

煤化工中除雾器的应用与效率提升分析

厉 鹏

上海安赐环保科技有限公司 上海 200120

摘 要：研究围绕煤气净化环节中除雾器的结构性能与运行机制展开，解析其多层级结构与杂质捕集排液过程，识别捕集效率与排液能力的关键影响因素，提出适配性优化路径。结合江苏某焦化厂的改造工程，构建以除雾器为核心的高效净化单元，验证其在含雾控制、压降稳定与运行维护中的性能表现。结果显示新系统可显著降低出口杂质浓度，延长后续设备维护周期，提高焦油去除效率，为煤气净化工段的连续稳定运行提供有效技术路径。

关键词：除雾器；煤气净化；除雾效率；结构优化；排液稳定性

1 引言

煤气在净化过程中常伴随大量冷凝液体与油类杂质形成细雾颗粒，若未有效分离，将造成后续换热器、管道与脱硫塔结垢堵塞，严重时引发设备腐蚀与系统效率下降。传统旋流、折流类除雾装置在处理高含油、高湿工况时存在效率不稳定、维护频繁等问题。除雾器因其良好的微雾捕集能力与结构灵活性，逐步应用于焦化净化系统中，具备分离精度高、气液分布均匀、结构可调等优势。当前行业对除雾器的结构优化、运行适配性与工程应用效果尚缺乏系统性分析，需结合典型焦化场景开展实证研究。

2 除雾器的结构机制与性能影响分析

2.1 结构特性与工作机理

除雾器整体由预处理层、主捕集层和排液增强层组成，对应扰流预滤、核心捕集与液体排出功能。预处理层设于进口段，采用粗直径低密度纤维网结构，如聚酯或粗玻纤，作用为削弱高速气流、初步拦截大杂质并保护主层。主捕集层是性能核心，常用中密度细纤维材料如E型玻纤或聚丙烯，纤维空隙控制在微米级，能高效捕集 $0.15\mu\text{m}$ 杂质，依赖惯性碰撞、布朗扩散及截留机制^[1]。排液增强层采用改性疏水纤维，具高孔隙与低表面能，能快速脱附聚并液滴并引导排出，降低再雾化风险。

杂质在捕集过程中发生聚并形成液膜或液珠，亲水材料利于液膜扩展但不利于排液，疏水性结构可加速液滴滑移。为防堵气流通，排液区配置导液槽或层间排液孔，有效防止液桥阻塞。在气流波动工况下，入口段配设整流装置以维持均匀风速，避免局部穿透。主捕集层厚度宜控制在100~150mm，压降维持500~800Pa，确保效率与能耗平衡。长周期运行需定期反吹蒸汽或低压水洗维持结构透气性，支撑煤气等复杂气体条件下的高效除雾应用。

2.2 除雾效率的影响因素

除雾效率由纤维结构、气流状态、液滴粒径与运行参数共同决定。细径纤维因比表面积大，提升扩散与惯性拦截概率，但直径过细易升高压降，床层厚度100~150mm可兼顾截留与排液效率，过厚会造成液体积滞，过薄则可能穿透失效。纤维排列决定气流扰动强度与液滴驻留时间，交错布置优于平铺结构，有助于涡流形成并提高捕集率。气流速度过高虽然增加杂质惯性，但停留时间不足，过低则缺乏扰动驱动力。液滴粒径不同导致捕集机制各异：大滴依赖惯性，中小滴以扩散为主，极细颗粒需通过高结构复杂度及多机制协同方能高效拦截，系统运行中应保持合理压降区间，设定有效排液路径并周期清洗，避免纤维饱和与效率衰减^[2]。各变量间非线性交互明显，需借助实验或仿真手段对参数进行建模优化，确保在多变工况下维持高效率与系统稳定并重的运行目标。纤维床除雾效率影响机制如图1所示：

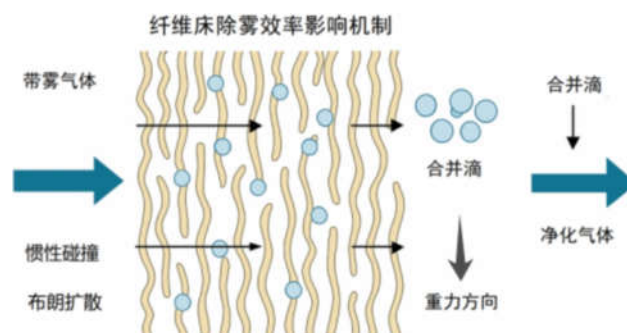


图1 纤维床除雾效率影响机制示意图

3 除雾效率的优化路径与设计

3.1 参数与捕集效率

除雾器对亚微米级杂质的捕集效率主要取决于纤维的直径、比表面积、床层厚度与纤维分布密度等物理结构参数。纤维直径越小，单位体积内的比表面积越大，

扩散与惯性碰撞概率随之提升，在粒径分布0.15μm范围内，6μm直径玻纤的单层拦截效率可达89%，而10μm以上纤维则降至65%左右。床层厚度决定了杂质在结构内部的穿透路径长度与多次聚并机会，厚度在100~150mm区间内可兼顾高效拦截与排液路径形成，过厚则容易导致液体积聚与局部堵塞。纤维密度控制在0.30~0.38g/cm³区间时能够有效平衡捕集能力与系统压降，过高密度将形成流通阻力集中区域，诱发气流偏移^[3]。纤维排列方式方面，采用交错与叠层复合布置可显著提高气流扰动强度与液滴驻留时间，增加粒径小于2μm液滴的沉积概率。在合理的纤维参数组合条件下，除雾器整体除雾效率可稳定达到95%以上，且出口含雾浓度控制在5mg/Nm³以内。

3.2 材料表面与排液性能

杂质被捕集后在纤维表面聚并形成液珠或液膜，其后续脱附与滑移行为直接影响除雾持续性与压降稳定性。纤维材料表面的亲疏水性决定液滴的润湿模式与滑动路径构型，亲水性玻纤易形成连续液膜，液滴扩展性强但滑移困难，排液效率低；而疏水性改性聚酯纤维则以液珠形式存在，临界质量达到后即发生重力脱附，快速下滑进入排液通道。液滴滑移路径的形成需满足表面能差梯度分布，即纤维截面应呈现从亲水向疏水的过渡结构，诱导液滴定向运动。

纤维排列角度控制在30~45°区间可加速液滴沿纤维间隙滑移，配合导液槽与层间过流孔设计可防止液体在结构内滞留^[4]。不同层级间若存在纤维表面能突变或孔隙率差异，应通过设置过渡层或表面涂层控制液滴聚并速率，避免因液桥形成导致堵塞。高负荷运行工况下，应结合在线温控或气流加热手段抑制低温冷凝，使液体保持低粘状态，提升滑移连续性与排液通畅性，确保结构长期稳定运行。

3.3 气流控制与压降优化

除雾器的系统压降与捕集效率高度依赖气流在结构中的分布均匀性与局部扰动程度。入口段若流速分布不均，将导致部分区域穿透严重，局部杂质残留浓度显著上升，需在入口端设置多翼整流导板或锥形扩散器，实现入口气体的扩散均流。在床层内部，层间导流板或局部扰流环结构可增强气体剪切作用，提升除雾器的捕集效率，防止“短流通道”造成捕集死角。模块化分区布置能将单元系统划分为若干并联子模块，各模块独立气液入口与排液结构可实现工况微调与局部运行冗余，增强系统整体稳定性。

典型单元压降设计目标为500~800pa，通过优化纤维参数与气流通道结构，可使压降波动幅度控制在±10%以

内^[5]。排液系统配置多点液位反馈与压差联动装置，当系统检测到排液阻滞或压降异常时可触发自动维护程序，进行模块切换或在线反洗，避免系统整体运行中断。在焦炉煤气等高湿工况下，该类气流控制与压降调节策略可显著提升除雾系统运行周期，降低后端维护频率，实现高效除雾与低能耗稳定运行的协同优化目标。

4 除雾器在焦化企业的应用分析

4.1 江苏某焦化厂除雾系统案例背景

放控制。原有系统采用垂直式重力沉降与粗效折流除雾结构，难以捕捉直径小于5微米的细小液滴，造成焦油、氨水等高粘性组分夹带进入下游换热器与精脱硫装置，导致换热效率下降、管路结垢频发、催化剂失活加剧。2022年，该厂启动净化系统升级工程，计划在冷鼓工段下游增设高效除雾装置，替代原有除雾单元并提升整体除液能力。选用德国某品牌模块化除雾器作为核心设备，目标出口含雾量控制在5mg/Nm³以内，系统压降不高于1000Pa，运行周期达3000小时以上，满足连续运行与低维护双重需求。

4.2 优化措施实施与效率对比

改造实施阶段厂区内对现有除雾器基础平台进行结构加固，配置模块化除雾器三组并联单元，单体处理能力为30000Nm³/h，床层厚度120mm，采用交叉分层填充结构，纤维直径控制在6微米，分布密度0.35g/cm³。入口布气段增设整流导板，确保气流均匀进入纤维床层；下部排液区配置多点导液槽与重力集液系统，防止液体聚集与再雾化。同步部署在线压差计与杂质浓度监测仪，实现运行状态实时反馈与远程诊断，对比改造前后运行数据，除雾效率显著提升。焦化厂除雾器改造前后性能对比如下表1所示：

表1 焦化厂纤维床除雾器改造前后性能对比

性能参数	原系统	新系统	变化率
出口杂质浓度（mg/Nm³）	38-52	4.3-6.2	↓ 85%
运行压降（Pa）	480-620	860→920*	↑ 43%
焦油回收率	基准值	7.80%	↑ 7.8%
换热器清洗周期	每月1次	每季度1次	延长3倍
处理能力（Nm³/h）	单级处理	3×30000	模块化扩展

原系统出口杂质浓度在38-52mg/Nm³波动，纤维床系统稳定控制在4.3-6.2mg/Nm³之间，原系统运行压降为480-620Pa，新系统初期压降稳定在860Pa，运行至1200小时后略升至920Pa，仍在设定安全区间。冷鼓出口焦油回收率提升7.8%，下游换热器清洗周期由每月一次延长至每季度一次，综合运行数据表明，纤维床除雾器在气液分离性能与系统适配性方面均达到设计预期。

4.3 稳定性与运行维护效果评估

设备稳定性方面纤维床除雾器在高湿、高粘工况下保持长期在线运行能力。模块化结构便于单元替换与维护,设备表面无明显焦油沉积,纤维填料保持良好透气性与亲水排液性能。排液系统在连续降雨与气量波动阶段未发生溢流与液桥堵塞,在线压差保持波动幅度小于 $\pm 80\text{Pa}$,反映系统内部流场分布均匀,未发生偏流或局部失效现象。运行维护方面,现场操作人员按每2000小时进行滤芯表面冲洗与排液系统疏通,无需整体拆卸与更换,显著降低运维成本与人力投入。

设备自动监测模块实时上传运行状态至中控平台,当压差、含雾量或排液速率超过设定阈值时自动报警并触发维护提示。用户反馈显示,新系统投运后冷鼓段气体含液问题明显缓解,后续催化剂使用寿命延长约22%,年度维修费用降低约18万元。基于项目实施成效,该企业计划将同类除雾模块拓展应用至精脱硫单元与蒸氨段,进一步提升焦炉煤气净化系统整体运行质量与资源回收效率,形成以高效除雾为核心的污染控制与资源协同利用新体系。

5 结论

除雾器在煤气净化系统中展现出优异的气液分离能力与运行适应性。层级纤维结构与高密度布置显著增强微雾捕集效率,优化排液系统构造有效缓解再雾化与堵塞问题,模块化设计提升运维便捷性与设备在线率,现场验证显示改造后杂质浓度稳定控制,设备压降低波动,运行周期延长,资源回收与系统稳定性同步提升,具备良好的工程推广价值。

参考文献

- [1]田静.一种新型荒煤气净化技术的经济性研究[J/OL].化工环保,1-7[2025-04-10].
- [2]许定胜.高炉煤气净化技术进展及应用[J].冶金与材料,2025,45(03):115-117.
- [3]吕义国.焦炉煤气净化系统开工调试[J].燃料与化工,2025,56(01):42-44.
- [4]李修立,王贵宝,齐晋国.焦炉煤气净化新技术应用探析[J].煤化工,2024,52(S1):10-17.
- [5]陈彦汀,牛鑫,刘建宇,等.纤维床除尘除雾器在煤气净化领域的应用[J].燃料与化工,2023,54(05):66-68.