

# 挥发性有机废气治理技术的研究现状及展望

胡春

身份证号码: 32012319900208323X

DOI: 10.12238/ems.v6i12.10882

[摘要] 本文综合探讨了挥发性有机废气 (VOCs) 的产生及其环境与健康危害, 重点分析了目前 VOCs 治理技术的研究与应用现状, 包括物理法、化学法、生物法等多种方法。吸附处理技术因其简便性和高效性在工业中得到广泛应用, 而新型的蓄热式催化燃烧 (RCO) 和蓄热式热力焚烧 (RTO) 技术在能效和环保方面展现出优势。膜分离法和生物处理方法也因其环境友好和低成本特性, 成为研究的热点。笔者通过对各技术的分析, 指出了它们的优势、应用现状及面临的挑战。

[关键词] 挥发性有机废气; 治理技术; 环境保护; 可持续发展

## Research Status and Prospects of Volatile Organic Waste Gas Treatment Technology

Hu Chun

ID number: 32012319900208323X

[Abstract] This article comprehensively explores the generation of volatile organic compounds (VOCs) and their environmental and health hazards, with a focus on analyzing the current research and application status of VOCs treatment technologies, including physical, chemical, biological, and other methods. Adsorption treatment technology has been widely used in industry due to its simplicity and efficiency, while new regenerative catalytic combustion (RCO) and regenerative thermal incineration (RTO) technologies have shown advantages in energy efficiency and environmental protection. Membrane separation and biological treatment methods have also become research hotspots due to their environmentally friendly and low-cost characteristics. The author analyzed various technologies and pointed out their advantages, current application status, and challenges they face.

[Keywords] volatile organic waste gas; Governance technology; environmental protection; sustainable development

### 一、挥发性有机废气的概述

#### 1. 挥发性有机废气的定义和来源

挥发性有机废气, 指的是在标准大气压下, 能够在室温或略高温下从液态或固态挥发至大气中的有机化合物。这类物质因其挥发性特点, 在自然环境及工业活动中普遍存在。其主要来源包括但不限于石油化工、汽车涂装、印刷、家具制造、建筑装修以及日用化学品的使用等领域。工业生产过程中, 使用含有有机溶剂的原料和产品是 VOCs 排放的重要来源。随着工业化进程的加快和城市化水平的提升, 这些活动释放的 VOCs 量显著增加, 对环境质量和人类健康造成了显著影响。

#### 2. 挥发性有机废气产生的各种危害

挥发性有机废气对环境和公共健康造成的影响是多方面的。首先, VOCs 是形成地面臭氧和光化学烟雾的前体物质, 这两者均为严重的空气污染问题。地面臭氧不仅损害人类健康, 引发呼吸道疾病, 还能降低农作物的产量和破坏生态系统。光化学烟雾影响城市的能见度, 对人体健康和环境造成损害。此外, VOCs 中的某些物质如苯、甲苯等, 已被科学证实对人体具有潜在的致癌性。长期暴露于高浓度的 VOCs 环境中, 会增加患上呼吸系统疾病、心血管疾病甚至癌症的风险。

### 二、对于挥发性有机废气的治理现状

当前, 挥发性有机废气的治理技术已取得一定进展, 形成

了多样化的治理策略和方法。这些方法主要包括物理法、化学法和生物法等, 各具特点, 适用于不同场景下的 VOCs 治理。

物理法主要是通过吸附、冷凝等方式直接去除空气中的 VOCs。吸附技术利用吸附剂的表面和孔隙捕捉 VOCs 分子, 是应用最广泛的一种物理治理方法。冷凝技术则通过降低废气温度, 将其中的有机物质凝结成液态, 从而分离出 VOCs。

化学法包括催化燃烧、热燃烧等技术, 通过化学反应将 VOCs 转化为无害的物质。催化燃烧利用催化剂降低有机物燃烧的温度, 高效转化 VOCs 为二氧化碳和水。热燃烧则是在高温下直接燃烧 VOCs, 也能达到净化目的, 但能耗较高。

生物法通过利用微生物的代谢作用降解 VOCs。这种方法环保、成本低, 但处理效率相对较低, 适用于浓度不高的 VOCs 治理。

尽管存在多种治理技术, 但实际应用中仍面临技术选型、成本控制、治理效率和稳定性等挑战。此外, 随着环保标准的提高, 对 VOCs 治理技术的要求也在不断增加, 推动着治理技术向着更高效、更环保的方向发展。

### 三、挥发性有机废气治理技术的发展状况与实际应用

#### 1. 吸附处理技术

吸附处理技术利用吸附剂的表面和孔隙特性来捕获空气中的挥发性有机废气。该技术在工业上广泛应用于去除废气中的有害物质, 特别是在处理低浓度、大风量的 VOCs 场合显

示出了其优越性。常见的吸附剂包括活性炭、分子筛、活性氧化铝等,其中活性炭因其较高的吸附容量和相对低廉的成本而最为常用。此技术的操作过程中,需要定期更换或再生吸附剂,以保持其处理效能。

吸附技术的优势在于其简单、有效,且可针对多种 VOCs 进行处理。然而,挑战也同样存在,主要体现在吸附剂的选择、再生过程中能耗的管理以及处理高浓度 VOCs 时的效率问题。技术的进步主要集中在开发新型吸附材料、优化再生方法以及集成其他处理技术以提高整体处理效率和降低运营成本。

### 2. 冷凝处理方法

冷凝处理方法通过降低废气温度,使其中的 VOCs 从气态转变为液态,从而达到分离和回收的目的。该方法适用于处理那些在较低温度下易于液化的有机物质,特别是在含有大量可回收价值高的 VOCs 场合。实施冷凝处理通常需要使用制冷系统,通过冷却介质降低废气温度至 VOCs 的露点以下,实现物理分离。

冷凝技术的显著优点是可以直接回收 VOCs,对环境友好且经济效益显著,尤其是对于那些具有较高沸点、易液化的有机物。然而,该方法的效率受到处理气体中 VOCs 种类和浓度的影响较大,对于低沸点组分的处理效果有限。此外,高能耗和制冷系统的维护成本也是该技术面临的挑战之一。

为了提高冷凝处理的经济性和适用性,研究者和工程师致力于优化制冷系统的设计、提高系统的能效比以及开发适用于广泛 VOCs 组分的处理方案。通过与其他技术如吸附、生物处理等的结合使用,冷凝方法在 VOCs 综合治理中扮演着越来越重要的角色。

### 3. 燃烧处理法

#### (1) 蓄热式催化燃烧技术 (RCO)

蓄热式催化燃烧技术 (Regenerative Catalytic Oxidation, RCO) 结合了蓄热式燃烧技术和催化燃烧技术的优点,通过催化剂在较低的温度下促进挥发性有机废气的氧化反应,同时利用蓄热体系回收热能,以减少能源消耗。这一技术主要适用于处理中低浓度的 VOCs,能有效降低运行成本,同时减少对环境的影响。

RCO 技术的核心在于催化剂和蓄热体的设计与选用。催化剂的选择关系到反应的起始温度和效率,而高效的蓄热体能最大限度地回收热能,进一步降低能耗。RCO 设备通常包含多个交替工作的蓄热室,废气在通过蓄热室时被加热至催化剂的活化温度,随后在催化剂的作用下,VOCs 被转化为二氧化碳和水蒸气。此过程中释放的热量被蓄热体吸收,用于预热下一批废气,实现了能量的循环利用。

RCO 技术的应用显著提高了 VOCs 处理的能效比,同时降低了有害气体的排放量。然而,催化剂的长期稳定性和处理过程中可能产生的副产品仍然是该技术需要解决的问题。未来的研究方向可能集中在开发更高效、更稳定的催化剂和优化蓄热体的设计。

#### (2) 蓄热式热力焚烧技术 (RTO)

蓄热式热力焚烧技术 (Regenerative Thermal Oxidation, RTO) 通过高温氧化反应直接燃烧挥发性有机废气,将其转化为二氧化碳和水蒸气,同时利用蓄热体系高效回收反应过程中产生的热能。这种技术特别适合处理高浓度 VOCs,能够达到极高的去除效率。

RTO 的运作基于交替工作的蓄热室,通过蓄热室内部的高温环境确保 VOCs 的完全燃烧。系统设计中,废气首先通过预热区被加热,随后进入燃烧室,在高温下 VOCs 被完全氧化分解。生成的热量随后被蓄热室捕获,用于预热下一轮的废

气,极大地提高了能源的使用效率。

RTO 技术因其高效的能量回收机制和对 VOCs 高效率的处理能力而受到青睐。尽管初期投资相对较高,但其长期运营中的能耗低和处理效率高使得该技术在工业污染治理领域有着广泛的应用前景。未来的发展可能侧重于进一步优化系统设计,降低运行成本,以及提高系统的可靠性和稳定性。

### 4. 膜分离法

膜分离法通过特定的膜材料对挥发性有机废气进行物理分离,是一种高效的气体净化技术。该方法利用膜的选择透过性,允许特定组分通过而阻挡其他物质,实现 VOCs 与空气的分离。膜分离技术的关键在于膜材料的选择,包括聚合物膜、无机膜和复合膜等,它们在选择性、透过性能和化学稳定性上各有千秋。

膜分离技术以其操作简便、能耗低、对环境友好等优点,在处理低浓度 VOCs 废气中显示出良好的应用潜力。该技术不仅适用于工业排放的治理,也能应用于室内空气的净化。然而,膜分离过程中可能会遇到膜材料老化、污染堵塞以及分离效率下降等问题,这些挑战要求持续的技术创新和膜材料的改进。

目前,研究者正致力于开发更高效、更耐用的膜材料,并探索膜分离与其他治理技术的结合应用,以提高 VOCs 的去除效率和降低运营成本。膜分离技术的未来发展方向可能包括提高膜的选择性和通量、降低膜的制造成本以及延长膜的使用寿命。

### 5. 生物处理方法

生物处理方法利用微生物的代谢能力分解和转化挥发性有机废气,将其转化为无害的物质,如二氧化碳和水。这一方法包括生物滤床、生物洗涤塔和生物滴滤池等多种形式,适用于处理多种类型的 VOCs。生物处理技术以其环境友好、运营成本低等优点,成为 VOCs 治理的有效手段之一。

生物处理过程的效率受到微生物种类、废气成分、环境条件等多种因素的影响。因此,选择合适的微生物菌种,优化处理系统的环境条件,对于提高处理效率至关重要。此外,生物处理技术对于低浓度、生物降解性好的 VOCs 尤其有效,但对于高浓度和难降解的有机物处理能力有限。

当前,研究工作集中在提高生物处理系统的稳定性和适应性,开发针对特定有机污染物的高效微生物菌种,以及探索与其他物理化学方法结合的综合治理策略。生物处理技术未来的发展趋势将朝向提升处理效率、扩大适用范围以及简化操作管理等方面努力,以满足更广泛的工业应用需求。

### 四、结语

随着环境保护要求的提升和可持续发展战略的实施,挥发性有机废气的治理技术迎来了新的发展机遇和挑战。笔者认为,未来 VOCs 治理技术的发展应着重于提升治理效率、降低能耗和运营成本,并在环境友好性方面做出更多努力。同时,综合利用多种治理技术,针对不同类型的 VOCs 选择最适合的治理策略,将是提高治理效率的关键。此外,加强对新型高效、低能耗治理材料和技术的研究,将为 VOCs 的有效治理提供强有力的支持。通过这些措施,可以期待在未来实现更环保、更经济、更有效的 VOCs 治理,为保护环境和公众健康做出贡献。

### 【参考文献】

[1]段立文. 试分析挥发性有机废气治理技术的现状与进展[J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2 (12): 123-124.

[2]金乐娟. 挥发性有机废气治理技术分析[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39 (11): 167-169.