

化工工程中尾气处理技术的创新与应用

黄海炎

广西 防城港 538000

DOI:10.61369/ME.2026040016

摘 要： 化工项目的尾气处理技术，对化工行业的可持续发展意义重大。传统的煤焦油加工工艺存在一定局限，有必要开展技术改革工作，可从技术路线变革、系统整合优化、粗苯精制技术提高等多个方面着手。要关注运行的平稳性、开展经济方面的评估、实施适用性分类，同时出台配套政策，以此实现化工行业的绿色、高效发展。

关 键 词： 尾气处理技术；工艺改造；可持续发展

Innovation and Application of Exhaust Gas Treatment Technology in Chemical Engineering

Huang Haiyan

Fangchenggang, Guangxi 538000

Abstract： The tail gas treatment technology for chemical projects holds significant importance for the sustainable development of the chemical industry. The traditional coal tar processing technology has certain limitations. It is necessary to carry out technological reform work, which can be approached from multiple aspects such as technological route transformation, system integration optimization, and improvement of crude benzene refining technology. Attention should be paid to the stability of operation, economic assessment should be conducted, applicability classification should be implemented, and corresponding policies should be formulated to achieve green and efficient development of the chemical industry.

Keywords： exhaust gas treatment technology; process transformation; sustainable development

引言

《关于推动化工行业绿色发展的一些意见》（2023年发布）重点强调化工行业绿色转型的主要意义。化工工程尾气处理技术在技术路径改革、系统集成优化、粗苯精制技术提高等多个方面的创新与应用，对推动化工行业可持续发展意义明显。通过研发新型催化剂、对反应装置进行优化来提高尾气处理效果，实现能量的阶梯式利用；建立能源回收集成方案，研发新型萃取剂并优化精馏塔以精准分离杂质；研究微波改性流程，同时针对焦油加工末端的装车步骤研发专用的尾气密封回收装置等措施，结合示范项目的参数对比、运行稳定性分析、经济性评估等，能够更高效地促使化工行业朝着绿色、高效的方向迈进。传统煤焦油加工工艺在产品收获比例和尾气产生控制方面存在不足，需要开展技术改革。

一、煤焦油深加工工艺技术改造

（一）传统煤焦油加工工艺现状

常规的煤焦油加工工艺主要是通过蒸馏、萃取等工序来处理煤焦油。在蒸馏操作里，根据沸点不同，从煤焦油中分离出轻油、脱酚酚油、萘油、洗油、蒽油等馏分。但是该工艺存在多个局限性。在主要工艺参数领域，要是蒸馏的温度和压力控制不佳，将会对产品的收率产生重大影响。例如当温度过高或者过低时，部分馏分不易精准分离，导致产品纯度降低、收率下降。这种不够精确的参数调节会使尾气产生量增加。在萃取过程中，萃取剂的选择和用量若不合理，不仅会对目标成分的提取效果造成

影响，还会产生额外的尾气。综上所述传统工艺在把控产品收率和尾气生成方面存在欠缺，急需开展技术改革以提高整体效能^[1]。

（二）技术改造路径创新

在化工工程的废气处理技术领域，煤焦油深加工工艺技术的改革在技术路线的创新方面具有重要意义。在催化剂改进领域，研制拥有更高活性与选择性的新型催化剂，从而提高尾气中有害物质的转化效率，减少有害成分的排放^[2]。对于反应器的改造事宜，通过改变反应器的内部结构，比如对气体分布器的设计加以优化，使尾气能够与催化剂充分接触，推进反应进程，进一步提高尾气处理的效果。能量分级式利用是在尾气处理过程中，充分

回收利用尾气里的热能。例如采用高效的热交换设备，将尾气的热量传递给需要预热的物料或者其他工艺环节，实现能量的合理分配与高效利用，在降低能耗的同时，提高整体生产效率，实现尾气处理技术的改革与优化。

二、尾气处理系统集成优化

（一）多污染物协同处理技术

在化工工程的尾气处理系统集成优化工作中，多污染物协同处理技术发挥着主要作用。通过将催化氧化脱硫、低温 SCR 脱硝和活性炭吸附技术开展工艺联合运用，可实现对多种污染物的高效去除目的。催化氧化脱硫能够将尾气中的含硫化物转化成易于处理的形态，为后续处理奠定基础^[3]。低温 SCR 脱硝通过特定催化剂，在相对较低的温度环境中，将氮氧化物还原为无害的氮气和水，降低对反应条件的要求。活性炭凭借其丰富多样的孔隙结构和较大的比表面积，对尾气中的残余污染物予以吸附，进一步进一步提高净化效果。此工艺采用联合运作机制，全面发挥各项技术的优势，弥补单一技术在去除多种污染物时的不足，通过协同作用，实现化工尾气多污染物的高效、协同治理，提高尾气处理的整体效率与质量，减少对环境的污染。

（二）过程能量回收系统设计

建立余热锅炉与 ORC 发电机组协同的能源回收综合方案，为尾气处理系统集成优化的主要。尾气中含有大量可回收的热能，余热锅炉可将尾气携带的高温热能转化为蒸汽，实现初步的能量回收。ORC 发电设备以余热锅炉产生的蒸汽作为热源，通过有机朗肯循环将热能转化为电能。有机工质的选取对于 ORC 系统性能十分主要，需根据余热的温度、流量等参数开展优化抉择，进一步提高能量回收的效能。通过科学规划余热锅炉与 ORC 发电机组的连接方式、参数匹配，使二者协同工作，最大限度实现尾气余热的回收利用。此集成方案不仅减少尾气排放对环境造成的热污染，还能为化工项目提供额外电能，降低整体能耗，符合可持续发展理念^[4]。

三、焦化产品提纯工艺中的尾气减排技术

（一）粗苯精制过程中的尾气控制

1. 萃取-精馏联合工艺的尾气减排作用

在粗苯精制工艺中，采用通过离子液体的新型萃取剂，其具有低蒸汽压、高稳定性和可设计性的特点，能够明显降低萃取过程中苯系物等挥发性有机物的逸出，从源头上减少尾气的产生。结合精馏塔的优化手段，如采用高效塔板加强传质、调整回流比提高分离精度，可进一步稳定操作状态，避免因工艺波动导致的非正常排放。该联合工艺在提高苯产品纯度之际，能够确实管控有机废气的产生，实现精制过程的绿色化目的。离子液体能够循

环运用，减轻废弃溶剂处理的负担，间接减少二次污染的风险，为化工尾气减排提供技术支撑^[5]。

2. 杂质分离过程中的尾气治理

粗苯中所含的硫化物和饱和烃等杂质，若不能有效分离，在后续储存或加工过程中会转化为 SO₂、挥发性有机物等尾气成分。通过建立硫化物与饱和烃的选择性分离数学模型，精准模拟不同温度、压力以及分离剂情形下的分离效果，可对工艺参数进行优化，实现杂质的高效去除。高效的分离作业不仅提高粗苯的质量，还从源头上降低含硫、含氧尾气的产生量，减轻末端治理的负担。在这一模型的引导下，工艺调节具备较高的适应性，可根据不同原料的特点实现精准的尾气防控，帮助粗苯精制朝着清洁生产的方向转变^[6]。

（二）沥青质改性中的尾气控制

1. 微波改性工艺对尾气减排的贡献

在常规的沥青质热改性过程里，通常会排出大量的挥发性有机物以及有害气体。微波改性工艺通过调控微波场的强度，促使沥青质分子开展定向重新排列，在相对低的温度状况下实现黏度的调控以及稳定性的提高，明显减少因高温加热而引发的热解尾气。该工艺能耗低、反应速度快，避免传统工艺中长时间高温操作导致的废气排放难题。在微波处理阶段，物料受热相对均匀，不易出现局部过热和降解现象，进一步抑制有害气体的产生，为沥青质的绿色改性以及尾气协同减排提供新的途径^[7]。

2. 改性沥青性能提升对尾气治理的间接支持

建立针入度、软化点、延度的全流程质量管控机制，可确保改性沥青产品性能稳定，避免因质量未达标导致的返工与重复加工现象，进一步间接减少生产阶段的能源消耗和尾气排放。性能稳定的改性沥青在施工阶段摊铺效率高、压实效果优，降低现场二次加热产生的烟气。全流程质量把控从工艺改革和产品应用两方面一同降低尾气产生，强化化工生产与环境保护的有效结合，为行业推进尾气减排提供体系化解决方案^[8]。

（三）装车过程的尾气源头密封回收技术

焦油加工的产出物（例如液态沥青之类）在开展装车作业时，罐车内部原本就有的气体以及高温液体挥发形成的黄色沥青烟会直接弥散到大气里，造成比较严重的无组织排放状况。针对此阶段，提出一种用于焦油加工的尾气处理方式及设备，通过设计一种内外套管对接结构，实现装车过程中的尾气源头密封与集中回收。

该装置的主要在于出料管口安装的对接结构，包含相互套接的内接管和外接管，二者之间形成排气腔室。在工作流程中，外接管和罐车接口实现密封衔接，内接管用于输出液态沥青；罐内原有的气体以及液体沥青挥发形成的气体，会通过排气腔室集中排出，然后输送至室外环境或者回收系统。该技术方案具有如下创新点：从根源把控，在装车作业过程中同时完成尾气收集，避免无组织扩散现象；结构紧凑输料与排气同步进行，不会增加额

外的操作步骤；对环境较为友好，可有效收集黄色沥青烟气，明显减少 VOCs 排放以及对操作人员健康产生的危害。

该专利技术为焦油加工最后阶段的尾气治理提供确实可行的工程办法，与前文所述的粗苯精制、沥青改性等工艺技术相互配合，共同建立起包括焦油加工全流程的尾气减排技术体系。

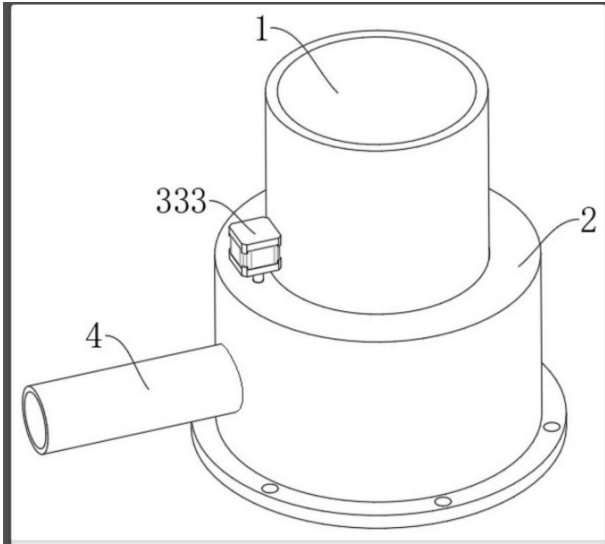


图 3.1 焦油加工用尾气处理方法及装置

四、工程实践与效益分析

（一）示范工程参数对比

1. 工艺改造前后数据

在示范项目参数的对比当中，工艺改进前后的数据变化明显。以尾气处理工艺改革为例，改革前焦油回收占比处于较低水平，尾气排放数量较多，对生态环境以及资源利用均产生不利影响。通过技术改革与应用，焦油获取率提高 12.5%，这不仅提高资源的使用效率，增加产品的附加价值，还产生直接的经济收益^[9]。尾气排放减少 47%，明显降低对周边环境的污染，确实提高企业的环境效益。这些数据充分体现出化工工程尾气处理技术改革的主要意义与正面效果，为化工行业的可持续发展提供稳固支撑。

2. 运行稳定性分析

在化工工程的尾气处理技术实际工程操作中，运行的稳定性十分主要。通过对 5000 小时连续运行数据进行分析，能够有效验证尾气处理系统的可靠性^[10]。从示范项目的视角来看，各类尾气处理工艺在实际运行稳定性上存在差异。先进的创新技术展现出更高的稳定性，在长时间运行过程里，主要参数波动较小，能够始终维持在较为理想的处理性能区间，保证尾气稳定达标排放。一些传统技术经过长时间运行后，容易出现部件磨损、堵塞等情形，导致处理效率下降，运行稳定性受到影响。这种稳定性上的差别直接关系到化工生产能否实现持续且高效的运转。稳定运行的尾气处理系统不仅能确保生产不受尾气排放问题干扰，还能够降低因设备故障产生的维护成本，从长远角度而言，对化工项目的整体效益提高具有重要意义。

（二）经济性评估模型

1. 投资回收期计算

在化工工程尾气处理技术的经济性评估中，投资回收期计算是主要环节。建立的综合经济模型包括设备折旧和产品增值情况，在此基础上核算投资回收的周期。设备折旧要考虑尾气处理设备在运行阶段的损耗情形，按照特定的折旧方法来分摊费用。产品的价值提高是指通过对尾气开展有效处置，让产品质量得到提高进一步带来的价值增加。计算投资回收期限时，需明确初始投资成本，包括设备购买、安装调试等方面的支出。估算尾气处理带来的年度收益，像节约的环保罚款、产品附加价值的提高等。用初始投入的成本除以年度的收益，计算出投资回收的时长。该周期能够明确体现尾气处理技术投资回收的速率状况，帮助化工企业合理决策，筛选具有最优经济效益的尾气处理技术。

2. 环境成本内部化分析

在化工工程尾气处理技术的经济评估模型中，环境成本内部化分析十分主要。在传统模式当中，化工生产的环境成本常常被进行外部化处理，没有完全体现在企业成本核算体系之中。但是随着环保标准的提高，需将尾气处理相关的环境成本予以内部化。这显示要把尾气排放给生态环境造成的诸如空气质量恶化、土壤遭污染、人体健康受侵害等潜在风险，以货币形式纳入企业生产成本。例如预估尾气中有害气体排放导致周边居民医疗费用增加的影响，又或是对生态修复所需花费的估算等。通过此种方式，使企业真切认识到尾气处理的主要意义，从经济方面激励企业采用更先进的尾气处理技术，进一步在实现碳减排目标的同时，兼顾经济与环境效益。

（三）行业推广路径研究

1. 技术适用性分级

对化工项目尾气处理技术进行适用性分级时，要综合考虑企业规模与原料特性。对于大型化工企业来讲，因为其生产规模较大、尾气排放量大且成分复杂，适合采用技术相对复杂但处理效率高、处理能力强的尾气处理技术，比如深度催化氧化技术，能够有效处理成分繁杂的尾气，确保达标排放。对于小型化工企业来说，因为资金和场地方面存在限制，要选择简便、成本不高且占地面积不大的技术，像吸附浓缩技术。从原料特性方面而言，若原料包含高浓度有机污染物，应优先采用燃烧法这类可高效分解有机物的技术；若尾气中含有大量无机污染物，则选择有针对性的化学吸收法等。通过企业规模以及原料特性建立技术适配矩阵的途径，实现尾气处理技术在化工行业的合理分级与精准应用，为行业推广夯实基础。

2. 产业政策建议

为推动化工工程尾气处理技术的广泛运用，可以制定技术改革专项补贴以及环保税减免的配套政策机制。设立技术改造专项补贴，针对积极采用创新尾气处理技术的化工企业，根据技术投入成本和实际减排情况，提供一定比例的资金补贴，缓解企业技术升级的资金压力，加强其应用新技术的积极性。实施环保税减免办法，对于尾气排放明显低于国家规定标准的企业，按照减排比例减免环保税，采用经济手段激励企业改良尾气处理技术。凭借这两项政策协同发力，既能缓解企业应用新技术的负担，又可

通过税收杠杆鼓励企业主动提高尾气处理水平，进一步促进化工行业尾气处理技术的整体发展与普遍应用。

五、总结

化工工程尾气处理技术的改革与应用，对推动化工行业的可持续发展具有重要意义。工艺、环保、产品相融合的技术创新措施，对化工生产各环节予以整合，既优化工艺来提高产品质量，

又加强环保效能，减少尾气排放污染。采用智能化控制手段，可实现尾气处理流程的即时监测与精准调控，加强处理效率与稳定性，降低人力成本与操作失误。碳捕集技术的发展，为应对全球气候变化、实现碳减排目标提供有效途径，帮助化工行业向着低碳发展模式前行。在未来时期，要更全面地推进对这些创新技术的研究和推广事宜，完善技术标准并加强政策扶持强度，加大跨学科协作以及人才培育的力度，促进化工工程尾气处理技术不断进步，实现化工行业绿色且高效的发展目的。

参考文献

[1] 梁浪. SCL 绿化工程公司商业模式评估与创新研究 [D]. 兰州大学, 2021.

[2] 刘嘉宇. 数字技术应用、动态能力与商业模式创新 [D]. 内蒙古大学, 2023.

[3] 闫科嘉. 含光尾气分类综合处理技术研究 [D]. 青岛科技大学, 2023.

[4] 张学伟. 生态浮床技术在化工园区污水厂尾水处理中的应用 [D]. 淮阴工学院, 2021.

[5] 彭振. 矿用防爆柴油机尾气后处理技术研究 [D]. 中国矿业大学 (江苏), 2021.

[6] 徐文胜. 化工生产中尾气处理技术分析 [J]. 山西化工, 2022, 42(7): 50-51.

[7] 杨彦红. 化工生产过程中的尾气处理技术研究分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(9): 16-18

[8] 林敏, 陈辰. 医药化工原料药生产尾气处理设计技术的应用研究 [J]. 山东化工, 2023, 52(4): 229-231.

[9] 宋丽静. 硫回收装置尾气处理技术在煤化工装置中的改进与应用 [J]. 山西化工, 2023, 43(8): 107-108.

[10] 缪传耀. 化学原料药行业尾气处理技术分析 [J]. 化工管理, 2022, (11): 52-54