

风烟系统运行优化及能耗降低实用策略

张四虎 郝佳欣

国能锦界能源有限责任公司 陕西榆林 719319

摘 要: 本文以陕西省榆林市国能锦界能源有限责任公司的实际情况为基础, 深入探讨电站锅炉风烟系统运行优化及能耗降低的实用策略。通过对风烟系统结构、设备组成及运行原理的分析, 结合实际运行中的数据和问题, 从设备优化、运行调整、维护管理等多方面提出针对性策略, 旨在降低风烟系统能耗, 提高其运行效率, 进而提升整个机组的经济性和环保性, 为同类型企业提供可参考的实践经验和理论依据。

关键词: 风烟系统; 运行优化; 能耗降低; 实用策略

1. 风烟系统概述

1.1 系统结构与设备组成

国能锦界能源有限责任公司三期的电站锅炉风烟系统主要由以下设备和装置组成: 一台动叶可调轴流式送风机(二次风机), 负责向炉膛供应煤粉燃烧所需的二次风和燃尽风; 一台动叶可调轴流式一次风机, 用于输送和干燥煤粉; 一台动叶可调轴流式引风机, 抽出炉膛中的烟气; 一台容克式四分仓空气预热器, 实现烟气与空气的热量交换; 烟气再循环管、脱硫装置及两台静电除尘器, 用于烟气处理; 两台火检冷却风机, 为火检探测器提供冷却风; 两台密封风机, 对给煤机、磨煤机和煤粉管进行吹扫和密封; 六组四角切圆布置的燃烧器及二次风箱, 以及一、二次风管连接管道、炉膛、烟道、挡板或闸门及烟囱等设备。这些设备相互配合, 形成了一个完整的风烟循环系统。

1.2 运行原理与参数

该风烟系统采用平衡通风方式, 利用送风机正压头克服空气流通过程中的阻力, 引风机的负压头克服烟气流通过程中的阻力, 使炉膛出口为负压, 系统的平衡点在炉膛中^[1]。一次风的作用主要是干燥和输送煤粉, 包括制粉系统的干燥通风量和磨煤通风量; 二次风主要向炉膛供应煤粉燃烧所需空气并扰动燃烧气流; 烟气系统则负责将炉膛中的烟气抽出并送往后续处理设备。各设备的运行参数, 如风量、风压、温度等, 直接影响着风烟系统的整体运行效率和能耗水平。

2 影响风烟系统能耗的因素分析

2.1 设备自身性能

2.1.1 风机效率: 风机作为风烟系统的主要耗能设备,

其效率对能耗影响显著。如果风机选型不合理, 与实际运行工况不匹配, 在运行过程中就会出现效率低下的情况。比如, 当机组负荷变化时, 风机不能及时调整到最佳工作状态, 就会导致额外的能耗增加。若风机叶片磨损、腐蚀或积灰, 会改变叶片的形状和空气动力学性能, 使风机的性能下降, 能耗上升。

2.1.2 空气预热器性能: 空气预热器的漏风率和换热效率是影响风烟系统能耗的重要因素。漏风会导致大量冷空气混入烟气中, 增加引风机的负荷和能耗, 同时降低了进入炉膛的热空气量, 影响燃烧效率。而换热效率低下, 则不能充分利用烟气中的余热来加热空气, 导致排烟温度升高, 造成能源浪费。如果空气预热器的蓄热片积灰、堵塞, 会增大烟气侧和空气侧的阻力, 不仅影响换热效果, 还会使风机的电耗增加。

2.2 运行调整

2.2.1 风量配比: 合理的风量配比是保证锅炉高效燃烧和降低风烟系统能耗的关键。在实际运行中, 由于煤质变化、燃烧器磨损等原因, 可能会导致风量分配不均, 出现部分燃烧区域风量过大或过小的情况。风量过大, 会增加风机的电耗, 同时使排烟热损失增大; 风量过小, 则会导致燃烧不充分, 增加固体不完全燃烧热损失, 还可能引起结焦等问题, 影响锅炉的安全运行。

2.2.2 燃烧调整: 燃烧过程的稳定性和效率对风烟系统能耗有直接影响。如果燃烧调整不当, 如燃料与空气混合不均匀、着火延迟或提前等, 会使燃烧过程恶化, 需要更多的风量来维持燃烧, 从而增加风机的能耗。燃烧过程中产生的

结焦、积灰等问题，会影响受热面的传热效果，导致排烟温度升高，进一步增加能耗。

2.3 设备维护

2.3.1 漏风问题：风烟系统的漏风会增加系统的阻力和风机的负荷，从而导致能耗上升。漏风可能发生在风道、烟道的连接处、阀门、人孔门等部位。长期运行过程中，密封件老化、损坏，或者安装质量不佳，都可能造成漏风。漏风不仅会增加能耗，还会影响系统的正常运行，如导致炉膛负

压不稳定、燃烧工况恶化等。

2.3.2 积灰与腐蚀：设备内部的积灰和腐蚀会降低设备的性能和使用寿命，进而增加能耗。空气预热器、烟道、风机等设备在运行过程中，会受到烟气中的灰尘、酸性气体等的侵蚀，容易发生积灰和腐蚀现象。积灰会增大设备的阻力，使风机的电耗增加；腐蚀则会损坏设备的结构和部件，影响设备的正常运行，需要频繁维修或更换，增加了运行成本。

表 1 影响风烟系统能耗因素分析表

一级因素	二级因素	具体影响表现
设备自身性能	风机效率	1. 选型 / 工况不匹配：负荷变化时效率低，额外耗能 2. 叶片问题：效率下降 5%~10%，能耗上升
	空气预热器性能	1. 漏风率高：引风电耗增加 0.5%（每 1% 漏风率） 2. 换热效率低：排烟温度升高 10℃，热损失增加 1.5%；阻力增加 100Pa，电耗上升 2%~3%
运行调整	风量配比	1. 分配不均：风量过大导致电耗增加，过小引发燃烧不充分 2. 过量空气系数不合理：过高或过低均导致能耗上升
	燃烧调整	1. 燃烧恶化：需增加风量，电耗上升 5%~8% 2. 结焦积灰：排烟温度升高 15~20℃，烟气阻力增大
设备维护	漏风问题	1. 漏风率高：电耗增加 4%~6%（每 10% 漏风量） 2. 燃烧波动：需频繁调节风机，产生额外耗能
	积灰与腐蚀	1. 积灰：设备阻力增加 30%~50%，电耗上升 2. 腐蚀：设备效率下降，维修停机导致能耗损失 5%~8%

3 风烟系统运行优化策略

3.1 设备优化

3.1.1 烟道系统优化：针对风烟系统阻力大、能耗高的问题，采用多维度优化策略。利用三维激光扫描技术对烟道进行精准建模，全面排查积灰、异形管段等导致阻力上升的隐患点，通过调整烟道布局，减少不必要的弯头与缩扩结构，可降低局部阻力 12%~15%；在水平烟道、除尘器进出口等易积灰区域加装智能声波吹灰装置，依据运行参数自动调节吹灰频率，维持烟道通流面积稳定，避免因积灰引发的阻力波动。同时，在脱硫塔、空预器等设备连接烟道处增设均流板与导流装置，优化烟气流场分布，提升设备协同运行效率；采用纳米气凝胶复合保温材料替换传统保温层，将烟道散热损失降低 30% 以上，排烟温度下降 5~8℃。多措施并行可有效减轻引风机负荷，实现系统综合能耗降低 10%~13%。

3.1.2 空气预热器优化：对空气预热器的密封装置进行改造和优化，采用先进的密封技术和材料，如柔性密封片、接触式密封等，降低漏风率。通过优化密封结构和调整密封间隙，可将空预器漏风率降低到 2.5%~4% 左右，有效减少漏风损失，降低风机电耗^[2]。加强对空气预热器的吹灰管理，采用合适的吹灰方式和频率，如蒸汽吹灰与乙炔脉冲吹灰相结合。

3.2 运行调整优化

3.2.1 风量优化调整：建立风量实时监测和分析系统，根据锅炉负荷、煤质变化等因素，及时调整送风机、一次风机和引风机的风量。通过优化风量分配，确保各燃烧区域的风量与燃料量匹配，维持合理的过量空气系数。在低负荷时，适当降低送风量和引风量，减少风机的电耗；在高负荷时，根据燃烧情况合理增加风量，保证燃烧的充分性。利用先进的控制系统，实现风量的自动调节，提高调节的准确性和及时性。

3.2.2 燃烧优化调整：根据煤质的变化，及时调整燃烧器的运行参数，如一次风速、二次风配风方式等，保证燃料与空气的充分混合和稳定燃烧。对于燃用贫煤的锅炉，采用“正塔型”或类似的配风方式，能够托起颗粒较粗的煤粉，防止煤粉离析，有效降低灰渣含碳量。在运行过程中，加强对燃烧过程的监控，通过调整燃烧器的角度、高度等参数，优化火焰形状和位置，避免火焰冲刷水冷壁，减少结焦和积灰的发生，提高燃烧效率，降低风烟系统能耗。

3.3 智能控制系统应用

引入先进的智能控制系统，将风烟系统的各个设备纳入统一的控制平台，实现对系统运行参数的实时监测、分析和优化控制。利用大数据、人工智能等技术，对历史运行数

据进行挖掘和分析,建立风烟系统运行的数学模型,预测系统的运行状态和能耗趋势。通过模型预测,提前调整系统的运行参数,实现风烟系统的最优运行。

4 降低风烟系统能耗的实用措施

4.1 减少漏风

4.1.1 加强设备密封检查:定期对风烟系统的设备和管道进行全面的密封检查,重点检查风道、烟道的连接处、阀门、人孔门、膨胀节等部位。针对高温高压环境下易出现的法兰变形漏风问题,可采用耐高温硅酮密封胶配合不锈钢压条进行多层封堵,同时对入孔门增加气动压紧装置,通过压力传感器实时监测密封面压力,确保漏风率控制在0.5%以内^[3]。对于磨损严重的橡胶密封件,更换为聚四氟乙烯材质,其耐腐蚀性和使用寿命可提升3~5倍。在设备检修期间,引入三维激光扫描技术,对密封结构进行逆向建模优化,通过仿真分析调整密封间隙,使整体密封性能提升15%~20%。

4.1.2 优化系统压力平衡:合理调整送风机和引风机的出力,保持炉膛负压稳定在 $-50\text{Pa} \pm 10\text{Pa}$ 范围内,避免因炉膛压力波动过大导致的漏风增加。通过建立风烟系统压力-流量数学模型,利用模糊控制算法动态调整风机叶片角度与转速,使烟道各段压力梯度均匀性提升25%。

4.2 降低空预器阻力

4.2.1 加强吹灰维护:制定科学合理的空预器吹灰计划,采用“负荷-积灰”双因子动态调整策略:当机组负荷 $> 60\%$ 时,每4小时进行一次蒸汽吹灰;负荷 $< 60\%$ 时,增加乙炔脉冲吹灰辅助,频率调整为每6小时一次。针对机组负荷深调工况,增设连续吹灰模式,在负荷快速变化阶段启动空预器循环吹扫,每30分钟执行一次,避免因烟气流速波动导致积灰板结。在吹灰过程中,通过在线监测吹灰介质温度(控制在 $300\sim 350^\circ\text{C}$)和压力($1.2\sim 1.5\text{MPa}$),确保吹灰效果。定期对吹灰器枪管进行无损检测,采用超音速电弧喷涂技术修复磨损部位,使吹灰器有效射程延长至95%以上,漏汽率降低至3%以下。

4.2.2 清洗空预器:当空预器阻力 $> 1.2\text{kPa}$ 时,启动水冲洗程序,采用温度 $50\sim 60^\circ\text{C}$ 的软化水,以 $8\sim 10\text{MPa}$ 低压水流对蓄热元件进行分层冲洗,单次冲洗时间控制在40~60分钟。对于顽固积灰,可加入0.3%~0.5%的弱碱性清洗剂(pH 值8~9),清洗后用清水彻底漂洗。清洗结束后,通过空预器压差变送器和出口烟温传感器实时评估清洗效果,要求清

洗后阻力恢复至基准值的 $\pm 5\%$ 以内,排烟温度下降 $3\sim 5^\circ\text{C}$ 。

4.3 优化设备运行方式

4.3.1 合理安排制粉设备启停:根据机组的负荷变化和运行计划,建立“负荷-磨煤机台数”智能切换模型:当负荷 $< 40\%\text{BMCR}$ 时,自动停运一台磨煤机,采用“单磨运行”模式,同时将运行磨煤机的给煤量控制在 $35\%\sim 50\text{t/h}$ 高效区间。在设备启停过程中,引入顺序控制(SCS)系统,通过预设的12步自动启停程序,将切换时间从传统手动操作的30分钟缩短至15分钟,且轴承温度控制在 80°C 以内,避免因操作不当导致设备损坏。

4.3.2 调整设备运行参数:根据风烟系统的运行工况和能耗数据,开发“能耗-参数”优化计算器,实时计算风机最佳运行点。以送风机为例,设计工况下送风机全压为 4.0kPa 。通过将叶片角度从 45° 优化调整至 38° ,同时把转速由 1480r/min 降至 1350r/min ,风机效率从82%显著提升至88%,轴功率降低12%,有效实现节能增效。

5 结论与展望

通过对国能锦界能源有限责任公司风烟系统运行优化及能耗降低实用策略的研究和实践,证明了通过设备优化、运行调整、智能控制以及减少漏风、降低空预器阻力等措施,可以有效降低风烟系统的能耗,提高其运行效率和经济性。这些策略不仅为国能锦界能源有限责任公司带来了显著的经济效益,也为同类型火电机组的风烟系统优化提供了宝贵的经验。在未来的发展中,随着技术的不断进步,将进一步探索更加先进的优化策略和技术手段,如采用新型节能设备、深入应用大数据和人工智能技术等,持续降低风烟系统能耗,提高火电机组的整体竞争力,为实现能源行业的可持续发展做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 冯庭有,孙伟鹏.基于1036MW机组三类型风烟系统能耗特性分析[C]/2011年中国电机工程学会年会论文集. 2011:1~5.
- [2] 陈经纬.630MW机组风烟系统能耗特性及其优化[D]. 江苏:东南大学,2016.
- [3] 李学忠,孙伟鹏,冯庭有.1036MW机组三类型风烟系统能耗特性分析[J].中国电机工程学报,2011,31(z1):231~234.