

超超临界锅炉燃烧稳定性分析与调整优化策略

徐 平

国能锦界能源有限责任公司 陕西榆林 719319

摘要: 超超临界锅炉以其高效、环保的特点在现代电力和工业领域得到了广泛应用。然而,在实际运行过程中,由于负荷波动、燃料特性差异等因素,锅炉的燃烧稳定性常面临挑战。燃烧不稳定不仅影响锅炉的热效率,还可能导致污染物排放超标,甚至引发设备故障。为了解决这一问题,本文对超超临界锅炉燃烧稳定性进行分析,探讨了负荷波动、空气配比、燃料特性等对燃烧稳定性的影响。基于分析结果,提出了优化燃烧器设计、动态调节空燃比、采用智能化控制等调整优化策略。通过这些技术措施,能够有效提高锅炉的燃烧效率、降低污染排放,确保锅炉在复杂工况下的稳定运行。为超超临界锅炉的优化运行提供了理论依据和实践指导。

关键词: 超超临界锅炉; 燃烧稳定性; 优化策略

近年来,随着电力需求增速放缓和可再生能源的快速发展,电网的高峰与低谷负荷差异加大,给电网调度带来了巨大的挑战。在此背景下,火力发电厂成为电网调峰的主力军。火力发电厂不仅需要应对负荷波动带来的压力,还需保证其燃烧过程的稳定性和高效性,以支持电网的平稳运行。超超临界锅炉作为火力发电的核心设备,其负荷调节性能和燃烧稳定性对电网调峰的效果至关重要。本文将探讨超超临界锅炉在调峰过程中面临的燃烧稳定性问题及优化策略,以期为电网调度和锅炉系统的高效、环保运行提供理论支持和技术参考。

1. 超超临界锅炉燃烧稳定性的运行特点

作为一种先进、节能的能源转换设施,超超临界锅炉在运作上展现出了较高的燃烧稳定性。在超超临界锅炉的运行过程中,其内部的水蒸气压力与温度都显著超越了传统锅炉的指标,从而导致燃烧过程变得更加敏感,易受到外部负荷的波动、燃料的品质以及空气流量的改变所干扰。因其工作环境的高压高温特性,燃烧的稳定性直接关系到锅炉的热效率、经济效益以及运行安全。负荷的波动以及燃料的不一致性质可能会导致燃烧的不完全或动荡,进而影响热效率并加剧污染物的排放。在高温高压的工作环境中,锅炉内部的温度场和流场变得更加难以驾驭,这对燃烧器的设计、火焰的稳定性以及燃烧过程的控制提出了更为苛刻的要求。

2. 超超临界锅炉燃烧稳定性的影响因素分析

2.1 燃料特性对燃烧稳定性的影响

锅炉燃烧的稳定性受到燃料物理化学性质的直接影响。

各类燃料的热值、挥发性成分、灰分比例以及含水量等关键因素,均会对燃烧效率及其稳定性产生决定性作用。高挥发性成分的燃料往往燃烧得更为迅速,而高水分和灰分的燃料则可能削弱燃烧效率,进而引起火焰的不稳定和污染物排放量的上升。通过对燃料属性进行针对性的优化调整,可以有效提升燃烧过程的稳定性,并提高锅炉的工作效率。

表 1 展示不同燃料特性对燃烧稳定性的影响。

燃料特性	挥发分 (%)	水分 (%)	灰分 (%)	燃烧效率 (%)	火焰稳定性	排放物水平
燃料 A	35	8	5	92	稳定	低
燃料 B	45	10	7	88	不稳定	中
燃料 C	50	12	10	85	不稳定	高
燃料 D	30	6	3	94	稳定	低

此表 1 展示了不同燃料特性对燃烧效率、火焰稳定性和排放水平的影响,可以帮助分析燃料特性优化对锅炉燃烧稳定性的改善作用。

2.2 空燃比对燃烧稳定性的作用机制

空燃比是决定锅炉燃烧稳定性的重要因素之一。这一比例关系着燃烧过程中氧气的供应量是否充分。若空燃比偏低,将造成氧气供应不足,进而使得燃料不能彻底燃烧,从而产生大量有害排放物(例如一氧化碳、未完全燃烧的碳氢化合物等),这会降低锅炉的热效率并恶化排放质量。相反,若比例偏高,则会导致空气资源的浪费,同时燃烧温度下降,无法达到高效燃烧状态,还可能加大燃烧设备的负荷。在超超临界锅炉的运行中,对空燃比的实时调整和精确控制显得

尤为关键，因为在高温高压环境下，燃烧稳定性更易受到空气和燃料流量波动的影响。因此，对空燃比进行精确控制，不仅可以保证燃料的充分燃烧，还能提升锅炉的热效率，减少污染物的排放量。

2.3 高温高压条件对燃烧稳定性的动态影响

在超超临界锅炉的运行场景中，所面临的是极高的温度和压力条件，这样的环境赋予了燃烧过程极大的动态变化性。在此种高温高压状况下，燃烧区域的热量分布变得尤为复杂，对火焰的稳定性及燃烧速度提出了更高的挑战。在这一特定的工况下，火焰形态的波动、热能传递的速率以及氧与燃料的反应效率均会受到极大的干扰。在高温的作用下，尽管燃烧物质的反应速度有所提升，但若燃料与氧气的混合不彻底，则有可能造成局部过热，甚至发生炉膛的 thermal shock。另外，在高压的影响下，锅炉内气体的密度增加，导致氧气扩散速度减缓，进而影响燃烧过程的稳定性。锅炉负荷的波动以及燃料特性的改变进一步放大了这种不稳定性，因此，对锅炉进行精准的监控和调整变得至关重要，以确保燃烧过程的稳定性。

3. 超超临界锅炉燃烧稳定性的调整优化策略

3.1 燃料混合与预处理技术

在提升超超临界锅炉的燃烧稳定性方面，对燃料进行的预处理和混合技术扮演着关键角色。借助混合不同燃料，能够提升燃料的一致性，优化燃烧器内部的燃料分布状况，降低燃烧不稳定性发生的可能性。将高挥发分与低挥发分的燃料混合使用，能在锅炉低负荷运行时提高燃烧效率。对于较大颗粒的燃料，实施颗粒化处理可以加快燃烧速度并确保燃烧的稳定性。燃料预处理还涉及移除含水量高、含灰量高的杂质，这样不仅能增加燃料的热值，还能提升燃烧效率，并在锅炉运行过程中降低污染物的排放量。另外，燃料的混合技术也有助于实现锅炉内不同类型燃料的均匀燃烧性能，增强锅炉应对不同负荷和燃料特性时的调整能力。

3.2 空燃比动态调节与优化技术

空燃比的动态调节是确保超超临界锅炉燃烧稳定性的一项核心技术之一。通过实时监测锅炉燃烧区的氧气浓度、燃料流量和排放气体成分，结合负荷变化和锅炉运行状态，智能化控制系统能够精准调整空气流量，确保空燃比始终保持在最佳范围内。优化的空燃比不仅能提高燃烧效率，还能有效

减少污染物排放，如氮氧化物和二氧化碳等。此外，动态调节技术还能够根据不同负荷需求和燃料特性对空燃比进行灵活调整，提升锅炉在不同工况下的运行稳定性。通过这种方式，超超临界锅炉能够在多变的负荷和工况下实现稳定的高效燃烧，最大化能源利用。

3.3 燃烧器喷嘴与火焰控制技术

燃烧器喷嘴和火焰控制技术对超超临界锅炉的燃烧稳定性起着至关重要的作用。燃烧器喷嘴的设计影响着空气与燃料的混合效果，喷嘴的喷射角度、孔径及其分布情况直接决定了火焰形态及温度分布。在高负荷下，喷嘴需要能够提供更多燃料和空气流量以满足较高的燃烧需求；在低负荷下，则需要精细控制喷嘴的输出，避免空气过量导致燃烧不完全。火焰控制技术通过调整燃烧器内的火焰形态、火焰温度和火焰分布，确保燃烧的稳定性。现代锅炉采用的智能化火焰监控技术能够实时调整火焰形态，使其始终处于稳定、完全燃烧的状态，减少能量浪费，并有效降低排放物。

4. 结语

超超临界锅炉在提升热效率和减少排放方面具有显著优势，但其燃烧稳定性受多种因素的影响，如燃料特性、空燃比调节及高温高压条件下的动态变化。本文分析了这些影响因素，并提出了燃料混合与预处理、空燃比动态调节、燃烧器喷嘴与火焰控制等优化策略。通过合理应用这些技术，能够显著提高锅炉燃烧的稳定性，确保在不同工况下的高效、低排放运行。未来，随着智能化控制技术的不断发展，超超临界锅炉的燃烧过程将更加精细化、自动化，为能源的高效利用和环保目标的实现提供更加可靠的技术支持。不断优化超超临界锅炉的燃烧稳定性，是实现绿色低碳发展、推动能源转型的重要路径。

参考文献：

- [1] 卢雄, 魏博, 王建江, 等. 基于淮东煤富氧燃烧的660MW 超超临界锅炉热力系统结构优化分析 [J]. 动力工程学报, 2023, 43(10):1276–1284.
- [2] 毕凌峰, 杜晓成, 张西容, 等. 基于频域法的超超临界锅炉水冷壁动态特性模型验证及计算分析 [J]. 动力工程学报, 2023, 43(12):1557–1566.
- [3] 司志鹏. 1100MW 超超临界机组锅炉燃烧及优化调整 [J]. 化学工程与装备, 2023(7):201–203.