

330MW 火电机组锅炉燃烧稳定性分析

王孝红

国能神皖马鞍山发电有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i5.7989

[摘要] 在火力发电产业中, 330MW 火电机组是常见类型, 其锅炉燃烧稳定性对机组安全、经济运行影响深远。本文以 330MW 火电机组为研究主体, 从火电集控视角, 针对采用中储式制粉系统的亚临界一次中间再热机组, 深入探究锅炉燃烧稳定性。通过剖析影响燃烧稳定性的因素, 给出对应的改善策略, 并结合实际案例验证策略的有效性, 为提升 330MW 火电机组锅炉运行效率, 提供理论与实践参考。

[关键词] 330MW 火电机组; 锅炉燃烧稳定性; 中储式制粉系统; 火电集控

Analysis of combustion stability of 330MW thermal power unit boiler

Wang Xiaohong

Guoneng Shenwan Maanshan Power Generation Co., LTD

[Abstract] In the thermal power generation industry, 330MW coal-fired units are common types, and their boiler combustion stability has a profound impact on the safe and economic operation of the unit. This paper focuses on 330MW coal-fired units, examining the combustion stability from the perspective of centralized control in thermal power plants. Specifically, it delves into subcritical once-through intermediate reheating units with medium storage pulverizing systems, analyzing factors affecting combustion stability and proposing corresponding improvement strategies. The effectiveness of these strategies is verified through practical case studies, providing theoretical and practical references for enhancing the boiler operation efficiency of 330MW coal-fired units.

[Key words] 330MW thermal power unit; boiler combustion stability; medium storage pulverizing system; thermal power centralized control

一、引言

随着经济的持续发展, 电力需求不断增加。火力发电作为我国电力供应的主要方式, 在能源供应体系中占据着重要地位。330MW 火电机组在国内火电领域应用广泛, 锅炉的燃烧稳定性, 不仅直接决定机组的发电效率, 还和运行安全性、经济性紧密相关。稳定的燃烧能够降低设备损耗, 节约发电成本, 提升企业经济效益, 对保障电力的稳定供应至关重要。在火电集控运行模式下, 深入研究 330MW 火电机组锅炉的燃烧稳定性, 优化控制策略, 已成为行业的重要课题。

火力发电在我国能源结构中的占比长期维持在较高水平, 以 2022 年为例, 火力发电占全国总发电量的 70.2%。而 330MW 火电机组凭借其适中的装机容量、良好的运行稳定性以及相对成熟的技术, 在火电装机中占据了相当比例, 约为 25%。其运行状况直接关系到电力系统的稳定与安全。然而, 当前 330MW 火电机组在运行过程中, 面临着诸多挑战, 其中锅炉燃

烧稳定性问题尤为突出, 严重制约了机组性能的进一步提升。

二、影响 330MW 火电机组锅炉燃烧稳定性的因素

2.1 燃料特性

燃料特性对锅炉燃烧稳定性有着显著影响。在中储式制粉系统中, 煤质的变化会直接影响煤粉的制备和燃烧。煤的挥发分是决定煤粉着火特性的关键因素, 当煤的挥发分含量较低时, 煤粉着火温度上升, 着火难度增大, 燃烧速度减缓, 容易导致燃烧不稳定。以无烟煤为例, 其挥发分含量普遍较低, 相比烟煤, 无烟煤在锅炉内着火更为困难, 燃烧时需要更高的炉膛温度来维持稳定。

相关研究表明, 当煤的挥发分从 30% 降低至 15% 时, 煤粉着火温度可升高 50℃, 着火延迟时间延长 30ms。此外, 煤的水分过高, 进入炉膛受热时, 水分蒸发会吸收大量热量, 增加煤粉的着火难度, 降低炉膛温度, 进而影响燃烧效率。湿煤在制粉过程中, 还可能导致煤粉结块, 影响煤粉的输送和分散,

使燃烧效果进一步变差。据统计,煤的水分每增加 1%,煤粉着火温度升高约 5℃,炉膛温度降低 3℃,锅炉热效率下降 0.5%。

2.2 制粉系统运行

中储式制粉系统的运行状况,对锅炉燃烧稳定性起着关键作用。制粉系统出力不足,会导致进入炉膛的煤粉量减少,无法满足燃烧所需燃料量,影响燃烧的充分性。比如,磨煤机部件严重磨损,研磨能力下降,就会致使制粉系统出力降低。当磨煤机的钢球磨损率达到 30% 时,制粉系统出力可下降 20%。

制粉系统煤粉细度控制不当,过粗的煤粉在炉膛内难以完全燃烧,容易造成燃烧滞后,甚至引发火灾事故。这是因为粗煤粉的比表面积小,与氧气接触面积有限,燃烧反应速度慢。研究显示,煤粉细度每增加 10%,煤粉在炉膛内的燃尽时间延长 2s,不完全燃烧损失增加 1.5%。

2.3 燃烧器设计与布置

燃烧器的设计和布置,直接关系到煤粉与空气的混合效果和燃烧过程。不合理的燃烧器结构,会导致煤粉与空气混合不均匀,部分区域出现燃烧过浓或过稀的现象,影响燃烧稳定性。例如,一些早期设计的燃烧器,煤粉管道布置不合理,使得煤粉进入燃烧器时分布不均,造成燃烧器出口煤粉浓度不一致。通过对某电厂燃烧器的检测发现,部分燃烧器出口煤粉浓度偏差可达 35%。

此外,燃烧器的布置方式会影响炉膛内的气流组织,若气流组织不合理,会导致火焰偏斜、贴壁,甚至引发结渣等问题,威胁锅炉的安全运行。火焰贴壁会使炉墙局部温度过高,加速炉墙损坏,同时可能导致结渣,影响受热面的传热效果,降低锅炉热效率。数值模拟结果表明,当火焰偏斜角度达到 15° 时,炉墙局部最高温度可升高 80℃,锅炉热效率下降 2.5%。

2.4 运行参数控制

锅炉的运行参数,如一次风率、二次风率、炉膛负压等,对燃烧稳定性有着重要影响。一次风率过高,会降低煤粉浓度,延迟着火时间,因为过多的一次风会带走煤粉燃烧初期产生的热量,使煤粉着火所需热量难以积聚。一次风率过低,则容易导致煤粉堵塞管道。研究表明,当一次风率从 25% 增加到 35% 时,煤粉着火延迟时间延长 40ms。

二次风配风方式不合理,会影响煤粉的燃尽程度,降低燃烧效率。比如,二次风过早或过晚送入炉膛,都不利于煤粉与空气的充分混合和燃烧。炉膛负压波动过大,会导致炉膛内气流紊乱,影响燃烧稳定性。当炉膛负压波动时,进入炉膛的空气量不稳定,破坏了燃烧的平衡状态。实测数据显示,炉膛负压波动 $\pm 50\text{Pa}$ 时,炉膛内气流速度波动可达 2m/s,严重影响燃烧稳定性。

三、提升 330MW 火电机组锅炉燃烧稳定性的策略

3.1 优化燃料管理

强化燃料采购管理,保障煤质稳定。与优质供应商建立长期稳定的合作关系,签订严格的煤质合同,明确煤质指标要求。定期使用先进的煤质分析设备检测煤质,实时掌握煤质变化情况。例如,采用 X 射线荧光光谱仪等设备,可快速、准确地分析煤的成分。根据煤质变化,及时调整锅炉运行参数,对于挥发分含量较低的煤种,可以采用掺烧高挥发分煤的方法,改善煤粉着火性能。例如,将无烟煤和烟煤按 3:7 比例掺烧,提高混合煤的挥发分含量。经试验,当无烟煤与烟煤按 3:7 比例掺烧时,混合煤挥发分可提高至 22%,着火性能明显改善。

同时,合理控制煤的水分,在煤场设置防雨设施,对水分过高的煤进行晾晒或烘干处理,避免因水分过高影响燃烧稳定性。可采用机械脱水、太阳能烘干等方式降低煤的水分。研究表明,将煤的水分从 10% 降低至 7%,锅炉热效率可提高 1.8%。

3.2 改进制粉系统运行

优化制粉系统运行参数,提高制粉系统出力和煤粉细度。通过调整磨煤机的通风量、研磨压力等参数,保障制粉系统稳定运行。比如,依据磨煤机型号和煤质特性,通过试验确定最佳通风量和研磨压力。以某型号磨煤机为例,经试验确定,当通风量为 120m³/h,研磨压力为 0.8MPa 时,制粉系统出力最高,煤粉细度最佳。可采用新型密封材料和密封结构,提升制粉系统的密封性能。如采用石墨复合密封材料,可将制粉系统漏风率降低至 3% 以下。

此外,还可以运用基于智能算法的制粉系统自动控制等先进技术,实现制粉系统的智能化控制,提高制粉系统的运行效率和稳定性。利用神经网络算法,根据煤质、磨煤机电流、进出口压差等参数,自动调整磨煤机运行参数,使制粉系统始终处于最佳运行状态。应用案例表明,采用智能化控制后,制粉系统出力提高 15%,煤粉细度合格率提高 12%。

3.3 优化燃烧器设计与布置

根据锅炉实际运行情况,对燃烧器进行优化设计和布置。采用旋流燃烧器、浓淡燃烧器等新型燃烧器结构,改善煤粉与空气的混合效果,提高燃烧效率。旋流燃烧器通过旋转气流使煤粉与空气充分混合,浓淡燃烧器则根据煤粉浓度差异进行分级燃烧,提升燃烧的稳定性。研究表明,采用新型燃烧器后,煤粉与空气混合均匀度可提高 20%,燃烧效率提高 8%。

合理调整燃烧器的安装角度和位置,借助数值模拟技术,优化炉膛内的气流组织,避免火焰偏斜、贴壁等问题。利用 CFD 软件对炉膛内气流进行模拟,根据模拟结果调整燃烧器安装角度和位置。经优化后,火焰偏斜角度可控制在 5° 以内。同时,加强燃烧器的维护,定期清理燃烧器内部的积灰和结渣,确保其正常运行。可采用在线清灰装置和定期人工清理相结合的方式,保持燃烧器清洁。

3.4 加强运行参数控制

构建完善的锅炉运行参数监测与控制系统，采用先进的传感器和自动化控制设备，实时监测锅炉运行参数，根据参数变化及时调整运行策略。例如，安装高精度的温度、压力、流量传感器，实现对锅炉运行参数的精准监测。合理控制一次风率、二次风率和炉膛负压，通过优化配风曲线，确保锅炉在最佳工况下运行。根据不同负荷和煤质，制定个性化的配风曲线，使一次风率、二次风率达到最佳匹配。

此外，还可以采用模糊控制、神经网络控制等先进燃烧控制技术，实现对锅炉燃烧过程的精准控制。模糊控制能根据锅炉运行参数的变化，自动调整燃烧器的出力和配风，神经网络控制则可通过学习大量运行数据，预测锅炉运行状态，提前调整控制参数，提高燃烧的稳定性效率。实际应用中，采用先进燃烧控制技术后，锅炉燃烧稳定性明显提高，负荷响应速度加快，机组供电煤耗降低 10g/kWh。

四、案例分析

4.1 案例背景

某发电公司运营着一台 330MW 火电机组，该机组采用中储式制粉系统，为亚临界一次中间再热机组，在区域电力供应中发挥着重要作用。然而，在长期运行过程中，锅炉燃烧稳定性方面出现了诸多问题。灭火事故时有发生，平均每月发生 3 次，严重影响了机组的正常运行。结渣问题也十分严重，大量炉渣附着在锅炉内部受热面和炉膛壁等关键部位，不仅干扰机组的安全稳定运行，还大幅增加了维护成本，降低了发电效率，急需解决这些问题，恢复机组的高效稳定运行。

4.2 问题分析

专业团队运用先进的数据挖掘和分析技术，对机组运行数据进行深入分析，并借助专业检测设备，开展全方位现场检查，找出了该机组锅炉燃烧稳定性差的主要原因。

首先，煤质波动较大，部分采购煤种的挥发分含量远低于理想范围。挥发分是煤炭燃烧时首先析出并参与燃烧反应的关键成分，其含量降低会使着火过程变得困难。据统计，一段时间内采购煤种的挥发分含量在 10% - 20% 之间大幅波动，而设计要求的挥发分含量范围为 18%-22%，这导致煤炭着火延迟，燃烧过程不稳定，严重影响锅炉的整体燃烧效率。

其次，燃烧器在炉膛内的布置设计存在缺陷，对炉膛内的气流组织产生了负面影响。由于燃烧器布置不合理，炉膛内气流组织混乱，火焰出现偏斜现象，甚至贴壁燃烧。火焰偏斜不仅降低了燃烧效率，造成能源浪费，还引发了结渣问题。结渣会在炉膛壁面和受热面上逐渐堆积，影响热量传递，进一步破坏燃烧环境的稳定性。通过炉膛内气流模拟分析发现，燃烧器出口气流相互干扰，火焰偏斜角度达到 15° - 20°，严重破坏了炉膛内的良好燃烧环境。

4.3 解决方案

针对上述问题，该发电公司迅速制定并实施了一系列针对

性措施。在燃料管理方面，优化燃料采购管理流程，与信誉良好的优质供应商建立长期合作关系，从源头保障煤质稳定。部署先进的煤质监测设备，实时跟踪煤质变化，据此及时、准确地调整锅炉运行参数，如配风比例、燃烧器出力等，确保锅炉在不同煤质条件下都能稳定运行。通过研究和试验，优化制粉系统运行参数，调整磨煤机的研磨力度和通风量，提高煤粉细度。经优化后，煤粉细度由原来的 20% 降低至 12%。

在燃烧器改造方面，邀请专业燃烧器设计团队对燃烧器进行优化改造，借助模拟软件计算并调整燃烧器的安装角度和位置，优化炉膛内的气流组织，减少火焰偏斜和贴壁现象，营造良好的燃烧环境。将燃烧器安装角度调整 8°，位置优化后，火焰偏斜现象得到明显改善。

4.4 实施效果

通过实施上述一系列措施，该机组锅炉的燃烧稳定性得到了显著提升。灭火、结渣等问题得到有效控制，机组运行稳定性大幅提高。发电效率相比改造前提升了 3%，在相同能源投入下能产出更多电能；厂用电率降低了 2%，减少了电力生产过程中的自身能耗。这些积极变化不仅为发电公司带来了可观的经济效益，降低了生产成本，还在节能减排、稳定电力供应方面，做出了积极贡献。经测算，每年可节约成本 500 万元，减少二氧化碳排放 3000 吨。

五、结论

330MW 火电机组锅炉燃烧稳定性，受燃料特性、制粉系统运行、燃烧器设计与布置、运行参数控制等多种因素影响。通过优化燃料管理、改进制粉系统运行、优化燃烧器设计与布置、加强运行参数控制等策略，可以有效提升锅炉燃烧稳定性，提高机组的安全、经济运行水平。在实际应用中，应结合机组实际情况，制定针对性解决方案，持续优化锅炉运行管理，为火力发电行业的可持续发展提供有力支持。未来，随着技术的不断进步，还需进一步探索新的技术和方法，如智能燃烧诊断、自适应控制等，以进一步提升 330MW 火电机组锅炉燃烧稳定性，适应不断变化的电力市场需求和环保要求。

【参考文献】

- [1]吕俊复, 岳光溪. 循环流化床燃烧技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2019.
- [2]岑可法, 姚强. 燃烧理论与污染控制 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2020.
- [3]徐通模, 惠世恩. 锅炉原理 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2021.
- [4]张忠孝. 煤燃烧新技术 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2018.
- [5]王乃继. 电站锅炉燃烧优化技术及工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2022.