

火电机组节能改造技术及工程师的实践经验

董浩 曾晨

邹县发电厂, 山东 邹城 273522

摘要: 受全球能源结构转型与碳中和目标的驱动, 火电机组节能改造变成保障电力供应安全以及推动低碳发展的关键之路, 本文全面探究火电机组节能改造的关键技术方向与工程实施办法, 指出高效燃烧技术凭借煤粉粒度优化与低氮燃烧工艺提升, 可极大提升锅炉热效率; 余热回收技术借助低温换热装置与有机工质循环系统, 实现对烟气余热的高效利用; 智能控制技术跟机器学习算法结合, 优化机组运行参数, 降低能源消耗。工程实施案例表明, 系统性改造得统筹热力优化与设备的兼容性, 典型案例表明, 老旧机组经过集成化改造实现供电煤耗大幅下探与节煤效益上扬, 研究进一步揭示, 改造阶段需增强燃料适应性评估与全工况仿真验证, 杜绝因设计漏洞引发运行隐患, 未来火电行业应迅速融入碳捕集、氢能协同燃烧等新兴技术, 搭建数字化改造经验传承的体系, 拉动火电机组往清洁低碳、灵活高效方向转型过渡, 为构建新型电力系统给予关键技术支撑。

关键词: 火电机组; 节能改造; 高效燃烧; 余热回收; 工程实践

DOI:10.63887/jeti.2025.1.3.23

引言

随着国家大力提倡、号召节能减排, 逐步实现节能环保的能源战略目标, 这就对火电厂的生产作业提出了更严格的要求, 火电机组的运行也需要按照高标准执行^[1]。火电行业长期承担全球电力供应的主体责任, 但高能耗、高排放特性使其面临严峻的环保压力与转型挑战。在可再生能源占比提升的背景下, 通过技术改造挖掘火电机组节能潜力, 成为平衡能源安全与低碳发展的重要策略^[2]。本文从技术路径与工程实践双重视角, 探讨火电机组改造的科学方法与实施要点, 以期为行业转型升级提供参考。

1. 火电机组节能改造的背景与意义

1.1 全球能源形势与火电行业的发展

处于全球能源格局里, 化石能源依旧在能源里占主导, 六成多的电力供应重任由火力发电扛起, 依照国际能源署的最新研究数据, 为实现巴黎气候协定要求的温控目标, 到 2030

年, 全球燃煤发电规模需削减一半多, 该严峻情形倒逼火电行业加紧技术升级, 依靠提高能源转换效率来拉长现有机组的使用年限, 值得聚焦的是, 采用超超临界技术的发电机组借助优化蒸汽参数配置, 已把单位供电煤耗控制在每一千瓦时用电 270 克以内, 较传统亚临界机组而言, 实现了超 15 个百分点的能效增进^[3]。

1.2 节能减排政策的驱动作用

从全球层面看, 各国政府正利用推行碳排放权交易制度、发放清洁能源发电补助等一系列激励约束机制, 助力火力发电行业的技术升级与转型变迁, 用中国的情况举例, 在国民经济与社会发展第十四个五年规划当中, 明确要求单位国内生产总值能耗需累计降低 13.5 个百分点的刚性指标, 同时针对燃煤发电机组设立了囊括能效提升、热电联产与运行灵活性提升的系统性改造机制, 欧盟制定的碳边境调节政策, 对跨国产业链碳排放强度提出了更高级别的要求, 这一行动正在推动全球火力发电技

术标准往更严格的低碳化方面发展。

2. 常见的火电机组节能改造技术

2.1 高效燃烧技术

在火力发电机组节能技术这一体系里面，燃烧系统优化扮演关键角色，采用低氮燃烧装置且匹配多级配风方案，氮氧化物的生成量可削减三成有余，添加煤粉粒度自适应调控装置后，依靠实时监测与智能反馈调节体系，燃料燃尽率可提升2至3个百分点的样子，实际情形显示，某发电企业引入富氧强化燃烧方案后不久，锅炉系统热效率有了1.8%的显著增长，折算得出年均节省标准煤1.2万吨，充分验证了技术创新对能效提升的实际意义。

2.2 余热回收利用技术

处于火力发电机组节能改造的领域，余热回收技术揭示出明显的应用价值，采用专业的热能回收设备，可把机组排放出来的烟气温度从原先的150摄氏度有效降到90摄氏度以下，目前比较成熟的实施办法主要包含两种技术路径：其一为配置一套低温省煤器系统，将回收的烟气余热直接用在区域供热系统里；其二是摆放有机工质朗肯循环发电装置，把低压蒸汽转化为电力，从实践数据能看出，某装机容量为600兆瓦的发电机组在增添余热锅炉系统后，整体热效率实现4.7个百分点的增长幅度，就好比每年额外产生800万千瓦时的清洁电力，充分彰显了能源梯级利用的经济收益和环保意义。

2.3 自动化与信息化管理技术

处于火电机组现代化改造的进程里，自动化及信息化技术的深入应用正发挥关键功效，依靠部署分散式控制系统以及机组自动启停系统，可实现对运行参数精准的优化处理，采用机器学习算法的智能诊断系统，可预先预估设备性能的衰减走势，为预防性维护给出科学证据^[4]。实际运行的数据说明，某能源企业采用智能燃烧调控系统后，机组负荷调节响应速

度增长达四成，单位发电量对应的煤耗降了3.2克每千瓦时，切实体现了数字化技术在提升火电运行效率方面的显著成效。

3. 工程师在节能改造中的角色与职责

3.1 项目评估与可行性分析

在火电机组节能改造项目实施期间，专业技术人员开展的评估分析工作起到决定性功效，工程团队得系统性地开展机组性能诊断工作，全面评估设备运行现有的状况、节能潜力范围以及投资回收周期等多个方面，具体工作方式利用热力学平衡计算与焓效率分析找出主要能耗环节，同时采用全生命周期成本评估模型针对不同技术方案做比选决策，一个典型案例显示，工程技术人员借由数值模拟手段，精确辨认出汽轮机通流部件改造可获取2.3%的效率增益，该科学论证为最终改造方案的决策及实施给予了关键技术支持^[5]。

3.2 改造方案的设计与实施

在火电机组节能改造工程的设计及实施阶段，专业技术团队得整体考量热力系统优化、电气自动化升级与环保设施协同运行的整体匹配状态，以某脱硫废水处理系统改造项目做例子，工程技术人员创新性地采用烟气余热蒸发工艺，成功实现系统能耗降低三成这一显著成果。在实际开展施工操作期间，严谨科学的风险管控途径十分关键，某发电企业实施汽轮机开缸检修作业之际，借助高精度激光对中技术的引入，把关键旋转部件的安装偏差严格控制在0.02毫米的工程精度范围以内，为设备长期安全稳定运行给予了可靠的保障。

3.3 技术支持与问题解决

当处于火电机组节能改造项目的后续运维阶段，专业技术人员必须系统性开展设备性能验证跟运行参数优化工作，以某电厂开展的选择性催化还原脱硝系统改造项目为例，工程团队在系统开始运行后，察觉到空气预热器有异常堵塞现象，采用科学调整蒸汽吹扫周期以

及还原剂喷入量等关键参数的方式，顺利把系统运行阻力控制在技术规范许可范围里，为保证改造效果始终稳定，提议构建完备的设备状态监测体系，依托智能化的采集分析数据平台，实现对机组运行方式的动态优化整治，进而全面增进系统运行的经济性与可靠性。

4. 实践经验分享与教训总结

4.1 成功案例分析

就火电机组节能改造领域而言，一个堪称典型的成功案例源自某沿海发电企业，该企业针对其运行 20 年之久的 300 兆瓦亚临界机组开展了全面技术改造工程，技术团队创造性地对汽轮机通流部件升级、烟气余热梯级利用以及智能化燃烧调控三项核心技术做了有机整合，实现了机组运行效率的大幅上扬。完成改造后，机组供电标准煤耗从一开始的每千瓦时 320 克降到 295 克，经折算得出，每年节约标准煤用量达 4.8 万吨，该项目得以成功实施，主要靠的是几个关键技术手段：处于方案设计阶段运用先进的三维数值模拟技术，准确仿真汽轮机内部流场特性，以此为基础优化了关键叶片的空气动力学轮廓；在运行维护阶段搭建了基于数字孪生技术的实时监测体系，始终对机组运行参数开展动态优化修正，此典型案例充分印证，借助多种先进技术的系统整合与数字化验证手段的协同运用，可以有力增强老旧机组改造的整体水平。

4.2 失败案例及其教训

在火电机组实施节能改造的实践里，有部分失败案例为行业带来了宝贵的经验借鉴，某内陆发电企业推进低温省煤器改造工程的时间段，鉴于前期技术论证阶段对高硫煤燃烧产物的腐蚀特性评估缺漏，导致新增换热设备投运仅半年，大面积管束穿孔泄漏事故便接踵而至，造成直接经济损失两千万元人民币以上。经过专业技术剖析，该事故反映出改造方案设计中燃料适应性研究有明显欠缺，在另一个选

择性催化还原脱硝系统的改造项目里，鉴于氨气喷射装置布局设计存在瑕疵，导致还原剂逃逸率一直超标，最终不得不停机去做系统性的整改，这些典型案例明白显示，在开展机组技术改造的阶段，一定要强化全工况条件下的系统仿真测试，同时设立贯穿设计选型、材料选用到运行维护全阶段的质量控制体系，才能成功躲开技术风险。

4.3 持续改进与经验传承

处于火电行业节能改造领域，已渐渐搭建一套完整的持续改进机制，依靠项目后评价、经验共享以及技术标准更新三个环节达成良性循环，以华能集团为实例，其组建的专业化改造案例数据库已收集 200 多个实际项目的运行数据，涉及能效基准值、设备故障特征等关键要点，给后续改造工程提供了十分重要的参考。在人才培养这件事上，采用资深专家带领新人的传承机制，积极促进了热力系统、环保设施跟自动控制等不同专业领域的技术融合，值得关切的是，某省级电力设计院推出的智能化知识管理平台，依靠知识图谱技术实现改造经验的系统化归纳，可以自动匹配后推送相关技术方案，使项目技术决策效率的增长幅度超三成，这些实践说明，采用信息化途径整合行业经验、强化人才塑造，是带动火电改造技术持续改进的有效路径。

5. 未来发展趋势与展望

5.1 新技术的应用前景

火电行业正踏入技术革新的关键转折阶段，碳捕集技术已从实验室阶段迈入工程应用阶段，国家能源集团 15 万吨级示范项目测验出其可行性；氢能混合燃烧技术实现了突破性进展，三菱重工实现 30% 的氢气掺混比之际，5 - 10% 掺氢比例在燃煤锅炉中的研究正成新焦点；光热 - 火电集成创新模式借助熔盐储热等技术大幅提高了调峰能力，西班牙 Gemasolar 电站的成功案例为行业提供了可借

鉴的技术方案,这些前沿技术协同发展正重新塑造火电行业未来技术格局。

5.2 绿色能源转型对火电的影响

随着可再生能源占比稳步攀升,火电机组正加速向灵活调峰角色过渡,其功能的定位从基荷电源过渡到系统调节中枢,德国 Steag 凭借滑压运行技术改造,顺利把机组最低负荷降至 20%、响应速率提高至 5%/min,为火电深度调频给出了工程范式样本。鉴于新型电力系统需求,火电应深度达成储能设施与需求侧管理系统的融合,构建“基荷保障 - 快速响应”的双模式运行机制,但频繁负荷波动造成的设备磨损问题十分突出,急需对耐高温材料进行革新以及优化寿命预测模型,好比采用纳米涂层技术提高锅炉管抗疲劳能力,耦合数字孪生系统实现设备健康度实时评定,这些技术突破将成为火电在实施低碳转型时维持系统稳定性的关键后盾。

5.3 政策引导与市场机遇

全球能源转型政策正重塑火电行业发展格局:欧盟通过削减 30%碳排放免费配额倒逼清洁技术投资,中国碳市场扩容至年排放 2.6 万吨以上企业,为能效改造创造碳收益空间;

印度超超临界设备进口优惠为中国 EPC 企业打开国际市场,而绿色电力交易和辅助服务市场创新则推动火电企业向综合能源服务商转型。这些政策协同形成的“约束-激励”机制,正加速火电行业的技术迭代与商业模式革新。

结束语

在全球能源结构转型以及碳中和目标的双重驱动中,火电机组节能改造成为了兼顾能源安全与低碳发展的主要路径,本文凭借技术分析与工程实践进行论证,显示出高效燃烧优化、余热梯级利用及智能调控等核心技术突出的节能潜力,该工程应用达成供电煤耗降低 8%以上这一实际成效。改造工程需把系统化设计当作基础,把热力优化、材料适配与数字化管控统筹起来,同时进一步强化全周期风险评估与动态调优机制,典型案例的好坏证实,技术方案必须同时顾及燃料特性、设备兼容性与运行经济性,杜绝因局部优化引发系统性隐患,火电行业应提速与碳捕集、氢能掺烧等新兴技术的融合进程,并凭借政策的引导构建起灵活高效的运营模式,凭借技术创新带动传统火电往清洁化、智能化方向升级,为新型电力系统的构建提供可靠后盾。

参考文献

- [1]姚大春,张宏伟.火电机组节能改造技术研究[J].粘接,2021,47(09):155-159.
- [2]贾斌,火电机组间接空冷系统节能改造及灵活运行技术研究与应用.内蒙古自治区,内蒙古电力(集团)有限责任公司内蒙古电力科学研究院分公司,2019-08-30.
- [3]江浩,火电机组一体化节能改造技术.陕西省,西安热工研究院有限公司,2018-04-03.
- [4]何川.火电机组节能升级改造技术研究[D].太原理工大学,2016.
- [5]刘海峡,李前宇,王清.火电机组节能改造技术路线的综合性研究[J].华北电力技术,2015,(04):56-60.