

# 橡胶轮胎生产制造过程的烟气治理技术应用

张 振

双钱集团(新疆)昆仑轮胎有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

**摘 要:** 橡胶轮胎生产制造各工序产生复杂烟气,含挥发性有机化合物、颗粒物、恶臭物质及致癌物等,具有排放量大、污染物浓度波动大、危害性突出等特点。本文介绍了物理、化学、生物及组合治理技术,并从技术、设备与管理、多技术协同与成本等方面提出优化策略,为橡胶轮胎生产烟气治理提供参考。

**关键词:** 橡胶轮胎生产;烟气特性;烟气治理技术;优化策略;多技术协同

引言:橡胶轮胎作为重要工业产品,其生产制造涉及多道工序。然而,生产过程中各环节会产生大量烟气,成分复杂且危害性大,对环境和人体健康构成威胁。随着环保要求的提高,烟气治理成为橡胶轮胎行业亟待解决的问题。深入研究并应用有效的烟气治理技术,对实现行业可持续发展具有重要意义。

## 1 橡胶轮胎生产制造过程烟气特性分析

### 1.1 烟气来源与成分

橡胶轮胎生产流程涵盖多道工序,各环节均为烟气产生源头。炼胶工序作为首要污染节点,生胶塑炼、混炼过程中,橡胶分子链断裂及配合剂分散引发复杂物理化学反应。天然橡胶与合成橡胶受热释放小分子有机化合物,炭黑、白炭黑等粉状填料在搅拌、输送时产生颗粒物逸散,促进有机废气与粉尘混合排放。纤维织物浸胶烘干环节,浸胶液含有的有机溶剂(如苯系物、酚醛树脂溶剂)在高温下快速挥发,形成以挥发性有机化合物(VOCs)为主的废气,且织物表面残留的胶粘剂受热分解,产生醛类、酮类等刺激性物质。硫化工序对烟气成分影响显著。橡胶硫化过程中,硫磺与橡胶分子发生交联反应,未反应的硫磺受热升华形成含硫化合物烟气;促进剂(如噻唑类、秋兰姆类)分解产生胺类、硫醇等恶臭物质;橡胶助剂中的重金属配合物在高温下释放微量重金属蒸汽。轮胎成型工序中,胶粘剂与密封胶使用产生有机废气,胎体帘线与橡胶贴合时的局部加热,导致残留溶剂挥发。烟气成分复杂多样,挥发性有机化合物占据主导地位。其中,苯、甲苯、二甲苯等苯系物,以及丙酮、丁酮等酮类物质,具有高挥发性与毒性。颗粒物涵盖炭黑、无机填料、橡胶碎屑等,粒径分布广泛,细微颗粒易随气流扩散。恶臭物质包括硫化氢、甲硫醇、甲硫醚等含硫化合物,以及胺类、醛类物质,极低浓度即可引发嗅觉不适。部分烟气还含有多环芳烃、酚类等致癌物质,加剧环境与健康风险。

### 1.2 烟气特点

橡胶轮胎生产烟气排放呈现显著的“量大面广”特征。生产线持续运转,多工序同步产污,导致单位时间内烟气体积庞大<sup>[1]</sup>。污染物浓度波动剧烈,受生产负荷、设备运行状态、原材料批次差异影响,不同时段废气中VOCs浓度、颗粒物含量变化幅度大。如炼胶机启停阶段,物料混合不均引发瞬时污染物浓度激增;硫化机开模瞬间,高温烟气短时间大量排放。烟气危害性突出体现在毒性与刺激性双重层面。苯系物可损害人体造血系统,长期暴露增加白血病风险;含硫恶臭物质刺激呼吸道黏膜,引发咳嗽、头晕等症状;部分有机化合物光化学反应活性强,在大气中与氮氧化物结合形成臭氧、二次有机气溶胶,加剧区域复合型污染。细微颗粒物吸附重金属与有机污染物,通过呼吸进入人体肺部甚至血液循环系统,造成不可逆损伤。高温烟气携带的酸性气体(如二氧化硫、氮氧化物),排放后参与酸雨形成,腐蚀建筑设施、破坏土壤与水体生态平衡。

## 2 橡胶轮胎生产制造过程烟气治理技术

### 2.1 物理治理技术

#### 2.1.1 吸附技术

活性炭吸附技术依托材料独特的多孔结构实现污染物截留。活性炭内部密布微米级至纳米级孔隙,比表面积巨大,通过范德华力将烟气中的挥发性有机物、恶臭物质吸附于孔隙表面。吸附过程中,小分子有机物优先填充微孔,大分子物质则附着于中孔和大孔区域。该技术操作流程简便,仅需将烟气引入装有活性炭的吸附装置,即可实现污染物初步净化。初期投资成本较低,适用于中小型企业烟气预处理。但活性炭吸附存在明显局限。其吸附容量受污染物浓度、温度、湿度影响显著,高温高湿环境下吸附效率下降。且活性炭吸附饱和后需及时更换,频繁更换不仅增加运行成本,废弃活性炭若处理不当还会造成二次污染。活性炭对部分高沸点有机

物吸附效果欠佳,难以满足深度净化需求。

### 2.1.2 过滤技术

袋式除尘器通过滤袋拦截烟气中的颗粒物。含尘烟气进入除尘器后,在气流作用下冲击滤袋表面,粒径较大的颗粒物因惯性碰撞直接被拦截;细微颗粒则通过扩散、筛分等作用被滤袋纤维捕获。滤袋材质决定过滤效率,常用的聚酯、聚四氟乙烯等材料,可有效截留0.1微米以上的颗粒物。在橡胶轮胎生产中,袋式除尘器适用于炼胶、成型工序的粉尘治理。当烟气温度低于滤袋耐受范围、颗粒物浓度适中时,该设备可稳定运行,除尘效率较高。但面对高湿度烟气,滤袋易发生糊袋现象,导致阻力增大、处理效率降低;且长期运行后滤袋磨损严重,需定期更换,增加维护成本。

## 2.2 化学治理技术

### 2.2.1 吸收技术

吸收技术利用液体吸收剂与烟气污染物发生物理溶解或化学反应实现分离。物理吸收依赖相似相溶原理,如采用有机溶剂吸收烟气中的苯系物;化学吸收则通过酸碱中和、络合反应等,将酸性气体(如二氧化硫)或有机物转化为易溶于水的产物<sup>[2]</sup>。吸收过程在吸收塔内完成,烟气与吸收液逆流接触,延长传质时间,提高吸收效率。在橡胶轮胎烟气治理中,碱液吸收常用于处理硫化工序产生的酸性气体,通过中和反应将二氧化硫转化为亚硫酸盐。对于水溶性有机物,可采用水或特殊有机溶剂吸收。但吸收剂消耗量大,吸收后产生的废液需进一步处理,否则易造成二次污染。

### 2.2.2 催化燃烧技术

催化燃烧技术借助催化剂降低有机物燃烧活化能,使挥发性有机化合物在200-450℃的低温条件下氧化分解为二氧化碳和水。催化剂多采用贵金属(铂、钯)或过渡金属氧化物,通过表面活性位点吸附有机物分子,促进其与氧气发生反应。该技术适用于处理高浓度有机废气,分解效率高,燃烧产物清洁,且反应温度低,能耗显著低于直接燃烧法。但催化燃烧对废气成分要求严格,烟气中的颗粒物、重金属等易使催化剂中毒失活,需配套预处理装置。催化剂成本较高,使用寿命有限,更换维护费用增加运行成本。

## 2.3 生物治理技术

### 2.3.1 生物过滤技术

生物过滤技术利用附着在滤料(如木屑、泥炭、活性炭)表面的微生物降解有机物。烟气通过滤床时,污染物被吸附在湿润的滤料表面,微生物以其为碳源和能源进行代谢活动,将有机物转化为二氧化碳、水和微生

物自身细胞物质。该技术运行能耗低,无需添加化学药剂,适用于处理低浓度、易生物降解的有机废气。在橡胶轮胎行业,生物过滤可有效去除部分恶臭物质和小分子有机物。但微生物对环境条件敏感,温度、湿度、pH值波动会影响代谢活性;滤料使用一段时间后易堵塞,需定期更换,限制其大规模应用。

### 2.3.2 生物滴滤技术

生物滴滤技术通过在滤料(如陶瓷、塑料填料)表面喷淋含有微生物的营养液,维持微生物活性。烟气与营养液逆向接触,污染物被吸收并在微生物作用下降解。该技术可通过调节营养成分和喷淋量,优化微生物生长环境,处理负荷高于生物过滤。生物滴滤适用于处理成分复杂的橡胶轮胎烟气,对部分难降解有机物也有一定处理效果。其设备紧凑,操作灵活,但需定期补充营养液,处理过程产生的废液需妥善处置,以防止二次污染。

## 2.4 组合治理技术

单一烟气治理技术在实际应用中往往存在局限,难以满足橡胶轮胎生产过程中复杂废气的净化需求。组合治理技术通过整合不同方法的优势,实现协同作用,提升整体处理效率,成为当前治理工艺的重要发展方向。物理与化学技术结合常用于预处理与深度净化阶段。例如,先采用活性炭吸附去除大部分挥发性有机物,降低后续催化燃烧装置的负荷,延长催化剂使用寿命;再通过低温催化氧化将浓缩废气彻底分解为无害物质,减少二次污染风险。此类组合方式适用于高浓度、难降解有机废气的处理,具有较高的净化效率和运行稳定性。化学与生物技术联用则更适用于成分复杂但浓度较低的烟气治理。例如,利用碱液吸收去除酸性气体及部分可溶性有机物后,再通过生物过滤或滴滤系统进一步降解残留污染物。该方式可在不增加能耗的前提下,提高对恶臭物质和低浓度有机物的去除率,同时减少化学药剂使用量,降低运行成本<sup>[3]</sup>。针对含尘有机废气,物理与生物技术的结合更具优势。袋式除尘可有效去除颗粒物,避免其堵塞生物填料层,随后采用生物滴滤技术处理剩余有机污染物,保障系统长期稳定运行。这种组合方式操作简便,适用于多种工况,尤其适合处理波动性较强的工业废气。

## 3 烟气治理技术的应用优化策略

### 3.1 技术优化

在烟气治理过程中,物理治理技术发挥着基础性作用。吸附材料作为关键组成部分,其性能直接影响治理效果。通过调整孔隙结构和表面化学特性,可提升吸

附剂对特定污染物的选择性和吸附容量,从而减少使用量,提高处理效率。例如,对活性炭进行改性处理,引入功能性基团,有助于增强对重金属或挥发性有机物的捕集能力。过滤设备方面,优化滤袋材质与结构设计同样重要。采用耐高温、抗腐蚀且过滤效率高的新型材料,可延长使用寿命,降低更换频率。改进滤袋编织方式或加设预过滤层,能有效减缓颗粒物对主过滤单元的冲击,提升整体运行稳定性。化学治理技术的核心在于反应条件的精准控制与催化剂性能的提升。通过调节温度、压力及反应物浓度等参数,可在保障净化效果的前提下降低能耗。高性能催化剂的研发是提高反应效率的关键。通过对催化剂成分进行优化,如引入助剂或采用纳米材料,可显著提升其活性和抗毒性,增强对复杂污染物的适应能力。生物治理技术则侧重于提升微生物的降解能力。优选高效菌种并结合现代生物技术手段对其进行改良,有助于增强其对特定污染物的适应性和代谢速率。合理调配营养液成分,确保氮、磷及微量元素的均衡供给,有利于维持微生物群落活性。调控环境条件如温度、湿度与酸碱度,也有助于提升其降解效率,促进污染物的有效去除。

### 3.2 设备与管理优化

烟气收集系统的有效性直接关系到后续治理工艺的成功与否。设计合理的集气系统,需充分考虑生产工艺特点和废气排放规律,确保所有污染源点均能被有效覆盖。例如,在高温高尘环境下,采用密闭式集气罩或局部通风设施,可以最大限度地减少无组织排放。运行管理过程中,定期检查集气系统的密封性和风量分配情况,及时发现并解决漏风问题,保证烟气顺利进入治理设备。烟气治理设备的维护和管理同样不可忽视。建立详细的设备档案,记录每次检修内容及更换部件信息,便于追踪设备状态变化趋势<sup>[4]</sup>。根据设备制造商提供的维护手册,制定科学合理的保养计划,包括日常巡检、月度小修以及年度大修等不同层次的工作安排。对于易损件如滤料、阀门等,应提前储备备品备件,避免因临时采购导致停机时间延长。构建完善的监测体系是实现精准治理的前提。利用先进的传感器技术和自动化控制系统,实时采集烟气治理设备的关键

运行参数,如温度、压力、流量等,以及烟气排放指标中的二氧化硫、氮氧化物、颗粒物浓度等。基于这些数据,可以动态调整治理工艺参数,确保始终处于最佳工作状态。当检测到异常波动时,立即启动应急预案,防止超标排放事件发生。

### 3.3 多技术协同与成本优化

多技术协同应用是提升烟气治理综合效能的有效途径。将物理、化学和生物治理技术有机结合,充分发挥各自优势,形成互补效应。例如,在处理复杂组分的工业废气时,先利用物理吸附去除大分子有机物,再通过化学吸收进一步净化酸性气体,最后借助生物滤池降解剩余微量污染物。这种多层次的治理模式不仅能提高整体净化效率,还能显著降低单一技术面临的挑战。成本优化贯穿于整个烟气治理项目的生命周期。从项目规划阶段开始,就需要进行全面的成本效益分析,评估不同技术方案的经济可行性。优先选用性价比高的材料和技术,尽量减少一次性投资成本。在运行期间,注重节能减排措施的实施,如余热回收利用、废水循环使用等,以降低能耗和水资源消耗。通过优化工艺流程,简化操作步骤,减少不必要的设备投入,也能有效控制运营成本。

### 结束语

橡胶轮胎生产制造过程的烟气治理是一项复杂而重要的任务。通过综合运用物理、化学、生物及组合治理技术,并结合技术优化、设备与管理优化以及多技术协同与成本优化策略,可有效降低烟气污染,实现行业的绿色转型。未来,随着技术的不断进步和创新,橡胶轮胎行业的烟气治理将更加高效、经济、环保。

### 参考文献

- [1]刘彬聪.橡胶轮胎行业废气治理技术的应用研究[J].橡塑技术与装备,2024,50(5):15-17.
- [2]马也.沸石转轮技术与热氧化技术在橡胶轮胎行业废气治理中的应用研究[J].节能与环保,2025(2):72-78.
- [3]朱忠顺.橡胶轮胎行业废气治理技术的应用[J].区域治理,2023(3):168-171.
- [4]冯雅,柴方刚,刘小荷,刘培华.橡胶行业标准废气治理技术方案[J].橡塑技术与装备(橡胶),2021(3):24-27.