

# Research on the Application of Adsorption Technology in Pollutant Removal of Environmental Protection Equipment

Shenghong Zhu

Jiangxi Jinxiushan Engineering Consulting Co., Ltd., Ganzhou, Jiangxi, 341000, China

## Abstract

This paper focuses on the application of adsorption technology in the removal of pollutants in environmental protection equipment. The physical and chemisorption principles were described, and the properties of common adsorbents such as activated carbon, molecular sieve and resin were discussed. In-depth analysis of the application in the treatment of organic, heavy metals and gaseous pollutants, analysis of adsorbent selection and regeneration, temperature, pressure, pH value and other influencing factors, research with biological, membrane separation, photocatalysis technology combined application mode and advantages. It aims to provide theoretical and practical guidance for the progress and innovation of adsorption technology in the field of environmental protection, and help improve the effectiveness of environmental pollution control.

## Keywords

adsorption technology; environmental protection equipment; pollutant removal; adsorbent

## 吸附技术在环保设备去除污染物中的应用研究

朱圣洪

江西锦绣山工程咨询有限公司, 中国·江西 赣州 341000

## 摘要

本文聚焦吸附技术于环保设备去除污染物的应用。阐述其物理与化学吸附原理, 探讨活性炭、分子筛、树脂等常见吸附剂特性。深入剖析在有机、重金属、气态污染物处理中的应用, 分析吸附剂选择与再生、温度、压力、pH值等影响因素, 研究与生物、膜分离、光催化技术的联合应用模式及优势。旨在为环保领域吸附技术的进步与创新提供理论与实践指引, 助力提升环境污染治理成效。

## 关键词

吸附技术; 环保设备; 污染物去除; 吸附剂

## 1 引言

随着全球工业化和城市化进程的加速, 环境污染问题日益严重, 对人类健康和生态平衡构成了巨大威胁。在众多的环境污染治理技术中, 吸附技术因其高效、灵活、操作相对简单等特点而备受关注, 并在环保设备中得到了广泛应用。吸附技术能够有效地去除废气、废水以及土壤中的各种污染物, 将有害物质从一种介质转移到吸附剂表面, 从而达到净化环境的目的。

## 2 吸附技术的基本原理

吸附技术基于吸附剂与污染物间的相互作用实现污染物去除。物理吸附依靠范德瓦耳斯力, 此力较弱且可逆, 在低温下即可迅速发生, 吸附热小, 无明显选择性, 如活性炭对有机气体的常温吸附。化学吸附则因化学反应形成化学

键, 作用力强, 具不可逆或半可逆性, 常需较高活化能, 多在高温下较快进行且选择性强, 像金属氧化物对重金属离子的吸附涉及离子交换等化学过程<sup>[1]</sup>。实际吸附常是二者并存并随条件相互转化, 低温时物理吸附为主, 升温后部分可转为化学吸附, 这种特性使吸附技术能适应多样的污染物处理需求, 在环保领域发挥重要作用(如图1)。

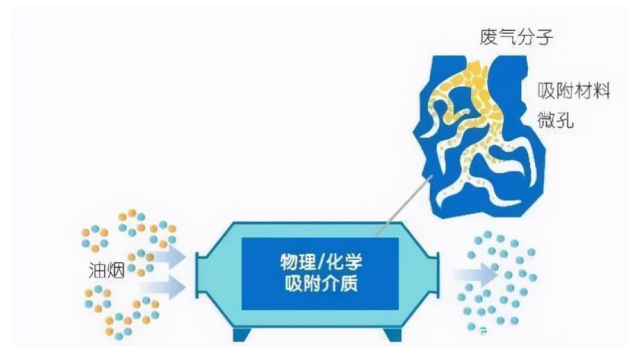


图1 吸附技术原理

【作者简介】朱圣洪(1985-), 男, 中国江西南康人, 本科, 工程师, 从事化工技术在环保领域的应用研究。

### 3 常见吸附剂的种类与特性

常见吸附剂包括活性炭、分子筛、树脂等。活性炭孔隙结构发达,比表面积巨大,来源广泛,能吸附多种有机和部分无机污染物,表面官能团可增强吸附力,但吸附容量有限且再生后性能下降。分子筛具规则孔道与均匀孔径,可依分子大小形状筛分,骨架酸性位点利于吸附,热稳定性和水热稳定性佳,不过合成成本高且对大分子有机物吸附欠佳。树脂吸附剂分离子交换树脂与吸附树脂,前者靠离子交换除离子型污染物,交换容量大、选择性强;后者依官能团和高分子链作用吸附有机物,可调节性能且可再生,但易受干扰、机械强度低,在不同环保场景各有优劣与适用范围<sup>[2]</sup>。

### 4 吸附技术在不同污染物处理中的应用

#### 4.1 在有机污染物处理中的应用

在废水处理中,吸附技术可有效去除废水中的各种有机污染物,如染料、农药、酚类、多环芳烃等。活性炭是常用的吸附剂之一,其对有机染料具有良好的吸附脱色效果。将活性炭投加到废水中,有机染料分子被吸附在活性炭的孔隙表面,从而使废水的颜色变浅,同时降低了废水中有机污染物的浓度<sup>[3]</sup>。对于一些难生物降解的有机农药废水,吸附树脂可发挥重要作用。吸附树脂选择性地吸附农药分子,将其从废水中分离出来,经过再生后可回收农药,减少资源浪费。在处理含酚废水时,大孔树脂由于其对酚类物质的高选择性吸附能力,可有效地降低废水中酚的含量,并且树脂吸附后可以通过解吸再生,实现酚的回收利用;对于有机废气的处理,吸附技术同样具有重要地位。活性炭纤维吸附剂因其具有较大的比表面积和丰富的微孔结构,对挥发性有机化合物(VOCs)如苯、甲苯、二甲苯等具有较高的吸附容量。在废气处理设备中,有机废气通过活性炭纤维吸附床时,VOCs被吸附在纤维表面,净化后的气体达标排放。当活性炭纤维吸附饱和后,可以通过热再生或其他再生方法使其恢复吸附能力,循环使用。此外,分子筛也可用于有机废气的处理,特别是在一些对废气净化精度要求较高的场合,分子筛的分子筛作用,更精准去除特定的有机污染物分子,提高废气处理的效果。

#### 4.2 在重金属污染物处理中的应用

吸附技术在去除废水中重金属污染物方面应用广泛,离子交换树脂是处理重金属废水的常用吸附剂之一,例如,强酸性阳离子交换树脂可以有效地吸附废水中的铜、铅、镉等重金属阳离子,通过离子交换反应,将重金属离子固定在树脂上,使废水得到净化。经过吸附饱和后的树脂可以用酸溶液进行再生,回收重金属离子并重复利用树脂<sup>[4]</sup>。此外,一些生物吸附剂如某些微生物细胞表面含有丰富的官能团,如氨基、羧基、巯基等,这些官能团能够与重金属离子发生络合、离子交换等作用,对重金属离子具有良好的吸附能力。例如,某些藻类可吸附废水中的汞离子,将其从水溶液中转

移到藻类细胞表面,降低废水中汞的浓度。在土壤修复领域,吸附剂可用于固定土壤中的重金属污染物,减少其在土壤中的迁移性和生物可利用性。例如,向污染土壤中添加黏土类吸附剂或生物炭,可以吸附土壤中的重金属离子,使其被固定在吸附剂表面,从而降低重金属对土壤生态系统和农作物的危害。一些改性后的吸附剂,如对膨润土进行有机改性后,其对重金属离子的吸附能力显著增强,可以更好地应用于土壤修复工程中。

#### 4.3 在气态污染物处理中的应用

除有机废气外,吸附技术还可用于处理其他气态污染物,如酸性气体和含汞蒸气等。对于酸性气体的处理,碱性吸附剂如碱性分子筛、石灰等可借助化学反应将酸性气体吸附并转化。例如,石灰吸附二氧化硫的过程中,二氧化硫与石灰发生化学反应生成亚硫酸钙或硫酸钙,从而将二氧化硫从废气中去除。在处理含汞蒸气时,一些金属硫化物吸附剂具有较好的吸附性能,汞蒸气与金属硫化物表面发生反应,形成稳定的汞化合物被吸附在吸附剂表面,防止汞蒸气进入大气环境造成污染。

### 5 吸附技术应用的影响因素

#### 5.1 吸附剂的选择与再生

吸附剂的种类和性能直接影响吸附效果。在实际应用中,需要根据污染物的类型、浓度、性质以及处理要求等因素选择合适的吸附剂。例如,对于低浓度有机废气的处理,活性炭纤维可能是较好的选择;而对于高浓度重金属废水的处理,离子交换树脂可能更为合适。同时,吸附剂的再生能力也是一个重要考虑因素。吸附剂吸附饱和后,如果不能有效地进行再生,不仅会增加处理成本,还会产生大量的固体废物。再生方法包括热再生、化学再生、生物再生等,不同的吸附剂适用的再生方法不同。例如,活性炭通常采用热再生方法,通过高温下将吸附在活性炭上的污染物解吸出来,使活性炭恢复吸附能力;而离子交换树脂则一般采用化学再生方法,用适当的化学试剂将树脂上吸附的离子置换下来,实现再生。

#### 5.2 温度

温度对吸附过程有显著影响。对于物理吸附,一般来说,温度越低,吸附效果越好,因为低温有利于吸附剂与污染物分子之间的范德瓦耳斯力作用。随着温度升高,物理吸附量会逐渐减少,部分被吸附的污染物分子可能会解吸出来。而对于化学吸附,温度的影响较为复杂。在一定范围内,温度升高可能会促进化学吸附的进行,因为化学吸附需要一定的活化能,较高温度有助于克服活化能障碍,使吸附反应加快。但当温度过高时,将导致吸附剂表面的活性位点发生变化或吸附剂结构遭到破坏,从而降低吸附效果。在某些金属氧化物吸附剂对重金属离子的化学吸附过程中,适当提高温度可以提高吸附速率,但温度过高会使金属氧化物发生相变或烧

结,影响其吸附性能。

### 5.3 压力

压力主要影响气态污染物的吸附过程,对于气体吸附,在一定温度下,压力升高有利于气体分子向吸附剂表面的吸附,因为压力增加会使气体分子的浓度增大,从而增加与吸附剂接触的机会,提高吸附量。例如,在变压吸附(PSA)技术中,通过改变压力实现气体的吸附与解吸过程。在高压下,气态污染物被吸附在吸附剂上,然后通过降低压力,使被吸附的气体解吸出来,达到分离和净化气体的目的。但压力对吸附的影响也存在一定的限度,当压力过高时,可能会对吸附剂的结构造成破坏,或者增加设备的成本和操作难度。

### 5.4 pH值

pH值对吸附过程的影响,主要体现在对污染物的存在形态和吸附剂表面性质的改变上。在处理废水时,pH值会影响重金属离子的水解和沉淀平衡,从而影响其吸附效果。对于某些金属离子如铜离子,在酸性条件下主要以离子形式存在,容易被离子交换树脂吸附;而在碱性条件下,形成氢氧化铜沉淀,不利于吸附。同时,pH值也会影响吸附剂表面的官能团的电离状态,进而影响吸附剂与污染物之间的相互作用。活性炭表面的羧基在碱性条件下电离程度增加,使其带负电,有利于吸附带正电的污染物分子;而在酸性条件下,电离程度减小,吸附能力可能会减弱。

## 6 吸附技术与其他环保技术的联合应用

### 6.1 与生物处理技术的联合

吸附技术与生物处理技术联合应用,可发挥各自的优势,提高污染物的去除效果。在废水处理中,先利用吸附剂去除废水中的难生物降解的有机污染物或重金属污染物,降低其对微生物的毒性,然后再将经过吸附处理后的废水进行生物处理,如活性污泥法、生物膜法等,进一步去除水中的可生物降解的有机物。例如,对于含有高浓度酚类和少量重金属的废水,先使用吸附树脂吸附酚类和重金属,然后将处理后的废水进入生物处理系统,微生物可以有效地分解剩余的有机污染物,使废水达标排放。这种联合应用方式,不仅提高处理效果,还可以减少生物处理过程中的污泥产生量,降低处理成本。

### 6.2 与膜分离技术的联合

吸附技术与膜分离技术联合,可实现对污染物的深度分离和回收。在废水处理或气体处理中,先通过吸附剂吸附污染物,然后利用膜分离技术将吸附剂与处理后的介质分离,同时可以进一步截留未被吸附的微小污染物颗粒或分

子。例在处理含有纳米颗粒和有机污染物的废水时,先使用活性炭吸附有机污染物,然后利用超滤膜或纳滤膜将活性炭和处理后的水分离,超滤膜或纳滤膜还可以截留废水中的纳米颗粒,使水得到更彻底的净化。在气体处理中,吸附剂与膜分离技术联合可用于回收一些有价值的气体污染物,如从废气中回收二氧化碳或氢气等,先通过吸附剂选择性地吸附目标气体,然后利用膜分离技术,将吸附有目标气体的吸附剂与其他气体分离,再通过解吸等方法回收目标气体。

### 6.3 与光催化技术的联合

吸附技术与光催化技术联合应用,在处理难降解有机污染物方面具有独特的优势。光催化技术利用光催化剂在光照下产生的强氧化性自由基,如羟基自由基、超氧自由基等,将有机污染物降解为无机物质。当吸附技术与光催化技术联合时,吸附剂可以先将有机污染物吸附在其表面,使有机污染物在光催化剂周围富集,提高光催化反应的效率。同时,光催化剂产生的自由基,也可将吸附在吸附剂表面的有机污染物进一步降解,实现吸附与降解的协同作用。例如,二氧化钛光催化剂与活性炭联合应用于处理含有多环芳烃的废水,活性炭吸附多环芳烃后,在光照条件下,二氧化钛产生的羟基自由基,将活性炭表面的多环芳烃降解为二氧化碳和水,活性炭又可继续吸附废水中的其他多环芳烃,提高整个系统对多环芳烃的去除效率。

## 7 结论

吸附技术在环保设备去除污染物方面具有不可替代的重要性。通过深入理解其物理吸附和化学吸附原理,合理选用活性炭、分子筛、树脂等吸附剂,并充分考量吸附剂再生、温度、压力、pH值等影响因素,能高效处理有机、重金属、气态污染物等多种污染类型。与生物、膜分离、光催化技术的联合应用进一步拓展了其应用效能与范围。未来,新型吸附剂的研发、智能化吸附设备的开发以及在新兴污染物处理中的应用拓展,将持续推动吸附技术的进步,为全球环境保护事业提供更为强大、精准与可持续的技术支撑,助力构建清洁、健康的生态环境。

### 参考文献

- [1] 王继新.基于变压吸附方法针对VOCs分离回收涉LPG罐车清洗技术应用[J].特种设备安全技术,2024(5):20-21+34.
- [2] 王一鸣,蔡聪,巩瑞奇,等.基于太阳能吸附式制冷技术的新型冷链物流设备[J].物流工程与管理,2015,37(8):118-119.
- [3] 张立德.激光清理技术在核岛主设备制造中的应用研究[J].中国化工装备,2024,26(5):44-48.
- [4] 胡小旭.浅谈环保机械设备脱硫、脱硝一体化装置技术[J].工程技术与管理,2023,7(24).