

大气环境中挥发性有机废气治理技术研究

丁正华

南京因博通环保科技有限公司 江苏南京 210000

DOI:10.12238/ems.v7i9.15236

[摘要] 大气环境质量好坏不仅影响社会发展进程而且关系人们生命健康安全所以受国家相关部门高度重视,工业生产过程中会产生大量挥发性有机废气要是排放前没对其严格处理将会引发严重污染问题,挥发性有机废气成分较为复杂对治理技术要求更高需加快技术创新提高治理工作效率与质量。本文将对大气环境中挥发性有机废气的来源进行分析,提出大气环境中挥发性有机废气的危害,并对大气环境中挥发性有机废气治理技术的应用措施进行深入探索,为实践工作提供参考。

[关键词] 大气环境;挥发性;有机废气;治理技术

在工业化与城市化快速推进的情况下,大气环境污染问题变得愈发严峻,挥发性有机废气也就是 VOCs 作为大气污染物的关键部分,给生态环境和人体健康带来了严重威胁,VOCs 不光会参与光化学反应从而形成臭氧和二次有机气溶胶,进而引发大气光化学烟雾和雾霾等污染事件,并且很多 VOCs 具备毒性和致癌性,长时间接触会对人体的呼吸系统、神经系统以及免疫系统等造成损害,所以,开展有效的 VOCs 治理技术研究并减少 VOCs 排放,对于改善大气环境质量、保护人体健康有着重要的现实意义。

一、大气环境中挥发性有机废气的来源

大气环境里挥发性有机废气来源广泛又复杂,主要包含工业源、生活源以及交通源等方面。

工业源属于挥发性有机废气的主要来源之一,石油化工行业中原油的开采和炼制过程会释放大量像苯、甲苯之类挥发性有机化合物,化工生产里涂料、油墨、胶粘剂的制造与使用也会产生废气。此外,印刷行业尤其是使用溶剂型油墨的印刷过程也是重要排放源。

生活源方面日常生活中的装修活动各类油漆涂料使用会散发挥发性有机废气,干洗行业使用的有机溶剂在衣物清洗和烘干过程中会挥发到大气中,垃圾填埋场和污水处理厂有机物的分解也会产生挥发性有机废气。

交通源主要是机动车尾气排放,汽油、柴油等燃料在发动机内燃烧不充分时会产生多种挥发性有机化合物,飞机、轮船等交通工具同样会排放一定量挥发性有机废气对大气环境造成污染^[1]。

二、大气环境中挥发性有机废气治理的危害

(一) 对大气环境的危害

一方面, VOCs 是形成臭氧和细颗粒物 PM_{2.5} 的重要前体

物质,在阳光照射的条件下, VOCs 会和氮氧化物发生一系列复杂光化学反应从而生成臭氧,近地面高浓度的臭氧不但会损害植被、影响农作物生长和产量导致农业减产,还会降低大气能见度、影响空气质量造成如雾霾天气之类的大气污染现象。另一方面, VOCs 可通过气-粒转化过程形成二次有机气溶胶进而成为 PM_{2.5} 重要组成部分,这些细颗粒物能够长时间悬浮在大气中并随大气环流远距离传输来扩大污染范围,它们会散射和吸收太阳辐射、影响地球辐射平衡从而对气候产生影响, VOCs 还可能破坏大气中的臭氧层让紫外线更易到达地面进而对生态系统和人类健康造成潜在威胁,并且其排放会改变大气化学组成、干扰大气正常物质循环和能量流动从而破坏大气环境稳定性和生态平衡。

(二) 对人体健康的危害

很多 VOCs 带有刺激性气味,人体吸入后会刺激呼吸道,引发咳嗽气喘呼吸困难等症状,特别是对患有哮喘等呼吸道疾病人群,会导致病情进一步加重,长时间暴露在含 VOCs 的环境里,有可能致使慢性支气管炎等呼吸道疾病发生,部分 VOCs 具有毒性,像苯和甲苯等能通过呼吸道皮肤等途径进入人体,损害人体神经系统血液系统和肝脏等重要器官,苯属于已知致癌物,长期接触可能引发白血病等严重疾病,一些 VOCs 具备内分泌干扰特性,会干扰人体内分泌系统,影响激素正常分泌和调节,进而对生殖发育等生理过程造成不良影响,比如使男性精子质量下降、女性月经出现紊乱等, VOCs 还可能引发过敏反应,让人体出现皮肤瘙痒、皮疹等症状,降低人体免疫力,增加感染其他疾病的风险,严重威胁人们身体健康和生活质量^[2]。

三、大气环境中挥发性有机废气治理技术

(一) 蓄热式热力氧化炉的应用

蓄热式热力氧化炉(RTO)工作原理是基于高温氧化反应,其核心过程涉及热量传递和化学反应等内容,接下来结合相关公式对 RTO 工作原理及其特性展开阐述,当挥发性有机废气进入到蓄热式热力氧化炉(RTO)的时候,首先会通过蓄热陶瓷床进行预热操作,这一过程遵循热量传递的基本原理,能够近似用热传导公式描述热量,在废气与蓄热陶瓷之间的传递情况(虽然实际过程中还涉及对流换热等复杂因素,但为简化说明,此处以热传导为例):

$$Q = -kA \frac{dT}{dx}$$

其中, Q 为热量传递速率, k 为导热率, A 为传热面积, dx/dT 为温度梯度。通过蓄热陶瓷床,废气被预热到接近燃烧室温度,从而减少后续加热所需的能量。

随后,预热后的废气进入高温燃烧室,在高温(通常 760°C – 1000°C)条件下,废气中的有机物发生氧化分解反应,生成二氧化碳和水,该反应的化学方程式可表示为(以甲烷为例):



释放出的热量又用于加热后续进入的废气。

这种设计能让热量实现高效回收利用,热回收率能达到95%以上,这大大降低了能源方面的消耗,RTO 具备处理效率高的显著优势,对大多数挥发性有机化合物去除率可达99%,它可以适应不同浓度和流量的废气,有着很强的稳定性和可靠性,并且它自动化程度高且操作简便,减少了人工干预与维护方面成本,不过 RTO 设备投资成本相对较高,占地面积也比较大,对废气中粉尘和颗粒物含量有一定要求,需要在前端设置预处理装置,避免堵塞蓄热陶瓷并影响设备正常运行^[3]。

(二) 吸附法的应用

吸附法(如图1)是借助吸附剂对废气里挥发性有机物的吸附作用,从而把有机物从废气当中分离出来。常见的吸附剂包含活性炭、分子筛等这些类型。活性炭具备比表面积大、吸附容量高的特性,能够有效吸附多种挥发性有机化合物。在吸附过程里,废气会通过装有吸附剂的吸附床,有机物被吸附在吸附剂的表面,净化后的气体便会排出。当吸附剂达到饱和状态之后,就需要进行再生处理以恢复其吸附能力。再生方法主要有加热再生、减压再生等方式。吸附法操作起来比较简单,设备投资和运行成本相对而言较低,适用于处理中低浓度的挥发性有机废气。对于一些高沸点、大分

子的有机物来说,吸附效果有可能不太理想,同时在吸附过程当中还可能存在着吸附剂着火等安全隐患^[4]。

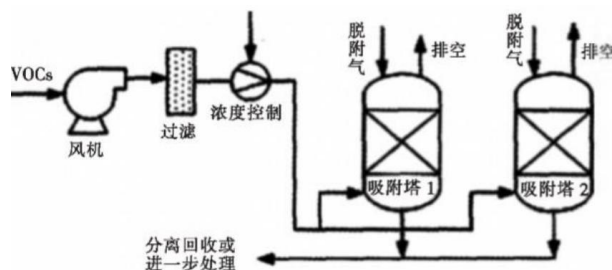


图1 吸附法工艺流程图

(三) 生物处理技术的应用

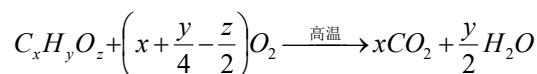
生物处理技术依靠微生物的新陈代谢功能,把废气里的挥发性有机物转化成二氧化碳、水以及微生物自身的生物质,这项技术主要包含生物过滤、生物滴滤和生物洗涤等工艺。在生物过滤工艺当中,废气会通过填充有生物填料的过滤床,微生物附着在填料表面形成生物膜,废气中的有机物在生物膜内被微生物降解。生物滴滤工艺是在生物过滤基础上,通过循环液不断喷淋填料,为微生物提供营养并保持适宜的环境条件。生物洗涤工艺是把废气通入含有微生物的洗涤液中,让有机物在洗涤液中被微生物分解。为确保生物处理技术能发挥应有作用与价值,实现有机废气向水资源与二氧化碳的高效高质量转化,工作人员要对生物处理系统的关键参数进行精准控制,涵盖微生物种类及数量、废气流量及浓度、系统温度与湿度等方面,采用科学的参数配置与调控,保证微生物处于理想的生长与代谢水平,从而达到废气处理效果的最高水平^[5]。生物处理系统参数控制如表1所示。

表1 生物处理系统参数控制表

具体指标内容	具体控制标准
填料温度	25~43
悬空塔停留时间	>9s
系统湿度	40%~60%
营养物质及其比例	BOD: N: P=100: 5: 1
pH 值	4~10

(四) 燃烧处理技术的应用

燃烧处理技术是通过高温燃烧将挥发性有机废气(VOCs)中的有机物转化为无害的二氧化碳(CO_2)和水(H_2O),其化学反应的通式可表示为:



其中, $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ 代表挥发性有机废气中的有机物, x 、 y 、 z 分

别为有机物分子中碳、氢、氧的原子个数。

处理方式主要包括直接燃烧和催化燃烧这两种方式,直接燃烧是把废气直接引入燃烧室并在高温一般 1100℃ 以上情况下进行燃烧,此方法适用于处理高浓度且高热值的挥发性有机废气,处理效率高可快速将有机物完全氧化分解,但直接燃烧需消耗大量燃料使得运行成本较高,同时高温燃烧可能会产生氮氧化物等二次污染物,催化燃烧是在催化剂的作用下让废气在较低温度一般 200 - 400℃ 情况下进行燃烧,催化剂能降低反应的活化能提高反应速率并减少燃料消耗,催化燃烧具备能耗低处理效率高二次污染少等优点,适用于处理中低浓度的挥发性有机废气,然而催化剂成本较高且易受废气中杂质毒害而失活,需定期更换催化剂增加了运行成本^[6]。

(五) 冷凝处理技术的应用

冷凝处理技术是依靠物质在不同温度压力下的相变原理,通过降低废气温度或者增加压力的方式,让挥发性有机物从气态转变为液态,进而实现与废气的有效分离,这项技术主要适用于处理高浓度且有回收价值的挥发性有机废气,在冷凝过程当中,废气先通过换热器和冷却介质进行热交换,使温度降低,当达到有机物的露点温度时,有机物就开始冷凝成液体,按照冷凝温度的不同情况,可分为常温冷凝、低温冷凝和深冷冷凝这几种类型,常温冷凝适用于处理沸点相对较高的有机物,低温冷凝和深冷冷凝则能够处理沸点比较低的有机物^[7]。

四、加强大气环境中挥发性有机废气治理策略

(一) 加强有机废气源头控制

在工业生产中,众多企业要优先选用低挥发性有机溶剂和原辅材料,从根源处着手减少有机废气的产生,就拿涂料行业来说可以采用水性涂料来替代传统溶剂型涂料,其挥发性有机化合物含量大幅度降低能够有效减少废气排放,与此同时在产品设计和生产工艺规划阶段就需要充分考虑环保方面的因素,优化生产流程避免不必要的废气产生环节,对于一些高污染且高能耗的生产工艺要逐渐进行淘汰和升级处理,除此之外加强对原材料采购和储存环节的管理也是至关重要的,确保原材料在运输和储存过程中不会发生泄漏和挥发以进一步降低有机废气的排放风险。

(二) 加强有机废气监测

加强有机废气监测能及时掌握废气排放情况是有效治理重要手段,所以可建立完善监测体系,在企业生产车间及废

气排放口等关键位置安装先进监测设备,实时监控有机废气浓度成分和排放速率等参数,这些监测数据能为企业和环保部门提供准确信息以便及时发现问题采取相应措施,其次要加强对监测数据进行分析 and 评估,通过专业数据分析方法了解有机废气排放规律和变化趋势,为制定科学合理治理方案提供依据,此外还应加强对监测设备开展维护和管理工作的,确保其正常运行保证数据的准确性。

(三) 优化生产技术

优化生产技术的提升有机废气治理效果以及达成可持续发展的核心举措,企业一方面需加大对新技术新工艺的研发与应用投入,采用先进生产设备和自动化控制系统来提高生产过程密封性与稳定性,从而减少有机废气无组织排放,像采用密闭式生产工艺和管道输送系统就能有效防止废气泄漏,另一方面要加强对现有生产技术改造和升级,对传统生产工艺进行优化和改进以提高能源利用效率,进而降低有机废气产生量^[8]。

五、结束语

综上所述,大气环境里 VOCs 治理是长期且艰巨任务,需要持续不断探索与创新相关治理技术,要进一步加强技术研发以及应用推广工作,以此来实现 VOCs 的有效减排并改善大气环境质量。

[参考文献]

- [1] 高燕, 戴蒙, 薛敏. 大气环境中挥发性有机废气治理技术的运用探讨[J]. 农业灾害研究, 2025, 15(01): 253-255.
- [2] 倪峰. 研究大气环境中挥发性有机废气的治理技术[J]. 低碳世界, 2024, 14(10): 22-24.
- [3] 王光路. 大气环境中挥发性有机废气治理技术探讨[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(15): 127-129.
- [4] 李江涛. 大气环境中挥发性有机废气治理技术分析[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(04): 88-90.
- [5] 温文婷. 大气环境中挥发性有机废气治理技术略论[J]. 资源节约与环保, 2022, (10): 73-76.
- [6] 宫本敬. 浅谈大气环境中挥发性有机废气治理技术分析[J]. 清洗世界, 2022, 38(09): 152-154.
- [7] 王婉雪, 刘思远, 董泽林. 大气环境挥发性有机废气治理研究[J]. 化工设计通讯, 2022, 48(06): 173-175+181.
- [8] 冯焯锋. 大气环境中挥发性有机废气治理技术研究[J]. 资源节约与环保, 2021, (11): 84-86.