近年来，采用化学吸收法处理VOCs逐渐成为一种趋势，通过吸收液的化学反应，提高了对特定VOCs的去除效率。例如，使用酸性或碱性溶液来处理含醛类或含胺类的VOCs时，去除率可达90%以上。此外，利用生物吸收液进行VOCs处理也开始受到关注，研究表明，生物吸收液不仅能够有效吸收VOCs，还能够通过生物降解作用降低吸收液的更换频率，从而降低运行成本。

3 VOCs治理过程中的政策支持与技术经济性分析

3.1 政策推动在VOCs治理中的重要性

有效的政策支持是推进VOCs治理的关键因素之一。近年来，国家出台了一系列关于VOCs治理的法律法规，明确了排放限值和行业标准，这些政策对工业企业的VOCs排放起到了积极的约束作用。根据最新统计，严格的排放标准和督察机制促使全国VOCs排放量在过去五年中下降了约20%。政策的推动不仅体现在排放标准的制定上，还包括对企业技术改造的资金支持以及对先进治理技术的推广。例如，环保税的实施对高排放企业形成了有效的经济约束，迫使其进行环保设施的升级改造。某些地区还通过制定VOCs排放总量控制指标，分解到各个企业，实行总量控制和排放交易机制，以实现区域内的VOCs减排目标。这种政策不仅能够有效控制VOCs的总排放量，还能促进企业之间的环保合作，提高治理效率^[3]。

3.2 治理技术的经济性评估

在VOCs治理过程中，经济性是企业选择治理技术时考虑的重要因素。催化燃烧法初期投资较大，但运行成本较低，适合大规模连续性生产企业。据调查，在某大型化工企业中，采用催化燃烧技术后，运行成本降低了约30%，同时排放达标率大幅提升。技术的选择需要在经济性与治理效果之间寻找平衡点，结合企业实际需求进行综合考虑。

此外，对于中小型企业而言，低成本、高效率的治理技术尤为重要。例如，冷凝回收技术作为一种回收型VOCs治理手段，其初期投资适中，且通过回收的有机物可以再次利用，降低了整体运营成本。数据表明，某印刷企业通过采用冷凝回收技术，年均回收溶剂约200吨，直接经济效益超过100万元。因此，治理技术的选择应充分考虑企业的规模、排放特点及经济承受能力。

3.3 财税政策对企业VOCs治理的激励作用

数据显示，自财税激励政策实施以来，采用先进治理工艺的企业比例从2018年的25%提升至2023年的60%。财税政策不仅有效降低了企业的环保成本，也加快了环保技术的更新迭代，为VOCs治理提供了强有力的支撑。除了直接的税收减免，政府还通

过绿色金融政策为环保项目提供低息贷款,鼓励企业投资于环保设施的建设与改造,通过设立环保奖惩基金激发了企业在VOCs治理中的主动性和积极性。

4 工业源VOCs治理对策的改进与优化

4.1 提升治理效率的技术集成方案

单一的VOCs治理技术在应对复杂污染时往往存在局限性,技术集成方案逐渐成为提升治理效率的重要手段。例如,将吸附法与催化燃烧法相结合,可先通过吸附法降低VOCs浓度,再通过催化燃烧将剩余污染物彻底分解。数据显示,采用技术集成方案的企业,其VOCs去除率可达到98%以上。集成方案的优势在于能够有效应对多组分、多浓度的废气,显著提高整体治理效果^[4]。

此外,将低温等离子体技术与吸附法结合也逐渐成为一种有效的集成治理方案。低温等离子体能够有效破坏VOCs分子结构,而吸附法则可以进一步捕捉未完全分解的残余污染物。某电子制造企业通过采用低温等离子体与吸附法相结合的工艺,VOCs去除效率从原有的85%提升至96%,而且运行成本降低了约20%。

4.2 在线监测与数据分析在VOCs治理中的应用

在线监测技术在VOCs治理中的作用日益突出,通过实时监测排放浓度和治理设备的运行状态,可以及时发现问题并进行调整。某企业通过引入在线监测系统,将废气排放超标的频率降低了约40%。同时,数据分析技术也在治理过程中得到了应用,企业可以通过对排放数据的历史分析,找出排放高峰期并针对性地采取措施,以实现更精细化的治理,详见表1。

表1 VOCs治理中的大数据分析监测主体项目

序号	污染物项目	标准名称	标准编号
1	苯 甲苯 二甲苯	环境空气 苯系物的测定 固体吸附/热脱附-气相色谱法	HJ 583
		环境空气 苯系物的测定 活性炭吸附/二硫化碳解吸-气相色谱法	HJ 584
		环境空气 挥发性有机物的测定 吸附管采样-热脱附/气相色谱-质谱法	HJ 644
		固定污染源废气 挥发性有机物的测定 固相吸附-热脱附/气相色谱-质谱法	HJ 734
		环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法	HJ 759
2	非甲烷总烃	固定污染源废气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 气相色谱法	HJ 38
		环境空气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 直接进样-气相色谱法	HJ 604
		固定污染源废气 总烃、甲烷、非甲烷总烃便携式监测仪技术要求及检测方法	HJ 1012

通过大数据分析手段,企业可以对VOCs排放量进行趋势预测,并结合生产计划进行预防性调控。研究表明,利用数据分析手段,某化工企业在生产高峰期之前提前对治理设备进行维护,排放超标次数减少了50%。在线监测与数据分析的结合,不仅能够提高VOCs治理的实时性和准确性,还能够降低超标排放的风

险,实现污染物的精细化管理。

4.3 公众参与与社会监督机制的建设

公众参与和社会监督机制是VOCs治理的有效补充手段。在实际治理过程中,公众的举报和监督往往能够弥补监管力量的不足,形成社会共治的良好局面。调查显示,在设有公众监督平台的地区,VOCs排放超标企业的数量比未设立相关机制的地区减少了约15%。公众参与不仅有助于企业提升环保意识,还能推动环保政策的落实和改进^[5]。

为激励公众参与,政府应进一步健全公众举报机制,设立环保举报奖励基金,对提供有效线索的公众给予一定的物质奖励。同时,借助社交媒体平台,可以建立起公众与政府、企业之间的沟通桥梁,公众可以通过平台了解企业的排放情况并进行监督。

5 结语

工业源VOCs的治理是大气污染防治工作中的重要环节,涉及技术、经济、政策等多个方面的综合考量。通过科学的技术选择、政策推动以及社会多方参与,可以有效减少工业源VOCs的排放,改善空气质量,保护公众健康。本文通过对治理对策的系统分析,提出了多项改进与优化建议,以期为相关政策的制定和企业的环保工作提供参考。在未来的工作中,需要进一步加强技术研发与政策创新,以实现工业源VOCs排放的全面控制和持续减少。

[参考文献]

- [1]魏良宇,高子恒.环保装备技术在化工行业中的应用与发展[J].化工环保,2023,40(3):112-118.
- [2]冯志成,孙宏毅.挥发性有机物治理技术及其经济性评估[J].环境科学,2024,45(5):98-105.
- [3]章晓峰,钱远航.现代工业VOCs排放控制及政策分析[J].环境保护,2022,48(4):56-63.
- [4]郑伟卓,蓝玉珊.催化燃烧技术在VOCs治理中的应用研究[J].催化技术,2023,41(2):44-50.
- [5]刘欣宇,史钰杰.VOCs排放的治理对策与优化措施[J].环境监测与管理,2024,39(1):23-29.

作者简介:

白丹丹(1984--),女,汉族,内蒙古自治区赤峰市宁城县人,硕士研究生,中级工程师,研究方向:生态环境工程。