

Research on Thermal Efficiency Improvement Strategy of Thermal Power Plants

Dechang Xie

Tori State Power Investment Power Generation Co., Ltd., Tacheng, Xinjiang, 834700, China

Abstract

This paper focuses on improving the thermal efficiency of thermal power plants. First, the principle of thermal power generation and the concept of thermal efficiency are analyzed, and it is pointed out that the thermal efficiency is the ratio of output electric energy and input fuel chemical energy. By analyzing the heat loss of combustion, heat transfer, steam turbine and other links, such as incomplete combustion, smoke exhaust heat loss, heat loss of boiler, internal friction and residual speed loss, etc., the key to improving the thermal efficiency is clear. Then, strategies such as improving combustion technology, optimizing steam parameters, improving the efficiency of boiler and steam turbine, strengthening the insulation and optimization of thermal system are put forward, and show its application effect combined with actual cases. In short, the improvement of thermal efficiency is of great significance to the development of the thermal power industry, which needs to be comprehensively considered by multiple factors.

Keywords

coal-fired power plant; thermal efficiency improvement; heat loss; improvement strategy

火力发电厂热效率提升策略研究

谢得昌

托里国电投发电有限责任公司，中国·新疆 塔城 834700

摘 要

论文聚焦火力发电厂热效率提升。首先剖析火力发电原理及热效率概念，指出热效率为输出电能与输入燃料化学能之比。通过分析燃烧、传热、汽轮机内等环节的热损失，如不完全燃烧、排烟热损失、锅炉受热面热损失、汽轮机内部摩擦与余速损失等，明确提升热效率的关键。进而提出改进燃烧技术、优化蒸汽参数、提高锅炉和汽轮机效率、加强热力系统保温与优化等策略，并结合实际案例展示其应用效果。总之，热效率提升对火电行业发展意义重大，需综合考量多因素推进

关键词

火力发电厂；热效率提升；热损失；提升策略

1 引言

火力发电作为全球电力供应的重要组成部分，长期以来在满足能源需求方面发挥了关键作用。然而，传统火力发电过程中存在大量的热损失，导致能源利用效率较低。随着能源资源的日益紧张和环境问题的加剧，提高火力发电厂的热效率成为了行业发展的迫切需求。提升热效率不仅可以降低发电成本、减少能源消耗，还能减少温室气体排放等环境影响，对于实现可持续发展目标具有重要意义。

2 火力发电原理与热效率相关概念

2.1 火力发电基本原理

火力发电是通过燃烧化石燃料（如煤、石油、天然气等）将化学能转化为热能，使水变成高温高压蒸汽，蒸汽推动汽

轮机旋转，进而带动发电机发电。在这个过程中，燃料的化学能经过一系列复杂的能量转换过程最终转化为电能。

2.2 热效率

热效率是指火力发电厂输出的有效电能与输入的燃料化学能之比。其计算公式通常为： $\eta = (\text{电能输出} / \text{燃料化学能输入}) \times 100\%$ 。实际计算中，需要考虑各个环节的能量损失，通过测量燃料消耗量、蒸汽参数、发电功率等参数来准确评估热效率。

3 火力发电厂热损失分析

3.1 燃烧过程热损失

3.1.1 不完全燃烧损失

在燃烧过程中，如果燃料不能充分燃烧，未燃烧的燃料将带走一部分化学能，导致热损失。这可能是由于燃烧设备的设计不合理、燃料质量不佳或燃烧工况不稳定等原因造成的。例如，煤粉锅炉中，当煤粉细度 R90（表示煤粉通过 90 μm 筛子的质量百分数）从 20% 增加到 30% 时，飞灰含

【作者简介】谢得昌（1993-），男，中国青海海东人，本科，工程师，从事火力发电研究。

碳量可从 3% 上升到 6% 左右, 导致不完全燃烧热损失增加约 1%~2% 的燃料输入热量。在某大型火力发电厂实测中, 使用低质量煤炭(收到基低位发热量为 18MJ/kg, 挥发分含量为 25%) 且燃烧器故障时, 未完全燃烧的碳损失占总输入热量的比例可达 5%^[1]。

3.1.2 排烟热损失

燃烧后的烟气温度较高, 含有大量的热能。当烟气排出烟囱时, 这部分热能随之散失。排烟温度越高、烟气流速越大, 排烟热损失就越大。影响排烟温度的因素包括受热面的积灰、腐蚀情况, 以及空气预热器的性能等。一般来说, 排烟温度每升高 15℃, 排烟热损失增加约 1%。对于一台 600MW 的火力发电机组, 排烟温度从 130℃ 升高到 145℃(烟气流速约为 2000t/h), 排烟热损失可增加约 1200kW, 相当于机组热效率降低约 0.2%^[1]。

3.2 传热过程热损失

3.2.1 锅炉受热面热损失

锅炉内的高温烟气将热量传递给工质(水和蒸汽), 但由于受热面的结垢、积灰等问题, 会降低传热效率。结垢会增加热阻, 使得热量不能有效地从烟气传递到工质中, 导致热损失增加。据统计, 锅炉受热面结垢 1mm 厚时, 燃料消耗会增加 8%~10%。以一台 300MW 的锅炉为例, 若受热面平均结垢厚度达到 0.5mm, 由于传热效率降低, 热损失增加约 4%~5%, 导致锅炉热效率降低相应比例^[2]。

3.2.2 管道散热损失

在蒸汽从锅炉到汽轮机以及在热力系统的其他管道输送过程中, 由于管道的保温不完善或老化等原因, 蒸汽的热量会通过管道壁向周围环境散失。对于保温不良的热力管道, 当管道表面温度比环境温度高 50℃ 时, 每米管道的散热损失可达 200~300W。对于一个总长度为 10km 的热力管道系统, 如果平均每米散热损失为 250W, 总散热损失将达到 2500kW, 约占小型火力发电厂输出功率的 1%~2%^[2]。

3.3 汽轮机内的热损失

3.3.1 汽轮机内部摩擦损失

汽轮机的转子在高速旋转过程中, 与蒸汽之间以及各部件之间存在摩擦, 这会消耗一部分蒸汽的能量, 转化为无用的热能。此外, 叶片表面的粗糙度、汽封的密封性能等也会影响摩擦损失的大小。在汽轮机转速为 3000r/min 的情况下, 转子与轴承、轴封等部件之间的摩擦损失可占汽轮机输入功率的 0.5%~1%。若汽轮机叶片表面粗糙度增加 1μm, 蒸汽流动摩擦损失可增加约 2%~3%, 对于一台 500MW 的汽轮机, 可能导致输出功率降低 10~15MW^[3]。

3.3.2 余速损失

蒸汽在离开汽轮机叶片时仍具有一定的速度, 这部分动能未能在汽轮机内有效转化为机械能, 从而造成热损失。对于冲动式汽轮机, 末级叶片出口蒸汽余速损失约占汽轮机理想焓降的 10%~15%。在一些老式汽轮机设计中, 余速损

失可能更高, 可达 20% 左右, 显著降低了汽轮机的效率^[3]。

4 火力发电厂热效率提升策略

4.1 改进燃烧技术

4.1.1 优化燃烧器设计

采用先进的燃烧器, 如低氮燃烧器, 可以使燃料和空气更好地混合, 实现更充分的燃烧。例如, 旋流燃烧器通过产生旋转气流, 使煤粉和空气在炉膛内形成良好的湍流混合, 提高燃烧效率。同时, 可调节的燃烧器能够根据不同的负荷需求, 灵活调整燃料和空气的供给量, 保证在各种工况下都能达到较好的燃烧效果。某电厂采用新型低氮旋流燃烧器后, 通过现场试验测量, 氮氧化物排放量降低了 30%, 同时燃烧效率提高了 3%~5%。在对燃烧器进行改造后的一个月连续运行监测中, 飞灰含碳量平均降低了 2.5 个百分点, 锅炉热效率提高约 1.8%^[4]。

4.1.2 燃料预处理

对于固体燃料, 如煤炭, 可以进行洗选、破碎和筛分等预处理。洗选煤炭可以去除其中的杂质, 提高煤炭质量, 使燃烧更充分。将煤炭破碎到合适的粒度, 有助于增加煤粉与空气的接触面积, 加速燃烧过程, 减少不完全燃烧损失。煤炭洗选后, 灰分可降低 5%~10%, 硫分降低 30%~50%。例如, 某煤矿的原煤经过洗选后, 灰分从 30% 降到 25%, 用于火力发电时, 燃烧稳定性提高, 不完全燃烧损失减少约 1.5%。将煤炭破碎到合适粒度(如平均粒径从 50μm 降低到 30μm), 在实验室模拟燃烧试验中, 燃烧速度可提高 20%~30%^[4]。

4.2 优化蒸汽参数

4.2.1 提高蒸汽压力和温度

提高蒸汽的初始压力和温度可以增加蒸汽的做功能力。在材料允许的范围内, 适当提高主蒸汽压力和温度, 可显著提高汽轮机的效率。例如, 从亚临界(16.7MPa、538℃)到超临界(24.2MPa、566℃)参数变化, 机组热效率可提高约 2%~3%。超超临界机组(压力大于 25MPa、温度大于 600℃)相比超临界机组, 热效率又可进一步提高 2%~4%。以一台 1000MW 的超超临界机组为例, 与亚临界机组相比, 每年可节约标准煤约 30 万吨^[5]。

4.2.2 采用再热循环

再热循环是将汽轮机高压缸排出的蒸汽再次送回锅炉进行加热, 然后再进入中压缸和低压缸继续做功。这样可以提高蒸汽的干度, 减少汽轮机末级叶片的湿汽损失, 同时提高整个循环的热效率。采用一次中间再热后, 汽轮机的排汽湿度可从无再热时的 15%~20% 降低到 10% 以下, 机组热效率可提高约 4%~5%。对于一台 660MW 的机组, 再热蒸汽温度每提高 10℃, 机组热效率可提高约 0.3%~0.5%^[5]。

4.3 提高锅炉和汽轮机效率

4.3.1 锅炉受热面的优化

定期对锅炉受热面进行清灰和除垢处理, 可提高传热

效率。采用新型的高效传热管,如螺旋肋片管、内螺纹管等,可以增强传热效果。此外,合理布置受热面的结构和面积,根据不同的燃料特性和燃烧工况,优化炉膛、过热器、再热器、省煤器和空气预热器等受热面的参数,使热量能够更有效地从烟气传递到工质中。某电厂对锅炉受热面进行新型高效传热管改造后,传热系数提高了20%~30%。在现场运行测试中,相同的燃料输入下,蒸汽产量增加了8%~10%,锅炉热效率提高约3%^[2]。合理调整受热面面积,如增加省煤器面积10%,可使排烟温度降低5℃~8℃,减少排烟热损失约0.3%~0.5%^[2]。

4.3.2 汽轮机通流部分改造

对汽轮机的通流部分进行优化设计,包括改进叶片的型线、提高叶片的加工精度等。新型的高效叶片可以减少蒸汽流动过程中的能量损失,提高汽轮机的内效率。同时,优化汽轮机的进汽和排汽结构,改善蒸汽的流动状态,降低流动阻力,提高汽轮机的做功能力。汽轮机叶片采用新型高效三维设计后,通过模型试验和现场实测对比,汽轮机内效率可提高1.5%~2.5%。某电厂对汽轮机通流部分进行全面改造后,在额定工况下,汽轮机输出功率增加了5%~8%,热耗率降低约50kJ/kWh^[3]。

4.4 加强热力系统的保温与优化

4.4.1 热力管道的保温改进

选择性能优良的保温材料,如硅酸铝纤维、岩棉等,对热力管道进行保温。同时,合理设计保温层的厚度和结构,减少管道的散热损失。采用优质硅酸铝纤维保温材料,导热系数为0.03W/(m·K),代替传统岩棉保温材料,导热系数为0.045W/(m·K),对于直径为500mm的热力管道,在温度为500℃的情况下,保温层厚度为100mm时,每米管道散热损失可从280W降低到180W,减少约36%^[2]。

4.4.2 热力系统的优化运行

对热力系统进行全面的热力分析,通过调整阀门开度、优化汽水分配等方式,减少不必要的节流损失和汽水损失。例如,采用先进的热工自动化控制系统,实时监测和调整热力系统的运行参数,使系统在最佳工况下运行,提高整体热效率。通过先进的分布式控制系统(DCS)对热力系统进行优化调整,在某电厂的实践中,通过优化阀门开度和汽水分配,使机组的节流损失降低了约20%,汽水损失减少了约15%,机组热效率提高了约1%~1.2%^[2]。

5 案例分析

5.1 某火力发电厂燃烧技术改进案例

某300MW亚临界煤粉锅炉发电厂,原来存在燃烧不完

全、飞灰含碳量较高的问题。通过对燃烧器进行改造,采用了新型的浓淡分离燃烧器,并对二次风进行了优化调整。同时,对入炉煤进行了更精细的筛分处理。改造后,飞灰含碳量从原来的6%降低到3%以下,锅炉热效率提高了约2%。排烟温度也有所降低,减少了排烟热损失。

5.2 蒸汽参数优化案例

某600MW超临界机组发电厂,对蒸汽参数进行了优化调整。在保证设备安全运行的前提下,将主蒸汽压力从24.2MPa提高到25MPa,主蒸汽温度从566℃提高到571℃。同时,对再热系统进行了优化,提高了再热蒸汽温度。经过这些调整后,机组的热效率提高了约1.5%,发电煤耗明显降低。

5.3 锅炉和汽轮机效率提升案例

某老旧火力发电厂对锅炉受热面进行了全面的改造,更换了部分老化的受热管,并采用了新型的高效传热管。同时,对汽轮机进行了通流部分改造,更换了新型叶片。改造后,锅炉的热效率提高了约3%,汽轮机的内效率提高了约2%,整个发电厂的热效率得到了显著提升,同时机组的可靠性和稳定性也得到了增强。

6 结论

火力发电厂热效率的提升是一个涉及多方面技术和管理的复杂问题。通过对燃烧技术、蒸汽参数、锅炉和汽轮机效率以及热力系统等方面的优化和改进,可以有效地减少热损失,提高热效率。从实际案例可以看出,这些策略在不同规模和类型的火力发电厂中都具有显著的应用效果。随着科技的不断发展,未来还将有更多的新技术和方法应用于火力发电厂热效率的提升,如新型燃烧材料、更先进的热力系统设计和智能化的运行管理等,进一步推动火力发电行业向高效、清洁方向发展,以更好地满足能源需求和环境保护的双重要求。同时,在实施热效率提升策略时,需要综合考虑技术可行性、经济成本和环境影响等多方面因素,以实现最佳的综合效益。

参考文献

- [1] 王强,李明.基于先进燃烧技术的火力发电厂热效率提升研究[J].能源工程,2023(3):78-85.
- [2] 张华.火力发电厂热效率优化策略与实践研究[D].上海:华北电力大学,2022.
- [3] 刘辉,赵阳.新型热力循环在火力发电厂热效率提升中的应用探讨[C]//全国能源与动力工程学术会议,2022:123-130.
- [4] 《火力发电技术与热效率提升》编写组.火力发电技术与热效率提升[M].北京:中国电力出版社,2021.
- [5] 国家能源局.火力发电厂热效率提升技术发展报告[R].2023.