

电厂循环流化床锅炉低负荷调峰运行优化

高 鲲

国能亿利能源有限责任公司电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘要: 循环流化床锅炉在低负荷调峰运行时, 面临燃烧稳定性不足、床温控制难度增加、物料循环流化质量不佳及汽水系统参数波动等制约。本文通过分析核心运行特性, 提出燃烧系统优化策略, 包括一二次风配比、给煤量调控、床料管理、稳燃系统优化; 同时给出锅炉整体运行参数协同优化策略, 涵盖负荷升降速率控制、床温床压与负荷联动调控、配风与给料协同匹配、主机与辅机参数适配调控, 以提升低负荷调峰运行稳定性与经济性。

关键词: 循环流化床锅炉; 低负荷调峰; 燃烧稳定性; 床温控制; 参数协同优化

引言: 随着电力需求结构变化, 火电机组低负荷调峰需求日益凸显。循环流化床锅炉凭借燃料适应性广、污染物排放低等优势, 成为调峰主力机组。但在低负荷运行中, 锅炉燃烧稳定性、床温控制、物料循环、汽水系统等方面面临诸多挑战, 制约调峰深度与持续时间。深入研究低负荷调峰运行优化策略, 对提升锅炉运行稳定性、经济性, 保障电网安全稳定运行具有重要意义。

1 低负荷调峰运行下循环流化床锅炉核心运行特性分析

1.1 床温分布与热平衡变化

低负荷调峰运行时, 锅炉输入热量显著减少, 床温分布呈现明显不均匀性, 整体水平较额定负荷大幅下降^[1]。床层不同区域温差波动增大, 密相区床温衰减速度快于稀相区, 炉膛纵向床温梯度变大, 横向床温分布对称性被打破。热平衡状态发生根本性改变, 燃料燃烧释放的热量难以满足锅炉散热与工质吸热需求, 炉膛散热损失占比相对上升, 排烟热损失也因烟气流速降低、换热时间延长而有所增加。床料蓄热能力下降, 床温波动幅度扩大, 稳定性变差, 容易出现局部床温过低导致的燃烧不完全, 进一步影响热平衡稳定性, 使得锅炉热效率呈现不同程度的下降, 给运行调整带来一定难度。

1.2 物料循环系统流动特性演变

低负荷条件下, 燃料供应量减少带动一次风、二次风风量相应调整, 物料循环系统流动特性发生显著演变。分离器入口烟气流速降低, 对物料的分离效率下降, 循环物料量减少且波动加剧, 循环倍率呈现非线性下降趋势。返料系统内物料流动速度减慢, 容易出现物料堆积现象, 返料均匀性变差, 进而影响炉膛内物料浓度分布。炉膛内物料浓度整体降低, 密相区物料浓度下降更为明显, 稀相区物料悬浮高度降低, 物料停留时间延长。物料颗粒间的碰撞、摩擦频率减少, 物料流动性减弱, 部分区

域可能出现物料流化不良, 破坏物料循环的连续性, 间接影响炉内燃烧与传热过程。

1.3 炉内燃烧反应特性改变

低负荷运行导致炉内燃料浓度降低, 燃烧反应特性发生明显改变。燃料在炉膛内的停留时间延长, 但氧气浓度分布不均, 局部区域出现缺氧现象, 燃料燃烧速度减慢, 燃烧效率下降。挥发分释放速率降低, 燃烧峰值温度下降, 火焰传播速度减慢, 炉内局部区域可能出现熄火隐患。燃烧反应的充分性下降, 未完全燃烧的燃料颗粒增多, 不仅影响锅炉热效率, 还会增加后续除尘设备的负担。炉内燃烧强度减弱, 热量释放更加分散, 难以形成稳定的高温燃烧区域, 进一步加剧床温分布不均与热平衡失衡, 使得燃烧调整的难度显著提升。

1.4 汽水系统工质流动与传热变化

低负荷运行时, 锅炉产汽量减少, 汽水系统工质流动与传热特性发生一系列变化。水冷壁内工质流速降低, 流动状态可能从湍流转变为过渡流甚至层流, 工质换热系数下降, 换热效果减弱。汽包水位波动幅度增大, 水位稳定性变差, 容易出现虚假水位现象, 给水位调整带来挑战。过热器、再热器内工质流量减少, 烟气与工质之间的换热温差减小, 换热效率下降, 可能导致过热蒸汽、再热蒸汽温度偏低, 影响机组出力与运行安全性。省煤器、空气预热器的换热效果也因烟气流速与温度降低而减弱, 工质加热速度减慢, 进一步影响汽水系统的整体稳定性与经济性, 需通过精细调整确保汽水系统正常运行。

2 低负荷调峰运行的核心制约因素梳理

2.1 燃烧稳定性不足的制约

低负荷调峰运行中, 燃烧稳定性不足成为首要制约因素。燃料供给量减少使得炉内燃料浓度降低, 氧气分布难以均匀控制, 部分区域易形成缺氧环境, 导致燃料燃烧

速度放缓,燃烧反应不够充分^[2]。床料蓄热能力下降,床温波动范围扩大,难以维持稳定的燃烧温度区间,容易出现局部熄火或燃烧中断情况。挥发分释放速率降低,火焰传播速度减缓,炉内无法形成稳定的燃烧核心,进一步削弱燃烧稳定性。未完全燃烧的燃料颗粒积累,会改变炉内物料浓度分布,间接影响燃烧工况,导致锅炉无法长期稳定维持低负荷运行,限制调峰深度与持续时间。

2.2 床温控制难度增加的制约

床温控制难度增加是低负荷调峰运行的重要制约因素。低负荷状态下,输入热量减少与散热损失占比上升形成矛盾,床温整体水平下降且分布不均,纵向与横向温差扩大,给床温调控带来极大挑战。床料蓄热能力减弱,床温对燃料量、风量的调整敏感度显著提升,微小的参数变动就会引发床温大幅波动。密相区与稀相区床温衰减速度不同,难以通过单一调整手段实现全炉膛床温均衡,局部床温过低易导致燃烧不完全,局部床温过高则可能损坏炉内受热面。床温调控的滞后性增强,调整效果无法及时显现,进一步增加控制难度,制约低负荷运行的稳定性。

2.3 物料循环流化质量的制约

物料循环流化质量不佳对低负荷调峰运行形成明显制约。低负荷时风量调整导致分离器入口烟气速度下降,物料分离效率降低,循环物料量减少且波动频繁,循环倍率难以维持稳定。返料系统内物料流动速度减慢,易发生物料堆积,返料均匀性下降,破坏炉膛内物料浓度的合理分布。炉膛内物料浓度整体降低,密相区流化状态变差,部分区域出现流化不良甚至死床现象,影响燃料与氧气的充分接触。物料颗粒流动性减弱,碰撞摩擦频率减少,进一步恶化流化质量,导致炉内传热、传质效率下降,无法为稳定燃烧提供保障,限制低负荷调峰能力。

2.4 汽水系统参数波动的制约

汽水系统参数波动是低负荷调峰运行的关键制约因素。低负荷下锅炉产汽量减少,水冷壁内工质流速下降,流动状态发生转变,换热系数降低,易出现局部换热不均,影响工质加热效果。汽包水位受产汽量、给水量波动影响,波动幅度增大,虚假水位现象频发,难以精准控制水位在合理范围。过热器、再热器内工质流量减少,与烟气换热温差缩小,换热效率下降,易导致蒸汽温度偏低,影响机组出力与运行安全。省煤器、空气预热器换热效果减弱,工质加热速度减慢,进一步加剧汽水系统参数波动,导致汽水系统稳定性下降,无法适配低负荷调峰的长期运行需求。

3 燃烧系统低负荷调峰运行优化策略

3.1 一二次风配比及风速优化

一二次风配比及风速优化是燃烧系统低负荷调峰优化的基础手段。低负荷运行时,需根据床温、燃料特性及流化状态,合理调整一二次风比例,避免单一风量调整引发的流化不良或燃烧不均^[3]。适当提高一次风风速,增强床料流化强度,改善床温分布均匀性,减少局部死床或流化不足情况。二次风需采用分层分段供给方式,精准补充炉内氧气,促进燃料充分燃烧,缓解局部缺氧问题。风速调整需遵循渐进式原则,缓慢调节风量与风速,避免参数突变导致床温大幅波动或物料循环紊乱,通过优化工况为稳定燃烧奠定良好基础。

3.2 给煤量及给料均匀性调控

给煤量及给料均匀性调控直接影响低负荷燃烧稳定性。需根据锅炉负荷需求,精准控制给煤总量,避免给煤过多导致炉内积煤、缺氧,或给煤过少造成床温过低、熄火隐患。优化给料方式,采用多点均匀给煤,减少局部燃料堆积,确保炉内燃料浓度分布均衡。调整给煤频率,避免间歇式给煤引发的床温波动,维持炉内燃料供给的连续性。同时优化给煤颗粒度匹配,使给煤颗粒与床料粒径适配,促进燃料快速着火、充分燃烧,提升燃烧效率,减少未完全燃烧损失。

3.3 床料粒径与高度动态管理

床料粒径与高度动态管理可有效改善低负荷流化质量与床温稳定性。定期筛选床料,去除过大或过小颗粒,维持床料粒径在合理范围,增强床料流动性与蓄热能力,减少流化阻力。根据负荷变化动态调整床料高度,低负荷时适当降低床料高度,降低流化能耗,同时保证床层具有足够蓄热能力,缓解床温波动。及时补充新鲜床料,弥补床料损耗,维持床料总量稳定,避免床料过少导致的蓄热不足,或床料过多引发的流化困难,通过动态调控实现床层状态最优。

3.4 稳燃系统投运方式优化

稳燃系统投运方式优化是保障低负荷稳定燃烧的关键。结合低负荷床温状态,合理确定稳燃系统投运时机与投运强度,避免过早投运增加能耗,或过晚投运无法及时稳定燃烧。优化稳燃介质供给方式,确保稳燃热量均匀分布,重点补充床温较低区域的热量,缓解床温不均问题。根据燃料特性调整稳燃参数,适配不同燃料的着火特性,促进燃料快速引燃,形成稳定燃烧核心。低负荷运行期间,加强稳燃系统与风、煤系统的协同配合,实现参数联动调整,确保锅炉在低负荷区间能够长期稳定运行,提升调峰可靠性与经济性。

4 锅炉整体运行参数协同优化策略

4.1 负荷升降速率合理控制

负荷升降速率合理控制是锅炉整体参数协同优化的前提,也是保障低负荷调峰安全稳定的基础。低负荷区间锅炉蓄热能力减弱,参数调整敏感性提升,过快升高负荷会导致燃料供给与风量适配滞后,引发炉内缺氧、床温骤升,甚至损坏炉内受热面^[4]。过快降低负荷则会造成床温急剧下降、流化质量恶化,增加熄火风险。需结合锅炉当前运行状态、床温床压及汽水系统参数,合理设定负荷升降速率,缓慢调整负荷变化幅度,为风、煤、床料等参数调整预留充足时间,确保各系统参数逐步适配负荷变化,避免参数失衡引发的运行波动,保障锅炉平稳过渡至目标负荷。

4.2 床温、床压与负荷联动调控

床温、床压与负荷联动调控可实现锅炉运行状态的精准匹配,提升低负荷运行稳定性。负荷变化时同步调整床温与床压,使三者形成协同适配关系。负荷降低时,适当调整床料高度与风量,维持床压在合理范围,避免床压过高增加流化阻力,或床压过低导致流化不稳定。结合负荷需求调控床温,通过调整给煤量与配风比例,将床温维持在适宜燃烧区间,缓解床温不均与波动问题。负荷升降过程中,实时监测床温、床压变化,动态调整调控参数,使床温、床压始终适当前负荷状态,为稳定燃烧与流化提供保障,提升整体运行协调性。

4.3 配风与给料参数协同匹配

配风与给料参数协同匹配是解决低负荷燃烧不均、缺氧问题的关键,也是整体参数协同优化的核心环节,直接影响燃烧效率与运行稳定性。给料量调整时同步优化配风参数,打破配风与给料各自调整的局限,根据给煤总量与颗粒度,合理分配一次风与二次风比例,确保炉内氧气供给与燃料量精准适配,既满足燃料燃烧需求,又避免风量浪费或氧气不足。给煤量增加时,适度提高二次风供给量,分层分段补充炉内氧气,促进燃料充分燃烧,减少未完全燃烧损失;给煤量减少时,相应调整风量,避免风量过大带走过多热量导致床温下降,或风量过小造成缺氧积煤、燃烧效率下降。优化配风与给料的

调整时序,避免单一参数先行调整引发的工况紊乱,实现配风与给料协同联动,确保炉内燃料燃烧充分、流化稳定,进一步提升低负荷运行的经济性与可靠性。

4.4 主机与辅机参数适配调控

主机与辅机参数适配调控可保障锅炉整体运行的协调性,避免辅机参数与主机运行状态脱节,进而制约低负荷调峰能力,同时降低整体能耗。主机负荷变化时,同步调整辅机运行参数,使辅机出力始终适配主机运行需求,形成主机与辅机协同运行的良好格局。风机、给水泵、返料风机等辅机参数,需根据主机负荷、床温、床压及汽水系统参数动态调整,避免辅机出力过高造成能耗浪费,或出力不足影响主机正常运行、导致参数波动。加强主机与辅机的协同联动,实时监测辅机运行状态,及时调整辅机参数,确保辅机与主机运行节奏一致,避免辅机调整滞后于主机负荷变化,进一步提升锅炉整体运行的稳定性与经济性,适配低负荷调峰的长期运行需求,保障调峰过程平稳高效。

结束语

循环流化床锅炉低负荷调峰运行优化是一项复杂系统工程。通过实施燃烧系统优化策略,可有效改善燃烧稳定性,提升床温控制精度,保障物料循环流化质量;锅炉整体运行参数协同优化策略,能实现各系统参数精准匹配,提升整体运行协调性。综合运用这些策略,可切实提升锅炉低负荷调峰运行稳定性与经济性,满足电网调峰需求,为火电机组灵活运行提供有力支撑。

参考文献

- [1]史希泉.某80t/h循环流化床锅炉低氮燃烧改造实践[J].上海化工,2023,48(02):48-50.
- [2]舒晓.高温分离循环流化床锅炉低氮燃烧改造小结[J].纯碱工业,2022,(06):37-39.
- [3]李百鹏,何昱,王胡钧,等.基于低氮燃烧技术的循环流化床锅炉改造[J].冶金能源,2022,41(06):50-52.
- [4]汤仔华,宋国良,宋维健,等.循环流化床锅炉快速变负荷调节技术研究进展[J].中国电机工程学报,2024,44(06):2279-2292.