

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 $\pm 30^{\circ}\text{C}$ 。(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得超过 $\pm 1.5^{\circ}$,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 $^{\circ}\text{C}$ 的速率下降。待返料器温度降至300 $^{\circ}\text{C}$ 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,对返料器内部进行工业内窥镜检查,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 $\cdot\text{m}$,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 $^{\circ}$ -45 $^{\circ}$ 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 $^{\circ}\text{C}$ 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 返料器故障预防策略

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 with 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 with 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.