

火力发电厂锅炉燃烧效率提升控制策略

王志春

江西赣能股份有限公司丰城发电厂, 江西 宜春 331100

[摘要]为解决火力发电厂锅炉燃烧环节燃料利用率欠佳、能耗居高不下的难题,借助智能控制系统搭建实时监测与动态调控架构,精准优化空燃配比以强化燃烧效能,同时,构建精细化燃料质量管理体系,科学掺配多元煤种稳定热值输出,并运用大数据分析技术对核心运行参数实施预测性反馈控制,保障锅炉运行的高效性与稳定性,实践表明,该方案显著降低煤耗与污染物排放,提升机组经济性能与环境适应性,为火电行业绿色低碳转型提供技术路径。

[关键词]锅炉燃烧效率;智能控制系统;空气配比优化;燃料管理;大数据调控

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16903

中图分类号: TM62

文献标识码: A

Control Strategy for Improving Combustion Efficiency of Boilers in Thermal Power Plants

WANG Zhichun

Fengcheng Power Plant of Jiangxi Ganneng Co., Ltd., Yichun, Jiangxi, 331100, China

Abstract: In order to solve the problem of poor fuel utilization and high energy consumption in the combustion process of boilers in thermal power plants, a real-time monitoring and dynamic control architecture is built with the help of intelligent control systems to accurately optimize the air-fuel ratio to enhance combustion efficiency. At the same time, a refined fuel quality management system is constructed to scientifically mix multiple types of coal to stabilize the calorific value output. Big data analysis technology is used to implement predictive feedback control on core operating parameters to ensure the high efficiency and stability of boiler operation. Practice has shown that this solution significantly reduces coal consumption and pollutant emissions, improves the economic performance and environmental adaptability of the unit, and provides a technical path for the green and low-carbon transformation of the thermal power industry.

Keywords: boiler combustion efficiency; intelligent control system; optimization of air ratio; fuel management; big data regulation

引言

在“双碳”战略深入推进的背景下,火力发电厂既要确保电力稳定供应,又需应对节能减排与效率提升的双重挑战,锅炉作为火电生产的核心设备,其燃烧效率直接关联煤耗指标与污染物排放水平,当前,部分火电机组存在燃烧控制模式粗放、能源损耗显著等问题,制约行业可持续发展,通过技术创新优化锅炉燃烧过程,提升能源利用效率,已成为火电企业实现绿色转型的关键着力点。

1 燃烧控制系统的智能化改造策略

1.1 传统燃烧控制系统的局限性

当前火电厂锅炉燃烧控制以 DCS 分散控制系统为主,其核心依赖固定控制模型与人工经验设定参数,在复杂工况下的调节能力显著受限,当机组面临负荷频繁波动或煤质显著变化时,传统控制方式因缺乏动态响应机制,难以实时优化燃烧状态,常导致燃料不完全燃烧、排烟热损失增加等问题,直接引发煤耗上升与污染物排放超标。

此外,DCS 系统的数据处理能力局限于单维度控制逻辑,无法建立炉膛燃烧状态、风煤配比、烟气参数等多变量间的动态关联模型,由于缺乏前瞻性调节能力,系统只能在燃烧异常后被动调整,导致锅炉运行效率长期处于非最优区间,难以满足“双碳”目标下的精细化控制需求。

1.2 智能控制技术提升燃烧效率的路径

随着人工智能与工业大数据技术的发展,神经网络控制、自适应控制等智能算法逐步应用于锅炉燃烧系统,此类技术通过对历史运行数据的深度挖掘,结合实时传感器反馈信息,构建多变量动态预测模型,实现对炉膛温度场、燃烧效率、负荷变化的精准辨识与动态调控,即使在煤种多变、工况复杂的场景下,智能系统仍能自动优化运行策略,维持锅炉高效稳定燃烧。

智能控制系统的核心优势体现在多维数据融合与动态优化能力:通过整合烟气成分、氧含量、炉膛热力分布等实时数据,借助大数据分析与预测算法,精准调节风煤比、给煤量、燃烧器摆角等关键参数,其自适应调节特性可快速响应燃料品质波动与负荷变化,减少人工干预频次,实现“低扰动、稳燃烧、高效率”的控制目标,为火电锅炉智能化升级提供核心技术支撑。

1.3 智能燃烧系统的实际应用成效分析

某 600MW 火电机组投用智能燃烧优化系统后,在节能降耗与环保减排领域成效斐然,运行监测数据显示,锅炉平均热效率提升 1.2%,单位发电量煤耗降低 3.5g/kWh,按年度运行时长计算,可节省标煤约 5000t,减少二氧化碳排放量超 1 万 t,系统通过实时采集燃烧器运行参数、

烟气氧含量、炉膛温度场等多维数据,经智能算法分析后动态调整燃烧策略,有效改善了燃烧均匀度,增强火焰稳定性,优化燃烧区域热负荷分布,显著降低了机组整体运行成本。

该智能系统在复杂工况适应性上表现突出,能够针对煤质变化、负荷波动等动态因素,自动优化燃烧参数配置,大幅减少人工干预次数,规避人为操作导致的效率损耗,凭借快速的响应机制与精准的控制能力,系统在确保机组安全运行的同时,持续维持锅炉高效运转,实际应用表明,智能化燃烧控制技术已成为提升火电机组性能与经济效益的核心驱动力,具备良好的技术普适性与推广价值。

2 燃料质量管理与进煤控制优化策略

2.1 煤种理化性质对燃烧效率的影响

煤炭的理化特性是决定锅炉燃烧效率的关键因素,其中热值、挥发分和灰分三项指标影响最为显著,高热值煤炭蕴含更高能量,有助于提升锅炉整体热效率;高挥发分煤种易燃且着火温度低,能够促进火焰稳定形成与均匀扩散;而高灰粉煤燃烧后产生的大量炉渣,易附着在锅炉受热面,降低热量传递效率,甚至引发受热面结渣、腐蚀等问题,威胁锅炉长期稳定运行。

在多煤种掺烧或煤质频繁波动的工况下,燃料特性的不确定性会导致火焰形态改变,影响燃烧器喷口火焰稳定性,严重时可能引发灭火、结焦或污染物超标等安全隐患,因此,精准测定各煤种热值、挥发分、灰分等参数,科学设计掺配方案,实现燃料特性与锅炉燃烧系统的良好适配,是提升燃烧效率、保障机组稳定运行的重要基础。

2.2 煤质在线监测与精准配煤技术的运用

传统煤质检测依赖人工采样与实验室化验,存在检测周期长、效率低等弊端,其滞后性导致检测结果无法及时反映进煤真实情况,在煤质频繁波动或多煤源掺烧场景下,这种检测方式极易引发燃烧控制失准,进而影响锅炉热效率与运行安全性。随着现代燃烧系统对燃料品质实时把控需求的提升,亟需更为高效精准的检测技术。

煤质在线监测系统借助高精度传感器与数据分析模块,可对煤炭热值、水分、灰分、硫分等核心指标进行实时监测,该系统能持续追踪进煤品质动态变化,一旦出现异常即刻反馈信息,为操作人员决策及燃烧控制系统调节提供即时数据支撑,有效避免因煤质突变导致的燃烧不稳定、污染物排放超标的问题。

基于在线监测获取的实时数据,精准配煤技术通过构建煤种热值预测模型与燃烧适配算法,并结合锅炉实时负荷、炉膛温度、烟气氧含量等运行参数,智能生成最优配煤方案,该技术摒弃传统经验判断模式,实现从“事后补救”到“实时预测优化”的转变,显著增强燃烧系统稳定性与能源利用效率,为锅炉运行向数字化、智能化转型筑牢技术根基。

2.3 “精细掺配+实时调控”模式优化燃烧过程

“精细掺配+实时调控”模式作为融合燃料管理与运行控制的创新策略,通过科学调配不同煤种,实现混煤热值、挥发分等参数的稳定控制,有效缓解煤质波动对燃烧稳定性的影响,这种精细化掺配方式能够增强燃料与锅炉的适配程度,优化火焰中心位置,提升着火稳定性,从根源上保障燃烧过程的连续性与可靠性,成为提升燃烧效率的基础保障。

在此基础上构建的实时调控机制,依托锅炉运行监测系统与智能控制平台,对煤质特性、负荷变化、炉膛温度、烟气含氧量等数据进行实时解析,进而动态调整给煤量、配风量及燃烧器角度,形成闭环优化控制体系,实际应用表明,该模式显著降低了结渣、结焦等异常工况发生率,提高煤炭燃尽程度,延长设备检修周期,有效提升火电机组整体运行效率与经济效益,为实现高效、稳定、低耗的生产目标提供有力支撑。

3 空气配比与燃烧风系统优化调控

3.1 空气过量系数对燃烧效率的影响机理

空气过量系数作为表征锅炉实际供氧量与燃料理论需氧量比值的核心参数,直接决定燃烧过程的充分性与系统热效率,当该系数处于较高水平时,尽管能够确保燃料完全燃烧,但过多的空气会吸收大量燃烧热能并随烟气排出,显著增加排烟热损失,导致锅炉热效率降低;反之,若空气供给不足,燃料无法获得充足氧气进行完全燃烧,将产生大量一氧化碳等可燃气体,不仅降低燃烧效率,还可能引发烟气黑度超标与污染物排放增加等问题。

对于煤粉炉,在稳定负荷工况下,将空气过量系数控制在1.1~1.3区间内,既能实现燃料充分燃烧,又可平衡能效与环保要求,系数控制失准将带来双重风险:过高会造成能源浪费,过低则威胁运行安全并加剧环境压力,通过优化燃烧控制策略,实现空气过量系数的精确调节,能够有效降低飞灰含碳量,减少腐蚀性气体生成,对提升锅炉运行经济性与稳定性、推进高效清洁燃烧具有关键作用。

3.2 各级燃烧风的作用与优化分配

锅炉燃烧风系统通常包含一次风、二次风和三次风(若配置),不同风级在燃烧过程中承担差异化功能,一次风的核心作用是输送煤粉至炉膛,并为初始燃烧提供部分氧气,其风速与风量直接影响煤粉分散度及着火稳定性;二次风则在燃烧主阶段介入,通过补充氧气和调控火焰形态,维持燃烧区域温度场均匀性;三次风(若存在)一般用于强化烟气混合或在特定区域助推燃烧。

科学分配各级风量比例是燃烧优化的关键环节,对火焰中心定位、结渣控制及 NO_x 减排具有显著影响,以典型煤粉炉为例,一次风量通常占总风量的30%~35%,二次风占比60%~65%,三次风占比则根据实际需求微量配置,风量分配需动态适配煤种挥发分、灰分特性及负荷波动,

如表 1 所示。

表 1 风类占比范围 (%)

风类	占比范围 (%)	主要作用
一次风	30~35	输送煤粉、初始助燃
二次风	60~65	维持火焰形态、补充氧气
三次风 (有时)	<5	控制局部燃烧、辅助 NO _x 控制

3.3 风机调速与氧量反馈调节优化风煤比

传统锅炉风量调节采用手动风门控制或风机定频运行模式,存在响应迟缓、调节粗放的弊端,难以适应负荷变化与煤质波动,常造成风煤配比失衡,影响燃烧效率与系统稳定性,应用风机变频调速技术后,系统可依据实时负荷自动调整风量,大幅提升调节灵敏度与精准度,同时降低风机运行能耗,减少无效能源损耗。

在此基础上,通过整合烟气氧含量实时监测数据,构建风煤比闭环反馈控制系统,一旦检测到氧含量偏离设定阈值,系统立即分析偏差原因并动态调节送风量,确保燃烧过程始终处于最佳供氧量状态,实际运行数据显示,该技术组合可使锅炉热效率提升 1%以上,氮氧化物排放量降低约 15%,有效实现燃烧优化,兼顾环保效益与经济收益,成为推动锅炉智能化控制的关键技术路径。

4 锅炉运行参数的实时监测与动态调整

4.1 关键运行参数对燃烧效率的影响

锅炉燃烧效率受多种运行参数综合作用,其中炉膛温度、烟气含氧量及锅炉负荷是核心影响因素,炉膛温度直接体现燃烧反应强度,温度偏低易导致燃料不完全燃烧,温度过高则可能引发炉管超温、受热面结渣等问题,维持适宜且稳定的炉膛温度,是保障高效燃烧、延长设备寿命的必要条件。

烟气含氧量作为衡量空气过量系数的关键指标,可直观反映燃烧过程供氧合理性,含氧量过高意味着过量空气带走大量热量,增加排烟热损失;含氧量过低则导致供氧不足,造成不完全燃烧,此外,锅炉负荷变化直接改变燃料与空气需求比例,运行中需及时调整相关参数,避免因调节滞后导致热效率下降或运行工况波动。

4.2 工业互联网与大数据分析助力智能调节

伴随“工业互联网+”技术的深入应用,火力发电厂逐步构建起以智能传感网络、高速通信链路和边缘计算单元为架构的运行监控体系,该体系可对锅炉数百项核心运行参数进行毫秒级高频采集与可视化呈现,为智能决策提供海量数据基础。

依托大数据分析技术,能够建立锅炉运行的多维度数

学模型,挖掘参数间的潜在关联规律,通过融合历史运行数据与实时监测信息,系统可精准预测锅炉运行趋势,并借助自学习算法持续优化控制策略,当检测到负荷快速上升趋势时,系统可提前自主调节给煤量与送风量,有效规避传统控制的响应延迟问题,显著提升控制精度与系统运行稳定性,为锅炉高效燃烧提供数据驱动的决策支持。

4.3 构建“预测—诊断—调控”一体化运行机制

传统锅炉运行管理模式高度依赖人工经验判断,缺乏前瞻性预警与主动调控能力,往往在故障发生或效率下降后才进行被动处置,“预测-诊断-调控”一体化运行机制的引入,彻底革新了这种局面,系统通过对运行参数的时序分析,预判锅炉潜在异常或效率衰退风险。

确诊问题后,调控模块基于优化算法联动控制系统,自动调节给煤量、送风量、燃烧器摆角等关键参数,形成闭环控制回路,实际应用表明,该机制可减少超 20%的人工干预频次,大幅提升锅炉运行稳定性,同步实现能耗降低与响应加速,保障锅炉持续运行于高效热效率区间,成为火电企业智能化转型的重要技术路径。

5 结语

通过对锅炉燃烧全流程的系统性优化,涵盖智能燃烧控制系统升级、燃料精细化管理、空气配比精准调节以及运行参数动态监控等关键环节,能够显著提升火电厂锅炉的燃烧效率,有效降低能源消耗与污染物排放,这些优化策略的实施,不仅强化了锅炉运行的安全可靠,更为火电行业实现节能降碳、绿色发展目标提供了坚实的技术保障,随着智能化技术的持续创新突破,锅炉燃烧控制将向更高精度、更高效率方向迈进,有力推动火电产业的高质量可持续发展。

【参考文献】

- [1]曹昊,高宇,彭彬彬,等.基于余热回收的火力发电厂热力系统节能设计[J].电气时代,2024(12):57-60.
- [2]黄蓬阳.火力发电厂锅炉节能降耗的对策与措施探究[J].科技与创新,2019(16):85-86.
- [3]刘成鹏.火力发电厂锅炉燃烧效率优化策略研究[J].造纸装备及材料,2025,54(2):100-102.
- [4]曹一峰.火力发电厂锅炉节能降耗策略[J].中阿科技论坛(中英文),2021(3):52-54.
- [5]王誉仁.火力发电厂锅炉燃烧效率与环保性能优化措施[J].造纸装备及材料,2025,54(2):97-99.

作者简介:王志春(1992.9—),男,南昌大学,能源与动力工程。