

# 浅谈工业废气治理与环保设施工艺路线选择

吴卫龙

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司烯烃二分公司 宁夏 银川 750001

**摘要：**工业废气排放是大气污染的主要诱因，挥发性有机物、硫化氢、氨气等污染物不仅破坏生态环境，还威胁生态系统稳定。环保法规持续收紧背景下，工业废气治理成为企业可持续发展的核心支撑，而工艺路线的科学选型直接决定废气净化的效率、稳定性与经济性。本文结合行业技术成果与实践经验，剖析常见工业废气治理技术的核心原理与适用范围，明确工艺路线选择的核心准则，对比典型组合工艺的应用特点，提出工程实践中的关键要点，为工业企业废气治理工艺选型提供理论与实践参考。

**关键词：**工业废气治理；环保设备；工艺路线；挥发性有机物；催化氧化

引言：工业生产过程中产生的各类废气，携带多种有毒有害污染物，排入大气后会加剧雾霾、酸雨等环境问题，长期暴露还会损害生态系统与人体健康。随着我国生态环境保护战略的不断推进，环保标准不断细化严格，工业废气治理已不再是企业的被动合规要求，而是实现绿色转型、提升核心竞争力的主动选择。废气治理成效的关键，在于工艺路线的合理适配，需立足废气本身特征，兼顾达标排放、安全运行与成本控制，通过技术组合与优化，实现废气净化与资源利用的双重目标，推动工业生产与生态环境协同发展。

## 1 常见废气治理技术概述

### 1.1 冷凝技术

冷凝技术依托物质不同温度下的相态转化特性，通过降温处理使气态污染物转化为液态，进而完成分离与回收<sup>[1]</sup>。该技术适配高浓度、低风量的废气处理场景，对于浓度较高的有机废气，可通过梯次降温实现有机物质的回收利用。但单一冷凝技术难以将污染物浓度控制在超低排放水平，通常需要与其他治理技术搭配使用，才能满足现行环保标准要求。吸附技术多用于低浓度气态污染物的净化处理，对于高浓度有机气体，需先通过冷凝等技术降低浓度，再开展吸附净化，确保吸附效果与吸附剂使用寿命。

### 1.2 吸附技术

吸附技术借助吸附剂的多孔结构，通过物理或化学作用吸附废气中的污染物，达到净化目的。活性炭与沸石转轮是工业领域应用最广泛的吸附剂，其中活性炭凭借丰富的微孔结构与较大的比表面积，对多种低浓度气态污染物具有良好的吸附效果，是挥发性有机物治理的主流技术。沸石转轮吸附浓缩技术通过轮体吸附与脱附区域的交替切换，将高风量、低浓度的挥发性有机物废

气转化为低风量、高浓度废气，为后续深度处理提供便利。吸附浓缩与催化燃烧结合形成的复合工艺，可使治理能耗降低40%以上，非水溶性总烃去除率稳定维持在98%，凭借高效节能的优势，在挥发性有机物治理领域得到广泛应用。吸附技术与催化技术的搭配使用，能够互补各自优势，进一步提升废气去除效率，优化治理效果。

### 1.3 吸收技术

吸收技术利用液体吸收剂与废气中特定组分的溶解作用或化学反应，实现污染物的分离与去除。该技术主要适配水溶性或可与吸收剂发生反应的气体处理，例如硫化氢、氨气等。合理筛选吸收剂种类、优化吸收工艺参数，可显著提升污染物去除效率，同时吸收液可通过再生处理实现循环利用，有效降低运行成本。吸收技术的核心短板的是会产生吸收废液，需经过规范处理后排放，避免引发二次污染。当前已有研究通过吸收与光催化耦合技术，进一步提升吸收效率，优化吸收废液处理效果。

### 1.4 催化氧化技术

催化氧化技术在催化剂作用下，使有机污染物在较低温度下发生氧化分解，最终转化为二氧化碳和水，具备净化效率高、反应条件温和的显著优势。铂、钯等贵金属催化剂在250至400°C区间内活性达到最佳，可高效催化多种有机污染物的氧化分解。在煤化工挥发性有机物氧化催化剂研发领域，国家能源集团科环龙源环保取得重大技术突破，研发的催化剂在反应空速30000h<sup>-1</sup>、乙烯浓度1000ppm的条件下，乙烯完全转化温度T90仅为181°C，展现出优异的催化性能，打破进口产品垄断，推动催化剂国产化替代。同时，相关技术领域已成功研发出氮氧化物与挥发性有机物协同高效脱除的绿色环保催化剂，可实现低温条件下烟气污染物的超低排放，丰富

工业废气治理的技术选择<sup>[2]</sup>。

### 1.5 预处理技术

工业废气往往成分复杂,含有多种污染物,预处理环节成为保障后续治理效果的关键。预处理需遵循“先易后难、先物理后化学”的原则,在工艺前端设置专用预处理设备,重点去除废气中的颗粒物、油滴、水分等杂质,避免杂质对后续核心处理设备造成污染与损坏,保障整个治理系统稳定运行。高效的废气收集是预处理的重要前提,没有规范的收集环节,后续治理技术难以发挥应有减排潜力。过滤除尘、除湿、调温、除油等均属于常见预处理手段,需结合废气具体成分与工况条件,进行合理搭配与优化。

## 2 工艺路线选择的核心原则

### 2.1 废气特性导向

废气特性分析是工艺路线选型的基础,需精准把控废气成分、浓度、风量、温度及湿度等关键参数。废气成分差异直接决定治理技术的适配性,例如极性与非极性有机物、含卤素或硫的化合物,需选用具备对应吸附或催化性能的材料与工艺。按照浓度划分,5000ppm以上的高浓度挥发性有机物废气,优先采用冷凝、吸附回收等技术实现资源化利用,再搭配其他治理技术确保达标排放;低浓度废气则更适合通过吸附浓缩、催化氧化等技术开展深度净化,兼顾治理效率与成本控制。

### 2.2 达标可靠性

工艺选型前需全面掌握地方及行业最新排放限值,结合废气实际工况,确保所选组合工艺在最大负荷运行状态下,仍能稳定达到排放要求。通过合理设计治理设备、优化运行参数,提升系统抗冲击负荷能力,规避废气浓度或风量波动引发的排放超标问题。定期开展治理设施性能检测与维护保养,及时排查设备隐患,保障治理系统长期稳定运行,持续满足环保达标要求。

### 2.3 安全风险可控

工业废气中常含有甲烷、氢气等易燃、易爆、有毒有害组分,尤其是煤化工领域废气,安全风险防控是工艺选型与设备设计的核心重点。催化燃烧装置属于高温设备,工作温度普遍在200℃以上,需配套设置超温声光报警装置、防爆阀、阻火阀、泄爆片等安全防护设施,设备周边需合理布置消防设施,确保异常情况下能够及时处置,防范安全事故发生。对于可能产生有毒有害物质的工艺环节,需设置规范的通风与排毒系统,保障操作人员作业安全。安全风险可控是企业正常生产运营的前提条件。一旦发生安全事故,不仅会造成人员伤亡和财产损失,还会对企业的生产经营造成严重影响。因此,在

工业废气治理过程中,必须将安全风险防控放在首位,从工艺选型、设备设计到运行管理,都要充分考虑安全因素,采取有效的安全措施,确保治理系统的安全稳定运行<sup>[3]</sup>。

### 2.4 全生命周期经济性

工艺路线选型需全面考量治理设施的全生命周期经济性,涵盖初期投资、运行能耗、吸附剂或催化剂更换成本、危废处置费用及设备维护难度等多个方面。在满足达标排放与安全运行的基础上,优先选用投资成本低、运行能耗少、维护简便的工艺路线。通过优化工艺组合与设备选型,减少吸附剂、催化剂的消耗量,延长其使用寿命;合理设计吸收液再生系统,推动吸收液循环利用,降低危废产生量与处置成本,实现环保治理与经济效益的协同提升。全生命周期经济性评价有助于企业从长远角度考虑废气治理成本,避免只注重初期投资而忽视后续运行成本的情况。通过综合考虑各个方面的成本因素,企业可以选择最具经济性的工艺路线,在实现环保目标的同时,降低企业的运营成本,提高企业的经济效益和市场竞争力。

## 3 组合工艺路线的比选分析

### 3.1 “冷凝+吸附+催化氧化”路线

该路线主要适配废气中高浓度组分具备回收价值,且需通过深度氧化实现超低排放的场景,尤其适合含有油品、苯系物等有机组分的废气治理。其核心流程为:油气经三级梯次降温冷凝回收,不凝气进入变压吸附系统处理,高浓度脱附气体返回冷凝入口循环处理,进一步提升有机物回收率,较低浓度脱附气体与吸附排气一同进入催化氧化装置,经氧化分解后达标排放。该路线的突出优势在于可通过冷凝回收实现有价值物质资源化利用,产生一定经济效益,部分抵消治理成本,同时借助催化氧化技术确保废气排放浓度达到超低标准,兼顾环保与经济效益。应用过程中需重点关注,废气湿度较大时会影响吸附剂吸附性能,需在吸附环节前增设除湿装置;废气中含硫或含氯组分可能导致催化剂中毒失活,需提前通过预处理去除此类有害物质,保障治理系统稳定运行。

### 3.2 “吸收+吸附+催化氧化”路线

该路线适用于废气中酸性气体或水溶性挥发性有机物占比较高,且不宜直接采用冷凝技术处理的场景,可有效应对成分复杂的工业废气治理需求。其核心流程为:废气先通过碱洗或水洗方式完成吸收处理,去除其中的酸性或亲水性组分,避免此类物质对后续吸附剂和催化剂造成污染,经过吸收处理的废气进入吸附浓缩系统,进一步富集有机污染物,最后进入催化氧化装置完成深

度净化。该路线的核心优势在于吸收环节可有效去除废气中的酸性气体和水溶性杂质,显著延长吸附剂与催化剂的使用寿命,降低运行成本,对成分复杂的废气具有较强适配性,同时吸收液可通过再生处理实现循环利用,进一步优化经济性。应用过程中需注意,吸收环节会产生吸收废液,需经过规范处理避免二次污染;吸收技术对非水溶性有机物的去除效果有限,需搭配其他治理技术,实现废气全面净化。

#### 4 工程实践建议

##### 4.1 精准检测,科学设计

委托具备资质的专业检测机构,对废气进行连续、全面的采样分析,精准掌握废气浓度波动范围、组分变化规律及各项理化参数<sup>[4]</sup>。结合企业生产工艺特点与环保达标要求,基于检测结果科学设计废气治理工艺路线,优化设备选型与参数设置,确保治理方案具备较强的针对性与可行性,避免盲目选型导致的治理效果不佳或成本浪费。

##### 4.2 重视预处理,保障核心设备

无论选用何种工艺路线,过滤除尘、除湿、调温、除油等预处理单元都不可简化,更是保护后续核心处理设备、保障治理系统稳定运行的重要屏障。完善的预处理可有效去除废气中的杂质与有害成分,为核心设备创造良好的运行条件,延长设备使用寿命,降低故障发生率,确保整个治理系统长期稳定发挥净化作用。

##### 4.3 设置安全联锁,强化风险防控

在催化氧化炉前端配置可燃气体浓度在线监测与稀释或切断阀装置,实时监控废气中可燃气体浓度,浓度超出安全限值时自动启动稀释或切断措施,防范爆炸事故发生。在吸附床层安装多点温度监控及氮气保护系统,密切跟踪吸附剂床层温度变化,温度出现异常升高时,及时通入氮气进行保护,防止吸附剂过热自燃,全方位保障设备运行安全。

##### 4.4 关注催化剂性能,适应复杂工况

煤化工行业废气成分复杂,含有多种易导致催化剂中毒失活的物质,催化剂性能直接影响治理效果与运行成本。选型过程中优先选用抗中毒能力较强的催化剂,确保其在复杂工况下仍能保持良好的活性与稳定性,延长使用寿命,降低催化剂更换频率与成本,提升治理系统

的经济性与稳定性。

##### 4.5 借鉴成熟经验,优化治理方案

密切关注行业内先进企业的废气治理技术应用与实践经验,重点学习工艺路线选择、设备选型、运行管理等方面的成熟做法。结合企业自身生产实际与废气特征,对治理方案进行优化完善,规避行业内已出现的选型误区与运行问题,提升治理效率与效果,降低治理成本与风险。

##### 4.6 预留弹性空间,应对未来变化

风机、换热器等关键设备选型时,预留20%至30%的余量,充分考虑企业未来生产工艺调整、产量变化等因素可能导致的废气量或污染物浓度波动<sup>[5]</sup>。预留设备余量可确保治理系统在工况发生变化时,仍能稳定运行,避免因设备能力不足而开展大规模改造,降低企业长期运行成本,提升治理系统的灵活性与适配性。

#### 结束语

工业废气治理是一项系统工程,工艺路线选择需综合考虑多方面因素。通过对常见废气治理技术的深入剖析,明确各技术适用范围和优缺点;遵循废气特性导向、达标可靠性、安全风险可控、全生命周期经济性等核心原则,科学合理选择工艺路线;对不同组合工艺路线进行详细比选分析,结合企业实际情况做出最优决策;并在工程实践中注重检测设计、预处理、安全防控、催化剂选择、经验借鉴和设备余量预留等关键环节,可有效提高工业废气治理水平,实现企业经济效益与环境效益的双赢,为推动工业绿色可持续发展做出积极贡献。

#### 参考文献

- [1]黄晓萍.环保工程中活性炭吸附工艺在工业有机废气治理中的应用研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(16):131-133.
- [2]石翠霞.绿色低碳技术在工业废气治理中的应用研究[J].皮革制作与环保科技,2026,7(1):25-27.
- [3]段洋洲.环保工程中废气治理与减排技术分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(6):34-35,59.
- [4]尹德华,李芳.环保工程中的废气治理与减排技术措施分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(5):90-91,97.
- [5]吴永琼.浅谈工业废气治理效率的主要影响因素及提升建议[J].皮革制作与环保科技,2025,6(23):132-134.