

# 大型火力发电厂热效率提升技术探讨

李 祯 唐海军 张军飞

**摘 要：**大型火力发电厂是我国电力供应的主要支柱，它的热效率同能源利用效率、发电成本控制、生态环境保护密切相关。目前我国大型火电厂热效率已经实现稳步提高，但是受机组设备老化、能量转换环节损耗、运行工况波动等影响，同国际先进水平还有差距。本文从火电厂实际出发，对提高热效率的重要技术进行了系统的讨论，从锅炉、汽轮机、热力系统等核心设备的优化、燃烧调整、智能运维等运行控制的改进等几个方面进行分析，总结出各种技术应用原理、实施效果和适用场景，分析技术应用中的重点难点，并提出有针对性的建议。经过研究得知，依靠多技术的协同运用，可以降低能量损耗，从而促使火电厂热效率明显提高，给大型火电厂的节能降耗、绿色转型提供技术上的参考和实践上的指导。

**关键词：**大型火力；发电厂；热效率提升技术

伴随着我国双碳目标推进和能源结构转型加速，大型火力发电厂要面对节能降耗和清洁低碳双重挑战。火电厂用燃烧化石燃料将化学能转化成热能，再经过热力循环变成电能，在这个过程中存在大量的能量损耗，热效率提高的空间很大。目前我国大型机组的热效率为45%，国际先进水平已经达到48%，主要是由于锅炉排烟损失、汽轮机通流损失、热力系统换热损失等环节造成的。提高热效率不但可以降低煤炭的消耗、减少污染物的排放，还可以提高电厂的经济效益和市场竞争能力。因此，对大型火力发电厂热效率提升技术进行深入研究，破解能量损耗难题，改善技术应用方案，对于促进火电行业高质量发展，保障能源安全，实现绿色低碳转型有着十分重要的现实意义和工程价值。

## 一、大型火力发电厂热效率现状及损耗分析

### （一）热效率现状

目前我国大型火力发电厂主力机组以300MW、600MW、1000MW等级燃煤机组为主，随着超超临界、二次再热等技术的应用，机组的热效率也得到了提高。1000MW超超临界二次再热机组供电煤耗为255g/kWh，净效率为48%，接近国际先进水平；600MW超临界机组平均热效率为44%~46%，300MW级机组平均热效率为42%~44%<sup>[1]</sup>。但是从整体上来看，区域差异大、老旧机组效率低、部分机组运行优化不到位的问题仍然存在，大部分现役机组的节能潜力依然非常巨大。东部经济发达地区机组技术更新较快，效率较高，而中西部部分电厂还有大量2000年以前投产的陈旧机组，热效率比先进

机组低5%~8%，成为行业节能降耗的薄弱环节。

### （二）主要能量损耗环节

大型火电厂热效率低主要是由于多环节的能量转换中存在着损耗，其中最主要的是四大类。锅炉排烟热损失占总热损失的10%~15%，是最大的热损失来源，主要由于高温烟气携带大量热量直接排放，排烟温度过高、烟气流速过大造成热量浪费严重，有研究表明将排烟温度由220℃降到150℃，锅炉效率可以提高近3%。汽轮机通流损耗占总热损失的8%~12%，是由于蒸汽在汽轮机内流动时产生摩擦、撞击、漏汽，使蒸汽的热能不能全部转化为机械能。热力系统换热损失，占总热损失的5%到8%，主要发生在省煤器、空气预热器、凝汽器等换热设备，因为换热面结垢、积灰、漏风等原因造成换热效率降低<sup>[2]</sup>。

## 二、大型火力发电厂热效率提升核心技术

### （一）锅炉系统热效率提升技术

锅炉是火电厂热能产生的主要设备，锅炉的效率直接影响到整个机组的热效率，主要通过燃烧优化、传热强化和余热回收三大技术途径来提高锅炉效率。燃烧优化技术上采用低氮燃烧器升级、分级燃烧改造，配合烟气再循环（FGR）技术，可以减少NO<sub>x</sub>排放的同时优化燃料燃烧工况，减少不完全燃烧损耗，对燃煤进行破碎、除杂预处理，保证颗粒均匀性，配合智能配风系统，实时调节烟气含氧量至2%~3%，精准匹配燃料与空气比例，降低过量空气系数，使锅炉燃烧效率提高1%~2%。另外还可以利用燃料在线检测技术对燃煤热值、灰分等

指标进行实时监测, 根据检测结果动态调整燃烧参数, 从而抑制由于燃料性能变化所引起的燃烧效率下降, 进而改善燃烧稳定性及经济性。因此根据煤种特性和技术经济性, 提出一套煤炭高效燃烧控制策略, 对降低煤炭间接液化过程中能量损失具有直接的实践意义。传热强化技术主要针对锅炉受热面进行优化, 定期使用蒸汽或者声波吹灰器进行吹灰除垢, 减小水冷壁、过热器、再热器等受热面的热阻, 提高传热系数10%~15%; 采用鳍片管、螺旋肋片管等扩展受热面设计, 增加换热面积20%~30%, 进一步强化传热效果。余热回收技术是减少排烟热损失的主要方法, 设置低温省煤器, 用锅炉排烟余热预热给水, 使排烟温度降到150℃以下, 锅炉效率可提高1%~2%; 同时配套空气预热器优化改造, 提高助燃空气加热温度到200℃~400℃, 实现烟气余热的梯级利用, 降低能量损耗。低温省煤器可以选用耐腐蚀的材料来适应烟气低温腐蚀的环境, 从而延长设备的使用寿命, 并且配备疏水回收系统, 减少水资源和热能的浪费。对受热面进行防结垢涂层处理, 延缓结垢的速度, 延长吹灰周期, 降低吹灰能耗, 优化受热面布置的方式, 减小烟气流动阻力, 在保证传热效率的同时提高烟气排放效率, 达到双重节能的目的<sup>[3]</sup>。

### (二) 汽轮机系统热效率提升技术

汽轮机是热能向机械能转换的核心设备, 通流效率提高是机组热效率改善的主要途径。通流部分改造为主体技术, 用先进三维流场设计, 优化高压缸、中压缸、低压缸静叶片、动叶片的设计, 减小汽轮机通流间隙漏汽量, 降低流体摩擦和撞击损耗, 提高汽轮机通流效率约2%到3%。对于老式机组, 可以同时汽封做改型处理, 采用柔性汽封、蜂窝汽封等新型汽封代替原来的梳齿汽封, 减小漏汽损失, 提高机组出力及效率。在改造过程中可以采用数值模拟技术, 准确模拟蒸汽流动状态, 优化叶片型线和汽封间隙, 保证改造效果达到设计标准, 控制改造工期和成本, 减少对电厂正常生产的影响。除此之外, 汽轮机运行参数优化也能提高热效率, 在安全范围内适当提高主蒸汽压力和温度, 推广630℃超超临界二次再热技术, 主蒸汽压力 $\geq 35\text{MPa}$ 、温度630℃, 二次再热温度620~630℃, 可以使得机组净效率突破48%; 优化汽轮机真空度, 通过凝汽器改造、循环水系统优化, 降低凝汽器端差和真空度偏差, 保证凝汽器处于最佳运行状态, 减少蒸汽排汽损失, 每提升1kPa真空度, 机组热效率可提高0.3%~0.5%。另外使用超临界CO<sub>2</sub> (sCO<sub>2</sub>)

布雷顿循环发电技术, 用超临界CO<sub>2</sub>代替水蒸气, 没有相变, 流程简单, 在相同参数下比蒸汽循环高3至5个百分点, 特别适合于余热发电和缺水地区的电厂。该技术目前已经进入中试阶段, 规模化应用将会给火电效率的提高提供新的途径<sup>[4]</sup>。

### (三) 热力系统整体优化技术

热力系统是火电厂能量传递、循环的中心, 它的主要目的就是减少换热损失、提高循环效率。首先, 对回热系统进行优化, 调节高压加热器、低压加热器的运行参数, 定期清洗换热管, 减少换热面结垢、堵塞, 提高回热效率; 优化除氧器运行工况, 保证除氧效果, 减少给水含氧量, 降低管道和设备的腐蚀损耗, 避免除氧不彻底造成的换热效率下降。其次循环水系统优化, 采用变频调速技术改造循环水泵, 根据机组负荷变化实时调节循环水流量, 防止出现大马拉小车的现象, 降低循环水泵的电耗, 优化冷却塔填料, 提高冷却效果, 降低循环水温度, 间接提高汽轮机真空度。可采用循环水水质在线监测系统, 对水质超标及时处理, 降低凝汽器结垢, 保证循环水系统稳定高效运行。热动力系统漏漏也需重视, 定时对管道、阀门和法兰等连接部位开展巡查工作, 采用先进的检测手段及时找出漏点, 防止浪费能源; 另外还需改进热力管道的保温状况, 使用性能较高的保温材料来减少管线散热, 尤其是高温高压管道的散热损耗可削减30%以上。光煤互补+熔盐储热耦合技术也属于重要方向, 依靠太阳能辅助加热锅炉给水或者再热蒸汽, 削减煤耗, 而且利用熔盐储热平滑新能源出力, 改善电网接纳能力, 达成协同增效。该技术可以适应我国西北、华北等太阳能资源丰富地区的火电厂, 已经在多个示范项目中得到应用, 节能效果明显。

### (四) 运行管控与智能运维技术

良好的运行管控和智能运维是热效率提升技术落地见效的保证, 可以实现机组全工况高效运行。燃烧调整优化方面建立基于大数据的燃烧优化模型, 实时监测燃料特性、炉膛温度、烟气成分等参数, 动态调整煤粉细度、给煤量、配风比例, 保证锅炉在最佳燃烧工况下运行, 减少燃烧损耗; 同时推行负荷优化分配, 根据机组容量、效率特性合理分配各机组负荷, 避免机组长期处于低负荷、低效率工况运行。可以搭建机组负荷实时监控平台, 根据电网调度要求动态调整负荷分配方案, 在保证供电稳定性的基础上尽可能提高机组的整体热效率。智能运维技术方面, 创建电厂全流程数字孪生模型, 整

合物联网、大数据、AI算法,达到工况智能预测、设备故障提前预警的效果,从而取代人工检测,自主调节燃烧和汽水系统,使煤耗降低至2-3g/kWh;对引风机、送风机、给水泵等关键辅机使用变频调速加永磁调速改造的方式,使厂用电率降至4%以下(传统机组为6-8%);创建设备状态检修体系,经由振动检测、油液分析等办法实时掌握设备运转情况,提前探查设备隐患,防止因为设备故障造成的效率下降,延长设备使用寿命。此外加强人员培训,提高运行人员、检修人员的专业技能,保证各类优化技术规范的实施、高效运行。定期进行技术实操培训、考核,邀请行业专家现场指导,提高员工对新技术的掌握。

### 三、热效率提升技术应用难点及解决对策

#### (一) 主要应用难点

虽然各种热效率提高技术已经比较成熟,但是在大型火电厂实际应用中还存在许多困难。技术适配性欠缺,不同电厂的机组容量、设备型号、燃料特性千差万别,部分先进技术不能直接套用,必须做个性化的改造,加大技术应用成本和难度,改造资金投入大,尤其是老旧机组,核心设备改造、智能系统搭建需要大量资金,部分电厂资金紧张,技术改造进度滞后,多技术协同性不够,部分电厂只应用一种技术,未实现锅炉、汽轮机、热力系统和运行管控的协同优化,无法发挥技术的整体效能,技术运维难度大,部分先进技术(数字孪生、sCO<sub>2</sub>循环发电)对运维人员的技能要求较高,现有人员的技能水平不能满足运维要求。由于运维人员不足,即使完成了技术改造,也不能充分发挥出设备的高效性能,造成节能效果不理想。

#### (二) 针对性解决对策

根据上述难点,结合火电厂的实际情况给出以下解决办法。对电厂机组参数、燃料特性、运行工况等进行个性化的设计,按照实际情况来制定出有针对性的热效率提升方案,选择适合的技术,避免盲目改造,如低热值燃料电厂可以选用高效超超临界循环流化床(CFB)技术;拓宽资金筹措渠道,争取国家节能补贴和绿色电力扶持资金,优化资金的使用方案,优先投入性价比、见效快的技术改造项目,如辅机变频改造、余热回收改

造等;推进多技术协同优化,树立系统的思维,统筹锅炉、汽轮机、热力系统以及运行管控等各个环节,实现多技术协同应用,发挥技术的整体效能,如用630℃超超临界二次再热技术配合智能运维系统来提升综合的优化效果;加强人才培育和技术合作,与科研院所、技术企业合作开展运维人员的专业培训,提高运维人员的技能水平,引进先进的运维经验来解决技术运维难题,推动技术的持续优化升级。可以创建校企合作的培训基地,定向培养专业运维人才,缓解人员短缺压力。

#### 结束语

综上所述,大型火力发电厂热效率的提高,是火电行业节能降耗、绿色转型的主要举措,也是实现“双碳”目标、保证能源安全的重要途径。本文对锅炉系统、汽轮机系统、热力系统优化及运行管控、智能运维等主要热效率提升技术进行了系统的分析,对各种技术的应用原理和实施效果进行了分析,并指出了技术应用中存在的适配性、资金、协同性、运维等各方面的难点,提出了相应的解决对策。经过实践证明,采用多种技术协同运用、个性化方案制定、智能运维保障等方式可以有效降低各个方面的能量损耗,使大型火电厂热效率提高1%-3%,大大降低发电成本和污染物排放。随着科技的发展,应当加强对新型热效率提高技术的研发和应用,使技术向高效、智能、低碳化发展,加强技术协同和人才培育,助力大型火力发电厂实现高质量、绿色可持续发展。

#### 参考文献

- [1] 李伟.大型火力发电厂碎煤机室检修设施研究[J].电力勘测设计,2025,(S1):117-121.
- [2] 原泰春.大型火力发电厂过热汽温自动控制方法研究[J].自动化应用,2025,66(17):216-218.
- [3] 蒋易航.1000MW大型火力发电厂电气节能降耗技术分析[J].电力设备管理,2025,(16):268-270.
- [4] 蔡俊财.炉管泄漏监测系统在大型火力发电厂的优化与应用[J].科技与创新,2025,(05):215-217+225.
- [5] 赵可帝.大型火力发电厂建设项目中的关键风险管理与控制措施[J].锅炉制造,2025,(02):62-64.