

燃煤锅炉性能优化及其对火力发电厂经济效益的影响

梁君禄 田 佳

摘要: 在我国电力产业中,火力发电占主体地位,燃煤锅炉作为核心设备,其性能直接影响电厂经济效益。当前,电厂面临煤炭价格波动、环保标准严苛等挑战,提升燃煤锅炉性能成为关键。本文阐述优化策略,包括燃烧过程优化、设备维护与升级、引入先进控制系统、合理煤种选择与掺烧,并分析其对降低燃料成本、提高发电效率、减少维护及环保成本的影响,以提升电厂竞争力与可持续发展能力。

关键词: 燃煤锅炉;性能优化;火力发电;经济效益

在我国电力供应体系中,火力发电长期占据主导地位。根据有关资料,近几年来,火力发电在全国总发电量中的占比始终维持在70%以上。而燃煤锅炉作为火力发电的核心设备,其运行性能直接关乎火力发电厂的整体经济效益与能源利用效率。近年来,煤炭价格波动频繁,环保政策对火力发电行业的要求愈发严格,这使得火力发电厂面临着巨大的成本压力与环保压力。在此背景下,深入探究燃煤锅炉性能优化策略及其对火力发电厂经济效益的影响,具有极为重要的现实意义。

一、燃煤锅炉性能优化策略

(一) 燃烧优化

1. 调整燃烧器结构与参数

燃烧器是一种非常重要的设备,它的结构和性能直接影响到它的燃烧性能。通过合理的燃烧器结构,可以使燃煤和空气更好地混合,提高燃烧效果。在使用过程中,可以适当地调节喷嘴的形状、角度和数量。在燃烧过程中,使用渐缩喷嘴,提高射流的流速和刚度,使得燃煤在炉中的分配更加均匀;同时,随着喷嘴数目的增多,燃煤和空气之间的接触面积也会随之增大,加快燃烧反应速率。同时,精确控制燃烧器的运行参数至关重要。合理调整燃料与空气的比例,确保达到最佳的风煤比,是实现高效燃烧的关键。一般而言,对于不同煤种,其最佳风煤比有所差异。以无烟煤为例,由于其挥发分含量较低,着火较为困难,因此需要较高的过量空气系

作者简介:

- 1.梁君禄(1992.12——)男,汉族,本科学历,助理工程师,主要从事火电厂行业方面的研究工作;
- 2.田佳(1995.02——)男,汉族,本科学历,助理工程师,主要从事火力发电厂行业方面的研究工作。

数,通常在1.2-1.3之间;而对于烟煤,其挥发分含量较高,着火容易,过量空气系数可适当降低至1.1-1.2。此外,还需对燃烧器的二次风配风方式进行优化。采用分级配风技术,将二次风分为不同层次送入炉膛,能够有效控制燃烧区域的温度分布,抑制氮氧化物的生成,同时促进燃料的充分燃烧。

例如(表一)某300MW机组燃煤锅炉原燃烧器喷口为直筒型,存在煤粉分布不均问题。电厂将其改造为渐缩型喷口,同时增加2个辅助喷口,将一次风率由20%调整至25%,二次风采用上下分级配风。改造后,炉膛火焰充满度提升,飞灰含碳量从8%降至4.5%,锅炉热效率由88.5%提高至89.7%,年节约标煤约1.8万吨。

表一

指标	改造前	改造后	变化量
燃烧器喷口类型	直筒型	渐缩型+2个辅助喷口	结构优化
一次风率	20%	25%	提高5%
二次风配风方式	单级配风	上下分级配风	方式升级
飞灰含碳量	8%	4.5%	降低3.5%
锅炉热效率	88.5%	89.7%	提高1.2%
年节约标煤量	0吨	减少18000吨	节约1.8万吨

2. 采用先进的燃烧技术

随着科学技术的发展,诸多先进的燃烧技术应运而生,为燃煤锅炉的燃烧优化提供了有力支撑。采用低氮燃烧技术,能够在降低氮氧化物排放的同时,保证燃烧效率不降低。常见的低氮燃烧技术包括空气分级燃烧、燃料分级燃烧以及低氮燃烧器等。空气分级燃烧技术是将燃烧所需的空气分阶段送入炉膛,使燃料在不同的空气氛围下进行燃烧。在初始阶段,供给较少的空气,使燃料处于缺氧燃烧状态,此时燃烧温度较低,氮氧化物

的生成量大幅减少；在后续阶段，再将剩余的空气送入炉膛，确保燃料充分燃尽。燃料分级燃烧技术则是将部分燃料从主燃烧区上方送入炉膛，形成再燃区。在再燃区，未完全燃烧的燃料与主燃烧区产生的氮氧化物发生还原反应，将氮氧化物转化为氮气，从而降低氮氧化物的排放。低氮燃烧器则是通过特殊的结构设计，使燃料与空气在燃烧器内实现更加均匀、充分的混合，控制燃烧过程中的温度峰值，减少氮氧化物的生成。富氧燃烧技术也是一种具有广阔应用前景的先进燃烧技术。富氧燃烧是指在燃烧过程中，使用氧气含量高于21%的富氧空气作为助燃气体。与传统空气燃烧相比，富氧燃烧能够显著提高燃烧温度，加快燃烧反应速率，使燃料燃烧更加充分。

例如某600MW机组锅炉采用空气分级燃烧技术改造，将燃烧所需空气分三个阶段送入炉膛。主燃烧区过量空气系数控制在0.8，再燃区喷入20%煤粉形成还原氛围，燃尽区补充剩余空气。改造后，氮氧化物排放从450mg/m³降至200mg/m³以下，未影响燃烧效率，年减少脱硝成本约800万元，满足环保新规要求。

（二）设备维护与升级

1. 定期清理受热面积灰、结渣

吹灰器吹灰是最为常见的清理方式，根据吹灰介质的不同，可分为蒸汽吹灰器、声波吹灰器和激波吹灰器等。蒸汽吹灰器利用高温高压蒸汽对受热面进行吹扫，能够有效清除积灰和松散的结渣。声波吹灰器则是通过发出高强度的声波，使积灰和结渣在声波的作用下松动、脱落。激波吹灰器是利用可燃气体与空气混合后燃烧产生的激波，对受热面进行冲击清理，其清理效果较为显著^[1]。在实际应用中，应根据锅炉的具体情况和积灰、结渣的严重程度，合理选择吹灰器的类型和吹灰频率。

人工清理主要适用于积灰、结渣较为严重且吹灰器难以清理的部位。人工清理需要操作人员进入炉膛内，使用专用工具对受热面进行清理，这种方式劳动强度大、危险性高，且清理效率较低。因此，在进行人工清理时，必须严格遵守安全操作规程，做好安全防护措施。

例如某电厂350MW机组锅炉省煤器积灰严重，排烟温度升至155℃。新增声波吹灰器并采用蒸汽吹灰器每周三次吹扫。三个月后，排烟温度降至138℃，锅炉热效率提高0.9%。同时减少受热面腐蚀，检修周期从1年延长至18个月，年节省检修费用260万元，折合年节标煤约1.2万吨。

2. 升级保温材料与设备

锅炉的散热损失是影响其热效率的重要因素之一。采用新型高效保温材料，能够有效降低锅炉的散热损失，提高热效率。目前，市场上出现了许多新型保温材料，如纳米气凝胶保温材料、陶瓷纤维保温材料等。纳米气凝胶保温材料具有极低的导热系数，其保温性能是传统保温材料的数倍。陶瓷纤维保温材料则具有耐高温、耐腐蚀、重量轻等优点，能够在高温环境下保持良好的保温性能^[2]。在对锅炉进行保温改造时，应根据锅炉的运行温度、工作环境等因素，选择合适的新型保温材料，并确保保温层的施工质量，保证保温效果。

对锅炉的一些关键设备进行升级改造，也能够提升锅炉的整体性能。例如，将传统的风机、水泵等设备更换为高效节能型设备，能够降低厂用电率，提高电厂的经济效益。高效节能型风机、水泵通常采用先进的设计理念和制造工艺，其效率比传统设备高出10%~20%。在选择高效节能型设备时，应根据锅炉的实际运行工况，合理匹配设备的型号和参数，确保设备能够在高效区运行。

例如（表二）某200MW机组锅炉原用硅酸铝保温棉，外表面温度达65℃。改用纳米气凝胶毡后，外表面温度降至38℃，散热损失减少40%。同时将引风机更换为高效变频风机，电机功率从1600kW降至1200kW。改造后，锅炉热效率由89.3%提高至90%，厂用电率由6.8%下降至6.5%，年节电约280万度，折合年节约标煤950吨，综合效益超300万元。

表二

指标	改造前	改造后	变化量
保温材料	硅酸铝保温棉	纳米气凝胶毡	材料升级
外表面温度	65℃	38℃	降低27℃
引风机类型	常规风机	高效变频风机	设备升级
电机功率	1600kW	1200kW	降低400kW
锅炉热效率	89.3%	90.0%	提高0.7%
厂用电率	6.8%	6.5%	下降0.3%
年节电量	0万度	减少280万度	节约280万度
年节约标煤量	0吨	减少950吨	节约950吨
综合效益	0万元	超300万元	提升超300万元
散热损失	基准值100%	基准值60%	减少40%

（三）控制系统优化

采用集散控制系统（DCS）或可编程逻辑控制器（PLC），能够实现对锅炉运行参数的实时监测与精准控制。DCS系统通过将控制功能分散到各个现场控制站，

实现对锅炉的分布式控制。操作人员可以在中央控制室通过人机界面，对锅炉的水位、压力、温度、燃烧等参数进行实时监控和调整^[3]。PLC系统则具有可靠性高、编程灵活等优点，能够根据预设的程序对锅炉的设备进行逻辑控制。在实际应用中，可将DCS系统和PLC系统相结合，充分发挥两者的优势，实现对锅炉运行的全方位、智能化控制。

利用传感器技术、大数据分析技术和云计算技术，可对锅炉的运行状态进行实时、全面的监测与分析，实现智能化运行监控。在锅炉的关键部位安装各类传感器，如温度传感器、压力传感器、流量传感器、氧量传感器等，能够实时采集锅炉的运行参数。通过大数据分析技术，对采集到的大量运行数据进行处理和分析，能够挖掘出数据背后隐藏的信息，如设备的故障隐患、运行效率的变化趋势等^[4]。

例如某500MW机组锅炉原用常规PID控制，汽压波动 $\pm 0.5\text{MPa}$ 。引入基于神经网络的DCS系统后，实时优化风煤比和配风方式，气压波动缩小至 $\pm 0.2\text{MPa}$ 。同时结合大数据分析预警，故障停机次数从年均5次降至1次。改造后发电标准煤耗下降 3.2g/kWh ，年增发电量1.2亿kWh，综合效益提升约5000万元。

二、燃煤锅炉性能优化对火力发电厂经济效益的影响

（一）降低燃料成本

通过燃烧优化，提高了燃煤锅炉的燃烧效率，使燃料能够更加充分地燃烧，释放出更多的能量。这意味着在产生相同电量的情况下，所需的燃料量减少^[5]。例如，某火力发电厂通过对燃烧器进行改造，调整风煤比和二次风配风方式，使锅炉燃烧效率提高了3%。按照该厂年发电量50亿千瓦时、发电标准煤耗300克/千瓦时计算，每年可节约标准煤量为： $50 \times 10^8 \times 300 \times 10^{-3} \times 3\% = 45000$ （吨）。假设标准煤价格为800元/吨，则每年可节省燃料成本为： $45000 \times 800 = 3600$ （万元）。

（二）提高发电效率

经过性能优化后，燃煤锅炉的热效率得到提升，能够将更多的燃料化学能转化为蒸汽热能，进而提高汽轮机的进汽参数，使汽轮机能够输出更多的机械能，最终

转化为更多的电能。例如，某火力发电厂通过对锅炉受热面进行清理，更换高效保温材料，使锅炉热效率提高了2%。在汽轮机等其他设备不变的情况下，该厂年发电量增加了： $50 \times 10^8 \times 2\% = 1 \times 10^8$ （千瓦时）。假设上网电价为0.4元/千瓦时，则每年可增加发电收入为： $1 \times 10^8 \times 0.4 = 4000$ （万元）。

（三）减少维护成本

定期清理受热面积灰、结渣，能够有效减轻积灰、结渣对受热面的磨损和腐蚀，延长受热面的使用寿命^[6]。同时，及时发现并处理设备潜在问题，避免了设备故障的发生，减少了设备维修次数和维修费用。例如，某火力发电厂在未进行定期受热面清理时，每年因受热面磨损、腐蚀导致的维修费用高达500万元。实施定期清理措施后，维修费用降低至每年200万元，每年节省维修费用300万元。

结束语

综上，燃煤锅炉性能优化是火力发电厂降本增效、应对挑战的关键。通过燃烧、设备、控制及煤种掺烧等多方面优化，可显著提升效益。未来，持续探索创新技术，深化优化实践，将助力火电厂在绿色发展实现可持续盈利。

参考文献

- [1] 王可峰.煤质化验技术分析在火力发电产业的重要性[J].产业创新研究, 2023, (14): 120-122.
- [2] 王晓涛, 杨倩, 刘进海.火力发电厂启动锅炉与液化天然气站相结合技术应用分析[J].工程与建设, 2022, 36(02): 390-391.
- [3] 韩涛.火力发电厂超低排放实证分析与论证[J].节能与环保, 2021, (09): 64-65.
- [4] 徐义东.火力发电厂锅炉燃煤节能质量管理研究[J].大众用电, 2021, 36(07): 84-85.
- [5] 余桥林.火力发电厂锅炉燃煤节能质量管理研究[J].黑龙江科学, 2020, 11(22): 92-93.
- [6] 李斯.关于火力发电厂燃煤锅炉燃烧优化技术的研究[J].山东工业技术, 2016, (05): 181.