

电厂循环流化床锅炉运行及事故处理

张奇飞

国能亿利能源有限责任公司电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘要: 本文聚焦电厂循环流化床锅炉(CFB)的运行管理与事故处理,系统剖析其工作原理、结构特点及运行优化路径,深入分析燃烧事故、受热面故障、返料装置失效等常见问题的成因,并提出针对性处理策略与预防措施。研究表明,通过精准控制运行参数、规范启停操作及建立动态监控体系,可显著提升CFB锅炉的运行稳定性与经济性;而遵循“先控险、后排查、再修复”的事故处理原则,结合设备维护与人员培训,能有效降低事故发生率。本文成果可为电厂CFB锅炉的安全高效运行提供理论参考与实践指导,对推动电力生产领域的技术优化具有重要意义。

关键词: 循环流化床锅炉(CFB); 运行优化; 事故处理

1 电厂循环流化床锅炉概述

1.1 循环流化床锅炉的工作原理

循环流化床锅炉(CFB)以“流化燃烧+物料循环”为核心工作机制,其原理是将破碎至一定粒径的燃料(如煤、生物质)与床料(石英砂等)混合,通过布风装置从炉膛底部通入高压空气,使床料形成流化状态。燃料在流化层内与空气充分接触并燃烧,产生的高温烟气携带未燃尽燃料颗粒与床料上升,经炉膛出口的分离器(如旋风分离器)分离后,大部分颗粒通过返料装置送回炉膛再次燃烧,实现燃料的高效利用;净化后的烟气则进入尾部烟道,与受热面换热后排出。该过程中,流化状态的床料不仅能强化传热效率,还可通过添加脱硫剂(如石灰石)实现炉内脱硫,减少污染物排放,兼具经济性与环保性,是当前电厂主流锅炉类型之一。

1.2 循环流化床锅炉的结构特点

循环流化床锅炉的结构设计围绕“强化燃烧与物料循环”展开,核心组件包括炉膛、分离器、返料装置及尾部受热面,各部分特点鲜明。炉膛作为燃烧核心区域,通常采用膜式水冷壁结构,底部设有布风板与风帽,确保气流均匀分布以维持床料流化;炉膛高度较高(一般10-15米),可延长燃料停留时间,提升燃烧效率。分离器是物料循环的关键,主流旋风分离器采用耐磨耐火材料内衬,能高效分离烟气中95%以上的颗粒,保障循环效率;部分大型CFB锅炉还会配置多级分离器,进一步优化分离效果。返料装置(如L型阀、U型阀)通过气力输送原理将分离后的颗粒送回炉膛,其密封性与稳定性直接影响循环系统的运行,通常设计有防堵与调节功能。尾部受热面则包括省煤器、空气预热器等,采用错列布置以强化换热,同时适应CFB锅炉烟气含尘量高的特点,选用耐磨管材减少磨损^[1]。

2 电厂循环流化床锅炉的运行

2.1 运行参数的影响与优化

循环流化床锅炉的运行参数直接决定其安全性、经济性与环保性,核心参数包括床温、床压、风量、一二次风比及返料量,需结合燃料特性与负荷需求精准优化。床温是关键控制指标,通常维持在850-950℃;低于800℃会导致燃料燃烧不充分,增加飞灰含碳量;高于1000℃则易引发床料结焦,破坏流化状态。优化时需通过调节给煤量与一次风量平衡床温,例如高负荷时适当增加一次风量以强化散热,低负荷时减少给煤量避免床温骤升。床压一般控制在5-8kPa,过高会增加风机能耗,过低则流化质量下降,可通过调整排渣量调节床压。一二次风比需根据燃料挥发分调整,挥发分高的燃料(如烟煤)可提高一次风占比(60%-70%)以强化流化,挥发分低的燃料(如无烟煤)则增加二次风占比(40%-50%)促进燃尽。此外,返料量需与给煤量匹配,通过调节返料风阀开度控制,确保物料循环稳定,避免分离器堵塞或返料中断。

2.2 启动与停炉操作

循环流化床锅炉的启动与停炉操作需遵循严格流程,以避免设备损坏与安全事故,核心是控制升温/降温速率与流化状态。启动过程分为烘炉、流化试验、点火升温、升压带负荷四个阶段:烘炉阶段需按升温曲线(通常50-80℃/h)加热炉膛,去除耐火材料水分,防止开裂;流化试验通过通入一次风,观察床料流化均匀性,确保布风板无堵塞;点火升温采用床下点火器(如油气点火器),将床温逐步升至600-700℃后开始给煤,避免低温给煤导致燃料堆积;升压带负荷时,需同步调节风量与给煤量,控制汽压上升速率($\leq 0.2\text{MPa}/\text{min}$),防止受热面温差过大。停炉操作分为正常停炉与

紧急停炉：正常停炉需先减负荷至30%以下，逐渐减少给煤量，待床温降至600℃以下停炉，随后保持通风冷却（降温速率 $\leq 100^{\circ}\text{C/h}$ ）；紧急停炉（如结焦、熄火）需立即切断给煤，关闭主汽阀，维持少量通风防止床料板结，待炉膛冷却后再排查故障，避免高温状态下强行操作引发设备损伤。

2.3 运行监控与调整

循环流化床锅炉的运行监控需构建“实时监测+动态调整”体系，通过多维度数据采集与分析，及时纠正运行偏差。监控内容包括设备状态与工艺参数：设备方面，需通过振动传感器监测风机、水泵运行状态，利用热电偶监测分离器、返料装置壁温，防止设备超温或振动超标；工艺参数方面，采用DCS系统实时采集床温、床压、汽温、汽压、烟气成分（ O_2 、 SO_2 、 NO_x ）等数据，设置上下限报警（如床温报警值800-1000℃）。调整策略需结合监控数据动态优化：当床温偏高时，可增加一次风量或减少给煤量，若伴随 SO_2 升高则补充脱硫剂；当床压异常时，检查排渣系统是否堵塞，必要时清理布风板；当返料量波动时，调节返料风阀开度，排查分离器是否积灰^[2]。另外，需定期人工巡检，重点检查受热面磨损、耐火材料脱落情况，弥补自动化监控的盲区，确保锅炉长期稳定运行。

3 电厂循环流化床锅炉常见事故类型及原因分析

3.1 燃烧事故

循环流化床锅炉的燃烧事故主要包括结焦与熄火，成因与运行参数控制、燃料特性密切相关。结焦事故表现为床料团聚成块、流化状态破坏，核心原因是床温过高或局部超温：当床温超过1050℃时，床料（石英砂）会软化黏结，若燃料颗粒过大或给煤不均匀，易形成局部高温区；此外，一次风量不足导致流化不良，床料堆积产生“死床”，也会引发局部结焦。熄火事故则表现为床温骤降、烟气含氧量突升，常见原因包括给煤中断（如给煤机故障、煤仓堵塞）、风量骤增（如一次风机误操作）或燃料品质突变（如煤质挥发分骤降）；低负荷运行时，若床温低于600℃且未及时调整给煤，燃料无法维持燃烧，也会导致熄火。

3.2 受热面磨损与腐蚀事故

受热面磨损与腐蚀是CFB锅炉长期运行的常见问题，主要发生在炉膛水冷壁、分离器壁面及尾部受热面。磨损事故的成因是烟气携带的高浓度颗粒对受热面的冲刷：炉膛区域因床料流化剧烈，水冷壁易受颗粒撞击磨损，尤其在布风板上方、炉膛出口等气流紊乱区域，磨损更为严重；分离器入口因烟气流速高（15-20m/s），颗

粒对壁面的冲刷力大，若耐磨衬里脱落，会直接加剧受热面磨损。腐蚀事故分为高温腐蚀与低温腐蚀：高温腐蚀发生在炉膛水冷壁，因燃料中含硫、氯等元素，燃烧产生的 SO_3 、 HCl 等气体在高温下与管壁反应，形成腐蚀层；低温腐蚀则发生在尾部省煤器、空气预热器，当管壁温度低于烟气露点（通常30-50℃）时，烟气中的水蒸气与 SO_2 结合形成硫酸，附着在管壁引发腐蚀。

3.3 返料装置故障

返料装置是CFB锅炉物料循环的核心，常见故障包括返料中断、返料堵塞，直接导致循环系统失效。返料中断表现为分离器下灰斗积灰、炉膛床温骤降，原因包括返料风不足（如返料风机故障、风阀堵塞）、返料装置内结焦（如分离器出口烟气温度过高，颗粒在返料阀内黏结）或密封不良（如返料阀漏风，破坏气力输送平衡）。返料堵塞则表现为返料量骤减、分离器差压升高，主要因燃料含尘量过高（如煤质灰分超标），细颗粒在返料装置内堆积；或返料装置耐磨衬里脱落，导致通道变窄，颗粒流动受阻^[3]。

3.4 其他事故

除上述事故外，CFB锅炉还可能发生风机故障、汽水系统事故等。风机故障（如一次风机、引风机）表现为风量骤降、炉膛负压异常，原因包括风机轴承磨损、电机故障或入口挡板卡涩，会直接破坏流化状态与烟气排放，引发床温波动或炉膛正压。汽水系统事故包括汽包水位异常（满水或缺水）、受热面泄漏：水位异常多因给水调节阀故障、水位计失真或操作人员误判；受热面泄漏则因磨损、腐蚀导致管壁变薄，或启停过程中温差过大引发裂纹，泄漏的汽水进入炉膛会导致床温骤降，严重时引发爆炸。

4 电厂循环流化床锅炉事故处理策略

4.1 事故处理原则

循环流化床锅炉的事故处理需遵循“安全优先、快速控险、科学排查、有序恢复”的原则，确保人员安全与设备保护。首先，事故发生后需立即判断事故类型与严重程度，若涉及人身安全（如炉膛正压、汽水泄漏），应优先组织人员撤离；若为一般故障（如返料波动），则需快速采取措施控制风险扩散。其次，处理过程中需严格遵循操作规程，避免盲目操作加剧事故，例如结焦事故不可强行排渣，熄火事故不可立即重新点火。再者，需结合监控数据与现场巡检，精准定位事故原因，避免“头痛医头”；处理完成后，需逐步恢复运行，通过低负荷试运验证设备状态，确认无隐患后再提升负荷。

4.2 常见事故的具体处理方法

4.2.1 结焦事故处理

发现结焦事故后,立即停止给煤,关闭二次风,维持少量一次风(约60%额定风量)防止床料板结;若床温仍高于1000℃,可通入冷风或喷水降温(需控制降温速率 $\leq 50^{\circ}\text{C/h}$)。待炉膛冷却至600℃以下,停炉检查结焦位置与程度:局部小面积结焦可人工清理,大面积结焦则需拆除炉墙或水冷壁进行清理。清理完成后,需检查布风板风帽是否堵塞、流化状态是否正常,确认无误后按启动流程重新点火,低负荷运行24小时后再逐步提升负荷。

4.2.2 熄火事故处理

熄火后立即切断给煤,关闭主汽阀,维持一次风(约50%额定风量)吹扫炉膛5-10分钟,清除未燃尽燃料;同时监控汽包水位与汽压,防止水位异常。吹扫完成后,检查熄火原因:若为给煤中断,修复给煤机后重新给煤;若为风量骤增,调整风机参数至正常范围。重新点火时,需通过床下点火器将床温升至600℃以上,逐步增加给煤量,避免床温骤升;低负荷运行1-2小时,确认燃烧稳定后再提升负荷^[4]。

4.2.3 受热面磨损与腐蚀事故处理

发现受热面磨损泄漏(如炉膛水冷壁),立即减负荷至30%以下,关闭相关区域的进水阀,打开疏水阀排水;若泄漏严重,需紧急停炉,待炉膛冷却后检查磨损位置,更换受损管材,同时修补周边耐磨衬里。针对腐蚀事故,高温腐蚀需调整燃烧参数(如降低床温至900℃以下、增加二次风占比),减少 SO_3 生成;低温腐蚀则需提高尾部受热面管壁温度(如采用暖风器、调整排烟温度),或选用耐腐蚀管材(如ND钢)。处理完成后,需加强受热面温度与烟气成分监控,预防腐蚀复发。

4.2.4 返料装置故障处理

返料中断时,立即检查返料风机运行状态,若风机故障则切换备用风机;若返料风阀堵塞,关闭风阀清理杂物。若为返料装置结焦,停炉冷却后清理结焦物,检查分离器出口温度控制逻辑,调整烟气温度至正常范围($\leq 950^{\circ}\text{C}$)。返料堵塞时,关闭返料风,通过吹扫孔通

入压缩空气清理堆积颗粒;若堵塞严重,需拆除返料装置端盖人工清理。处理完成后,启动返料风机,逐步调整返料量,观察分离器差压与炉膛床温,确认循环系统稳定后再提升负荷。

4.3 事故预防措施

循环流化床锅炉的事故预防需构建“设备维护+运行管理+人员培训”三位一体体系。设备维护方面,定期检查受热面磨损情况(每3个月一次),更换老化耐磨衬里;按周期校准仪表(如床温热电偶、水位计),确保数据准确;对风机、给煤机等转动设备,定期润滑轴承、检查密封,预防机械故障。运行管理方面,建立燃料品质管控机制,避免煤质波动过大;制定运行参数台账,记录床温、床压等关键数据,通过趋势分析预判故障;推行“预防性停炉”,每年进行一次全面检修,及时更换老化部件。人员培训方面,定期组织事故演练(每季度一次),提升操作人员应急处置能力;开展技术培训,确保人员掌握参数优化、设备调试技能;建立责任制,明确各岗位事故预防职责,避免操作失误。

结束语

本文系统研究了电厂循环流化床锅炉的运行特性与事故处理,通过剖析其工作原理、结构特点,提出了运行参数优化、启停操作规范及动态监控的具体方法,同时针对燃烧事故、受热面故障等常见问题,给出了“控险-排查-修复-预防”的全流程处理策略。未来,随着电力行业对环保与效率要求的提升,需进一步推动CFB锅炉与智能化技术融合(如AI参数预测、远程诊断),同时加强耐磨耐腐蚀材料研发,不断提升设备可靠性。

参考文献

- [1]刘伟.电厂循环流化床锅炉运行及事故处理[J].电力系统装备,2022(4):104-106.
- [2]朱凯刚.循环流化床锅炉尾部烟道再燃烧事故预防及处理[J].商品与质量,2023(6):117-120.
- [3]王建平.循环流化床锅炉结焦原因及防治方法研究[J].能源科技,2020,18(5):54-57.
- [4]史磊,李楠,刘海峰,张世鑫.循环流化床锅炉掺烧焦油渣工艺研究[J].中国资源综合利用,2021,39(01):44-47.