

循环流化床锅炉床温波动原因及调整方法

杜攀阳

中电建宁夏工程有限公司 宁夏 银川 750000

【摘要】：循环流化床锅炉运行中，床温直接受给煤稳定性、燃料粒径、一次风量、床料循环及负荷变化影响，参数偏离易引起床温升降频繁、燃烧不稳及热效率下降。针对不同波动特征，应从燃料输入、风煤配比、床压变化、返料状态及负荷调节速度识别主要诱因，采用分层调煤、优化配风、稳定料层、校正返料及限制负荷变化速率等措施，使炉内燃烧趋于均匀，减小床温波动幅度，提高锅炉运行稳定性及燃料利用水平。

【关键词】：循环流化床锅炉；床温波动；风煤配比；床料循环；运行调整

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.005

引言

循环流化床锅炉依靠高浓度床料流化形成持续燃烧环境，床温一旦偏离正常控制区间，给煤着火、颗粒循环、炉内传热及污染物生成状态都会发生连锁变化。实际运行中，煤质变化、给煤量突变、一次风调整过快、返料不畅、料层厚度异常均可能形成相似的温度波动，仅依据床温升降进行单参数修正，容易造成风煤控制反复甚至扩大波动幅度。因此，需要结合床温变化速度、床压、氧量、返料温度及负荷趋势判断扰动来源，再采取具有针对性的运行调整，使床温控制由被动修正转向多参数协同稳定。

1 循环流化床锅炉床温运行特征及控制边界

1.1 床温形成过程及热量平衡关系

循环流化床锅炉床温由燃料燃烧放热、床料蓄热、受热面吸热、烟气携热及循环灰回送热量共同决定，并非单纯取决于给煤量。煤粒进入密相区后经历加热、挥发分析出、焦炭燃烧等过程，释放热量通过高浓度颗粒混合迅速传递；一次风改变颗粒流化强度，也会改变氧量供给和床层换热速率。循环灰由分离器返回炉膛后重新参与热量交换，使炉内形成动态热平衡。采用精细化燃烧控制理念，需要同步关注给煤热输入、床压、风量、返料量及排渣量，避免单参数调节破坏原有热量分配。

1.2 床温变化同燃烧状态的对应关系

床温变化具有明显的燃烧状态指示特征，但温度升降不能直接等同于燃烧强弱。给煤量增加后，可燃物进入床层的速度先于完全燃烧过程，氧量不足时甚至出现给煤增加而床温响应滞后的现象；一次风过大则可能强化流化、提高颗粒夹带量，使密相区热量向炉膛上部转移^[1]。煤质发热量、挥发分、水分和粒径发生改变，同样会改变着火速度及燃尽位置。运行判断应将床温变化速率同氧量、床压、炉膛差压、返料温度及主汽参数进行趋势比对，以多参数关联代替单点温度判断，提高异常识别的准确度。

1.3 床温偏离控制区间产生的运行后果

床温持续偏高会加快燃烧反应，使局部热负荷集中，同时增加床料烧结、结焦风险，严重时颗粒流化质量下降，密相区温度分布进一步失衡；高温条件还可能削弱循环流化床低氮燃烧优势，增加 NO_x 生成控制压力。床温过低则会造成燃料着火延迟、焦炭燃尽困难，飞灰和底渣可燃物含量上升，锅炉效率随之降低。频繁的大幅温度波动还会使蒸汽参数、返料温度及受热面吸热量产生连锁变化，因此床温控制不能只限定最高值和最低值，还应控制变化速率、各测点温差及持续偏差时间。

2 循环流化床锅炉床温波动诱发因素

2.1 煤质变化及给煤不均引起温度扰动

煤种热值、挥发分、水分、灰分及粒径分布发生变化后，单位质量燃料释放热量、着火时间和燃尽位置会同步改变，床层原有热平衡随之被打乱。高水分燃料吸收大量显热，易造成局部床温下移；高热值煤突然增加，则可能使密相区放热强度迅速抬升。给煤机转速波动、落煤管堵塞、分配器偏流还会形成各给煤点供料差异，使炉膛截面热负荷分布不均，部分测点先升高、部分区域响应滞后，最终表现为床温周期性摆动或局部温差扩大。

2.2 一次风配比失调造成流化状态改变

一次风既承担床料流化，又参与燃料初级燃烧，其配比偏离合理区间后，床层颗粒运动状态和氧量分布会同时变化。风量偏低时，颗粒悬浮能力减弱，局部床料沉积，可燃物与氧气接触不充分，容易形成低温燃烧区；风量偏高则会增强颗粒夹带，使大量高温物料进入稀相区，密相区蓄热能力下降，床温出现快速下探^[2]。各风室配风不均还会造成床面流化强度差异，形成偏床、沟流及局部穿透现象，使同一负荷下不同测点温度偏差持续扩大，增加床温控制的不稳定性。

2.3 床料循环异常引发炉膛热量重新分配

床料循环量直接决定高温颗粒在炉膛、分离器和返料系统之间的热量搬运强度。旋风分离效率下降、返料阀动作异常、返料风不足或回料通道积灰时，循环灰回送量会发生突变，密

相区物料浓度和蓄热能力随即改变。返料减少后,炉膛下部有效床料量降低,燃烧释放热量难以及时被颗粒吸收,局部床温容易升高;返料突然恢复,又可能携带大量温度较低的循环灰进入床层,引起温度快速回落。循环倍率频繁变化还会改变炉膛纵向固体浓度分布,使受热面吸热比例、出口烟温及床温形成联动波动。

3 床温异常波动的运行判别方法

3.1 依据床温变化速率识别燃料侧扰动

床温异常若由燃料侧引起,通常会在给煤指令、实际给煤量、氧量变化和床温响应之间形成具有时间差的关联特征。判别时不宜只观察某时刻温度高低,而应连续比较床温升降速率、各测点同步性及给煤机运行曲线。给煤量突然增加后,若氧量先下降、床温随后持续上升,可重点检查燃料输入是否超过当前流化和供氧条件;给煤指令保持稳定而床温仍出现明显波动,则需要核对煤质热值、水分、粒径和给煤机瞬时流量是否发生变化。若多个床温测点同时同向变化,燃料整体品质或总给煤量异常的可能性较高;若仅局部测点快速偏移,则更应关注分仓给煤不均、落煤管积堵及局部燃料集中。结合趋势曲线计算单位时间床温变化幅度,可将缓慢漂移、阶跃升降和周期振荡区分开来,提高燃料侧扰动识别的针对性。

3.2 结合床压氧量判断风量侧偏差

风量侧异常往往同时改变床层流化强度、炉内供氧水平和颗粒夹带状态,因此床压与氧量必须联动判读。一次风量偏低时,床层流化质量下降,床压可能出现波动增大或局部偏高,炉膛出口氧量同步下降,床温则可能因燃烧不充分先缓慢降低,随后出现局部可燃物积聚后的不规则回升。一次风量过大时,床层颗粒运动加剧,部分高温床料被快速带上上部空间,床压降低或差压结构改变,氧量偏高而床温下降较快。若氧量变化明显、床压基本稳定,应进一步检查二次风分配、漏风量和测量偏差;若床压快速变化而氧量响应较弱,则应重点判断风帽通风、布风板阻力及局部流化均匀性^[3]。运行判别可将风机电流、风门开度、一次风母管压力、床压和氧量纳入同一趋势界面,通过参数先后次序和变化方向识别风量侧偏差来源,避免仅凭风门开度作出误判。

3.3 利用返料参数确定循环系统异常位置

循环系统故障具有较强的空间传递特征,返料温度、返料压力、分离器压差及回料腿料位能够反映异常发生位置。返料量减少时,返料腿压力和料位通常先发生变化,随后密相区床料浓度下降,床温出现升高或波动加剧;若分离器压差异常降低,同时返料温度变化不明显,应检查颗粒捕集效率及炉内固体循环强度。返料风量不足时,回料腿内物料输送阻力增大,料位可能持续抬升,返料温度出现滞后性变化,严重时会造成间歇返料,使床温呈现周期性升降。若返料阀动作正常但炉膛

床温仍反复波动,还需结合炉膛差压、排渣量及循环灰温度判断是否存在床料库存失衡。数字化运行条件下,可利用返料参数的趋势斜率、相关系数和波动周期进行交叉验证,将分离器、返料阀、回料腿及返料风系统的异常范围逐步缩小,为后续调整提供更明确的定位依据。

4 不同床温波动工况下的针对性调整

4.1 燃料输入异常工况的给煤修正方法

燃料输入异常造成床温偏移时,给煤调整应避免大幅增减形成二次扰动,宜依据床温变化速率、氧量、主汽流量及实际给煤量进行分阶段修正。床温持续升高且氧量下降时,应适度降低给煤指令,保持各给煤机负荷分配均衡,防止单点给煤过量造成局部高温;床温偏低且氧量充足,可小幅提高给煤量,同时控制调整幅度和时间间隔,使新增加燃料能够在当前风量条件下稳定燃烧。煤质发生明显变化时,还需结合低位发热量、水分和粒径修正单位负荷耗煤量,避免沿用原有给煤设定值。给煤机瞬时流量波动较大时,应校核转速反馈、称重信号及落煤通道状态,通过连续小幅修正替代频繁大幅操作,使热输入变化趋于平缓。

4.2 流化偏差工况的一次风调节方法

流化状态异常时,一次风调整的关键不在单纯增加或减少总风量,而在恢复床层颗粒均匀悬浮和合理的风速分布。床压升高、局部床温下降且流化不充分时,可适当提高一次风量,并同步观察风室压力、床层差压及氧量变化,防止调整过快造成大量床料夹带。床温快速下降且氧量偏高、床压减小时,则应逐步回调一次风,降低高温颗粒向炉膛上部迁移的强度^[4]。若不同区域床温偏差明显,应结合各风室压力和布风均匀性进行分区调节,必要时校核风帽阻力及风道通畅程度。一次风调整完成后仍需保持短时间参数稳定,避免风量、给煤量同时大幅改变,减少控制变量相互叠加造成的床温反向波动。

4.3 循环失稳工况的床料返料控制方法

循环系统失稳后,床料返送量和炉内固体浓度会发生连续变化,调整应优先恢复返料通道稳定,再修正床料库存。返料量不足时,可根据返料腿料位、返料风压及分离器压差逐步提高返料风量,保持回料阀动作平稳,避免一次性大量返料造成床温骤降;返料量偏大且床温下降明显时,应适度降低返料强度,同时控制排渣量,防止密相区床料过厚。若返料呈周期性中断,应重点调整返料风与回料阀配合关系,使回料腿保持连续料封状态,减少间歇性冲料。床料粒径分布失衡时,还需优化排渣及补料节奏,维持合理颗粒级配和床压区间,使循环灰回送、炉内蓄热及燃烧放热之间保持稳定匹配。

5 床温稳定控制的综合运行策略

5.1 建立风煤床压联动调节机制

床温稳定不能依赖单一给煤量或一次风量修正,应将燃料输入、风量供给、床层差压及氧量变化纳入同一控制链。给煤增加后,风量响应需要保留适当提前量,避免可燃物先进入床层而供氧滞后;床压偏高时,还应判断床料库存是否过大,不能简单通过提高风量消除差压,否则容易加剧颗粒夹带。控制逻辑可根据负荷、给煤量、一次风量、床压及氧量建立动态匹配区间,对参数变化速度设置约束,减少多个调节回路同时动作造成的相互干扰。床温出现连续偏移时,优先识别风煤比和床压变化方向,再确定修正量,使热输入、流化强度和床层蓄热能力保持协调。结合智能监测理念,可利用历史运行曲线修正控制偏差,提升联动调节对煤质变化和工况波动的适应能力。

5.2 控制负荷变化速率减少参数突变

负荷快速升降容易同时改变给煤量、风量、蒸汽流量及床料循环强度,床温调节若跟随不及时,局部热量积聚或热量释放不足便会形成明显波动。升负荷阶段应限制给煤指令的增长斜率,使一次风、二次风及返料量能够同步建立新的平衡关系,避免燃料集中进入密相区造成温度突升;降负荷时则不宜过快削减风量,防止床料流化质量下降后出现局部沉积和燃烧滞后^[5]。负荷指令变化可设置分段速率,根据当前床温偏差、氧量裕度、床压水平及主汽压力确定允许的升降幅度,当床温变化

速度超过控制阈值时暂缓继续变负荷。通过限制参数突变,将传统追随负荷的快速操作转化为热量、流化和循环状态协同过渡,可减轻频繁调峰工况对床温稳定性的冲击。

5.3 依据运行趋势优化床温控制区间

床温控制区间不宜长期采用固定上、下限判断方式,不同煤种、负荷水平、床料粒径和循环倍率对应的稳定温度范围存在明显差异。运行过程中可连续提取床温均值、测点温差、变化斜率、氧量、床压及返料温度等数据,识别长期稳定工况下的参数组合,再据此修正目标温度带。若平均床温保持正常而局部测点温差持续扩大,应收紧区域温差约束,防止单纯依靠平均值掩盖偏床问题;低负荷条件下则可适当调整目标区间,并同步限定最低流化风量和床压边界。数据驱动控制还可通过滚动计算短时趋势,对温度连续升高或下降提前触发小幅修正,避免等到越限后再进行大幅操作。床温控制由固定阈值向趋势识别、动态边界和提前干预转变,更适合循环流化床锅炉深度调峰及复杂煤质条件下的稳定运行。

6 结语

循环流化床锅炉床温受煤质、给煤、配风、床压及返料状态共同影响。运行控制应强化参数协同判断,依据床温变化趋势及时修正风煤比例、负荷变化速率及循环物料量,减少局部超温和低温波动,使燃烧、流化及传热保持稳定匹配,提高锅炉运行安全性和经济性。

参考文献:

- [1] 赵新坤,袁亚军.350MW 循环流化床锅炉脱硫脱硝增效方案[J].锅炉制造,2024,(4):32-34.
- [2] 张文祥,徐文韬,黄亚继,等.不同负荷工况下 660 MW 循环流化床锅炉脱硝特性研究[J].电力科技与环保,2024,40(1):60-67.
- [3] 汤仔华,宋国良,宋维健,等.循环流化床锅炉快速变负荷调节技术研究进展[J].中国电机工程学报,2024,44(6):2279-2292.
- [4] 张洪福.循环流化床机组负荷响应特性与灵活运行控制研究[D].华北电力大学(北京),2023.
- [5] 尤海辉.循环流化床垃圾焚烧炉燃烧优化试验研究[D].浙江大学,2021.