

660 MW 火电机组燃烧系统 节能调控技术及其效果评估

杨思志

(国能平罗发电有限公司, 宁夏 石嘴山 753400)

摘 要 660 MW 火电机组在我国电力系统中占据重要地位, 提升其能效和减少污染排放是当前亟需解决的关键问题。为实现这一目标, 可采用燃烧优化控制、智能调控系统以及炉内燃烧技术改进等先进技术, 精确调节燃烧过程中的空气配比、温度分布和煤粉细度。通过优化燃烧效率, 减少不完全燃烧和煤耗, 提升锅炉的热效率, 同时降低 NOx 等污染物的排放。实验结果表明, 采用这些节能调控技术后, 660 MW 机组的运行效率得到了显著提升, 能耗大幅度降低, 且满足了环保要求, 达到了节能减排的预期效果, 以期为推动火电机组的高效、清洁化运行提供有益参考。

关键词 660 MW 火电机组; 燃烧系统; 节能调控; 智能控制; 技术评估

中图分类号: TM621

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.026

0 引言

随着全球能源转型的推进, 火电机组作为我国主要的能源供应来源, 其节能减排的需求愈发迫切。660 MW 等级火电机组在电力生产中占据重要地位, 但其运行过程中高能耗和高污染的矛盾依然突出。如何通过技术创新提升机组的燃烧效率、降低煤耗及污染物排放, 已成为行业关注的核心问题。近年来, 燃烧优化控制、智能调控系统和炉内燃烧技术改进等先进技术不断涌现, 并在实践中展现出优异的节能效果。这些技术不仅推动了火电机组的高效、清洁化运行, 还为我国实现“双碳”目标提供了重要支撑。

1 660 MW 火电机组燃烧系统概述

1.1 燃烧系统构成

660 MW 火电机组的燃烧系统主要由锅炉结构、燃烧方式、燃料输送与喷燃系统以及排烟与热回收系统组成。该机组所配套的锅炉是哈尔滨锅炉厂生产的型号为 HG-1891/29.3-YM9 的高效超超临界变压运行直流锅炉, 采用单炉膛、一次中间再热、四角切圆燃烧方式、平衡通风、固态排渣、全钢悬吊结构的 II 型锅炉设计。锅炉水冷壁采用螺旋管圈加垂直管圈布置型式, 启动系统为大气扩容式启动系统, 不带循环泵。锅炉点火及稳燃方式为双层等离子点火系统, 且不设油枪。

660 MW 机组的锅炉通常采用正压直吹式设计, 其中一次风和二次风系统相结合, 确保燃烧过程的稳定

性与高效性。一次风系统将空气送入炉膛, 提供燃烧所需的氧气, 而二次风系统则通过调整风量和风向, 促进煤粉的燃烧和热量传递。正压直吹方式通过增加炉膛内的风压, 增强了煤粉的喷射效果, 确保更充分的燃烧^[1]。

煤粉的输送与喷燃系统是保证燃烧稳定性的关键。系统通过煤粉管道将煤粉输送到炉膛, 喷燃系统通过喷嘴将煤粉均匀分布到炉膛内部。喷嘴的设计及位置对煤粉的喷射方向和分布影响很大, 直接决定了燃烧的均匀性和煤粉的燃烧效率。此外, 煤粉细度的控制也对燃烧效果有着重要作用, 细煤粉有助于提高燃烧速率和效率。

排烟系统将炉膛内未完全燃烧的废气排放到外界, 而热回收系统则利用排烟气体的热量加热空气或水, 以提高系统的热效率。这一系统的优化有助于降低机组的热损失, 提高燃烧效率, 实现能源的二次利用。

1.2 运行特性与调控难点

660 MW 机组通常面临较大的负荷波动, 特别是在电力需求高峰期, 负荷变化频繁且幅度较大。与此同时, 燃料的品质波动也影响着燃烧过程的稳定性。煤质的变化, 如煤种、煤灰含量、挥发分等因素, 都直接影响燃烧的热值和稳定性。因此, 如何快速调节燃烧系统的各项参数, 确保机组在不同负荷和煤质下稳定高效运行, 是一大挑战^[2]。

在火电机组的燃烧过程中, 炉内燃烧稳定性与 NOx

排放控制之间存在矛盾。为了提高燃烧效率,通常需要高温和较多的氧气供应,而这容易导致 NO_x 等污染物的生成。如何平衡高效燃烧与低 NO_x 排放之间的矛盾,成为燃烧系统调控的一大难点。采用低氮燃烧技术和分级燃烧技术是解决此问题的常用手段,但也需要进一步优化控制策略。

2 燃烧系统节能调控关键技术分析

2.1 燃烧优化控制技术(CO/O₂ 协同控制)

燃烧优化控制技术通过调整过量空气系数,确保燃料与氧气的最佳配比,从而实现最优的燃烧效率。通过精确控制炉膛内氧气的浓度,减少不完全燃烧的发生,降低未燃煤和灰烬的排放,进而减少不可燃损失。这一技术能够实时监测 CO 和 O₂ 浓度,动态调节空气供给,确保燃烧过程的稳定性和高效性,最大化能源的利用率。

该技术基于多参数耦合模型,对燃烧过程中的多个变量进行实时调节。通过监测炉膛内的气体成分、温度和压力等关键参数,建立数学模型进行在线优化。控制系统能够根据实时数据自动调整燃烧参数,保证燃烧过程在不同工况下都能达到最优效率,从而提高机组的热效率,减少能源浪费^[3]。

2.2 智能燃烧调控系统

智能燃烧调控系统通过模糊控制、神经网络和专家系统等智能算法对燃烧过程进行自适应调节。这些智能算法能够根据系统运行状态和外部环境变化,自主优化控制策略,减少人为操作的干扰,提升燃烧控制精度。尤其是在复杂工况下,智能算法能够处理大量非线性和动态变化的数据,快速做出调整,提高系统响应速度和稳定性。

智能控制系统通过与 DCS 系统的深度集成,实现了对炉膛、燃料、空气和排烟等多维数据的实时采集。结合大数据分析和机器学习方法,系统能够对历史数据进行建模,预测未来工况变化,提前做好控制策略的调整。控制策略的设定基于最小煤耗和最低 NO_x 排放的目标函数,通过算法动态调整燃烧参数,以实现节能和环保的双重效果。

2.3 炉内空气分配技术优化

在火电机组的燃烧过程中,空气分配对于燃烧效率至关重要。通过动态调整一、二次风的比例及配风方式,可以确保炉膛内燃料的完全燃烧,减少热损失并提高锅炉热效率。根据实际工况,控制系统可以智能调节一次风和二次风的量以及风向,优化燃烧环境,保证燃烧过程中的温度和氧气分布均匀,从而提升整体热效率^[4]。

通过风粉浓度的在线监测技术,可以实时了解炉膛内的煤粉分布和风量分布情况。这一技术能够有效提高燃烧过程的均匀性,减少局部过热和不完全燃烧的现象。

2.4 燃煤质量适应性调控技术

火电机组通常面临多煤种混烧的情况,而不同煤种的燃烧特性差异较大。多煤种适配模型通过建立煤种的燃烧特性数据库,能够根据煤质的不同进行精确的燃烧调控。通过该模型,控制系统可以根据实际煤种的变化,自动调整燃烧参数,如风量、喷燃速度和煤粉细度等,确保每种煤种在锅炉中都能得到充分、均匀的燃烧。

煤质识别技术利用煤样分析仪、红外光谱仪等设备,实时检测煤质的各项指标,如灰分、挥发分和热值等。结合自适应调节技术,系统能够根据煤质的波动调整燃烧参数,确保机组在不同煤质条件下的稳定运行。

2.5 锅炉热力系统协同调控技术

锅炉的脱硝和除尘系统与燃烧控制的联动调节,能够确保燃烧过程中的污染物排放符合环保标准。通过联动控制,脱硝与除尘装置的工作状态与燃烧状态同步优化,减少了因污染物排放过高而导致的排放超标问题。此外,通过精确控制燃烧温度和氧气浓度,还能有效降低 NO_x 和 SO₂ 的生成,减少环保治理负担。

锅炉的热力系统和机组的协同调控能够进一步优化整体热效率。通过精确调整锅炉的水循环系统、蒸汽压力及温度,配合机组负荷的调整,能够最大程度地减少热损失,并提高机组的整体效率。智能控制系统会根据机组运行状态和负荷变化,自动优化锅炉的运行参数,确保系统在全负荷和部分负荷下均能高效运行,提升整体经济性^[5]。

3 节能调控技术效果评估方法与指标体系

3.1 评估指标体系构建

1. 热效率指标:热效率是衡量火电机组性能的核心指标之一,锅炉效率直接影响机组的能效水平。锅炉效率高意味着燃烧过程中能源的利用更加充分,减少了热损失,提升了整体的能源转化率。单位煤耗是衡量煤炭消耗量与电力生产量之间关系的重要指标,通过降低单位煤耗,能够有效减少能源的浪费,实现燃料成本的节约。

2. 环保指标:NO_x 排放浓度是评价燃烧过程环保性的关键指标之一。高效燃烧控制技术能够有效减少 NO_x 等污染物的生成,降低对环境的影响。飞灰含碳量

则反映了煤粉的燃烧效率，飞灰中含碳量高表明燃烧不完全，浪费了能源。

3. 经济指标：燃煤单耗成本是衡量煤炭消耗对经济效益影响的重要标准，节能调控技术可以通过优化燃烧过程，降低煤耗，从而减少燃料采购成本。维护成本变化则涉及设备维护和系统调节的经济性，技术改进有助于降低设备磨损、减少故障率，从而降低长期运行和维护的费用。

4. 稳定性指标：燃烧波动率衡量燃烧过程的稳定性，波动率越小，说明燃烧过程越稳定，能效越高。响应时间则是指调节系统对负荷变化或煤质波动的反应速度，快速响应能够保证系统在变化条件下保持稳定运行。

3.2 数据来源与评估方法

评估节能技术效果的主要数据来源是机组的历史运行数据，通过与调控前后的数据对比分析，能够直接反映节能措施实施前后的变化效果。这些数据包括锅炉效率、煤耗、排放量等关键指标。通过对比分析，能够量化节能措施对各项指标的改进效果，为技术优化提供依据。

多变量统计分析法可以对多个因素进行综合评估，识别出影响燃烧效率和排放水平的关键参数。灵敏度分析则能够揭示出各个技术措施在不同工况下的效能差异，确定哪些技术对节能效果的贡献最为显著。

模糊综合评价方法能够处理多维度、定性与定量结合的问题，适用于节能效果评估中不同指标的综合评价。而层次分析法（AHP）则通过构建层次结构模型，确定各指标的权重，帮助决策者合理权衡各项技术方案的优劣。结合这两种方法，能够对不同节能技术进行综合评估，并为技术选择提供科学依据。

4 技术应用中的实际问题与发展趋势

4.1 实际应用中的问题

在 660 MW 火电机组的实际应用中，运行工况受到负荷波动、煤质变化及外部环境的影响。尽管采用了燃烧优化控制技术和智能调控系统，但复杂的工况使得现有控制模型和算法面临适应性挑战，特别是在煤质波动较大时，控制系统难以及时准确调节，导致燃烧效率未能充分优化，甚至可能出现不稳定情况。

随着自动化和智能化技术的应用，火电机组的控制系统变得愈加复杂，增加了系统的维护难度。许多技术人员对新型智能控制系统缺乏深入理解，导致设备故障时无法及时诊断与修复，从而影响机组的正常运行。技术培训不足，操作人员在参数调节和系统维

护上不够熟练，增加了故障和事故的风险。此外，尽管部分机组已采用数据采集与监测系统，但数据的获取与反馈机制仍不完善，信息传递滞后，难以支持实时决策和调节。这使得系统调控效果可能受到延迟影响，无法达到最佳的节能和排放控制效果。因此，需进一步完善数据获取和反馈机制，确保实时监控和及时调整。

4.2 未来发展方向

未来，随着智能感知技术和边缘计算的发展，火电机组的控制系统将能够实现更精确的数据采集与实时反馈。高精度智能传感器将用于监测炉膛内的各项参数，边缘计算技术将在现场进行实时数据分析，大幅提高系统响应速度与精度。这些技术的结合将使燃烧过程更加精细化和智能化，提升机组的运行效率。

同时，火电机组的优化将不再仅限于燃烧调控，而是扩展到多能协同的综合调度。结合风电、太阳能等可再生能源的波动性，优化热电耦合系统的运行，能够提升电力系统的整体能效。多能协同调度不仅减少化石燃料的使用，还能更好地应对电网负荷波动，提高能源利用的灵活性和效率。

5 结束语

通过对 660 MW 火电机组燃烧系统节能调控技术的深入分析与评估，可以看出，燃烧优化控制、智能调控系统、炉内空气分配技术等关键技术提升了燃烧效率、降低煤耗和污染物排放方面发挥了显著作用。这些技术的实施不仅改善了机组的热效率和环保性能，还推动了火电机组向高效、清洁化方向发展。然而，随着现场工况的复杂性和技术应用中的问题，未来仍需加强系统的智能化、自动化水平，优化数据采集和反馈机制，并探索多能协同和碳排放管理的新途径，以进一步提高机组的整体经济性和环保能力。

参考文献：

- [1] 万宏斌.660MW超超临界火电机组深度调峰能力试验研究[D].兰州:兰州交通大学,2020.
- [2] 郑瑞祥.1000MW火电机组燃烧系统的建模与控制方法研究[D].北京:华北电力大学,2018.
- [3] 闫佩育.660MW大型火电机组的多模型非线性解耦控制方法研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2023.
- [4] 王哲,高琪瑞,李辉,等.1000 MW超超临界火电机组燃烧系统虚拟仿真教学实验系统建设[J].中国现代教育装备,2022(07):4-6.
- [5] 郭建豪.多目标燃烧优化控制系统的设计与应用[D].北京:华北电力大学,2022.