

火电厂热动工程节能技术研究

王慧

华阳建投阳泉热电有限责任公司

DOI : 10. 32629/j pm. v7i 5. 8907

[摘要] 在“双碳”目标推进与能源结构优化的大背景下，火电厂作为我国电力供应的核心支柱，其热能动力工程的能源利用效率直接关联能源安全、环保达标与企业经济效益。本文聚焦火电厂热动工程领域，结合行业实际运行情况，剖析热动系统在锅炉燃烧、汽轮机做功、余热回收等关键环节的能源损耗机制，重点探究当前主流节能技术的应用原理、实施路径及应用成效，涵盖锅炉燃烧优化、汽轮机运行调控、余热梯级回收、智能控制优化等核心技术。通过整合行业实践案例与技术参数，探讨节能技术应用中的现存问题及改进办法，提出适配火电厂实际工况的节能技术优化方案，为火电厂热动工程实现节能降耗、绿色转型提供理论参考与实践借鉴，助力火电厂达成超低排放与高效运行的双重目标。

[关键词] 火电厂；热动工程；节能技术；余热回收；燃烧优化

Research on Energy Conservation Technologies in Thermal Power Plant Thermal-Dynamic Engineering

Wang Hui

Huayang Jiantou Yangquan Thermal Power Co., Ltd.

[Abstract] Against the backdrop of advancing the "dual carbon" goals and optimizing the energy structure, thermal power plants serve as the core pillar of China's electricity supply system. The energy utilization efficiency of their thermal-dynamic engineering directly impacts energy security, environmental compliance, and corporate economic benefits. This paper focuses on the field of thermal-power plant thermal-dynamic engineering, analyzing energy loss mechanisms in critical processes such as boiler combustion, steam turbine operation, and waste heat recovery based on industry practices. It examines the application principles, implementation approaches, and effectiveness of mainstream energy-saving technologies, covering key areas including boiler combustion optimization, steam turbine control, cascade waste heat recovery, and intelligent control systems. By integrating industry case studies and technical parameters, the study identifies existing challenges and improvement strategies for energy-saving technologies, proposing optimized solutions tailored to actual plant conditions. These findings provide theoretical foundations and practical guidance for achieving energy conservation, emission reduction, and green transformation in thermal power plants, supporting their dual objectives of ultra-low emissions and high operational efficiency.

[Key words] Thermal power plant; Thermodynamic engineering; Energy-saving technology; Waste heat recovery; Combustion optimization

引言

火电厂是我国能源供应体系的核心构成部分，长期承担着全国约70%的电力供应任务，其安全稳定运行直接关系到国民经济的持续健康发展与民生保障。热动工程作为火电厂的核心技术支持，贯穿于燃料燃烧、热能转换、动力输出的全过程，其

运行效率的高低直接决定了火电厂的能耗水平与环保性能。当前，我国火电厂热动系统仍存在能源利用效率偏低、损耗环节较多等问题，传统火电机组的热能转换效率普遍维持在40%-45%之间，大量热能通过排烟、设备散热、工质损耗等环节流失，不仅造成能源浪费，还增加了企业运营成本与环保压力。

随着国家环保政策的不断收紧，超低排放、碳减排等硬性要求对火电厂清洁生产能力提出了更高标准，同时能源价格波动也推动火电厂将节能降耗作为提升核心竞争力的关键举措。在此背景下，深入研究火电厂热动工程节能技术，破解能源损耗难题，优化热动系统运行模式，实现能源高效利用与环保达标协同推进，成为火电厂高质量发展的必然选择。本文结合火电厂热动工程实际运行特点，系统梳理节能技术的应用现状与优化方向，为行业节能改造提供可行参考。

一、火电厂热动工程能源损耗核心环节分析

火电厂热动工程的能源损耗贯穿于整个生产流程，其中锅炉燃烧、汽轮机运行、余热排放及工质流失是最主要的损耗环节，明确各环节损耗机理是开展节能技术研究的基础。

锅炉作为热动工程的核心设备，其燃烧效率直接影响能源利用率，主要损耗包括排烟热损失、不完全燃烧损失及散热损失。其中，排烟热损失占燃煤锅炉总热损失的70%~80%，主要因烟气温度过高、热量未充分回收所致；不完全燃烧损失则源于燃料与空气混合不均、燃烧参数调控不当，导致燃料未能充分燃烧便排出，造成能源浪费；散热损失则与锅炉保温性能、设备老化程度相关，热量通过锅炉壁面散失到环境中，降低了热能利用效率。

汽轮机是热能转换为机械能的关键设备，其能源损耗主要表现为湿气损失与机械损耗。湿气损失是火电厂热动工程普遍存在的问题，由于管道内气体流速超标，热量传递过程中产生损耗，蒸汽凝结成液体后不仅降低传热效率，还会侵蚀管道与阀门，加速设备老化；机械损耗则源于汽轮机内部部件摩擦、密封性能不足，导致部分机械能损耗，影响动力输出效率。

此外，工质流失与余热浪费也是不可忽视的损耗环节。工质流失主要包括疏水泄漏、蒸汽泄漏等，不仅造成热能损失，还增加了除盐水用量与补水成本；而火电厂生产过程中产生的大量中低温余热，若未进行有效回收，会直接排放到环境中，形成能源浪费的同时加剧环境热污染。

二、火电厂热动工程主流节能技术及应用

针对火电厂热动工程的能源损耗环节，行业内已形成一系列成熟的节能技术，结合设备运行特点与工况需求合理应用，可有效降低能耗、提升效率，主要包括以下几类核心技术。

2.1 锅炉燃烧优化节能技术

锅炉燃烧优化是降低能源损耗、提升燃烧效率的核心举措，核心思路是通过优化燃烧参数、改善燃料与空气混合效果，实现燃料充分燃烧，减少不完全燃烧损失与排烟热损失。具体技术路径包括三个方面：一是优化燃料管理，对燃煤进行封闭式储存与精细化化验，优先选用低硫低灰高发热量煤种，通过合理掺烧调整煤种比例，提升燃烧效率，同时采用喷雾除尘技术减少燃料扬尘损耗；二是调控燃烧参数，合理分配一次风与

二次风比例，控制空气系数在最佳范围，避免空气过量或不足导致的燃烧效率下降，同时控制火焰中心温度，减少局部高温造成的热量浪费；三是采用高效燃烧设备与隔热材料，安装低氮燃烧器减少污染物排放的同时提升燃烧均匀性，选用高性能隔热材料降低锅炉壁面散热损失，减少排渣量与排渣温度，进一步降低能耗。

2.2 汽轮机运行调控制节能技术

汽轮机运行调控的核心是减少湿气损失与机械损耗，提升热能向机械能的转换效率。一方面，通过优化汽轮机通流部分设计，清理汽机通流、过热器及蒸汽管道，保证传热性能稳定，减少蒸汽流动阻力，降低湿气损失；另一方面，优化运行参数，在保证机组安全的前提下，保持汽轮机低背压运行，减少机组排汽损失，同时根据机组负荷变化及时调整运行工况，避免机组在低负荷、高能耗状态下运行。此外，采用先进的密封技术，减少蒸汽泄漏，降低机械损耗，延长设备使用寿命，间接实现节能降耗目标。

2.3 余热梯级回收节能技术

余热回收是火电厂热动工程节能的重要突破口，通过构建梯级回收体系，可实现对不同温度等级余热的充分利用，破解传统余热回收效率低的难题。目前主流的余热回收技术包括宽流道自洁板式换热器应用、喷淋换热与热泵技术结合、热管余热锅炉与省煤器协同设计等。其中，宽流道自洁板式换热器采用分级布置设计，可将高温烟气逐步降温，余热用于加热锅炉补水，提升锅炉效率3~5%；喷淋换热与热泵技术结合，可将排烟温度降至30℃以下，余热根据季节需求用于供暖或预热补水，实现“一热多用”；热管余热锅炉依托相变传热原理，高效回收中低温余热，与省煤器协同形成三级利用体系，最大化提升能源利用效率。某600MW超临界机组实施余热回收改造后，排烟温度从142℃降至88℃，锅炉效率提升1.8%，年节约标煤9800吨，减排CO₂约2.6万吨，经济效益与环保效益显著。

2.4 智能控制优化节能技术

随着智能化技术的发展，智能控制优化已成为火电厂热动工程节能的重要发展方向。通过在锅炉、汽轮机等关键设备上安装温度、压力传感器，实时采集运行数据，依托智能算法对数据进行分析处理，实现对热动系统的精准监测与自动化调控。智能控制系统可根据实时工况变化，自动调整锅炉风煤比、汽轮机运行参数等，优化燃烧效率与动力输出效率，同时识别系统中的优化空间，提供最佳运行策略，减少人为操作失误导致的能源浪费。此外，智能控制技术还可实现对设备运行状态的实时监测，及时发现设备故障与能耗异常，为设备维护提供依据，避免因设备故障导致的高能耗运行。

三、火电厂热动工程节能技术应用现存问题及改进措施

3.1 现存问题

尽管当前火电厂热动工程节能技术已得到广泛应用，但在实际应用过程中仍存在一些问題，影响节能效果的充分发挥。

一是部分火电厂节能技术应用不够全面，多聚焦于单一环节的节能改造，缺乏对热动系统的整体优化，导致各环节节能技术难以协同发力，节能效果受限；

二是部分老旧火电厂设备老化严重，与新型节能技术适配性不足，改造难度大、成本高，制约了节能技术的推广应用；

三是节能技术运维管理水平不足，部分运行人员专业能力有限，对节能设备的操作与维护不够规范，导致设备运行效率下降，影响节能效果；四是节能技术研发投入不足，部分核心技术仍存在瓶颈，低品位余热回收等技术的应用效果仍有提升空间。

3.2 改进措施

针对上述火电厂热动工程节能技术应用过程中存在的问题，结合不同类型火电厂的运行工况、设备现状及发展需求，坚持“针对性施策、系统性推进、长效化落实”的原则，提出以下切实可行的改进措施，推动节能技术充分发挥效能，助力火电厂实现节能降耗与绿色转型的双重目标。

第一，树立系统节能理念，构建全流程节能体系，火电厂应结合热动系统各环节的能源损耗特点，开展全面的能耗诊断，明确各环节的损耗短板，制定科学合理的整体节能改造方案，推动锅炉燃烧优化、汽轮机运行调控、余热梯级回收、智能控制优化等各类节能技术协同应用，打破单一环节改造的局限，实现热动系统全流程、各环节的节能协同提升，最大化发挥节能技术的整体效能。

第二，加大老旧设备更新改造力度，降低改造门槛与成本，一方面，火电厂应结合自身资金状况，制定分阶段的老旧设备更新计划，逐步淘汰能耗高、老化严重、与新型节能技术不兼容的设备，优先选用高效、节能、环保且适配现有系统的核心设备，提升设备运行效率；另一方面，积极争取国家能源政策、环保补贴等支持，拓宽资金筹措渠道，降低设备更新与节能改造的资金压力，推动老旧火电厂顺利开展节能升级。第三，完善运维管理体系，提升人员专业素养，建立健全节能设备运维管理制度，明确运维责任，制定设备定期检修、维护计划，加强对节能设备运行状态的实时监测，及时发现并处理设备故障，确保设备长期处于稳定高效的运行状态；同时，加强对运行人员的专业培训，定期开展节能技术、设备操作、维护技巧等方面的培训，邀请行业专家进行现场指导，提升运行人员的专业能力与操作规范性，减少人为操作失误带来的能源浪费。第四，加大研发投入，突破核心技术瓶颈，火电厂应加强与科研院所、行业龙头企业的产学研合作，建立联合研发机制，聚焦低品位余热回收、智能控制优化、高效密封等核心技术领域，

加大研发资金与人力投入，开展自主创新研究，突破技术瓶颈，提升节能技术的先进性、适用性与经济性；同时，积极引进国际先进节能技术，结合我国火电厂实际工况进行本土化改造，推动节能技术的迭代升级，进一步挖掘火电厂的节能潜力。

四、结论与展望

火电厂热动工程节能技术的应用，是火电厂实现节能降耗、绿色转型的关键路径，对保障能源安全、推动“双碳”目标实现具有重要意义。本文通过分析火电厂热动工程能源损耗核心环节，研究了锅炉燃烧优化、汽轮机运行调控、余热梯级回收、智能控制优化等主流节能技术的应用原理与效果，指出了当前节能技术应用中存在的问题，并提出了针对性改进措施。实践表明，合理应用各类节能技术，可有效降低火电厂能源损耗，提升热动系统运行效率，实现经济效益、环保效益与社会效益的统一。

未来，随着能源结构优化与技术创新的不断推进，火电厂热动工程节能技术将向智能化、多元化、高效化方向发展。一方面，智能控制技术与大数据、人工智能的深度融合，将实现热动系统的全流程智能化调控，进一步提升节能精度与效率；另一方面，低品位余热回收、碳捕集与封存等新型节能技术的研发与应用，将进一步挖掘火电厂节能潜力，推动火电厂向“节能+降碳+增效”的方向发展。同时，行业内还需加强技术交流与合作，推广成熟的节能技术与改造经验，推动火电厂热动工程节能水平持续提升，为我国能源事业高质量发展提供支撑。

【参考文献】

- [1]杨雪亮. 火电厂热能动力工程节能技术研究[J]. 电力与能源前沿, 2025, 3(12): 129-136.
 - [2]王浩, 李娟. 火电厂锅炉燃烧优化节能技术应用研究[J]. 热力发电, 2023, 52(7): 56-62.
 - [3]张磊, 刘敏. 汽轮机运行调控与节能技术改进探讨[J]. 电站系统工程, 2022, 38(4): 78-81.
 - [4]陈明, 赵伟. 火电厂烟气余热梯级回收技术应用及效益分析[J]. 能源研究, 2024, 43(2): 189-195.
 - [5]郑少雄, 陈康, 戴义平. 超临界抽汽式汽轮机解耦控制特性研究[J]. 动力工程学报, 2021, 41(3): 201-207.
 - [6]李建明. 火电厂热动系统智能控制节能技术研究[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(5): 156-159.
 - [7]王建军. 热力发电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2020: 112-125.
 - [8]刘芳, 张强. 火电厂热动工程节能改造现存问题及对策[J]. 电力科学与工程, 2022, 38(8): 67-72.
- 作者简介: 王慧, (1994.0208), 女, 汉族, 内蒙古丰镇市, 大学本科, 助理工程师, 主要研究方向: 能源与动力工程。