

# 燃煤锅炉灵活性运行下的燃烧优化方式分析

刘 军

内蒙古华电乌达热电有限公司 内蒙古 乌海 016000

**摘 要:** 燃煤锅炉灵活性运行是新型电力系统对调峰设备的核心要求,核心特征为宽负荷连续调节与负荷快速响应,对燃烧系统的稳定性、动态匹配性及效率安全性提出严格要求。本文针对该运行工况,阐述了燃料预处理、燃烧参数调整、燃烧设备运行三大优化路径,分析了燃烧稳定性不足、能源利用效率偏低、设备运行安全隐患三大关键问题,提出科学制定优化方案、实现参数动态调整、加强设备维护保养的实施要点。研究表明,系统化燃烧优化可有效解决灵活性运行带来的技术难题,实现燃烧稳定、能源高效与设备安全的协同提升,为燃煤锅炉适配电网调峰需求提供可靠技术支撑。

**关键词:** 燃煤锅炉; 灵活性运行; 燃烧优化; 方式分析

引言: 新型电力系统建设背景下, 新能源发电的间歇性、波动性对电网调峰能力提出严苛要求, 燃煤锅炉作为主力调峰设备, 灵活性运行成为适配能源结构转型的关键。其核心是实现宽负荷区间连续调节与负荷指令快速跟踪, 打破传统固定负荷运行模式, 但工况频繁切换易引发燃烧稳定性、能源效率与设备安全的矛盾。本文立足燃煤锅炉灵活性运行的特征及燃烧技术约束, 系统梳理燃烧优化路径, 剖析优化过程中存在的核心问题, 结合工程实际提出针对性实施要点, 为锅炉灵活性运行下的燃烧优化提供技术支撑, 助力提升设备运行安全性、经济性, 适配新型电力系统调峰需求, 推动电力系统高效低碳发展。

## 1 燃煤锅炉灵活性运行特征及燃烧要求

燃煤锅炉灵活性运行是现代能源体系对发电设备提出的适应性要求, 其核心特征集中体现为对负荷动态响应能力的强化。这种运行模式要求锅炉系统具备在宽负荷区间内实现连续调节的能力, 覆盖从满负荷到深度调峰工况的全范围, 同时需满足负荷指令的快速跟踪需求, 确保工况切换过程中燃烧系统的平稳过渡。这一特性对燃烧系统提出了多角度技术约束: (1) 燃烧稳定性控制成为关键技术挑战。不同负荷工况下, 炉膛内热负荷密度与气流组织发生显著变化, 低负荷运行时火焰充盈度降低, 需通过优化燃烧器结构参数与配风方式, 增强火焰根部着火稳定性, 防止因燃烧强度不足导致的熄火风险。同时, 需避免局部热负荷过高引发的结渣倾向, 通过合理分配二次风量与调整燃烧器投运组合, 维持炉膛热力场均匀性, 减少水冷壁局部过热现象。(2) 燃烧过程动态匹配要求显著提高。工况频繁切换导致燃料供给与空气配比需快速响应, 需采用分级燃烧技术与智能控

制策略, 实现风煤比的实时优化调整, 减少燃烧波动对炉膛压力与温度场的影响, 降低受热面热应力交变幅度, 延长设备使用寿命。(3) 效率与安全性的平衡优化至关重要。在保证燃烧稳定性的前提下, 需通过改进煤粉细度控制、优化炉膛出口氧量设定值等手段, 提升燃料燃尽率, 减少机械不完全燃烧损失。同时, 需控制燃烧波动范围, 避免因热负荷剧烈变化导致的锅炉部件疲劳损伤, 确保锅炉在全负荷工况下的安全经济运行<sup>[1]</sup>。

## 2 燃煤锅炉灵活性运行下的燃烧优化方式

### 2.1 燃料预处理优化

在燃煤锅炉灵活性运行模式下, 燃料预处理优化是保障燃烧过程稳定高效的基础性工作。由于负荷波动导致燃料需求量与燃烧工况持续变化, 需通过系统化预处理措施提升燃料适应性, 确保燃烧特性与运行工况动态匹配。(1) 煤质调控需建立多煤种协同配比机制。根据锅炉设计参数与负荷变化规律, 通过实验室热值分析与挥发分检测, 筛选热值梯度互补、挥发分差异适中的煤种进行科学掺配。重点控制混合燃料热值波动范围, 避免因煤质突变引发燃烧速率骤变, 导致炉膛温度场分布失衡。(2) 破碎工艺优化需实施粒径分级控制策略。采用多级破碎与筛分系统, 根据负荷等级动态调整破碎机辊距参数: 高负荷工况下, 通过减小出料粒径增大燃料比表面积, 强化着火阶段热质交换; 低负荷工况时, 适度放宽粒径上限, 防止因燃烧强度高造成炉膛出口烟温超限。(3) 混合工艺强化需构建全流程均质化体系。优化给料装置结构参数, 延长混合段停留时间, 采用交叉布料与分层给料技术, 确保燃料组分在三维空间分布均匀性, 消除因局部富氧或贫氧导致的燃烧脉动现象, 为后续燃烧过程提供稳定的基础条件。

## 2.2 燃烧参数调整优化

在燃煤锅炉灵活性运行模式下,燃烧参数的动态调整是保障燃烧稳定与高效的核心措施。由于负荷频繁波动导致燃烧工况持续变化,需根据负荷特性建立参数与工况的动态匹配机制,通过实时优化关键参数实现燃烧过程的全周期控制。(1)过量空气系数调整需遵循负荷适配原则。高负荷工况下,适当增大过量空气系数可强化燃料与氧气的混合强度,促进完全燃烧并降低CO等不完全燃烧产物生成;低负荷工况时,则需减少过量空气量以降低冷空气对炉膛温度的稀释作用,防止因温度下降导致燃烧稳定性恶化及热效率降低。(2)煤粉细度控制需与负荷变化协同优化。负荷降低时,通过减小煤粉粒径增大比表面积,可缩短着火延迟时间,维持低负荷工况下的燃烧稳定性;负荷升高时,适当增大煤粉粒径可减缓燃烧速率,避免局部热负荷过高引发受热面结渣及高温腐蚀问题。(3)燃烧温度调控需通过风煤比的精准控制实现。根据负荷需求动态调整燃料与空气的配比参数,维持炉膛温度在适宜范围,防止温度过高导致灰熔点降低引发结渣,或温度过低造成燃料燃尽率下降。炉膛负压控制需保持动态平衡,通过调节引风机出力确保负压稳定,避免负压波动引发漏风或火焰外喷,保障燃烧过程的安全性及经济性<sup>[2]</sup>。

## 2.3 燃烧设备运行优化

在燃煤锅炉灵活性运行模式下,燃烧设备运行优化是提升燃烧效能、保障负荷动态响应的核心环节。燃烧设备作为燃料能量释放的关键载体,其运行状态直接影响燃烧稳定性与热效率,需针对燃烧器、炉膛、省煤器等核心部件实施差异化优化策略。(1)燃烧器优化需聚焦流场调控与负荷适配。通过调整燃烧器喷口角度与布置间距,优化炉内火焰分布形态,避免局部热负荷过高引发结渣;结合负荷变化动态分配各燃烧器燃料与空气供给量,采用分级配风技术实现低负荷工况下的火焰稳定,防止因风量不足导致熄火或风量过剩冲刷火焰。(2)炉膛优化重点在于气流组织与传热强化。通过调整二次风风速与旋流强度,构建合理的空气动力场,促进燃料与氧化剂的充分混合;采用声波清灰或蒸汽吹灰技术减少受热面积灰,维持炉膛传热均匀性,避免因局部过热导致材料蠕变加速。(3)省煤器等受热面优化需兼顾清洁度与换热效率。建立定期吹灰与在线监测联动机制,及时清除管壁沉积物,防止因传热恶化引发炉膛出口温度波动;通过调整旁路烟道挡板开度,实现受热面换热面积的动态调节,满足不同负荷工况下的热量分配需求。

## 3 燃煤锅炉燃烧优化过程中存在的问题

### 3.1 燃烧稳定性问题

在燃煤锅炉灵活性运行模式下,燃烧稳定性问题成为制约安全高效运行的关键因素。负荷的快速大幅波动直接导致炉内热负荷与气流组织剧烈变化,引发燃料着火特性改变、火焰传播速度波动等连锁反应,具体表现为着火延迟时间延长、火焰闪烁频率增加,甚至出现局部区域燃烧中断等异常工况。针对该问题,燃烧优化需从两个维度构建稳定性保障体系:(1)强化燃料适应性控制,通过实施煤质在线检测与智能掺配技术,确保不同热值、挥发分特性的煤种混合后仍能维持稳定的着火温度与燃烧速率;(2)建立动态参数调控机制,基于负荷变化特性开发自适应控制模型,实时优化过量空气系数、煤粉细度等关键参数,维持最佳风煤比,防止因配风失衡导致火焰偏移或脉动,确保炉膛空间内火焰分布均匀性与温度场稳定性<sup>[3]</sup>。

### 3.2 能源利用效率问题

在燃煤锅炉灵活性运行中,能源利用效率优化面临负荷动态变化的复杂挑战。负荷频繁波动易引发燃烧组织失衡,导致燃料燃尽率下降、排烟热损失增加及化学不完全燃烧损失扩大,直接影响能源转化效能。优化过程中需构建稳定性与效率的协同控制机制:(1)避免为稳定燃烧而过度增大过量空气系数,防止过量冷空气降低炉膛温度并增加排烟热损失;(2)需防止为追求效率过度压缩风量导致燃烧缺氧,引发机械不完全燃烧损失。应通过风煤比在线优化、燃烧器分级配风调整及受热面传热强化等措施,在维持火焰稳定性的基础上,实现燃料化学能向热能的高效转化,降低各项热损失占比。

### 3.3 设备运行安全问题

在燃煤锅炉燃烧优化过程中,设备运行安全是必须坚守的底线原则。优化措施若不当实施,可能引发炉膛高温结渣、受热面低温腐蚀及设备部件异常磨损等安全风险。需通过多维度控制策略保障设备安全:(1)通过精准调控燃烧温度与火焰中心位置,避免局部过热导致灰熔点降低引发结渣;(2)优化二次风配比与气流组织,防止烟气中硫氧化物在低温受热面凝结造成腐蚀;定期开展设备状态监测与维护,结合燃料特性调整破碎粒度,减少煤粉颗粒对金属部件的冲刷磨损。(3)需建立炉膛压力、烟气温度等关键参数的实时监控与预警机制,确保设备在优化调整后始终处于安全运行区间。

## 4 燃煤锅炉燃烧优化的实施要点

### 4.1 科学制定优化方案

科学制定燃煤锅炉燃烧优化方案是保障优化效果的关键前提。方案制定需以锅炉本体特性为基础,充分考

量锅炉型号、设计参数及结构特点,结合其灵活性运行的技术要求,确保优化措施与设备工况相匹配<sup>[4]</sup>。需通过系统性诊断明确当前燃烧系统存在的核心问题,针对不同负荷工况下的燃烧稳定性、热效率、污染物生成等关键指标进行量化分析,识别出如低负荷燃烧失稳、高负荷结渣倾向、部分负荷效率衰减等具体缺陷。需结合燃料特性开展针对性优化,根据煤质挥发分、灰分、硫分等参数,确定燃料预处理工艺、磨煤机出口粒度控制、配风方式调整等具体技术路径。在优化措施选择上,需综合评估技术可行性、设备改造难度及运行维护成本,优先采用成熟可靠的优化手段,避免因过度追求性能提升导致投资回报周期过长,确保优化方案在满足灵活性运行负荷波动需求的同时,实现技术经济性的最佳平衡。

#### 4.2 实现参数动态调整

灵活性运行模式下,燃煤锅炉燃烧参数的动态调整是实现高效稳定燃烧的核心环节。由于负荷需求呈现高频次、大幅度的动态变化特性,燃烧系统必须摒弃传统固定参数运行模式,构建基于负荷响应的参数自适应调节机制。具体而言,需通过机理分析与数据建模建立负荷与关键燃烧参数的动态映射关系,明确不同负荷区间下过量空气系数、煤粉细度、风煤比等参数的优化取值范围。配置先进的参数监测与控制系统,利用高精度传感器实时采集炉膛温度、氧量、烟气成分等关键参数,通过闭环控制算法实现参数的自动修正。当负荷变化时,系统可快速联动调整燃料供给速率、一次风/二次风配比及磨煤机运行参数,确保燃烧过程始终处于最佳工况。同时,需建立参数偏差预警机制,对异常波动进行及时干预,防止因参数失调引发的燃烧失稳或效率劣化问题。

#### 4.3 加强设备维护保养

燃烧设备状态的可靠性是保障燃烧优化效果的前提条件,需建立系统化的设备维护管理体系。针对燃烧器、炉膛、受热面等核心设备,应制定分级维护策略:每日巡检重点排查燃烧器喷口积碳、炉膛水冷壁结渣及受热

面磨损情况,及时清理影响气流组织的沉积物;每周对燃料预处理系统进行功能测试,检查破碎机齿辊间隙、给料机流量稳定性及混合装置均匀性,确保燃料粒度分布与成分符合设计要求。对于监测设备,需实施比对校准机制,定期用标准气体对氧量分析仪、温度传感器等关键仪表进行溯源校验,保证监测数据精度满足控制需求。应建立设备劣化趋势分析模型,通过历史数据挖掘识别易损件更换周期,提前储备备品备件,避免因突发故障导致燃烧工况恶化。通过全生命周期的设备状态管理,为燃烧参数动态调整提供硬件支撑<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

综上所述,燃煤锅炉灵活性运行是适配新型电力系统调峰、推动能源结构转型的必然选择,燃烧优化是化解工况波动引发各类矛盾的核心手段。本文梳理了灵活性运行特征及燃烧要求,明确了燃料、参数、设备三大优化路径,剖析了优化过程中的关键问题并给出实施要点,形成了完整的燃烧优化思路。燃烧优化是系统工程,需兼顾设备特性、燃料品质与运行工况的动态匹配,通过科学方案、精准调控与常态化维护,实现宽负荷区间安全高效运行。未来需结合智能化技术深化参数调控与设备监测,持续提升优化精准度,为燃煤锅炉灵活性运行提供更高效的技术保障,助力电力系统高质量发展。

#### 参考文献

- [1]孟军.燃煤锅炉燃烧优化及节能技术探析[J].电力设备管理,2024,(24):255-257.
- [2]刘昌旭.简析电厂锅炉燃烧运行优化策略[J].大众标准化,2024,(04):118-120.
- [3]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.
- [4]张二波.燃煤电厂锅炉运行调试与优化措施研究[J].内蒙古煤炭经济,2021,(11):21-22.
- [5]许西建.燃煤电厂锅炉燃烧运行优化策略探讨[J].通讯世界,2023,30(5):76-78.