

# 水泥行业袋除尘器设备性能提升的途径

耿 峰

邯郸中材建设有限责任公司 河北 邯郸 056000

**摘要:** 水泥行业袋除尘器性能提升对环保达标与设备稳定运行意义重大。本文聚焦滤料性能优化、清灰系统改进、设备结构强化及运行维护升级四大方向,提出材质升级、结构适配、参数动态调控等具体措施。通过复合滤料开发、智能清灰技术应用、壳体结构优化及预测性维护体系构建,可显著提升除尘效率、降低运行阻力、延长设备寿命,为水泥行业超低排放改造提供技术支持。

**关键词:** 水泥行业;袋除尘器;性能提升;清灰系统;设备结构

引言:水泥行业是国民经济重要基础产业,生产中产生的高浓度粉尘不仅污染环境,还危害人体健康。袋除尘器凭借高效除尘性能成为水泥生产线不可或缺的环保设备。然而,水泥生产工况复杂,存在高温、强腐蚀、高浓度粉尘等挑战,导致袋除尘器易出现滤料破损、清灰不彻底、密封失效等问题,影响除尘效率与设备稳定性。因此,系统研究袋除尘器性能提升途径,优化设备结构与运行参数,对水泥行业实现超低排放、降低运维成本具有重要意义。

## 1 滤料相关的性能提升途径

### 1.1 滤料材质的优化与升级途径

滤料材质选择直接影响除尘效率与设备稳定性。针对水泥行业高温、强腐蚀性烟气环境,可引入复合型滤料以提升综合性能<sup>[1]</sup>。聚苯硫醚(PPS)基材具有优异耐温性,但长期暴露于氧化性气体易发生降解,可通过与聚酰亚胺(P84)共混改性,利用P84纤维的三叶形截面结构增强粉尘截留能力,同时提升滤料抗氧化性能。聚四氟乙烯(PTFE)覆膜技术可形成致密微孔结构,将粉尘截留于滤料表面,减少深层渗透导致的阻力上升,适用于超细粉尘捕集场景。对于含硫烟气工况,可开发含氟聚合物基材,通过引入氟原子增强化学惰性,降低酸性气体对纤维的侵蚀速率。

### 1.2 滤料结构的改进与适配途径

滤料结构创新需兼顾过滤效率与压降特性。梯度孔径设计通过分层控制孔隙率,表层采用细纤维形成初始粉尘层,中层粗纤维提供结构支撑,底层大孔隙促进气流分布,实现高效低阻运行。三维编织技术可构建立体网状结构,相比传统针刺毡,纤维交织密度提升,表面粗糙度增加,增强对不规则颗粒的机械拦截作用。针对高浓度粉尘工况,可设计双层复合滤料,外层采用高透气性粗纤维过滤大颗粒,内层细纤维捕集逃逸的微细粉

尘,延长清灰周期。

### 1.3 滤料使用寿命延长的技术途径

滤料寿命受化学侵蚀、机械磨损与水解作用共同影响。表面处理技术可显著提升耐久性,烧毛工艺通过高温火焰灼烧去除纤维毛刺,减少粉尘黏附;压光处理利用机械压力使表面致密化,降低孔隙率,抑制粉尘渗透。抗静电改性通过掺入导电纤维或涂覆导电层,消除滤料表面静电积聚,防止可燃粉尘爆炸风险。后整理工艺中,氟化物浸渍可在纤维表面形成保护膜,阻断水分与酸性气体接触,延缓水解反应进程。

### 1.4 滤料抗磨损、抗高温的强化途径

提升滤料机械强度需从纤维选择与工艺优化双维度突破。芳纶纤维具有高模量特性,可替代传统聚酯纤维作为骨架材料,其断裂强度提升,在高速气流冲刷下保持结构完整性。陶瓷纤维掺杂技术通过引入氧化铝或碳化硅颗粒,形成硬质支撑点,分散磨损应力,延长滤袋底部使用寿命。高温工况下,玄武岩纤维与玻璃纤维复合使用,前者提供耐温性,后者降低热收缩率,维持滤袋尺寸稳定性。热定型工艺通过精确控制温度与张力,消除纤维内应力,防止高温运行中发生不可逆形变。

## 2 清灰系统的性能提升途径

### 2.1 清灰方式的优化与改进途径

传统机械振打清灰易导致滤袋局部应力集中,加速纤维断裂,可替换为低压脉冲喷吹技术,通过压缩空气瞬间释放形成冲击波,实现滤袋整体均匀清灰<sup>[2]</sup>。对于高浓度粉尘工况,可引入声波辅助清灰技术,利用低频声波振动使滤袋表面粉尘层松散,降低脉冲喷吹阻力,提升清灰彻底性。针对粘性粉尘,可开发脉冲反吹与气体射流复合清灰方式,通过高压气流穿透粉尘层,破坏黏附力,减少清灰盲区。分室离线清灰技术通过暂停单室过滤进行独立清灰,避免清灰时含尘气体倒灌,提升清

灰效率与设备稳定性。

### 2.2 清灰参数的调控与适配途径

清灰压力与周期需根据粉尘性质动态调整。对于细颗粒粉尘，过高的喷吹压力易导致滤袋穿透损伤，宜采用低压力、高频次模式，通过累积冲击力剥离粉尘层。粗颗粒粉尘则需高压、低频次喷吹，确保瞬间冲击力突破粉尘层黏附力。压差反馈控制技术通过实时监测滤袋两侧压差，当压差达到设定阈值时自动触发清灰程序，避免过度清灰导致的滤袋疲劳损伤。温度补偿算法可修正高温环境下气体密度变化对喷吹效果的影响，通过调节压缩空气流量维持恒定清灰强度。

### 2.3 清灰系统部件的升级与优化途径

脉冲阀性能直接影响清灰可靠性。双隔膜脉冲阀通过独立控制进气与排气隔膜，提升压缩空气释放效率，缩短喷吹时间，减少能耗。电磁先导阀采用低功耗设计，延长使用寿命，降低维护频率。喷嘴结构优化可提升气流均匀性，螺旋式喷嘴通过导流槽使压缩空气形成旋转气流，扩大清灰覆盖范围，消除滤袋边缘死角。滤袋骨架采用不锈钢材质，表面喷涂陶瓷耐磨涂层，抵抗高速气流冲刷，防止骨架变形导致的滤袋磨损。

### 2.4 清灰效率的提升与稳定性保障途径

气流均布技术通过在净气室设置导流板，平衡各滤袋出口风速，避免局部过载导致的清灰不均。智能喷吹系统集成压力传感器与流量计，实时监测喷吹压力与气量，通过闭环控制算法自动修正参数偏差，确保每次喷吹效果一致。冗余设计理念应用于关键部件，如配置备用脉冲阀与气源，当主设备故障时自动切换，保障清灰连续性。定期维护程序通过预设清灰周期与喷嘴清洁计划，防止部件老化导致的性能衰减，维持系统长期稳定运行。

## 3 设备结构与密封性能的提升途径

### 3.1 设备壳体结构的优化与强化途径

水泥行业袋除尘器壳体需长期承受正负压交替作用及粉尘冲刷，其结构强度直接影响设备稳定性。优化壳体设计需从材料选择与结构形式两方面入手<sup>[3]</sup>。材料方面，优先选用高强度低合金结构钢，通过增加板材厚度或局部加装加强筋提升抗变形能力。结构形式上，采用圆筒形或箱体形壳体时，需通过有限元分析确定应力集中区域，针对性增设纵向或横向加强梁，避免局部应力过大导致开裂。对于大型除尘器，可设计为分体式结构，通过螺栓连接或焊接工艺将壳体划分为独立模块，既降低运输与安装难度，又便于后期维护。此外，壳体顶部需设置防雨棚或排水坡度，防止积水腐蚀；底部灰斗应采

用锥形设计并增大倾斜角度，减少粉尘堆积对壳体的侧向压力。

### 3.2 密封结构的改进与漏风控制途径

密封性能是影响除尘效率的关键因素，漏风会导致系统风量损失、压差波动及二次扬尘。改进密封结构需从静态密封与动态密封两方面协同优化。静态密封主要针对壳体接缝、检修门及排灰口等部位，可采用耐高温硅橡胶或氟橡胶密封条，通过压紧装置确保密封面均匀贴合；对于法兰连接处，需使用金属缠绕垫片或石墨复合垫片，并控制螺栓预紧力均匀分布，避免局部泄漏。动态密封重点解决滤袋口与花板、提升阀与阀座等运动部件间的密封问题，可设计双层密封结构，外层采用机械压紧装置，内层填充柔性密封材料，通过弹性变形补偿运动间隙。漏风控制还需结合压力管理，通过在除尘器进出口设置压力平衡装置，减少内外压差对密封结构的冲击，延长密封件使用寿命。

### 3.3 滤袋安装结构的优化途径

滤袋安装结构直接影响过滤效果与运行稳定性。优化安装结构需从固定方式与导向设计两方面突破。固定方式上，传统弹簧卡箍易因振动松动导致滤袋脱落，可改用螺栓压紧式或旋转卡扣式固定装置，通过增加接触面积与摩擦力提升可靠性。对于长滤袋，需在花板与袋底间增设支撑环，防止滤袋在气流作用下摆动磨损。导向设计方面，滤袋口与花板孔需采用同心圆结构，通过精密加工确保配合间隙小于0.5毫米，避免粉尘泄漏；袋底可设置锥形导向罩，引导气流均匀分布，减少局部冲刷。此外，滤袋安装需严格遵循垂直度要求，偏差控制在 $\pm 2$ 毫米以内，防止因倾斜导致清灰不彻底或滤袋破损。

### 3.4 设备内部流场的优化与调整途径

内部流场均匀性直接影响粉尘分布与滤袋负荷。优化流场需从进气方式与导流装置两方面综合调整。进气方式上，避免直接冲击滤袋，可采用切向进气或百叶窗式进气结构，使含尘气体沿壳体切线方向进入，通过旋转离心力初步分离大颗粒粉尘。导流装置设计需结合计算流体力学模拟，在进风口与滤室间设置多级导流板，通过调整导流板角度与间距，消除气流漩涡与短路现象，确保各滤袋间风速偏差小于15%。对于多室除尘器，需在每个滤室入口增设均流板，进一步平衡各室风量，防止局部过载导致滤袋提前失效。

## 4 运行控制与维护的性能提升途径

### 4.1 运行参数的动态调控途径

袋除尘器运行参数的动态调控需基于实时工况数据实现精准匹配。压差作为核心监控指标，其变化直接反

映滤袋阻力与清灰效果<sup>[4]</sup>。通过在除尘器进出口安装高精度压差传感器,结合PLC控制系统构建闭环反馈机制,可根据压差波动范围自动调整喷吹周期与脉冲强度。当压差超过设定阈值时,系统优先延长喷吹间隔以减少滤袋疲劳损伤;若压差持续上升,则逐步增强脉冲压力直至恢复至合理区间。风量调控需与压差联动,通过变频风机实时调节处理风量,避免因风量过大导致滤袋穿透或风量不足引发粉尘逃逸。温度控制方面,需在进风口设置热电偶监测烟气温度,当温度接近滤袋耐受极限时,自动启动冷风阀掺混低温气体,防止高温烧袋;低温工况下则通过电加热器维持壳体温度,避免结露导致糊袋。

#### 4.2 设备日常维护的优化途径

日常维护需建立标准化流程并强化执行力度。滤袋检查应纳入每日巡检内容,重点观察滤袋表面粉尘堆积厚度与破损情况,使用内窥镜或手电筒辅助检查袋底与花板连接处,发现破损立即更换并记录位置信息。脉冲阀作为清灰系统关键部件,需每月检测其动作响应时间与密封性,通过压力表监测喷吹压力衰减情况,对动作迟缓或漏气的阀门及时清理或更换膜片。提升阀与旁路阀需每季度进行开关试验,检查气缸行程与密封性能,对卡滞阀门加注润滑油并调整气源压力。灰斗排灰需保持连续性,根据粉尘性质设定排灰周期,对黏性粉尘采用振动器辅助排灰,每班检查排灰口是否堵塞,确保灰斗内粉尘高度低于警戒线。

#### 4.3 故障隐患的提前防控与处置途径

故障防控需构建预测性维护体系。通过在关键部位部署振动传感器、温度传感器与电流互感器,实时采集设备运行数据并上传至云端分析平台,利用机器学习算法建立故障特征模型。当振动频谱出现异常峰值或电机电流波动超出基准范围时,系统自动生成预警信息并推送至维护终端,指导人员提前检查轴承磨损或传动部件松动情况。对历史故障数据深度挖掘,识别高频故障点如脉冲阀膜片破裂、提升阀密封失效等,针对性制定备件储备策略与检修计划。故障处置需遵循“快速隔离-精准定位-彻底修复”原则,发现故障后立即关闭对应滤室或设备段,通过压力测试与红外热成像技术定位故障源,

更换损坏部件后进行空载试运行,确认参数恢复正常后再投入生产。

#### 4.4 运行工况与设备性能的适配调控途径

工况适配需建立动态调整机制。当水泥窑产量波动导致烟气流变化时,通过DCS系统联动调整除尘器处理风量,确保风速维持在设计范围内,避免因风速过高加剧滤袋磨损或风速过低影响清灰效果<sup>[5]</sup>。粉尘浓度变化时,需重新核算滤袋过滤面积与清灰周期,对高浓度工况缩短喷吹间隔并增强脉冲压力,防止粉尘嵌入滤袋深层;低浓度工况则延长喷吹周期以降低能耗。设备性能评估需结合压差、排放浓度与能耗数据综合判断,当排放浓度持续超标且滤袋压差未达上限时,需检查清灰系统是否存在喷吹盲区;若压差与排放浓度同步上升,则可能存在滤袋破损或安装缺陷,需立即停机检修。通过建立工况-性能映射模型,实现运行参数与设备状态的动态匹配,延长设备使用寿命并降低运维成本。

#### 结束语

水泥行业袋除尘器性能提升需从滤料、清灰系统、设备结构及运行控制等多维度协同优化。通过材质升级、结构创新、参数动态调控及维护策略优化,可显著提升除尘效率、延长设备寿命、降低能耗与排放。实践中需结合具体工况,针对性选择技术方案,并建立标准化运维体系,确保设备长期稳定运行。持续技术创新与经验积累,将为水泥行业环保装备升级提供坚实保障,推动行业绿色转型与高质量发展。

#### 参考文献

- [1]何鹏飞,屈荷叶,鲁果.水泥窑尾除尘器腐蚀典型问题分析及治理探讨[J].水泥,2021(10):20-23.
- [2]代高升.水泥厂窑尾袋除尘器节能除尘技术分析[J].模型世界,2024(22):131-133.
- [3]屈荷叶,李海波.水泥SCR脱硝前置高温电除尘器应用技术[J].中国水泥,2021(1):87-89.
- [4]许小雷.水泥工业电除尘器改袋式除尘器的几个技术问题[J].建材发展导向(上),2021,19(6):127-128.
- [5]施勇,朱孝峰.袋式除尘器智能分散控制系统在水泥行业的应用[J].中国水泥,2022(6):90-92.