

锅炉油页岩掺烧过程中的燃烧稳定性研究

王壮

北票发电有限责任公司

DOI:10.12238/etd.v5i6.10940

[摘要] 本研究针对锅炉中油页岩掺烧过程的燃烧稳定性进行了系统探讨。通过分析油页岩及其混合燃料的燃烧特性,研究了不同掺烧比例、配风方式和掺烧结焦对燃烧稳定性的影响。实验结果表明,油页岩的掺烧能有效改善燃烧特性,但燃烧稳定性受多种因素影响,需通过优化操作参数来确保稳定燃烧。

[关键词] 油页岩; 掺烧; 燃烧稳定性; 配风方式; 掺烧结焦

中图分类号: TK421+.2 **文献标识码:** A

Study on combustion stability during boiler oil shale blending

Zhuang Wang

Beipiao Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] In this study, the combustion stability of oil shale in boiler was systematically discussed. By analyzing the combustion characteristics of oil shale and its mixed fuels, the effects of different blending ratios, air distribution modes and burner swing angles on the combustion stability were studied. The experimental results show that the co-burning of oil shale can effectively improve the combustion characteristics, but the combustion stability is affected by many factors, and the operating parameters need to be optimized to ensure stable combustion.

[Key words] oil shale; adulteration; combustion stability; air distribution mode; Doping sintering coke

油页岩作为一种重要的补充能源,其燃烧特性对锅炉的稳定运行具有重要影响。随着能源需求的增加和环保要求的提高,对油页岩及其混合燃料的燃烧稳定性研究显得尤为重要。本研究旨在通过理论和实验分析,探讨油页岩掺烧过程中的燃烧稳定性,为锅炉的优化运行提供理论依据。

1 油页岩及混合燃料的燃烧特性

1.1 着火特性

油页岩的着火方式多样,主要包括均相着火和非均相着火两种基本类型。均相着火是指油页岩颗粒周围的挥发分气体在达到一定的温度和浓度条件下,首先发生着火燃烧,随后火焰传播至颗粒表面,引发固体碳的燃烧。这种着火方式通常发生在加热速率较低、挥发分含量较高的油页岩中。然而,随着加热速率的升高,油页岩的着火方式会发生变化。当加热速率足够高时,油页岩颗粒表面的挥发分迅速析出并燃烧,形成一层火焰包裹在颗粒周围。此时,挥发分火焰的高温足以直接引燃颗粒内部的碳核,从而实现由挥发分火焰直接引燃碳核的联合着火方式。这种着火方式不仅提高了燃烧效率,还使得油页岩的燃烧过程更加稳定和可控^[1]。值得注意的是,油页岩的着火特性还受到其物理化学性质、粒径大小以及燃烧环境等多种因素的影响。

1.2 燃烧动力学特性

油页岩的燃烧过程是一个复杂而有序的化学反应过程,其燃烧动力学特性对锅炉的稳定运行和燃烧效率具有重要影响。整个燃烧过程大致可以分为预热干燥、挥发分析出与燃烧、固定碳燃烧及矿物质分解的燃尽阶段。预热干燥阶段,油页岩颗粒被加热至水分蒸发温度,此时主要发生水分的脱除过程。随着温度的升高,进入挥发分析出与燃烧阶段,油页岩中的挥发分开始大量析出并燃烧,释放出大量的热量。这一阶段是油页岩燃烧过程中的关键阶段,对燃烧的稳定性和燃烧效率起着决定性作用。随后,进入固定碳燃烧阶段,此时剩余的固定碳开始燃烧,释放出剩余的热量。与此同时,矿物质也开始分解,产生灰渣等副产品。在燃尽阶段,剩余的未燃尽碳和矿物质继续燃烧和分解,直至完全燃尽^[2]。油页岩的燃烧动力学参数受多种因素影响,其中升温速率和粒径是两个重要的影响因素。升温速率越快,油页岩颗粒达到着火温度所需的时间越短,燃烧速率也越快。而粒径的大小则直接影响油页岩颗粒的表面积和内部传热速率,进而影响燃烧过程的进行。

1.3 污染物排放特性

油页岩作为一种化石燃料,在燃烧过程中不可避免地会产生一定的污染物排放,其中SO₂和NO_x是主要的污染物成分。SO₂主要来源于油页岩中硫元素的燃烧,而NO_x则主要由燃烧过程中

的高温反应和氮元素的氧化产生。油页岩燃烧产生的SO₂和NO_x对环境和人体健康都具有一定的危害。SO₂在大气中会形成酸雨,对生态环境造成破坏;而NO_x则是光化学烟雾和臭氧层破坏的主要元凶之一。因此,降低油页岩燃烧过程中的污染物排放对于保护环境和人类健康具有重要意义。为了降低油页岩燃烧过程中的污染物排放,可以通过合理的掺烧比例和燃烧参数调整来实现。一方面,可以通过掺烧低硫、低氮的燃料来降低SO₂和NO_x的生成量;另一方面,可以通过优化燃烧参数,如调整燃烧温度、氧气浓度等,来减少污染物的生成和排放^[3]。此外,还可以采用烟气脱硫、脱硝等后处理技术来进一步降低污染物的排放。

2 掺烧比例对燃烧稳定性的影响

2.1 燃烧稳定性变化

在锅炉燃烧过程中,油页岩的掺烧比例对燃烧稳定性具有显著影响。随着油页岩掺烧比例的增加,燃烧的稳定性呈现出逐渐降低的趋势。这一变化主要归因于油页岩的物理化学特性,特别是其高灰分含量和低发热量的特点。当大量低温的油页岩燃料被掺入炉膛时,它们会吸收大量的热量用于预热和干燥,从而降低了给料点附近的温度。这种温度降低会导致燃烧反应速率减缓,火焰稳定性下降,甚至可能出现熄火的风险。此外,油页岩中的灰分在燃烧过程中会形成大量的固体颗粒,这些颗粒在炉膛内的运动和沉积也会影响燃烧的稳定性。为了维持燃烧的稳定性,需要采取一系列措施来应对油页岩掺烧比例增加带来的挑战。例如,可以通过调整燃烧器的布置和配风方式,增强炉膛内的湍流混合,提高燃烧反应速率;同时,还可以优化燃料配比,降低油页岩的掺烧比例,或者采用其他辅助燃料来提高燃烧的稳定性^[4]。

2.2 燃尽特性

油页岩的掺烧比例对燃料的燃尽特性有着显著的影响。油页岩本身具有较强的爆裂和成灰特性,这意味着在燃烧过程中,油页岩颗粒容易破碎并形成大量的飞灰。当油页岩的掺烧比例增加时,这种爆裂和成灰现象会变得更加明显,导致飞灰份额显著升高。飞灰份额的增加不仅会降低锅炉的燃烧效率,还会增加烟气处理系统的负担,对锅炉的整体运行性能产生不利影响。飞灰中含有大量的未燃尽碳,这意味着燃料中的能量没有得到充分利用,造成了能源的浪费。同时,飞灰的排放还会对环境造成污染,需要采取相应的环保措施进行处理。为了改善油页岩掺烧过程中的燃尽特性,可以采取一系列措施。例如,通过优化燃烧器的设计和调整配风方式,可以增强炉膛内的湍流混合,提高燃烧反应速率和燃尽率。

2.3 污染物排放

在锅炉燃烧过程中,油页岩的掺烧比例对污染物的排放特性具有重要影响。特别是SO₂等大气污染物的排放,会随着油页岩掺烧比例的增加而发生显著变化。油页岩中含有一定量的硫元素,燃烧时会生成SO₂。当油页岩的掺烧比例较低时,由于其他燃料的稀释作用,SO₂的排放浓度相对较低。然而,随着掺烧比例的增加,油页岩中的硫元素燃烧生成的SO₂量逐渐增加,导致排

放浓度上升。如果掺烧比例过高,甚至可能超出环保法规的限制,对环境造成不利影响。但值得注意的是,合理控制油页岩的掺烧比例可以在一定程度上降低污染物的排放。通过优化燃料配比和燃烧参数,可以实现污染物的减排目标。例如,可以掺烧一些低硫燃料来降低SO₂的生成量,或者采用烟气脱硫技术来进一步减少SO₂的排放。这些措施的实施需要根据实际情况进行灵活调整和优化,以确保在满足燃烧稳定性的同时,达到环保要求^[5]。

3 配风方式对燃烧稳定性的影响

3.1 燃烧效率

在锅炉燃烧过程中,配风方式的选择对燃烧效率具有至关重要的影响。合理的配风方式不仅能够确保燃料的充分燃烧,还能显著提高燃烧效率,减少能源浪费。为了优化燃烧效率,可以采用多种配风方式,其中菱形配风是一种常用的有效方法。菱形配风通过调整二次风的喷射角度和速度,使炉内风粉扰动混合更加充分。这种配风方式能够增强煤粉颗粒与氧气的接触机会,促进燃烧反应的进行,从而提高煤粉的燃尽率^[6]。在实际应用中,菱形配风还可以与其他燃烧优化技术相结合,如调整煤粉细度、优化燃烧器布局等,以实现更高效的燃烧。通过综合应用这些技术,可以进一步降低炉膛出口烟温偏差,提高锅炉的热效率,减少能源损失。此外,合理的配风方式还能有效减少燃烧过程中的污染物排放。通过优化风粉混合,可以减少未燃尽碳和有害气体的生成,降低对环境的污染。

3.2 火焰稳定性

与此同时,配风方式的选择对火焰稳定性起着至关重要的作用。一次风速和二次风量的合理调整,直接关系到火焰的稳定燃烧和锅炉的运行效率。一次风速过高会导致煤粉颗粒在炉膛内的停留时间缩短,着火点推迟,火焰温度降低,从而引发燃烧不稳定。这种情况下,火焰可能会出现闪烁、抖动甚至熄火的现象,严重影响锅炉的安全运行。相反,如果一次风速过低,煤粉颗粒的输送能力会减弱,可能导致煤粉在管道中沉积,引起堵管等问题,同样不利于火焰的稳定燃烧。为了确保火焰的稳定燃烧,需要合理调整一次风速和二次风量。通过降低一次风速,可以延长煤粉颗粒在炉膛内的停留时间,提高着火点的稳定性。同时,适当增加二次风量,可以增强炉膛内的湍流混合,提高火焰的均匀性和稳定性。这种调整方式不仅可以确保火焰的稳定燃烧,还可以提高锅炉的燃烧效率和热效率。

3.3 飞灰和炉渣含量

在锅炉燃烧过程中,配风方式不仅影响火焰稳定性和燃烧效率,还直接关系到飞灰和炉渣的含量及其含碳量。飞灰和炉渣是燃烧过程中产生的固体废弃物,其含碳量的高低直接反映了燃烧效率的好坏。合理的配风方式能够优化炉膛内的气流分布和燃烧条件,使得煤粉颗粒与氧气充分混合并燃烧,从而降低飞灰和炉渣的含碳量。通过调整一次风和二次风的配比、风速和风向,可以增强炉膛内的湍流混合,提高燃烧反应的速率和完全程度,使得煤粉颗粒在炉膛内得到充分燃烧^[7]。此外,优化配风方式还可以减少燃烧过程中的不完全燃烧现象,如煤粉颗粒的

逃逸和炉膛出口的烟温偏差等,这些都有助于降低飞灰和炉渣的含碳量。通过降低飞灰和炉渣的含碳量,不仅可以提高锅炉的燃烧效率,还可以减少固体废弃物的排放,对环境保护也具有重要意义。

4 掺烧结焦对燃烧稳定性的影响

4.1 影响燃烧效率与稳定性

掺烧结焦现象在燃料燃烧过程中是一个不容忽视的问题,它直接关系到燃烧效率与燃烧系统的稳定性^[8]。在掺烧过程中,若燃料配比未能精确控制,或是燃烧条件未能优化到最佳状态,那么燃料燃烧就可能变得不充分,进而引发结焦。这些结焦物质会牢固地附着在燃烧器或炉膛壁上,如同一层厚厚的障碍,阻挡了燃料与空气的充分接触和混合,从而导致燃烧效率大幅下降。进一步来说,结焦的形成不仅直接降低了燃烧效率,更对燃烧稳定性构成了严重威胁。结焦会改变炉膛内的热量分布,使得原本均匀分布的热量变得杂乱无章。这种热量分布的改变,会直接导致火焰中心的偏移,使得燃烧过程变得不稳定。火焰的摇曳、闪烁,甚至是熄灭,都可能随时发生,这无疑给燃烧系统的稳定运行带来了极大的挑战。此外,结焦现象还会加速燃烧设备的磨损和老化,缩短其使用寿命。因为结焦物质在燃烧过程中会不断与燃烧器或炉膛壁发生摩擦,这种持续的物理作用会加速设备的损耗,进而影响其整体性能。

4.2 破坏锅炉热平衡与安全性

掺烧结焦对锅炉热平衡与安全性的破坏不容忽视。结焦物质紧密地附着在锅炉受热面上,如同一层隔热层,严重影响了受热面的热传导性能。这导致结焦部分的水冷壁吸热量大幅度减小,循环流速随之下降,严重时甚至会出现循环停滞的现象。一旦循环停滞发生,水冷壁管内的水将不再流动,局部温度急剧升高,极易引发水冷壁管爆破事故,对锅炉的安全运行构成极大威胁。此外,结焦还会使炉膛出口烟温显著升高,增加了排烟热损失,进一步降低了锅炉的效率。高温的结焦物质不仅加剧了锅炉受热面的腐蚀问题,还容易引发积灰现象。腐蚀和积灰的共同作用,使得锅炉受热面的性能不断下降,使用寿命大幅缩短。这不仅增加了锅炉的维修成本,更对锅炉的长期稳定运行构成了严峻挑战。因此,掺烧结焦问题必须得到高度重视。在锅炉运行过程中,应密切关注受热面的结焦情况,采取有效的清焦措施,确保锅炉受热面的清洁和完好^[9]。

4.3 增加运行与维护成本

掺烧结焦现象不仅影响了锅炉的燃烧稳定性和热效率,还显著增加了锅炉的运行与维护成本。由于结焦导致锅炉受热面热传导性能下降,为了维持锅炉的额定输出功率,不得不增加燃料的消耗量,这无疑提高了锅炉的运行成本。此外,结焦物质对

锅炉受热面的磨损和腐蚀作用也是不可忽视的^[10]。在燃烧过程中,结焦物质会与受热面发生持续的物理和化学作用,导致受热面材料逐渐磨损和腐蚀。这种磨损和腐蚀不仅缩短了锅炉的使用寿命,还增加了锅炉的故障率,使得锅炉需要更频繁地进行维修和更换部件。为了清除结焦和维修受损部件,锅炉企业需要投入更多的人力、物力和财力。这不仅增加了企业的运营成本,还可能影响企业的正常生产进度。因此,掺烧结焦问题必须得到及时有效的解决,以减少对锅炉运行与维护成本的不利影响。

5 结论

本研究通过理论和实验分析,探讨了锅炉油页岩掺烧过程中的燃烧稳定性。结果表明,油页岩的掺烧能有效改善燃烧特性,但燃烧稳定性受多种因素影响。通过合理控制掺烧比例、优化配风方式和掺烧结焦等参数,可以确保锅炉的稳定燃烧,提高燃烧效率和环保性能。未来应继续深入研究油页岩的燃烧特性及其与其他燃料的混合燃烧机制,为锅炉的优化运行提供更为可靠的理论依据。

[参考文献]

- [1]尹国伟,蒲建业,王大浩,等.75t/h燃煤CFB锅炉掺烧低热值油页岩的试验研究[J].中国资源综合利用,2022,40(09):7-11+16.
- [2]李沙,李兵,刘法志,等.200MW机组四角切圆锅炉准东煤与油页岩掺烧试验研究[J].节能,2021,40(10):59-61.
- [3]黄海鹏.循环流化床锅炉非设计燃料掺烧优化[D].华南理工大学,2016.
- [4]王世川.循环流化床锅炉多燃料掺烧及安全运行[D].华南理工大学,2016.
- [5]王鹏辉,盖志杰,赵建刚,等.准东煤掺烧油页岩试验研究[J].中国煤炭,2016,42(08):82-86+99.
- [6]毛亮.大型机组掺烧油页岩试验分析[J].科技传播,2012,(01):91+70.
- [7]陆伟群.工业CFB锅炉掺烧高硫石油焦油页岩混合燃料的研究[D].华东理工大学,2012.
- [8]张映玮,郑文凯.CFB锅炉掺烧技术探讨[J].洁净煤技术,2010,16(03):67-70.
- [9]田红,杨晨,廖正祝.茂名油页岩燃烧特性及其大型CFB锅炉设计分析[J].重庆大学学报,2009,32(05):593-597+603.
- [10]孙佰仲.油页岩及半焦混合燃烧特性理论与试验研究[D].华北电力大学(北京),2009.

作者简介:

王壮(1987—),男,汉族,辽宁省北票市人,本科,助理工程师,锅炉运行。