

循环流化床锅炉运行优化

陈 冲

宁夏煤业烯烃一分公司 宁夏 银川 750000

摘要：循环流化床锅炉运行优化旨在提高其燃烧效率和热效率，通过调整物料循环、燃烧工况、热平衡和灰平衡等关键参数，实现经济运行。优化策略包括选用设计煤种、控制燃煤水分和颗粒度、合理调整一二次风量、及时排渣和调整床压等。这些措施有助于减少受热面磨损、防止结焦和保证流化正常，从而提高锅炉的稳定性和运行效率，降低能耗和污染物排放。

关键词：循环流化床；锅炉运行；优化

引言：循环流化床锅炉作为一种先进的燃烧技术，在能源转换和环境友好方面展现了显著优势。然而，其复杂的运行机制和多变的操作条件要求高效的管理和优化策略。本文旨在深入探讨循环流化床锅炉的运行优化，通过分析锅炉的工作原理、关键问题及其制约因素，提出针对性的优化措施。以期提高锅炉的燃烧效率和稳定性，减少环境污染，为能源的高效利用和可持续发展提供实践指导和理论依据。

1 循环流化床锅炉的工作原理

1.1 CFB锅炉的基本结构和工作流程

(1) 循环流化床锅炉(CFB)是一种采用流化床燃烧方式的锅炉，其基本结构包括锅炉本体和辅助设备。锅炉本体主要由启动燃烧器、风室、布风装置、炉膛、气固分离器、物料回送装置以及汽包、下降管、水冷壁、过热器、省煤器、空气预热器等组成。辅助设备则包括送风机、引风机、返料风机、破碎机、给煤机、冷渣器、除尘器、脱硫脱硝设备等。(2) CFB锅炉的工作流程如下：燃料由给煤口进入炉内，助燃的一次风由炉床底部送入，二次风由二次风口送入。燃料在炉内呈流化状态燃烧，燃烧产物——烟气携带一部分固体颗粒离开炉膛进入物料分离器。物料分离器将固体颗粒分离出来，通过物料回送装置返送到炉内再燃烧，烟气则排入进入烟道。如此反复循环，形成了CFB锅炉特有的颗粒循环回路。

1.2 燃烧特性

CFB锅炉的燃烧特性主要体现在脱硫、脱硝及燃料适应性方面。在脱硫方面，CFB锅炉采用炉内燃烧脱硫工艺，以石灰石为脱硫吸收剂。燃煤和石灰石自锅炉燃烧室下部送入，石灰石受热分解为氧化钙和二氧化碳，燃煤烟气中的SO₂与氧化钙接触发生化学反应被脱除。为了提高吸收剂的利用率，将未反应的氧化钙、脱硫产物及

飞灰送回燃烧室参与循环利用，脱硫率可达90%以上^[1]。在脱硝方面，CFB锅炉可通过低氮燃烧技术和尾部烟道脱硝装置实现高效脱硝。低氮燃烧技术主要通过控制燃烧过程中的氧量和温度，减少NO_x的生成；尾部烟道脱硝装置则采用SNCR或SCR等技术，将NO_x还原为氮气，进一步降低NO_x排放。CFB锅炉的燃料适应性较强，适合燃烧各种煤种，包括高硫煤、高灰分煤、低热值煤等。同时，CFB锅炉还可实现生物质、污泥等可燃废弃物的协同处置，具有广阔的应用前景。

1.3 关键参数

CFB锅炉的关键参数包括床温、床压、风量及烟气含氧量等。床温直接影响锅炉的燃烧效率和脱硫效率，过高会导致结焦，过低则会使燃烧不充分。床压反映了床层物料的厚度和密度，过高会增加锅炉的磨损和能耗，过低则会影响床层的流化效果。风量决定了锅炉的燃烧效率和烟气含氧量，一次风量主要影响床层的流化效果，二次风量则影响燃料的完全燃烧。烟气含氧量过高会增加排烟热损失，过低则会导致燃烧不充分。因此，在CFB锅炉的运行中，需要严格控制这些关键参数，以实现高效、稳定的燃烧和排放。

2 CFB 锅炉运行中的主要问题与制约因素

2.1 煤质对CFB锅炉燃烧效率的影响

煤质作为CFB锅炉的主要燃料，其成分和特性的变化直接影响锅炉的燃烧效率和运行稳定性。含硫量高的煤在燃烧过程中会产生大量的二氧化硫，这不仅增加了脱硫系统的负担，还可能影响锅炉受热面的腐蚀和磨损。同时，煤中水分过高会导致燃烧温度下降，降低燃烧效率，且会增加烟气的量，加剧受热面的磨损。发热量低则意味着为达到相同的蒸汽产量，需要消耗更多的煤，从而增加了燃料成本。灰分高的煤燃烧后会产生更多的炉渣和飞灰，增加锅炉排渣和除尘系统的负担，同时炉渣

中未燃尽的碳也会降低燃烧效率。挥发分是影响煤着火特性的重要因素,挥发分高有利于煤的快速着火和稳定燃烧,但过高的挥发分也可能导致燃烧初期的爆燃现象,对锅炉安全运行构成威胁^[2]。

2.2 风量调整的复杂性及其对燃烧效率的影响

CFB锅炉的风量调整包括一次风和二次风的调整。一次风主要作用是将燃料吹起并维持床层物料的流化状态,其风量的大小直接影响床温和床压的稳定性。一次风过小会导致床料流化不良,影响燃烧效率;过大则会使床温降低,增加燃料不完全燃烧的损失。二次风则主要用于补充燃烧所需的氧气,促进燃料的完全燃烧。二次风的合理分布和风速控制对提高燃烧效率至关重要。在实际运行中,需要根据煤质、负荷变化等因素灵活调整一次风和二次风的配比,以实现最佳的燃烧效果。然而,由于CFB锅炉内部的复杂性和动态性,风量调整的复杂性较高,需要依靠先进的控制系统和丰富的运行经验来确保调整的准确性和及时性。

2.3 锅炉受热面磨损与防磨措施

CFB锅炉的受热面磨损是运行中不可忽视的问题,其主要原因是燃煤颗粒在高速流动过程中对受热面造成的冲刷和撞击。燃煤颗粒度的大小直接影响磨损程度,颗粒过大会增加冲刷力,加速磨损;颗粒过小则容易随烟气携带至尾部受热面,增加飞灰磨损的风险。为了减轻受热面的磨损,CFB锅炉通常采用格栅防磨经纬结构,即在受热面表面设置防磨格栅,通过改变气流方向和速度来减少颗粒的直接冲刷。此外,还可以通过优化燃煤颗粒的粒度分布、提高受热面材料的耐磨性能等措施来降低磨损速率。

2.4 其他常见问题:翻床、给煤不畅等

翻床是CFB锅炉运行中一种严重的异常情况,通常是由于床料分布不均或风量调整不当导致床层局部失稳而引起的。翻床发生时,床温和床压会发生剧烈波动,严重影响锅炉的稳定运行。为了防止翻床的发生,需要保持床料的均匀分布和合理的风量配比。给煤不畅则是由于煤仓堵塞、给煤机故障或煤质变化等原因导致的燃料供应中断或不足,这会直接影响锅炉的燃烧效率和出力。为了确保给煤的连续性和稳定性,需要定期对给煤系统进行检查和维护,并根据煤质变化及时调整给煤量和给煤速度。

3 循环流化床锅炉运行优化的策略与方法

3.1 燃料选择与预处理优化

(1) 燃煤种类与粒度控制。循环流化床锅炉(CFB)的高效运行首先依赖于合理的燃料选择与预处理。燃煤

种类直接影响锅炉的燃烧特性和运行稳定性。在选择燃煤时,应优先考虑其灰分、硫分、挥发分和发热量等关键指标。低灰分、低硫分、高挥发分和高发热量的燃煤有助于实现高效燃烧和较低的污染物排放。然而,在实际应用中,往往需要根据当地煤源情况和锅炉设计参数进行综合评估,选择性价比最高的燃煤种类。燃煤粒度是影响CFB锅炉燃烧效率和磨损情况的重要因素。粒度过大的燃煤不易流化,影响燃烧效率;粒度过小则容易被烟气携带至尾部受热面,加剧磨损。因此,应对燃煤进行严格的粒度控制。一般而言,CFB锅炉的燃煤粒度应控制在一定范围内,如0-8mm或0-10mm,具体取决于锅炉设计和运行经验。在实际操作中,可通过破碎机、筛分机等设备对燃煤进行预处理,确保粒度符合要求^[3]。

(2) 燃煤水分的合理控制。燃煤中的水分含量对CFB锅炉的运行效率也有显著影响。水分过高会降低燃煤的发热量,增加烟气体量,从而加剧受热面的磨损和排烟热损失。因此,在燃煤进入锅炉前,应进行适当的干燥处理,合理控制水分含量。一般来说,CFB锅炉的燃煤水分应控制在一定范围内,如8%-12%,具体取决于燃煤种类和锅炉设计要求。通过合理的干燥处理,不仅可以提高燃煤的发热量,还可以减少烟气体量和受热面的磨损,从而提高锅炉的运行效率。

3.2 风量及烟气含氧量的优化调整

(1) 一次风与二次风的合理配比。CFB锅炉的风量调整主要包括一次风和二次风的合理配比。一次风主要用于流化床料,保持床层的良好流化状态,对燃烧效率和床温稳定至关重要。二次风则用于补充燃烧所需的氧气,促进燃料的完全燃烧。在实际运行中,应根据锅炉负荷、燃煤种类和粒度等因素,灵活调整一次风和二次风的配比。一般来说,在高负荷下,应适当增加一次风量,以保持床层的良好流化;在低负荷下,则应适当减少一次风量,降低床温,防止结焦。同时,二次风量应根据燃煤的燃烧特性进行调整,确保燃烧充分且烟气含氧量适中。(2) 返料风调整原则。返料风是CFB锅炉中用于将分离器捕捉的固体颗粒送回床层重新燃烧的风量。返料风的调整应遵循“适量、稳定”的原则。适量是指返料风量应足以将分离器捕捉的颗粒全部送回床层,避免颗粒在分离器内堆积;稳定则是指返料风量应保持相对稳定,避免波动过大对锅炉运行造成不利影响。在实际操作中,应根据锅炉的运行状态和负荷变化,合理调整返料风量,确保床层物料的正常循环和燃烧稳定。

3.3 床温与床压的稳定控制

(1) 床温调节技术。床温是影响CFB锅炉燃烧效率和脱硫效率的关键因素。床温过高会导致床层结焦、燃烧不充分和NO_x生成增加；床温过低则会使燃煤燃烧不充分，增加未燃尽碳的损失。因此，应根据锅炉的实际情况和燃煤种类，合理控制床温。床温调节可通过调整燃煤量、风量和给煤速度等方式实现。在高负荷下，可适当增加燃煤量和风量，提高床温；在低负荷下，则应减少燃煤量和风量，降低床温。同时，还应注意保持床层物料的均匀分布和良好流化状态，以避免局部过热或结焦^[4]。(2) 床压平衡与防翻床措施。床压是CFB锅炉运行中的重要参数之一，反映了床层物料的厚度和密度。床压过高会增加锅炉的磨损和能耗；床压过低则会导致床层物料流化不良、燃烧不稳定。因此，应保持床压的平衡和稳定。为了防止翻床现象的发生，可采取以下措施：一是保持床料的均匀分布和良好流化状态；二是合理调整风量和给煤速度等参数；三是加强锅炉运行监控和异常处理能力。一旦发现床压异常或翻床迹象，应立即采取措施进行调整和处理。

3.4 锅炉受热面的保护与磨损减缓

(1) 先进防磨技术的应用。CFB锅炉的受热面磨损是运行中不可避免的问题。为了减少磨损和提高锅炉的使用寿命，可采用先进的防磨技术。常见的防磨技术包括喷涂耐磨材料、设置防磨格栅和改变受热面结构等。喷涂耐磨材料是在受热面表面喷涂一层具有高耐磨性的材料层，如碳化硅、氧化铝等；设置防磨格栅则是在受热面表面设置一层格栅结构，通过改变气流的方向和速度来减少颗粒的直接冲刷；改变受热面结构则是通过优化受热面的形状和布局，减少颗粒与受热面的接触面积和冲刷力度，从而降低磨损速率。在实际应用中，应根据锅炉的实际情况和运行经验，选择合适的防磨技术，并进行定期的维护和更换，确保防磨效果持久有效。(2) 燃烧调整以减少磨损。除了采用先进的防磨技术外，还可以通过燃烧调整来减少CFB锅炉受热面的磨损。

首先，应合理控制燃煤的粒度，避免过小的颗粒被烟气携带至尾部受热面，减少飞灰磨损。其次，应优化风量调整，保持床层物料的正常流化和燃烧稳定，减少因燃烧不稳定而产生的冲刷和撞击。此外，还可以通过调整燃煤种类和给煤速度等方式，控制燃煤的燃烧特性和燃烧过程，从而减少受热面的磨损。例如，选择挥发分较高、燃烧速度较快的燃煤，有助于减少燃煤在受热面上的停留时间和冲刷力度；适当增加给煤速度，可以保持床层物料的稳定燃烧，减少因燃烧不充分而产生的冲刷和磨损。在实施燃烧调整时，需要注意以下几点：一是要根据锅炉的实际运行情况和燃煤种类，灵活调整燃烧参数，避免过度调整导致锅炉运行不稳定；二是要定期对锅炉受热面进行检查和维护，及时发现和处理磨损情况，确保锅炉的安全运行；三是要加强锅炉运行管理和人员培训，提高运行人员的操作技能和处理异常情况的能力。

结束语

经过对循环流化床锅炉运行优化的深入分析，我们提出了一系列旨在提高燃烧效率和热效率的有效策略。这些策略不仅有助于锅炉的长期稳定运行，还减少了污染物排放，符合当前的环保趋势。未来，随着技术的不断进步，我们期待更多创新优化方案的出现，为循环流化床锅炉的节能降耗、环保发展注入新的活力，共同推动能源利用迈向更加高效、绿色的未来。

参考文献

- [1] 崔健. 循环流化床锅炉床温控制优化分析[J]. 自动化应用, 2020, (04): 24-25.
- [2] 周艳钧, 程开献. 循环流化床锅炉脱硫运行优化研究[J]. 河南科技, 2019, (05): 46-47.
- [3] 白建宁, 李战国. 330MW循环流化床锅炉运行优化[J]. 华北电力技术, 2019, (06): 55-58.
- [4] 盛增庆. 循环流化床锅炉飞灰回燃技术及其应用研究[J]. 科技风, 2019, (03): 41-42.