环境污染治理工程中废气吸附技术应用

陈庆昌

广东恒瑞亿科环保科技有限公司

摘要：在环境污染治理工程中，废气吸附技术的使用频率较高，是一种高效、经济的废气处理手段，被广泛应用于多种工业废气处理场景。本文分析了废气吸附技术的基本原理、常用吸附剂及其特性、吸附设备类型及运行参数优化，以及废气吸附技术的未来发展趋势等内容，希望能够对环境治理工作提供有益参考，为国家的可持续发展提供助力。

关键词：环境污染治理；废气吸附技术

伴随工业现代化的快速发展，大气环境质量恶化问题愈发严重，其中工业生产过程中产生的有害气体排放，对生态环境、人体健康均可能造成严重危害。作为当前环境污染治理中一种兼具高效性、经济性与操作便捷性的重要技术手段，废气吸附工艺已在各类工业污染治理中获得了广泛应用。

1　废气吸附技术的基本原理

吸附技术的本质，是利用多孔固态吸附介质（即吸附剂）与流体相（含气态与液态介质）发生接触作用时，流体体系中特定组分在固体介质表面发生富集现象，进而达成物质体系分离与纯化的工艺过程。依据吸附作用过程中作用力类型的差异，该技术可划分为物理吸附与化学吸附两大核心类别。

物理吸附驱动力为范德华力、色散力等分子间弱相互作用，具有吸附动力学快、焓变值小、过程可逆的特性。其工艺多在低温开展，吸附质与吸附剂无化学键反应，调控温度、压力即可实现吸附剂再生循环。化学吸附核心是吸附质与吸附剂表面化学键合，特点为焓变值大、目标选择性高、过程不可逆，工艺常需较高温度。工业废气处理中，二者并非独立，常协同作用且可在特定条件下转化。如活性炭吸附有机污染物以物理吸附为主，特定温湿度下可能伴化学吸附；部分金属氧化物吸附酸性气体则以化学吸附为主。物理吸附与化学吸附的对比具体见表 1。

2　常用吸附剂及其特性

2.1　活性炭

活性炭作为工业领域常用吸附剂，自身具备高度发达的孔隙结构与庞大的比表面积。这一结构特点使其对有机废气展现出优良的吸附性能。活性炭在形态上主要分为粉末状与颗粒状两类。其中，粉末活性炭的吸附速率表现突出，但实际应用中面临回收难度大的问题；颗粒活性炭则拥有更大的吸附容量，且经处理后可实现重复使用[1]。

活性炭的吸附性能并非固定不变，它会受到自身孔隙结构、表面化学特性及制备工艺等多方面因素的影响。在实际制备过程中，研究人员可

表 1　物理吸附与化学吸附的对比

类别	适用范围	优势	劣势
物理吸附	1. 低浓度、易挥发有机废气（如苯、甲苯、VOCs）；2. 非极性或弱极性气体（如烃类、惰性气体）；3. 常温或低温工况（吸附效率随温度升高而降低）	1. 吸附 / 解吸速度快，可循环再生（如加热、降压即可恢复吸附能力）；2. 吸附剂通用性强（如活性炭、分子筛可处理多种废气）；3. 运行成本低，无副产物生成	1. 吸附选择性差，易受杂质气体干扰；2. 高温、高湿环境下吸附效率大幅下降；3. 吸附容量有限，需频繁再生
化学吸附	1. 高浓度、强极性或活性气体（如 SO_2、NO_x、H_2S、酸性 / 碱性废气）；2. 需深度去除特定污染物的场景（如达标排放要求严苛的行业）；3. 中高温工况（部分化学吸附需一定温度触发反应）	1. 吸附选择性高，可精准去除目标污染物；2. 吸附容量大，不易出现吸附饱和；3. 吸附稳定性强，受温度、湿度等环境因素影响较小	1. 吸附 / 解吸速度慢，再生难度大（多需化学试剂或高温氧化，吸附剂易失效）；2. 吸附剂专用性强，适用场景局限；3. 可能产生副产物（如盐类、氧化物），需二次处理

通过物理活化或化学活化的方式，对活性炭的孔隙尺寸与分布状态进行调控。这种调控手段能够有效提升活性炭对特定污染物的吸附选择性。从应用场景来看，活性炭对多数有机物质、部分无机气体（如二氧化硫、氮氧化物、硫化氢等）均能实现良好吸附效果，尤其在低浓度、大风量有机废气的处理场景中表现优异，活性炭吸附装置如图 1 所示。

2.2 分子筛

分子筛属于铝硅酸盐晶体材料，核心特征是拥有均匀的微孔结构，且微孔孔径大小呈现均一性，可通过工艺手段实现精确控制。这种结构优势让分子筛对小分子气体具备出色的吸附选择性，在极性分子与不饱和烃类物质的分离、吸附操作中应用广泛。分子筛的吸附性能与其自身孔径大小、硅铝比例及晶体结构存在紧密关联。科研人员通过调整这些关键参数，能够制备出对特定气体具有高选择性的分子筛吸附剂。与活性炭相比，分子筛在热稳定性与再生性能方面拥有更显著的优势，但它的生产成本相对更高，这在一定程度上限制了其部分场景的大规模应用。

2.3 活性氧化铝

活性氧化铝属于多孔状物质，自身拥有较高的比表面积，同时具备良好的热稳定性。这种材料对水蒸气、氨气等极性分子表现出较强的吸附能力，在空气干燥作业与气体净化工艺中应用频繁。

活性氧化铝的吸附性能并非恒定，它会受到自身孔隙结构、表面羟基数量及制备条件等多方面因素的制约。在实际制备环节，工作人员可通过控制制备过程中的温度参数、压力条件与原料配比比例，对活性氧化铝的孔隙尺寸与分布状态进行调节。这种调节方式能够有效提升活性氧化铝的吸附容量，同时增强其对目标物质的吸附选择性。

3 吸附设备类型及运行参数优化

3.1 固定床吸附设备

固定床吸附设备在各类吸附装置中占据重要地位，是目前应用频率较高的设备类型之一。该设备的核心优势在于结构设计简洁，实际操作过程便捷高效。在固定床吸附的具体运行过程中，待处理废气需从吸附剂床层的一端进入设备内部，随后逐步穿透吸附剂层，最终从床层另一端排出。在此过程中，吸附剂始终在床层内保持固定状态，不会发生位置移动，吸附作业则以连续化方式开展 [2]。

固定床吸附设备的运行效果受多项参数调控，主要涵盖空床气速、吸附剂层高度、吸附剂粒径等关键指标。从参数影响规律来看，若空床气速过高，会直接导致吸附剂床层内部压降升高，进而造成吸附效率下降；而吸附剂层高度过低时，吸附剂自身的吸附容量无法得到充分发挥，会造成材料浪费。在实际应用中，研究人员可通过试验测试与模拟计算相结合的方式，确定设备运行的最优参数组合，以此实现吸附效率提升与设备运行成本降低的双重目标。

图 1 活性炭吸附装置

3.2 流化床吸附设备

流化床吸附设备的运行原理具有鲜明特色，它通过气流作用使吸附剂颗粒处于悬浮状态，进而形成流化体系。这种设计能够显著增大吸附剂与废气的接触面积，同时提升传质效率。从适用场景来看，流化床吸附设备更适合处理高浓度、大流量的废气体系。其运行过程同样依赖多项关键参数，具体包括流化气速、吸附剂颗粒尺寸及颗粒密度等。

在所有参数中，流化气速对设备吸附性能的影响最为关键：若流化气速过低，吸附剂颗粒会出现沉降现象，破坏流化状态的稳定性，影响整体处理效果；若流化气速过高，则会导致吸附剂颗粒被气流夹带流失，造成材料损耗的同时降低吸附效率。基于此，通过优化流化气速参数与调整吸附剂颗粒特性，能够为废气吸附处理构建高效运行体系，保障处理效果的稳定性与经济性。

3.3 吸附设备运行参数优化

吸附设备运行参数的优化调控，是提升吸附处理效率与降低设备运行成本的核心环节，对整个废气治理系统的经济性与稳定性具有决定性影响。在实际优化过程中，研究人员可通过试验探究与数学模拟相结合的技术手段，构建参数与效果的关联模型，进而确定适配不同工况的最优运行参数组合。

针对不同类型的吸附设备，参数优化方法存在显著差异：对于固定床吸附设备，技术人员可通过测定吸附剂的穿透曲线，分析吸附质在床层内的

迁移规律，以此为依据确定吸附剂层高度与空床气速的最佳匹配关系；对于流化床吸附设备，则需借助流化特性试验观察颗粒运动状态，结合传质模型的计算结果，对流化气速参数与吸附剂颗粒特性（如粒径、密度）进行协同优化。此外，为进一步提升参数调控的精准度与实时性，还可在吸附系统中引入智能控制体系。该体系能够对设备运行过程中的关键参数进行实时监测与动态调整，实现吸附工艺的自动化运行与全周期优化。

4　废气吸附技术应用案例分析

化工行业中，某化工生产企业在生产过程中会产生大量含硫化氢、二氧化硫等酸性气体的废气，该企业是废气治理的重点关注对象。该企业采用了固定床吸附设备结合活性氧化铝吸附剂的废气处理方案。设计处理风量为 8 000 m^3/h，入口酸性气体浓度约 300 mg/m^3。选用活性氧化铝吸附剂。比表面积可达 300 ~ 400 m^2/g 填充在固定床层内，废气从床层一端进入，经过吸附剂吸附后从另一端排出。运行结果显示，该系统对酸性气体的去除率能达到 92% 以上，排放浓度低于 25 mg/m^3，符合相关排放标准，且设备运行稳定、操作相对简便。不过，在长时间运行后，吸附剂吸附容量会下降，需定期更换，增加了运行成本。后续企业计划优化吸附剂再生工艺以降低成本。

5　环境污染治理工程中废气吸附技术未来发展方向

5.1　新型吸附剂研发

伴随环保标准的日趋严苛以及废气治理复杂度的提升，研发高性能、低成本且可循环再生的新型吸附材料已成为当前学术界与产业界的研究焦点。以纳米材料、金属有机框架材料（MOFs）为代表的新型吸附剂，凭借其独特的物理化学特性，在废气吸附处理领域彰显出广阔的应用潜力。其中，纳米材料具备高比表面积与优异的表面活性，可大幅提升吸附过程的效率；而 MOFs 材料拥有高度规整的孔隙结构及可调控的化学属性，对特定目标气体展现出强选择性吸附能力。

5.2　吸附设备智能化

随着信息技术的迅猛革新，吸附设备的智能化管控已成为行业未来发展的重要趋势。通过整合传感器监测技术、自动化调控技术与大数据分析技术，能够实现对吸附处理全过程的实时监控与动态优化。具体而言，借助气体传感器可实时追踪废气浓度变化及吸附剂的吸附效能，结合自动化控制系统可自动适配运行参数，保障吸附过程的高效稳定开展；同时，利用大数据分析技术对设备运行数据进行深度挖掘，能够优化吸附设备的运行方案，从而降低能源消耗与运营成本。智能化吸附设备的推广应用，将有效提升废气治理的综合效率与运行可靠性，为环保产业的高质量发展提供坚实支撑。

6　结语

废气吸附技术在污染治理工程中应用价值显著。通过科学选吸附剂、配吸附设备及优化运行参数，可有效提升处理效能，降低二次污染风险。未来，随着新型吸附材料研发、设备智能化发展，该技术将在污染治理中发挥更重要作用，为我国可持续发展提供技术支撑。

参考文献：

[1] 田学慧.废气处理中的活性炭吸附技术应用与性能提升[J].中国轮胎资源综合利用,2025(03):166-169.

[2] 朱维，蒋开国，陈异伟，等.挥发性有机废气吸附浓缩+催化燃烧技术的研究及应用[J].湖南有色金属，2024,40(02):98-100+108.

广告