

锅炉燃烧优化对电厂集控运行稳定性的影响研究

郜湛

国能〈绥中〉发电有限责任公司

【摘 要】本研究旨在探讨锅炉燃烧优化对电厂集控运行稳定性的影响，通过深入分析锅炉燃烧系统工作原理、燃烧优化技术及其应用，并考察这些技术如何提升电厂运行的整体稳定性。文章还探讨了电厂运行稳定性的关键衡量指标，以及燃烧优化在实际操作中所面临的挑战与相应的调整策略。通过国内外成功案例的比较分析，本文旨在为电厂运行的优化提供科学依据和实践指导。

【关键词】锅炉燃烧优化；电厂运行稳定性；燃烧系统；监控；案例分析

引言

电力系统作为现代社会的重要基础设施，其稳定运行是保障经济和社会活动正常进行的必要条件。锅炉作为电厂的核心部件之一，其燃烧系统的效率直接关系到电厂能效和运行安全。近年来，随着技术的发展，各种燃烧优化技术被广泛应用于提高锅炉效率，并确保了电厂集控系统的稳定运作。本文从工作原理、应用技术、实践案例等角度系统分析了锅炉燃烧优化技术对提升电厂稳定性的积极作用。

一、锅炉燃烧优化的原理及其对电厂运行稳定性的重要性

（一）锅炉燃烧系统的工作原理

锅炉燃烧系统的核心作用是将燃料有效转化为热能，确保蒸汽生成过程中能量的稳定释放与传递，该系统涵盖了燃料的输送、分配、点火、控制与废气处理多个关键步骤，其中，每一环节的精确协调是维护电厂整体运行平稳性的基础。热能生成的第一阶段从燃料的选择开始，不同种类的燃料（如煤炭、天然气等）在燃烧特性上有着显著差异，会影响燃烧效率和可控性。设计合理的燃料供应系统能够确保燃料以恒定且合适的速度进入燃烧室，在高温下迅速、完全地燃烧，释放出大量的热量。

燃料燃烧过程中，过量或不足的空气都会降低燃烧效率，增加有害物质的排放，并可能导致燃烧器件的不稳定工作或损坏，通过使用先进的风量控制技术，如变频风机及自动调节阀门，可以达到精确的空燃比调节，优化燃料与空气的混合程度，实现高效且环保的燃烧。而且燃烧过程需要布置实时

监测系统如烟气分析仪和温度传感器等，连续反馈燃烧行为的数据，帮助操作者调整控制参数，使燃烧过程在最优条件下进行^[1]。这些策略的实施能够提升能量利用率，强化系统对外部变化的适应能力和内部调节的精确度。综合来看，锅炉燃烧系统的设计、通过高效的燃料处理，精确的空燃比控制以及先进的监测和反馈机制，可以实现燃烧过程的稳定并最大化热能的转换效率。这一切都是确保电厂安全、经济及环保运行的基础，展示了现代能源设备管理中技术与创新的融合应用。

（二）燃烧优化技术的类型与应用

在现代电厂集控系统中，锅炉燃烧优化技术直接影响着热效率和运行的稳定性，针对不同的燃料类型和燃烧环境，技术的发展催生了多样化的优化手段，例如可变频驱动（VFD）技术使风机和水泵的运行速度根据实际需要调节，以优化空气和燃料的比例，从而达到理想的燃烧效率。而智能燃烧管理系统通过集成高级传感器网络和实时数据分析，能够即时调整燃烧条件，响应负荷变化和燃料品质波动。这类系统可以提高燃烧效率，加强设备的响应灵活性和适应性，为电厂的稳定运行提供坚实的技术支持。

而从应用角度考虑，通过这些技术，操作人员可以直观地获取燃烧室内部的温度分布和污染物排放情况，及时调整操作策略，避免局部过热或不完全燃烧的问题。特别是在使用多种燃料的场景下，这些优化技术的应用显得尤为重要^[2]。其使锅炉能够在不断变化的运行条件下保持最佳的燃烧状态，确保电厂的经济性与环境指标同时得到满足。燃烧优化不只是提升热效率的技术问题，更是涉及综合资源配置的策略考量，影响着电厂运行的每一个细节。

（三）锅炉燃烧优化对运行稳定性的直接影响

通过精确控制燃料供应与空气的混合比例，可以改善燃烧的连续性和均匀性，这直接影响到锅炉内部压力和温度的稳定。优化后的燃烧过程可以减少因燃烧不充分或过度而导致的温度波动和能量损失，从而增强蒸汽质量的一致性，提升整体发电效率。燃烧优化还涉及实时调节技术的应用，如借助先进的监测仪器和控制系统，操作人员能够实时监控并调整燃烧状态，即便在负载变化较大的情况下也能保持系统的平稳运行。该机制能确保电厂在不同操作条件下维持最佳的燃烧效率和安全水平，避免因燃烧不稳而引起的安全隐患^[3]。而且优化后的系统能够更好地应对外界环境变化和内部设备老化的挑战，有助于延长设备的使用寿命，减少意外停机的风险。这些优化措施有望加强电厂对于异常情况的应急响应能力和自我调节功能，进一步促进运行的连续性和稳定性。

二、电厂集控运行稳定性的衡量指标与优化策略

（一）电厂运行稳定性的主要衡量指标

电厂集控运行稳定性的衡量指标涵盖了多个层面，包括设备的连续运行能力、运行参数的波动性以及能效的高低，在锅炉和汽轮机的操作中，这些指标能反映设备的物理和化学性能，显示控制系统的调节能力。对于锅炉而言，重要的衡量指标包括蒸汽压力和温度的稳定性、燃烧效率、排放物质的浓度等，这些都直接关系到锅炉的安全运行和环境保护标准的遵守。而在汽轮机方面，转速的稳定性、振动水平、轴承温度和效率等则是反映其运行稳定性的关键参数。这些参数的维持在一定范围内能够说明系统整体运行的可靠性和稳定性。

实现电厂运行稳定性的优化策略必然依赖于精确而实时的数据监测和分析能力，例如通过实施先进的综合监控系统，能够在微小的参数变化发生时即刻检测并调整，从而预防可能导致设备性能下降或故障的大幅波动。同时引入智能算法辅助进行预测性维护和故障诊断，可以极大地减少非计划的停机时间，提升电厂的运行效率。这种基于数据驱动的管理模式能提升电厂对复杂情况的适应能力，增强对未来运行趋势的预测精度，是当前电厂管理向智能化、数字化转型的明显趋势。

（二）锅炉燃烧优化在提高效率中的作用

锅炉燃烧优化直接关联到集控运行中的效率指标，其重要性体现在精确控制燃料与空气的匹配程度上，通过实现最佳燃烧效率能够提高能量转换率，有效降低未燃烧燃料的排放。此类优化措施包括精细调整空气与燃料的供应比例以及改善燃烧室的设计，使得所需能量得到最大化利用而无需额外增加燃料消耗。这一过程中可以使用先进的自动控制技术和反馈系统是关键，实时调整空气供应量和压力，确保燃

烧过程在最佳环境下持续进行。还可以通过监控燃烧生成的烟气组成，进一步优化燃烧过程中的排放标准，避免因效率低下造成的能源浪费和环境污染。对于电厂而言，锅炉燃烧优化还意味着维持设备长期的稳定运行以及延长其服务寿命，在实践中，优化策略通过定期分析燃烧效率和相关参数变化，预防潜在的故障和不规则操作。技术团队需要依据数据反馈，调整操作策略，减小燃烧过程中的波动幅度，从而确保持续稳定输出的同时，保护设备免受非标准操作的损伤。

（三）锅炉燃烧过程中的优化措施

锅炉燃烧优化措施关键在于确保燃烧过程均匀且高效，进而直接影响电厂集控运行的优势和稳定性，在这样的背景下，多环节调整策略施行以提升燃烧效果成为常态。其中，调整空气与燃料比例，精确计算所需空气量以完全燃烧特定量的燃料至关重要。过剩的空气会导致能量浪费，空气不足则会引发不完全燃烧，产生较多的有害排放，并可能导致设备损伤。因此利用 O₂ 传感器和 CO 分析仪监测并调整燃烧环境，确保空气供给与燃料消耗的最优比例是提高效率的根本手段。同时通过实时数据监控系统，可以迅速响应操作变化，调整供气和燃料流量，实时维护高效燃烧的精细平衡^[4]。除此之外，燃烧优化的另一个措施涉及对燃烧器的设计和配置进行改进，燃烧器的设计应保证燃料在燃烧室中得到充分且均匀的分布，这有助于有效控制热量输出和减少有害物质的生成。先进的低 NO_x 燃烧技术，例如分级燃烧和旋风燃烧，能有效降低氮氧化物的生成，这对符合环保标准和降低污染物排放同等重要。通过使用可调节强度的火焰和动态调节机制，现代燃烧器能够适应不同负荷条件下的运行需求，优化燃烧过程，从而提高整体运行的灵活性和稳健性。

（四）集控运行中应对不稳定因素的策略

使用高级的监测系统，比如振动分析仪、压力和温度传感器，可以快速侦测到异常波动，从而提前采取措施防止系统进一步受损，例如通过对汽轮机的振动数据进行持续跟踪，可以识别出由于机械不平衡或轴承损坏引起的非正常运行模式。相应地调整系统运行参数或进行必要的维修，可以有效预防严重故障的发生，保证电厂稳定运行。在面对突发事件时，操作团队需根据预先制定的应急方案迅速作出响应，这种方案通常包括多层级的决策树，详细说明在不同情况下的操作步骤，如何优先处理以及如何协调资源。有效的危机管理能够减少反应时间，还能够最大程度上减少经济损失和安全隐患^[5]。其中，培训有经验的操作员在使用集控系统进行故障诊断和处理中扮演着关键角色，他们的专业判断和操作直接关系到电厂安全与效率的双重保障，这样的策略配合最新的

技术工具可以确保电厂在不稳定因素出现时仍能维持高水平的运行性能。

三、锅炉燃烧优化与集控运行稳定性提升的实践案例分析

(一) 国内外锅炉燃烧优化的成功案例

以德国一家电厂为例,该电厂采用了先进的机器学习算法来优化其燃烧系统,使得锅炉能够根据实际负荷和燃料类型实时调整空气与燃料比例。这种智能调节方式使该厂成功提高了锅炉的燃烧效率,并降低了运行中的NO_x排放水平。机器学习模型基于大量历史燃烧数据进行训练,能够预测并自动设置最理想的燃烧状态,从而有效应对燃料质量波动带来的挑战。这一优化提升了能源利用效率,确保了电厂符合严格的环境规定,展示出高科技在传统工业中的应用价值。

另一个案例则是中国的某电厂成功应用了生物质燃烧优化技术,该电厂结合传统煤炭与生物质共燃的方式,通过优化锅炉燃烧配置和控制系统,实现了更稳健的燃烧过程和更高的热效率。引入专门设计的生物质喂入系统和在线监测设备,能够精确控制燃料杂质的影响,保证燃烧过程的连续性和稳定性。生物质的加入减少了对化石燃料的依赖,同时拓展了燃料来源,增强了电厂对原料价格波动的抵抗力。这种创新的燃烧策略使电厂运营更加绿色环保,优化了能源结构,促进了可持续发展目标的实现。这两个案例都充分展示了锅炉燃烧优化技术在提高电厂集控运行稳定性方面的重要作用,并为全球范围内的能源运营提供了宝贵的参考。

(二) 锅炉燃烧优化对集控系统运行的积极影响分析

通过实施精细化管理和技术革新,锅炉燃烧过程可以变得更加精确和可控,直接优化能量转换过程的质量和效率。在此环境下,集控系统能更好地监控和调节锅炉操作参数,如燃烧温度、压力和流量等关键指标。这种优化不仅限于技术层面的提升,也包括操作人员对系统行为和响应的更深理解,例如通过装备先进的燃烧监测设备,系统能实时诊断燃烧状态,及时调整供气比例或处理异常情况,从而减少停机时间和潜在的设备损害,提高反应速度和决策的精确性。而且优化的燃烧过程还有效提升了集控系统的数据处理能力和决策支持功能,运行数据的高质量录入为使用数据分析和机器学习算法提供了基础,从而预测系统未来的行为趋势和潜在问题,增强预测维护的能力。这样可以延长设备的使用寿命,显著降低由于意外停机导致的经济损失。随着集控系统通过持续的燃烧优化逐渐提升其操作智能,电厂能够以更高的灵活性和安全性满足日益严峻的市场和环境要求,确保长期的系统稳定性和经济效益。

(三) 面临挑战时锅炉燃烧优化的调整策略

在锅炉运行过程中,面对变化的负载需求和燃料品质波动时,可以实施动态调整技术,该技术基于实时收集的数据反馈,调整燃料供给速度和空气燃料比例^[6]。通过紧密监控热效率和排放水平,操作系统能够及时做出响应以保持最优的燃烧效率,例如在燃料成分波动较大时,调整系统可以减小或增大空气供给量,以适应新的燃烧条件,从而确保排放标准的符合性与热效率的最大化,这种灵活的调整策略对维持锅炉的稳定运行至关重要,能够提升集控运行环境的适应能力。

此外,针对极端天气条件或其他环境因素导致的燃烧效率降低问题,采用先进的模拟技术来预测并优化锅炉燃烧表现同样有效,利用高级模型模拟不同操作条件下锅炉的反应,操作团队可以预设多种可能的调整方案,并迅速部署最合适的响应措施,以应对突发情况。这类预测与响应机制不仅限于技术范畴,也涉及对操作人员的培训,强化他们使用集控系统调整锅炉运行参数的能力与精准度。这样的双管齐下策略使得电厂能够在各种挑战面前保持锅炉的高效和稳定运行,确保电力生产的连续性和可靠性。

四、结语

综上所述,锅炉燃烧优化是提升电厂运行稳定性的关键技术之一,通过实施燃烧优化技术,不仅可以改善能效,还能显著增强电厂系统的应对各类挑战的能力。研究发现,优化后的锅炉操作可以减少设备故障率,延长设备寿命,同时确保了电力供应的连续性和安全性。未来的研究需要进一步深化燃烧优化技术与电厂集控系统间的互动机制,为电厂运营提供更全面的解决方案。

参考文献:

- [1] 刘建平. 基于智能算法的火电厂锅炉燃烧优化技术探究 [J]. 中国机械, 2024, (07): 64-67.
- [2] 姚顺春, 李龙千, 卢志民等. 机器学习驱动锅炉燃烧优化技术的现状与展望 [J]. 洁净煤技术, 2024, 30(02): 228-243.
- [3] 肖勇, 马乐, 胡波等. 基于梯度提升决策树的锅炉燃烧优化控制策略研究 [J]. 电子设计工程, 2023, 31(18): 17-20+27.
- [4] 武生, 张志强, 姚力等. 600MW超临界对冲锅炉燃烧优化调整试验 [J]. 洁净煤技术, 2023, 29(S2): 176-180.
- [5] 冯磊华, 张杰, 詹毅. 基于改进麻雀搜索算法和核极限学习机的电站锅炉燃烧优化 [J]. 热力发电, 2022, 51(09): 96-102.
- [6] 薛晓波, 王洪江, 范国朝. 基于炉膛温度场可视化的锅炉燃烧优化控制系统应用研究 [J]. 能源科技, 2022, 20(03): 57-59+67.