

电站锅炉燃烧优化调整分析

张海水

中铝山东有限公司热电力厂 山东 淄博 255051

摘要: 本文围绕电站锅炉燃烧优化展开, 阐述燃烧系统基础理论, 如燃料特性、空气动力场对燃烧的影响。介绍关键技术路径, 涵盖燃料供给、空气动力场及运行参数优化。说明实施方法, 包括诊断性试验、数值模拟及智能控制技术。探讨未来技术融合及系统级优化方向, 旨在提升燃烧效率、降低污染, 助力电站锅炉高效、环保运行。

关键词: 电站锅炉; 燃烧优化; 燃料供给; 空气动力场; 智能控制

引言: 电站锅炉作为能源转换核心设备, 其燃烧效率直接影响能源利用与环境保护。随着能源结构调整与环保要求提升, 传统燃烧方式面临效率低、排放高等挑战。优化燃烧过程需综合考虑燃料特性、空气动力场及运行参数, 通过技术手段实现高效清洁燃烧。本文从理论出发, 探讨燃烧优化关键技术路径与实施方法, 为电站锅炉运行提供理论支持与实践指导。

1 电站锅炉燃烧系统基础理论

1.1 燃烧过程核心要素

燃料特性决定燃烧的初始条件与进程走向。挥发分作为燃料受热后率先释放的可燃成分, 其含量高低直接影响着火难易程度。高挥发分燃料在炉膛内受热时, 快速析出大量可燃气体, 这些气体在较低温度下即可与氧气混合并着火, 形成稳定火焰面, 释放的热量促使燃料中焦炭颗粒快速升温、点燃, 加快整体燃烧速率^[1]。低挥发分燃料则因挥发分析出温度高、速率慢, 需更长时间预热, 着火延迟明显, 易导致火焰不稳定甚至熄灭。灰分虽不参与燃烧化学反应, 却以物理形态影响燃烧过程。在高温环境中, 灰分颗粒随烟气流, 部分熔点较低的灰分在接触受热面时会黏附沉积, 形成结渣层。结渣不仅阻碍热量向工质传递, 降低换热效率, 还会改变炉内温度场分布, 造成局部过热或过冷。结渣积累可能堵塞烟道, 破坏炉内通风工况, 干扰空气与燃料的混合, 影响燃烧效率。而燃料热值作为能量转化的量化指标, 直接决定单位质量燃料完全燃烧释放的热量, 与锅炉出力、热效率呈正相关。空气动力场与湍流混合共同构建高效燃烧环境。空气动力场通过设计燃烧器布置形式与喷口角度, 调控炉内气流运动轨迹。切圆燃烧方式下, 四角喷口射出的气流在炉膛中心形成旋转气流, 使燃料颗粒在离心力与重力作用下螺旋下降, 延长在炉内的停留时间; 对冲燃烧则凭借前后墙燃烧器的直射气流, 实现热量均匀分布。湍流混合在微观尺度上打破燃

料与空气的边界层, 剧烈的涡旋运动加速氧气向燃料表面扩散, 使燃料与氧气充分接触, 促进燃烧反应向更完全的方向进行。

1.2 燃烧优化目标体系

热效率最大化与污染物排放最小化存在内在矛盾与平衡空间。提升热效率需确保燃料充分燃烧, 充足的氧气供应与高温环境是必要条件, 但高温富氧氛围易引发氮氧化物生成。通过分级燃烧技术可调和这一矛盾: 燃烧初期供给不足量空气, 使燃料在缺氧环境下不完全燃烧, 降低火焰温度峰值; 后续阶段补充空气使燃料燃尽。这种分步供风策略既保证燃料充分释放热量, 又抑制氮氧化物生成, 实现能量高效利用与环保目标的统一。燃烧稳定性与设备寿命优化紧密相连。稳定的燃烧工况能避免火焰脉动引发的炉膛振动, 减少对水冷壁、过热器等受热面的机械应力冲击, 防止金属结构因疲劳产生裂纹。合理控制燃烧温度, 避免局部超温现象, 可有效防止高温腐蚀和结渣问题。优化燃烧器结构设计, 采用低氮稳燃型燃烧器, 能改善炉内流场分布, 在维持火焰稳定的同时, 降低燃烧产物对设备的侵蚀, 延长设备使用寿命, 保障锅炉长期可靠运行。

2 燃烧优化调整关键技术路径

2.1 燃料供给系统优化

煤粉细度与浓度分布的动态调控策略是提升燃烧效率的核心。通过调节磨煤机运行参数, 改变研磨力度与分离精度, 可使煤粉粒径适配不同工况。当燃烧需求变化时, 优化分离器结构与工作模式, 能有效控制煤粉颗粒尺寸, 确保其在炉膛内快速着火、充分燃尽^[2]。借助特殊设计的分配装置与管道布局, 可平衡各燃烧器入口煤粉浓度, 避免局部过浓或过稀现象, 使燃烧过程更稳定、高效。配风方式对燃烧均匀性的影响机理基于空气与燃料的混合过程。一次风为煤粉输送与初期燃烧提供动力, 二次风补充燃烧中后期所需氧气, 三次风则调节

火焰形态与中心位置。不同风源的流量与速度配比,直接决定燃料与空气的接触面积和混合效率。合理分配各股气流,能促使燃料在炉膛内均匀分布、充分反应,减少因局部缺氧或富氧导致的燃烧不充分问题,保障燃烧过程稳定持续。

2.2 空气动力场优化

二次风配比与旋流强度的协同设计是强化燃烧的关键环节。二次风按功能分为辅助风、燃尽风等,各部分风量的合理分配直接影响燃烧进程。增加辅助风占比,可强化燃料与空气的早期混合,加速挥发分燃尽;精准控制燃尽风的供给,能确保焦炭在后期充分反应。旋流强度通过调节燃烧器叶片角度进行控制,适度增强旋流可在炉膛中心形成回流区,卷吸高温烟气加热新入炉燃料,稳定火焰。但旋流强度过大,会导致气流冲刷水冷壁,加剧设备磨损。因此,需根据燃料特性和锅炉负荷,反复调试二次风配比与旋流强度组合,以达到最佳燃烧效果。燃烧器角度与层间配风对火焰形态调控作用显著。燃烧器上下倾角的调整,可改变火焰在炉膛内的垂直位置,上倾火焰能提升炉膛出口烟温,下倾则有助于降低受热面结渣风险。前后倾角的微调,可优化切圆直径与位置,避免气流刷墙。对于多层布置的燃烧器,层间配风通过差异化调节各层风量,改变火焰轴向温度分布。增加下层风量、减少上层风量,可使火焰中心下移,提高炉膛下部温度,促进难燃燃料着火;反之,则能降低炉膛出口温度,防止过热器超温,确保火焰充满度和燃烧稳定性。

2.3 运行参数动态匹配

过量空气系数与燃烧温度的耦合优化是平衡燃烧效率与热损失的关键。过量空气系数直接影响燃料燃烧的完全程度,而燃烧温度决定着热量释放效率与设备安全性。根据燃料特性与负荷变化,精确调整过量空气系数,在保证燃料充分燃烧的同时,维持合适的燃烧温度。避免因空气不足导致不完全燃烧,或因空气过量降低炉膛温度、增加排烟热损失,实现燃烧效率的最大化。负荷变化下风煤比的自适应调整机制是保障系统稳定运行的重要手段。当机组负荷上升时,按照预设比例同步增加给煤量与送风量,确保燃料与空气充分混合、完全燃烧,满足发电需求;当负荷下降时,及时减少风煤供给,防止燃料堆积或空气过剩,维持燃烧过程稳定,避免因参数不匹配引发燃烧波动或设备故障。

3 燃烧优化调整实施方法

3.1 诊断性试验技术

诊断性试验通过捕捉燃烧过程关键参数的内在联

系,为优化调整提供直观依据。飞灰含碳量与炉膛出口氧量的关联分析是判断燃烧充分程度的重要手段。炉膛出口氧量反映供风的充足性,氧量不足时,氧气难以渗透至燃料颗粒内部,致使大量碳颗粒无法完全燃烧,以飞灰形式排出;氧量过高则会稀释火焰温度,降低燃烧强度,同样导致燃尽率下降。通过逐步改变送风量,监测飞灰含碳量与氧量的对应变化,可绘制二者关系曲线,据此确定既能保证燃料充分燃烧,又不会造成过量空气热损失的最佳氧量区间^[3]。火焰温度场与 NO_x 生成浓度的空间分布诊断聚焦于污染物生成机制。 NO_x 的生成与温度、氧气浓度密切相关,高温富氧区域极易成为 NO_x 的主要生成源。利用红外测温设备扫描炉膛空间,获取火焰温度分布云图,同步使用多点采样装置采集不同区域的烟气样本,分析 NO_x 浓度。对比温度场与 NO_x 浓度分布,若发现某局部高温区域对应 NO_x 浓度异常升高,即可判断该区域为污染生成热点。针对此类区域,可调整对应位置燃烧器的配风角度或燃料供给量,通过降低局部温度、改变氧浓度分布,从源头上抑制 NO_x 生成。

3.2 数值模拟与CFD应用

数值模拟依托计算流体力学(CFD)技术,构建燃烧过程的虚拟仿真环境。燃烧模型需整合湍流流动、传热传质与化学反应等多物理场耦合机制。湍流运动通过雷诺时均方程或大涡模拟方法描述,捕捉气流的复杂涡旋结构;传热传质方程求解热量与物质在流场中的扩散规律;化学反应动力学方程则刻画燃料与氧气的氧化反应过程。将炉膛空间划分为细密的计算网格,对每个网格内的速度、温度、组分浓度等参数进行迭代计算,实现对燃烧过程的全维度模拟。参数敏感性分析通过系统性改变模型输入参数,量化各因素对燃烧结果的影响程度。调整燃烧器喷口角度、二次风配比、过量空气系数等关键参数,观察热效率、污染物排放等输出指标的变化幅度。若发现二次风旋流强度的微小变动显著影响 NO_x 生成量,即可判定该参数为敏感变量。基于敏感性分析结果,进一步开展参数优化方向预测,在模型中模拟不同参数组合下的燃烧工况,生成多组优化方案。这些方案可直观呈现各参数调整对燃烧性能的提升效果,为实际操作提供明确的优化路径,减少现场试验的试错成本。

3.3 智能控制技术融合

基于机器学习的燃烧状态预测模型利用历史运行数据挖掘潜在规律。收集燃料特性、运行参数、燃烧效率及污染物排放等多维数据,构建包含神经网络、随机森林等算法的预测模型。模型通过训练过程学习数据间的复杂映射关系,当输入实时运行参数时,能够快速预测

未来时段的燃烧状态。例如,在锅炉负荷即将变动前,模型可预判火焰稳定性、 NO_x 排放趋势等指标的变化,提前识别燃烧异常风险,为操作人员预留调整时间。自适应控制策略针对动态工况实现精准调控。当锅炉负荷发生变化,系统依据预测模型输出的状态预判,自动调整风煤比、配风方式等控制参数。负荷上升时,优先增加燃料供给,同步调节一次风与二次风的风量配比,确保新增燃料充分燃烧;负荷下降时,及时减少风煤量,并优化燃烧器喷口角度,维持火焰刚性。自适应控制通过实时监测与反馈调节,动态匹配燃烧需求与设备运行状态,避免人工调节的滞后性与经验偏差,在负荷频繁波动的工况下,依然能保持稳定的燃烧效率与污染物排放水平,提升锅炉运行的智能化水平。

4 未来发展方向

4.1 技术融合趋势

人工智能与燃烧优化的深度结合将重塑电站锅炉运行模式。机器学习算法可处理海量运行数据,挖掘燃料特性、设备参数与燃烧状态间的复杂关联。通过构建深度神经网络模型,能够精准预测不同工况下的燃烧效率与污染物排放趋势,提前识别火焰不稳定、结渣风险等异常状态。强化学习技术则赋予系统自主决策能力,依据实时运行反馈动态调整风煤配比、燃烧器角度等参数,突破传统控制策略的局限性。例如,在负荷快速变化时,智能系统可迅速计算最优控制方案,减少调节延迟,保障燃烧过程稳定高效^[4]。氢能/氨能等低碳燃料燃烧技术为行业低碳转型提供新路径。氢气燃烧产物仅为水,完全消除二氧化碳排放,且其高反应活性可提升燃烧速度与热效率。但氢气着火极限宽、火焰传播速度快,易引发燃烧振荡,需重新设计燃烧器结构与气流组织方式,抑制不稳定燃烧。氨能作为零碳燃料,含氮特性使其燃烧时需解决氮氧化物生成问题,通过开发先进的分级燃烧与催化还原技术,可将氨燃烧产生的氮氧化物控制在较低水平。氨的低火焰温度与挥发性,要求优化燃烧器喷口设计,增强燃料与空气的混合效果,确保稳定燃烧。

4.2 系统级优化方向

锅炉-汽轮机协同优化打破设备独立运行局限。锅炉与汽轮机的运行参数相互影响,锅炉热输出直接决定汽轮机进气状态,而汽轮机负荷变化又反作用于锅炉燃烧需求。通过建立耦合模型,将锅炉燃烧优化与汽轮机蒸汽参数调节统筹考虑。当汽轮机负荷变动时,系统同步调整锅炉的燃料供给、配风方式以及过热器/再热器的减温水量,使蒸汽温度、压力与汽轮机需求精准匹配。优化汽轮机的进汽调节方式,根据锅炉燃烧特性调整蒸汽流量,减少因参数不匹配导致的能量损失,实现发电系统整体效率提升。全厂级能效管理平台建设整合电站全流程资源。该平台集成锅炉、汽轮机、发电机及辅助设备的运行数据,通过数据建模与分析,构建全厂能量流动模型。实时监测各环节的能效指标,分析能源转换过程中的损耗分布,识别能效瓶颈。基于分析结果,优化全厂设备运行策略,如协调锅炉燃烧优化与循环水泵、风机等辅助设备的能耗控制,平衡发电效率与厂用电率。通过预测负荷变化与能源市场价格波动,提前调整机组运行方式,在保障供电可靠性的前提下,实现全厂经济效益与能效水平的协同提升。

结束语

电站锅炉燃烧优化调整是一项系统工程,需综合运用多学科技术手段。通过燃料供给、空气动力场及运行参数的协同优化,结合诊断性试验、数值模拟与智能控制技术,可实现燃烧效率与环保目标的统一。未来,随着人工智能与低碳燃料技术的发展,电站锅炉燃烧将迈向更高效、更清洁的新阶段,为能源可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 骆绍山,魏春林.火电厂锅炉燃烧技术的优化调整研究[J].中关村,2024,(09):106-107.
- [2] 王亚军.火电厂循环流化床锅炉机组运行优化对策思考[J].流体测量与控制,2024,5(06):46-49.
- [3] 张立宗.电厂锅炉炉内低氮燃烧运行优化研究[J].装备维修技术,2023,(05):49-52.
- [4] 梁会朋,赵冠雄.燃煤电厂锅炉燃烧运行优化策略研究[J].现代工业经济和信息化,2022,12(08):236-237+258.