

火力发电厂锅炉深度调峰优化调整

崔 晓 史子健 宋 磊

华能山东发电有限公司白杨河发电厂 山东 淄博 255200

摘 要：在当今能源结构加速转型的大背景下，风力、太阳能等可再生能源发电规模迅速扩张，给传统火力发电带来了前所未有的挑战。本文聚焦火力发电厂锅炉深度调峰优化调整展开研究。剖析了深度调峰的基本原理，指出其面临燃烧稳定性差、热效率降低、水冷壁超温以及污染物排放增加等问题。从燃烧优化调整、设备改造升级、运行参数优化以及智能控制系统应用等方面，提出了一系列针对性的优化调整策略，旨在提升火力发电厂锅炉深度调峰的性能与效益。

关键词：火力发电厂；锅炉深度调峰；优化调整

引言：随着电力需求结构的变化，火力发电厂承担深度调峰任务的频率日益增加。深度调峰对于保障电网稳定运行、提升电力系统灵活性意义重大。然而，在此过程中，火力发电厂锅炉面临诸多挑战，严重影响其安全、经济与环保运行。深入研究锅炉深度调峰过程中的问题，并探寻有效的优化调整策略，成为当下火力发电领域亟待解决的关键课题，对于提升火力发电的整体效能与可持续发展具有重要现实意义。

1 火力发电厂锅炉深度调峰的基本原理

火力发电厂锅炉深度调峰，旨在使锅炉在大幅变动的负荷范围内安全、稳定且高效运行，以契合电网不同时段的电力需求。其基本原理基于对锅炉燃烧过程、蒸汽产生及能量平衡的精准调控。第一，从燃烧层面来看，当需降低负荷深度调峰时，通过减少进入炉膛的燃料量，如降低给煤机转速来控制煤量输入，同时相应调整配风，维持合适的风煤比，确保燃料充分且稳定燃烧。例如，采用先进的燃烧器技术，可实现低负荷下燃料的高效混合与燃烧，增强燃烧稳定性。第二，在蒸汽产生方面，锅炉利用燃料燃烧释放的热量将水加热转化为蒸汽。深度调峰时，随着燃料量减少，产热量降低，为保证蒸汽参数稳定，需对锅炉的水循环、汽水分离等环节进行精细调节。如调整给水泵流量，维持合适的水位，确保水冷壁内工质正常流动，防止出现干涸、超温等异常情况。第三，深度调峰还涉及对整个机组能量平衡的把控。通过协调汽轮机、发电机等设备的运行参数，实现电能输出与锅炉能量供应的动态匹配，保障机组在不同负荷工况下均能高效运行，从而达成深度调峰的目标，满足电网对电力灵活调节的需求^[1]。

2 火力发电厂锅炉深度调峰面临的问题

2.1 燃烧稳定性问题

2.1.1 低负荷下燃烧恶化的原因

在低负荷工况时，燃料量大幅减少，炉膛温度随之降低。此时，燃料的着火条件变差，煤粉气流难以稳定着火，导致燃烧延迟甚至熄火。同时，低负荷时配风调节难度增大，易出现风煤混合不均的情况，部分区域氧量过高或过低，进一步阻碍燃料充分燃烧，加剧燃烧恶化。此外，劣质煤的使用也会因挥发分低、热值不稳定等特性，在低负荷下更易引发燃烧问题。

2.1.2 对锅炉运行安全的影响

燃烧稳定性差会严重威胁锅炉运行安全。燃烧恶化可能导致火焰闪烁、熄灭，频繁的灭火与再点火操作，会使炉膛内产生强烈的压力波动，引发炉膛爆燃，损坏炉墙、燃烧器等设备。而且，未充分燃烧的燃料可能在尾部烟道积聚，遇明火发生二次燃烧，烧坏尾部受热面，造成设备故障，影响锅炉正常运行，甚至引发安全事故，危及人员生命与电厂财产安全。

2.2 热效率降低

2.2.1 负荷变化对热效率的影响

当火力发电厂锅炉进行深度调峰，负荷降低时，锅炉热效率会显著下降。一方面，低负荷下燃料燃烧强度减弱，炉膛温度场分布不均，部分热量被过量空气带走，排烟热损失增加。另一方面，为维持燃烧稳定性，可能需投入更多辅助燃料，这部分额外燃料消耗并未有效转化为有用功，导致整体能量利用率降低，热效率随之降低。

2.2.2 经济运行成本的增加

热效率降低直接导致经济运行成本攀升。由于热效率下降，生产相同电量需消耗更多燃料，燃料成本大幅增加。同时，为保障锅炉在低负荷下稳定运行，设备维护频率和检修成本上升，如频繁调整燃烧器、检查受热

面等。此外,热效率低还可能使机组发电出力受限,错过高电价时段,减少发电收益,从多方面加重了电厂的经济负担。

2.3 水冷壁超温问题

2.3.1 深度调峰时水冷壁的工作状况

在深度调峰阶段,锅炉负荷大幅下降,水冷壁的工作状况变得复杂。一方面,由于燃料量减少,炉膛整体热负荷降低,但部分区域热负荷分布不均的情况加剧。部分水冷壁管可能因热负荷相对集中,吸收过多热量。另一方面,低负荷下,工质流量可能出现偏差,一些水冷壁管内工质流速降低,对流传热减弱,导致管壁温度升高。此外,为维持燃烧稳定,配风调整可能影响炉膛内的气流流动,进一步干扰水冷壁的换热,使部分水冷壁面临超温风险。

2.3.2 超温对水冷壁寿命的影响

水冷壁长期超温会严重缩短其使用寿命。超温时,金属材料的金相组织发生变化,强度和韧性下降。高温下,金属会发生蠕变,导致管壁逐渐变薄,承压能力降低。同时,超温还会加速金属的腐蚀过程,如高温氧化、硫化腐蚀等,使水冷壁表面产生缺陷。这些缺陷在长期运行中不断扩展,最终可能导致水冷壁爆管。一旦发生爆管,不仅会造成设备损坏,还会导致机组非计划停运,增加维修成本和时间,严重影响电厂的正常生产运营。

2.4 污染物排放增加

2.4.1 低负荷下污染物生成机理

在低负荷运行状态下,锅炉内的燃烧工况发生显著变化,致使污染物生成量增加。一方面,由于炉膛温度降低,燃烧反应速率减缓,燃料中的氮元素更易生成氮氧化物(NO_x),尤其是热力型 NO_x 的生成量受温度影响明显。另一方面,低负荷时风煤混合不均,燃料无法充分燃烧,导致一氧化碳(CO)和未燃尽碳氢化合物(HC)排放增加。此外,部分燃烧产物在低温环境下易发生复杂化学反应,促使二氧化硫(SO_2)等酸性气体转化为硫酸盐等二次污染物,进一步加重污染物排放问题。

2.4.2 对环境的影响

污染物排放增加对环境造成多方面的负面影响。氮氧化物排放增多会引发酸雨、光化学烟雾等环境问题,危害生态系统,破坏植被,影响农作物生长。一氧化碳是有毒气体,大量排放会污染空气,降低空气质量,威胁人类呼吸系统健康。未燃尽碳氢化合物会参与大气中复杂的光化学反应,形成臭氧等二次污染物,导致大气氧化性增强,加剧雾霾天气的形成。而二氧化硫等酸性

气体排放增加,会导致降水酸性增强,对土壤、水体和建筑物等造成严重腐蚀,破坏生态平衡^[2]。

3 火力发电厂锅炉深度调峰优化调整策略

3.1 燃烧优化调整

3.1.1 配煤掺烧技术

配煤掺烧技术通过合理调配不同煤种,改善入炉煤质,提升锅炉在深度调峰时的燃烧性能。电厂可依据不同煤种的挥发分、热值、灰分等特性,制定科学掺烧方案。例如,将高挥发分、高热值煤与低挥发分、低热值煤按特定比例混合,既能保证低负荷下燃料易着火、稳定燃烧,又能控制成本。同时,考虑煤种的结渣特性,避免因掺烧导致炉膛结渣,影响传热与燃烧稳定性。通过精准的配煤掺烧,可有效提升燃烧效率,降低污染物生成,增强锅炉深度调峰的适应性。

3.1.2 燃烧器调整

燃烧器调整是改善燃烧状况的关键手段。在深度调峰时,可对燃烧器的结构与运行参数进行优化。对于燃烧器结构,可采用新型低氮燃烧器,其特殊设计能促进燃料与空气的分级混合,降低氮氧化物生成。在运行参数方面,调节燃烧器的二次风配风比例,增强低负荷下的扰动,使风煤混合更均匀,改善燃烧效果。同时,调整燃烧器的摆角,优化火焰中心位置,避免局部热负荷过高,提高燃烧稳定性,减少因燃烧不良带来的诸多问题,保障锅炉高效稳定运行。

3.2 设备改造升级

3.2.1 制粉系统改造

在深度调峰工况下,制粉系统的性能直接影响锅炉的稳定运行与经济性。将传统定速磨煤机升级为变速磨煤机是关键举措。变速磨煤机能够依据锅炉负荷实时调整转速,实现磨煤出力与负荷的精准匹配。在低负荷时,降低磨煤机转速,减少磨煤量,避免能源浪费,同时减少设备磨损。对于分离器,可采用新型动态分离器,通过优化内部结构,增强对煤粉细度的调节能力。在深度调峰的低负荷阶段,能够将煤粉细度精确控制在合适范围,使煤粉在炉膛内更易着火,燃烧更充分,进而增强燃烧稳定性。此外,给煤机的升级同样重要。采用具备高精度计量功能的电子皮带秤式给煤机,并搭配先进的变频调速装置,确保给煤量稳定且精确,为锅炉稳定燃烧提供可靠的燃料供应,全面提升制粉系统在深度调峰时的适应性与整体性能。

3.2.2 受热面改造

受热面改造对于提升锅炉在深度调峰时的热效率与安全性意义重大。针对炉膛水冷壁受热面,选用内螺纹

管等强化传热管材是有效手段。内螺纹管独特的内壁结构能增强工质在管内的扰动,强化水冷壁与工质间的换热效果,在相同吸热量下,可显著降低管壁温度,有效防止超温现象发生。在尾部受热面,合理布置低温省煤器可充分回收烟气余热。低温省煤器将低温给水与高温烟气进行热交换,提高锅炉进水温度,降低排烟温度,减少排烟热损失,提高锅炉整体热效率。同时,为应对深度调峰工况下复杂的运行环境,对受热面进行防磨、防腐处理不可或缺。可在易磨损部位喷涂耐磨陶瓷涂层,增强受热面抗磨损能力;通过合理调整烟气流速,避免局部流速过高导致磨损加剧。

3.3 运行参数优化

3.3.1 风量与氧量控制

在深度调峰过程中,精确的风量与氧量控制至关重要。低负荷时,需根据燃料量精准调节送风量,避免因风量过大导致排烟热损失增加,或风量过小造成燃烧不充分。通过安装先进的风量测量装置,实时监测并反馈风量数据,确保送风量与锅炉负荷匹配。氧量控制同样关键,维持合适的炉膛出口氧量,既能保证燃料充分燃烧,又能防止过量空气系数过高。利用氧量分析仪,将氧量控制在最佳范围,一般在3%-5%之间。同时,优化二次风配风方式,增强低负荷下的燃烧扰动,促进燃料与空气均匀混合,提升燃烧效率,降低污染物排放,保障锅炉在深度调峰时稳定、高效运行。

3.3.2 给水与蒸汽参数调整

给水与蒸汽参数的合理调整,有助于提升锅炉在深度调峰时的性能。在给水方面,根据负荷变化动态调节给水泵转速,确保给水流量与蒸发量相匹配,维持稳定的汽包水位。采用先进的水位控制系统,结合三冲量调节(汽包水位、给水流量、蒸汽流量),提高水位控制精度,防止出现缺水或满水事故。对于蒸汽参数,在低负荷下,通过优化过热器和再热器的减温水调节,维持蒸汽温度稳定在设计值附近。避免蒸汽温度过高损坏设备,或温度过低影响汽轮机效率。

3.4 智能控制系统应用

3.4.1 引入先进的控制算法

在火力发电厂锅炉深度调峰过程中,引入先进控制算法可大幅提升控制精度与效率。传统控制算法难以应对复杂多变的工况,而如模型预测控制(MPC)算法,

能依据锅炉动态模型预测未来运行状态,提前调整控制参数。通过实时采集锅炉的温度、压力、流量等大量运行数据,MPC算法可对燃烧、给水、蒸汽等系统进行协同优化控制。在负荷快速变化时,精准调节燃料量与风量,确保燃烧稳定,降低热惯性影响。模糊控制算法也极具优势,它能将操作人员的经验转化为控制规则,针对难以精确建模的非线性系统,如低负荷下燃烧特性的复杂变化,实现灵活且有效的控制,显著提升锅炉在深度调峰时的自适应能力与运行稳定性。

3.4.2 构建智能监控与诊断系统

构建智能监控与诊断系统是保障锅炉深度调峰安全运行的关键。该系统借助传感器网络,全方位采集锅炉各部件的运行参数,如受热面温度、振动数据等。运用大数据分析技术,对海量数据进行深度挖掘与处理,能实时监测锅炉运行状态。一旦参数出现异常波动,系统利用人工智能算法,如神经网络算法,快速诊断故障类型与位置。例如,当检测到水冷壁某区域温度异常升高时,系统可迅速判断是因结渣、积灰还是水循环故障导致,并及时发出预警。通过智能诊断,运维人员能提前采取针对性措施,如安排吹灰、调整水循环泵流量等,避免故障扩大,减少非计划停机时间,提升锅炉运行可靠性,确保深度调峰期间的稳定运行^[3]。

结束语

综上所述,火力发电厂锅炉深度调峰面临着燃烧稳定性、热效率、水冷壁超温及污染物排放等诸多严峻问题。通过实施燃烧优化调整、设备改造升级、运行参数优化以及引入智能控制系统等一系列策略,能够有效提升锅炉在深度调峰工况下的性能。这些优化调整策略不仅保障了电厂的安全、经济、环保运行,增强了电网供电的稳定性与灵活性,更为火力发电行业的可持续发展提供了有力支撑,助力其在复杂多变的能源格局中实现高效转型与升级。

参考文献

- [1] 张晓楠. 火力发电厂锅炉燃烧运行优化思路刍议[J]. 现代工业经济和信息化, 2021(10): 166-167.
- [2] 罗斌. 炉膛测温技术应用于锅炉燃烧优化[J]. 应用能源技术, 2021(02): 111-112.
- [3] 王欣. 电力锅炉燃烧优化策略探讨[J]. 中国设备工程, 2020(07): 181-182.