

电除尘器运行参数优化对烟尘排放与引风机电耗的综合影响分析

贾宽波 曹宏芳 温洽江 赵秋兰 杨文元

内蒙古京能检修工程管理有限公司 内蒙古 013700

【摘要】：为实现烟尘排放控制与引风机电耗节约的协同优化，本文系统解析电场电压、电流、烟气流速及极板间距与二者的关联机制，构建基于动态匹配、多目标调控与智能算法的优化方案。工业实测验证显示，优化后烟尘排放浓度稳定在 $8\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，较优化前降低 35% 以上，引风机电耗降幅达 17.8%，且在复杂工况下保持稳定，为电除尘器高效低耗运行提供可靠技术支撑。

【关键词】：电除尘器；参数优化；烟尘排放；引风机电耗

DOI:10.12417/2811-0528.26.11.052

引言

随着超低排放政策深化与“双碳”目标推进，工业烟气净化面临环保达标与能耗控制的双重压力。电除尘器作为核心净化设备，其运行参数失配常导致排放超标或能耗浪费，而现有技术缺乏对参数耦合影响的系统梳理。聚焦核心运行参数，解析其对烟尘排放与引风机电耗的综合作用机制，探寻科学优化路径，成为破解行业痛点的关键。

1 电除尘器运行参数与烟尘排放及引风机电耗的关联问题解析

电除尘器运行过程中，电场电压、电流的稳定性直接影响电晕放电强度，电压偏低会导致烟尘粒子荷电不足，难以被极板有效捕集，进而造成烟尘排放浓度升高；而电压过高则可能引发电晕闭塞现象，不仅无法提升捕集效率，还会增加引风机的运行负荷。烟气流速的合理控制同样关键，流速过快会缩短烟尘粒子在电场内的停留时间，降低碰撞荷电概率，同时加大烟气阻力，迫使引风机提高功率以维持系统负压，导致电耗增加；流速过慢虽能延长停留时间，但会造成设备内部积灰堆积，间接影响气流分布均匀性，形成局部涡流，进一步加剧排放与能耗的失衡。极板间距的设计与实际工况不匹配时，过宽的间距会削弱电场强度，降低荷电粒子的迁移速度，过窄则易引发极板放电短路，两种情况均会破坏烟尘捕集与能耗控制的平衡关系。此外，烟尘自身的粒径分布、比电阻等特性与运行参数的适配度不足，也会导致参数调控失效，使得烟尘排放超标与引风机电耗过高的问题同时存在，形成相互关联的运行难题^[1]。

2 电除尘器核心运行参数优化方案构建

基于核心运行参数与烟尘排放、引风机电耗的关联逻辑，优化方案需以工况适配性为核心，结合电场特性与能耗规律构建系统性调控路径。电场电压与电流的优化需建立动态匹配机制，依据烟尘比电阻实时调整参数区间，对于高比电阻烟尘，采用脉冲供电模式提升电压峰值，增强粒子荷电效果，同时控

制电流密度在 $1.2\text{--}1.8\text{mA}/\text{m}^2$ 范围内，避免电晕闭塞与能量浪费；针对低比电阻烟尘，适当降低电压幅值，通过稳定直流电晕放电保证捕集效率，减少无效能耗。烟气流速的优化需结合电除尘器腔体结构与烟尘粒径分布，通过流体力学模拟确定最优流速区间，一般控制在 $1.0\text{--}1.5\text{m}/\text{s}$ ，在此范围内，既能保证烟尘粒子有充足的电场停留时间完成荷电与沉降，又能降低烟气流阻力，减少引风机的压头损失。极板间距的优化需兼顾电场强度与放电稳定性，根据电场电压等级调整间距，中低压电场适配 $150\text{--}200\text{mm}$ 间距，高压电场采用 $200\text{--}300\text{mm}$ 间距，通过有限元分析优化极板排布方式，减少边缘效应导致的电场畸变，提升电场均匀性，确保不同区域烟尘粒子均能有效荷电。

参数优化过程中需引入多目标调控模型，将烟尘排放浓度低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 与引风机电耗降低 10% 以上作为核心目标，结合工业实测数据建立参数响应方程，明确各参数的权重系数。针对复杂工况下的参数耦合问题，采用智能算法对电压、电流、烟气流速、极板间距等参数进行协同优化，通过迭代计算确定最优参数组合，同时考虑设备运行年限、维护状况等实际因素，预留参数调整冗余量，确保方案的可行性与稳定性。此外，优化方案需整合在线监测技术，通过安装烟尘浓度传感器、电耗计量装置等设备，实时采集运行数据，建立动态反馈机制，当烟尘排放浓度或引风机电耗超出设定阈值时，自动触发参数调整指令，实现运行状态的实时调控^[2]。

为提升优化方案的适配性，需紧密结合不同行业烟气特性开展针对性设计。电力行业锅炉烟气具有含尘浓度高、粒径分布广的显著特征，大粒径烟尘占比高且沉降难度大，优化方案应侧重提高电场电压与电流的动态适配精度，通过细化参数调节梯度、强化电晕放电强度，增强对大粒径烟尘的荷电与捕集能力，同时避免因参数失衡导致的能耗浪费。钢铁行业烟气中含有大量黏性粉尘，这类粉尘易吸附在极板表面形成顽固积灰，不仅会削弱电场强度，还会阻碍烟气流通，因此需优化烟气流速与极板清灰周期的匹配关系，通过调整流速减少粉尘黏

附概率,同步设定差异化清灰间隔,避免积灰堆积影响参数优化效果。水泥行业烟气温度普遍较高,高温环境会影响电晕放电稳定性与电极材料寿命,优化方案需选用耐高温的特种电极材料,同时调整电压频率与脉冲宽度,适配高温下的电晕放电特性,确保电场强度与荷电效率不受温度波动影响。此外,优化方案还需充分考虑环保政策与能耗标准的更新迭代,预留灵活的参数升级接口,当超低排放要求进一步提高或能耗考核指标更为严格时,无需对设备进行大规模改造,仅通过软件升级或参数重新标定即可实现方案的动态优化,确保长期稳定满足环保与节能双重需求。

在方案构建过程中,需通过数值模拟与实验验证相结合的方式完善参数体系,利用CFD软件模拟不同参数组合下的电场分布、烟气流动轨迹与烟尘捕集过程,分析参数变化对排放与能耗的影响规律;通过工业试验平台进行实地测试,对比优化前后的烟尘排放浓度、引风机电耗数据,验证方案的实际效果。同时,优化方案需融入经济性分析,综合考虑设备改造费用、运行维护成本与节能收益,确保方案在技术可行的基础上具备经济合理性,通过成本效益核算确定最优投入产出比,为工业应用提供可靠的决策依据。参数优化方案的构建还需注重与现有控制系统的兼容性,采用模块化设计理念,确保优化算法能够无缝接入现有DCS控制系统,无需大规模改造设备即可实现参数的智能调控,降低应用门槛与实施成本。

3 参数优化对烟尘排放控制与引风机电耗降低的实践成效验证

选取典型工业锅炉配套电除尘器作为验证对象,基于构建

参考文献:

- [1] 万需文,傅尧,王培红,郝勇生,苏志刚.考虑烟尘浓度约束的燃煤机组干式电除尘器能耗优化方法[J].节能技术,2025,43(4):348-353 76.
- [2] 汪志建,党小庆,谢冬明,乐文毅,冯晓峰,刘贵云,刘明坤,吉硕,代聪.多孔电极电除尘器振打加速度主要影响因素分析[J].环境工程,2025,43(4):213-221.
- [3] 顾志祥.百万火电机组电除尘设备节能提效控制系统优化分析[J].中国设备工程,2025(22):263-265.

的优化方案完成参数调试后,持续监测烟尘排放浓度与引风机电耗数据。监测结果显示,电场电压与电流按动态匹配机制调控后,烟尘粒子荷电效率显著提升,排放浓度稳定控制在 $8\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,较优化前降低35%以上,完全满足超低排放要求。烟气流速优化至 $1.2\text{-}1.3\text{m}/\text{s}$ 区间,结合极板间距的适配调整,烟气流动阻力降低20%,引风机运行功率从优化前的 185kW 降至 152kW ,日均电耗减少约 792kWh ,能耗降幅达17.8%。通过不同工况下的连续测试,在烟气含尘浓度波动 $\pm 20\%$ 、温度变化范围 $50\text{-}120^\circ\text{C}$ 的条件下,优化后的参数组合仍能维持稳定效果,烟尘排放浓度未出现超标现象,引风机电耗波动幅度控制在3%以内。电场均匀性的提升使得极板积灰量减少40%,清灰周期延长至原来的1.5倍,间接降低了辅助能耗与设备损耗。各项实测数据与数值模拟结果的偏差小于5%,验证了参数优化方案的科学性与实用性,其协同提升烟尘治理效果与降低能耗的实践价值得到充分体现^[3]。

4 结语

电除尘器核心运行参数的科学优化,可有效破解烟尘排放与引风机电耗的协同调控难题。通过动态匹配机制、多目标模型与智能调控技术的综合应用,实现了烟尘超低排放与能耗显著降低的双重成效,且方案适配不同行业工况,兼容性强、经济性优。该优化路径为工业烟气治理设备的高效节能运行提供了切实可行的实践参考,具备广泛推广价值。