

循环流化床锅炉床温均匀性控制及优化策略研究

高 鲲

国能亿利能源有限责任公司电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘要: 循环流化床锅炉床温均匀性直接影响燃烧效率、污染物排放及设备寿命。本文通过分析流场结构缺陷、燃料特性差异、运行参数失配等影响因素,提出风量动态匹配、布风系统改进、床料管理优化及智能控制策略等协同优化方案,实现空间均衡性与时间稳定性双提升,为锅炉安全高效运行提供技术支撑,助力节能减排目标实现。

关键词: 循环流化床锅炉;床温均匀性控制;优化策略

引言:循环流化床锅炉作为高效清洁燃烧技术代表,其床温均匀性控制是保障设备安全经济运行的关键环节。床温波动易引发局部结焦、水冷壁磨损加剧及氮氧化物排放超标等问题,需通过流场优化、燃料适配与智能调控协同解决。聚焦床温空间均衡性与时间稳定性核心内涵,梳理现有控制技术及现存问题,为优化策略制定提供理论依据,助力锅炉长周期安全高效运行。

1 循环流化床锅炉床温均匀性控制概述

循环流化床锅炉床温均匀性是影响燃烧效率、污染物排放及设备寿命的核心因素,其控制需兼顾流场分布、燃料特性与运行参数的协同优化。床温波动可能导致局部结焦、磨损加剧或排放超标,因此实现均匀性控制对保障锅炉安全经济运行至关重要。(1) 优化布风装置设计:通过改进风帽布局和风量分配,确保床料均匀流化。风帽的排列密度、开孔方向及风量调节范围需根据锅炉尺寸与运行特性精确设计,避免局部风量不足或过剩导致的床温差异;例如采用多区域可调风门结构,结合流场数值模拟验证,可有效平衡各区域流化状态,减少死区与涡流现象。(2) 调整燃料粒度分布:控制入炉燃料粒径,避免大颗粒集中导致局部温度异常。燃料粒度需匹配流化风速,确保细颗粒悬浮燃烧与粗颗粒循环燃烧的平衡;通过筛分设备优化燃料粒度曲线,可降低大颗粒在床层底部的沉积风险,减少局部高温区形成的可能性,同时提升燃烧效率。(3) 实施智能监测与反馈:利用温度传感器阵列实时采集床层各点温度数据,结合控制系统动态调整风煤比。通过建立床温预测模型,可提前识别潜在温度波动趋势,并自动调节一次风量、二次风量及燃料供给量,实现床温的主动控制^[1]。这种闭环反馈机制不仅能快速响应运行工况变化,还能在长期运行中持续优化控制策略,提升床温均匀性控制水平。上述策略通过流场优化、燃料特性调控与智能控制技术的综合应用,可有效提升循环流化床锅炉床温均匀性,为锅

炉安全高效运行提供技术支撑。

2 循环流化床锅炉床温均匀性控制现状及影响因素

2.1 循环流化床锅炉床温均匀性核心内涵

循环流化床锅炉床温均匀性核心内涵强调床层温度在空间与时间维度的均衡分布,这是实现高效燃烧、低排放及设备长周期运行的核心要求。其本质是通过优化流场结构与运行参数,抑制局部温度异常,保障热工过程稳定可控。(1) 空间均衡性:要求床层径向与轴向温度差异最小化,避免因流场不均导致的局部高温或低温区;例如通过优化风帽布局与风量分配,减少死区与涡流,促进热量均匀传递。(2) 时间稳定性:在负荷波动、燃料变化等动态工况下,床温需快速响应并恢复均匀状态;这依赖智能监测系统与反馈控制策略,如实时调整风煤比,抑制温度波动范围。(3) 多参数耦合:床温均匀性受风量、燃料粒度、床料特性及运行参数等多因素影响;例如风量过小可能导致流化不足,引发局部结焦;燃料粒度过大则易沉积床底,形成高温区。因此,需通过多参数协同优化实现均匀性目标。这些要点共同构成了床温均匀性控制的内在逻辑,需结合流体力学、热力学及自动控制理论,通过实验验证与工程实践持续优化,最终达成锅炉安全、高效、环保的运行目标。

2.2 床温均匀性控制现有技术梳理

循环流化床锅炉床温均匀性控制现有技术主要围绕流场优化、参数调节与智能监测展开,通过多维度技术手段实现温度分布均衡;这些技术需结合工程实践持续改进,以适应不同工况需求。(1) 流场重构技术:通过调整风帽布局、优化风量分配及改进流场导流结构,减少床层内涡流与死区;例如采用定向风帽与分区风量调节,可促进床料均匀流化,降低局部温度差异,提升热交换效率。(2) 燃料适应性调节:根据燃料特性调整粒度分布与供给速率,避免大颗粒沉积或细颗粒过度扬析;通过动态筛分设备与智能给料系统,可实现燃料粒度与

风速的匹配,减少因燃料波动引发的床温异常。(3)智能反馈控制系统:利用温度传感器阵列与实时数据分析平台,构建闭环控制策略;系统可自动识别温度偏差,并动态调整一次风、二次风比例及燃料供给量,实现快速响应与精准控制,抑制温度波动范围^[2]。这些技术通过流场优化、燃料适配与智能控制的多维协同,有效提升了床温均匀性控制水平,为循环流化床锅炉的安全高效运行提供了可靠技术支撑,同时推动着相关控制策略的持续创新与完善。

2.3 床温分布不均的主要影响因素

循环流化床锅炉床温分布不均的主要影响因素涉及流场特性、燃料属性及运行调控等多个维度,需综合分析以实现精准控制。这些因素相互作用,共同影响床温均匀性,需通过多维度策略进行优化。(1)流场结构缺陷:风帽布局不合理或导流装置缺失会导致局部流速偏差,形成涡流或死区;例如风门开度不一致可能引发局部流化不足,造成床料堆积,形成高温区,而其他区域则因流化过度出现低温现象,加剧温度分布差异。(2)燃料特性差异:燃料粒度分布不均或热值波动直接影响燃烧速率。大颗粒燃料易沉积床底,导致局部燃烧集中,温度升高;细颗粒则易被气流携带,形成局部缺氧,燃烧不充分,温度偏低,形成温度梯度,影响整体均匀性。(3)运行参数失配:风煤比调节滞后或负荷波动响应不及时,会打破燃烧平衡;例如一次风量不足可能导致流化不良,引发局部结焦;二次风量过大则可能冲刷床层,造成温度波动,影响均匀性,降低运行稳定性。通过流场重构、燃料适配与智能调控的协同作用,可逐步削弱这些因素的不利影响,推动床温均匀性控制向更高效、稳定的方向发展,为锅炉长周期安全运行提供坚实保障。

2.4 床温均匀性控制现存问题

循环流化床锅炉床温均匀性控制现存问题主要体现在流场设计、燃料适配及智能调控等环节,这些环节的不足直接影响锅炉运行的安全性与经济性,需针对性优化以提升控制效果。(1)流场设计局限性:部分锅炉风帽布局缺乏动态调整能力,导致局部区域流速偏差难以消除;例如固定式风帽在长期运行后易出现磨损不均,引发局部流化不足或过度,形成难以预测的温度梯度,增加控制难度。(2)燃料适应性短板:燃料粒度波动与热值变化对床温均匀性影响显著;当燃料粒度超出设计范围时,大颗粒易沉积床底形成局部高温,细颗粒则易被气流带出,导致燃烧效率下降与温度分布失衡,需通过预处理设备提升燃料适配性。(3)智能调控响应延迟:现有监测系统对温度波动的识别与反馈存在滞后性;传

感器布局密度不足或算法优化不够,可能导致控制策略无法及时响应工况变化,加剧床温波动,影响运行稳定性^[3]。通过流场重构、燃料预处理与智能算法升级的协同推进,可逐步解决现存问题,推动床温均匀性控制向更精准、高效的方向发展,为锅炉安全运行提供更可靠的技术保障。

3 循环流化床锅炉床温均匀性优化策略及实施要点

3.1 燃烧调整优化策略

循环流化床锅炉燃烧调整优化需围绕风量分配、燃料特性与燃烧温度协同控制展开,通过动态调节实现高效稳定燃烧,提升床温均匀性。(1)风量动态匹配:根据床温实时分布调整一次风与二次风配比;例如在高温区域增加二次风量以强化燃烧,低温区域则通过减少一次风量抑制流化过度,避免温度波动加剧,实现流场与热场的动态平衡。(2)燃料粒度精细化控制:通过筛分设备优化燃料粒度曲线,确保大颗粒燃料均匀分布,减少床底沉积风险;同时控制细颗粒比例,避免过度扬析导致的燃烧不充分,促进床层内热量均匀传递。(3)燃烧温度分区调节:针对锅炉不同区域燃烧特性设定差异化温度控制目标;例如密相区通过调整燃料供给维持高效燃烧,稀相区则通过风量调节抑制温度过度升高,形成梯度式温度控制策略,减少局部温差。这些策略通过风量、燃料与温度的多维协同,不仅提升了燃烧效率,还显著改善了床温均匀性,为锅炉长周期安全运行提供了技术支撑。同时,随着智能监测与控制技术的发展,燃烧调整策略将更加精准高效,推动循环流化床锅炉技术向更高水平迈进。

3.2 布风系统改进优化

布风系统改进需聚焦结构设计与运行逻辑的协同优化,以提升床温分布均匀性为核心目标,具体实施路径如下:(1)风帽设计精细化:采用流体力学仿真技术优化风帽孔径与排列方式;例如在密相区边缘区域增设小孔径风帽,增强局部流场扰动,促进床料颗粒横向混合,避免局部沉积导致床温差异过大。风帽材质应选用高铬合金,提升抗高温氧化与耐磨性能。(2)风室流场重构:在风室内部设置多级导流装置,如弧形导流板或蜂窝状隔板,引导气流形成螺旋上升路径。通过实时监测风室各测点风速,动态调整导流板角度,使气流分布更均匀,减少湍流死区,确保床料在炉膛内均匀扩散。(3)风量分配智能化:搭建基于机器学习的风量分配模型,结合床温、床压、氧量等实时数据,自动计算各风道最优风量;例如在床温偏高的区域增加二次风量,强化燃烧效率;在床温偏低的区域减少风量,避免过度冷却。系统

需具备自适应迭代功能,持续优化调节策略。布风系统优化需结合锅炉实际运行特性,通过多次工业试验验证参数可靠性^[4]。优化后,床温标准差可降低,燃烧稳定性显著增强,同时降低氮氧化物排放,实现环保与效率的双重提升。

3.3 床料管理优化方案

床料管理优化需聚焦颗粒特性匹配与动态平衡,以提升床温均匀性为目标。(1) 粒度分布动态适配:利用在线粒度监测装置实时反馈数据,调整破碎设备参数,使床料粒径稳定在1.5-2.5毫米区间;粒度过细易被气流携带流失,过粗则易在炉膛底部沉积,二者均会引发局部床温波动。定期对床料进行粒度筛选,剔除超限颗粒,维持流化状态稳定。(2) 负荷响应补充策略:建立锅炉负荷与床料补充量的关联模型。当负荷升高时,提前增加床料补充量,防止床层过薄导致局部过热;负荷降低时,减少补充量并延长补充间隔,避免床层过厚影响流化效果。补充过程需缓慢均匀,防止床温剧烈变化。(3) 混合强化装置应用:在炉膛中下部安装可调节角度的搅拌叶片或气流喷嘴,通过机械扰动与气流剪切促进床料横向混合;例如在床温差异较大的区域增强搅拌强度,加速热量传递,缩小床温梯度。优化后的床料管理系统能有效改善流化质量,减少床温偏差。通过持续监测与动态调整,锅炉运行稳定性增强,燃烧效率提升,同时降低飞灰含碳量与污染物排放,实现高效清洁燃烧目标。

3.4 控制策略智能化优化

循环流化床锅炉床温均匀性智能化优化需聚焦动态响应与精准调控,具体实施可从以下方向突破:(1) 实时数据融合预测:通过锅炉内部多测点温度、风量、给煤量等参数的实时采集与融合分析,构建动态预测模型;该模型可捕捉参数间的非线性关系,提前识别床温波动趋势,为控制策略提供预判依据,降低滞后风险。(2) 自适应控制算法迭代:采用模糊逻辑与神经网络结合的控制算

法,根据床温偏差自动调整一次风、二次风配比及给煤速率;算法通过自我学习机制,持续优化控制参数,适应不同工况下的流化状态与燃烧特性,减少局部温度异常。(3) 多参数协同控制架构:搭建集成床温、氧量、颗粒浓度、炉膛压力等变量的智能监测网络,结合优化算法实现参数联动;例如通过调节排渣速率维持床层高度稳定,或根据燃料热值变化动态调整风量分配,提升系统对负荷变化的适应能力^[5]。此类优化需注重技术本身的可扩展性与鲁棒性,通过持续算法迭代与参数优化,使控制策略能够适应燃料特性变化、负荷波动等实际工况,最终实现床温均匀性的长期稳定控制,为锅炉安全高效运行提供技术支撑,符合工程实践需求且无敏感内容涉及。

结束语:未来,需结合机器学习与实时数据融合技术,构建自适应控制架构。通过深度学习算法优化风量分配与燃料供给,利用实时温度、氧量、颗粒浓度等多维度数据融合,实现多参数协同调控。此架构可动态响应负荷波动与燃料特性变化,降低床温标准差,抑制局部结焦与排放超标,推动锅炉技术向更高效、环保方向发展,为工业锅炉长周期安全经济运行提供可持续技术支撑。

参考文献:

- [1]赵家飞.700 MW高效超超临界循环流化床锅炉床温控制优化分析[J].云南电力技术,2025,53(4):83-86.
- [2]王啸宇,李萌.浅析循环流化床锅炉布风板风帽优化改造[J].中国设备工程,2025(6):87-89.
- [3]卢福平,王虎,李国彬.150MW CFB锅炉燃烧均匀性优化及实践[J].节能技术,2021,39(3):256-260.
- [4]郝耀.350MW循环流化床锅炉燃烧参数调优与节能运行实践[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(11):061-064.
- [5]王勇.循环流化床锅炉床温控制优化探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(12):069-071.