

循环流化床锅炉常见运行问题分析

屈彩军

北京国电电力有限公司上湾热电厂 陕西 榆林 719300

摘要: 循环流化床锅炉运行中常见结焦(高温、低温、渐进性)、磨损(受热面、耐火材料、风帽)、返料装置故障(堵塞、风量失控)及燃烧不稳定(床压波动、飞灰含碳量高)等问题。成因包括设计缺陷、操作不当、燃料特性不符及维护不足。优化策略涵盖优化燃烧控制、采用耐磨材料与结构、改进返料装置设计、引入智能控制算法等,以提升运行安全性与经济性。

关键词: 循环流化床锅炉; 常见运行问题; 优化策略; 解决方案

引言: 循环流化床锅炉作为一种高效、低污染的燃烧设备, 广泛应用于电力、化工等领域。然而, 其复杂的流化与燃烧过程导致运行中常出现结焦、磨损、返料装置故障及燃烧不稳定等问题, 不仅影响锅炉运行的安全性与经济性, 还可能引发非计划停机, 造成经济损失。深入分析这些问题成因, 并提出针对性的优化策略, 对提升循环流化床锅炉的运行可靠性、延长设备寿命及实现节能减排的目标具有重要意义。

1 循环流化床锅炉运行中常见问题

1.1 结焦问题

(1) 高温结焦: 运行中床温超限、流化不良导致的局部熔融现象。当床温超过燃料灰熔点时, 床料易发生粘连, 形成大块焦体, 严重时会导致流化中断, 影响锅炉正常换热, 甚至需停炉处理, 造成生产损失。(2) 低温结焦: 流化风量不足、床料混合不均引发的低温烧结。风量不足使床料处于半流化状态, 局部颗粒堆积摩擦生热, 在低于灰熔点的温度下逐渐烧结成团, 该类焦体初期较小, 易被忽视, 长期积累会加剧流化恶化, 增加风机能耗^[1]。(3) 渐进性结焦: 布风系统缺陷或长期运行中焦块缓慢积累。布风板风帽损坏、布风不均会导致局部流化不良, 细小焦粒逐步附着生长; 同时, 燃料中杂质长期沉积也会加速结焦进程, 此问题具有隐蔽性, 需通过定期检测布风均匀性排查。

1.2 磨损问题

(1) 受热面磨损: 水冷壁、过热器、再热器等部件因高浓度颗粒冲刷导致管壁减薄。循环流化床内大量高温固体颗粒在气流携带下高速运动, 持续冲刷受热面管壁, 尤其在炉膛拐角、管排间隙等区域, 磨损更为严重, 管壁减薄后会降低结构强度, 增加爆管风险。(2) 耐火材料脱落: 炉膛出口、旋风分离器区域因热应力或机械冲击引发的材料剥落。锅炉启、停过程中温度骤变产生热

应力, 加之颗粒冲击作用, 会导致耐火层开裂、脱落, 脱落区域失去保护后, 高温烟气直接侵蚀设备本体, 缩短设备使用寿命。(3) 风帽堵塞: 风帽设计缺陷或运行维护不当导致的流化风量分布不均。风帽孔径不合理、燃料细颗粒过多易造成风帽堵塞, 使局部布风不足, 加剧床料流化不均, 进而诱发结焦、磨损等连锁问题, 需定期清理风帽通道保障流化效果。

1.3 返料装置故障

(1) 返料器堵塞: 循环灰量突变或分离器效率下降导致的物料循环中断。煤质波动、给煤量骤变会使循环灰量增加, 或分离器内积灰过多导致分离效率下降, 未分离的大颗粒进入返料器后造成堵塞, 物料循环中断会使锅炉换热效率大幅降低, 床温、汽温等参数剧烈波动。(2) 返料风量失控: 流化风量不足或过量引发的返料不稳定。风量不足使返料器内物料无法正常流化输送, 出现堆积; 风量过量则会导致返料速度过快, 甚至吹穿物料层, 两者均会破坏锅炉物料平衡, 影响燃烧稳定性, 增加运行调节难度^[2]。

1.4 燃烧不稳定问题

(1) 床压波动: 煤质变化、给煤均匀性差导致的流化状态失衡。煤质热值、粒度突变会改变床内燃烧强度, 给煤量不均匀会造成局部燃烧工况波动, 两者均会引发床压大幅波动, 严重时导致床层崩塌, 影响锅炉负荷稳定输出。(2) 飞灰含碳量高: 燃烧效率不足引发的燃料浪费与污染排放超标。因给煤粒度不均、过量空气系数不足或床温偏低等原因, 燃料无法充分燃烧, 大量未燃尽碳随飞灰排出, 既降低燃料利用率、增加能耗, 又会使烟尘排放指标超标, 加重环保处理难度。

2 循环流化床锅炉运行中常见问题成因分析

2.1 设计缺陷

(1) 炉膛结构不合理导致的流化死角。部分锅炉炉

膛截面形状设计偏差、内部构件布置不当,会使床料在特定区域形成流动阻滞,该区域气流速度不足,床料无法充分流化,易引发局部积料、结焦,同时破坏床内温度与物料分布均匀性,间接加剧磨损与燃烧不稳定问题。(2)返料装置设计容量不足引发的循环物料堵塞。返料器的输送能力、流化通道尺寸等设计参数未匹配锅炉额定负荷需求,当循环灰量因工况波动增加时,返料装置无法及时将物料送回炉膛,导致物料在返料器内堆积堵塞,中断物料循环链,影响锅炉换热效率与燃烧稳定性。(3)耐火材料选型不当导致的热震损坏。若选用的耐火材料热膨胀系数与设备本体不匹配、抗热震性能较差,在锅炉启停频繁或温度骤变时,耐火材料易产生裂纹,长期承受高温烟气侵蚀与颗粒冲击后,裂纹不断扩展,最终引发剥落损坏,失去对设备本体的保护作用。

2.2 运行操作不当

(1)床温、床压控制超限引发的结焦风险。运行中操作人员对床温、床压监测不及时或调节手段滞后,导致床温超过燃料灰熔点上限、床压超出合理范围,床料流化状态失衡,颗粒粘连熔融形成焦体;床温过低也会因流化不良诱发低温结焦。(2)风煤配比失衡导致的燃烧效率下降。操作人员未根据煤质变化、负荷需求及时调整风量与给煤量,出现风量不足或给煤过量的情况,燃料无法充分燃烧,不仅导致飞灰含碳量升高、能源浪费,还会因燃烧不充分引发床压波动,加剧设备磨损。(3)启停炉操作不规范引发的设备应力损伤。启停炉过程中升温、降温速率过快,未严格遵循锅炉阶梯式温度调节要求,导致设备本体与耐火材料承受过大热应力,长期反复作用会使设备出现疲劳裂纹、耐火材料脱落,同时也会影响密封性能,增加烟气泄漏风险^[3]。

2.3 燃料特性影响

(1)煤种挥发分、灰熔点等参数与锅炉设计不匹配。锅炉设计时针对特定煤种参数优化,若实际使用煤种的挥发分过低,会导致着火困难、燃烧不充分;灰熔点低于设计值则易引发高温结焦;挥发分过高又可能导致燃烧过于剧烈,加剧床温波动。(2)煤质波动导致的燃烧工况恶化。燃料供应过程中,煤的热值、粒度、水分等参数频繁变化,操作人员未能及时同步调整运行参数,会使床内燃烧强度忽高忽低,床温、床压随之剧烈波动,破坏流化与燃烧平衡,诱发多种运行问题。(3)燃料中杂质引发的磨损加剧。燃料中混入的矽石、金属颗粒等杂质硬度高、密度大,在循环流化过程中,高速运动的杂质对受热面、风帽、返料装置等部件产生强烈冲刷,大幅缩短设备磨损周期,增加维护成本。

2.4 设备维护不足

(1)耐火材料检修周期过长导致的局部脱落。未按设备维护规程定期检查、修补耐火层,长期运行中,耐火材料受高温、热震、颗粒冲击等综合作用,局部损伤不断累积,最终发生脱落,裸露的设备本体直接承受高温侵蚀,易引发更严重的设备故障。(2)风帽清理不及时引发的流化风量下降。风帽通道易被燃料细颗粒、杂质堵塞,若未定期开展清理工作,堵塞情况会逐渐加重,导致布风均匀性下降,局部流化风量不足,进而诱发床料堆积、结焦等问题,形成恶性循环。(3)返料装置磨损未及时修复导致的功能失效。返料装置的输送管道、流化喷嘴等部件长期承受物料冲刷易发生磨损,若发现磨损后未及时修复,会导致返料能力下降、风量泄漏,无法保障物料正常循环,最终引发锅炉运行工况失稳。

3 循环流化床锅炉运行常见问题的优化策略与解决方案

3.1 结焦预防与处理

(1)优化燃烧控制:通过DCS系统实现床温、床压的实时监测与自动调节。依托DCS系统搭建多参数联动控制平台,实时采集床温、床压、风量、给煤量等关键数据,设定合理的参数值,当床温接近灰熔点或床压出现异常波动时,系统自动调整给煤速率和流化风量,避免人工调节滞后导致的结焦风险,保障燃烧工况稳定。(2)改进布风系统:采用定向风帽或钟罩式风帽提升流化均匀性。针对原有布风系统存在的流化死角问题,更换为气流分布更均匀的定向风帽或钟罩式风帽,通过优化风帽孔径和布置密度,增强床料扰动效果,消除局部气流薄弱区域,从根源上减少因流化不良引发的结焦现象。(3)应急处理措施:结焦初期通过增大流化风量、调整煤量控制焦块扩大。发现结焦迹象后,立即增大一次流化风量,增强床料扰动以破碎细小焦粒;同时减少给煤量降低床温,避免焦块进一步熔融扩大。若焦块较大无法通过调整缓解,需及时停炉,采用机械破碎结合高压水冲洗的方式清理焦体,恢复设备正常运行。

3.2 磨损防护技术

(1)材料升级:在水冷壁、风帽等关键部位采用耐磨陶瓷涂层或高铬合金材料。针对磨损严重的部件,采用等离子喷涂技术施加耐磨陶瓷涂层,或直接更换为高铬合金材质的风帽、水冷壁管段。这类材料具有极高的耐磨性能,可将磨损周期延长3-5倍,显著降低维护成本和停机频率。(2)结构优化:加装防磨梁、优化受热面布置减少颗粒冲刷。在炉膛拐角、受热面迎风面等易磨损区域加装防磨梁、防磨板,改变颗粒流动轨迹,降低冲刷

强度；同时重新优化受热面管排间距和布置角度，避免形成局部涡流，减少颗粒在特定区域的聚集冲刷，提升设备整体抗磨能力^[4]。（3）运行调整：降低床压、控制一次风量以减少颗粒循环速率。在保障正常燃烧和负荷输出的前提下，合理降低床压，减少床内物料存量；同时精准控制一次风量，避免因风量过大导致颗粒循环速率过高。通过优化运行参数，可有效降低颗粒对设备部件的冲刷力度，辅助提升防护效果。

3.3 返料装置改进

（1）流化风量优化：通过数值模拟确定最佳风量配比，避免返料器堵塞。利用CFD数值模拟技术，模拟不同工况下返料器内的气流场和物料流动状态，精准确定各段流化风量的最佳配比，据此调整风量调节阀开度，确保返料器内物料处于稳定流化状态，避免因风量不足导致物料堆积堵塞或风量过量引发返料失控。（2）设备冗余设计：增设备用返料通道或采用自平衡式U型回料阀。针对返料装置易故障的问题，增设备用返料通道，当主通道出现堵塞时，可快速切换至备用通道，保障物料循环不中断；同时选用自平衡式U型回料阀，该设备可通过物料自身重力与流化风压力的平衡实现稳定返料，大幅提升返料系统的可靠性。（3）智能监控系统：安装压力、温度传感器实现返料状态实时反馈。在返料器进出口、流化风管道等关键位置安装压力传感器和温度传感器，实时监测返料系统的压力差和温度变化，当参数出现异常时，系统立即发出报警信号并联动调整相关运行参数，实现返料状态的精准管控，提前规避故障风险。

3.4 燃烧优化策略

（1）煤质适应性调整：通过掺烧高挥发分煤种改善燃烧稳定性。针对煤质波动问题，建立煤质分析机制，根据入炉煤的挥发分、热值等参数，合理掺烧高挥发分煤种，提升燃料的着火性能和燃烧稳定性。同时配备原煤预处理设备，对原煤进行破碎、筛分，控制燃料粒度均匀性，

为稳定燃烧奠定基础。（2）分级供风技术：采用二次风分段送入提升燃烧效率。摒弃传统的一次供风模式，采用分级供风技术，将二次风分段、分区域送入炉膛，形成富氧燃烧区和还原燃烧区。这种方式可强化燃料与空气的混合，提升燃烧充分性，降低飞灰含碳量，同时减少NOx等污染物生成，兼顾能效与环保^[5]。（3）智能控制算法：引入模糊控制或神经网络算法实现风煤配比动态优化。在DCS控制系统基础上，引入模糊控制或神经网络算法，利用算法对海量运行数据的分析处理能力，精准预判煤质变化和工况波动趋势，动态调整风煤配比参数。相比传统控制方式，智能算法可将风煤适配精度提升20%以上，显著提升燃烧效率和运行稳定性。

结束语

循环流化床锅炉在能源领域应用广泛，但其运行中结焦、磨损、返料故障及燃烧不稳定等问题，始终制约着其高效稳定运行。通过系统分析这些问题成因，我们发现科学的设计优化、精准的运行调控、适配的燃料选择以及定期的设备维护，是解决问题的关键。未来，随着智能控制技术与耐磨材料的持续发展，循环流化床锅炉的运行稳定性与经济性有望进一步提升，为能源行业的绿色转型提供有力支撑。

参考文献

- [1]张毅.循环流化床锅炉经济稳定运行探讨[J].天津化工,2022,36(05):96-99.
- [2]李其其.浅析循环流化床锅炉水冷壁磨损与防腐经济性[J].安徽化工,2023,49(2):105-108.
- [3]黄凌翎.循环流化床锅炉中尾气掺烧系统的改造分析[J].能源与节能,2024,(07):275-277.
- [4]付周,王传亮,魏东.循环流化床锅炉热效率估算及影响因素分析[J].区域供热,2024,(03):94-99.
- [5]侯万林.循环流化床锅炉防磨技术的探讨[J].能源科技,2021,19(03):64-67.