

火力发电厂效率提升技术的最新进展

亓继伟 孙贵楠 王圣凯 陈旭峰
华能平凉发电有限责任公司 甘肃 平凉 744000

摘要：提升火力发电效率对能源高效利用与可持续发展至关重要。当前，超临界与超超临界机组技术通过优化蒸汽参数显著提升热循环效率；先进燃烧技术实现燃料充分转化；余热回收技术挖掘余热价值；智能化运行技术优化设备工况。未来，高参数化、多能互补、低碳化及数字化融合将成发展方向，这些技术进展可减少能耗与排放，提升燃料利用率，为火力发电行业增效提供有力支撑。

关键词：火力发电厂；效率提升；技术；进展

引言

在能源供应体系中，火力发电地位关键，其效率提升是行业可持续发展的核心课题。当下能源与环境压力不断增大，火力发电需寻求突破。通过优化燃烧以提升燃料利用率、升级设备增强运行效能、回收余热减少能量损耗、智能化管理实现精准调控等，成为增效焦点。本文围绕火力发电效率提升技术，阐述超临界机组、先进燃烧等现有技术进展，分析高参数化、低碳化等发展趋势，为相关实践提供技术参考与方向指引。

1 火力发电效率提升概述

火力发电在能源供应体系中占据重要地位，提升其发电效率对于企业的可持续发展和能源的高效利用意义重大。在燃料利用环节，优化燃烧过程是关键。通过采用先进的燃烧技术与设备，能促使燃料更充分地燃烧，减少不完全燃烧造成的能量损失。比如运用新型燃烧器，可精准调控燃料与空气的混合比例，让燃烧反应更接近理想状态，进而将更多燃料化学能转化为热能，为后续发电环节提供更充足能量。在发电设备方面，对汽轮机、发电机等核心设备进行技术升级与优化，能显著提升发电效率。采用先进的汽轮机叶片设计，能有效改善蒸汽做功过程，降低蒸汽在汽轮机内流动的能量损耗，使蒸汽蕴含的能量更高效地转化为机械能。而高性能发电机凭借低电阻绕组材料和优化的电磁设计，可减少电能转化过程中的电阻发热损耗，提高机械能向电能的转化效率。余热回收利用也是提升火力发电效率的重要途径。发电过程产生的大量余热若直接排放，会造成能源浪费。借助余热回收装置，将余热用于加热给水、预热空气等，可提高进入锅炉的水和空气温度，减少燃料消耗，让能源得到梯级利用，从整体上提升发电效率。运行管理层面，实时监测与精准调控设备运行参数不可或缺。利用先进的自动化控制系统，持续监测锅

炉、汽轮机等设备运行状态，根据负荷变化及时调整设备运行参数，使设备始终处于最佳运行工况，避免因参数不合理导致的效率降低。加强设备维护保养，确保设备性能稳定，减少因设备故障引发的停机时间与能量损耗，保障火力发电高效、稳定运行。

2 火力发电厂效率提升技术

2.1 超临界与超超临界机组技术

超临界与超超临界机组技术是提升火力发电效率的前沿路径。在超临界机组中，锅炉内工质压力超越水的临界压力，当达到这一压力及对应的临界温度时，水呈现出不同于常态的物理性质，其气液两相的差异消失，密度趋于一致。这使得工质在循环过程中，能更高效地传递热量，减少能量传递过程中的不可逆损失。蒸汽在汽轮机内的膨胀做功过程也更为顺畅，蒸汽的焓降得到更充分利用，进而提高了汽轮机将热能转化为机械能的效率。超超临界机组则更进一步，其蒸汽温度处于较高水平，或蒸汽压力达到很高值。更高的蒸汽参数使得机组的热循环效率得到显著提升。从能量转换的角度来看，高温高压的蒸汽蕴含着更高品质的能量，在汽轮机中能够释放出更多可用功。与常规机组相比，超超临界机组热效率有显著提高。在实际运行中，这意味着消耗相同量的燃料，超超临界机组能够发出更多的电能，极大地提升了燃料的利用效率，减少了煤炭等化石能源的消耗，在降低发电成本的同时，也为缓解能源短缺和减少温室气体排放做出重要贡献。

2.2 先进燃烧技术

先进燃烧技术致力于优化燃料在锅炉内的燃烧过程，力求实现燃料化学能向热能的高效转化。以超焓燃烧技术为例，该技术借助先进的多孔介质红外燃烧辐射增强效果，实现了低温环境下甲烷及挥发性有机物（VOCs）的高效热氧化。其燃烧过程中，燃料与空气在

多孔介质内充分混合,通过辐射传热的方式,使得燃烧反应更为均匀、稳定地进行。这种独特的燃烧模式,不仅提高了燃料的燃烧速率,使得燃料能够在更短时间内充分燃烧,减少了不完全燃烧产物的生成,还显著提升了燃烧效率,处理效果极佳。在一些工业应用场景中,如油田开采过程中产生的成分复杂、浓度波动剧烈且排放点分散的废气,传统燃烧技术往往因处理效率低、能耗高及二次污染等缺陷而难以应对。先进燃烧技术凭借其独特的设计和反应机制,能够有效克服这些难题。通过对燃烧过程的精准控制,先进燃烧技术可以根据燃料特性和燃烧工况的变化,实时调整燃烧参数,确保燃料始终处于最佳燃烧状态,最大限度地将燃料的化学能转化为热能,为后续的发电环节提供充足且高品质的热能输入^[1]。

2.3 余热回收技术

余热回收技术是挖掘火力发电过程中潜在能源价值的重要手段。在火力发电过程中,大量的余热会随着锅炉排烟、汽轮机乏汽等途径被排放到环境中,若不加以回收利用,将造成巨大的能源浪费。以烧结烟气余热回收技术来说,该技术充分考量了烟气的不同品位,采用将两股不同温度的烟气分信道进入锅炉的方式,能够有效提高余热总利用率。通过这种分级利用的策略,高温烟气先将热量传递给高温段受热面,产生高温高压蒸汽;低温烟气则进一步加热低温段受热面,预热给水或产生低压蒸汽,实现了热量的梯级回收,使余热总利用率得到显著提升。在汽轮机乏汽余热回收方面,通过设置专门的余热回收装置,利用乏汽的热量加热生活用水或工业生产中的其他介质。这样一来,原本被白白浪费的能量得以重新利用,提高了整个电厂的能源综合利用效率。余热回收不仅减少了对外部能源的需求,降低了发电成本,还减少了因余热排放对环境造成的热污染,实现了经济效益与环境效益的双赢。

2.4 智能化运行与优化技术

智能化运行与优化技术为火力发电厂的高效稳定运行提供了有力支撑。借助大数据、物联网、人工智能等前沿技术,电厂能够对设备的运行状态进行全方位、实时的监测。通过整合历史运行数据、气象信息、电网负荷等多源数据,利用先进的算法模型对发电策略进行动态优化。在不同的天气条件下,根据光照强度、气温、湿度等气象因素,结合电网实时负荷需求,精准调整发电机组的出力,使机组运行始终处于最佳工况,避免因过度发电或发电不足导致的能源浪费和效率降低。在设备维护方面,智能化技术通过结合知识图谱与物理机理

模型,构建设备数字孪生体,实现从传统的“故障后维修”向“预测性维护”的转变。通过对设备运行数据的深度分析,提前预测设备可能出现的故障隐患,及时安排维护检修工作,有效减少了非计划停机风险,延长了设备使用寿命,降低了设备维护成本。在某大型火力发电厂的实际应用中,采用智能化运行与优化技术后,设备的非计划停机时间大幅缩短,发电效率得到显著提升,为电厂带来了可观的经济效益。

3 火力发电厂效率提升技术的发展趋势

3.1 高参数化与大型化持续推进

(1) 机组参数向更高水平突破,通过提升蒸汽温度与压力,进一步缩小实际循环与理想卡诺循环的差距,使热能向机械能的转化过程更接近理论极限,在燃料消耗相同的情况下,单位时间内可输出更多电能,这种参数提升不仅依赖材料科学的进步,更需要热力系统设计的协同优化,确保高温高压环境下设备的稳定性与安全性,避免因材料疲劳或热应力集中导致的性能衰减。

(2) 机组容量的大型化发展,能够降低单位功率的建设成本与运行能耗,大型机组在负荷调节的灵活性上虽面临挑战,但通过优化汽轮机通流部分设计与锅炉燃烧系统匹配度,可实现宽负荷范围内的高效运行,同时大型化带来的规模效应能减少系统附属设备的相对能耗,使整个发电系统的综合效率得到提升。(3) 高参数与大型化的结合,需要建立全生命周期的性能管控体系,从设备制造环节的精度控制到运行过程中的参数动态调整,再到维护阶段的针对性保养,形成完整的技术闭环,确保机组在长期运行中保持设计效率,同时通过模块化建设与标准化运维,降低大型机组在建设周期与运行管理中的复杂性^[2]。

3.2 多能互补与系统集成化

(1) 将火力发电与可再生能源发电形式有机融合,通过构建统一的能源转换与调度平台,实现不同能源形式的优势互补,例如利用太阳能预热锅炉给水,减少燃料消耗,或借助风电、光伏的波动性调节火电负荷,使机组在稳定出力的同时,降低深度调峰对效率的负面影响,这种融合并非简单的设备叠加,而是基于能量品位差异的梯级利用。(2) 系统集成化体现在热力系统与辅助系统的深度耦合,通过优化余热回收网络,将发电过程中不同温度等级的余热分别用于驱动吸收式制冷、供暖或海水淡化等工艺,形成“发电+”的多联产模式,提升能源综合利用效率,同时通过整合脱硫、脱硝等环保系统与主发电系统的能量流,减少辅助设备的能耗占比。(3) 多能互补系统的稳定性依赖于能量存储技术

的支撑,通过储热、储电等手段平衡不同能源输入的波动,确保整个系统输出的连续性与稳定性,这种集成化发展需要打破传统设备间的技术壁垒,建立统一的控制模型,实现各子系统间的动态响应与协同运行,提升整体系统的抗干扰能力与运行经济性。

3.3 低碳化与清洁化技术加速发展

(1) 燃烧过程的低碳化改造聚焦于燃料的清洁利用,通过开发新型催化剂与燃烧助剂,促进燃料中碳元素的充分氧化,减少未燃尽碳的排放,同时探索富氧燃烧等技术路径,提高烟气中二氧化碳的浓度,为后续捕集与利用创造有利条件,这种改造需兼顾燃烧效率与碳排放控制,避免因过度追求低碳而导致的能耗增加。

(2) 烟气净化技术向深度脱除方向发展,在常规脱硫、脱硝基础上,强化对细颗粒物、重金属等污染物的协同去除,通过优化净化装置的流场分布与反应条件,提高污染物脱除效率的同时降低系统阻力,减少引风机的能耗,使清洁化过程本身的能源消耗控制在合理范围,实现环保与能效的协同提升。(3) 碳捕集与利用技术的集成应用成为重要方向,通过将捕集的二氧化碳用于驱油、化工合成等领域,形成碳循环利用的闭环,在技术选择上,需结合机组运行特性,选择能耗较低的捕集工艺,如胺法吸收的改良技术或膜分离技术的优化应用,确保在实现低碳目标的同时,不对发电效率造成显著负面影响。

3.4 数字化与智能化深度融合

(1) 数字孪生技术在机组全生命周期的应用不断深化,通过构建与实体设备完全映射的虚拟模型,实时同步运行数据与物理状态,实现对设备性能的动态仿真与预判,借助虚拟模型可模拟不同运行工况下的参数变化,提前发现潜在的效率损耗点,为运行调整提供精准指导,这种虚实结合的模式能显著提升系统优化的及时

性与准确性。(2) 人工智能算法在运行优化中的应用更加深入,基于海量历史运行数据与实时监测信息,算法模型可自主学习机组的最优运行区间,动态调整锅炉燃烧参数、汽轮机进汽量等关键指标,使机组在负荷波动、燃料品质变化等复杂条件下仍能保持高效运行,同时通过对设备振动、温度等特征参数的分析,实现故障的早期预警与精准定位。(3) 智能化运维体系逐步完善,通过物联网技术实现设备状态信息的全面感知与互联,结合移动巡检机器人与智能传感器,构建无死角的监测网络,运维决策系统可根据设备健康状态与运行需求,自动生成最优维护方案,合理安排检修周期与内容,减少不必要的停机时间,同时通过知识图谱整合设备运维经验,实现故障处理的标准化与高效化,从整体上提升机组的可用率与运行效率^[3]。

结语

综上所述,火力发电效率提升技术已在超临界机组、先进燃烧、余热回收及智能化运行等方面取得显著进展,有效提升了燃料利用率与发电效率。未来,高参数化与大型化、多能互补、低碳清洁化及数字化智能化融合将持续推动行业进步。通过技术创新与实践应用,可实现能耗降低与排放减少,为能源高效利用和可持续发展奠定坚实基础,助力行业迈向更高效、清洁的发展阶段。

参考文献

- [1] 邢丹涛.火力发电厂热机效率提升与超超临界技术应用研究[J].建筑工程与设计,2024,3(8):202-204.
- [2] 史翔宇,张永刚,贾新强,等.火力发电厂斗轮机系统数字化改造与效能提升分析[J].通讯世界,2025,32(5):121-123.
- [3] 何兴安.电气自动化技术在提高火力发电厂运行效率中的应用[J].建筑工程技术与设计,2025,13(3):97-99.