

火电厂锅炉燃烧运行优化策略

包增明

国能江苏电力工程技术有限公司 江苏 镇江 212000

摘要：火电厂锅炉燃烧运行存在不完全燃烧、热效率低、污染物超标及设备老化等问题。为提升燃烧效率与环保效益，可采取燃料处理优化、燃烧器改造、控制系统升级、余热回收利用及智能化技术应用等策略。这些措施能改善燃料燃烧条件，减少污染物排放，提高能源利用率，增强设备可靠性，实现火电厂锅炉高效、稳定、环保运行。

关键词：火电厂；锅炉燃烧；运行优化

1 火电厂锅炉燃烧基础理论

火电厂锅炉燃烧是实现发电的核心环节，其基础理论主要包含燃烧过程本质与能量转换机制两方面。锅炉燃烧过程本质是复杂的物理化学过程，以燃煤锅炉为例，燃料入炉后，依次经历干燥、挥发分析出、着火、燃烧及燃尽阶段。干燥时水分蒸发，挥发分析出后率先燃烧，为固定碳燃烧创造条件，而固定碳燃烧速度影响燃料燃尽程度与锅炉效率。燃烧还涉及传热、传质，热量通过辐射、对流和导热传递给受热面，氧气扩散与产物排出伴随着物质传递，各过程相互关联。在能量转换机制上，燃料化学能先经氧化反应转化为热能，如碳、氢燃烧释放大量热量^[1]。接着，热能通过省煤器、水冷壁、过热器等受热面，转化为工质内能。最后，在汽轮机中，工质内能转化为机械能，驱动发电机发电，实现化学能-热能-内能-机械能-电能的转换。每个环节效率都影响整体发电效率，因此优化燃烧过程对火电厂至关重要。

2 火电厂锅炉燃烧运行问题分析

2.1 不完全燃烧

不完全燃烧是火电厂锅炉运行中常见且危害较大的问题之一。其主要表现为燃料中的可燃成分未充分与氧气反应，导致燃烧产物中含有一氧化碳（CO）、碳氢化合物（C_xH_y）以及未燃尽的碳颗粒等。不完全燃烧不仅造成燃料的浪费，降低锅炉热效率，还会增加污染物的排放。造成不完全燃烧的原因是多方面的。首先，燃料与空气的混合不均匀是关键因素。在实际运行中，若燃烧器设计不合理或运行参数调整不当，会导致空气在炉膛内分布不均，部分区域空气过量，而部分区域空气不足，使燃料无法与氧气充分接触，从而无法完全燃烧。其次，炉膛温度过低也会引发不完全燃烧。当炉膛温度低于燃料的着火温度时，燃料难以稳定着火和持续燃烧，特别是对于挥发分较低、着火困难的燃料，这种情况更为明显。另外，燃料的性质和品质不稳定，如水分

含量过高、灰分过大等，会影响燃料的燃烧性能，增加不完全燃烧的可能性。不完全燃烧产生的未燃尽碳颗粒会沉积在受热面上，影响传热效果，还可能堵塞烟道，增加排烟阻力，进一步降低锅炉的运行效率。

2.2 热效率低下

火电厂锅炉热效率低下是制约发电企业经济效益和能源利用效率的重要问题。锅炉热效率是指有效利用热量与燃料输入热量的比值，热效率低下意味着大量的燃料能量未被有效转化为有用的热能。导致锅炉热效率低下的因素众多，一方面，排烟热损失是影响热效率的主要因素之一。排烟中携带的热量与排烟温度和排烟量密切相关。当锅炉受热面积灰、结渣严重时，会阻碍热量传递，使排烟温度升高；空气预热器漏风、炉膛负压过大等情况会增加排烟量，两者都会导致排烟热损失增大。另一方面，散热损失也不容忽视。锅炉本体、管道等设备在运行过程中，会通过表面向周围环境散热，保温层损坏、设备密封不严等问题会加剧散热损失。

2.3 污染物排放超标

随着环保要求的日益严格，火电厂锅炉污染物排放超标问题成为行业面临的严峻挑战。锅炉燃烧过程中产生的主要污染物包括二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、颗粒物等，这些污染物的排放会对大气环境和人体健康造成严重危害。二氧化硫主要来源于燃料中的硫元素，在燃烧过程中与氧气反应生成。煤炭中的硫含量一般在0.5%-5%之间，高硫煤燃烧时会产生大量的二氧化硫。若不进行有效处理，二氧化硫排放到大气中会形成酸雨，腐蚀建筑物、破坏土壤和水体生态环境。氮氧化物的生成主要有热力型、燃料型和快速型三种途径。热力型NO_x是在高温条件下，空气中的氮气和氧气反应生成；燃料型NO_x则来自燃料中的氮元素；快速型NO_x在富燃料燃烧条件下生成。氮氧化物会形成光化学烟雾，刺激呼吸道，引发呼吸系统疾病，还会参与酸雨

和臭氧层破坏的形成。颗粒物包括飞灰和未燃尽的碳颗粒等,其排放会造成大气能见度降低,影响空气质量,可吸入颗粒物($PM_{2.5}$ 、 PM_{10})还会进入人体肺部,危害人体健康。当前,许多火电厂因环保设施不完善或运行管理不当,导致污染物排放无法满足日益严格的环保标准。

2.4 设备老化与故障

火电厂锅炉设备长期处于高温、高压、高粉尘的恶劣环境下运行,随着使用年限的增加,设备老化和故障问题逐渐凸显。锅炉的主要设备如燃烧器、受热面、风机、给煤机等,在长期运行过程中,会受到磨损、腐蚀、疲劳等因素的影响,导致性能下降,可靠性降低^[2]。燃烧器喷嘴在高温火焰冲刷下,会出现磨损变形,影响燃料与空气的混合效果,进而导致燃烧不稳定;受热面管道会因高温氧化、烟气腐蚀和飞灰磨损,出现管壁减薄、泄漏等问题,严重时甚至会引发爆管事故,影响锅炉的正常运行。风机长期运转,叶片会因磨损和积灰失去动平衡,产生振动和噪音,甚至导致风机故障停运。电气控制系统、仪表等设备也会因老化出现信号传输不准确、控制失灵等问题。设备老化和故障不仅增加了设备的维修成本和维护工作量,还可能导致锅炉被迫停炉检修,影响机组的发电负荷和供电可靠性,给发电企业带来较大的经济损失。

3 火电厂锅炉燃烧运行优化策略

3.1 燃料处理与优化

燃料处理与优化是提高火电厂锅炉燃烧效率和运行性能的基础环节。首先,对燃料进行合理的筛选和预处理至关重要。对于燃煤锅炉,通过洗选煤技术可以降低煤炭中的灰分和硫分含量,改善煤炭的燃烧性能。洗选后的煤炭发热量提高,燃烧更加稳定,同时减少了二氧化硫和颗粒物的原始排放量。对煤炭进行破碎和筛分,使其粒度均匀,有利于在炉膛内与空气充分混合,促进燃烧完全。其次,根据锅炉的设计参数和运行特点,选择合适的燃料品种和掺烧比例。不同种类的煤炭,其挥发分、固定碳、水分等特性差异较大,通过合理掺烧,可以取长补短,优化燃烧效果。例如,将高挥发分的烟煤与低挥发分的无烟煤按一定比例掺烧,既能保证燃料的着火稳定性,又能提高燃烧效率。对于燃气锅炉,确保燃气的品质稳定,去除其中的杂质和水分,避免因燃气质量问题影响燃烧效果。通过燃料处理与优化,可以从源头改善燃烧条件,为锅炉的高效稳定运行奠定基础。

3.2 燃烧器优化与改造

燃烧器是锅炉燃烧系统的核心设备,其性能直接影响燃料的燃烧效果。对燃烧器进行优化与改造是提升锅

炉燃烧效率的重要手段。一方面,可以对燃烧器的结构进行改进。例如,采用分级燃烧技术,将燃烧所需的空气分阶段送入炉膛,在燃烧器的一次风区域形成富燃料燃烧区,降低燃烧温度,抑制热力型 NO_x 的生成;在二次风区域补充空气,使燃料完全燃烧。这种分级燃烧方式既能保证燃烧效率,又能有效减少氮氧化物的排放。另一方面,优化燃烧器的喷口布置和气流组织。通过合理设计喷口的形状、角度和间距,使燃料与空气在炉膛内均匀混合,形成良好的空气动力场。例如,采用旋流燃烧器,通过调整旋流强度,控制火焰的形状和位置,避免火焰冲刷受热面,同时增强燃料与空气的扰动,促进燃烧完全。此外,对燃烧器的点火装置和稳燃装置进行升级改造,提高点火成功率和燃烧稳定性,特别是在低负荷运行工况下,确保锅炉能够安全稳定运行。

3.3 燃烧控制系统升级

先进的燃烧控制系统是实现锅炉燃烧优化运行的关键。传统的燃烧控制系统往往存在响应速度慢、控制精度低等问题,难以满足现代火电厂对高效、环保运行的要求。因此,需要对燃烧控制系统进行升级。采用智能控制技术,如基于神经网络、模糊控制等算法的控制系统,可以根据锅炉的运行工况和燃料特性,实时调整燃烧参数。例如,通过监测炉膛温度、氧量、排烟温度等关键参数,利用神经网络算法建立燃烧模型,自动优化燃料量、送风量、引风量等控制指令,使锅炉始终处于最佳燃烧状态^[3]。同时引入先进的传感器技术,提高参数测量的准确性和可靠性。例如,采用激光气体分析仪实时监测烟气中的氧气、一氧化碳、氮氧化物等成分含量,为燃烧控制提供精确的数据支持。此外,实现燃烧控制系统与其他系统(如脱硫脱硝系统、汽水系统等)的协同控制,使整个火电机组的运行更加协调、高效,提高机组的整体性能。

3.4 余热回收与利用

余热回收与利用是提高火电厂能源利用效率、降低热损失的重要途径。锅炉运行过程中,排烟、炉渣等都携带大量的余热,对这些余热进行回收利用,可以有效提高机组的经济性。对于排烟余热,可采用加装余热锅炉、空气预热器等设备进行回收。余热锅炉利用排烟余热产生蒸汽,可用于加热给水或驱动小型汽轮机发电,提高能源利用率;空气预热器则将排烟热量传递给进入炉膛的空气,提高空气温度,改善燃料的着火和燃烧条件,降低排烟温度,减少排烟热损失。此外,炉渣余热也可以通过水淬冷等方式进行回收,回收的热量可用于加热循环水或其他工业用途。通过余热回收与利用,不

仅减少能源的浪费,还降低对环境的热污染,实现经济效益和环境效益的双赢。

3.5 智能化技术的应用

随着信息技术的飞速发展,智能化技术在火电厂锅炉燃烧优化中发挥着越来越重要的作用。智能化技术的应用涵盖了设备状态监测、故障诊断、燃烧优化控制等多个方面。利用物联网技术,在锅炉设备上安装各类传感器,实时采集设备的运行参数和状态信息,如温度、压力、振动、电流等,通过无线网络将数据传输到监控中心。借助大数据分析和人工智能算法,对采集到的数据进行深度挖掘和分析,实现设备的状态监测和故障预警。例如,通过分析受热面管道的温度变化和振动数据,提前预测管道泄漏或磨损故障,及时安排检修,避免事故发生。在燃烧优化方面,利用数字孪生技术构建锅炉燃烧的虚拟模型,通过对虚拟模型的仿真分析,优化燃烧参数和运行策略,并将优化结果应用于实际锅炉运行中。智能化技术还可以实现远程监控和操作,提高运行管理的效率和便捷性,降低人力成本。

4 火电厂锅炉燃烧运行优化策略实施保障措施

4.1 人员培训与管理

4.1.1 专业培训体系构建

为保障优化策略有效实施,需构建完善的专业培训体系。针对不同岗位人员制定个性化方案:运行操作人员,重点培训锅炉燃烧运行原理、优化策略操作流程及应急处理能力,如模拟燃烧控制系统故障场景,使其熟悉参数调整;设备维护人员,加强关键设备结构原理、维护保养与检修技能培训,定期组织设备拆解组装实训,提升实际操作能力;技术管理人员,开展燃烧优化前沿技术与能源管理政策培训,提高战略规划和管理决策水平。

4.1.2 人员考核与激励机制

建立科学合理的人员考核与激励机制,充分调动员工的工作积极性和主动性。制定详细的考核指标体系,涵盖锅炉燃烧效率、污染物排放达标率、设备运行可靠性等方面。将考核结果与员工的薪酬、晋升、奖励等挂钩,对在优化策略实施过程中表现优秀、取得显著成效的员工给予物质和精神奖励,如奖金、荣誉证书、晋升

机会等;对未达到考核要求的员工,进行针对性的辅导和培训,若多次考核不合格,则采取相应的惩罚措施。通过考核与激励机制,营造积极向上的工作氛围,推动优化策略的顺利实施^[4]。

4.2 设备维护与管理

4.2.1 预防性维护计划制定

制定全面的预防性维护计划,依据设备运行特点与使用寿命,合理安排维护周期和项目。针对燃烧器,定期检查喷嘴磨损、点火装置性能,及时更换磨损部件;对受热面,定期吹灰、除垢、防磨检查,防止积灰、结渣和磨损损坏;风机、给煤机等设备,定期润滑、紧固、性能检测,保障稳定运行。同时,建立设备维护档案,记录维护历史、故障情况及维修措施,为后续维护管理提供参考。

4.2.2 设备更新与升级管理

技术进步下,及时更新升级老化、性能落后的设备。选型时,兼顾先进性、可靠性与节能性,选择契合优化策略的新设备,如新型高效燃烧器、智能化监测控制设备。更新升级过程中,制定详细实施方案,确保安装、调试和运行符合标准规范,加强新设备操作和维护培训,让员工熟练掌握使用与维护技巧。

结束语

本文系统探讨了火电厂锅炉燃烧运行优化策略。从理论到实践,针对现存问题提出有效优化方案,经案例验证可显著提升锅炉运行性能与经济效益。未来,随着能源结构转型与环保要求升级,火电厂需持续探索创新,深化智能化技术应用,不断完善燃烧优化策略,以实现更高水平的绿色、高效发电。

参考文献

- [1]胡志勇,黄建平.发电厂锅炉燃烧调节优化措施探讨[J].建材与装饰,2021,(30):237-238.
- [2]李键.火力发电厂锅炉优化运行措施研究[J].应用能源技术,2021,(02):24-27.
- [3]刘涛.火电厂锅炉燃烧优化技术探讨[J].中国设备工程,2023(22):202-203.
- [4]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.