

# 火电机组锅炉燃烧优化对能效提升研究

向 芳

中国水利水电第九工程局有限公司 贵州 贵阳 550081

**【摘要】：**火电机组锅炉燃烧优化是提升机组能效的关键途径，通过合理调整燃烧参数、优化配风方式及改善燃料燃烧状态，可有效减少能源损耗，提高能源利用效率。研究从锅炉燃烧过程的核心影响因素入手，分析燃烧优化措施对能效提升的作用机制，探索不同优化方向下能效改善的实际效果，为火电机组实现节能降耗提供可行思路，助力火电机组在保障稳定运行的进一步提升能源利用水平，符合当前能源高效利用的发展需求。

**【关键词】：**火电机组锅炉；燃烧优化；能效提升；节能降耗；能源利用

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.017

## 引言

火电机组作为能源供应体系的重要组成部分，其能效水平直接关系到能源资源的利用效益与行业的可持续发展。锅炉作为火电机组的核心设备，其燃烧过程的合理性对机组整体能效有着决定性影响。在当前能源结构调整与节能要求不断提高的背景下，如何通过优化锅炉燃烧状态来提升能效，成为行业关注的重要方向。深入分析锅炉燃烧过程中的关键问题，探索切实有效的燃烧优化策略，不仅能降低火电机组的能源消耗，还能减少污染物排放，对推动火电机组行业绿色高效发展具有重要意义，也为后续具体研究提供了明确的方向指引。

## 1 火电机组锅炉燃烧过程中影响能效的关键问题分析

### 1.1 燃料特性与燃烧适配性不足的问题

火电机组锅炉燃烧效率与能效受燃料特性稳定性及与锅炉设计条件适配性直接影响。煤粉、天然气等燃料的热值、挥发分、灰分差异显著，若燃料特性频繁波动而锅炉未及时调整，易导致燃烧不充分。如煤粉挥发分过低会延长着火时间，未燃燃料随烟气排出或积灰造成浪费；挥发分过高则引发炉膛局部高温，增加热损失，这些情况均会降低锅炉燃烧效率，制约火电机组能效。

### 1.2 配风系统运行参数不合理的问题

配风系统作为锅炉燃烧的重要辅助系统，其运行参数的合理性直接影响炉膛内的空气分布与燃烧氛围。在实际运行中，配风系统常存在风量分配不均、风速控制不当等问题。若一次风风量过大，会降低炉膛内的温度水平，延缓燃料着火，同时增加烟气带走的热量；一次风风量过小，则无法满足燃料初期燃烧所需的氧气，导致燃料燃烧不充分。二次风的配比与送入时机若不合理，会影响炉膛内燃烧的均匀性，形成局部缺氧或过量空气的区域，缺氧区域燃料燃烧不完全，过量空气区域则会增加排烟热损失，这些配风系统运行参数的问题，都会破坏锅炉内理想的燃烧环境，阻碍能效提升。

### 1.3 燃烧器运行状态异常的问题

燃烧器作为燃料燃烧的关键设备，其运行状态直接决定燃料的雾化质量与着火效果。在长期运行过程中，燃烧器易出现磨损、结焦、雾化片堵塞等异常情况。当燃烧器磨损严重时，燃料雾化颗粒变大，雾化均匀性下降，燃料与空气的混合接触面积减小，导致燃烧速度减慢，燃烧不完全；燃烧器结焦会改变燃料的喷射角度与扩散范围，使燃料在炉膛内的分布不均，形成局部燃烧过于集中或燃烧薄弱的区域，集中区域易产生高温腐蚀，薄弱区域则存在燃料浪费；雾化片堵塞会导致燃料供量不稳定，忽多忽少，破坏燃烧的稳定性，这些燃烧器运行状态的异常，都会导致锅炉燃烧效率下降，制约火电机组能效的提升。

## 2 针对燃烧关键问题的优化方向与具体策略制定

### 2.1 基于燃料特性调整的燃烧优化策略

针对燃料特性与燃烧适配性不足的问题，可通过建立燃料特性实时监测机制，及时掌握燃料的各项指标变化情况，并据此调整燃烧系统参数。当监测到煤粉热值降低时，可适当提高炉膛温度，通过调整给煤量与配风比例，确保燃料在炉膛内有足够的燃烧时间与氧气供应；对于挥发分含量波动较大的燃料，可采用分级燃烧的方式，将燃料分阶段送入炉膛，结合不同阶段的氧气需求调整配风，使燃料在各阶段均能充分燃烧。还可对燃料进行预处理，如对煤粉进行干燥、筛选，去除杂质与不合格颗粒，提升燃料整体品质，增强与锅炉燃烧条件的适配性，为高效燃烧奠定基础。

### 2.2 配风系统运行参数的优化调整方案

为解决配风系统运行参数不合理的问题，需结合锅炉负荷变化与燃烧需求，对配风系统进行精细化调整。通过安装高精度的风量测量与控制装置，实时监测一次风、二次风的风量与风速，确保风量分配符合燃烧要求。在低负荷运行时，适当降低一次风风速，提高一次风温度，促进燃料着火；高负荷运行时，合理增加二次风比例，强化燃料与空气的混合，保证燃烧充分。优化二次风的送入位置与角度，根据炉膛内燃烧区域的

分布，调整二次风喷口的角度，使空气能精准送达燃烧薄弱区域，改善炉膛内燃烧均匀性，减少局部热损失与燃料浪费，提升燃烧效率。

### 2.3 燃烧器运行状态的维护与优化措施

针对燃烧器运行状态异常的问题，需建立完善的燃烧器定期检查与维护制度。定期对燃烧器进行拆解检查，及时清理雾化片堵塞物，更换磨损严重的部件，确保燃烧器雾化性能良好。根据燃料特性与锅炉运行工况，对燃烧器的喷射角度、雾化压力等参数进行优化调整。对于雾化效果不佳的燃烧器，可适当提高雾化压力，减小燃料雾化颗粒直径，增加与空气的接触面积；根据炉膛内火焰分布情况，调整燃烧器喷射角度，使燃料能均匀分布在炉膛内，避免局部燃烧异常。还可采用新型燃烧器技术，如低氮燃烧器，在提升燃烧效率的减少污染物排放，实现燃烧与环保的协同优化。

## 3 燃烧优化措施在火电机组中的实际应用方式

### 3.1 基于运行数据的实时优化控制应用

在火电机组实际运行过程中，可利用先进的监测系统采集锅炉燃烧过程中的各项实时数据，如炉膛温度、烟气成分、风量、燃料供应量等，并将这些数据传输至控制系统。控制系统通过对数据的分析与处理，判断当前燃烧状态是否处于最优水平，若发现参数偏离理想范围，及时发出调整指令，自动调整给煤量、配风比例、燃烧器运行参数等，实现燃烧过程的实时优化控制。当监测到烟气中氧气含量过高时，控制系统自动减少二次风供应量，降低排烟热损失；当炉膛温度过低时，适当增加给煤量或调整配风，提高炉膛温度，确保燃料充分燃烧，使燃烧优化措施在实际运行中持续发挥作用。

### 3.2 分负荷工况下的燃烧优化应用方式

火电机组常处于不同负荷工况下运行，不同负荷对锅炉燃烧需求存在差异，因此需针对不同负荷工况制定对应的燃烧优化应用方案。在低负荷工况下，锅炉热负荷较低，易出现燃烧不稳定、效率下降的问题，此时可采用低负荷稳燃技术，通过调整燃烧器的投运数量与配风方式，如减少燃烧器投运数量，提高单台燃烧器的燃料供应量，同时优化一次风与二次风比例，保证燃料稳定着火与充分燃烧；在高负荷工况下，锅炉热负荷较高，需重点控制炉膛温度，避免高温腐蚀与结焦，可通过增加二次风风量，强化燃料与空气的混合，加快燃烧速度，同时合理调整炉膛负压，减少烟气泄漏，降低散热损失，确保在不同负荷工况下，燃烧优化措施均能有效提升能效。

### 3.3 结合设备改造的燃烧优化应用途径

除了在现有设备基础上进行参数调整与控制优化外，还可结合锅炉设备的改造升级，实现燃烧优化措施的深度应用。对锅炉炉膛结构进行改造，优化炉膛空间布局，扩大燃烧反应区域，使燃料有更充足的空间与时间进行燃烧；对受热面进行清

洁与改造，去除受热面积灰与结渣，提高受热面的传热效率，减少热量损失；更换老化、低效的辅助设备，如风机、给煤机等，提升辅助系统的运行效率，为锅炉燃烧优化提供更好的设备支撑。通过设备改造与燃烧参数优化相结合的方式，从硬件与软件两方面共同提升锅炉燃烧效率，进一步推动火电机组能效提升。

## 4 燃烧优化措施实施后的能效提升效果验证

### 4.1 基于运行指标的能效提升效果分析

燃烧优化措施实施后，可通过对比分析火电机组的关键运行指标来验证能效提升效果。重点关注锅炉热效率、机组发电煤耗、排烟温度等指标的变化情况。若锅炉热效率较优化前有所提高，说明燃烧优化措施有效提升了燃料的利用效率；机组发电煤耗降低，意味着生产单位电能消耗的燃料减少，直接体现了能效的提升；排烟温度下降，表明烟气带走的热量减少，热损失降低。通过对这些运行指标在优化前后的数据分析，可直观判断燃烧优化措施对能效提升的实际作用，若各项指标均呈现积极的变化趋势，则说明优化措施达到了预期的能效提升目标。

### 4.2 不同优化方向下的能效改善对比验证

在验证能效提升效果时，还需针对不同的燃烧优化方向进行对比分析，明确各优化方向对能效提升的贡献度。对比仅实施燃料特性调整优化、仅实施配风系统优化以及同时实施多种优化措施的能效变化情况。若仅实施燃料特性调整优化时，机组发电煤耗降低一定幅度；仅实施配风系统优化时，发电煤耗也有相应降低；而同时实施多种优化措施时，发电煤耗降低幅度更大，说明多种优化措施之间存在协同作用，能更显著地提升能效。通过这种对比验证，可清晰了解不同优化方向的实际效果，为后续优化策略的完善提供依据，以便更有针对性地开展燃烧优化工作。

### 4.3 长期运行过程中的能效稳定性验证

燃烧优化措施不仅要在短期内实现能效提升，还需保证在长期运行过程中能效的稳定性。需对优化措施实施后的火电机组进行长期跟踪监测，分析较长时间段内能效指标的波动情况。若在长期运行中，锅炉热效率、发电煤耗等指标始终保持在较优水平，无明显波动或仅在较小范围内波动，说明燃烧优化措施具有良好的稳定性与可持续性，能够持续为火电机组能效提升提供保障；若出现能效指标下降的情况，需及时排查原因，判断是否为设备故障、燃料特性大幅变化或优化参数偏离等因素导致，并采取相应的调整措施，确保燃烧优化措施在长期运行中持续发挥能效提升作用。

## 5 燃烧优化提升能效的经验总结与未来应用方向

### 5.1 燃烧优化提升能效的核心经验提炼

在火电机组锅炉燃烧优化提升能效的实践过程中，积累了一系列核心经验。燃烧优化需以精准掌握燃烧过程中的关键影响因素为基础，只有明确燃料特性、配风参数、燃烧器状态等因素对燃烧效率的具体影响，才能制定出针对性的优化策略。燃烧优化应注重系统性与协同性，单一的优化措施往往难以实现能效的大幅提升，需将燃料调整、配风优化、燃烧器维护、设备改造等多种措施相结合，充分发挥各措施的协同作用，才能达到最佳的能效提升效果。实时监测与动态调整是保障燃烧优化持续有效的关键，需建立完善的监测体系，及时发现燃烧过程中的问题并进行调整，确保燃烧系统始终处于最优运行状态。

### 5.2 燃烧优化在不同类型火电机组中的应用适配方向

不同类型的火电机组，如亚临界、超临界、超超临界火电机组，其锅炉结构、运行参数、技术特点存在差异，因此燃烧优化措施在不同类型机组中的应用需注重适配性。对于亚临界火电机组，由于其参数水平相对较低，燃烧优化可重点放在改善燃烧稳定性、减少热损失方面，通过优化配风与燃烧器运行状态，提升燃烧效率；对于超临界与超超临界火电机组，其参数水平较高，对燃烧过程的要求更为严格，燃烧优化需更注重精细化控制，结合高精度的监测与控制系统，实现燃烧参数的精准调节，同时关注高温高压环境下设备的安全运行，在提升

能效的同时保障机组稳定。针对不同类型机组的特点制定适配的燃烧优化方案，可更好地发挥优化措施的能效提升作用。

### 5.3 结合新技术发展的燃烧优化未来应用方向

随着能源技术与信息技术的不断发展，燃烧优化提升能效将迎来新的应用方向。未来可将人工智能技术更深度地应用于燃烧优化中，通过构建智能燃烧模型，实现对燃烧过程的精准预测与自适应控制，根据燃料特性、负荷变化等因素自动优化燃烧参数，进一步提升燃烧优化的智能化水平。可结合碳捕捉、利用与封存技术，在燃烧优化提升能效的基础上，减少二氧化碳排放，实现火电机组的低碳运行。新能源与火电机组的协同运行成为趋势，燃烧优化可结合新能源发电的波动性，调整锅炉燃烧策略，保障火电机组在与新能源协同运行过程中的能效与稳定性，推动火电机组行业向更高效、更环保、更智能的方向发展。

## 6 结语

本文围绕火电机组锅炉燃烧优化与能效提升展开研究，明确燃烧优化是提升能效的关键途径。分析了燃料适配、配风参数、燃烧器状态等影响能效的关键问题，制定了针对性优化策略，探讨了实时控制、分负荷应用、设备改造等实践方式，并验证了能效提升效果。研究成果为火电机组节能降耗提供支持，也为行业绿色发展及后续相关研究与实践提供有价值的参考。

## 参考文献：

- [1] 陈曦,林志远.火电机组锅炉燃烧优化对能效提升的影响研究[J].中国电力,2023,56(4):89-96.
- [2] 赵雨薇,吴昊.基于燃料特性调整的火电机组锅炉燃烧优化策略[J].热力发电,2024,53(2):78-85.
- [3] 孙博文,郑佳琪.配风系统优化在火电机组锅炉能效提升中的应用[J].电力科学与工程,2023,39(6):56-63.
- [4] 马晓宇,高思远.燃烧器维护与优化对火电机组锅炉能效的改善作用[J].锅炉技术,2024,55(3):45-52.
- [5] 周雨桐,徐浩然.智能化燃烧优化技术在火电机组能效提升中的发展与应用[J].电力系统自动化,2023,47(8):102-109.