

循环流化床锅炉返料器故障分析及处理

翟文超

国能内蒙古公司矸石发电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要：循环流化床锅炉在能源领域应用广泛，返料器作为实现物料循环的核心部件，其运行稳定性直接影响锅炉整体性能。本文围绕循环流化床锅炉返料器故障展开研究，分析了返料量异常、堵塞、漏风、磨损及外壳烧红故障等故障成因，涵盖设计安装缺陷、运行参数失控、物料特性不良等因素。针对性提出故障处理技术，如流化风量精准调控、布风板改造、堵塞疏通策略及漏风磨损修复措施。同时从优化设计、参数控制、设备维护和物料管理四方面制定预防策略。研究成果为保障返料器稳定运行、提升锅炉系统效率提供理论与实践指导。

关键词：循环流化床锅炉；返料器故障分析；处理措施

引言：循环流化床锅炉受复杂工况和多种因素影响，返料器易出现各类故障，导致锅炉效率下降、能耗增加甚至停机。目前针对返料器故障的系统性研究仍存在不足。深入分析返料器故障原因，探索有效处理及预防措施，对提高循环流化床锅炉运行可靠性、降低运维成本具有重要的现实意义。

1 循环流化床锅炉返料器结构与工作特性

循环流化床锅炉返料器作为锅炉系统中实现物料循环的关键装置，其结构与工作特性对锅炉稳定运行起着决定性作用。返料器常见结构类型丰富多样，主要包括U型返料器、V型返料器和L型返料器等。U型返料器以其独特的U型结构，内部设置有隔墙和布风板，物料在风的作用下沿U型通道流动，具有良好的密封性能和稳定的返料效果；V型返料器则利用倾斜的底部结构，能够有效降低物料流动阻力，促进物料的顺畅输送；L型返料器结构紧凑，通过合理的布风设计，可实现物料的高效循环。

在工作流程方面，从炉膛飞出的高温物料首先被分离器分离收集，随后进入返料器。返料器借助底部布置的布风板引入的流化风，使物料处于流化状态，进而在重力和气体动力的共同作用下，将物料重新送回炉膛，完成物料的循环过程。运行特性上，返料器需在高温、高颗粒浓度的复杂环境下工作，这要求其具备良好的耐高温、耐磨损性能。同时，返料器对风量、风压的控制极为敏感，微小的参数波动都可能影响物料循环的稳定性，只有精确调控运行参数，才能保障返料器稳定、高效地运行，维持循环流化床锅炉的正常工作^[1]。

2 循环流化床锅炉返料器故障分析

循环流化床锅炉返料器的稳定运行直接影响锅炉整体性能，返料器故障主要体现在返料量异常、堵塞、漏风及磨损等方面，其背后涉及设计、运行、物料等多

方面复杂因素。（1）返料量异常。正常工况下，返料量应维持相对稳定，以保证炉膛内物料循环平衡。当返料量出现异常波动时，可能导致炉膛温度、压力等参数紊乱。这主要是因为运行参数控制失当，如流化风量过大或过小。流化风量过大，会使物料在返料器内过度流化，部分物料无法正常返回炉膛，造成返料量减少；流化风量过小，则物料难以充分流化，导致返料不畅，返料量不稳定。（2）返料器堵塞故障。堵塞现象一旦发生，物料循环中断，锅炉运行效率大幅下降。物料特性是导致堵塞的关键因素之一，若物料颗粒度过大、粒径分布不均，或物料湿度较高，在返料器内易形成团聚，阻碍物料流动。返料器内局部高温致使物料发生烧结，形成坚硬结块，也会造成通道堵塞。（3）漏风问题。返料器漏风会破坏内部正常的压力平衡和物料流化状态。漏风可能源于设备安装过程中密封不严，如法兰连接处密封垫片损坏或安装不规范；长期运行后，设备老化，焊缝出现裂纹、腐蚀穿孔等，也是导致漏风的常见原因。（4）磨损故障。返料器长期处于高温、高浓度颗粒冲刷的恶劣环境，其内部耐磨材料、布风板、管壁等部件极易磨损。磨损程度与物料的硬度、浓度、流速密切相关，物料流速越快、浓度越高，对设备部件的冲刷作用越强。返料器内部流场分布不均，存在涡流、紊流区域，会加剧局部磨损。（5）返料器外壳烧红故障。此现象多因内部物料流化不良，局部形成死料区，物料堆积后持续吸热并蓄热，热量通过壳体传导使外壳温度骤升。若返料器与炉膛之间的隔墙或耐火材料脱落、破损，高温烟气直接冲刷外壳，也会导致局部过热烧红。流化风分配不均造成局部物料停滞，形成高温烧结区，热量无法及时被物料带走，逐步传导至外壳使其发红，严重时可能引发壳体变形、开裂，甚至威胁锅炉整体安

全运行^[2]。

3 返料器故障处理技术与措施

3.1 返料量异常波动的调节与处理

返料量异常波动主要由以下流化风量失当、布风板结构不合理等因素导致。处理此类故障，需精准调控运行参数，优化设备结构。（1）在流化风量调整方面。当返料量不足时，若判断是因流化风量过小引起，需遵循渐进式调节原则，以每次5%-10%的增幅缓慢增加流化风供给量。调节过程中，需实时监测返料器内压力梯度、温度曲线及物料流速变化，重点关注返料器入口与出口的压力差，该差值应维持在1.5-2.5kPa区间，若超过阈值则需暂缓风量调节，防止因风量骤增导致物料携带率过高，引发分离器负荷超载等连锁问题。当返料量过大且确定是风量过大所致时，应分阶段减少流化风量，每次降幅控制在3%-5%，同时观察返料量与炉膛温度的耦合关系，确保返料量下降过程中炉膛温度波动不超过±30℃。（2）若因布风板开孔率不匹配造成返料量异常。需对布风板进行系统性改造。基于返料器的额定处理量与物料堆积密度，通过流体力学计算模型重新确定开孔率，一般开孔率需控制在3%-5%区间。改造时，可采用激光切割技术对布风板进行精准加工，根据物料粒径分布调整孔径尺寸，对于平均粒径小于1mm的物料，孔径宜设置为8-12mm；对于1-3mm粒径物料，孔径调整为12-15mm。采用超声波检测技术对布风板风帽进行逐件排查，对于磨损深度超过风帽壁厚1/3的部件，需立即更换为高铬合金材质风帽，并对风帽安装角度进行校准，确保其与布风板垂直偏差不超过±1.5°，以保障流化风均匀分布。

3.2 返料器堵塞故障的疏通与解决

物料特性不良、内部高温烧结及物料存量失控是导致返料器堵塞的主要原因，疏通堵塞需从以下多个角度入手。（1）对于因物料颗粒度过大、粒径不均或湿度高引发的堵塞。应立即切断给料系统，启动备用流化风支路，将主路流化风量提升至额定值的120%-130%，利用高速气流形成脉冲式吹扫。当堵塞物较为坚硬时，可采用低频振动技术，通过安装在返料器外壁的振动器，以20-30Hz的频率进行间歇性振动，每次振动持续30秒，间隔2分钟，避免过度振动损伤设备。物料湿度大导致堵塞。可在返料器入口管道加装蒸汽雾化装置，利用0.8-1.2MPa压力的饱和蒸汽对物料进行预干燥处理，将物料含水率控制在3%以下。（2）出现物料烧结堵塞。采用阶梯式降温策略，首先将一次风量降低至额定值的60%-70%，二次风量减少40%-50%，使炉膛温度以每小时50-

80℃的速率下降。待返料器温度降至300℃以下后，开启返料器顶部检修孔，采用液压破碎装置对烧结块进行分层破碎，破碎时需控制液压压力在8-12MPa，防止冲击力过大损坏设备内壁。清理完成后，对返料器内部进行行业内窥镜检查，重点排查局部漏风点，对漏风区域采用高温陶瓷纤维毯进行多层密封处理。（3）针对物料存量过高导致的堵塞，需构建智能化料位管控系统。通过安装双冗余微波料位计与γ射线料位计，实现对物料高度的实时精确监测。当料位达到预警值时，系统自动触发应急程序，将返料器出口阀门开度增大20%-30%，同时提升物料循环泵转速10%-15%，并通过PLC控制系统动态调整给料机频率，确保物料存量维持在安全区间。

3.3 漏风、磨损故障的修复与治理

漏风故障修复需根据漏风原因，对密封部位进行针对性处理；磨损故障治理则需结合磨损情况，采用以下合适的修复和防护措施。（1）对于安装密封不严导致的漏风。对法兰连接部位采用金属缠绕垫片与石墨垫片的复合密封结构，安装时需控制螺栓预紧力在150-200N·m，并采用对角紧固法分三次完成紧固。对于人孔门密封，采用充气式密封装置，当系统运行时，向密封腔内充入0.2-0.3MPa的压缩空气，形成动态密封。针对焊缝漏风，采用氩弧焊打底、电弧焊盖面的焊接工艺，焊接前需对焊缝进行30°-45°的V型坡口处理，焊后采用氦质谱检漏仪进行气密性检测，确保泄漏率低于 $1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。（2）针对返料器部件磨损。当耐磨材料出现轻微磨损（磨损深度小于5mm）时，采用超音速火焰喷涂技术（HVOF），在磨损表面喷涂碳化钨-钴（WC-Co）涂层，涂层厚度控制在0.3-0.5mm，结合强度需达到70MPa以上。若磨损较为严重，如布风板出现局部穿孔，需采用堆焊修复与局部更换相结合的方式，选用高镍基合金焊条进行堆焊，堆焊层厚度不小于8mm；对于磨损面积超过布风板总面积30%的区域，需更换为整体铸造的碳化硅复合陶瓷布风板。

3.4 返料器外壳烧红故障及其他故障的针对性处理方案

除上述常见故障外，返料器还可能出现外壳烧红故障、返料器内结焦、风室积灰等故障。（1）对返料器外壳烧红故障。先检查流化风系统，调整各段流化风量至设计值，确保物料均匀流化，消除死料区。对脱落的耐火材料进行修补，采用耐高温浇注料重新浇筑，厚度控制在150-200mm，外层加装锚固件增强附着性。在外壳易烧红区域安装红外测温传感器，实时监测温度，当温度超过300℃时自动报警并启动冷却风机。同时优化风帽

布置，增加局部流化风量，避免物料停滞堆积，定期清理风帽堵塞物，确保气流分布均匀。（2）对于返料器内结焦故障。采用化学清洗与机械清理相结合的方式。首先向返料器内注入专用除焦剂（主要成分为弱碱性复合盐），在50-60℃温度下反应4-6小时，软化结焦物。然后采用高压水射流清洗技术，以200-250MPa的压力对结焦部位进行冲洗。清理完成后，在返料器内部加装多点式氧含量监测装置，当局部氧含量低于18%时，系统自动启动补气装置，防止再次结焦。（3）返料器风室出现积灰。在风室底部增设倾斜导流板，倾角设置为45°-60°，并在导流板最低处安装气动排灰阀，采用定时与压差双重控制模式，当风室底部与顶部压差超过0.8kPa时，自动开启排灰阀^[3]。对进风管道进行流线型改造，减少涡流区域，并在管道内壁喷涂疏水性涂层，降低积灰附着概率。

4 反料器故障预防策略

预防返料器故障需贯穿设备全生命周期，从设计安装、运行管理、维护检修到物料把控等多方面着手，降低故障发生概率，保障循环流化床锅炉稳定运行。

（1）在优化设计与规范安装环节。充分考虑返料器的工作环境与运行要求。设计阶段，根据锅炉容量、物料特性等参数，合理选择返料器结构类型，精确计算布风板开孔率、风帽布置等关键参数，确保物料流化均匀稳定。针对高磨损工况，可采用特殊耐磨结构设计。安装过程中，严格遵循安装规范，保证设备密封性，对法兰连接、焊缝等部位进行细致检查与处理，避免因安装不当导致漏风、物料流动不畅等问题。（2）科学合理的运行参数控制。运行过程中，需精准调控流化风量、温度、压力等参数。通过建立参数动态调整模型，依据锅炉负荷、物料特性变化及时优化运行参数。如当物料颗粒度发生变化时，相应调整流化风量，确保物料处于良

好的流化状态，防止因参数不当引发返料量异常、堵塞等故障。制定严格的操作规程，规范操作人员行为，避免因人为操作失误造成设备运行异常。（3）完善设备维护与检修制度。建立定期巡检制度，对返料器易磨损、易堵塞部位进行重点检查，及时发现潜在问题并处理。制定科学的检修计划，根据设备运行状况和使用寿命周期，合理安排检修时间与内容。定期对耐磨材料、布风板等部件进行检测评估，及时更换磨损严重的部件；对返料器内部进行清理，防止物料堆积、结焦。加强设备维护人员培训，提高其专业技能和故障预判能力。（4）物料管理与质量控制。严格把控物料质量，控制物料颗粒度、湿度等指标在合理范围内。建立物料检测机制，对入炉物料进行定期抽检，避免因物料特性不良引发堵塞、磨损等问题。优化物料储存方式，防止物料受潮、结块^[4]。

结束语：本文全面剖析循环流化床锅炉返料器故障，提出的处理技术与预防策略具备较强的实用性和可操作性。通过精准处理故障、科学预防问题，可有效提升返料器运行稳定性。但随着锅炉技术发展与工况复杂化，返料器故障研究仍面临新挑战。未来需进一步结合智能化监测技术与新型材料应用，深化对返料器故障的研究，为循环流化床锅炉高效运行提供更有力保障。

参考文献

- [1]李忠学,王博录,单淑明.循环流化床锅炉U形运料器运行故障分析[J].锅炉技术,1997(8):17-20+24.
- [2]宁显勇.循环流化床锅炉返料器返料异常的分析及处理[J].大氮肥,2020,43(1):25-27.
- [3]张弘才.循环流化床锅炉启动回料滞后与回料器返料中断问题的探讨[J].大科技,2024(38):49-51.
- [4]杜佳军,张鹏,韩新建.循环流化床机组环保参数异常原因分析与对策[J].洁净煤技术,2020,26(6):237-242.