

循环流化床锅炉运行安全管理常见隐患及应急处置策略

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, 给料与燃烧、物料循环、受热面等系统存在隐患, 仪表与控制、连锁保护系统监测也有风险。本文针对这些问题提出应急处置技术策略, 如燃烧、物料循环、受热面泄漏等应急处置方法, 并从设备维护、人员培训、技术改造等方面提出运行安全管理强化措施, 保障锅炉安全稳定运行。

关键词: 循环流化床锅炉; 运行安全管理; 隐患分析; 应急处置策略; 管理强化措施

引言: 循环流化床锅炉凭借高效、低污染等优势在电力等行业广泛应用。然而, 其运行涉及多个复杂系统, 各环节隐患交织, 给运行安全带来挑战。从给料燃烧到物料循环, 从受热面到监测保护系统, 都可能因多种因素引发故障。深入分析隐患并制定有效处置策略与强化措施, 对保障锅炉安全运行意义重大。

1 循环流化床锅炉运行核心系统隐患分析

1.1 给料与燃烧系统隐患

循环流化床锅炉的给料与燃烧系统是维持稳定运行的关键环节, 但存在多种隐患。给煤机作为燃料输送的核心设备, 常因皮带跑偏导致物料偏移, 进而引发输送中断^[1]。传动链失效则可能因长期磨损或维护不足, 造成动力传递中断, 使给煤过程停滞。异物卡涩是另一常见问题, 煤中混入的石块、金属等杂质会卡在给煤机内部, 阻碍皮带或滚筒转动, 最终导致供煤中断。燃烧不稳定是燃烧系统的核心隐患之一。风煤比失调会直接破坏燃烧平衡, 当一次风量不足时, 燃料无法充分流化, 导致局部缺氧燃烧, 床温急剧下降甚至熄火; 反之, 风量过大则可能吹散燃料, 使床温波动加剧。超温结焦是更严重的风险, 当床温超过灰熔点时, 灰分熔化并粘附在流化床或返料器内壁, 形成焦块。焦块会阻碍物料循环, 降低流化质量, 甚至引发床层塌陷, 迫使锅炉停运。

1.2 物料循环系统隐患

物料循环系统的稳定运行对锅炉效率至关重要, 但返料器堵塞与分离器失效是两大主要隐患。返料器堵塞多由结焦或流化风室故障引发。结焦会堵塞物料回送通道, 使循环灰无法返回炉膛, 导致床压下降、燃烧效率降低; 流化风室故障则可能因风量不足或分布不均, 使返料器内物料流化不良, 形成死料区。分离器失效则与耐火内衬脱落或料腿堵灰密切相关。内衬脱落会破坏分离器结构, 降低对循环灰的捕捉能力; 料腿堵灰则直接阻碍灰粒下落, 使分离效率大幅下降, 大量未分离灰粒

进入尾部烟道, 加剧受热面磨损。循环灰浓度异常是物料循环系统的另一隐患。返料量波动会通过连锁反应影响床温与负荷。返料量过大会导致床层密度增加, 床温上升, 可能引发超温结焦; 返料量过小则会使床层密度降低, 床温下降, 燃烧效率减弱, 甚至导致负荷波动或熄火。

1.3 受热面系统隐患

受热面系统长期处于高温、高速烟气与颗粒冲刷环境中, 磨损与腐蚀问题突出。水冷壁磨损主要因烟气携带的颗粒循环撞击管壁, 导致管壁减薄。长期磨损会降低管壁强度, 增加爆管风险。水冷壁管壁厚度磨损速率一般在0.1-0.3毫米/年, 当磨损至剩余壁厚小于设计壁厚的50%时, 需进行更换。过热器与再热器爆管则多由高温腐蚀与热疲劳引发。高温环境下, 烟气中的硫、氯等腐蚀性物质会加速金属管壁氧化, 形成腐蚀坑; 热疲劳则因温度频繁波动导致管壁产生交变应力, 最终引发裂纹扩展与泄漏。过热器管在高温腐蚀环境下, 使用寿命可能从设计的10-15年缩短至5-8年。省煤器堵灰是尾部受热面的常见问题, 飞灰在省煤器管束间沉积会形成灰桥, 阻碍烟气流通, 导致排烟温度升高、锅炉效率下降。长期堵灰还可能因局部过热引发管壁变形或爆管, 威胁锅炉安全运行。

2 循环流化床锅炉运行安全监测隐患

2.1 仪表与控制系统隐患

循环流化床锅炉的仪表与控制系统是运行监测核心, 但存多重隐患。床温监测失效是常见问题之一, 热电偶作为温度感知元件, 若因长期高温环境老化或损坏, 当使用时长超8000小时, 会导致测温数据失真^[2]。安装位置偏差同样影响监测精度, 若热电偶未深入床层密相区, 当偏差超10厘米, 测得温度可能低于实际值, 误导运行人员调整燃烧参数。压力测量异常会直接威胁锅炉安全。压力变送器若因飞灰沉积或介质腐蚀堵塞, 其输出信号会偏离真实压力值, 导致给水调节或燃烧控制

失效。校准偏差是另一隐患,若变送器未定期校准,量程漂移会引发压力误报,轻则影响运行效率,重则触发保护动作,造成非计划停炉。氧量监测失真会破坏燃烧平衡。氧化锆探头作为氧量检测关键部件,若因长期暴露在高温烟气中污染,其表面会附着灰渣或腐蚀产物,阻碍氧气扩散,导致测得氧量偏低。这种偏差会使燃烧控制系统误判过量空气系数,进而引发风煤比失调,加剧污染物排放或床温波动。

2.2 连锁保护系统隐患

连锁保护系统是锅炉安全的最后防线,但保护逻辑缺陷会削弱其可靠性。连锁条件设置不合理是主要风险,若条件过于宽松,可能导致保护拒动作,无法及时阻断危险工况;若条件过于严苛,则可能引发误动作,造成不必要的停机。例如,床温保护阈值设定过高会延迟保护触发,当阈值高于设计值50℃时,增加结焦风险;设定过低则可能因短暂波动误停锅炉,当阈值低于设计值30℃时。执行机构故障会直接导致保护失效。气动阀门若因密封件磨损或气源压力不足发生卡涩,无法在保护动作时及时开启或关闭,会阻碍介质流通,使保护功能落空。电动阀失灵则可能因电机过热或控制电路故障,无法执行连锁指令,同样威胁锅炉安全。电源系统隐患是连锁保护的潜在风险。UPS故障会切断控制回路电源,使仪表与执行机构失去动力,导致保护逻辑无法执行。当UPS故障持续时间超过10分钟时,双电源切换异常则可能因切换装置故障或供电线路问题,使控制系统中断运行,当切换时间超过5秒时,在紧急工况下无法及时启动保护,加剧事故后果。

3 循环流化床锅炉应急处置技术策略

3.1 燃烧系统应急处置

床温异常是循环流化床锅炉运行中需重点关注的参数波动。当床温超过设计值时,需立即切断给煤系统供应,同步增大一次风量以强化流化冷却。此操作可快速稀释密相区燃料浓度,通过增加气固混合效率实现热量分散。若床温低于安全下限,应启动压火程序保留床料蓄热,待温度回升至合理区间后逐步恢复给煤^[3]。此过程需严格控制复燃速率,避免因热负荷骤增引发二次超温。燃烧失稳通常表现为床层压差剧烈波动或火焰检测信号衰减。此时需优化一二次风配比,通过降低一次风率减少粗颗粒扬析,同时提高二次风穿透力以强化炉膛中上部燃烧。对于因流化质量下降导致的燃烧波动,应检查布风板风帽堵塞情况,必要时启动备用风机恢复流化动力。调整过程中需密切监测氧量变化,确保燃烧效率与环保指标同步达标。结焦事故对锅炉安全运行构成

直接威胁。发现结焦迹象后,须立即停炉并保持自然通风状态,待床温降至可操作温度后,组织人员清理焦块。重点检查流化风室积灰情况,修复变形风帽以恢复均匀流化。返料器区域需彻底清除粘结灰渣,修复耐火层剥落部位,防止循环系统二次堵塞。

3.2 物料循环系统应急处置

返料器堵塞多由灰渣熔融粘结或返料风量不足引发。应急处置需先实施压火操作,待系统压力平衡后,采用机械疏通工具清理结焦部位。对于堵灰严重的立管段,可开启底部排灰阀进行分段清理。疏通完成后需重新校准返料风压,确保物料循环动力匹配设计参数。分离器效率下降常伴随分离器出口飞灰含碳量升高。检修时需重点检查中心筒几何变形情况,修复耐火材料脱落区域。对料腿部位进行流场模拟分析,优化结构以消除涡流区。恢复运行后需持续监测分离器压差,确保分离效率稳定在设计值以上。循环灰量调控需建立动态平衡机制。通过调节返料风阀门开度控制立管料位高度,同步调整给煤量维持床压稳定。当循环灰浓度过高时,可适当开启排渣系统降低床料;浓度不足时则减少排渣量并优化给煤粒度分布。整个调节过程需保持风煤比在合理区间,防止流化质量恶化。

3.3 受热面泄漏应急处置

水冷壁泄漏会引发汽水两相流冲刷,扩大损伤范围。发现泄漏后应立即执行紧急停炉程序,切断事故区域汽水循环。通过关闭隔离门将泄漏管段与系统隔离,防止高温蒸汽进入炉膛引发次生灾害。待炉膛温度降至100摄氏度以下后,方可进行焊补或换管作业。焊补作业时,需对焊接部位进行预热处理,预热温度一般控制在150-200摄氏度,焊接完成后需进行热处理,消除焊接应力。过热器爆管会导致蒸汽压力骤降,威胁汽轮机安全。应急处置需优先维持汽包水位稳定,通过事故放水门控制液位波动。逐步降低锅炉压力至检修压力等级,期间密切监视金属壁温变化。检修时重点检查爆管周边管排膨胀情况,修复变形支撑件并更换受损管段。省煤器堵灰会降低传热效率,引发排烟温度异常升高。轻度堵灰可采用高压水冲洗技术,通过可旋转喷枪实现全方位清理。对于顽固积灰,需启动机械振打装置破坏灰层结构。恢复运行后应优化吹灰器投运频次,建立受热面清洁度监测机制,预防堵灰现象复发。高压水冲洗时,水压一般控制在10-20兆帕,冲洗时间根据堵灰程度而定,一般每次冲洗30-60分钟。

4 循环流化床锅炉运行安全管理强化措施

4.1 设备维护与检修管理

强化设备维护需构建系统化巡检体系。针对水冷壁、返料器、分离器等关键部位,实施每日定点巡查并形成书面记录,重点监测磨损速率、温度异常及密封性能变化。通过红外热成像技术辅助人工巡检,可提前发现耐火层剥落或金属部件过热等隐患^[4]。预防性检修策略应基于设备磨损数据库制定,根据受热面冲刷程度、风帽堵塞频率等参数,科学规划更换周期。例如,对密相区水冷壁管,可结合运行小时数与灰渣成分分析,确定最佳更换时间节点。备品备件管理需建立分级储备机制,对布风板风帽、返料器流化喷嘴等易损件,按三个月用量储备;对高压阀门、耐磨陶瓷片等关键设备,保持至少一套备用件。通过与供应商签订紧急供货协议,可进一步缩短非计划检修停机时间。

4.2 人员培训与应急演练

操作技能提升需融合理论教学与实操训练。定期组织燃烧调整专项培训,通过模拟不同负荷工况,训练操作人员对风煤比、床压、氧量的协同控制能力。事故处理训练应覆盖床温超限、返料中断、受热面泄漏等典型场景,重点培养快速判断故障根源与执行应急程序的能力。应急预案演练需构建全流程模拟环境,利用虚拟现实技术还原炉膛结焦、分离器堵塞等复杂场景,提升团队协作效率。安全意识培养应注重风险感知能力训练,通过分析设备运行参数波动规律,强化对潜在风险的预判能力。例如,当床压异常下降伴随返料风压升高时,需立即联想到返料器堵塞可能,并启动相应处置流程。应急预案演练每年至少进行2次,每次演练需涵盖至少3个典型事故场景。

4.3 技术改造与升级方向

技术改造与升级方向防磨技术优化需突破传统材料限制。在密相区水冷壁表面敷设格栅防磨结构,通过改变灰渣颗粒运动轨迹降低直接冲刷强度。对返料器、分

离器等高磨损区域,采用稀土合金涂层技术提升耐蚀性能,其硬度可达HRC65以上,使用寿命较传统材料延长3倍。监测系统升级应聚焦数据深度挖掘,部署智能传感器网络实时采集床温、压差、流速等参数,通过边缘计算节点实现局部数据预处理。大数据分析平台可构建设备健康度评估模型,对磨损趋势、故障概率进行预测性分析。控制逻辑完善需强化安全冗余设计,优化联锁保护条件触发阈值,确保在参数超限时能快速切断危险源。对执行机构进行可靠性升级,采用双电源供电与气动冗余配置,避免因单一部件故障导致保护动作失效。智能传感器网络的采样频率一般设置为每秒1-10次,以满足实时监测需求。

结束语

循环流化床锅炉运行安全管理至关重要。通过全面剖析核心系统与监测隐患,明确应急处置技术策略,从设备维护、人员培训、技术改造等多维度强化管理,能有效降低故障发生概率,提升应对突发状况的能力,确保锅炉在复杂工况下稳定运行,为电力等行业的安全生产提供坚实保障。在实际工作中,需持续完善管理体系,加强各环节协同配合,确保循环流化床锅炉在电力生产中发挥更大作用。

参考文献

- [1]曾建利.中小型循环流化床锅炉点火及运行常见问题与处理[J].中国高新科技,2025(5):29-31.
- [2]封业炜.大型循环流化床锅炉机组运行经济性分析[J].电力设备管理,2023(9):90-92,101.
- [3]王啸宇,李萌.循环流化床锅炉运行、管理及维护检修技术研究[J].中国科技纵横,2025(9):84-86.
- [4]周来方.燃煤热电循环流化床锅炉的环保运行与管理[J].电力设备管理,2022(22):229-231.