

挥发性有机物污染源排放特征及治理研究

朱萌

商丘市生态环境局永城分局, 中国·河南 商丘 476600

摘要: VOCs 的污染不仅涉及环境空气质量, 直接关系到生态环境和人体健康。随着工业的进步, VOCs 排放量加大, 成为环境污染的主导因子。而目前治理技术的效率以及普适性仍然有限, 亟待探索新的治理方式。该文对 VOCs 的主要污染来源、VOCs 的污染对环境带来的危害进行了系统的研究与分析。并提出改善治理的优化路线, 统筹包括污染源治理, 污染治理技术和大气污染监测设备创新等各个方面, 摸索出一条集科学技术进步和社会共同参与的绿色治理之道。而有效地 VOCs 治理工作, 不仅是一场科技攻坚战, 而是一次全社会治理污染的战役。

关键词: 挥发性有机物; 污染源排放; 治理技术; 减排措施; 社会参与

Study on emission characteristics and treatment of volatile organic compounds pollution sources

Zhu Meng

Yongcheng Branch of Shangqiu Ecological Environment Bureau, China Henan Shangqiu 476600

Abstract: VOCs pollution is not only related to the ambient air quality, but also directly related to the ecological environment and human health. With the progress of industry, the emission of VOCs has increased, which has become the leading factor of environmental pollution. At present, the efficiency and universality of governance technology are still limited, and it is urgent to explore new governance methods. In this paper, the main pollution sources of VOCs and the harm of VOCs pollution to the environment are systematically studied and analyzed. And put forward the optimized route to improve governance, including pollution source control, pollution control technology and innovation of air pollution monitoring equipment, and explore a green governance road that integrates scientific and technological progress and social participation. The effective VOCs control work is not only a tough battle in science and technology, but also a battle for the whole society to control pollution.

Keywords: Volatile organic compounds; Pollution source discharge; Governance technology; Emission reduction measures; Social participation

0 引言

挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOCs) 的排放问题早已成为空气污染、环境污染甚至是一种社会问题。从我国北方到南方, 从城市到乡村, 从内陆到沿海, 无不饱受空气质量下降的困扰, 也无不为这些问题困扰, 面临雪上加霜的现实问题。面对日益加重的气候变化、空气质量恶化等, VOCs 排放, 已经不再是一起空气污染事件, 它是关系到人类生存、人类未来发展的生态问题。VOCs 的特性决定了它不仅很容易引发空气污染问题, 还在一定条件下可引发现场污染, 比如石化生产装置泄漏引起的火灾、爆炸, 氯气罐泄漏、液氨泄漏引起的中毒死亡, 苯酚泄漏、燃爆引起的致癌伤亡等。传统的治理技术方法均存在很多的弊端, 缺乏应对手段, 但 VOCs 的排放治理不仅仅是技术和硬件更新的问题, 更是一个涉及社会经济发展、环境治理以及能源管理的综合难题。那么如何在快速发展

中凝聚全社会的力量, 解决问题才是真正的出路。

1 挥发性有机物污染源的基本特征

1.1 挥发性有机物的主要特征

VOCs 作为一类型污染物, 在生活中普遍存在, 挥发性强, 沸点低, 常温时易挥发到空气中形成气态污染物, 是常见的污染类型, 种类较多, 常见的 VOCs 中可能含苯、甲苯、二甲苯等有毒有害的物质, 甚至有的 VOCs 为致癌物质和致畸物质, 不仅直接加剧空气污染, 同时也是臭氧和光化烟雾的生成前体物质。长时间存在于生态与人体的威胁区域, 尤其在大规模工业生产城市中。

1.2 挥发性有机物的排放来源

VOCs 排放源比较广泛, 包括工业、交通、农业和日常生活等。化工石化、化工、涂料及有机溶剂等行业属于工业源排放; 交通源主要是汽车尾气的排放; 农业中的农药、化肥、农用薄膜等为农业源; 室内生活中的清洁产品、

化妆品、清新剂等为生活源。不同类型 VOCs 污染源的叠加，造成了复杂而广泛的污染，增大了治理的困难和难度。

2 挥发性有机物排放面临的主要问题

2.1 挥发性有机物排放对环境的影响

VOCs 的排放除了造成空气污染外，它对全球气候变化、生态系统和人健康均具有重大影响。VOC 与 NO_x 在日光作用下可转化为 O_3 ，致使大气 O_3 浓度过高，区域性气候变化，危害农作物、森林群落以及水质等。人类暴露于高浓度的 VOCs 污染中，造成严重的呼吸道疾病、过敏反应与癌症，短期暴露致呼吸道和神经系统疾病，慢性暴露致不可逆的严重后果。VOCs 的排放已不再只是单纯的空气污染问题，而是和生物多样性和气候稳定性以及整个人类的健康问题息息相关。

2.2 现有治理措施的局限性

虽然现阶段 VOCs 的治理技术不断更新，但在实际的应用中还存在众多制约因素。其中，无论是吸附法、燃烧法、冷凝法等哪种方法都有较高的能耗和成本，且对一些种类的 VOCs 去除不彻底。吸附法在应用中需要利用吸附材料进行 VOCs 治理，而当吸附材料处于较高浓度或者较复杂组成的时候，吸附材料的吸附能力迅速达到饱和状态，处理效果下降明显；燃烧法虽然能够将所经过的有机物全部分解成 CO_2 和 H_2O ，但是对高沸点、毒性或易燃性的 VOCs 却没有效果，而且燃烧会加剧二次污染的产生；冷凝法的冷却费用高，而且设备使用复杂。不同种类 VOCs 的物理化学特性相差很大，所以单一的方法并不能解决所有的问题，也没有建立一套应对 VOCs 随时间变化技术体系，使得 VOCs 的治理效果不佳。

2.3 挥发性有机物排放监测与治理技术的不足

监管与处置是解决 VOCs 污染治理的两大关口，但目前技术现状下仍然存在较大的困难。常用的 VOCs 排放监测技术主要采用气相色谱法等较为成熟的监测技术，这种监测方法测量精度较高，但需要较为复杂的采样过程，在时间方面也花费较大，这种监测的实时性也比较低。尤其是在不稳定的动态环境之中，监测时间的滞后性使得治理的手段也将出现滞后性；另一方面，现有的治理技术在对于数量庞大且排放 VOCs 物质浓度较高的情况进行治理时，自身的技术也出现明显的短板，而许多新型的技术、材料尚处于实验状态，不能进行大规模的实际应用，由于 VOCs 排放的特点，现有的技术一般不能用于覆盖面广泛的污染治理工作中，缺乏可以执行并应用的标准化方法与对策措施。这种不适用性、滞后性也是目前治理过程中遇

到的重大难点。

3 挥发性有机物污染治理的策略

3.1 污染源控制技术的优化途径

污染源控制是源头解决 VOCs 排放的核心，现阶段源头控制技术主要包括设备改进、工艺改进和替代原辅材料等。但是从源头上实现持续性和大规模的污染源减排，需要对现有的污染控制技术做有效优化和改造，尤其需要对工艺流程进行优化。优化源头控制技术的精确性、可操作性和应用性，是从根本上获得良好污染减排的重要途径。污染源控制技术优化首先就是需要针对不同的污染源进行精细化分析。不同工业行业所排放的 VOCs 种类、浓度、排放方式等都有较大差异，通常的“一刀切”式污染控制方法并不适合不同行业对排放的多样化需求。因此，从行业特点出发、针对不同污染源进行具体的控制技术与原辅材料的选择，可以更好地实现污染的源头控制。例如，在化工行业、汽车制造等可通过工艺改进、原料改造或者封闭生产工艺等方式减少 VOCs 的排放^[1]。优化控制污染源的控制技术的智能化与精细化，通过智能信息监控与实时控制技术手段，将污染源的排放量和排放特征实时反馈到控制信息系统，从而实现实时调控，及时对工艺参数进行调整，从而可以大大提高污染物控制效率。例如在石化行业，基于互联网技术和传感器的实时监控系統可以实时采集并监控排放数据，通过人工智能等方法对化工生产的 VOCs 排放等特征实现针对性预测，精准调控工艺流程。要想完成污染源控制技术的优化，除了技术创新，还需要结合政策方面的引导作用和行业的自律，政府应该用激励手段引导企业积极去改进技术，还要进一步加大对于污染源排放的管控，要求企业在平时的生产过程中对 VOCs 排放能够引起重视。

3.2 挥发性有机物的减排技术手段

VOCs 减排技术已经有了一定的发展，随着排放量的增长以及日趋严格的排放标准对技术的要求，减排技术还有很大的发展空间。技术创新，除了技术原理上的突破，还有实现的成本和社会可接受度。因此减排的技术手段的创新要考虑效率、成本和可操作性等条件。当前的技术包括吸附、冷凝、生化降解、催化氧化等。吸附依靠活性炭、分子筛等材料吸收 VOCs，对于一定的条件可以有效降低排放。但随着浓度和排放量的增大作用效果差，并且吸附材料的消耗量大，运行成本高。因此对大宗、高排放量的 VOCs 还需要相匹配的、更强的材料和技术手段。比如目前比较研究较多的材料为纳米材料，纳米材料由于其

高的比表面积和调变性,吸附效果明显增加^[2]。催化氧化作为一种成熟的技术,其优点是可以将有机物氧化成无毒无害的CO₂和H₂O,对VOCs有完全的去除效果,且对VOCs的范围广泛。而催化剂的研制是实现催化氧化的关键,近年来纳米催化剂的应用成为研究热点,反应效率和反应条件都有较大提高,尤其对于低温条件的应用。生物降解技术是利用微生物的代谢分解VOCs,该工艺具有能耗低、比较环保的优点,但也具有适用范围小,目前只多用于处理低浓度VOCs的特点。随着生物技术的发展,利用工程化微生物、基因编辑技术等,可以使得生物技术具有更高效的降解性能,拓宽其适用范围。减排技术的选取要结合排放源的特点、排放浓度的高低、经济能力等因素具体确定。而且要注重减排技术的组合,运用不同的手段可以起到不同的作用,尤其在复杂的工业排放场所,如物理和化学与生物法的结合等都可以取得比较好的成效。

3.3 高效监测与排放控制设备的发展方向

高效的监测和排放控制设备是VOCs治理的核心,特别是在大气污染越发严重的形势之下,更加考验排放控制装置的准确性和响应性,未来VOCs监测及排放控制设备的发展,应向更加精准、更加适应、更加智能的方向发展^[3]。高精度监测VOCs排放需要先进传感器技术的支持,尤其是分子传感器技术、气体分析仪器的进步为实时精确检测提供精细化的定量数据。例如:光谱分析技术、质谱分析、气相色谱等技术实验室操作已经成熟,但是相关在线监测技术仍未完善。未来,随着传感器技术的发展,体积更小、成本更低、能够实时监测微小波动的新型小型传感器必将成为趋势,能够捕捉VOCs排放微小波动的数据指标,将实时分析传输到后台数据处理和分析系统中。随着大数据时代的人工智能技术应用,排放监测将不仅仅是一系列的检测数据,而是对数据进行实时分析和预警。通过对海量数据的积累和分析,借助机器学习算法,可以判断VOCs排放的未来趋势,为工业企业的生产调度和处理提供更加精准的对策方案。借助人工智能技术,也可为设备的运行维护提供及时的技术支持,通过对监测数据的分析,及时识别设备故障隐患,减少停工时间以及维修成本。在排放控制设备的智能化趋势中,未来会出现智能化的排放治理系统。借助物联网、云计算技术,排放控制设备可以实现远程监管和自我优化、自我纠正,根据环境的变化情况实施自我调控VOCs的排放量,确保排放的控制合理,杜绝超量排放的现象。

3.4 改善污染源治理效率的技术创新

一是技术创新是提升VOCs污染治理效率的有效方式。主要包括研究开发具备突出治理效果的新材料及设备。研究开发智能、自动监控污染源设施并根据污染浓度进行自动调节的VOCs治理技术,不仅能提升VOCs治理效率,还能大大减少人力(物力)。如近年来发展迅猛的纳米技术和新型催化剂在解决VOCs分解上能发挥的不可替代的作用。开发出高效的纳米催化剂,不仅能实现VOCs在低温情况下的氧化分解,还节省了能源,提高了VOCs的治理效率,也提高了治理效率。二是发展多技术联动治理方式。如同时通过将吸附、催化燃烧、光催化等多种治理技术和工艺进行多重治理的方式,实现同时脱除不同浓度和种类VOCs的能力,在面对污染成分更为复杂的情况时,体现出更出色的治理效果。联合技术的使用,可以体现出协同治理的能力。不仅大大增加了VOCs的治理能力,减少污染源对环境带来的污染。三是通过源头减排技术发展,改造生产工艺及设备,在污染源头上控制VOCs的排放^[4]。设备改进、优化生产工艺,一方面治理成本低,另一方面提升企业可持续发展能力,减少对企业过度依赖传统的治理方式的压力。通过创新技术来提升治理效率,而这一系列治理创新的实践,需要政府、科研院所、企业密切协作,携手推动污染源治理技术的发展形成推动合力,并进一步建立绿色化、绿色化、智能化的治理体系。

3.5 环境友好型治理技术的应用与推广

环境友好技术在VOCs污染控制中的应用,既是技术的创新,也是一种必要的社会责任与担当。环境友好技术的应用,要重点考虑环境匹配性,治理过程不对自然生态造成破坏,比如生物治理法就是环境友好治理方法,它利用微生物代谢分解有机污染物,经生物转化,不产生二次污染,同时对生态环境友好和安全,其特点是低成本、低能耗,甚至可以融入自然循环的系统之中,长期应用不会对环境造成累积性的损害,另外,可以由太阳能等清洁能源驱动的治理技术同样值得推崇,例如,用太阳能等手段驱动的催化方法将有机污染物氧化为无害产物,这种技术顺应节能减排的世界潮流与发展方向,同时也可以充分利用资源,降低传统资源的消耗水平,尤其是在一些发展中国家污染源相对集中,VOCs污染较为严重的城市和地区推广应用,在一些欠发达地区,低成本、高效的环境友好治理技术拥有广阔的发展前景^[5]。因此在实际工作中,企业必须将环保理念进行日常生产管理,在主动选择使用环保技术的基础上承担更多社会责任,在该过程中对于环

保产业链的完善也十分必要,从研发到市场推广中,环保技术的每一步都需要有效支持。而在环境友好治理技术中的应用和推行,则是能够最大限度降低 VOCs 排放、产生持续的环境效益最为实用、超前的发展策略,加快其推广,为未来的可持续发展奠定基础。

3.6 社会参与和公众意识在治理中的作用

公众参与和社会意识的觉醒是治污的重要动力。环境治理不应仅仅归为政府或者企业所能承担的责任,随着环保意识的觉醒,环境治理工作的成效和深度已经在很大程度上取决于社会参与的力量。公众对 VOCs 污染意识的增强,是社会参与的前提。环保知识的宣传教育方面,政府、环保组织、媒体可通过多种方式加强公众对 VOCs 污染的危害、环保知识的科普,提高人们对空气污染和保护的重视程度,加强对工业区、交通密集等 VOCs 排放密集区的重视。除了对 VOCs 污染的环保知识宣传,公众对环境的参与还体现在生活垃圾分类、绿色消费等。消费者在日常生活中选择 VOCs 含量低的产品,使用低 VOCs 清洁剂等,都是减少 VOCs 的污染源和排放源。个人的选择一方面有助于污染的源头减少排放量,另一方面,通过市场对环境和使用的要求可以促使企业改变产品设计和工艺,渐渐降低 VOCs 产品的形成与排放。社会参与还包括社区。社区组织志愿者对本社区企业采取环保的生产方式进行监督,甚至对周边企业的 VOCs 排放进行监督^[6]。社会舆论具有一定的约束力,在面临 VOCs 污染问题上,可以通过公众舆论直接施加压力给政府、企业行为。大众媒体宣传、公众调查以及环境运动都可以对企业的排放施加社会压力,促使企业积极治理,承担更多的社会责任。政府也需要加强和公众的互动,政府可以借助信息公开、公开治理等方面来提高民众的环境保护信任和支持度,确保了治理政策落实的顺利进行。从宏观层面来说,社会参与以及公众意识的提高不仅是政策落实、技术推广的保证,同时也是整个社会意识环保提升的有力保障,才能真正形成全民综合

治理的良好环境。

4 结语

VOCs 污染防治是一项科技工程,同时是一项民生工程,在前端治理与末端治理的过程中面临巨大困难。然而当前先进的技术与规范的政策组合,已在一定程度上初步提供了一定的解决方式,但它们都不是特效药。在未来技术发展的背景之下,VOCs 的治理更需向更加有效、更加绿色、更趋智能的趋势前进,突破关键“技术瓶颈”,同时进一步提高公众参与,增强人们对大气环境的保护意识,形成人人重视 VOCs 大气质量污染环境,人人关注 VOCs 的大气治理行动。将环境保护作为全民行动起来,从呼唤科学创新转向唤醒每个人的公民责任,才能真正实现清新美好的空气与环境。

参考文献:

- [1] 任翔宇,吴凯露,陈丹铨等. 金华市典型挥发性有机物固定污染源特征及分级研究[J]. 环境污染与防治,2024,46(10):1467-1471.
- [2] 蒋晓斌. 固定污染源挥发性有机物在线监测系统运维及质控问题分析[J]. 皮革制作与环保科技,2024,5(15):135-137.
- [3] 权胜祥,史学峰,李昌武等. 挥发性有机物污染场地修复的潜在二次污染源及防治对策[J]. 湖南有色金属,2023,39(3):83-87.
- [4] 黄茂元. 污染源废气中挥发性有机物在线监测技术探讨[J]. 皮革制作与环保科技,2025,6(2):157-159.
- [5] 王泽人,张磊,于沛文等. 基于特征物种的挥发性有机物排放源强受体反演技术研究[J]. 环境科学学报,2023,43(9):298-310.
- [6] 许永超. 固定污染源挥发性有机物管控策略的思考[J]. 污染防治技术,2023,36(2):18-21.

作者简介:朱萌(1994.11.01),女,汉族,河南永城人,毕业于河南理工大学环境工程专业,研究方向:环境工程。