

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°C/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（≤ 0.2MPa/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°C以下停炉，随后保持通风冷却（降温速率≤100°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（O₂、SO₂、NO_x）等数据，设置上下限报警（如床温报警值800-1000°C）。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SO₂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°C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°C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SO₃、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°C）时，烟气中的水蒸气与SO₂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°C，可通入冷风或喷水降温（需控制降温速率≤50°C/h）。待炉膛冷却至600°C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°C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°C以下、增加二次风占比），减少SO₃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（≤950°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.