

## 环境工程中有机废气处理技术探析

左振超<sup>1</sup> 王杰<sup>2</sup> 周丽丽<sup>2</sup>

1. 山东信达环保技术咨询有限公司, 山东 临沂 276000

2. 山东盛泽生态环境工程有限公司, 山东 临沂 276000

**[摘要]**在当今工业化进程加速发展的时代, 工业生产活动日益频繁, 随之而来的是大量有机废气的排放。有机废气, 作为挥发性有机化合物(VOCs)的重要组成部分, 来源广泛且成分复杂, 涵盖了石油化工、印刷、涂装、制药等众多行业。这些有机废气中包含着苯、甲苯、二甲苯、甲醛、乙酸乙酯等多种有害物质, 倘若未经有效处理便直接排放至大气环境中, 将会引发一系列严峻的环境问题, 对人体健康也会造成极大的威胁。因此, 有机废气处理技术的研究是一项刻不容缓的任务, 对于解决当前日益严峻的环境问题、实现可持续发展目标具有深远的影响和重要的价值。在后续的研究中, 将深入探讨各种有机废气处理技术的原理、特点、应用现状以及发展趋势, 以期有机废气的有效治理提供科学依据和技术支持。

**[关键词]**环境工程; 有机废气; 技术

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15896

中图分类号: X5

文献标识码: A

## Exploration on Organic Waste Gas Treatment Technology in Environmental Engineering

ZUO Zhenchao<sup>1</sup>, WANG Jie<sup>2</sup>, ZHOU Lili<sup>2</sup>

1. Shandong Xinda Environmental Protection Technology Consulting Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

2. Shandong Shengze Ecological Environment Engineering Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

**Abstract:** In the era of accelerated industrialization, industrial production activities are becoming increasingly frequent, accompanied by the emission of a large amount of organic waste gas. Organic waste gas, as an important component of volatile organic compounds (VOCs), has a wide range of sources and complex compositions, covering many industries such as petrochemicals, printing, painting, pharmaceuticals, etc. These organic waste gases contain various harmful substances such as benzene, toluene, xylene, formaldehyde, ethyl acetate, etc. If they are directly discharged into the atmosphere without effective treatment, they will cause a series of serious environmental problems and pose a great threat to human health. Therefore, the research on organic waste gas treatment technology is an urgent task, which has profound impact and important value for solving the increasingly severe environmental problems and achieving sustainable development goals. In the subsequent research, we will delve into the principles, characteristics, application status, and development trends of various organic waste gas treatment technologies, in order to provide scientific basis and technical support for the effective treatment of organic waste gas.

**Keywords:** environmental engineering; organic waste gas; technology

### 1 有机废气处理技术原理

#### 1.1 吸附法

吸附法是一种常见且应用广泛的有机废气处理技术, 它主要利用吸附剂对有机废气中污染物的吸附作用, 实现废气的净化。根据吸附过程中作用力的不同, 吸附法可分为物理吸附和化学吸附。

##### 1.1.1 物理吸附

物理吸附是基于分子间的范德华力, 当有机废气与吸附剂接触时, 废气中的有机分子被吸附剂表面所吸引, 从而附着在吸附剂上。活性炭和沸石是两种典型且常用的物理吸附剂。

活性炭具有高度发达的孔隙结构, 其比表面积巨大, 通常可达 500~1500m<sup>2</sup>/g。这些丰富的孔隙为有机分子提供了大量的吸附位点。当有机废气通过活性炭时, 废气中的苯、甲苯、二甲苯等有机分子会在范德华力的作用下,

被活性炭表面的孔隙捕获, 从而实现有机废气的净化。

沸石是一种具有均匀微孔结构的结晶铝硅酸盐, 其孔径大小均匀且具有一定的选择性。不同类型的沸石, 其孔径大小不同, 能够根据有机分子的大小和形状进行选择性吸附。

##### 1.1.2 化学吸附

化学吸附是吸附剂与有机废气中的污染物之间发生化学反应, 形成化学键, 从而实现对污染物的固定和去除。与物理吸附不同, 化学吸附具有较强的选择性和不可逆性。

化学吸附的优势在于其对特定污染物具有高度的选择性。由于化学反应的特异性, 特定的吸附剂只能与特定的有机废气成分发生反应, 因此能够实现对目标污染物的精准去除。此外, 化学吸附形成的化学键较为稳定, 使得吸附后的污染物不易脱附, 能够保证吸附效果的持久性。这在处理一些对环境危害较大、需要长期稳定去除的有机

废气时，具有重要的意义。

## 1.2 燃烧法

燃烧法是一种通过氧化反应将有机废气中的有机物转化为二氧化碳和水等无害物质的处理技术，在有机废气处理领域应用广泛。根据燃烧方式和条件的不同，燃烧法可分为直接燃烧和催化燃烧。

### 1.2.1 直接燃烧

直接燃烧，又称热力燃烧，其原理是将有机废气直接引入燃烧炉中，在高温（通常需达到  $800^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ ）和充足氧气的条件下，使有机废气中的有机物与氧气发生剧烈的氧化反应，完全燃烧转化为二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）和水（ $\text{H}_2\text{O}$ ）等无害物质。

直接燃烧适用于处理高浓度、小风量的有机废气。这是因为高浓度的有机废气自身具有较高的热值，能够在燃烧过程中提供足够的能量维持燃烧反应的持续进行，无需或只需少量补充辅助燃料。

直接燃烧法具有处理效率高的显著优势，能够将有机废气中的有机物几乎完全燃烧，去除率可达  $95\% \sim 99\%$ 。这是因为在高温和充足氧气的条件下，有机物能够充分与氧气接触并发生反应，从而实现高效的净化。此外，直接燃烧法对有机废气的成分和浓度适应范围较广，无论是高浓度还是低浓度的有机废气都能进行处理。虽然对于低浓度有机废气可能需要补充辅助燃料，但从整体处理效果来看，仍能有效去除其中的污染物。而且该方法设备结构相对简单，维护方便。燃烧炉的结构通常较为简洁，主要由燃烧室、燃烧器、进气口、出气口等部分组成，在运行过程中，只需定期对燃烧器、管道等部件进行检查和维护，确保其正常运行即可。

### 1.2.2 催化燃烧

催化燃烧是在催化剂的作用下，使有机废气中的碳氢化合物在较低温度（一般为  $200^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ ）下进行氧化分解反应，转化为二氧化碳和水。催化剂能够降低反应的活化能，使有机物更容易与氧气发生反应。

催化燃烧法具有高效率的特点，对有机废气的去除率通常能达到  $90\%$  以上。这是因为催化剂的存在加速了反应速率，使有机废气能够在较短的时间内充分反应，从而实现高效净化。而且由于反应温度相对较低，催化燃烧法的能耗也相对较低。与直接燃烧法相比，不需要将废气加热到很高的温度，从而节省了大量的能源消耗，降低了运行成本。此外，由于燃烧温度低，催化燃烧过程中产生的二次污染物较少，氮氧化物等污染物的生成量相对较低，减少了对环境的二次污染。

## 1.3 生物法

生物法处理有机废气是基于微生物的代谢作用，利用微生物将有机废气中的污染物转化为无害的二氧化碳、水和微生物自身的生物质。与其他处理技术相比，生物法具

有运行成本低、无二次污染等优点，尤其适用于处理低浓度、可生物降解的有机废气。根据处理方式和设备的不同，生物法主要包括生物过滤和生物滴滤等工艺。

### 1.3.1 生物过滤

生物过滤法的核心是生物滤池，其内部填充着具有吸附性的过滤材料，如泥炭、堆肥、木屑、活性炭等。这些过滤材料为微生物提供了附着生长的载体，微生物在过滤材料表面形成一层生物膜。

当有机废气通过生物滤池时，废气中的有机污染物首先被吸附在生物膜表面的水膜中。这是因为有机污染物在水中具有一定的溶解性，能够从气相转移到液相中。例如，对于含有乙醇的有机废气，乙醇分子会在水膜中溶解，实现从气相到液相的传质过程。接着，微生物以这些有机污染物为营养物质，通过自身的代谢活动，将其分解为二氧化碳、水和细胞物质等无害物质。微生物利用细胞内的酶系统，对有机污染物进行氧化分解，释放出能量供自身生长和繁殖。

### 1.3.2 生物滴滤

生物滴滤法的主要设备是生物滴滤塔，其结构与生物滤池有一定相似性，但也存在一些区别。生物滴滤塔内填充的是粗碎石、塑料蜂窝填料、陶瓷等无吸附性的填料，这些填料为微生物提供了附着的表面。在生物滴滤塔的顶部设有喷淋装置，通过喷淋营养液，为微生物提供生长所需的营养物质，并调节塔内的湿度和 pH 值。

生物滴滤法的工作原理是，有机废气从生物滴滤塔的底部进入，在上升过程中与填料表面的微生物接触。废气中的有机污染物被微生物吸附，并在微生物分泌的酶的作用下进行分解代谢。与此同时，喷淋装置不断向填料表面喷洒营养液，营养液中含有微生物生长所需的氮、磷、钾等营养元素，以及调节 pH 值的缓冲物质。这些营养液在重力作用下，沿着填料表面向下流动，形成一层薄薄的液膜，为微生物提供了良好的生存环境。

## 2 有机废气处理技术面临的挑战

### 2.1 技术层面挑战

在有机废气处理领域，部分技术在处理复杂有机废气时面临着效率低和稳定性差的问题，这严重制约了有机废气的有效治理。以生物法为例，虽然其在处理低浓度、可生物降解的有机废气方面具有一定优势，但对于成分复杂的有机废气，微生物的代谢过程可能会受到抑制，导致处理效率降低。当有机废气中含有难生物降解的物质（如多环芳烃、卤代烃等）时，微生物难以将其作为营养源进行分解代谢，从而影响整体处理效果。而且生物法对环境条件要求较为苛刻，温度、湿度、pH 值等环境因素的微小变化都可能对微生物的活性产生显著影响，进而降低处理效率和稳定性。如果生物滤池内的温度过高或过低，超出了微生物适宜的生长温度范围，微生物的酶活性会受到抑

制,代谢速率减慢,导致有机废气的处理效率下降。此外,在生物滴滤塔中,当营养液的成分和喷淋量不能及时根据废气成分和浓度的变化进行调整时,微生物可能无法获得足够的营养物质,从而影响其对有机废气的降解能力,导致处理效果不稳定。

吸附法在处理复杂有机废气时也存在类似问题。活性炭等吸附剂对不同种类的有机废气分子具有不同的吸附选择性和吸附容量。当有机废气成分复杂时,可能会出现某些有机分子竞争吸附位点的情况,导致吸附效率降低。而且随着吸附过程的进行,吸附剂会逐渐饱和,需要频繁再生或更换,这不仅增加了运行成本,还会导致处理过程的中断,影响处理效率和稳定性。如果活性炭再生不彻底,残留的有机污染物会占据吸附位点,降低吸附剂的吸附性能,进而影响后续有机废气的处理效果。

## 2.2 经济层面挑战

### 2.2.1 设备投资成本

不同的有机废气处理技术,其设备投资成本存在显著差异,这在很大程度上影响了企业对先进技术的应用积极性。以吸附法为例,采用活性炭吸附的设备,其投资成本相对较低,主要包括吸附塔、通风管道、预处理设备等购置和安装费用。对于处理风量为  $10000\text{m}^3/\text{h}$  的小型有机废气处理项目,采用活性炭吸附设备的投资成本大约在  $20\sim 50$  万元之间。然而,若采用沸石转轮吸附技术,由于沸石转轮本身价格较高,且需要配备复杂的再生系统,设备投资成本会大幅增加。同样处理风量为  $10000\text{m}^3/\text{h}$  的项目,采用沸石转轮吸附设备的投资成本可能达到  $100\sim 300$  万元。

催化燃烧技术的设备投资也相对较高。催化燃烧装置需要配备高质量的催化剂、燃烧器、热交换器等设备,这些设备的采购和安装费用使得整体投资成本上升。对于处理风量为  $50000\text{m}^3/\text{h}$  的中型有机废气处理项目,采用催化燃烧技术的设备投资成本通常在  $200\sim 500$  万元之间。如果使用贵金属催化剂,由于贵金属价格昂贵,会进一步增加投资成本。

生物法处理设备的投资成本相对较为适中。以生物滤池为例,主要成本在于滤池的建设、过滤材料的填充以及通风系统的安装。对于处理风量为  $30000\text{m}^3/\text{h}$  的有机废气处理项目,生物滤池的投资成本大约在  $50\sim 150$  万元之间。但生物法对场地要求较高,需要较大的占地面积来建设生物滤池或生物滴滤塔,这在一定程度上也增加了项目的总体成本。

### 2.2.2 运行成本

有机废气处理技术的运行成本涵盖多个方面,包括能耗、吸附剂更换、催化剂再生等费用,这些成本因素对企业的运营负担有着重要影响。

能耗是运行成本的重要组成部分。在燃烧法中,无论

是直接燃烧还是催化燃烧,都需要消耗大量的能源来维持燃烧反应的进行。直接燃烧由于需要将有机废气加热到较高温度( $800^{\circ}\text{C}\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ),能耗尤其高。对于处理风量为  $20000\text{m}^3/\text{h}$ 、浓度为  $3000\text{mg}/\text{m}^3$  的有机废气,采用直接燃烧法,每天运行 8 小时,按照天然气价格为  $3\text{元}/\text{m}^3$  计算,每天的燃料费用可达数千元。催化燃烧法虽然反应温度相对较低( $200^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ ),但仍需要消耗一定的能源来加热废气和维持催化剂的活性。同样处理上述规模的有机废气,采用催化燃烧法,每天的能耗费用也在数百元到上千元不等。

吸附法中,当吸附剂达到饱和后,需要进行再生或更换。以活性炭吸附为例,活性炭的使用寿命通常在 3-6 个月左右,具体取决于废气浓度、成分以及处理风量等因素。对于一个处理风量为  $15000\text{m}^3/\text{h}$  的有机废气处理项目,若废气浓度较高,活性炭可能需要每 3 个月更换一次。每次更换活性炭的费用包括购买新活性炭的费用以及运输、装卸等费用,可能达到数万元。如果采用热空气脱附再生技术,虽然可以延长活性炭的使用寿命,但再生过程也需要消耗一定的能源,增加了运行成本。

为降低运行成本,企业可以采取多种途径。在能耗方面,优化设备的运行参数,提高能源利用效率。例如,在燃烧法中,合理设计燃烧器和热交换器,回收燃烧过程中的余热,用于预热废气或其他生产环节,减少能源浪费。在吸附法中,选择吸附性能好、使用寿命长的吸附剂,降低吸附剂的更换频率。同时,改进吸附工艺,提高吸附剂的再生效率,减少再生过程中的能耗。对于催化剂再生,可以与专业的再生机构合作,采用先进的再生技术,降低再生成本。

## 2.3 管理层面挑战

### 2.3.1 专业技术与管理人员缺乏

在有机废气处理领域,企业普遍面临专业技术和管理人员短缺的问题,这对设备的稳定运行和维护产生了严重的负面影响。许多企业在有机废气处理设备的运行过程中,缺乏具备专业知识和技能的技术人员,导致设备操作不规范,无法充分发挥设备的性能。

专业管理人员的缺乏也使得企业在有机废气处理设备的维护和管理方面存在诸多问题。管理人员需要具备环保法规、设备维护、运营管理等多方面的知识,能够制定科学合理的设备维护计划和管理制度。但实际情况是,很多企业的管理人员对有机废气处理技术了解有限,无法有效地组织和协调设备的维护工作。为了解决专业技术和管理人员缺乏的问题,企业可以采取多种措施。一方面,加强与高校、科研机构的合作,开展人才培养和引进工作。通过建立实习基地、联合培养研究生等方式,吸引相关专业的人才到企业实习和就业,为企业注入新鲜血液。另一方面,加大对现有员工的培训力度,定期组织专业技术培

训和管理培训，提高员工的专业素质和业务能力。

### 2.3.2 长期监管与维护困难

有机废气处理设备的长期监管和维护面临着诸多困难，这严重影响了设备的稳定运行和处理效果。设备老化是一个常见问题，随着使用时间的延长，设备的零部件会逐渐磨损、老化，性能下降。设备老化不仅会降低有机废气的处理效率，还可能导致设备故障，增加维修成本。

资金短缺也是制约有机废气处理设备长期监管和维护的重要因素。设备的维护和更新需要投入大量的资金，包括设备维修费用、零部件更换费用、技术升级费用等。然而，对于一些企业，尤其是中小企业来说，资金有限，难以承担这些费用。在设备出现故障时，由于资金不足，企业可能无法及时进行维修和更换零部件，导致设备长时间停机，影响生产进度。同时，由于缺乏资金，企业也难以对设备进行技术升级和改造，无法适应不断提高的环保要求。

为了加强有机废气处理设备的长期监管和维护，需要采取一系列措施。首先，企业应建立完善的设备监管和维护制度，明确设备的维护周期、维护内容和责任人。其次，政府应加大对企业有机废气处理设备监管和维护的支持力度，通过财政补贴、税收优惠等政策，鼓励企业加大对设备维护和更新的投入。此外，还可以建立环保设备维护专项资金，为资金困难的企业提供支持。最后，加强行业自律和监督，建立行业协会或联盟，制定行业规范和标准，

加强对企业有机废气处理设备运行和维护情况的监督检查。对于违反行业规范和环保要求的企业，进行通报批评和处罚，促使企业重视设备的监管和维护工作。

### 3 结语

本研究围绕环境工程中有机废气处理技术展开了全面且深入的探讨，未来，有机废气资源化利用技术的研究也将得到更多关注。进一步探索有机废气转化为有价值化学品和能源的新途径和新方法，提高资源化利用的效率和经济效益。在将有机废气转化为聚合物单体、药物中间体等化学品的研究中，开发更加高效的化学反应工艺和催化剂，提高产品的收率和质量。在有机废气资源化利用方面，研究更加高效的发电技术和能源转换技术，提高能源利用效率，降低对传统化石能源的依赖。

#### [参考文献]

- [1] 张艳群, 李铭忠, 周广健. 环境工程中有机废气处理技术实践探析[J]. 清洗世界, 2023, 39(8): 13-15.
- [2] 马金凤. 环境工程中有机废气处理技术实践探析[J]. 掌桥科研, 2024(2): 110-112.
- [3] 马骏. 探析污水处理中固定化微生物技术的运用[J]. 黑龙江科技信息, 2018(34): 155-156.

作者简介：左振超（1986.12—），男，学历：本科，毕业院校：青岛科技大学，所学专业：海洋科学，目前职称：中级工程师。