

循环流化床锅炉的调整过程探讨

张亚兵 强 妮

国家能源集团陕西彬长发电有限公司 陕西 咸阳 713500

摘要：循环流化床锅炉（CFB锅炉）的调整过程，旨在优化锅炉运行效率、减少污染物排放并确保安全运行。文中详细分析了燃烧调整、物料循环管理、排放控制策略以及运行监控与维护等方面的解决方法。通过精细调整燃烧条件、优化物料循环、改进脱硝技术和加强监控维护，CFB锅炉可实现高效、环保、稳定的运行，降低运行成本，满足环保法规要求，为工业生产提供可靠的能源支持。

关键词：循环流化床；锅炉调整；过程

引言：循环流化床锅炉（CFB锅炉）作为现代工业中重要的热能转换设备，其运行效率、污染物排放以及安全性直接关系到企业的经济效益和环境保护。基于此，对CFB锅炉的调整过程进行深入探讨显得尤为重要。本文旨在通过分析CFB锅炉的调整方法，提出一系列解决方法，以改善锅炉的运行性能，降低能耗和污染物排放，为CFB锅炉的高效、环保运行提供理论支持和实践指导。

1 循环流化床锅炉概述

循环流化床锅炉（Circulating Fluidized Bed Boiler，简称CFB锅炉）是一种高效、环保的燃煤锅炉技术，它在现代工业锅炉领域占据重要地位。其独特的工作原理和结构设计，使得CFB锅炉在燃烧过程中能够实现低污染排放和高燃烧效率，从而成为洁净煤燃烧技术的杰出代表。CFB锅炉的工作原理主要基于流态化燃烧技术。在CFB锅炉中，燃料（如煤炭）和脱硫剂（如石灰石）被送入炉膛，在流化状态下进行燃烧。这种燃烧方式使得燃料与空气充分混合，燃烧更为均匀和充分，从而提高了燃烧效率。同时，CFB锅炉采用了高温气固分离器和返料系统，实现了物料的循环燃烧，进一步提高了燃烧效率。CFB锅炉的结构设计主要包括燃烧室、循环回炉、烟风系统等部分。燃烧室是CFB锅炉的核心部分，包括密相区和稀相区，燃料在此处进行燃烧。循环回炉则包括高温气固分离器和返料系统，用于捕捉燃烧产生的飞灰并将其送回炉膛进行再燃烧^[1]。烟风系统则负责将燃烧产生的烟气排出并回收热量。CFB锅炉的优点显著。首先，其燃料适应性强，可以燃烧各种劣质燃料，如煤矸石、油页岩、煤泥等，从而降低了燃料成本。其次，CFB锅炉的燃烧温度相对较低，有利于减少氮氧化物等污染物的排放，具有良好的环保性能。此外，CFB锅炉的负荷调节范围大，调节性能好，能够适应各种工况需求。

2 循环流化床锅炉调整过程中存在的问题

2.1 燃烧不稳定

燃烧不稳定在CFB锅炉中通常表现为炉温波动大、燃烧效率下降以及废气排放异常等现象。炉温波动大会导致锅炉受热面热负荷不均，加速设备的磨损；燃烧效率下降则会增加燃料消耗，提高运行成本；废气排放异常则可能对环境造成污染。CFB锅炉的燃烧过程中，风量的大小和分配对燃烧稳定性有重要影响。风量过大或过小，或者一、二次风的比例不合适，都可能导致燃烧不稳定。例如，一次风量过大可能使床温降低，受热面磨损严重，循环倍率降低。而二次风量过大则可能使炉膛温度降低，蒸汽温度升高，锅炉排烟热损失增加，过量空气系数增大，导致NO_x生成增加。CFB锅炉通常使用多种燃料，如煤矸石、油页岩、煤泥等。当燃料质量发生变化时，如灰分、挥发分含量等，会对燃烧稳定性产生影响。特别是当燃料中灰分含量较高时，容易导致床料结块，影响燃烧稳定性。床层高度和床温是CFB锅炉运行中的重要参数。床层高度过高或过低，以及床温过高或过低，都可能影响燃烧稳定性。床层高度过高可能导致床料堆积，影响流化效果；床温过高则可能导致结焦和积灰，降低燃烧效率。CFB锅炉中的设备故障或操作不当也可能导致燃烧不稳定。例如，旋风分离器故障、回料阀堵塞等问题都可能影响物料循环和燃烧稳定性。

2.2 物料循环不畅

物料循环不畅在CFB锅炉中主要表现为返料器堵塞、旋风分离器分离效率下降、立管料位异常等现象。这些现象会导致循环物料无法顺畅流动，从而影响锅炉的正常运行。返料器内进入异物，如浇注料脱落或大块杂质，阻塞了返料的流动通道。返料器出口阻力过大，如炉膛床压太高、冷渣机故障等，导致返料风压调整不及时，无法克服系统静压和炉膛的阻力。一些技术不成熟

的锅炉设计,如返料器床面至返料腿高度过高或隔板过高,影响了循环物料的顺利流动。在快速降负荷时,床压的波动可能打破物料循环的自平衡状态,导致立管料位超高或偏低。燃烧偏离设计煤种的高灰分劣质煤时,也可能影响物料循环的自平衡。旋风分离器故障,如密封不严、结构变形等,导致分离效率下降,影响物料循环。回料阀堵塞或故障,导致物料无法正常返回炉膛。操作人员在调整过程中未及时调整风量、风压等参数,也可能导致物料循环不畅。

2.3 排放控制不达标

排放控制不达标主要表现为锅炉排放的氮氧化物(NO_x)、二氧化硫(SO_2)和烟尘等污染物浓度超过国家相关法规规定的排放标准。这些污染物超标排放会对环境造成污染,影响空气质量,甚至危害人体健康。CFB锅炉的 NO_x 生成量与床温密切相关,床温过高会增加 NO_x 的生成。一次风和二次风的分配比例影响燃烧效率和 NO_x 生成。一次风量过大可能使床温降低,而二次风量过大则可能使炉膛温度降低,蒸汽温度升高,锅炉排烟热损失增加,过量空气系数增大,导致 NO_x 生成增加。石灰石作为脱硫剂,其添加量直接影响 SO_2 的排放浓度,过量添加可能导致脱硫效率降低。SNCR(选择性非催化还原法)技术应用不当。SNCR技术是实现CFB锅炉低 NO_x 排放的关键技术,但还原剂的选择、喷入点选择和反应温度区间等因素都会影响其脱硝效率^[2]。SCR(选择性催化还原法)技术应用受限。SCR技术作为一种成熟的烟气脱硝技术,在CFB锅炉中应用较少,主要受到催化剂选型、飞灰含量等因素的影响。脱硝系统设备故障,如喷枪堵塞、还原剂供应不足等,会导致脱硝效率下降。操作人员未及时调整脱硝系统参数,如喷入点位置、还原剂浓度等,也会影响脱硝效率。

3 循环流化床锅炉的调整过程的解决方法

3.1 优化燃烧调整

燃烧调整优化对CFB锅炉至关重要,它直接关联到锅炉的燃烧效率、污染物排放、能耗以及运行安全。通过精细化的燃烧调整,可以实现更高的燃烧效率,降低污染物排放,同时提高锅炉的稳定性和安全性。一次风主要用于流化床料,应确保床料流化良好,床温稳定。在负荷一定时,一次风量的大小与床温呈反比关系。二次风主要用于补充燃烧所需的氧气,其调整应根据燃煤挥发分的高低随负荷进行。在保证燃烧效率的同时,应控制最佳运行氧量,一般为2-4%左右。通过精细调整一、二次风的比例和总风量,可以实现最佳的燃烧效果。床温是影响CFB锅炉燃烧效率的重要因素。床温过高会导

致 NO_x 生成量增加,床温过低则会影响燃烧效率。应将床温控制在850-900℃之间,以实现最佳的燃烧效率和较低的污染物排放。床温的控制主要通过调节一、二次风的比例、炉膛床压等手段进行。燃料粒度对CFB锅炉的燃烧效率有重要影响。过粗的燃料粒度会导致燃烧不完全,增加不完全燃烧损失;过细的燃料粒度则会导致燃烧速度过快,增加 NO_x 的生成。应根据燃煤特性和锅炉设计,控制入炉煤粒度在合适的范围内。一般来说,粒径小于1mm的颗粒不超过30%,颗粒度尽可能控制在8mm以内,最大粒径不超过13mm。石灰石作为CFB锅炉常用的脱硫剂,其添加量直接影响 SO_2 的排放浓度。应根据燃煤的硫分含量和锅炉的脱硫效率要求,合理确定石灰石的添加量。

3.2 加强物料循环管理

在循环流化床锅炉(CFB)的运行中,物料循环管理是一个至关重要的环节,它直接影响到锅炉的燃烧效率、运行稳定性和经济性。我们需要深入理解CFB的物料循环系统,该系统包括燃料供应、床料流化、分离回收等多个环节。物料在炉膛内经过燃烧、流化、分离等过程,形成循环回路,实现能量的有效转换和利用。床料粒径的大小直接影响物料循环的稳定性和燃烧效率。床料粒径过大会导致流化不良,增加床层阻力,降低燃烧效率;而床料粒径过小则可能导致飞灰损失增加,影响物料循环效率。因此,需要根据锅炉设计参数和燃料特性,合理控制床料粒径,确保物料循环的稳定性和燃烧效率。分离器是物料循环系统的关键设备之一,其性能直接影响物料回收效率和飞灰含碳量。为提高分离器性能,可以定期检查分离器内部构件的磨损情况,及时更换损坏部件。优化分离器入口风速和角度,提高分离效率。改进分离器内部结构,减少飞灰损失。另外,回料系统是物料循环的重要组成部分,其稳定性直接影响锅炉运行的安全性。为确保回料系统的稳定运行,可以采取加强回料阀的维护和检查,防止堵塞和泄漏。优化回料风量,确保物料顺利返回炉膛。定期对回料系统进行清理和检查,防止积灰和结块。在运行过程中,需要根据锅炉负荷、燃料特性等实际情况,对物料循环系统进行动态调整。例如,当锅炉负荷增加时,可以适当增加床料量和风量,以提高燃烧效率和物料循环稳定性;当燃料特性发生变化时,需要及时调整燃烧参数和物料循环参数,以确保锅炉的稳定运行。

3.3 改进排放控制策略

在循环流化床锅炉(CFB锅炉)的调整过程中,改进排放控制策略是确保锅炉满足环保标准、降低污染物排

放的关键环节。CFB锅炉的 NO_x 生成量与床温密切相关。在确保燃烧效率的前提下，应将床温控制在 $850-900^\circ\text{C}$ 的范围内，以降低 NO_x 的生成。通过降低布风板一次风量，同时提高密相区上二次风口的高度和加大分级力度，实现燃烧过程中的低氧燃烧，从而抑制 NO_x 的生成。SNCR技术是在CFB锅炉中成熟应用的一种烟气脱硝技术，它通过将还原剂（如尿素或氨水）均匀喷入锅炉温度范围为 $850-1250^\circ\text{C}$ 的区域，选择性地将烟气中的 NO_x 还原为 N_2 和 H_2O 。选择合适的还原剂类型和喷入点，确保还原剂与烟气充分混合。根据锅炉负荷和烟气温度的变化，动态调整还原剂的喷入量，以达到最佳的脱硝效果。SCR技术是一种高效的烟气脱硝技术，它通过催化剂的作用，将烟气中的 NO_x 转化为 N_2 和 H_2O 。由于CFB锅炉飞灰含量高，SCR技术的应用受到催化剂选型等因素的限制。但随着催化剂制造工艺的提升，SCR技术在CFB锅炉中的应用也逐渐增多。石灰石作为CFB锅炉的脱硫剂，其添加量的控制对 SO_2 的排放有重要影响。应避免石灰石的过量添加，以减少 SO_2 的排放。建立完善的监测与反馈机制，对CFB锅炉的排放进行实时监测，并根据监测结果及时调整燃烧和脱硝参数，确保排放达标。

3.4 加强运行监控与维护

循环流化床锅炉的调整过程是一个复杂且精细的工作，它涉及到锅炉的稳定运行、效率提升以及安全保障。在调整过程中，加强运行监控与维护是至关重要的环节。实时监控锅炉参数：通过先进的监控系统和传感器技术，实时监控循环流化床锅炉的关键参数，如汽包水位、蒸汽压力、蒸汽温度、床温等。确保这些参数在合理范围内波动，防止因参数异常导致的锅炉故障。定期分析运行数据：定期对锅炉的运行数据进行收集、整理和分析，找出运行中的异常情况和潜在问题。通过分析数据，可以优化锅炉的运行策略，提高锅炉的运行效率和安全性。及时调整运行参数：根据运行数据和实际情况，及时调整锅炉的运行参数，如给煤量、风量、料层厚度等^[1]。通过精细调整，使锅炉运行在最佳状态，

提高燃烧效率和热效率。制定维护计划：根据锅炉的使用情况和运行时间，制定详细的维护计划，包括定期检查、清洗、维修等内容。确保锅炉的各项设备和部件处于良好的工作状态。定期清洗设备：定期对锅炉的换热设备、冷却器等进行清洗，清除内部的积碳、沉积物等杂质。保持设备的清洁和通畅，提高设备的传热效率和运行效率。检查并修复设备故障：定期对锅炉的设备和部件进行检查，发现故障及时修复。特别是对于影响锅炉安全运行的部件，如止回阀、插板阀等，要特别关注其运行状态，确保其安全可靠。培训和提升操作人员技能：加强操作人员的培训和技能提升工作，使其熟悉循环流化床锅炉的工作原理、操作方法和维护要求。提高操作人员的专业素质和技能水平，减少因操作不当导致的设备故障和安全事故。加强循环流化床锅炉的运行监控与维护是确保锅炉稳定运行、提高效率和安全性的重要措施。通过精细的监控和科学的维护管理，可以及时发现和解决问题，延长锅炉的使用寿命，降低运行成本。

结语

总之，通过对循环流化床锅炉调整过程的探讨，我们不难发现，精细化的调整与优化是确保锅炉高效、稳定运行的关键。通过优化燃烧调整、加强物料循环管理、改进排放控制策略以及加强运行监控与维护，CFB锅炉能够显著提升运行效率，降低能耗和污染物排放，为企业的可持续发展和环境保护作出积极贡献。未来，随着技术的不断进步和创新，CFB锅炉的调整过程将更加精准和高效，为工业领域提供更加可靠的能源支持。

参考文献

- [1]崔立国.浅谈循环流化床锅炉的燃烧特性及安全运行调整[J].中国新技术新产品, 2019(05): 3-4.
- [2]张翔宇.影响循环流化床锅炉安全稳定运行的因素及治理措施[J].科研, 2020(11): 41-42.
- [3]姜凯耀.循环流化床锅炉稳定运行研究[J].中国新技术新产品, 2020(17): 149-149.