

# 自备电厂燃料掺烧对锅炉稳定燃烧的影响分析

杨金山

陕煤集团榆林化学有限责任公司 陕西 榆林 719000

**【摘要】**：自备电厂通过燃料掺烧来降低运行成本，提高燃料使用效率，但不同燃料的掺烧对锅炉的稳定燃烧会产生显著影响。研究表明，不同燃料之间的物理化学性质差异会导致燃烧效率的变化，从而影响锅炉的稳定性、温度分布及污染物排放等方面。通过优化掺烧比例和燃烧控制技术，可以有效解决燃烧不均衡、低效和污染物排放等问题，提高锅炉的运行稳定性和经济性。该研究为自备电厂的燃料掺烧优化提供了理论依据和技术支持。

**【关键词】**：自备电厂；燃料掺烧；锅炉稳定性；燃烧效率；污染物排放

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.016

## 引言

自备电厂的燃料掺烧技术，作为一种节能降本的运行方式，在提高电厂整体效益的同时，也对锅炉的燃烧过程产生了深远影响。燃料掺烧带来的变化不仅包括热效率的提升，还可能引发燃烧不均、温度波动和排放超标等问题。面对日益严苛的环保法规和市场竞争力压力，如何平衡掺烧比例，优化锅炉燃烧控制策略成为亟待解决的技术难题。通过科学分析掺烧对锅炉运行的影响，可以为电厂的稳定高效运行提供技术保障，减少能源浪费和环境污染，推动电力行业的可持续发展。

## 1 燃料掺烧对锅炉燃烧过程的影响

### 1.1 燃料掺烧的基本原理

燃料掺烧是指将两种或多种不同性质的燃料按一定比例混合后，共同送入锅炉燃烧。通过掺烧，电厂可以在一定程度上降低燃料成本，并有效利用不同类型的资源。掺烧过程依赖于不同燃料之间的物理和化学反应特性。燃料在高温环境中通过氧化反应释放能量，掺烧的燃料类型和比例将直接影响火焰的温度分布、燃烧效率及锅炉的稳定性。燃料的不同挥发分、灰分、硫分等因素，决定了掺烧后燃烧反应的复杂性，进而影响锅炉内部气流和燃烧区域的分布。合理的掺烧比例可以帮助调节锅炉燃烧温度，改善燃烧效率，并减少污染物排放。掌握掺烧原理对于实现燃料节约和环保目标具有重要意义。

### 1.2 掺烧比例对燃烧稳定性的影响

燃料掺烧比例的设定直接决定了锅炉燃烧过程的稳定性。不同燃料的混合比例对燃烧的均匀性及燃烧产物的稳定性产生显著影响。掺烧比例过高或过低都可能导致火焰不稳定，温度波动较大，增加炉膛内局部过热的风险<sup>[1]</sup>。掺烧比例若不合理，可能导致燃烧不完全、火焰前进或后退，从而影响锅炉的热效率和安全性。对于某些低热值或挥发分较高的燃料，其掺烧比例过高可能导致燃烧效率下降，并可能增加污染物排放。而恰当的比例可以使得不同燃料的优点互补，提高热效率并保持锅炉燃烧过程的稳定性。合理调控掺烧比例是优化锅炉燃烧性能的重要手段。

### 1.3 掺烧过程中锅炉温度与排放的变化

在燃料掺烧的过程中，锅炉的温度分布和污染物排放情况往往会受到显著影响。不同燃料的掺烧会导致火焰温度和炉膛温度的变化，从而影响热效率和设备的热负荷。当掺烧比例不当时，可能会出现炉膛温度过高或过低的现象，导致锅炉热效率下降，甚至发生燃烧不完全的情况，进而增加不完全燃烧产物的排放。不同燃料的挥发分和灰分特性，也直接影响二氧化碳、氮氧化物以及硫氧化物的排放水平。掺烧过程中，如果处理不当，可能会导致气体的排放增加，影响环保达标。为确保掺烧效果，锅炉的温控系统、燃烧控制装置需要实时监测和调整，以适应燃料掺烧的变化，确保燃烧过程的温度控制在最佳范围内，同时减少有害物质的排放。

## 2 锅炉燃烧稳定性的影响因素分析

### 2.1 燃料特性与燃烧稳定性的关系

燃料的物理化学特性直接影响锅炉燃烧过程的稳定性。燃料的挥发分、灰分含量、含水量以及燃烧热值等因素，决定了燃料的燃烧特性。高挥发分的燃料在燃烧初期释放较多热量，易导致火焰温度波动；而低挥发分燃料则较为稳定，但可能导致不完全燃烧和灰分积聚。燃料的灰分含量越高，锅炉内部的积灰现象越严重，进而影响热交换效率和燃烧稳定性。燃料中的硫分、氮分等成分也可能引发高温腐蚀和污染物排放超标。因此，了解燃料的详细成分和热值，针对不同燃料采取相应的燃烧调节措施，对锅炉的稳定性至关重要。燃料的均匀性也影响火焰的扩展和温度分布，进而影响燃烧的稳定性及热效率。

### 2.2 掺烧比例对锅炉稳定性的具体影响

掺烧比例的设定对锅炉燃烧稳定性产生直接影响。掺烧比例过高时，可能导致低热值燃料与高热值燃料之间的燃烧不平衡，造成燃烧过程中的温度波动。尤其是当低挥发分的燃料掺入较高比例时，燃烧反应可能较为迟缓，难以维持足够的火焰温度，影响锅炉的热负荷稳定<sup>[2]</sup>。另一方面，掺烧比例过低可能导致某些燃料未能充分发挥其燃烧优势，降低整体燃烧效率。掺烧比例的调整不仅影响燃烧区的温度分布，还对污染物

排放和锅炉设备的运行负荷产生影响。优化掺烧比例有助于确保热效率的提升，并减少二氧化碳和氮氧化物等有害排放的产生，进而提高锅炉的稳定运行水平。

### 2.3 锅炉设计与调节对稳定性的影响

锅炉的设计结构和调节系统在保障燃烧稳定性方面起着决定性作用。锅炉的炉膛设计、燃烧器的位置与数量、风速及配风系统等都会直接影响燃料的燃烧效果与稳定性。良好的炉膛设计能够促进燃料与氧气的充分混合，保持燃烧过程的稳定，并减少低效燃烧现象的发生。燃烧器的布局和喷射方式会影响火焰的分布，进而影响锅炉内温度的均匀性。调节系统的灵敏度和反应速度也是影响燃烧稳定性的重要因素，精确的自动控制系统能够实时调整燃烧条件，确保锅炉在各种工况下都能维持稳定燃烧。特别是在燃料掺烧的情况下，调节系统需要根据掺烧的不同燃料类型自动优化空气与燃料的配比，确保燃烧反应的顺利进行。

## 3 优化掺烧方案的技术探讨

### 3.1 掺烧比例的确定方法

掺烧比例的合理确定对于锅炉燃烧效率和稳定性至关重要。通常，通过分析各类燃料的热值、挥发分、灰分含量、燃烧温度等参数，可以根据燃料的物理化学特性确定最优的掺烧比例。为了实现最佳的燃烧效果，需要采用实验和计算相结合的方法。实验数据能够为确定不同燃料掺烧比例提供基础，测试不同掺烧比例下锅炉的燃烧稳定性、温度变化以及排放特性。计算方法则包括通过热平衡和燃烧动力学模型，对各类燃料的掺烧效果进行预测。现代燃烧控制系统也可以结合实时监测数据，自动调整掺烧比例，以保持锅炉在最佳运行状态。掺烧比例的调整还需考虑环保要求和燃料供应的稳定性，确保不超过排放标准的同时，提升锅炉的热效率和经济性。

### 3.2 燃烧控制技术的优化方案

燃烧控制技术的优化旨在提高锅炉的燃烧效率，降低污染物排放，并确保锅炉的稳定性。在传统燃烧控制技术的基础上，优化方案往往依赖于先进的自动化系统和数据驱动方法<sup>[3]</sup>。燃烧控制系统通过采集锅炉内温度、氧气浓度、烟气成分等实时数据，自动调节燃料和空气的配比。采用先进的自适应控制算法，系统能够根据锅炉运行状态的变化实时优化燃烧条件，确保燃料充分燃烧，减少不完全燃烧和能量浪费。在掺烧过程中，燃烧控制技术还需要能够根据掺烧比例的变化，灵活调整燃烧器的风量和燃料投放量。智能化燃烧监测和控制系统还可以通过大数据分析和机器学习，预测和优化燃烧过程中的可能波动，提高锅炉的整体运行效率。

### 3.3 系统调节与监测技术的应用

在掺烧优化中，系统调节与监测技术的应用不可忽视。这些技术通过实时监测锅炉的各项参数，确保燃烧过程能够维持

在最佳状态。调节系统通过精确控制空气与燃料的混合比例，调整锅炉内的温度分布，避免局部过热或温度过低的现象。现代锅炉配备的传感器和监测设备，如烟气成分分析仪、温度传感器和压力传感器，能够实时反馈燃烧过程中的变化。这些数据不仅能帮助操作人员发现问题，还能够为燃烧控制系统提供依据，实现自动调节。通过自动化的调节机制，可以有效应对不同燃料掺烧比例带来的变化，避免手动调整带来的误差。除此之外，智能化监控平台能够进行数据存储和历史分析，帮助优化锅炉的长期运行策略，提高系统的自适应能力，确保掺烧过程中锅炉的高效、安全和稳定运行。

## 4 实际案例与应用分析

### 4.1 自备电厂掺烧案例分析

在某自备电厂的实际应用中，燃料掺烧技术已被广泛采用以降低运行成本并提高资源利用率。该电厂采用了煤和生物质燃料的掺烧方案，经过一段时间的实验与数据积累，确定了较为合理的掺烧比例为70%的煤和30%的生物质。经过改造后，锅炉的热效率提高了约8%，同时由于生物质的高挥发分，其掺入提升了燃烧的均匀性，有效降低了煤炭燃烧带来的温度波动。在实施过程中，电厂采用了智能燃烧控制系统，对掺烧比例进行实时调节，确保锅炉在不同工况下的稳定运行。通过调节燃烧器风量与燃料投放量，电厂不仅实现了能源的优化利用，还在环保方面达到了相关排放标准的要求。该案例展示了合理掺烧对自备电厂稳定性和效率的显著提升。

### 4.2 掺烧效果与锅炉性能评估

在该自备电厂的掺烧实验中，锅炉性能评估显示出掺烧后明显的性能改进。掺烧方案实施前，锅炉的热效率约为82%，掺烧煤和生物质燃料后，热效率提升至89%。这一变化主要归因于生物质燃料较高的挥发分和低灰分特性，使得燃烧过程更加均匀和完全<sup>[4]</sup>。掺烧后的排放也有所改善，二氧化碳排放减少了6%，氮氧化物排放降低了4%，符合环保要求。通过温度和压力传感器实时监控，锅炉内温度波动控制在 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内，稳定性得到显著增强。评估结果表明，掺烧不仅提升了热效率和经济性，同时对锅炉的负荷波动和运行稳定性产生了积极影响，证明了这一技术方案的有效性和可行性。

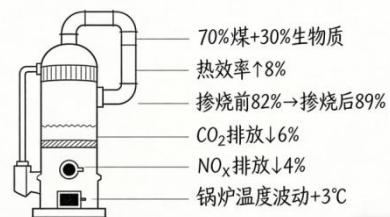


图1 生物质掺烧锅炉性能变化图

### 4.3 案例中的技术难题与解决策略

在自备电厂掺烧实施过程中,出现了若干技术难题,主要集中在燃烧不均匀、低效燃烧和污染物排放控制方面。掺烧初期,某些区域出现了过高的局部温度,导致锅炉壁面发生热损伤,同时未完全燃烧的燃料增多,排放超标。为解决这一问题,电厂首先优化燃烧器结构设计,增加燃烧器喷射口数量并调整喷嘴喷射角度,确保燃料能够更加均匀地进入炉膛。同时依托智能燃烧控制系统,精确调控送风量与燃料供给量,减少低效不完全燃烧现象。通过对烟气成分的实时监控,发现掺烧比例未能及时调整时排放超标,电厂改进了控制系统,使其能够根据锅炉负荷的变化自动调整掺烧比例,进一步提高了环保性能。通过这些措施,电厂成功解决了技术难题,提升了掺烧过程的稳定性和排放合规性。

## 5 探索自备电厂燃料掺烧的未来发展趋势

### 5.1 未来燃料掺烧技术的发展方向

未来燃料掺烧技术的发展将聚焦于提高燃烧效率和减少环境污染。新型复合燃料的研究和应用将成为重要方向,通过优化掺烧比例和改进燃料预处理技术,提升不同燃料混合的协同效应。随着可再生能源的逐步引入,生物质与传统煤炭的混烧将更加普及,以减轻对化石燃料的依赖。同时,燃料掺烧过程中的自动化与智能化技术将得到更广泛的应用,通过先进的传感器与大数据分析,实时调整燃烧状态,优化燃烧过程,进一步提高能源利用率,降低排放。

### 参考文献:

- [1] 刘志禹,胡周庆,李正茂,王坤.炼化企业自备电厂 CFB 锅炉掺烧生物质应用研究[J].安全、健康和环境,2025,25(11):36-44.
- [2] 陆刚.基于多源数据融合的电厂燃料掺烧动态优化策略构建与应用[J].中国科技纵横,2025(18):63-65.
- [3] 谭睿泽,宋国良,宋维健,徐一.燃煤循环流化床零碳燃料掺烧技术研究进展[J].热力发电,2025,54(8):27-41.
- [4] 张向宇,何军福,王志超,杨忠灿,张喜来,刘家利,姚伟.基于最小综合供电成本的电站锅炉多元燃料掺烧方法研究[J].热力发电,2023,52(7):150-156.
- [5] 郭瑞.300 MW 循环流化床锅炉燃料掺烧试验研究[J].中国资源综合利用,2023,41(7):7-10.

### 5.2 燃烧控制技术的创新

燃烧控制技术的创新将更加注重智能化和自适应调节。未来,基于人工智能和机器学习的控制系统将能够实时分析锅炉运行数据,智能预测燃烧过程中的异常变化,并自动调整燃烧条件,确保锅炉始终在最优运行状态<sup>[5]</sup>。新型燃烧控制系统将融合多种感知技术,利用烟气成分监测、温度和压力传感器等实时反馈信息,通过算法优化调节空气与燃料的配比,实现更加精准和高效的燃烧。燃烧器设计的创新也将致力于提高燃料混合均匀性,降低局部过热和燃烧不完全的风险。

### 5.3 环保要求下的掺烧技术优化

环保法规的日益严格,掺烧技术的优化必须更加注重减少污染物排放。未来,掺烧技术将侧重于改善燃烧过程的洁净性,减少二氧化碳、氮氧化物和硫氧化物的排放水平。通过改进燃料特性调节技术和燃烧控制策略,确保燃烧反应充分、温度均匀,降低不完全燃烧现象的发生。采用低排放燃料和加强废气处理技术,如脱硫、脱氮技术的协同应用,也将是掺烧技术优化的重要方向。环保要求的提升将推动更高效、低排放的燃烧系统的研发与应用。

## 6 结语

掺烧技术在自备电厂中的应用为提高燃烧效率、降低运行成本及减少污染物排放提供了有效的解决方案。随着燃料多样性及环保标准的提升,掺烧技术将继续向智能化、精确化及低排放方向发展。对锅炉的设计、燃烧控制系统及燃料特性优化等方面的持续研究,将有助于进一步提升自备电厂的运行稳定性与经济效益,推动绿色能源发展。