

电站CFB锅炉中多种燃料的耦合燃烧特性研究

赵与之

中石化(天津)石油化工有限公司 天津 300270

摘要: 本文研究了电站CFB(循环流化床)锅炉中多种燃料的耦合燃烧特性,CFB锅炉以其独特的结构和运行原理,能够高效利用包括煤、生物质和工业废弃物在内的多种燃料。文章分析了不同燃料的特性及其对燃烧过程的影响,探讨了挥发分燃烧、焦炭燃烧以及燃烧温度分布与传热特性的变化规律。在此基础上,提出了燃料配比优化、运行参数调整以及锅炉结构改进的策略,以提高多种燃料在CFB锅炉中的耦合燃烧效率,为电站CFB锅炉的燃料多样化和高效运行提供了理论依据和技术支持。

关键词: CFB锅炉; 多种燃料; 耦合燃烧特性

引言: 随着能源需求的不断增长和环境保护要求的日益严格,电站CFB锅炉作为高效、环保的燃烧设备,在电力行业中得到了广泛应用。CFB锅炉以其对燃料的广泛适应性、燃烧稳定性和污染物控制能力,成为实现燃料多样化和节能减排的重要技术途径。然而,多种燃料在CFB锅炉中的耦合燃烧特性复杂多变,对燃烧效率和污染物排放具有显著影响。因此,深入研究多种燃料在CFB锅炉中的耦合燃烧特性,对于优化锅炉运行、提高能源利用效率具有重要意义。

1 电站 CFB 锅炉与多种燃料概述

1.1 CFB锅炉的结构与工作原理

循环流化床(CFB)锅炉主要由炉膛、分离器、返料器、风室等核心部件构成。炉膛作为燃烧的主要场所,其内部布置有膜式水冷壁,用于吸收燃烧产生的热量,维持炉膛内的温度稳定。分离器的作用是将炉膛出口携带大量固体颗粒的烟气进行气固分离,分离出的固体颗粒通过返料器重新送回炉膛,实现物料的循环利用,而经过净化的烟气则进入后续的尾部烟道处理系统。风室位于炉膛底部,通过布风板将一次风均匀送入炉膛,为燃料燃烧提供氧气,并使床料处于流化状态。

CFB锅炉的工作原理基于流态化技术,运行时燃料与脱硫剂(如石灰石)、床料(通常为石英砂)一起进入炉膛,一次风从风室经布风板送入,使床料和燃料颗粒呈流化状态,形成密相区和稀相区。在流化过程中,燃料与氧气充分接触发生燃烧反应,释放出热量。由于物料的循环,燃料在炉膛内停留时间长,燃烧充分。同时,在燃烧过程中加入的石灰石可与燃烧产生的二氧化硫发生反应,实现炉内脱硫。二次风从炉膛中上部送入,补充燃烧所需氧气,加强炉内混合,进一步提高燃烧效率。

1.2 多种燃料的种类与特性

电站CFB锅炉可适用的燃料种类丰富多样,常见的包括传统化石燃料、生物质燃料以及工业废弃物等。其中,石油焦作为一种特殊的化石燃料,在电站CFB锅炉中也有应用。设计燃料为100%石油焦,校核燃料为50%石油焦+50%烟煤(重量比)。石油焦颗粒尺寸小于0.098mm筛份最多占6%。

不同燃料具有独特的特性。传统化石燃料中,煤是最主要的燃料,不同煤种的特性差异显著。无烟煤具有挥发分低、固定碳含量高、着火困难的特点;烟煤挥发分较高,着火容易,燃烧过程中会产生较多的烟气和飞灰;褐煤水分含量高、发热量低,但具有价格低廉的优势。生物质燃料近年来在CFB锅炉中应用逐渐增多,如秸秆、稻壳、木屑等。生物质燃料具有可再生、硫含量低、挥发分高的特点,燃烧过程中产生的二氧化硫较少。但生物质燃料水分含量较高,热值相对较低,且不同种类生物质燃料的元素组成、灰分特性差异较大^[1]。例如,稻壳灰分中硅含量较高,易在受热面上结渣;而木屑的灰分含量较低,对锅炉结渣影响较小。

工业废弃物如煤矸石、油页岩、污泥等也可作为CFB锅炉的燃料。煤矸石是煤炭开采和洗选过程中产生的固体废弃物,其发热量较低,但储量丰富;污泥含有一定的有机成分和水分,燃烧时需考虑重金属等污染物的排放控制。同时,对于CFB锅炉燃烧的燃料有严格要求:可溶于酸的碱性物方面,锅炉燃烧的燃料中可溶于乙酸的钠和钾含量之和需小于0.05%(500ppm)(干燥基),以防止炉内结块;钒和镍的总含量应不超过2000ppm,含量高将增加停车清理和检修频率;燃料中的氯含量必须小于0.1%,以避免腐蚀和结块;入炉燃料表面水含量应不大于10%,以避免堵塞。这些不同特性的燃料为CFB锅炉实

现多种燃料耦合燃烧提供了物质基础,但也对燃烧过程的控制和优化提出了更高要求。

2 多种燃料耦合燃烧的基础理论

2.1 燃料燃烧的基本过程

燃料在CFB锅炉中的燃烧涉及加热干燥、挥发分析出、挥发分燃烧和焦炭燃烧四阶段。初入炉膛,燃料被高温床料和烟气加热,水分蒸发。随着温度升高,有机物质热解,挥发分析出,受燃料种类、颗粒尺寸和加热速率影响。挥发分与氧气混合燃烧,释放大热量,为焦炭燃烧预热。焦炭在高温氧气作用下缓慢燃烧至燃尽,速率取决于焦炭孔隙结构、反应活性及氧气扩散。

2.2 多种燃料耦合燃烧的协同与竞争效应

多种燃料耦合燃烧时,存在协同与竞争。高挥发分燃料释放热量,促进低挥发分燃料加热和挥发分析出,表现协同。挥发分混合改变燃烧特性,影响速度和火焰传播。焦炭反应活性不同,活性高者优先耗氧,抑制低活性焦炭燃烧,产生竞争。燃料灰分间化学反应影响灰熔点和结渣特性,如生物质灰中碱金属与煤中硫反应,生成低熔点物,增加结渣风险^[2]。

3 CFB 锅炉在电站中的应用优势

3.1 适应多种燃料

CFB锅炉独特的燃烧方式使其对燃料具有极强的适应性。由于物料的循环和强烈的混合,燃料在炉膛内的停留时间长,即使是热值低、着火困难的燃料,如煤矸石、油页岩等,也能在炉内稳定燃烧。对于高水分、低热值的生物质燃料和工业废弃物,CFB锅炉同样能够有效利用。以石油焦为例,无论是100%石油焦作为设计燃料,还是50%石油焦与50%烟煤混合作为校核燃料,CFB锅炉都能通过其特殊的燃烧机制,满足对不同燃料的处理需求。这种对多种燃料的广泛适应性,不仅拓宽了电站的燃料来源,降低燃料成本,还为工业废弃物的无害化处理和资源化利用提供有效途径。

3.2 燃烧稳定且易于控制

CFB锅炉的燃烧过程具有良好的稳定性。由于大量高温物料的存在,炉膛内温度分布均匀,即使燃料性质发生一定波动,也能维持稳定的燃烧状态。通过调节一次风、二次风的风量和配比,以及控制燃料给料速率、床温等参数,可以方便地调节锅炉的负荷和燃烧工况。在低负荷运行时,CFB锅炉依然能够保持较高的燃烧效率和稳定的燃烧状态,其负荷调节范围可达30%-100%,远优于常规煤粉锅炉。这种燃烧稳定性和易控性使得CFB锅炉能够更好地适应电网负荷的变化需求。

3.3 高效脱硫与低氮氧化物排放

CFB锅炉在污染物控制方面具有显著优势。在脱硫方面,通过向炉内添加石灰石等脱硫剂,在850-950℃的最佳反应温度区间内,石灰石分解产生的氧化钙与燃烧过程中产生的二氧化硫发生反应,生成硫酸钙,实现高效炉内脱硫。其脱硫效率可达90%以上,且脱硫成本相对较低,无需复杂的脱硫设备。在氮氧化物排放控制方面,CFB锅炉采用低温燃烧和分级送风技术。由于燃烧温度较低(一般在850-950℃),热力型氮氧化物生成量少;通过合理布置二次风喷口,实现分级燃烧,降低了燃料型氮氧化物的生成。与常规煤粉锅炉相比,CFB锅炉的氮氧化物排放浓度可降低30%-50%,大大减轻了后续烟气脱硝的压力。

4 多种燃料在 CFB 锅炉中的耦合燃烧过程研究

4.1 挥发分燃烧特性

不同燃料挥发分在CFB锅炉中的燃烧特性存在显著差异。生物质燃料挥发分含量高,挥发分析出温度低,在进入炉膛后迅速析出并燃烧,释放大热量,对整个燃烧过程的热量供应起到重要作用。煤的挥发分燃烧则受煤种影响较大,烟煤挥发分燃烧速度快,而无烟煤挥发分含量低且着火温度高,燃烧相对缓慢。当多种燃料耦合燃烧时,不同燃料挥发分之间相互影响。同时,煤挥发分燃烧产生的烟气又会稀释生物质挥发分燃烧产生的气体成分,影响燃烧速度和火焰传播。对于石油焦与烟煤的混合燃料,石油焦挥发分相对较低,在与烟煤耦合燃烧时,烟煤挥发分的快速燃烧可带动石油焦挥发分的析出与燃烧^[3]。另外,挥发分燃烧产生的火焰形状和温度分布会影响炉膛内的温度场和流场,进而影响后续焦炭的燃烧和整个燃烧过程的稳定性。

4.2 焦炭燃烧特性

多种燃料耦合燃烧时,焦炭燃烧特性的变化对燃烧效率和燃尽率至关重要。不同燃料焦炭的孔隙结构、反应活性和燃尽时间不同。生物质焦炭结构疏松,比表面积大,反应活性高,但燃尽时间相对较短;煤焦炭尤其是无烟煤焦炭结构致密,反应活性低,燃尽困难。在耦合燃烧过程中,生物质焦炭的快速燃烧会消耗大量氧气,导致局部区域氧气浓度降低,对煤焦炭的燃烧产生抑制作用。不同燃料焦炭之间可能发生物理和化学作用,如生物质焦炭中的碱金属会迁移到煤焦炭表面,改变煤焦炭的反应活性。对于石油焦与烟煤混合燃烧产生的焦炭,由于石油焦焦炭结构特殊,与烟煤焦炭在燃烧过程中相互作用,影响整体燃尽率。通过实验研究发现,合理调整燃料配比,可改善焦炭的燃烧特性,提高整体燃尽率。

4.3 燃烧温度分布与传热特性

多种燃料耦合燃烧会显著影响CFB锅炉炉膛内的温度分布和传热特性。由于不同燃料的发热量、燃烧速度和挥发分含量不同,燃烧过程中释放的热量 and 速度存在差异,导致炉膛内温度场不均匀。例如,高发热量燃料燃烧区域温度较高,而低发热量燃料燃烧区域温度相对较低。温度分布的不均匀会影响传热效果,高温区域传热速率快,低温区域传热速率慢。同时,不同燃料燃烧产生的烟气成分和流量不同,也会影响炉膛内的对流传热和辐射传热。例如,生物质燃烧产生的水蒸气含量较高,会增强烟气的辐射传热能力;而煤燃烧产生的飞灰颗粒会影响烟气的流动和传热特性。对于石油焦与烟煤混合燃烧,石油焦燃烧热量释放集中,会改变炉膛局部温度分布,进而影响传热效率。

5 电站 CFB 锅炉中多种燃料耦合燃烧的优化策略

5.1 燃料配比优化

在确定燃料配比时,需综合考虑燃料的发热量、挥发分含量、灰分特性、硫含量等因素,同时也要严格遵循燃料的各项指标要求。对于石油焦与烟煤的混合燃料,需在满足可溶于酸的碱性物、钒镍含量、氯含量以及水分含量等要求的前提下,进行配比优化。对于高挥发分的生物质燃料和低挥发分的煤,可通过调整两者的比例,使混合燃料的挥发分析出和燃烧特性达到最佳匹配。例如,研究发现,在无烟煤中掺混20%-30%的生物质燃料,可显著改善无烟煤的着火和燃烧性能,提高燃烧效率^[4]。考虑到不同燃料灰分之间的相互作用,应避免因燃料配比不当导致锅炉结渣、腐蚀等问题。

5.2 运行参数优化

流化风速是影响物料流化状态和燃烧过程的关键参数之一,适当提高流化风速可增强物料的混合和传质传热,有利于燃料的燃烧,但过高的流化风速会增加风机电耗,且可能导致固体颗粒的扬析加剧,降低燃烧效率。因此,应根据燃料特性和锅炉负荷,合理调整流化风速。过量空气系数直接影响燃烧过程的氧气供应和污染物排放。保持合适的过量空气系数,既能保证燃料充分燃烧,又能减少氮氧化物等污染物的生成。一般来

说,CFB锅炉的过量空气系数控制在1.1-1.2之间较为合适。床温、燃料给料速率等参数也需根据燃料种类和燃烧工况进行优化调整,以实现多种燃料的高效耦合燃烧。针对石油焦与烟煤混合燃烧,由于两种燃料燃烧特性不同,需精细调整运行参数,确保燃烧稳定高效。

5.3 锅炉结构改进建议深化探讨

针对多种燃料耦合燃烧需求,CFB锅炉结构改进至关重要。优化炉膛结构,适当增高并调整截面积比例,能优化温度分布,促进物料流动,避免局部高温和结渣,尤其利于难燃燃料充分燃烧。同时,分离器性能优化可减少固体颗粒逃逸,增强物料循环,提升燃烧效率。布风板结构与开孔率的精细设计是维持良好流化状态的关键,确保一次风均匀分布。鉴于多种燃料燃烧可能加剧受热面磨损,必须加强防磨措施。采用高性能耐磨材料,结合科学防磨设计,可双重保障锅炉使用寿命,确保其安全稳定运行。这些结构改进与防磨措施的实施,将为CFB锅炉适应多种燃料耦合燃烧提供坚实基础,有效提升锅炉性能和运行可靠性。

结束语

综上所述,电站CFB锅炉中多种燃料的耦合燃烧特性研究是实现燃料高效利用和减少污染物排放的关键。通过优化燃料配比、调整运行参数和改进锅炉结构,可以显著提升CFB锅炉的燃烧效率和环保性能。未来,随着新能源技术的不断发展和环境保护政策的持续加强,对CFB锅炉中多种燃料耦合燃烧特性的研究将更加深入,为实现能源可持续发展和绿色低碳经济提供有力支撑。

参考文献

- [1]王萍,刁旺战,徐祥久.焊接参数对电站锅炉小口径管焊接接头性能的影响[J].锅炉制造,2022(02):55-57+64.
- [2]严晖,刘姝含.电站锅炉燃烧器配风控制逻辑策略分析[J].中国设备工程,2022(04):118-119.
- [3]张迪.电厂热能动力锅炉燃料和燃烧研究[J].中国金属通报,2020(10):205-206.
- [4]何文锋,白锋,雷宇,等.某油页岩电站CFB锅炉流渣原因分析及应对措施[J].电力勘测设计,2023(9):40-44.