

# Treatment of Volatile Organic Compounds (VOCs)

Jicheng Qu

Shengji (Dalian) Ecological Environment Technology Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116600, China

## Abstract

Volatile organic compounds, namely VOCs, are the main factors of air pollution, which bring great risks to the environment and health we live in. How to effectively reduce the density of industrial gas emissions and avoid secondary pollution has been widely concerned and studied. Taking the industrial source and its remarkable characteristics of VOCs as the core, this paper makes a deep analysis of the current widely adopted treatment methods, such as adsorption technology, condensation method, combustion technology, biological treatment method and membrane separation method. Based on the comprehensive consideration of various pollution protection measures, we should formulate practical and effective environmental remediation strategies according to the specific situation, aiming to reduce the operating costs of enterprises and maintain the ecological environment.

## Keywords

industrial source; volatile organic compounds; treatment measures

## 浅析工业源挥发性有机物 (VOCs) 处理措施

曲基成

晟基(大连)生态环境科技有限公司, 中国·辽宁 大连 116600

## 摘要

挥发性有机化合物, 即VOCs, 是引发大气污染的主要因素, 给我们居住的环境以及健康带来了巨大的风险。如何高效地降低工业气体排放密度并避免二次污染, 这一问题受到了广泛的关注和研究。论文以VOCs的工业来源及其显著特性为核心, 对目前广为采纳的处理手段, 如吸附技术、冷凝方法、燃烧技术、生物处理方式和膜分离方法等, 进行了深度分析。基于对各类污染防治措施的全面考量, 我们应当根据各地的具体情境制定出实际操作且行之有效的环境整治策略, 旨在减少企业的经营成本并维护生态环境。

## 关键词

工业源; 挥发性有机物; 处理措施

## 1 引言

近几年, 随着环境保护法律规定逐渐加强和公众在环保意识上的提升, 各种 VOCs 的管理方式也在稳步发展。论文基于各个行业的污染特点和环境需求, 通过总结各类技术的当前状态和未来发展走向, 进一步探讨如何利用技术整合与政策支持手段提升治理的有效性, 从而为工业源 VOCs 的有效管理提供科学的理论支持和实际操作参考。

## 2 工业源 VOCs 的主要来源

在工业生产过程中, VOCs 排放会涉及到从生产、存储到搬运、实际应用和废旧处理的各个步骤。在炼油和基础有机化学原料的生产过程中, 储罐、管线和设备的连接处泄漏以及化学反应生成的副产品泄漏都会引发大规模挥发性有机化合物的释放。这些建筑物可以通过空气或其他途径渗入

大气层, 为大气生态带来严重的污染。涂料与印刷产业对溶剂挥发的过程有着显著的影响。涂料在其制造和操作阶段, 有机溶剂的挥发问题导致了环境污染的加剧, 同时也给相关企业带来了显著的经济负担。在制造和使用涂料时, 如苯、甲苯和二甲苯等溶解剂会在喷雾与固化的过程中大量被释出; 油墨中也存在着有一部分能够挥发到大气中的成分, 这对于环境产生了一定水平的负面影响。在印刷行业环境里, 挥发性有机污染物 (VOCs) 的排放主要源自油墨的挥发性元素。

医药和化工领域因其复杂的生产流程, 导致了大量的 VOCs 生成, 这些包括了醇、酮和醚等不同种类。乙醇这种有机溶剂, 因其强烈的毒性、难于降解以及易于流动的特性, 已经成为大气污染物中最为主要的一类。另外, 在工业化的涂装过程以及汽车生产行业中, 如喷漆、烘干和清理这些环节是挥发性溶剂分泌的主要途径。所以, 这些建筑行业对环境带来了巨大的污染影响。在工业过程中产生的挥发性有机物是一种关键的污染源, 它们具有毒性强烈、多样性、

【作者简介】曲基成 (1979-), 男, 中国辽宁大连人, 本科, 工程师, 从事挥发性有机物治理研究。

大量的排放、广泛分布以及高度的扩散能力。通常情况下,这种物质的化学组成涵盖了烃、醇、醛、酮、酯、卤代烃以及芳香烃等多种不同的化合物。在这些化合物中,芳烃型化合物最为频繁。这批物质在物理与化学属性上存在差异性,同时在环境中它们的表现和功能也存在显著的不同。某些化学化合物被认为是“三废”污染的典范,它们可以直接或者间接地对人类健康构成威胁。例如,芳香烃不只是挥发成分较多,有可能对人类健康产生威胁;而醇和酯类具有相对的稳定性,并且能轻易溶于水,因此湿式吸收技术是适合的处理方法。

### 3 工业源 VOCs 处理技术综述

#### 3.1 吸附法

吸附法采用多孔固态吸附剂吸附 VOCs 分子,并确保其紧贴表面,进而达到污染物高效地分离与回收的目的。该技术涉及了物理吸附和化学吸附这两个核心机制。物理吸附被证明是吸附过程中的一个关键手段。物理吸附效果与吸附材料的表面积和孔洞结构有着直接关系,例如常用的吸附原料有活性炭、分子筛、硅胶等;化学吸附的达成通常需要调整溶剂或者添加不同的添加剂。化学吸附的机制是通过构建化学键来进一步提升了去除特定成份的效率。转轮吸附技术逐步崭露头角,作为一种全新的气体隔离手段。固定床的吸附装置设计得非常简约,尤其在处理低浓度和恒流量废气上表现出色,而转轮吸附系统则通过旋转机制实现了吸附与脱附的连续循环,从而达到更高的处理和资源的有效消耗。吸附法已在众多专业领域中展示出巨大的实用性价值,不仅能高效剔除 VOCs 的低浓度和复杂成分,还能回收一些高价值的有机物<sup>[1]</sup>。吸附法采用物理学方法处理污染物质,它主要分为物理性吸附和化学性吸附两个主要阶段。该装置在操作时所消耗的能量相对来说较为有限,设计简练,并且特别适用于处理间歇性的废气排放。这项技术有着显而易见的弱点,即吸附剂在高浓度或者长时间使用之后,极易达到饱和的状态,因此它需要经常性的替换或是再生处理,以减少其使用寿命和可能的副作用。在再生过程的执行上,传统的吸附方法通常是运用物理手段。在生物的再生过程当中,存在二次污染的风险,并且对于高温和高湿的条件,其适应机制可能会相对较差。

#### 3.2 冷凝法

冷凝法实现的是通过降低气体温度或增加压力条件,把 VOCs 从气态状态转化为液态状态,以此来实现污染物的有效分离和回收处理。现行的技术手段主要有冷冻方法和液态膜吸收技术。此技术是通过考察 VOCs 在多种不同的温度和压力环境下饱和蒸气压力的变化来进行的。当气体的温度下降至露点之下的时候, VOCs 会转变为流动状态,随后会得到收集,然后需要进一步的处理或回收。

冷凝法尤其适用于处理高浓度 VOCs 废气,在那些排

放了高沸点有机物或高回收价值物质的环境中显得尤为重要和必要。现在,冷凝法被广泛用于处理工业中常见的一些挥发性有机化学物质,例如有机溶剂和卤代烃等。以药品开发与化学工业为例,采用高价值的溶解溶液来进行冷凝并回收,可以显著地降低原料损耗以及对环境造成的污染。

在实际的工业应用场景里,冷凝技术已被石油石化和制药行业普遍接受并应用。在近些年中,伴随着公众对环境保护的日益重视和相关法律规定的逐渐完善,许多企业已经考虑利用冷凝法来处理有机尾气。以某化工厂为具体案例,该工厂采用了三级冷凝系统处理苯系物排放气体,该冷凝技术能达到超过 90% 的效率。此外,通过使用这一方法回收的液态苯能在生产流程中再次被应用,从而成功地降低了整体生产成本。现阶段,在国内,针对有机废气冷凝处理的研究仍在初级阶段。尽管冷凝法在应对高浓度废气时有着出色的表现,但对于浓度较低或是混合成分的废气,它的效率和能源消耗都显得相对较高,这对其广泛使用造成了限制。

#### 3.3 燃烧法

燃烧法是一个将 VOCs 通过高温氧化转化为无害二氧化碳和水的方法,通常这种方法可以被划分为直接燃烧和催化剂燃烧这两大类别。它主要使用明火直接进行焚烧,这非常适合处理高浓度的废气;在催化燃烧技术中,氧气通常被用作氧化剂来处理低浓度的废气,然而这种方法有设备过于复杂、操作困难和高度能源消耗等明显的不足<sup>[2]</sup>。在催化剂的催化效果促进下,催化燃烧技术成功地减少了化学过程需要的温度,进而使得处理低浓度的废气效果更加显著。催化燃烧法的主要组成部分为固体酸催化和液体酸催化技术。在挑选催化剂时,常见的选择是铂、钯或氧化物这种贵金属,主要是由于它们的表面活跃性能够显著加快反应过程并提高氧化效能。

燃烧法因其显著的高效处理能力和广泛的适应性而备受关注,特别在处理高风量和高浓度 VOCs 的环境中表现尤为出众。近些年,由于人类对环境保护的重视和对能源节省排放的要求不断增长,燃烧法在排放净化方面已被广大人群采纳。不过,这种技术在能量消耗方面表现出相对大的趋势,尤其是在进行直接火燃烧时,需要消耗大量燃料。现阶段,关于废气净化的燃烧法研究,重点放在提升燃烧效率上,但对于减少排放污染和降低能量消耗的关注却不够深入。另一方面,由于催化剂的高昂价格和对硫化物以及卤代碳等有害物质的高度敏感性,其运行和维修费用显然有所增加。

#### 3.4 生物处理法

生物处理的方法是通过微生物的新陈代谢,把 VOCs 转化为无毒或者低毒性化合物,比如说二氧化碳和水分。采用生物处理技术具有诸如低投资、运行成本减少以及无环境二次污染等多个优势。典型的处理工具主要包含生物滤池、生物滴过滤设备和生物清洗工具。所有这些反应器是在一个完全封闭的场所中操作,不会受到外部环境的干扰。当废气

流经该设备，将与填料或液态中的微生物发生碰触，同时 VOCs 这一微生物碳元素也会被分解掉。

近年来，生物处理技术有了迅猛的发展，其研究重点集中在加强微生物分解的效率以及广泛地使用多种污染物质方面。借助微生物的加强反应技术，我们能够实现那些传统方式难以达到的目的。举例来说，我们可以通过基因技术手段来提高一些微生物对于难以降解的 VOCs 的适应性，或者是优化反应器的构造，从而提升气体和液体的交互效率。

生物处理方法因其环保和低成本而突出，在处理低浓度和高空气容量的 VOCs 废气上表现尤为突出。在多种处理方法中，生物膜法因为其高效的除臭效果和稳定可靠的运行表现，已逐渐成为一种备受关注的重要手段。然而，这项新的技术对于诸如温度、湿度和 pH 值这些环境变量的变化表现出显著的依赖性，这些变量将对微生物活跃度施加明显的影响。所以，在真实的使用环境下，选择恰当的操作参数是为了保障系统平稳且可靠地运行。此外，对那些具有高毒性并且生物降解度低的 VOCs 废气，其处理效能受到一定限制，如图 1 所示。

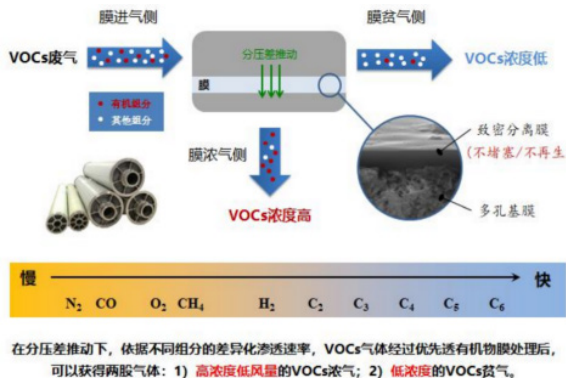


图 1 膜分离技术

### 3.5 膜分离技术

膜分离的手段借助半透膜的特殊渗透性能，确保 VOCs

可以与空气或其他气体实现高效的分离。膜过滤技术通过膜对流体中分子的相互作用力，这一过程包含了传质、传热以及其他多种物理和化学活动。这个过程的实施是基于膜材内各种成分扩散的速度和它们在溶解时的能力所存在的差异。因此，选取恰当的膜材质是确保操作效率、消耗低以及稳定性的核心。常选用的膜材料包含有机高分子材料（如聚二甲基硅氧烷）和无机材料（例如陶瓷膜）。虽然陶瓷膜分离系统目前的应用非常普遍，但它的高昂价格对它的实际应用带来了一定的限制。通常情况下，膜分离技术与真空抽气或其他压缩方法结合，可以进一步提高其分离效能<sup>[3]</sup>。膜分离方法为实现高效率的资源分离和回收创造了广泛的应用潜力。随着膜材料特性的逐步增强以及生产工艺的不断优化，这一领域经历了飞速的进步并取得了显著的突破。在近些年中，利用新型机械或有机高分子聚合物来构建的复合膜及其改进方法，已经被证明是一种增强膜性能并增加其使用寿命的高效方式。未来的研究趋势将涉及研制更加持久和选择性更高的薄膜材质，和对膜部件进行优化，从而降低操作过程中的能量消耗。

## 4 结语

综上所述，工业源 VOCs 的治理是一项复杂而系统的工程，需要技术进步、政策驱动和企业责任的共同推动。通过持续努力，我们将能够更有效地减少 VOCs 排放，改善大气环境质量，助力实现经济、社会与生态的协调发展。

## 参考文献

- [1] 张秀梅. 工业生产过程源 VOCs 排放特征及减排措施[J]. 中国资源综合利用, 2022(9):40.
- [2] 孙莉. 挥发性有机物污染综合控制与治理概述[J]. 生态与资源, 2023(10):26-28.
- [3] 周浩. 挥发性有机物的治理以及活性炭的运用[J]. 华东科技(综合), 2021(3).