

大气 VOCs 污染治理与环境工程技术探讨

李茂

鄂尔多斯生态环境职业学院, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 论文全面探讨了大气 VOCs 污染的起因、特性、治理技术及其成效, 并提出了相应的治理策略与政策建议。文中先阐释了 VOCs 的概念与分类, 并分析了其来源和排放路径, 同时深入讨论了 VOCs 对环境与健康的潜在影响。随后, 详细阐述了吸附法、膜分离法、液体吸收法、催化燃烧法和光催化氧化处理技术等主流治理技术, 并探讨了生物滤池技术、等离子体技术以及高效空气净化技术在 VOCs 治理领域的应用。通过具体案例分析, 对不同技术的实际应用效果进行了评估。

关键词: VOCs; 污染治理; 环境工程技术; 吸附法; 政策建议

Discussion on the Control of Atmospheric VOCs Pollution and Environmental Engineering Technology

Mao Li

Ordos Ecological Environment Vocational College, Ordos, Inner Mongolia, 017000, China

Abstract: This paper comprehensively explores the causes, characteristics, treatment technologies, and effectiveness of atmospheric VOCs pollution, and proposes corresponding treatment strategies and policy recommendations. The paper first explains the concept and classification of VOCs, analyzes their sources and emission pathways, and deeply discusses the potential impact of VOCs on the environment and health. Subsequently, mainstream treatment technologies such as adsorption, membrane separation, liquid absorption, catalytic combustion, and photocatalytic oxidation were elaborated, and the applications of biofilter technology, plasma technology, and high-efficiency air purification technology in VOCs treatment were discussed. Through specific case analysis, the practical application effects of different technologies were evaluated.

Keywords: VOCs; pollution control; environmental engineering technology; adsorption method; policy suggestion

0 前言

随着中国经济的快速发展, 工业化和城市化进程不断加快, 大气挥发性有机化合物 (VOCs) 污染问题日益凸显。VOCs 不仅对人体健康构成严重威胁, 还会导致臭氧和细颗粒物 (PM_{2.5}) 污染, 进而影响生态环境和气候变化。因此, 针对大气 VOCs 污染的治理已成为中国环境保护工作的重要任务。论文旨在系统性地探讨大气 VOCs 污染的来源、特性、治理技术及其应用效果, 并结合实际情况提出治理策略与政策建议, 以期为中国大气 VOCs 污染防控提供理论依据和实践指导。

1 VOCs 的来源与特性

了解 VOCs 的第一步, 是明确其定义和分类。这一章节将为我们提供一个清晰的概念框架, 以便更好地把握 VOCs 的特性及其对环境和健康的影响。

1.1 VOCs 的定义和分类

挥发性有机化合物 (Volatile Organic Compounds, 简称 VOCs) 是一类在常温常压下具有较高挥发性的有机化合物。它们广泛存在于自然环境和人类活动中, 根据化学结构的不同, VOCs 可分为多种类型, 主要包括烷类、烯类、芳香烃类、

卤代烃类等。这些化合物的共同特点是具有较强的挥发性, 能够在空气中形成蒸汽, 进而参与大气光化学反应^[1]。

1.2 主要来源及排放途径

VOCs 的排放源主要分为自然源和人为源两大类。自然源包括植物排放和湿地释放等, 而人为源则涵盖了更为广泛的领域, 如石油化工、印刷、涂装、制药等行业的生产活动, 以及交通运输和日常生活等方面。在这些活动中, VOCs 作为原料或溶剂在工业生产中被广泛使用, 未经妥善处理的废气排放成为 VOCs 的重要来源。同时, 汽车尾气、船舶和飞机的排放也是 VOCs 的重要来源之一。此外, 日常生活中的家庭装修、家具、化妆品和清洁用品的使用也会释放出一定量的 VOCs。

1.3 环境影响和健康风险

VOCs 对环境和健康的深远影响不容小觑。由于 VOCs 具有挥发性和低水溶性特征, 容易在大气中输送, 易于形成光化学反应, 产生臭氧和光化学烟雾, 这些物质对环境和人类健康造成重要的危害。此外, 某些有机化合物还会形成污水和垃圾, 会对土壤和水体造成污染^[2]。在健康方面, VOCs 的刺激性、毒害作用及致癌潜力, 使得长期接触高浓度 VOCs 的人群易患呼吸道疾病、神经系统损伤和肝脏损害

等健康问题。

2 大气 VOCs 污染治理技术

面对日益严峻的大气挥发性有机化合物 (VOCs) 污染问题, 寻求并推广高效的治理策略已变得迫在眉睫。这些污染物不仅对空气质量构成威胁, 而且对生态系统和人类健康造成了严重影响。

2.1 吸附法

吸附法, 作为一种有效的 VOCs 治理手段, 依赖于吸附剂对 VOCs 分子的物理或化学吸附能力, 从而实现从气体混合物中提取和净化 VOCs。这种方法的核心在于其使用的吸附剂, 如活性炭、活性氧化铝、分子筛等, 它们具有丰富的孔隙结构和较大的比表面积, 能够有效地捕捉和固定 VOCs 分子。吸附法在 VOCs 治理中虽具显著优势, 但实际应用中仍遭遇挑战。关键在于吸附剂的选择, 其吸附性能因 VOCs 种类和操作条件而异, 需精心挑选以匹配特定污染物。此外, 吸附容量限制了吸附法的连续运行, 饱和后的吸附效率急剧降低^[3]。吸附剂的再生同样是个难题, 实现其经济高效循环利用, 对于降低成本、提升治理效率至关重要。

2.2 膜分离法

膜分离技术利用半透膜的特定选择性透过性, 有效地将 VOCs 从气流中分离出来。该技术以其无需相变、低能耗和操作简便等特点而受到重视。尽管如此, 膜材料的选择、膜污染问题以及膜的使用寿命, 仍是制约其广泛应用的瓶颈。因此, 研究和开发具有高透量、高选择性和优良抗污染性能的新型膜材料, 成为推动膜分离技术进步的核心所在。

2.3 液体吸收法

液体吸收法通过利用液体吸收剂与 VOCs 之间的物理或化学作用, 有效地从气体混合物中去除 VOCs。这种方法常用的吸收剂包括水、矿物油和各类有机溶剂等, 其优势在于设备构造简单、操作便捷以及较高的吸收效率。然而, 液体吸收法的应用面临着吸收剂的选择、吸收后废液的处理以及吸收剂的再生等关键问题。

2.4 催化燃烧法

催化燃烧法利用催化剂来降低 VOCs 的点火温度, 使其在相对较低的温度下实现氧化分解, 转化为无机物质。这一技术以其高效的处理能力和避免二次污染的特点而受到青睐^[4]。然而, 在实际应用中, 催化剂的选用及其寿命、高温条件下的稳定性, 以及操作的总体成本, 都是需要细致考量的重要因素。

2.5 光催化氧化处理技术

光催化氧化技术依托光催化剂在光照作用下生成的强氧化性羟基自由基, 将 VOCs 有效氧化分解为水与二氧化碳, 实现了无污染的处理过程。该技术以其温和的操作条件而著称。要提升光催化氧化技术的处理效率, 关键在于提高光催化剂的活性和稳定性, 以及优化光照条件。这些因素共同决定了光催化氧化技术的应用效果和范围。

3 环境工程技术在 VOCs 治理中的应用

环境工程技术在挥发性有机化合物 (VOCs) 的治理中扮演着至关重要的角色。这些技术不仅有助于减少大气污染, 保护生态环境, 而且对于维护人类健康和提高生活质量具有深远的影响。

3.1 生物滤池技术

生物滤池技术, 作为一种生物处理手段, 巧妙地利用微生物的代谢活动来分解挥发性有机化合物 (VOCs)^[5]。该技术通过引导污染气体流经填充了生物膜载体——如土壤、堆肥、碎石等——的滤池, 使得 VOCs 在生物膜表面被微生物吸附并降解为环境友好的物质。生物滤池技术的显著优点包括运营成本低廉、不会产生二次污染以及操作过程简便。尽管如此, 该技术的处理效率受到温度、湿度、pH 值等环境条件的显著影响, 并且对于某些难以降解的 VOCs, 其处理效果可能并不理想。

3.2 等离子体技术

等离子体技术, 凭借其产生的高能电子和活性自由基, 能够对 VOCs 分子进行高效的氧化分解, 将其转化为无害的小分子气体。该技术以其快速的处理能力、高效的转化率和广泛的适用性而著称, 能够应对多种复杂组成的 VOCs^[6]。尽管等离子体技术展现出强大的处理能力, 但其较高的能耗、设备投资和维护成本, 以及可能产生的氮氧化物等副产物问题, 成为其在实际应用中需要逐一克服的挑战。

3.3 高效空气净化技术

高效空气净化技术, 如高效粒子空气过滤器 (HEPA) 和活性炭过滤器, 依靠物理或化学吸附机制, 有效地清除空气中的 VOCs。这些技术特别适用于提升室内空气质量和对局部污染源的管理。它们以设备的小巧紧凑、安装的便捷性以及运行时的静音特性而受到青睐^[7]。然而, 不容忽视的是, 过滤材料的寿命及其更换成本, 以及使用过程中可能引起的压降问题, 这些因素都在一定程度上影响着该技术的广泛应用。

4 案例分析

4.1 实例背景

鄂尔多斯市作为中国重要的能源基地, 拥有丰富的煤炭、石油和天然气资源。随着工业的快速发展, 该地区也面临着日益严重的大气污染问题, 其中挥发性有机化合物 (VOCs) 污染尤为突出。鄂尔多斯市某化工企业主要从事化工产品的生产, 在生产过程中会产生大量 VOCs, 包括苯、甲苯、二甲苯等有害物质, 对环境和人体健康造成严重威胁。

4.2 治理方案

4.2.1 源头控制

优化生产工艺, 采用低 VOCs 含量的原料和溶剂, 减少 VOCs 的生成。

4.2.2 过程控制

①吸附法：建设活性炭吸附装置，利用活性炭的吸附能力将 VOCs 从废气中分离出来，吸附饱和后的活性炭进行再生利用。

②催化燃烧法：建设催化燃烧装置，利用催化剂将 VOCs 在低温下氧化分解为二氧化碳和水，实现无害化处理。

4.2.3 末端控制

建设光催化氧化装置，利用光催化剂在光照作用下将 VOCs 氧化分解，进一步降低排放浓度。

通过实施上述治理方案，该企业 VOCs 排放浓度显著降低，达到国家排放标准，有效改善了周边环境质量。同时，该企业还建立了完善的 VOCs 监测体系，定期对排放情况进行监测，确保治理效果持续稳定。

5 治理策略与政策建议

在深入分析了 VOCs 的来源、特性、治理技术及其应用效果之后，转向更为宏观的视角，探讨治理策略与政策建议。

5.1 现有政策法规概述

中国对 VOCs 污染治理给予了极高的重视，相继出台了《大气污染防治行动计划》《挥发性有机物污染防治技术政策》等政策法规，确立了 VOCs 排放控制的目标与措施^[8]。在此基础上，各地方政府根据中央政策与地方实际，制定了如《XX 省大气污染防治条例》等具体实施细则和地方标准，进一步强化了 VOCs 排放的监管力度。同时，为适应不同行业特性，还专门制定了一系列行业排放标准，如《石油化学工业污染物排放标准》，以此规范企业排放行为，形成了由国家到地方再到行业的全方位管理体系。

5.2 治理技术发展趋势

展望未来，VOCs 治理技术将走向集成化、智能化和绿色化的新阶段。集成化应用多种技术，是提升治理效率、降低成本的核心策略。借助物联网、大数据等尖端技术，VOCs 治理设施将实现智能化的监控与管理，极大提高治理的精确度和操作效率^[9]。同时，推动技术向绿色环保方向演进，减少治理过程中的副产物污染，促进资源循环利用，这是贯彻环境保护和可持续发展战略的必由之路。

5.3 政策建议和未来展望

为有效推进 VOCs 治理，建议加强法律法规的完善与

执行，确保政策落地生根；同时，通过财政补贴和税收优惠激励企业采纳先进治理技术。建立健全 VOCs 排放监测体系，提升监管效能，并加大公众教育和宣传力度，提高社会对 VOCs 污染的认识和治理积极性^[10]。展望未来，随着技术进步和政策完善，VOCs 治理将趋于科学化和规范化，企业环保意识提升将有效控制排放，环境质量有望逐步好转。

6 结语

总的来说，VOCs 的治理是一项复杂而艰巨的任务，涉及政策制定、技术创新、企业责任和公众参与等多个层面。通过深入剖析 VOCs 的来源、特性及其对环境和健康的影响，明确了治理的重要性和紧迫性。同时，通过对现有治理技术的探讨和案例分析，我们看到了治理 VOCs 的潜力和挑战。展望未来，坚信在政府、企业和公众的共同努力下，通过不断完善政策法规、推动技术创新，能够有效控制 VOCs 污染，改善环境质量，保护人民健康，实现绿色可持续发展。

参考文献：

- [1] 侯力群.浅析当前臭氧和VOCs污染及治理[J].皮革制作与环保科技,2023,4(20):85-87.
- [2] 仇金亮.工业源VOCs污染治理存在的问题及对策建议分析[J].清洗世界,2023,39(11):111-114.
- [3] 徐秀丽.浅谈活性炭工艺在VOCs污染治理工程中的应用及缺陷[J].清洗世界,2023,39(8):1-3.
- [4] 刘豹林.纺织印染工业VOCs污染的治理措施及应用研究[J].清洗世界,2023,39(8):124-126.
- [5] 吴春瑞,张莉.工业VOCs污染的主要来源及其处理技术分析[J].皮革制作与环保科技,2023,4(24):19-21.
- [6] 刘冰,董昊鑫,高玉平,等.VOCs污染治理技术绩效评价方法研究[J].化工安全与环境,2023,36(9):48-53.
- [7] 武静.可持续发展视角下的城市群VOCs污染空气防治技术研究[J].环境科学与管理,2023,48(4):92-97.
- [8] 朱强,郭吉庆,邵娟.工业废气VOCs污染控制技术研究进展[J].山东化工,2022,51(23):220-222.
- [9] 赵健.试论汽车维修行业VOCs污染及治理技术[J].资源节约与环保,2022(11):82-85.
- [10] 范佳.园区VOCs污染综合治理现状与技术研究[J].皮革制作与环保科技,2021,2(22):75-77.