

活性炭装置对塑料制品业低浓度非甲烷总烃的吸附效率及影响因素研究

王首洋

(河北圣鸿环保科技有限公司, 河北 沧州 061000)

摘要: 活性炭吸附装置常用于塑料制品行业低浓度非甲烷总烃废气处理。本研究基于沧县 5 家企业的监测数据, 分析其去除效率。结果显示, 进口浓度为 3.47~24.4 mg/m³ 时, 平均去除效率为 65.92%, 进口浓度与去除效率呈强正相关 ($R=0.9052$)。建立的回归模型 $y=0.953x+52.125$ 可用于预测吸附效率并估算活性炭更换周期, 为企业运行维护提供参考。

关键词: 活性炭吸附; 低浓度非甲烷总烃; 吸附效率; 预测; 模型

引用论文: 王首洋. 活性炭装置对塑料制品业低浓度非甲烷总烃的吸附效率及影响因素研究 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(4):11-14.

中图分类号: TQ330.46

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)04-0011-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.04.003

0 引言

近年来, 沧州地区塑料制品行业发展迅速, 生产过程中产生的低浓度非甲烷总烃废气成为主要环境问题之一。活性炭吸附装置作为该行业常用的末端治理技术, 其处理效率直接影响废气达标排放与运行成本。本研究以沧州塑料制品企业为例, 通过实地监测数据分析活性炭吸附装置对低浓度非甲烷总烃的去除效率, 旨在为设备选型、运行优化与维护管理提供数据支持。

1 活性炭吸附效率影响因素

活性炭吸附效率受多种因素影响, 主要包括活性炭性质 (比表面积、孔隙结构、表面化学特性)、吸附质性质 (浓度、极性、分子大小) 以及环境条件 (温度、湿度、气流速度) 等。唐忠利等对低温低压下活性炭吸附氢气分子进行研究, 加强吸附过程中的散热和优化吸附床结构可以提高氢气的吸附量^[1]; 闫德林等对活性炭的制备改性及 VOCs 吸附性能现状进行研究, 活性炭吸附 VOCs 是一种经济有效控制 VOCs 的方法^[2]; 俞江磊在《影响活性炭吸附法处理 VOCs 的效率因素》中, 从活性炭选择及 VOCs 活性炭吸附箱运行工况等方面, 综述了影响活性炭吸附法处理化工装置 VOCs 尾气效率的因素^[3]。其中, 废气浓度是影响吸附容量的关键参数之一, 对吸附过程的控制与优化具有重要意义。

2 实例调查与数据分析

本次以沧县 5 家塑料制品企业为对象, 收集其在项目验收期间的相关监测数据, 开展实例调查与分析。这些企业在生产工艺上具有相似性, 均于加热工序中产生了低浓度非甲烷总烃废气, 并统一采用“两级活性炭吸附”组合工艺进行治理。该技术是目前针对此类低浓度、大风量有机废气的常见治理方式, 通过两级活性炭的串联吸附, 可有效提高非甲烷总烃的去除效率, 保障废气达标排放。

选择这 5 家企业作为案例, 一方面因其治理技术相同, 具备可比性, 有助于排除技术路线差异带来的干扰; 另一方面, 它们均处于验收监测阶段, 运行工况和监测条件相对规范, 所得数据能够较为真实地反映该治理技术在相似行业、相似工况下的实际运行效果。通过对这些案例的监测数据进行综合比对与分析, 可以为进一步评估该治理技术的稳定性、适用性及优化方向提供现实依据, 也为同类企业的废气治理工艺选择与运行管理提供参考。

2.1 沧县某塑料包装厂年产 300 万个塑料瓶、1 亿根塑料管项目

该项目于 2022 年 10 月 27 日、29 日进行了竣工验收检测 (见表 1)。加热、成型废气采用二级活性炭

作者简介: 王首洋 (1991-), 男, 本科, 注册环境影响评价工程师, 主要研究方向为环境影响评价、环境工程等。

吸附处理后经 1 根 15 m 高排气筒排放。

表 1 验收监测数据调查结果一览表

进口浓度 / (mg·m ⁻³)	20.3	24.4	23.8	22.6	22.4	18.7
出口浓度 / (mg·m ⁻³)	6.08	6.19	5.56	6.09	6.02	6.00
去除效率 / %	70.05	74.63	76.64	73.05	73.13	67.91

2.2 沧县某塑料制品厂新建年产塑料瓶 1 000 万个项目

该项目于 2025 年 4 月 10 日、15 日进行了竣工验收检测（见表 2）。注塑、吹塑废气采用二级活性炭吸附处理后经 1 根 15 m 高排气筒排放。

表 2 验收监测数据调查结果一览表

进口浓度 / (mg·m ⁻³)	16	16.4	16.5	17.4	18.4	17.8
出口浓度 / (mg·m ⁻³)	5.12	5.09	5.21	4.8	4.9	4.93
去除效率 / %	68.00	68.96	68.42	72.41	73.37	72.30

2.3 沧县某塑料制品厂塑料切片项目

该项目于 2019 年 5 月 12 日、13 日进行了竣工验收检测（见表 3）。挤出废气采用二级活性炭吸附处理后经 1 根 15 m 高排气筒排放。

表 3 验收监测数据调查结果一览表

进口浓度 / (mg·m ⁻³)	3.47	3.68	3.71	3.94	4.01	4.18
出口浓度 / (mg·m ⁻³)	1.55	1.57	1.62	1.84	1.65	1.85
去除效率 / %	55.33	57.34	56.33	53.30	58.85	55.74

表 6 沧县 5 家塑料制品企业验收监测调查结果统计表

企业编号	进口浓度范围 / (mg·m ⁻³)	出口浓度范围 / (mg·m ⁻³)	去除效率范围 / %	平均去除效率 / %
1	18.7~24.4	5.56~6.19	67.91~76.64	72.57
2	16.0~18.4	4.80~5.21	68.00~73.37	70.41
3	3.47~4.18	1.55~1.85	53.30~58.85	56.15
4	13.9~15.8	4.42~4.89	68.20~69.05	68.29
5	14.4~15.2	5.50~5.74	60.55~63.09	61.80

3 活性炭吸附装置针对低浓度非甲烷总烃去除效率分析

通过对上述 5 家企业的监测数据进行汇总与统计

2.4 沧县某塑料制品厂塑料切片项目

该项目于 2025 年 5 月 19 日、21 日进行了竣工验收检测（见表 4）。注塑、吹塑废气采用二级活性炭吸附处理后经 1 根 15 m 高排气筒排放。

表 4 验收监测数据调查结果一览表

进口浓度 / (mg·m ⁻³)	13.9	14.7	14.4	15	14.8	15.8
出口浓度 / (mg·m ⁻³)	4.42	4.63	4.55	4.75	4.64	4.89
去除效率 / %	68.20	68.50	68.40	68.33	68.65	69.05

2.5 沧县某塑料制品厂年产塑料瓶 2 000 万个项目

该项目于 2024 年 4 月 19 日、20 日进行了竣工验收检测（见表 5）。注塑、吹塑废气采用二级活性炭吸附处理后经 1 根 15 m 高排气筒排放。

表 5 验收监测数据调查结果一览表

进口浓度 / (mg·m ⁻³)	14.5	14.9	15.2	14.4	14.7	14.5
出口浓度 / (mg·m ⁻³)	5.5	5.5	5.62	5.6	5.74	5.72
去除效率 / %	62.07	63.09	63.03	61.11	60.95	60.55

2.6 沧县 5 家塑料制品企业验收监测调查结果统计表

沧县 5 家塑料制品企业验收监测调查结果统计表，见表 6。

分析，我们得到主要结果如图 1 所示。图 1 中直观展示了各企业非甲烷总烃的进口浓度、出口浓度及相应的去除效率，便于进行横向对比。

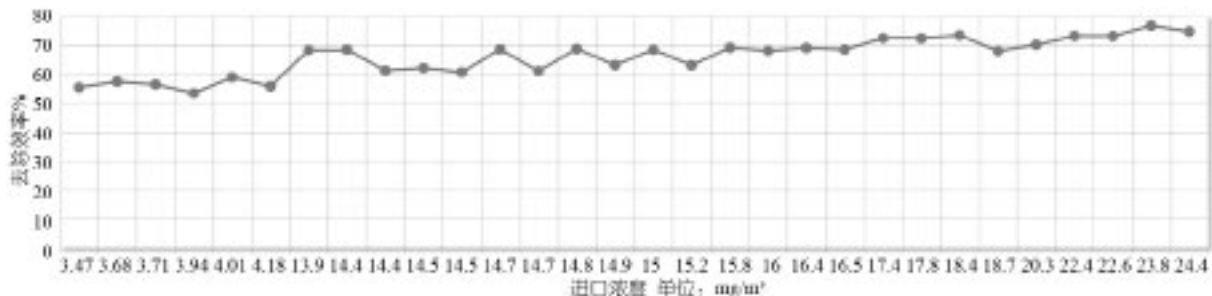


图 1 不同浓度非甲烷总烃下活性炭去除效率图

通过对图中监测数据的统计分析，本次调查的 5 家企业及其治理设施进口非甲烷总烃浓度分布于 3.47 ~24.4 mg/m³ 之间，平均值为 14.48 mg/m³，标准差

为 6.04。这一组数据反映了输入废气中污染物的初始水平。进口浓度跨度较大，表明尽管企业生产工艺相似，但由于具体原料、加热温度、产能负荷或收集效

率等生产工况可能存在差异，导致产生的废气原始浓度具有较显著的波动性。较高的标准差进一步印证了各企业间入口污染负荷的不均衡特征。

在治理效果方面，非甲烷总烃的去除效率处于 53.3% 到 76.64% 的区间内，平均去除效率为 65.92%，其标准差为 6.36。去除效率直接体现了“两级活性炭吸附”系统在实际运行中的处理性能。从数据看，平均效率刚过六成，且各企业效率值围绕平均水平的离散程度（标准差 6.36）与进口浓度的离散程度（标准差 6.04）相当，这说明治理系统的性能输出存在中等程度的波动，稳定性尚有待提升。

3.1 非甲烷总烃浓度与活性炭吸附效率关系强度与方向分析

强正相关：相关系数 $R=0.9052$ ，表明进口浓度与去除效率呈强正相关关系。即当进口浓度增加时，去除效率也倾向于增加。

决定系数： $R^2=0.8194$ ，意味着进口浓度可以解释去除效率变异的 81.94%，剩余 18.06% 的变异可能由其他因素（如操作条件、系统状态等）影响。

3.2 回归模型建立

回归方程： $y=0.953x+52.125$ ，其中 y 是去除效率（%）， x 是进口浓度（ mg/m^3 ）。斜率 0.953 表示进口浓度每增加 $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，去除效率平均增加约 0.953%。截距 52.125 表示当进口浓度为零时，去除效率的基准值（但实际浓度不会为零，因此截距主要用于模型拟合）。

3.3 统计显著性

P 值： $p=6.4370 \times 10^{-12}$ （远小于 0.05），表明回归关系极其显著，不是由随机因素引起。

3.4 原因分析

(1) 废气进口浓度较低时（如 $<10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ），吸附质分子在气相中的分压较小，降低了向活性炭表面及孔隙内部扩散的传质驱动力。尤其在浓度接近或低于活性炭的吸附平衡浓度时，吸附速率显著下降，导致整体去除效率偏低。

(2) 在低浓度、大风量运行条件下，污染物在活性炭床层中的停留时间较短，吸附过程未达到平衡状态。部分深层微孔未能参与有效吸附，导致实际吸附容量低于理论值，影响整体去除率。

(3) 塑料制品废气成分复杂，常含微量增塑剂、抗氧化剂等杂质。这些物质可能与目标污染物发生竞争吸附，占据活性炭有效吸附位点，尤其在低浓度条件下干扰效应更为显著。

(4) 低浓度条件下，吸附过程更多受内扩散控制，污染物分子向微孔深处迁移速度较慢，导致动态吸附效率低于高浓度条件下的表面快速吸附阶段。

4 建议

本研究通过对沧县 5 家塑料制品企业实际运行数据的调查与分析，证实活性炭吸附装置在处理低浓度非甲烷总烃废气方面具有一定的处理效率，其进口浓度与去除效率呈现显著正相关关系。在此基础上，建立了基于进口浓度的效率预测回归模型，为企业制定活性炭更换周期、优化运行参数提供了量化依据，有助于推动废气治理从经验管理向精细化、数据化环境管理转变。

未来研究可在以下方面进一步深化：一是推动实时在线监测系统与吸附效率预测模型的结合，实现活性炭饱和状态的动态预警与智能调控；二是开展活性炭材料性能优化研究，通过表面改性、孔结构调整等方式提升其对低浓度非甲烷总烃的选择性吸附能力；三是探索活性炭再生技术与循环使用模式，降低长期运行成本。此外，还应关注不同工况条件下模型的适用性修正，逐步构建适用于塑料制品行业乃至其他典型行业的活性炭吸附效率预测体系。

综上所述，活性炭吸附技术在低浓度有机废气治理中具备良好的应用基础与发展潜力，通过持续的技术优化与管理模式创新，有望在实现稳定达标排放的同时，进一步提高该技术的环境适应性与经济运行效益，为工业废气治理的绿色转型提供支持。

参考文献：

- [1] 唐忠利. 低温低压下活性炭吸附氢气的分子模拟 [J]. 天津大学学报. 2025(1), 81-83.
- [2] 闫德林. 活性炭的制备改性及 VOCs 吸附性能研究现状 [J]. 北京石油化工学院学报. 2025(1), 1-9.
- [3] 俞江磊. 影响活性炭吸附法处理 VOCs 的效率因素 [J]. 大众标准化. 2025(9), 112-114.

