

火电厂燃煤掺配优化对锅炉燃烧效率的影响研究

李少峰

华能酒泉发电有限公司 甘肃 酒泉 735000

摘要: 火电厂燃煤掺配优化对提升锅炉燃烧效率意义重大。本文先阐述燃煤掺配的核心要素与调控逻辑,包括关键影响因素、核心目标及路径。接着分析锅炉燃烧效率的影响机制,涵盖燃烧原理、燃煤特性及过程性因素。随后探讨掺配优化对燃烧特性、稳定性、完全性及传热协同性的作用。最后介绍关键技术与调控方法,如基于燃烧效率的方案设计、均匀性控制及动态调控技术,为火电厂高效运行提供参考。

关键词: 火电厂; 燃煤掺配优化; 锅炉燃烧效率; 调控技术; 动态调控

引言: 在能源需求持续增长与环保要求日益严格的背景下,火电厂的高效清洁运行成为关键。燃煤作为火电厂的主要燃料,其质量与掺配方式直接影响锅炉燃烧效率。不同煤种在挥发分、发热量等属性上存在差异,合理掺配可充分发挥各煤种优势,提升燃烧效率、降低成本并减少污染物排放。深入研究火电厂燃煤掺配优化对锅炉燃烧效率的影响,对火电厂实现可持续发展、提高能源利用效率具有重要的现实意义。

1 火电厂燃煤掺配优化的核心要素与调控逻辑

1.1 燃煤掺配的关键影响因素

在火电厂燃煤掺配过程中,煤质基础属性适配性是首要考量。不同煤种在挥发分、发热量、灰分、硫分等基础属性上各有差异,这些差异直接影响锅炉燃烧状况。比如,挥发分高的煤易着火燃烧,灰分高的煤则可能降低燃烧效率。所以,掺配时要充分考虑各煤种基础属性的互补性,让混合后的煤质满足锅炉燃烧需求^[1]。掺配比例的调控原则也十分关键。合理确定掺配比例,能让各煤种优势得以充分发挥,提升整体燃烧效率。确定掺配比例时,要综合考量煤质特性、锅炉设计参数以及运行工况等多方面因素,通过科学计算和实验验证,找出最优比例,实现燃烧效率最大化。此外,掺配均匀性对保障燃烧稳定性不可或缺。若掺配不均匀,局部煤质差异过大,会使燃烧波动幅度增大,影响燃烧的均匀性与稳定性。因此,在掺配过程中要采取有效措施,如运用先进的掺配设备和工艺,确保各煤种充分混合,实现均匀掺配,从而保障锅炉稳定高效运行。

1.2 燃煤掺配优化的核心目标与调控路径

燃煤掺配优化的核心目标在于实现锅炉燃烧效率的持续提升,同时兼顾运行成本的降低与污染物排放的控制,以达成火力发电“高效、经济、清洁”的综合目标。围绕这一目标,需构建涵盖煤质筛选、比例优化与

工艺调控三个层次的系统性路径。在煤质选择上,需深度分析各煤种的特性参数,如挥发分、发热量、灰分与硫分等,并依据锅炉设计参数与运行工况,建立煤种适配性评价体系,筛选出能够形成优势互补的煤种组合。在掺配比例确定方面,借助数学模型与实验验证相结合的方式,通过模拟不同掺配比例下的燃烧过程,定量分析对燃烧效率、结焦倾向及污染物生成的影响,从而确定最优配比。工艺优化则重点提升掺配过程的均匀性与可控性,通过改进掺混设备、优化流程布局及完善在线监测手段,保障掺配方案在实际运行中得以精准执行。这一层层递进的调控路径,既考虑了煤质的静态特性,又兼顾了运行工况的动态变化,为提升锅炉燃烧效率奠定了坚实的基础。

2 锅炉燃烧效率的核心影响机制

2.1 燃烧反应的基础原理与关键环节

锅炉燃烧本质上是燃料与氧化剂发生的剧烈氧化还原反应,这一过程遵循质量守恒与能量守恒定律。燃烧反应起始于燃料中可燃成分与氧气的接触,在适宜温度条件下,燃料分子吸收能量被激活,化学键断裂形成活性自由基^[2]。这些自由基与氧气分子进一步反应,引发链式反应,释放大热量。燃烧反应包含多个关键环节。首先是着火阶段,燃料与氧化剂混合物达到350℃~650℃时开始自发燃烧,此阶段需积累足够热量以克服反应活化能。着火后进入燃烧阶段,燃料持续与氧气反应,释放化学能并转化为热能。最后是燃尽阶段,未完全燃烧的产物在高温环境下继续反应,直至达到化学平衡状态。各环节的时间分配需合理把控,着火阶段耗时通常为2s~5s,燃烧阶段为8s~15s,燃尽阶段为5s~10s,任何一个环节出现问题都会影响整体燃烧效率。

2.2 燃煤特性对燃烧过程的作用机制

燃煤特性对燃烧过程起着决定性作用。不同煤种的

挥发分含量差异很大。高挥发分煤种在加热时,能快速释放出大量易燃且燃烧速度快的挥发性物质,这有助于形成稳定火焰,提升燃烧初期反应速率。相反,低挥发分煤种需要更高温度才能释放挥发分,燃烧相对滞后,着火和燃烧过程没那么顺畅。灰分含量也是影响燃烧的关键因素。灰分含量高的煤在燃烧时会产生大量灰渣,这些灰渣会覆盖在燃料表面,大大减少氧气与燃料的接触面积,进而降低燃烧反应速率。而且,灰分中氧化物的组成对炉膛结焦情况影响明显。其中,氧化钠、氧化钾含量越高,煤灰熔融温度降低越多,锅炉受热面结焦的可能性就越大。焦质物里的三氧化二铁在高温下会形成熔融态载体,让其他低熔点氧化物更容易沉积在受热面,加重结焦程度。低熔点灰分还容易在受热面沉积结焦,破坏炉膛传热平衡,使锅炉热效率降低。硫分含量则与燃烧产物中二氧化硫的生成有关。硫分含量增加,二氧化硫排放量也会增多,这不仅会造成环境污染,还会腐蚀锅炉受热面,影响设备使用寿命和燃烧的稳定性的。

2.3 影响燃烧效率的核心过程性因素

影响燃烧效率的过程性因素众多。燃烧温度是关键因素之一,温度在 $1200^{\circ}\text{C}\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 范围内时,温度每升高 100°C ,化学反应速率可提高1.5倍~2倍,使燃料更充分燃烧。但温度过高(超过 1500°C)可能导致炉膛结焦加剧,反而降低燃烧效率。氧气供应量同样重要,氧气不足时,燃料不完全燃烧率可达 $15\%\sim 25\%$,产生大量一氧化碳等可燃气体,降低热能释放效率;氧气过量超过 $10\%\sim 15\%$ 时,则会带走部分热量,使排烟热损失增加 $3\%\sim 5\%$ 。燃料与空气的混合程度也直接影响燃烧效率。良好的混合能使燃料与氧气充分接触,提高反应速率与燃烧完全度。燃烧时间与燃烧空间也会对燃烧效率产生影响,需确保燃料在炉膛内的停留时间不小于20s,炉膛空间热负荷控制在 $100\text{kW}/\text{m}^3\sim 150\text{kW}/\text{m}^3$,根据燃料特性与锅炉结构合理设计,确保燃料在炉膛内有足够时间与空间完成燃烧反应。

3 燃煤掺配优化对锅炉燃烧效率的作用机制

3.1 掺配优化对燃煤燃烧特性的调控作用

燃煤掺配优化通过科学组合不同煤种,能够显著调控燃煤的燃烧特性。不同煤种在挥发分含量、发热量以及灰分组成等方面存在差异,这些差异直接影响着煤粉的着火温度、燃烧速度以及燃尽特性^[3]。通过掺配优化,将高挥发分煤与低挥发分煤按一定比例混合,高挥发分煤在加热初期快速释放挥发性物质,为低挥发分煤的着火提供热量和活性基团,使得混合煤粉在锅炉内既能快速着火,又能维持稳定的燃烧过程。同时,合理调整发

热量不同的煤种比例,根据锅炉不同负荷的需求,确保在不同工况下锅炉均能保持高效燃烧,避免因煤质波动导致的燃烧效率下降。灰分组成的优化还可通过调控煤种中氧化钠、氧化钾的占比,降低高结焦倾向氧化物的含量占比,同时控制三氧化二铁的分布状态,减少灰渣对受热面的磨损与沉积,降低受热面因磨损、结焦而导致的传热效率下降问题,延长锅炉使用寿命。

3.2 掺配优化对燃烧过程稳定性的影响

燃烧过程的稳定性是锅炉高效运行的关键。燃煤掺配优化通过改善煤粉的物理化学性质,有效提升了燃烧过程的稳定性。一方面,掺配后的煤粉粒度分布更加均匀,使得煤粉在炉膛内的分布更为合理,避免了局部缺氧或富氧的情况发生,减少了因局部燃烧条件差异导致的燃烧波动。另一方面,优化后的煤质特性使得燃烧反应更加平缓,避免了剧烈燃烧导致的炉膛压力波动,为锅炉的安全稳定运行提供了有力保障。掺配优化还能降低燃烧过程中产生的火焰偏斜现象,使火焰在炉膛内均匀分布,进一步提高了燃烧稳定性。同时,掺配优化通过调节煤粉的着火性能和燃烧速率,增强了燃烧系统对外界负荷变化的适应能力,确保了锅炉在各种工况下都能平稳运行,提升了整体运行可靠性。

3.3 掺配优化对燃烧完全性的提升路径

燃烧完全性是衡量锅炉燃烧效率的重要指标。燃煤掺配优化通过多种途径提升了燃烧完全性。首先,通过优化煤种组合,使得混合煤粉中的可燃成分在燃烧过程中能够充分释放能量,不同煤种的优势互补,减少了未燃尽碳的损失。其次,掺配优化改善了煤粉的燃烧环境,使燃烧区域的氧气分布更加均匀,使得燃烧反应更加充分,降低了化学不完全燃烧热损失。再者,合理调整煤粉细度,使煤粉在炉膛内的停留时间延长,增加了煤粉与氧气的接触时间,进一步提高了燃尽率。掺配优化还能促进煤粉燃烧过程中的碳转化效率,优化燃烧反应路径,减少飞灰含碳量和底渣未燃尽物,从而显著提升了锅炉的燃烧完全性。这些措施共同作用,不仅提高了能源利用效率,降低了能源浪费,也为锅炉长期高效稳定运行奠定了坚实基础。

3.4 掺配优化对炉内传热与燃烧协同性的作用

炉内传热与燃烧的协同性对于锅炉整体效率至关重要。燃煤掺配优化通过改善煤粉燃烧特性,促进了炉内传热与燃烧的协同作用。一方面,优化后的煤粉燃烧更加充分,释放出更多的热量,使得炉膛温度分布更加均匀,提高了受热面的传热效率,减少了因温度不均导致的局部过热或过冷现象。另一方面,燃烧过程的稳定性

提升减少了炉膛内的温度波动,避免了因温度过高或过低导致的传热效率下降,使传热过程更加稳定高效^[4]。掺配优化通过控制灰分中氧化钠、氧化钾及三氧化二铁的含量,降低锅炉受热面的结焦程度,减少受热面积灰与腐蚀,进一步提高传热效率。燃煤掺配优化在提升锅炉燃烧效率的同时,也显著增强了炉内传热与燃烧的协同性。

4 燃煤掺配优化的关键技术与调控方法

4.1 基于燃烧效率目标的掺配方案设计方法

在燃煤掺配优化中,以燃烧效率为核心目标设计掺配方案是关键环节。此方法需综合考量多种煤质的特性参数,涵盖挥发分、发热量、灰分及硫分等。通过对不同煤种特性参数的深度分析,结合锅炉的设计参数与实际运行工况,运用数学建模与优化算法,构建燃烧效率与煤质参数间的量化关系模型。借助该模型,可精准计算不同掺配比例下锅炉的预期燃烧效率,进而筛选出能使燃烧效率达到最优的煤种组合及掺配比例。在设计过程中,还需充分评估煤质波动对燃烧效率的影响,预留一定的调节裕度,确保在实际运行中,即便煤质出现一定变化,锅炉仍能维持较高的燃烧效率。

4.2 掺配过程均匀性控制技术

掺配过程的均匀性对锅炉燃烧稳定性与效率影响显著。为实现良好的均匀掺配,需从设备选型与工艺优化两方面入手。在设备层面,选用先进的掺配设备,如具备精确计量与高效混合功能的掺配机,此类设备计量精度可达 $\pm 1\%$,混合均匀度达到90%以上,能够依据预设比例准确计量各煤种,并通过高效的混合机构使煤种充分混合,有效提升掺配均匀性。在工艺方面,优化掺配流程,合理安排各煤种的投放顺序与混合时间。例如,先对粒度差异较大的煤种进行预处理,使粒度差异控制在 $20\mu\text{m}$ 以内,再进行混合,可减少因粒度不均导致的混合不充分问题。同时加强掺配过程中的质量检测,采用在线检测技术实时监测掺配煤的均匀性,检测频率为每5分钟1次,一旦发现偏差及时调整掺配参数,确保掺配质量始终符合要求。

4.3 掺配优化的动态调控技术

鉴于火电厂运行工况的复杂性与多变性,实施掺配优化的动态调控技术十分必要。该技术依托先进的传感器与自动化控制系统,实时采集锅炉运行参数,如负荷、燃烧温度、烟气成分等,数据采集频率为每秒10次,并结合煤质在线检测数据,运用智能算法对当前掺配方案的合理性进行快速评估^[5]。评估响应时间不超过3秒,当运行工况或煤质发生变化时,系统自动生成调整指令,对掺配比例、掺配速度等参数进行动态优化,使掺配方案始终与实际运行需求相匹配。动态调控技术还能实现远程监控与操作,运行人员可在控制中心对多台锅炉的掺配过程进行集中管理,根据整体运行情况灵活调配煤种资源,进一步提升火电厂的运行效率与经济效益。

结束语

火电厂燃煤掺配优化对提升锅炉燃烧效率效果显著。通过合理调控燃煤掺配的核心要素,明确优化目标与调控路径,能有效改善燃煤燃烧特性,增强燃烧过程稳定性,提升燃烧完全性,促进炉内传热与燃烧协同。关键技术与调控方法的应用,为掺配优化提供了有力支撑。火电厂应重视燃煤掺配优化工作,结合自身实际情况,科学运用相关技术与方法,持续提高锅炉燃烧效率,实现经济效益与环境效益的双赢。

参考文献

- [1]薛环.火电厂燃煤掺配优化对锅炉燃烧效率的影响研究[J].建筑与施工,2025,4(14):3-4.
- [2]肖斌.火电厂燃煤配煤掺烧技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2022(16):55-57.
- [3]陈冬林,杨捷钢,程虎,等.基于全流程优化的锅炉机组混煤掺烧决策模型[J].燃烧科学与技术,2022,28(1):20-27.
- [4]翟陈婷.火电厂燃煤锅炉低氮燃烧技术优化控制策略[J].电力设备管理,2024(10):261-264.
- [5]杨一鸣.火电厂锅炉燃烧优化的关键技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(10):32-35.