

火力发电工程节能减排技术创新研究

周 勇，张瑞祥，黄怀勇

(东营海欣热力供应有限公司，山东 东营 257082)

摘 要 在“双碳”目标以及新型电力系统创建引领下，火力发电工程的节能减排技术革新成了行业绿色转型的主要支撑。本文从核心技术突破、跨领域融合途径、创新保证机制这三个方面入手，对燃烧优化、能量转化效率改进、污染物深入治理、智能技术助力等重要创新领域展开全面探究，分析数字化、多能协同、热电解耦等融合创新方式，提出政策引领、产学研合作、标准创建等保障办法，以期为火力发电工程实现高效低碳运行提供技术参考。

关键词 火力发电；节能减排；燃烧系统；能量转化；污染物深度治理技术

中图分类号：TM62

文献标志码：A

DOI：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.18.022

0 引言

火力发电是能源供应体系的重要组成部分，其节能减排水平直接关系到能源绿色转型进程以及“双碳”目标的达成。新型电力系统对灵活性、清洁性、智能化的要求越来越高，传统的技术路线已经无法满足深度脱碳需求，技术创新成了解决资源约束和环境压力的主要手段。火力发电工程的节能减排技术创新不是某一项技术局部的改善，而是一套包含燃烧系统、能量转换、污染物处理、余热回收等全过程的系统变革，而且要依靠跨领域技术融合和机制保障的共同支持。

1 火力发电工程节能减排核心技术创新

1.1 燃烧系统优化技术创新

燃烧系统高效清洁运行是火力发电节能减排的根基，技术革新主要是针对燃料适配性提高、燃烧过程精确调节、低排放燃烧技术融合这三个方面展开的。通过炉膛结构重构和流态优化设计，创新使用宽幅炉膛和大通量旋风分离技术，使不同的品质燃料（劣质煤、生物质掺烧）可以均匀燃烧并充分燃尽，减少床层结焦的风险以及氮氧化物原始生成量；融合人工智能算法和实时监测数据，创建燃烧参数动态优化模型，调节配风比例、给料速率等重要参数来达成燃烧效率和污染物排放的协同控制；用深度学习预测燃烧状况，动态调节二次风分配，保证炉内温度场稳定；研发新型低氮燃烧器和多元燃料协同燃烧技术，经由燃料组分改良和燃烧氛围调节（分级送风，烟气再循环），在保持燃烧稳定的条件下，明显削减污染物的产生水

平，构建“结构改良—智能调节—低排契合”的三维革新体系，促使燃烧系统朝着自适应、低惯性方向前进，加强机组应对波动性燃料的能力。

1.2 能量转化效率提升技术创新

能量转化环节的技术创新，是以克服传统发电效率的限制为方向，依靠设备更新和系统改善来达到提高效率的目的。从机组设计角度来讲，创新超超临界循环流化床技术路线，改善蒸汽参数（主蒸汽温度由原来的 580℃ 提高到 620℃ 以上），改良受热面布置，加强热量传递效率，使用高效汽轮机叶片结构设计和阻尼材料，消减能量损耗，如使用三维气动叶片来削减涡流损失。依靠数字孪生技术创建全流程虚拟仿真系统，达成对设备运行状况的即时映射和参数寻优，借助动态改变运行工况（变负荷时的滑压运行），保证机组在宽负荷范围里维持高效运行，依靠预测性维护缩减非计划停机，研发自适应负荷调节技术。经由智能控制算法改良机组启停及调峰进程，加快负荷变动速率并加深调峰力度（迅速降至 20% 额定功率），契合电网调度需求之时削减能效损耗，形成“设备更新—数字支撑—自适应调节”的效率改善创新途径，探究融合超临界二氧化碳循环等先进技术，持续发掘效率提升的潜能^[1]。

1.3 污染物深度治理技术创新

污染物深度治理技术创新主要集中在多污染物协同控制和治理效率的提高上，形成了全流程清洁化处理体系。在烟气净化方面，采用精准喷氨、高效脱硫

作者简介：周勇（1987-），男，本科，工程师，研究方向：电力工程。

脱硝技术,依靠烟气成分实时监测和智能调控系统(根据光谱分析的在线检测),对污染物排放实施精确控制,削减治理过程中的能耗和物耗,如改良喷氨格栅的布置来缩减氨的逸出。研制新型环保材料和设备结构,改进除尘器、脱硫塔等关键设备的流场设计和材料性能(使用高效导电滤袋提高除尘效果),提升污染物的捕集效率和设备的运行稳定状况,研发低温催化剂以加强脱硝活性,融合末端治理和源头控制技术,把燃烧优化同污染物治理系统有机联系起来。经由调节燃烧参数(降低氧量控制)削减污染物产生,削减末端治理压力,形成“源头减排—过程控制—末端净化”的协同创新途径,使污染物排放水平不断下降,而且拓宽了重金属、可凝结颗粒物等新污染物的控制技术。

1.4 余热资源高效利用技术创新

余热利用技术创新就是挖掘发电过程中能量的潜力,开拓出新的节能减排空间。打破传统的余热回收模式,采用超临界二氧化碳发电技术,用特殊状态下的二氧化碳作为能量转换媒介,高效地回收中低温余热资源(烟气余热、冷却水废热)等,简化发电流程,提高能量转化效率,采用布雷顿循环进行紧凑式的发电;开发大容量储热系统和余热梯级利用技术,采用填充床储热、熔盐储能等新的储热方式,使余热资源得到储存和跨时段利用,给机组灵活调峰和多能协同提供支持,探索化学储热提高能量密度的方法;创建余热、电力、供热多联供系统。通过系统集成革新把发电余热有效转变成工业用热或者民用供暖(区域供热网络),扩大能源服务范畴,改善综合能源利用效能,塑造起“余热回收—储热匹配—多能供应”的新体系,融合可再生能源,实现火力发电的低碳化改变^[2]。

2 火力发电工程节能减排技术融合创新路径

2.1 智能技术与发电系统深度融合创新

智能技术的深度赋能为火力发电节能减排开辟出新的途径,依靠数字化、智能化转型达成全流程的改善。依靠工业互联网平台创建统一的数据中台,整合设备运行、环境监测、电网调度等各种数据,冲破信息壁垒,给技术创新赋予数据支撑,实现实时监控、故障预知以及能效剖析,而且数据中台还能把大数据挖掘和云计算融合起来,从而实现对历史数据的追溯以及趋势预估,提升决策的科学性。开发发电行业专用的人工智能大模型,用强化学习和多模态技术进行设备故障预测、运行参数优化、电力交易决策等,提高系统运行的准确性、高效性,使用深度学习算法优化燃烧过

程,降低煤耗和污染物排放,利用模拟仿真技术评价不同的运行策略对环境的影响,推动清洁生产。创新智能运维模式,将巡检机器人、AR 智能头盔、红外热成像等先进设备集成起来,对高风险、高劳动强度的作业实现自动化、智能化,降低人为干预造成的能效损失和安全风险。引入无人机巡检、自动化控制系统,提高设备可靠性,具体实施中巡检机器人可以搭载传感器做全天候监测,AR 头盔给出即时的维修指导,红外热成像技术可以提前察觉设备异常,创建预防性的维护体系^[3]。

2.2 多能协同与系统集成创新

多能协同技术创新冲破单一火电模式的束缚,实现与新能源互相补充的运行和协同改善。开发火电和风电、光伏的协同调度技术,利用智能预测模型和动态优化算法,根据新能源出力的变化及时调节火电机组运行状态,提高电网接纳可再生能源的能力。例如:用机器学习预测风光波动来优化火电机组的负荷分配,还可以引入区块链技术保证调度数据的透明、可信,提高跨能源系统的协调效率。创新“火电+储能”耦合系统,把储热、储电技术同火电机组融合起来,依靠储能设备平抑新能源波动,改善机组运行稳定性和灵活性,包含电池储能、压缩空气储能等技术的综合应用,发挥削峰填谷和备用电源的作用,并探寻飞轮储能、氢储能这些新型技术,以适应各种场景下的能源存储需求,加快系统的反应速度。创建区域多能互补能源系统,把火力发电同余热供暖、工业供汽、新能源发电等有机融合起来,通过系统改良达成能源梯级利用和供需精准对接,扩大节能减排的范围和深度。例如:在工业园区设置综合能源管理平台,协调热、电、气等各种能源形式,创建“源网荷储”协同的新型运行模式,缩减整个系统的碳排放以及运作费用。借助微电网技术,实现局部能源自给和应急备用,提升区域能源韧性,而且能给碳交易市场提供数据支撑^[4]。

2.3 热电解耦技术创新与应用

热电解耦技术的革新冲破了传统热电联产依靠热量来决定发电量的局限性,从而改善了机组的调峰性能和节能减排水平。开发新型喷淋式填充床储热系统,采用高效储热技术使供热与发电系统解耦,保证供热需求的同时提高机组负荷调节范围,用相变材料等先进的储热介质提高热容量和响应速度;研究纳米复合材料储热技术,提高能量密度、循环稳定性,减少系统占地、投资。创新供热管网和储热设备的集成设计,

改善热量传输和储存效率,达成热能灵活调配和高效利用的目的。例如:用智能阀门和隔热技术减小热损失,提高系统的经济性,还可以依靠地理信息系统来改进管网布局,适应各种气候、地形条件,保证供热可靠。融合智能控制和热电解耦技术,实时监测供热需求和电网负荷的变化,对储热和发电运行参数进行动态调整,保证机组满足供热需求的同时具有更强的调峰响应能力,为新能源消纳和电网稳定运行提供支持,主要应用物联网传感器网络和反馈控制算法来达到精确的温度、压力调节效果,形成储热适应性、智能调节、灵活供热的技术创新之路。另外,利用数字孪生技术模拟系统的运行情况,预测可能出现的故障,并且改进维护计划,推进火力发电在能源转型过程中起到的关键作用,改善环境效益和电网韧性,为政策制订提供技术支撑。

3 火力发电工程节能减排技术创新保障机制

3.1 政策引导与市场激励机制创新

政策与市场双轮驱动为技术创新营造良好的环境,依靠制度安排来调动创新积极性。创建精准化的政策支持体系,对关键核心技术的研发、首台(套)装备的示范应用等给予专门扶持,包含设立技术攻关专项资金、施行研发费用加计扣除等税收优惠,促使创新要素向节能减排领域集中。革新市场激励机制,充实电力市场交易规则并创建绿色电力认证体系,探寻实行碳排放配额交易的途径,把节能减排成效同市场收益联系起来,调动企业开展技术创新的积极性。建立跨部门协同推进机制,整合能源、环保、科技、财政等政策资源,构建技术研发、示范验证、规模化推广的全流程支持体系,给火力发电工程节能减排技术创新赋予长久稳定的政策预期和健康有序的市场环境^[5]。

3.2 产学研用协同创新机制构建

产学研用深度融合为技术创新提供了重要的支撑,依靠资源整合来加快创新成果转化。创建行业级创新平台,整合高校、科研院所、龙头企业的技术和研发力量,针对低碳燃烧、高效换热、碳捕集与利用等关键技术瓶颈展开联合攻关,提高创新的系统性、针对性。创新成果转化机制,创建涵盖不同技术成熟度的中试基地和示范工程,给实验室技术走向工业化应用提供工程验证和改良平台,缩减创新周期,降低产业化危险。改进人才培养和交流机制,通过设置交叉学科项目、展开在职工程师培训、举办技术研讨会等途径,培育出具备电力工程、节能环保、数字技术等多方面知识

的复合型人才。推动创新理念和技术经验的共享流传,构建“基础研究—技术开发—工程应用—产业推广”闭环衔接的全链条协同创新体系。

3.3 标准体系与评价机制创新

标准化建设为技术创新提供了规范指引,用科学评价来推动创新质量的改善。创建动态更新的技术标准体系,围绕节能减排核心技术制订包含设计、建造、运行、保养等全部生命周期的技术标准规范,及时把新技术、新工艺纳入标准,引领技术创新方向。创新评价指标体系,把智能运行、灵活调节、低碳转型、资源循环利用等新兴方面纳入评价范畴,创建起包含能源效率、环保性能、经济性、安全性等诸多方面的综合评价机制,塑造独立、公正的第三方评价与认证体系。依靠行业组织或者专业机构客观评判技术创新成果和应用价值,创建技术白名单和推广目录,给政策扶持、市场挑选和企业决定提供可靠支撑。依靠持续不断的创新来规范技术创新行为,提高创新质量和综合效益,促进火力发电工程绿色低碳转型。

4 结束语

火力发电工程的节能减排技术创新,是推进行业绿色低碳转型、保证能源安全的关键支撑,其实质就是多领域技术的协同革新和全流程系统优化升级。本文从核心技术突破、融合创新路径、保障机制构建三个方面,对燃烧优化、智能赋能、多能协同等主要创新方向进行了系统的论述,形成了一个完整的“技术创新—路径融合—机制保障”的逻辑体系,为火力发电工程实现高效低碳运行提供可复制的理论框架与实践参照。

参考文献:

- [1] 张宁.碳中和背景下火力发电企业节能降耗成本策略研究[J].中国电子商情,2025,31(11):43-45.
- [2] 李海明,姜兆杰.基于余热回收的火力发电锅炉节能减排一体化技术研究[J].中国机械,2025(06):97-100.
- [3] 李祥.低碳经济下火力发电企业节能减排现存的问题及改进措施探究[J].电力设备管理,2024(19):241-243.
- [4] 张贝贝.低碳经济下火力发电企业节能减排问题研究[J].中国管理信息化,2023,26(06):134-136.
- [5] 张宁.碳全要素生产率、低碳技术创新和节能减排效率追赶:来自中国火力发电企业的证据[J].经济研究,2022,57(02):158-174.