

Analysis of dust control and electrostatic precipitator efficiency improvement strategies in thermal power plants

Xiaokun Deng

Liaoning Datang International Huludao Thermal Power Co., Ltd., Huludao, Liaoning, 125000, China

Abstract

As China's thermal power industry implements increasingly stringent emission standards, the critical role of electrostatic precipitators (ESPs) in boiler flue gas purification systems has become increasingly prominent. As the primary technology for particulate matter control in power plants, ESP efficiency directly impacts the operational stability and cost-effectiveness of emission compliance. This study, drawing on research findings and practical experience, first examines the significance and necessity of dust control in thermal power plants. It then analyzes several efficiency enhancement strategies through case studies of ESP system upgrades in domestic power units. These strategies aim to achieve both emission compliance with evolving standards and optimized operational efficiency while maintaining economic viability.

Keywords

thermal power plants; dust control; necessity; electrostatic precipitators; efficiency improvement; strategies

火电厂粉尘治理与电除尘效率提升策略分析

邓晓坤

辽宁大唐国际葫芦岛热电有限责任公司, 中国·辽宁 葫芦岛 125000

摘要

在我国火电行业排放标准不断严格背景下, 作为火电厂粉尘治理中锅炉烟气净化系统核心构成重要性日益凸显。而在火电厂生产中电除尘作为控制颗粒物的主要技术手段, 其运行效率直接关系到机组达标排放的稳定性与经济性。基于此, 文章结合相关研究及工作实践, 先就火电厂粉尘治理的内涵与必要性展开探讨, 随后结合国内典型机组电除尘系统改造实际系统分析出几项效率提升策略, 从而在确保火电厂满足日益严格的排放标准的同时, 实现更高效、更经济的生产运行目标。

关键词

火电厂; 粉尘治理; 必要性; 电除尘; 效率提升; 策略

1 引言

近几年来, 环境污染问题变得越来越严重, 逐渐成为最引人关注的热点问题之一。而目前国内发电主体仍是火电厂, 其中火电厂又是主要的组成部分。在火力电厂的运转中会产生大量的粉尘、氮氧化物等有害污染物, 这些有害污染物是形成雾霾天气的主要诱因, 因此采取措施来减少火电厂的粉尘排放量, 对各种设施进行环保改造是迫切需要的。为了有效地降低火电厂排放物中粉尘的含量, 对火电厂的电除尘效率提升是十分重要的一个环节。有鉴于此, 下文将围绕于火电厂粉尘治理与电除尘效率提升策略展开分析, 以供参考。

2 火电厂粉尘治理概述

火电厂在运行期间, 燃烧产生的烟气中含有大量粉尘、飞灰等固体颗粒物, 如果没有得到有效捕集而直接排入大气中不仅会污染环境, 同时更给人民健康带来不利影响。结合实践来看, 火电厂粉尘治理是利用工艺设计、除尘设备和运行控制等方法使得自身所烟气细颗粒物浓度符合国家排放标准, 甚至低于而采取的一系列技术手段。

火电厂粉尘治理的必要性体现在: 在国家加大空气污染治理力度情况下, 火电厂为继续运营就必须满足相关法规中明确的烟尘浓度限值要求。同时粉尘控制影响着锅炉、空预器、脱硫系统等下层设备可靠性及寿命, 比如粉尘负荷过高往往容易引起磨损、堵塞、腐蚀等问题, 从而致使设备故障率增加以及缩短使用寿命^[1]。此外, 从环保、公众健康的视角看, 火电厂粉尘治理不力会造成 PM_{2.5} 等细颗粒物排放升高, 破坏区域空气质量并严重威胁着公众健康。另外, 火电厂粉尘治理成效的提升不仅可以减少逃逸粉尘损失, 并

【作者简介】 邓晓坤 (1996-), 男, 中国吉林白城人, 本科, 助理工程师, 从事火电厂环保研究。

且所回收部分灰渣具有一定的经济效益有助于减少运行成本。由此可见,现阶段日趋严苛的环保趋势下,火电厂应当做好粉尘治理的技术路径选择,以确保除尘系统运行的高效稳定性。

3 火电厂粉尘治理中电除尘效率提升策略

3.1 电场结构优化与极板配置调控

电场结构优化与极板配置调控是提升火电厂电除尘效率的重要策略之一,其能够大幅增强粉尘捕集效率,具体为:首先,电除尘系统电场结构优化环节结合颗粒粒径特性采取前密后疏布局,即前段极板间距设为300–350mm和极线到板间距则为150–175mm,针对后段则扩大到400–450mm/200–225mm,从而加强粉尘颗粒向下的迁移及沉积作用。前段电场深度设为3.5m,后段加长到5m,这样有利于粉尘的滞留时间增长,以实现粉尘的分段收集。其次,极线、极板形式可根据烟尘电阻率进行选择,当烟尘电阻率小时选择多股线、空心线、网状线等,增大放电面积实现荷电效率提高。反之烟尘电阻率大时则应选用尖刺线,提高局部电晕放电^[2]。阳极板还可以用波纹板或刺状板的形式以增加有效表面积并减小屏蔽效应,再辅以边缘部分增设辅助小电极实现补充场强衰减目的。此外,流场优化环节可考虑电场进口侧布置导流板、挡板以让火电厂所产生烟气实现速度场分布均匀,并且也能杜绝短路流和死区情况出现。需注意,导流装置布置位置、角度运用CFD模拟得到最佳值,确保通道的平均速度低于脱离速度,以达促使颗粒得到充分的迁移。另外,火电厂生产中为了避免因灰层积聚造成电场衰减,可以在设置中间屏蔽极或者场强补偿模块,随后当检测到局部场强下降时采取辅助电压进行梯度补偿,进而使电场处于相对稳定的状态。针对老化电场段借助模块化可调结构,其中极板间隙与极线偏移分别调节至 $\pm 15\text{mm}$ 、 $\pm 10\text{mm}$ 以内,之后再结合场强和漏电流实时检测数据进行在线微调,以保证火电厂长期高效除尘运行效果。

3.2 清灰系统与振打方式升级

对于火电厂电除尘的清灰系统和振打方式进行升级改进时,应综合考虑对灰尘黏结性情况、灰尘脱附效率与振打过程中对除尘电场造成扰动予以优化,从而保证电场通道不会发生堵塞问题以及避免二次扬尘,具体为:首先,可采取频率和幅值可调的电磁振打装置或是电磁激振器,随后针对灰尘层的厚度变化进行实时监测并据此不断调节振打的频率、振幅和作用时长,从高频振打变为低频振打以减小粉尘振打冲击引发的扬散作用。其次,空间布局上可以采取顶部振打、侧面振打以及底部反向振打的组合机制,其中顶部振打主要作用在于使上层灰层松动,侧面振打负责处理灰层边缘黏附问题,而底部反向振打作用则是避免粉尘倒返。同时三种振打方式实行分区控制和交替运行,从而促使振打均衡用力且不留死角。第三,振打时序应采用非等时多阶段控制

策略,通过初期高频低幅、中期中频中幅、末期低频缓振的分级节奏,使灰层分层剥离、逐步脱附,避免剧烈冲击造成二次飞扬^[3]。第四,振打装置中可增设气动吹灰或脉冲喷气辅助装置,在振打同时提供横向或反向气动力,使松散颗粒加速脱落并防止再附着。第五,为抑制振打瞬间的二次扬尘,应在振打区设置局部降尘罩或定向微雾喷雾系统,使脱落颗粒在脱离极板瞬间被湿化或静电引导落入灰斗;部分电厂在升级中通过封闭罩结构结合定向喷雾实现灰尘捕集率提升约25%。第六,在系统运行上可采用分室断风断电振打策略,通过分段切换振打室气流,保证其他室段保持稳定电场,从而实现不停机清灰维护。

3.3 高压电源技术升级与动态控制

火电厂粉尘治理中,高压电源技术的升级与动态控制需以电除尘器电场特性及机组负荷波动为核心,重点在于高频化、脉冲化及智能化调控的系统协同。首先,在电源结构与选型方面,宜采用三相整流—高频逆变—高压直流输出拓扑,控制输出电压纹波率在3%–5%以内。高频逆变部分应引入交错并联及谐振型拓扑(如LLC或准谐振结构),通过零电压或零电流开通技术降低开关损耗,提高电源在变负荷条件下的稳定性与响应速度,使电场电压较传统工频电源提升约25%–30%,电晕电流显著增强,从而改善荷电与捕集效率。其次,脉冲叠加技术应在基准直流电压上施加高压短脉冲,以瞬时强化电场驱动力,有效降低高比电阻烟尘的反电晕效应。脉冲频率维持在100–1kHz,脉宽几十到几百微秒,并结合煤质、烟温、粉尘比等调节脉冲-直流幅值倍数、占空比和波形参数,对不同电场分区采取独立变频控制,以满足各种不同类型粉尘特性。第三,为使高压电源时刻匹配电场状态,动态控制要采取多参量闭环反馈的办法,其中常用的方法有:①火花率反馈控制,使电压处于临界放电边界水平;②间隙供电控制,通过对区域切换或者间歇供电的控制火花的发展;③根据粉尘浓度、电晕电流、烟气流速采用最优功率调节算法对高压的输出随时调整,从而保证电场运行始终处于高效区。此外,一些火电厂把其燃煤灰分、烟气温度的、负荷等多参量带入控制模型中作为电源自适应调节的参数依据。最后,火电厂的电源系统还要设计两路以上冗余并具备快速切换的保护结构,一旦某个支路出现故障时能迅速切断且更换到备用支路运行,从而促使电场持续供电同时保证除尘效果的稳定性。

3.4 烟气温控与预处理

烟气温控与预处理在火电厂粉尘治理过程中也可以较好地提升电除尘效率,具体为:首先,针对电除尘器入口前可安装低低温换热冷却段,通常以热管式或逆流管束换热器使得火电厂所产生烟气温度温降到酸露点以下约5–20℃(一般为70–90℃),这样能大幅度降低飞灰比电阻以及提高击穿电压裕度;同时可利用汽机冷凝水或者循环水作为换热介质,通过热回收有效调整烟温,改善粉尘颗粒带电及捕

集性能^[4]。其次,将湿度调节装置安装到入口烟道处,一方面高温、干燥时段开启进行雾化加湿,另一方面则是雨季或低温时节通过加热或是气体干燥方式,从而让粉尘颗粒表面生成一层水膜,增加它们的导电性、荷电效率以及避免过度凝露。第三,在入口烟道中设置静电诱导板或预带电装置,如多级尖极阵列或诱导电极,使颗粒获得初级电荷后进入主电场,从而减小迁移阻力并改善电场电荷分布。该诱导装置可采用高频供电系统以保持稳定电晕电流,并与主电场形成分级带电区,优化荷电过程。第四,对烟气中 SO_3 、 NH_3 、微硫酸雾等影响粉尘导电性的气态组分实施化学或物理预处理,在低温换热段前设置 SO_3 吸收装置或干式吸附剂床,减少飞灰表面酸性物质沉积,或配置碱性喷淋塔、微雾洗涤塔以捕集酸性气溶胶,从而稳定颗粒比电阻分布。最后,在低负荷、煤质波动等不稳定工况下启用辅助静电预除尘段,如短程诱导极屏或小型静电屏,使部分大颗粒或高电阻灰提前带电与捕获,保证主电场负荷均衡与除尘效率持续稳定。

3.5 极板材料与表面处理工艺改进

除上述策略外,极板材料与表面处理工艺改进也是火电厂粉尘治理中电除尘效率提升的一项重要技术手段,具体为:首先,选择高强度不锈钢合金或铝合金基体上镀耐电蚀钛或镍铬等具备较强抗腐蚀、导电性能以及耐磨耗的材料作为极板,一方面能减小火电厂所产生的烟气中 SO_2 、 SO_3 、水蒸气等所造成腐蚀发生概率,另一方面降低表面微裂纹和氧化皮所形成的电阻损耗,这样一来通过确保极板机械强度促使其导电效率和使用寿命提升,进而提升电除尘整体效率。其次,利用表面几何结构微化的手段来改善粉尘颗粒的附着状态和荷电预处理状态,如以喷砂或是微纹处理方式对极板表面予以处理。使得板面微观粗糙度处于一个稳定的区间范围内,如此将有助于提升颗粒第一次碰撞板面后发生黏附的概率及电荷均匀性的分布情况。同时还可以通过给极板表面喷涂导电复合涂层(如:导电氧化物或碳基纳米复合材料)

料),这一方面能改善板面对荷电颗粒的吸引力,另一方面则降低表面局部电荷失效带来的漏电或短路。此外,鉴于极板之间容易积灰、积水的情况,可采用耐湿性能良好的涂覆材料以及设置防结露断面,防止因板面上的潮湿造成电阻突变^[5]。除此之外,极板安装与维护环节还应特别注意控制好极板间的平整度、间距公差,保证极板板面无变形、翘曲;最后,对于长期运行中板面氧化层或碳/灰覆盖层的清除,建议采用化学清洗或电化学剥离法(在停机条件下)结合高压水雾或喷砂方式,周期性维护板面洁净性,这样可以使得极板面材料的性能以及电场的荷电效率不会随着覆盖层的恶化而下降。

4 结语

综上所述,电除尘技术在火电厂粉尘治理体系中长期居于核心地位,要在超低排放时代背景下继续发挥主力作用,必须从结构、清灰、电源、烟气条件及材料等多个维度发力。正是基于此,上文在结合国内典型机组的改造与运行实践以及电除尘技术原理及工程可行性背景下探讨了5项电除尘效率提升策略。未来随着后续技术不断优化创新以及自动化水平不断提高,电除尘技术将进一步突破现有瓶颈,最终实现更高效、更稳定、更智能的粉尘治理效果。

参考文献

- [1] 肖煌龙.湿式电除尘器在火电厂的应用浅析[J].机电信息,2021(30):2.
- [2] 雷尧.火电厂除尘技术进步与电除尘器效率提升策略[J].建筑与施工,2024(7).
- [3] 张涛,解标,王民军,等.电除尘系统节能技术应用研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2023.
- [4] 关玉华,张伦秋,米俊锋,等.静电除尘效率影响因素的研究进展[J].应用化工,2023,52(8):2427-2431.
- [5] 骛骐.火电厂电除尘器节能环保运行优化措施分析[J].电力设备管理,2024(15):256-259.