

锅炉燃烧优化技术对电厂热能动力效率的影响研究

崔永康 程俊翔

新疆华电高昌热电有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6731

[摘要] 在全球能源需求持续增长与“双碳”目标约束的背景下,提高电厂热能动力系统的能源利用效率,逐渐成为能源行业可持续发展的核心。而在对锅炉燃烧优化技术的应用过程中,基于燃料配比、空气过量参数等关键参数的掌控,可有效实现对电厂热能动力效率的提升。基于此,本文就智能燃烧控制系统与多目标优化算法在提高锅炉运行效率中的影响展开研究分析,旨在为电厂节能减排和智能化升级提供必要的参考借鉴。

[关键词] 锅炉; 燃烧技术; 电厂; 热能动力

中图分类号: TK22 文献标识码: A

Research on the Impact of Boiler Combustion Optimization Technology on Power Plant Thermal Power Efficiency

Yongkang Cui Junxiang Cheng

Xinjiang Huadian Gaochang Thermal Power Co., Ltd.

[Abstract] Against the backdrop of continuously growing global energy demand and the constraints of "dual carbon" targets, improving the energy utilization efficiency of power plant thermal power systems has gradually become the core of sustainable development in the energy industry. In the application of boiler combustion optimization technology, the control of key parameters such as fuel ratio and excess air parameters can effectively improve the thermal power efficiency of power plants. Based on this, this paper studies and analyzes the impact of intelligent combustion control systems and multi-objective optimization algorithms on improving boiler operating efficiency, aiming to provide necessary reference for energy conservation, emission reduction, and intelligent upgrading of power plants.

[Key words] boiler; combustion technology; power plant; thermal power

锅炉是热能转换的核心设备,其燃烧效率直接影响到电厂整体热效率和运行成本。但传统锅炉燃烧过程受燃料特性、配风等诸多问题的影响,从而导致热损失增加、污染物排放超标,严重制约着能源利用效率的提升。而锅炉燃烧优化技术的应用,可通过动态调整燃烧参数、优化燃烧组织等方式,以实现热效率与环保性能的协同提升,从而为电厂高效清洁运行提供技术性保障。

1 锅炉燃烧优化技术概述及传统燃烧局限性

1.1 锅炉燃烧优化技术的概述

锅炉燃烧优化技术是指对燃煤、燃气等锅炉设备,通过调控其燃烧参数、改进燃烧方式并引入智能化手段,以实现热能转化效率的提升。锅炉燃烧优化技术的核心在于精准匹配燃料特性和燃烧工况,如根据燃料热值、挥发分、灰分等参数动态调整配分的比例,并采用分层燃烧、浓淡燃烧等技术以减少过量空气系数的波动性,以更好地促使燃料在炉膛内形成均匀的温度场

与氧浓度场,从而降低机械不完全燃烧损失与化学不完全燃烧损失^[1]。同时,锅炉燃烧优化技术可集成低氮燃烧策略,通过分级燃烧以及再燃烧等方式,能有效抑制热力型与燃料型生成的氮氧化物,并结合选择性催化还原脱硝系统,可促使氮氧化物排放浓度被稳定控制在50mg/m³以内。除此之外,如若将智能控制技术引入到锅炉燃烧优化技术中,还能实现燃烧过程的实时监测与动态优化,以更好地减少结焦积灰对受热面传热性能的影响,并降低排烟热损失与风机的能耗,最终为电厂节能减排与经济运行提供关键性的技术支持。

1.2 传统燃烧局限性

对于传统锅炉燃烧方式而言,其局限性体现在配风与燃烧组织这两个环节。配风系统以固定风量分配模式为主,所以很难根据燃料特性与负荷变化进行动态调整。因此,很容易导致炉膛内出现局部缺氧区域,而燃料由于未能完全燃烧,还会产生大量的一氧化碳与氮颗粒。局部过氧所引发的火焰温度骤升,会加

速热力型氮氧化物的生成并造成较为严重的热能浪费。此外,燃烧器布置和二次风调节缺乏精准性,很容易造成火焰中心偏斜,使炉膛内的温度场分布不均,不仅会降低传热效率,还会增加爆管风险与检修频率。

2 锅炉燃烧优化技术体系分析

2.1 燃烧参数优化技术

锅炉燃烧优化技术体系以精准调控燃烧过程为核心,通过多维度参数优化实现热能转换效率与环保性能的协同提升。其中,燃烧特性适配技术则通过实时监测燃料热值、挥发分、灰分等关键性参数,并结合动态配比算法,以有效调整出不同煤种与燃料的混合比例,以更好地确保燃烧稳定性与燃尽率^[2]。例如,对于具有挥发性的燃料,可采取提前供风的方式,以最大限度促进这类燃料的挥发分析。但对于低热值的燃料,则可通过富氧燃烧补偿能量密度不足,避免因燃料品质波动而导致的燃烧效率下降问题。而在配风优化技术中,可聚焦于过量空气系数的精准控制,基于分层燃烧技术将一次风和二次风分层送入炉膛内,有助于形成“缺氧+富氧”的交替燃烧区,不但能有效抑制氮氧化物的生成,还能减少飞灰含碳量。此外,浓淡燃烧技术可通过燃烧器结构改造,从而使部分燃料浓相燃烧释放热量,而另外一部分则是采用“淡相燃烧法”,通过提供充足的氧气来维持燃烧的连续性,有助于更进一步提升锅炉热效率。在对燃烧温度场调控技术利用燃烧器角度调整和二次风旋流强度的优化时,需结合数值模拟构建出炉膛内的温度分布模型,并基于动态调节不同层燃烧器的出力和风速,以消除局部高温与低温的死角区,不仅能减少因温度偏差所引发的结焦、积灰外,还能延长锅炉的使用寿命。

2.2 智能控制与监测技术

在锅炉燃烧优化技术体系中,智能控制与监测技术的应用,可通过多源数据融合与智能算法驱动的方式,以实现燃烧过程的动态精准调控。在该技术下,能实现对数据的实时采集,并依托高密度传感器网络,将其部署在炉膛、烟道等关键性部位,以此获得实际火焰场温度、燃烧强度等视觉信息。而在同步监测烟气中的氧气、一氧化碳和氮氧化物等成分浓度与颗粒物参数中,还能有效构建出燃烧状态全息感知体系,这种数据的采集频率最高可达毫秒级,最终能够为决策优化提供精准的数据支撑。同时,建模与仿真环节可采用计算流体力学技术,并基于实际锅炉结构与燃料特性建立三维燃烧模型,通过模拟不同工况下的流场、温度场及污染物生成路径,量化分析过量空气系数、燃烧器角度等参数对效率与排放的影响。除此之外,在闭环控制算法层面,基于“比例+积分+微分”控制的方式,能实现燃烧参数的快速稳定跟踪,其模糊控制针对非线性、时变特性构建专家规则库外,还能以神经网络自主探索最优控制进行深度学习。这些智能监控与监测技术的应用,能有效控制锅炉热效率波动范围,实现电厂热能动力效率与环保的双重优化。

2.3 低氮燃烧与环保技术

针对锅炉燃烧优化技术体系中的低氮燃烧和环保技术,能

确保多级污染物控制以实现氮氧化物排放浓度的消减^[3]。通常情况下,分级燃烧技术可将燃烧过程划分为富燃料区和富氧区,并在主燃烧区内通过缺氧环境,以此抑制热力型氮氧化物的生成。随着燃尽区补充二次风促进燃料完全燃烧,可使氮氧化物的排放浓度大幅度降低。对于再燃烧技术而言,可进一步在主燃烧区上方设置再燃区,并喷入天然气、生物质等还原剂,能有效利用其分解产生的烃基和氮氧化物发生还原反应而生成氮气,并且还能额外消减氮氧化物的形成量。而烟气再循环技术能通过抽取部分低温烟气与助燃空气混合,以此降低燃烧区氧气浓度与火焰温度,并从源头上抑制热力型氮氧化物的生成,能有效减少燃烧强度以更好地降低燃料型氮氧化物,但在该过程中,需注意平衡其对燃烧稳定性的影响。除此之外,对于选择性催化还原技术而言,可将其作为末端治理手段,并在300~420℃范围内将其与尿素溶液喷入催化剂层,借助化学反应,能有效将氮氧化物转化为无害的氮气与水,以实现系统综合运行成本的降低,并满足超低排放标准所需。

3 锅炉燃烧优化技术对电厂热能动力效率的影响机制分析

3.1 热效率提升路径

锅炉热效率优化实践表明,燃烧系统的多维度协同调控对提升系统性能具有关键作用。在实际运行中,可发现配风策略的动态优化能够显著改善炉膛内温度场与氧浓度场的均匀性。通过实施分级燃烧与浓淡燃烧技术,配合各层燃烧器风量的实时调整,有效避免因局部缺氧导致的燃烧滞后现象,同时还能防止局部过氧引发的热量浪费。在具体操作中,可通过精确调控过量空气系数,将排烟氧量稳定控制在3%~5%的合理区间,以成功实现排烟温度降低的目标^[4]。而燃料特性适配技术的应用使不同品质燃料的动态配比成为可能,结合燃烧器结构的优化设计,包括旋流强度调节和煤粉浓缩装置的合理应用,能有效增强燃料与空气的混合效果。这种改进使碳颗粒在炉膛内的停留时间延长,燃尽率提升,其机械不完全燃烧损失与化学不完全燃烧损失均得到显著降低。针对结焦与积灰问题,可采用燃烧温度场均匀化调控技术,通过调整燃烧器角度与优化二次风旋流配比,能成功消除炉膛内局部高温区,该措施可有效降低灰熔点附近温度的持续时间,同时与吹灰系统实现智能联动。而这些改进不仅进一步减少了排烟热损失,还能降低风机能耗,形成了热效率提升的闭环效应。

3.2 经济性分析

基于锅炉燃烧优化技术对电厂热能动力效率的影响机制研究分析可知,通过燃烧效率与设备运行稳定性的协同提升,能显著改善电厂经济运行指标。而从燃料利用效率与设备运维管理双维度切入,优化技术对电厂全生命周期经济效益产生实质性影响。在燃料利用效率优化方面,燃烧参数的精准调控实现了单位发电量燃料消耗的系统性降低。配风优化与分级燃烧技术的应用,有效改善了燃料-空气混合均匀性,避免因局部缺氧导致的未完全燃烧现象,同时通过稳定过量空气系数,减少了空气过

剩引发的热能损失^[5]。同时,燃料特性适配技术则实现了不同品质燃料的动态燃烧策略调整,针对低热值煤,可通过增加燃烧器出力并优化煤粉细度,提升燃烧效率。对高挥发分煤,则通过提前供风促进挥发分快速析出,既增强了燃料适应性,又使燃尽率提升,进一步降低了燃料消耗。在设备运维成本优化方面,燃烧温度场均匀化调控技术通过消除炉膛内局部高温区,显著降低了灰渣在受热面的附着倾向。配合智能吹灰系统的按需清灰策略,使锅炉积灰厚度降低,清灰周期从每日1次延长至每周1~2次。并且,结焦抑制技术通过降低火焰中心温度波动幅度,减缓了水冷壁管壁的温度梯度,使高温腐蚀速率下降,检修频率降低,以此形成了从运行到维护的全生命周期成本优化效应。

3.3 环保效益评估

在锅炉燃烧系统的深度优化调控中,通过分级燃烧与再燃技术,能将燃烧区域划分为富燃料区与富氧区,利用缺氧环境抑制热力型氮氧化物的生成,并通过天然气或煤粉作为还原剂进行二次还原,使氮氧化物排放浓度由传统工况的200~300mg/m³降至50mg/m³以下^[6]。而燃料特性适配与配风优化技术有效促进了燃料的完全燃烧,减少了不完全燃烧产生的二氧化硫前体物,配合脱硫系统效率的提升,使二氧化硫排放浓度稳定控制在20mg/m³以下,满足超低排放标准要求。在碳减排方面,锅炉热效率每提升1.5%,标准煤耗可降低5g/kWh,以年发电量50亿kWh计,年节约标准煤2.5万吨,相应减少二氧化碳排放约6.5万吨。此外,优化技术通过抑制结焦积灰改善受热面传热性能,降低了锅炉排烟温度与风机能耗,进一步压缩了辅助设备电耗,间接减少了发电全链条的二氧化碳排放。综合碳减排潜力,能为电厂的低碳

转型提供关键技术支撑,以显著降低环境负荷,为电力行业绿色低碳发展提供了有效技术路径。

4 结语

在对锅炉燃烧技术的优化中,通过精准调控燃烧参数与优化燃烧组织等多种不同方式,可显著提升电厂热能动力系统的能源利用效率,以实现节能减排的最终目的。而随着数字孪生、边缘计算等全新技术的应用,未来锅炉燃烧优化技术必然会向着全工况自适应空盒子、多协同协同优化的方向不断演进,从而可进一步推动电厂热能动力系统的发展。

[参考文献]

- [1]胡蕴恒.浅谈电厂锅炉应用在热能动力方面的发展前景[J].大陆桥视野,2023,(01):127-128.
- [2]史毅.电厂热能动力锅炉燃料及燃烧研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(13):135-137.
- [3]李效奎.电厂热能动力锅炉燃料及燃烧研究[J].中国高新科技,2022,(01):100-101.
- [4]杨小宁.火电厂热能动力工程中的节能技术研析[J].电力设备管理,2025,(08):260-262.
- [5]孙文化.电厂热能动力系统检修维护策略及其可靠性提升分析[J].电子元器件与信息技术,2025,9(03):120-122.
- [6]郭振伟.电厂热能动力装置的检修维护策略[J].清洗世界,2024,40(07):181-183.

作者简介:

崔永康(1993--),男,汉族,陕西宝鸡人,工程师,大专,研究方向:电厂热能动力。