

Optimization of Volatile Organic Compound Exhaust Gas Pollution Control Processes and Analysis of Operational Stability

Binbin Xia Jinjuan Wang

Sichuan Rongchuang Dingfeng Environmental Technology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

Volatile organic compound emissions are common atmospheric pollutants generated in industrial production processes and are characterized by complex emission patterns and diverse compositions, posing persistent impacts on regional environmental quality and the safety of production operations. Focusing on the optimization of treatment processes and the operational stability of volatile organic compound emission control systems, this study conducts a systematic analysis from the perspectives of pollutant characteristics, treatment technology structures, and operational process control. Particular attention is given to the adaptability and stability of different treatment technologies under long-term operating conditions. Through a comprehensive examination of process parameter configuration, coordinated system operation, and performance variations of key equipment, the main factors influencing fluctuations in treatment effectiveness are identified, and targeted optimization approaches are proposed from the aspects of operational management and technical control.

Keywords

Volatile organic compounds; Exhaust gas pollution control; Process optimization; Operational stability; System operation

挥发性有机物废气污染治理工艺优化与运行稳定性分析

夏彬斌 王金娟

四川蓉创鼎锋环境科技有限公司, 中国·四川成都 610000

摘要

挥发性有机物废气是工业生产过程中常见且控制难度较高的大气污染物,其排放特征复杂、成分多样,对区域环境质量和生产运行安全均产生持续影响。围绕挥发性有机物废气污染治理工艺的优化与运行稳定性问题,从污染物特性、治理技术结构及运行过程控制等角度展开系统分析,重点关注不同治理工艺在长期运行条件下的适应性与稳定性表现。通过对工艺参数配置、系统协同运行及关键设备性能变化的综合考察,揭示影响治理效果波动的主要因素,并从运行管理与技术控制层面提出针对性的优化思路。

关键词

挥发性有机物; 废气污染治理; 工艺优化

1 引言

随着工业结构的不断调整与生产强度的持续提升,挥发性有机物废气排放问题日益凸显,其来源广泛、排放形式多变,对治理技术和运行管理提出了更高要求。现阶段,针对挥发性有机物废气已形成多种治理工艺路线,但在实际运行过程中,受废气组分波动、负荷变化及设备性能衰减等因素影响,治理系统易出现效率下降与运行不稳定现象。相比单纯关注去除效率,如何在复杂工况下维持治理设施的长期稳定运行,逐渐成为废气污染治理领域的重要研究方向。基

于此,从工艺结构合理性与运行过程稳定性两个层面开展分析,对于提升挥发性有机物废气治理效果、保障治理设施持续发挥功能具有现实意义。

2 挥发性有机物废气污染特征与治理需求分析

2.1 挥发性有机物废气的组成特征与排放规律

挥发性有机物废气通常由烃类、含氧有机物、含卤有机物及部分含硫含氮化合物构成,分子结构差异显著,理化性质跨度较大。其挥发性强、气味明显,在常温条件下易进入大气环境并参与多种化学反应过程。不同物质在沸点、饱和蒸气压和反应活性方面存在明显差异,导致废气在排放过程中呈现出瞬时性与连续性并存的特点。生产工况变化、原辅材料更替及操作方式调整,均会引起废气组成比例和浓度

【作者简介】夏彬斌(1990—),男,中国四川广安人,本科,从事废气治理研究。

水平的波动。排放时间多集中于生产运行阶段，部分工序在启停过程中产生短时高浓度排放，增加了污染控制难度。上述特征决定了挥发性有机物废气在治理过程中需要兼顾成分复杂性与排放不稳定性，对工艺适应性提出较高要求。

2.2 不同行业挥发性有机物废气的污染负荷特性

工业领域中不同行业的挥发性有机物废气来源差异明显，污染负荷水平呈现出显著的行业特征。化工与石化生产过程中排放的废气组分复杂，浓度范围较宽，部分环节具有持续排放特征。涂装、印刷及包装等行业废气以溶剂型有机物为主，排放量随生产节奏变化明显，峰值浓度较高。电子制造与精细加工领域废气总量相对较低，但成分种类多样，对处理精度要求较高。食品、医药等行业废气中有机物浓度较低，气味问题较为突出。行业差异导致污染负荷在排放强度、持续时间及波动幅度方面存在明显区别，治理系统在设计 and 运行阶段需充分考虑这些差异，以保证污染控制效果的稳定性^[1]。

2.3 挥发性有机物废气污染治理的技术需求与控制目标

在挥发性有机物废气污染治理过程中，技术需求不仅体现在去除效率水平，还体现在对运行可靠性和适应能力的综合要求。治理系统需要在废气浓度和组分变化条件下保持稳定运行状态，避免因工况波动导致处理效率下降。控制目标涵盖排放浓度达标、运行过程安全可控以及长期运行成本合理等方面。部分有机物具有易燃易爆特性，对设备密封性和运行安全性提出严格要求。随着污染控制要求的不断提高，治理技术需在保障处理效果的同时兼顾能源利用效率与设备寿命，形成稳定、连续、可调节的运行体系，以满足不同生产条件下的污染控制需求。

3 挥发性有机物废气污染治理主流工艺体系

3.1 吸附类治理工艺的技术原理与适用条件

吸附类治理工艺利用多孔材料对挥发性有机物分子的物理或化学吸附作用，将废气中的有机成分截留在吸附介质表面，从而实现净化目的。该类工艺对低至中等浓度废气具有较好的处理效果，运行条件相对温和，对废气温度和湿度具有一定适应范围。吸附材料种类繁多，不同材料在比表面积、孔径结构及吸附选择性方面存在差异，直接影响治理效果和运行周期。吸附过程具有可逆性，需要通过再生措施恢复材料吸附能力，再生过程对运行稳定性和能耗水平产生重要影响。适用条件的合理匹配是保证吸附工艺长期稳定运行的重要前提。

3.2 燃烧与催化转化治理工艺的运行特征

燃烧与催化转化工艺通过高温或催化反应将挥发性有机物转化为二氧化碳和水，实现污染物的彻底去除。直接燃烧工艺适用于高浓度废气，反应过程快速，去除效率较高，但能耗水平相对较大。催化转化工艺在较低温度条件下即可实现反应，对能源利用效率具有一定优势。运行过程中，废

气成分变化、温度控制精度以及催化材料活性衰减均会影响处理效果。该类工艺对系统安全性和运行连续性要求较高，需要在稳定供气和精确控制条件下运行，以维持治理效率的稳定输出。

3.3 生物法与组合工艺在挥发性有机物治理中的应用

生物法治理工艺依托微生物代谢作用分解挥发性有机物，具有运行温和、能耗较低的特点，适用于低浓度、可生物降解性较好的废气类型。该工艺对环境条件敏感，温度、湿度及营养条件变化均会影响微生物活性，从而影响处理效果。为适应复杂工况，生物法常与吸附或燃烧工艺形成组合治理模式，通过多单元协同运行提升整体处理能力。组合工艺能够在不同浓度区间发挥各单元优势，提高系统适应性与运行稳定性，在实际工程应用中逐渐得到重视^[2]。

4 挥发性有机物废气治理系统运行稳定性影响因素

4.1 废气浓度与组分波动对系统稳定性的影响

挥发性有机物废气在实际生产过程中常伴随浓度和组分的动态变化，这种波动性对治理系统运行稳定性产生显著影响。当废气浓度短时间内升高时，处理单元可能出现负荷超限现象，导致去除效率下降或设备运行异常。组分变化会影响反应路径和处理介质性能，使系统难以维持稳定处理状态。吸附材料饱和速度加快、催化反应活性受抑制、生物处理过程失衡等问题均可能由此引发。废气波动越频繁，系统调节难度越大，对运行控制和参数调整能力提出更高要求。

4.2 运行负荷变化对治理设施稳定运行的作用

治理设施在长期运行过程中需应对生产节奏变化带来的负荷调整。负荷升高时，系统能耗与设备磨损程度同步增加，运行风险随之上升。负荷降低时，部分工艺单元可能偏离最佳运行区间，影响处理效果和运行效率。频繁的负荷变化易引发设备启停次数增加，缩短关键部件使用寿命。保持相对平稳的运行负荷，有助于治理设施维持稳定工况，减少运行波动对系统结构和处理效果的影响，是保障长期稳定运行的重要条件。

4.3 关键设备性能衰减与运行可靠性分析

挥发性有机物废气治理系统由多类关键设备构成，其性能状态直接决定系统运行可靠性。随着运行时间延长，吸附介质老化、催化材料活性降低、风机与控制部件磨损等现象逐步显现，处理效率和系统稳定性受到影响。设备性能衰减具有渐进性和隐蔽性，若缺乏有效监测和维护，易在高负荷条件下集中暴露问题。通过对设备运行状态的持续评估，及时发现性能变化趋势，有助于提前采取维护和调整措施，保障治理系统在长期运行中的稳定性和安全性。

5 挥发性有机物废气污染治理工艺优化路径

5.1 工艺参数配置对治理效率的影响机制

挥发性有机物废气治理过程中，工艺参数配置直接关

系到污染物去除水平和系统运行状态。废气停留时间、反应温度、空速条件及介质接触效率等参数共同决定了有机物转化与去除过程的充分程度。参数设置偏离合理区间时,易造成处理不完全或能耗升高等问题。不同治理工艺对参数敏感程度存在差异,吸附过程对流速和浓度变化反应明显,燃烧与催化转化过程对温度控制要求较高,生物法对环境条件变化较为敏感。通过科学匹配工艺参数,使反应过程保持在相对稳定的工作区间,有助于提升治理效率并降低运行波动风险,从而实现治理效果与运行经济性的协调提升^[3]。

5.2 多工艺耦合条件下的系统协同优化方式

在复杂废气条件下,单一治理工艺难以兼顾不同浓度区间与多组分特性,多工艺耦合成为提升治理效果的重要途径。系统协同优化的关键在于合理确定各工艺单元的功能定位与运行顺序,使其在整体系统中形成互补关系。前端单元可对高负荷或波动性废气进行调节,为后续处理创造稳定条件,后端单元则侧重深度净化与排放控制。通过优化工艺衔接方式和运行参数匹配,能够减少能量浪费与设备冲击,提升系统整体适应能力。协同运行模式有助于缓解单一工艺运行压力,提高治理系统在复杂工况下的连续运行能力。

5.3 源头控制与末端治理协同优化策略

挥发性有机物废气治理效果不仅取决于末端处理设施性能,还与生产过程中的源头控制密切相关。通过优化原辅材料选择、改进生产工艺条件及减少无组织排放,可有效降低进入治理系统的污染负荷。源头减排有助于缓解末端治理压力,使治理设施在较为稳定的负荷条件下运行。末端治理则通过合理配置工艺单元,实现对残余有机物的高效去除。两者协同优化能够在控制排放水平的同时,降低系统运行风险与维护强度,形成覆盖生产全过程的污染控制体系,提高整体治理效果的稳定性和持续性。

6 挥发性有机物废气污染治理运行稳定性提升措施

6.1 运行管理制度对治理系统稳定性的保障作用

完善的运行管理制度是保障挥发性有机物废气治理系统稳定运行的重要基础。通过建立规范化的运行流程与岗位职责要求,可有效减少人为操作差异对系统运行状态的影响。明确设备启停条件、运行参数控制范围及异常工况处置流程,有助于在废气工况变化时保持系统运行秩序。运行管理制度还能够通过标准化记录方式,对关键参数变化和和设备运行状态进行持续跟踪,为运行调整提供依据。管理制度的

持续执行可促使治理系统在长期运行中形成稳定的工作模式,降低突发故障发生概率,提高整体运行可靠性。

6.2 在线监测与运行调控在稳定运行中的应用

在线监测技术在挥发性有机物废气治理系统中发挥着重要支撑作用。通过对废气浓度、流量及关键运行参数的实时监测,可及时掌握系统运行状态变化趋势。监测数据为运行调控提供依据,使系统能够在负荷波动条件下进行动态调整,避免处理单元超负荷运行或效率下降。运行调控手段的合理应用,有助于保持处理过程处于相对稳定区间,降低突变工况对系统造成的冲击。持续、准确的监测与调控协同作用,有利于提升治理系统的响应能力和运行稳定性^[4]。

6.3 维护保养与运行评估机制对系统稳定性的支撑作用

维护保养与运行评估机制是保障治理系统长期稳定运行的重要支撑条件。通过定期检查关键设备运行状态,及时更换性能下降的部件,可有效防止设备性能衰减对系统造成累积影响。运行评估机制通过对处理效果、能耗水平及设备状态进行综合分析,能够发现潜在风险并提出改进方向。维护与评估相互配合,有助于延长设备使用周期,降低运行故障发生频率。该机制的持续实施,为挥发性有机物废气治理系统提供了稳定运行的技术保障。

7 结语

挥发性有机物废气污染治理是一项系统性和连续性要求较高的环境控制工作,其治理成效不仅取决于工艺技术水平,更依赖于运行稳定性的长期保障。通过对废气污染特征、治理工艺体系、优化路径及运行稳定性影响因素的系统梳理,可以看出,科学的工艺配置、合理的参数控制以及规范的运行管理对治理效果具有决定性作用。在复杂工况条件下,将技术优化与运行管理有机结合,有助于降低系统运行波动风险,提升治理设施的可靠性与持续运行能力。围绕运行稳定性开展持续改进,是实现挥发性有机物废气治理效能长期发挥的重要保障。

参考文献

- [1] 赖嘉雄.典型凹版印刷企业有机废气产生水平及治理效果分析[J].中国资源综合利用,2024,42(10):156-158.
- [2] 严文浩.华南某电子垃圾拆解园区废气SVOCs排放清单及风险评估[D].导师:杨彦;李艳杰.广东工业大学,2024.
- [3] 任俊.牛皮加工行业挥发性有机废气污染防治方法探讨[J].环境保护与循环经济,2023,43(06):41-44.