

# 循环流化床锅炉燃烧效率优化策略研究

常艳春

内蒙古伊泰煤制油有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010321

**摘要：**循环流化床（CFB）锅炉作为高效、清洁的燃烧技术，其燃烧效率优化策略涉及燃料选择与配比、燃烧器布局调整、受热面传热强化、循环流速与返料系统优化及智能燃烧优化系统应用。通过精准调控燃料特性、燃烧器参数、传热结构与循环流速，结合智能系统的数据采集、模型预测与优化控制，CFB锅炉的燃烧效率显著提升，能源成本降低，污染物排放减少，为能源行业可持续发展提供了有力支撑。

**关键词：**循环流化床锅炉；燃烧效率；优化策略

## 引言

循环流化床锅炉凭借其独特的燃烧机制，展现了在能源高效利用与环境保护方面的巨大潜力。然而，要实现其燃烧效率的最大化，需深入研究并优化各项关键技术参数。本文旨在探讨CFB锅炉的燃烧效率优化策略，从燃料选择到智能系统应用，全面剖析各环节对燃烧效率的影响，以期CFB锅炉的高效运行提供理论支撑与实践指导。通过优化燃烧参数，实现节能减排。

### 1 循环流化床锅炉概述

循环流化床（CFB）锅炉作为一种前沿的燃烧技术，展现出了其在能源高效利用与环境保护方面的巨大潜力。该技术核心在于将燃料与惰性床料混合，在炉膛内通过高速气流的作用，形成动态流化状态，这一独特设计极大提升了燃烧过程的效率与清洁度。CFB锅炉的燃烧机制极为复杂，融合了气固两相流动、高效传热传质及复杂的化学反应等多个科学领域。在炉膛内部，燃料颗粒与床料颗粒在高速气流的带动下发生剧烈的碰撞与摩擦，形成稳定的流化床层。在这一层中，燃料得以充分燃烧，释放出的热量迅速通过床层传递给受热面，转化为蒸汽或热水，供后续能源利用环节使用。值得注意的是，CFB锅炉的循环流化设计提升了其燃烧效率。炉膛内的高温烟气携带未完全燃烧的燃料颗粒进入分离装置，经过高效分离后，大部分颗粒被重新送回炉膛继续燃烧，这过程形成了循环流化床，确保了燃料的充分利用，减少了燃烧过程中的能量损失；CFB锅炉的燃料适应性广泛，能高效燃烧高品质燃料，还能有效利用劣质燃料，如煤矸石、油页岩等，这对于拓宽燃料来源、降低能源成本及减少环境污染具有重要意义。总的来说，循环流化床锅炉以其独特的燃烧机制与高效的能源利用方式，在能源领域展现出了广泛的应用前景。

### 2 燃烧效率优化策略

#### 2.1 燃料选择与配比

在循环流化床锅炉追求卓越燃烧效率的征程中，燃料选择与配比无疑是重中之重，是奠定高效燃烧的基础。精准适配的燃料对于满足锅炉热负荷需求、提升整体运行效能起着决定性作用。锅炉设计蓝图勾勒出了对燃料特性的基本要求，而燃料自身的特质千差万别。以常见的煤种为例，烟煤挥发分适中、发热量较高，能快速释放热量，适用于需要迅速提升热负荷的工况；而贫煤挥发分相对较低，但其固定碳含量高，燃烧持续稳定，可为长时间稳定运行的锅炉提供坚实保障。粒度方面，若颗粒过大，流化过程中难以达到理想的悬浮状态，致使燃烧反应在局部受阻，热传递不均匀；反之，过细颗粒易被高速气流裹挟，来不及充分燃烧便逃离炉膛，造成燃料浪费。优化燃料配比是深挖燃料潜力的关键。高灰分燃料在燃烧时，自身燃尽困难，大量灰渣还会附着于受热面，削弱传热效率，甚至引发设备故障。通过科学混入低灰分燃料，稀释灰分浓度，确保热量能高效传导。硫分更是不容忽视，其燃烧产物腐蚀性强，污染环境，搭配脱硫特性优良的燃料共同入炉，能从源头上遏制硫氧化物的肆虐，净化燃烧环境。借助专业的燃料分析仪器，实时洞察燃料成分变化，灵活调整配比，让燃料以最优“组合”投入炉膛，激发最强燃烧效能，开启燃烧效率进阶之路。

#### 2.2 燃烧器布局与调整

（1）合理的燃烧器布局是确保燃料均匀分布的关键。通过科学设计燃烧器的安装位置和数量，促使燃料颗粒在炉膛内形成均匀的流化床层，避免局部过热或燃烧不充分的问题。这种均匀分布有助于提升燃烧效率，还能减少炉膛内部的热应力，延长锅炉的使用寿命。

（2）根据燃料的燃烧特性和锅炉的运行需求，对燃烧器的参数进行精细调整同样至关重要。一次风量与二次风

量的合理配置,能直接影响炉膛内的氧气分布和燃烧反应速率。通过精确调控这些参数,确保燃料在燃烧过程中获得充足的氧气支持,同时避免过量空气导致的热损失,实现燃烧效率的最大化。(3)值得注意的是,燃烧器布局与参数调整应是一个持续优化的过程。随着锅炉运行时间的延长和燃料种类的变化,燃烧器的布局和参数可能需要进行相应的调整,以适应新的燃烧条件。因此,建立一套完善的燃烧器调整机制,定期监测锅炉运行数据,分析燃烧效率变化趋势,并根据实际情况进行必要的调整,对于确保CFB锅炉长期保持高效运行状态具有重要意义<sup>[1]</sup>。

### 2.3 受热面传热强化

循环流化床锅炉燃烧效率的优化策略里,受热面传热强化是关键环节,对锅炉整体热效率起着举足轻重的作用。从结构设计层面着手改进意义重大。采用扩展受热面技术,如合理增设膜式壁、螺旋鳍片管等结构,能大幅增加热量交换的有效面积。以膜式壁为例,其紧凑的结构将炉膛与外部环境有效隔离,在有限空间内拓展了汽水系统与高温烟气的接触区域,促使热量被更充分地吸收,加快工质升温汽化进程。增加翅片也是行之有效的策略,翅片的独特形状如同为热量传递开辟了“高速通道”,它打破了传统光管受热面热阻较大的局限,引导烟气在流经翅片时形成强烈的紊流,强化了对流换热效果,使得热量能以更快的速度从高温烟气传递至工质侧,同时确保受热面的清洁状态不可或缺。循环流化床锅炉运行过程中,燃料中的灰分、未燃尽颗粒等杂质极易在受热面上堆积,形成积灰与结渣现象。定期清理受热面就如同为热量传递扫除障碍,可采用声波清灰、蒸汽吹灰等多样化手段。声波清灰利用高强度声波产生的震动,使积灰松动脱落;蒸汽吹灰则借助高速蒸汽流的冲击,将附着的灰渣一扫而空,恢复受热面的原始换热性能,保障热量高效传递,为提升锅炉热效率筑牢根基,推动锅炉运行效能迈向新高度<sup>[2]</sup>。

### 2.4 循环流速与返料系统优化

(1)循环流速作为影响CFB锅炉燃烧效率的核心要素,其调整对于优化燃烧过程至关重要。通过精确调控循环流速,有效控制炉膛内的物料浓度与温度分布,实现燃烧过程的精细调控。适当的循环流速能确保燃料颗粒在炉膛内充分悬浮与混合,提高燃烧反应的速率与完全度,从而提升燃烧效率。(2)返料系统的优化同样不容忽视。返料系统作为连接炉膛与分离器的关键环节,其性能的稳定性与均匀性直接影响锅炉的运行效率。通过对返料系统进行精细设计与调整,确保返料量的稳定

与均匀,有效避免返料堵塞或不足的问题。稳定的返料量能维持炉膛内的物料平衡,还能促进未燃尽燃料的二次燃烧,提高燃烧效率。(3)循环流速与返料系统的优化应作为一个整体来考虑。在实际操作中,需要根据锅炉的运行状态与燃料特性,灵活调整循环流速与返料系统的参数,以实现最佳的燃烧效果;建立定期的监测与维护机制,及时发现并解决潜在问题,对于确保CFB锅炉长期稳定运行、提升燃烧效率具有重要意义。

## 3 智能燃烧优化系统应用

### 3.1 数据采集与处理

在智能燃烧优化系统架构内,数据采集与处理扮演着确保系统精确运行的基础角色。其主要任务是为后续优化决策提供可靠的数据基础,保证系统全面掌握锅炉的运行状态。在锅炉的各个关键部位精心部署传感器网络,是获取数据的首要步骤。温度传感器像精确的热感应装置,能准确测量炉膛内的高温以及受热面的温度梯度,它们分布在不同层次和位置,全面捕捉热量的动态信息;压力传感器则如同精确的气压监测器,严密监控风道内的风压变化和炉膛的压力平衡,任何微小的压力波动都逃不过其监测;流量传感器则像精确的流量测量工具,精确计量燃料的供给速度和风媒的流量,实时掌握物质流的输入和输出情况。当大量原始数据涌入时,数据预处理技术便立即发挥作用。清洗过程就像精密的过滤器,仔细去除数据中的错误值和异常点,这些可能因传感器故障或短暂环境干扰而产生的干扰因素,如果混入会严重影响后续分析;去噪过程则运用滤波算法等手段,平滑数据曲线,消除因电气干扰、设备微小振动而产生的波动,还原数据的真实波动;而归一化操作则相当于统一数据标准,将不同范围和量级的数据调整到同一可比标准下,使各类数据在后续计算、模型构建中能够协调一致,共同提升数据质量,为智能燃烧优化系统的高效运行提供坚实的数据支撑。

### 3.2 模型建立与优化

(1)燃烧模型作为智能优化系统的基础,其本质是一组精确描述锅炉燃烧过程的数学方程或先进算法。这些模型能基于锅炉的实时运行数据以及燃料的物理化学特性,对锅炉的燃烧效率、污染物排放等关键性能指标进行精准预测。通过模型的精确计算,系统能洞察燃烧过程中的细微变化,为后续的优化调控提供坚实的数据支撑。(2)模型的优化是提升智能燃烧优化系统性能的关键步骤。实际应用中,由于锅炉运行环境的复杂性和燃料特性的多样性,初始构建的燃烧模型往往难以达到理想的预测精度。因此不断引入新的运行数据,结合先

进的机器学习算法,对模型进行持续的训练与优化,能提升其预测能力和鲁棒性。这种持续优化的过程,增强了模型对锅炉燃烧过程的适应能力,也确保了智能优化系统在实际运行中的稳定性和可靠性。(3)值得注意的是,燃烧模型的构建与优化是一个循环迭代的过程。随着锅炉运行数据的不断积累,以及燃料特性的变化,模型需要定期进行更新与调整,以保持其预测精度和实用性。因此,建立一套完善的模型管理与优化机制,对于智能燃烧优化系统的长期稳定运行和性能提升具有重要意义<sup>[3]</sup>。

### 3.3 优化控制策略

在智能燃烧优化系统的实际应用场景中,确保循环流化床锅炉高效运行的关键在于实施优化控制策略。这一策略扮演着核心角色,对提升锅炉运行效率至关重要。换句话说,优化控制策略是智能优化系统中实现锅炉高效运转的核心要素。依托构建完备的燃烧模型,系统得以精准规划出契合锅炉运行各阶段的最优方案。燃料供给量的把控居于关键地位,系统深度剖析燃料特性,诸如发热量、挥发分比例,结合锅炉实时热负荷需求精准调配给煤速率,杜绝燃料浪费与能量亏缺,保障稳定且充足的热能产出。风量分配的科学性同样不可小觑,依据燃料燃烧进程差异,精细调整一次风量、二次风量比例。一次风为床料流化筑牢根基,确保物料处于理想流化状态;二次风乘势助力挥发分在炉膛内充分氧化,二者相辅相成,促使空气与燃料高效交融,强化燃烧反应程度。循环流速的调控是另一重点,依循锅炉运行节奏,系统动态优化物料循环速率,既防止物料在炉内堆积阻碍传热,又规避流速过快致使燃烧反应仓促、不完全。尤为突出的是,智能系统具备卓越的自适应能力,紧密追踪锅炉运行状态更迭与负荷起伏,迅速迭代控制策略,使锅炉无论在启动升温、稳定运行或是负荷变动阶段,均能精准适配,稳守高效燃烧的运行轨迹,全方位提升燃烧效率。

### 3.4 实时监测与反馈

(1) 实时监测功能为系统提供了对锅炉运行数据和

性能指标的即时洞察。高精度传感器和先进的数据采集技术,系统能持续捕捉锅炉内部的温度、压力、流量等关键参数,以及燃烧效率、污染物排放等性能指标。如果检测到异常情况,如燃烧不充分或污染物排放超标,系统能够迅速响应,触发预警机制,为操作人员提供及时的干预机会,有效避免潜在的安全风险和环境污染。

(2) 反馈机制是智能燃烧优化系统实现闭环控制的关键。系统将监测结果实时呈现给操作人员,还通过智能算法对数据进行深度分析,提供优化建议或自动调整控制参数,以改善锅炉的运行状态。这种实时反馈与调整的过程,使得系统能不断适应锅炉运行条件的变化,确保燃烧过程始终处于最优状态。总的来说,智能燃烧优化系统的实时监测与反馈功能,为CFB锅炉的高效、稳定运行提供了有力保障。通过持续监测锅炉的运行状态,及时发现并处理潜在问题,系统能确保锅炉在最佳工况下运行,提高能源利用效率、降低运行成本,同时减少污染物排放,为能源行业的可持续发展贡献力量<sup>[4]</sup>。

### 结束语

综上所述,循环流化床锅炉的燃烧效率优化是一个系统工程,涉及多个方面的精细调控与创新应用。通过实施一系列优化策略,CFB锅炉不仅实现了能源的高效利用与成本的显著降低,还有效减少了污染物排放,为能源行业的绿色发展开辟了新路径。未来,随着技术的不断进步与创新,CFB锅炉的燃烧效率优化将迈向更高水平,为构建清洁、低碳的能源体系贡献力量。

### 参考文献

- [1]胡广庆,边明强.循环流化床锅炉燃烧调整及其燃烧优化研究[J].数字化用户,2024(36):255-256.
- [2]许西建.燃煤电厂锅炉燃烧运行优化策略探讨[J].通讯世界,2023,30(5):76-78.
- [3]郭悦.化工企业循环流化床锅炉燃烧运行经济性优化分析[J].中国化工贸易,2023,15(23):49-51.
- [4]周金国,孟现辉.循环流化床锅炉燃烧系统烟气氧含量控制策略[J].清洗世界,2020,36(10):75-76.