

返料器流化风量不足导致循环灰中断的故障诊断与处理

李 伟

云南华电巡检司发电有限公司 云南 红河州 652309

【摘要】：循环流化床锅炉中，返料器的稳定运行是保障锅炉高效燃烧与物料循环的关键。返料器流化风量不足易引发循环灰输送中断，导致锅炉床温波动、出力下降甚至被迫停炉。本文针对这一故障，系统分析了流化风量不足的成因，提出了涵盖参数监测、系统排查、分步验证的诊断流程，并制定了针对性的处理措施与预防策略，为同类故障的快速解决与长效管控提供技术参考。

【关键词】：返料器；流化风量；循环灰中断；故障诊断；处理措施

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.041

前言

循环流化床（CFB）锅炉凭借燃料适应性广、燃烧效率高、污染物排放易控制等优势，在电力、供热等领域得到广泛应用。返料器作为CFB锅炉的核心部件，其主要功能是将分离器捕捉的循环灰稳定送回炉膛，维持物料平衡与热量循环。返料器的正常工作依赖于合理的流化风量，通过流化风使循环灰处于流态化状态，实现连续稳定输送。当流化风量不足时，循环灰易在返料器内堆积、结焦，导致输送通道堵塞，引发循环灰中断，进而造成锅炉床温急剧升高、炉膛出口烟温波动、机组负荷骤降等问题，严重影响锅炉运行安全性与经济性。目前，关于返料器故障的研究多集中于整体系统优化，针对流化风量不足导致循环灰中断的专项分析较少。本文结合返料器的结构特点与工作原理，深入探讨流化风量不足的诱因，构建系统化的诊断体系，提出具体可操作的处理措施，旨在为现场运行与维护人员提供清晰的技术指引。

1 返料器流化风量不足的故障特征与成因分析

1.1 典型故障特征

流化风量不足引发的循环灰中断，在运行中返料器进出口差压急剧下降（通常从正常运行的2-3kPa降至0.5kPa以下），流化风压力低于设计值（低于4kPa），风量指示值较额定值降低30%以上；锅炉床温快速上升（超温幅度可达50-100℃），炉膛密相区与稀相区温差扩大；返料器壳体外表温度分布不均，局部出现高温点（超过800℃），严重时伴随异常振动或异响；锅炉蒸发量下降，汽压、汽温波动，引风机、一次风机电流异常波动，若未及时处理，可能触发床温高保护动作，导致锅炉跳闸。

1.2 主要成因分析

流化风量不足的成因可从风路系统、物料特性、设备结构三方面追溯。

（1）风路系统异常。流化风机（通常为罗茨风机）长期运行后，叶轮磨损、间隙增大，导致风压与风量下降；电机转速异常（如皮带打滑、变频系统故障）也会造成风量输出不足；流化风管道内积灰（尤其在弯头、阀门处）导致通流截面减小；管道法兰密封不良、焊缝开裂等造成风量泄漏，实测显示一处直径5mm的泄漏点可使风量损失达15%；手动阀卡涩导致开度不足，气动/电动调节阀定位不准或阀芯磨损，使实际通风量偏离设定值。

（2）物料特性变化。燃料破碎系统异常导致入炉煤粒径过大，或分离器效率下降，使循环灰中粗颗粒（粒径>1mm）占比超过30%，流化所需最小风量显著增加，超出系统供给能力；煤质变化（如灰分含量超过30%、硫含量偏高）导致循环灰熔点降低，在返料器内发生低温结焦，形成黏性颗粒团，增加流化阻力；锅炉负荷骤升时，分离器捕捉的循环灰量短时间内增加50%以上，超出返料器设计输送能力，导致局部堆积，挤占流化空间。

（3）设备结构缺陷。返料器布风板（或风帽）磨损、堵塞，导致流化风分布不均，局部形成“死区”；风帽间隙被灰粒堵塞，通风量减少；返料器内分隔板（如L型返料器的导流板）变形或脱落，改变流场分布，造成局部阻力增大；长期高温运行导致返料器壳体热变形，内部空间缩小，影响流化状态。

2 返料器流化风量不足导致循环灰中断的故障诊断流程

2.1 初步参数验证

连续记录返料器流化风量、风压、进出口差压、壳体温度等参数，对比设计值与历史运行数据，确认风量不足的持续时间与变化趋势；检查锅炉床温、炉膛差压、给煤量、风机电流等参数，判断循环灰中断是否由风量不足引起（非风量因素如返料器结焦也可能导致中断，但风量通常正常或偏高）。

2.2 风路系统排查

测量流化风机出口风压、风量（通过皮托管或孔板流量计），与铭牌参数对比，计算效率衰减率；检查电机电流、转速，判断是否存在动力输出不足；采用肥皂水涂抹法检查管道法兰、阀门、焊缝等部位，观察是否有气泡产生；对疑似堵塞的管路，通过敲击听声（堵塞部位声音沉闷）或内窥镜检查确认；手动校验调节阀开度与反馈信号的一致性，检查阀芯磨损情况；对手动阀，测量阀杆行程，确认实际开度符合设定要求。

2.3 物料与设备检查

取样分析循环灰粒径分布（采用筛分法）、灰熔点（通过灰熔点测定仪）、含碳量，判断是否存在粗颗粒过多或黏结性增强问题；停炉后打开返料器检查门，观察布风板是否变形、风帽是否堵塞或磨损，测量风帽间隙（正常应保持3-5mm）；检查分隔板、导流板的完整性与位置精度，测量返料器内部空间尺寸，确认是否存在变形或异物堵塞。

2.4 诊断结果验证

通过上述步骤锁定疑似原因后，采用“分步排除法”验证：如怀疑管路堵塞，可在安全条件下进行吹扫试验，观察风量是否恢复；若推测风机性能衰减，可切换备用风机，对比风量变化。最终结合各项数据，确定流化风量不足的根本原因。

3 返料器流化风量不足导致循环灰中断的故障处理措施

3.1 风路系统恢复

(1) 流化风机性能修复。对变频系统，校准变频器输出频率与电机转速的对应关系（误差 $\leq 1\%$ ），更换老化的滤波电容与IGBT模块，确保转速稳定在额定值的 $\pm 2\%$ 范围内。测量电机三相电流不平衡度（ $\leq 5\%$ ），检查轴承温升（环境温度 $+40^\circ\text{C}$ 为上限），对轴承加注3#锂基润滑脂（填充量为轴承腔的1/3-1/2），绝缘电阻测试值需 $\geq 0.5\text{M}\Omega$ 。

(2) 风路管道疏通与密封。对DN100以下管道，采用0.6-0.8MPa压缩空气分段吹扫，吹扫时间每段不少于5分钟，吹扫间隔转动管道 30° 以消除死角；对DN100以上管道或弯头堵塞，使用电动管道疏通器（功率 $\geq 1.5\text{kW}$ ），配合钢丝刷与刮刀清除积灰，疏通后用内窥镜检查管道内壁光洁度（无明显凸起）。法兰密封面采用平面度 $\leq 0.05\text{mm/m}$ 的精密加工，更换耐高温石棉橡胶垫（厚度3-5mm，耐温 $\geq 400^\circ\text{C}$ ），螺栓按对角均匀紧固（力矩值按M16螺栓35-40N·m控制）；对焊缝泄漏，采用氩弧焊补焊（焊丝选用H08CrMoA），补焊后进行100%渗透检测，确保无气孔、裂纹。修复后关闭所有出风口，通入0.1MPa压缩空气保压30min，压力降需 $\leq 5\%$ ，同

时用超声波检漏仪检测（灵敏度 $\geq 1 \times 10^{-6} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ ），确保无隐性泄漏。

(3) 阀门调试与修复。拆解定位器，清洁反馈连杆与喷嘴，重新标定4-20mA信号对应的开度（误差 $\leq 1\%$ ），更换磨损量 $> 0.2\text{mm}$ 的阀芯与阀座（材质选用316L不锈钢），确保全关状态泄漏量 $\leq 0.01\%$ 额定流量。对卡涩阀门，拆解阀杆与阀瓣，用800目砂纸打磨密封面，涂抹二硫化钼高温润滑脂（耐温 $\geq 200^\circ\text{C}$ ），装配后阀杆转动扭矩需 $\leq 30\text{N}\cdot\text{m}$ ；当阀瓣密封面磨损深度 $> 0.5\text{mm}$ 或阀杆弯曲度 $> 0.2\text{mm/m}$ 时，进行整体更换。

3.2 物料特性调整

(1) 循环灰粒径控制。调整破碎机锤头间隙（控制在5-8mm），定期检查筛板孔径（确保 $\geq 8\text{mm}$ 的颗粒通过率 $\leq 5\%$ ），每小时取样检测入炉煤粒径分布，粗颗粒（ $> 8\text{mm}$ ）占比需控制在10%以下。清理分离器入口烟道积灰（厚度 $\leq 5\text{mm}$ ），检查导向叶片磨损情况（单边磨损 $\leq 1\text{mm}$ ），通过调整叶片角度（ $\pm 5^\circ$ 范围内）改变分离效率，确保分离器出口细灰（ $< 0.5\text{mm}$ ）占比 $\geq 70\%$ 。采用激光粒度仪（测量范围0.1-1000 μm ）每4小时检测循环灰粒径，当粗颗粒（ $> 1\text{mm}$ ）占比超过30%时，启动旁路放灰，直至粒径恢复正常范围。

(2) 灰粒流动性改善。当灰熔点 $\text{ST} < 1100^\circ\text{C}$ 时，按煤量的2-3%添加石灰石（CaO含量 $\geq 85\%$ ），通过变频给料机均匀送入炉膛，每8小时检测灰熔点一次，确保ST提升至 1150°C 以上。调整一、二次风配比（通常1:1.5-2），控制炉膛出口烟温 $\leq \text{ST}-50^\circ\text{C}$ ，在分离器入口设置热电偶（测量误差 $\leq \pm 5^\circ\text{C}$ ），当烟温超限时，自动降低给煤量（降幅5%/min）并增大二次风量。定期取样观察循环灰外观（无黏性结块），测量灰样含水率（ $\leq 2\%$ ），当发现黏结趋势时，增加流化风量10-15%，同时缩短放灰间隔时间。

(3) 循环灰量调节。制定负荷调整曲线，升降速率严格控制控制在3-5%/min，每次负荷变动前5分钟提前调整流化风量（增幅10%），避免灰量骤增。放灰前确认流化风压 $\geq 4\text{kPa}$ ，开启放灰阀（开度30-50%），单次放灰时间 ≤ 30 秒，每次放灰量通过称重法计量（不超过总灰量的10%），放灰间隔 ≥ 30 分钟，防止系统扰动过大。在返料器进出口安装差压变送器（测量范围0-5kPa，精度 $\pm 0.25\%$ ），当差压 $> 3\text{kPa}$ 时启动自动放灰，差压 $< 1\text{kPa}$ 时关闭放灰阀，维持灰量动态平衡。

3.3 设备结构修复

(1) 布风装置维护。DCS观察各风室风压，单风室骤升 $> 0.5\text{kPa}$ 或多风室偏差 $> 0.2\text{kPa}$ ，结合灰流量波动，判断风帽堵塞/布风板漏风，记录参数上报；观察孔查内部，若有局部

死区、出风不均或“窜风”异响，停运防变形，标记异常位置。按工作票切断风源、挂牌上锁，提供高压水枪电源/水源；现场监护，制止违规操作，发现风帽大面积磨损等问题及时上报值长。启动流化风机，DCS监测风压偏差 $\leq 0.2\text{kPa}$ ，听出风无异常、观气流均匀；投运后查灰流量（设计值 $\pm 10\%$ ）、风量无波动，2小时无风压骤变/灰中断。

(2) 内部结构校正。进出口差压升 $> 1\text{kPa}$ 且增风量无改善，结合灰量减少，判断结构异常，记录数据；壳体振动 $> 0.1\text{mm}$ 或有金属碰撞/堵塞异响，降负荷运行并上报。停炉准备提前1小时降负荷、减灰量、关风源，控温 $< 60^\circ\text{C}$ ，清理进出口积灰；冷态查差压（设计值 $\pm 5\%$ ）、风量通畅；热态查灰流量稳定、振动 $< 0.05\text{mm}$ 。

(3) 壳体整形与保温修复。用红外测温仪定期检测壳体表面温度，若局部区域温度骤升（超出正常范围 $> 10^\circ\text{C}$ ），或壳体出现明显凸起、凹陷，结合流化风量波动，判断可能存在壳体热变形，及时上报防止变形扩大导致密封失效；查看壳体保温层是否有脱落、开裂，若发现局部保温缺失（面积 $> 0.1\text{m}^2$ ），或外壁温度超过 50°C （环境温度 25°C 时），记录破损位置与面积，上报安排修补，避免因散热过大导致内部灰温下降、流化效果恶化。隔离热源控壳温至常温，清理积灰、标记变形/破损位置；查壳体无变形裂纹、保温完整，测外壁温 $\leq 50^\circ\text{C}$ ；热态24小时查温差 $< 5^\circ\text{C}$ 、风量稳定。

3.4 运行参数优化

根据循环灰量与特性，重新计算所需流化风量（通常为设计值的110%-120%），通过风机变频或阀门开度调节，确保实际风量满足要求；维持流化风压高于临界流化风压（通常不低于 4kPa ），避免因风压波动导致流化状态破坏；加强返料器壳体温度监测，当局部温度超过 700°C 时，及时采取风量调整或放灰措施，防止结焦。

参考文献：

- [1] 许志军.300MW循环流化床锅炉返料波动的原因探讨[J].山东工业技术,2017,(01):69.
- [2] 张飞,刘素艳,王丽辉.循环流化床锅炉返料器改造分析[J].河南科技,2015,(07):44-45.
- [3] 陈业熙.双联流化床钙循环生物质富氢气化CFD模拟[D].东南大学,2023.
- [4] 何益锋.论如何提高循环流化床锅炉燃烧控制水平[J].科学中国人,2014,(20):10.

4 返料器流化风量不足导致循环灰中断的故障预防策略

4.1 日常维护强化

每班检查流化风机运行声音、振动（ $\leq 6.3\text{mm/s}$ ）、温度（轴承温度 $\leq 80^\circ\text{C}$ ）；每日检查风路系统泄漏与堵塞情况，记录风量、风压变化；每月进行一次循环灰粒径与成分分析；每季度校验一次风量测量装置与调节阀；每年停炉检查返料器内部结构与布风装置。

4.2 运行控制优化

建立煤质预警机制，当煤质灰分 $> 25\%$ 或硫分 $> 1.5\%$ 时，提前调整配风与给煤量；避免负荷骤升骤降，升降速率控制在3%-5%/min；低负荷运行时（ $< 50\%$ 额定负荷），适当提高流化风量（为设计值的120%），防止循环灰沉积；确保备用流化风机处于良好备用状态，定期进行联动试验（每月一次），保证故障时能在5min内切换投入。

4.3 技术改造升级

在流化风管道关键位置加装高精度流量计（测量误差 $\leq 2\%$ ）与压力变送器，实现风量实时监控与异常报警；采用防堵塞型风帽（如带倒锥结构），减少灰粒卡堵；布风板采用耐磨材料（如Cr25Ni20），延长使用寿命；引入智能控制算法，根据循环灰量、床温等参数自动调节流化风量，实现自适应控制。

5 结论

返料器流化风量不足导致的循环灰中断是CFB锅炉运行中的常见故障，其成因涉及风路系统、物料特性、设备结构等多方面。通过建立“参数验证-系统排查-分步验证”的诊断流程，可精准定位故障根源；采取风路恢复、物料调整、设备修复等针对性处理措施，能快速消除故障；实施强化维护、优化运行、技术升级等预防策略，可有效降低故障发生率。现场实践表明，上述方法能显著提升返料器运行稳定性，保障CFB锅炉的安全经济运行。