

Research on Optimization of Industrial Waste Gas VOCs Treatment Engineering Technology

Lei Yu Jinting Tang Wen Shen

Huzhou South the Taihu Lake Environmental Protection Technology Development Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang, 313000, China

Abstract

With the continuous acceleration of industrialization, the emission of volatile organic compounds (VOCs) is becoming increasingly serious, which not only pollutes the atmospheric environment but also poses potential hazards to human health, becoming an important challenge in environmental governance. This article focuses on the systematic research of VOCs treatment engineering technology for industrial waste gas, and conducts in-depth analysis from three key links: technology selection, system optimization, and operation management. The aim is to explore a treatment plan that combines efficiency, economy, and sustainability. The research results indicate that by optimizing technology combinations, finely regulating equipment operating parameters, and introducing intelligent management methods, not only can the efficiency of waste gas treatment be significantly improved, but energy consumption and operating costs can also be effectively reduced, providing operational reference and theoretical support for industrial waste gas treatment practices.

Keywords

industrial waste gas; VOCs; Governance technology; Engineering optimization; Operation Management

工业废气 VOCs 治理工程技术优化研究

俞磊 唐金婷 沈文

湖州南太湖环保科技有限公司, 中国·浙江 湖州 313000

摘 要

随着工业化进程的不断加快,挥发性有机化合物(VOCs)排放问题日益严重,这不仅对大气环境造成污染,还对人体健康带来潜在危害,成为环境治理的重要挑战。本文围绕工业废气VOCs治理工程技术展开系统研究,从技术选择、系统优化以及运行管理三个关键环节进行深入分析,旨在探索兼具高效性、经济性与可持续性的治理方案。研究表明,通过优化技术组合、精细调控设备运行参数以及引入智能化管理手段,不仅能够显著提升废气治理效率,还能有效降低能耗和运营成本,为工业废气治理实践提供可操作性参考与理论支持。

关键词

工业废气; VOCs; 治理技术; 工程优化; 运行管理

1 引言

VOCs 作为一种关键的大气污染物,它的排放主要源自涂装、印刷、化工以及制药等各类工业流程。VOCs 不只是光化学烟雾和臭氧产生的起始物质,还会对人体健康造成长期危害。由于环保法规愈发严苛,工业企业急需采用高效、低能耗、适应能力强的治理技术。本研究全面剖析现有的 VOCs 治理技术以及工程实践成果,给出优化方法,达成治理效率和经济性的平衡。

2 VOCs 治理技术及工程应用

2.1 吸附技术

吸附技术是利用吸附剂把废气中的挥发性有机化合物(VOCs)分离出来的高效方法。由于它操作较为简易、适应范围广,故而在工业废气处理领域得以大量运用。平常会用到的吸附剂主要有活性炭、沸石分子筛以及不同类型的高分子吸附材料,活性炭具备孔隙构造多样、表面面积大等特性,可高效吸附多种有机气体;通过规整的孔道和强大的分子筛功能,在处理特定的挥发性有机化合物(VOCs)时成效显著;高分子吸附材料在化学耐受性和可控性上表现出色,让它在特定工作环境中具有广阔的应用空间^[1]。

技术优化工作重点聚焦于挑选合适的吸附剂、设计合理的床层以及改良再生工艺。对活性炭开展多孔结构的优化

【作者简介】俞磊(1984-),男,中国浙江湖州人,本科,工程师,从事环境保护研究。

以及表面功能化的改良,能大幅提高它对特定挥发性有机化合物(VOCs)的选择性以及吸附容量,以此提高处理的效能。对床层分布结构进行优化处理,可有效削减系统的压力下降情况,保障气体流动的均匀性,增强整体的吸附能力。对再生工艺加以改良,如运用低温真空解吸或者热空气再生的方式,不但提升了吸附剂的使用期限,又减少了运行时的能源消耗,为吸附技术在工业废气治理中的高效运用提供了坚实支撑。

2.2 燃烧氧化技术

燃烧氧化技术作为一种高效的处理方法,燃烧氧化可将挥发性有机化合物(VOCs)完全分解成二氧化碳和水,主要涵盖催化燃烧与直接热氧化这两种类型。借助催化剂,催化燃烧可降低VOCs反应的活化能,让反应能在温度较低的条件开展,进而降低能源消耗;直接热氧化借助高温状态下的化学作用完成VOCs的氧化分解,主要针对高浓度废气处理。这两种途径均能达成废气的高效净化目的,不过在工业实际运用中,催化燃烧由于能耗不高、操作灵活多变而被普遍采用。

对于工程优化工作而言,核心部分包含了对催化剂的挑选、对反应温度的掌控以及废热回收系统的规划,具有高活性和抗中毒能力的催化剂可保障更长的使用时长,并且在反应进程中实现更高的VOCs转化效率。对氧化反应的温度进行合理把控,既能够让化学反应得以充分进行,还能够显著降低能源的消耗以及设备的负载。对废热回收系统进行合理规划,可把反应过程中散发的热量运用起来,用以给进气预热或用于其他工艺流程,以此增强系统的整体经济收益和能源利用效能,达成废气治理的绿色节能目的^[2]。

2.3 吸收与冷凝技术

吸收法作为一种废气治理手段,是利用液相吸收剂来捕捉挥发性有机化合物(VOCs)的,尤其适合高浓度、低温排放的工业场景。此方法利用吸收剂与VOCs进行物理吸收或者发生化学反应,把污染物迁移至液相中,达成废气的净化。所选用的吸收剂类型对处理效果起着关键作用,如酸性VOCs就适合用碱性溶液来吸收。有机溶剂能够用来吸收非极性有机气体,吸收塔的结构构造会对气液接触的效率产生直接作用,对塔内填料做出合理安排以及优化气液流动形态,可明显提高吸收效果。

在工程优化工作中,调整操作参数也很关键,如气液比例、温度高低、压力大小以及液体循环数量等,对这些参数进行合理把控可让吸收流程稳定且高效。冷凝技术借助降低气体的温度,让VOCs冷却凝结并析出,进而将其分离出来,还可以跟吸收法共同运用,构建起多级净化体系。工程实施的结果证明,将吸收法与冷凝技术整合在一起,不仅能明显增强废气处理的效率,而且可以减少运行时的能耗以及运营方面的成本,达成经济性与环保性的双重提升。

3 工程系统优化设计

3.1 工艺流程优化

设计废气治理系统时,对各个处理单元进行合理规划是增强整体治理效果的核心要点。如吸收塔、催化燃烧器和吸附床等不同的处理单元在系统中发挥着不一样的作用,其空间的排列方式直接影响着废气在系统中的留存时间和反应结果。倘若布局安排得不合理,可能会致使气流出现短路情况或者产生死区,进而使污染物的去除比例下降,对整个系统运行的效率和稳定性产生负面作用。

改善气流分布与反应途径同样是提升治理效能的关键方法。通过合理规划管路的走向、变更进出口的位置以及调节流量的分配,能够让废气在各个处理单元中平稳流动,保障反应条件充足,让各单元的处理能力达到最大值。通过CFD(计算流体力学)模拟手段,能够精准剖析废气在系统中的流动与传质状况。对不同布局与操作状况下的气流分布开展模拟,能清晰察觉死区、短路流或者流速不均匀等状况,以此来引导处理单元的优化布置工作。

3.2 设备参数调控

VOCs治理系统的效率和能耗高低直接受设备运行参数的影响。不同种类的处理单元在运转期间,对温度、流速、液气比这类参数的敏感程度存在差异,优化调整这些参数可明显提高污染物的去除率,又能减少能源消耗。吸附床再生周期的设定要结合吸附剂的负荷状态与废气浓度的改变来合理安排,周期过短会造成能耗上升以及设备磨损加剧,而周期太长或许会造成吸附性能降低,对治理效果造成不利影响。

针对催化燃烧反应器来讲,精准把控温度曲线十分关键。要是反应温度不够高,有机废气就难以彻底氧化,残余VOCs的排放超出标准;要是温度太高,不仅会加大能源的消耗,还极有可能破坏催化剂的结构。通过精准的温度控制与动态调整,能在保证反应彻底的同时,达成高效的燃烧效果。吸收塔的运行优化工作也不容小觑。借助调节液气的比值、把控废气的停留时间以及恰当布置填料层,可提升废气与吸收液的接触程度,提高污染物的去除比例。

3.3 集成组合优化

面对复杂的工业废气治理,单一的处理技术通常无法全方位处理多种成分的污染物,极有可能出现治理效果不佳或者能耗超标的问题^[3]。为了弥补单一技术的不足,把多种技术进行集成搭配,可达成各技术间的优势互补,进而提升整体处理成效。多种技术组合能够依据不同类别的VOCs或者特定反应情形,让各自的长处得以展现,达成废气的高效净化处理。

常规的组合形式包含吸附和催化燃烧联用、吸收与冷凝联合处置,另外,还有吸附和吸收的耦合流程等。利用吸附工艺可有效收集低浓度的VOCs,催化燃烧能够把有机物

彻底氧化分解；吸收以及冷凝针对高浓度或者高湿度的废气能展现出良好的适配性。利用恰当组合，可同时兼顾处理的效率、操作的稳定性以及能源的消耗，达成系统性能的提升。在系统的设计和运行期间，工艺模拟与试验数据起着关键的引领作用。借助对不同技术搭配下的气液流动状况、反应动力学特点和传质特性开展模拟，可实现组合比例与运行参数的优化。

4 运行管理与智能化优化

4.1 监测与控制系统

对于现代的 VOCs 治理系统而言，采用废气实时在线监测与自动管控技术，可大幅提高体系的智能程度。通过实时监控废气中 VOCs 的浓度和各个处理单元的运行状态，系统能对异常状况迅速做出反应，迅速更改运行参数，进而保障治理成效和排放达标。

若想优化在线监测系统，首先需要科学地设置传感器。合适的传感器安装位置可精准体现废气成分的分布状况以及处理单元的运转情形，防止出现检测盲区和数据偏差。科学规划数据采集的频率同样十分关键，频率太低可能造成反应迟缓，若频率太高，则会加重数据处理的工作量。借助协调采样频次和响应速率，能够达成精准、可信的实时监测^[4]。在自动控制领域，控制策略的改进是重中之重。依据监测所得的数据，系统可根据废气浓度的波动情况，自动调节吸附床的再生周期、催化燃烧的温度或者吸收塔的液气比等各项参数。预警系统可以预先察觉潜在的异常状况，为运维相关人员提供借鉴，降低设备出现故障以及排放超出标准的可能性。利用废气在线监控与自动管控的协同施行，治理系统能够一边高效、平稳地运行，达成智能化管控与能耗的优化调整。

4.2 智能化运行优化

伴随工业废气治理系统愈发复杂，运用大数据分析 with 人工智能算法实施的智能化管理，成为增强系统效率的重要途径。借助对海量设备运行数据、工艺指标以及环境详情的收集与剖析，可对系统的运行状态开展全面的评估，预先察觉潜在的故障隐患，做到对设备的预测式维护，这既降低了突发停机给生产造成的影响，还切实削减了维护费用^[5]。

针对工艺优化工作，人工智能算法能依据实时数据对运行参数进行动态调整，可以自动调整吸附床的再生周期、催化燃烧器的温度变化曲线，以及吸收塔的液气比例和停留时长，进而让废气治理的效率达到峰值。算法可以按照历史的运行数据和走向趋势，对能耗的变化进行预测，制定出恰当的能耗调控策略，提高系统能源的利用效率。智能化运行

所具备的优势，不只是体现在让效率提高，还体现为设备使用寿命的增加和运营费用的降低。

4.3 系统维护与可持续管理

科学的系统维护是保障 VOCs 治理系统长期稳定运行的必要条件，维护工作涵盖的主要内容有替换吸附剂、让催化剂恢复活性以及对吸收液进行处理与换新等方面。运行时间不断增加，吸附剂会慢慢丧失吸附能力，马上进行更换能保证废气捕集效率不降低；高温氧化过程中，催化剂的活性可能会下降，通过周期性再生能让其催化性能恢复；定期处理或者更换吸收液，可维持吸收塔的传质效率以及液体的反应活性，进而保障系统的整体运行成效。

为了确保系统高效运转，关键是进行规范化操作并开展周期性保养。通过制定精准的操作规范和维护方案，配合周期性检查、数据监管和故障预报警，能够迅速察觉潜在隐患并实施有效举措，杜绝设备突发故障影响系统性能。VOCs 治理系统在维护管理时更加强节能与资源的循环再利用，将吸附剂或者催化剂的残余物回收再生，对吸收液恰当处理并达成部分回用，可削减资源的浪费和二次污染情况。融合科学的节能管理方法与循环再利用策略，系统既可以实现高效治理和低能耗的运转，还能在环保和经济层面达成可持续发展的目的。

5 总结

工业废气 VOCs 治理工程的优化涉及到技术抉择、系统设计和运营管理等多个维度，利用吸附、燃烧氧化、吸收及冷凝等技术的优化整合，精心设计工艺流程和设备参数，再配合智能化的监控和管理手段，能明显提高治理效果、降低能源损耗并实现经济化运营。在未来，伴随新型材料、新兴工艺以及数字化技术的进步，工业废气治理会朝着高效、智能、可持续的方向不断发展，为环保事业和工业的发展给予有力保障。

参考文献

- [1] 蔡雨霏,郭珊珊,张健,等.酚醛树脂基球型活性炭制备及VOCs废气吸附性能研究[J].环境工程技术学报, 2025, 15(4):1240.
- [2] 华亮,栾浩,王慧.试析工业VOCs废气治理方法[J].石油石化物资采购, 2023(21):126-128.
- [3] 凌川,张建,吕伟剑,等.工业大气污染的治理工艺技术与预防措施分析[J].科技资讯, 2025, 23(1):185-187.
- [4] 廖国庆.大气环境的VOCs监测与治理[J].生态环境与保护, 2023, 6(4):13-15.
- [5] 周飞,陆效磊,金小贤,等.工业VOCs治理活性炭动态吸附容量实例研究[J].环境科技, 2023, 36(6):14-18.