

火电热力工程中的能量转换效率优化研究

赵宇光

包头东华热电有限公司 内蒙古 包头 014000

摘要：在能源转型的关键时期，火电热力工程能量转换效率优化刻不容缓。本研究深入剖析其理论根基，揭示设备老化、燃烧低效、系统适配不良等症结。从采用先进燃烧技术、强化余热回收利用，到探索新型动力循环，提出全方位技术优化路径。同时，通过精准运行参数调控、设备维护升级、人员专业素养提升等管理策略，助力效率提升。并展望前沿技术突破、多能互补融合、智能化飞跃的未来，为火电行业高效发展筑牢理论基石。

关键词：火电热力工程；能量转换效率；优化研究

引言

全球能源版图正经历深刻变革，能源需求持续攀升，环境压力与日俱增。火电热力工程作为能源供应的“主力军”，长期占据重要地位。然而，传统火电模式能量转换效率偏低，大量能源在生产过程中白白损耗，既加剧能源短缺困境，又因高排放加重环境负担。提升火电热力工程能量转换效率，成为破解能源与环境双重难题的关键，对推动能源行业绿色转型、保障经济社会可持续发展意义非凡，也吸引着全球能源工程领域的广泛关注与深入探索。

1 火电热力工程能量转换效率的理论基础

1.1 能量转换的基本原理

火电热力工程遵循能量守恒与转换定律，核心是将燃料化学能转化为热能，再经一系列装置转变为机械能，最终输出电能。在锅炉中，燃料剧烈燃烧，释放大量化学能，使工质（通常是水）受热汽化为高温高压蒸汽。蒸汽携带的热能在汽轮机内膨胀做功，推动汽轮机转子高速旋转，实现热能到机械能的转换。汽轮机带动发电机运转，通过电磁感应原理，机械能进一步转化为电能，完成整个能量转换链条。这一过程涉及复杂的热力学、动力学原理，各环节紧密相连，任一环节的能量损耗都会影响整体转换效率。

1.2 影响能量转换效率的关键因素

燃料品质是影响能量转换效率的关键因素之一。优质燃料燃烧充分，释放热量多，能为后续能量转换提供充足“动力”；低质燃料则易导致燃烧不充分，部分能量未有效利用就被浪费。设备性能同样重要，高效的锅炉、汽轮机等设备热损失小，能量转换效率高。如先进的超超临界锅炉，能在更高压力、温度下运行，减少热传递损失。运行工况也不容忽视，稳定、合理的运行参数，如蒸汽温度、压力、流量等，可使设备处于最佳工

作状态，提升能量转换效率；频繁波动的工况则会增加设备磨损，降低效率。

1.3 现有能量转换效率评估方法

目前，常用热效率法评估火电热力工程能量转换效率，即输出电能与输入燃料化学能的比值，直观反映能量有效利用程度。借助能量平衡分析，可详细梳理各环节能量输入、输出与损耗情况，精准定位能量损失部位，为效率提升提供方向。如通过分析发现锅炉排烟热损失占比大，就可针对性改进锅炉结构、优化燃烧过程。此外，焓分析从能量品质角度评估，考量能量在转换过程中的可用能变化，更全面地揭示能量转换的不可逆损失，为深层次效率优化提供理论依据。

2 火电热力工程能量转换效率现存问题分析

2.1 设备老化与损耗导致效率下降

随着运行年限增加，火电机组设备逐渐老化。锅炉受热面结垢、腐蚀，降低热传递效率，使燃料燃烧产生的热量无法充分传递给工质，大量热能随烟气排出，造成能量浪费。汽轮机叶片磨损、汽封泄漏，导致蒸汽做功能力下降，机械能转换效率降低。老旧设备控制系统精度低，难以精准调控运行参数，进一步加剧能量损耗。据统计，运行15年以上的火电机组，能量转换效率较新机组普遍降低5%-10%，设备老化成为制约效率提升的重要因素。

2.2 燃烧过程不充分造成能量浪费

部分火电厂燃烧技术落后，燃料与空气混合不均匀，导致燃烧不充分。如煤粉锅炉中，煤粉颗粒大小不均、送风比例不当，使部分煤粉未完全燃烧就排出炉膛。燃烧温度、时间控制不佳，也影响燃烧反应进程。燃烧不充分不仅浪费燃料，未燃尽的可燃物还会在尾部烟道二次燃烧，引发安全隐患，同时增加污染物排放。据估算，因燃烧不充分，火电厂每年损失大量能量，相

当于燃料总量的3%-5%，严重降低能量转换效率。

2.3 系统匹配不合理影响整体效率

火电热动力工程系统复杂，各子系统间匹配度影响整体效率。例如，锅炉产汽量与汽轮机进汽需求不匹配，若锅炉产汽过多，多余蒸汽只能通过减温减压装置排放，造成能量浪费；产汽不足则限制汽轮机出力，影响发电效率。此外，供热系统与发电系统协同不佳，在热电联产机组中，供热负荷变化时，发电系统未能及时调整，导致能源综合利用效率降低。系统匹配不合理问题普遍存在，亟待优化解决，以提升火电热动力工程整体能量转换效率。

3 提升火电热动力工程能量转换效率的技术优化路径

3.1 采用先进的燃烧技术

先进燃烧技术是提升能量转换效率的关键。如采用低氮燃烧技术，通过优化燃烧器结构、调整燃烧空气分级，精准控制燃烧过程，在降低氮氧化物排放的同时，提高燃料燃烧效率。富氧燃烧技术利用高浓度氧气替代空气参与燃烧，使燃烧更剧烈、充分，减少烟气带走的热量损失，提高锅炉热效率。此外，新型煤粉燃烧技术，如超细化煤粉燃烧，减小煤粉颗粒粒径，增大与氧气接触面积，显著提升燃烧速率与完全程度，为火电热动力工程能量转换效率提升注入新动力。以某大型火电厂为例，引入超细化煤粉燃烧技术后，燃烧效率大幅提升，单位时间内发电量显著增加，且因燃烧更充分，煤炭消耗有所降低，实现了能量转换效率与经济效益的双提升。

3.2 加强余热回收与利用技术

余热回收利用可大幅提升能量转换效率。在锅炉尾部安装余热回收装置，如省煤器、空气预热器，利用烟气余热加热给水或助燃空气，提高锅炉进水温度与燃烧空气温度，减少燃料消耗。汽轮机乏汽余热也可回收利用，用于供热或驱动吸收式制冷机，实现热电冷三联供，提高能源综合利用效率。一些火电厂采用有机朗肯循环回收工业余热，将低品位热能转化为电能，进一步挖掘余热利用潜力，减少能量浪费，提升火电热动力工程整体效率。部分北方地区的火电厂，在冬季将汽轮机乏汽余热用于城市供暖，不仅提高了能源利用效率，还减少了单独建设供暖设施的成本，为居民提供了更便捷、高效的供热服务。

3.3 探索新型动力循环技术

新型动力循环技术为效率提升开辟新路径。如采用联合循环技术，将燃气轮机循环与蒸汽轮机循环相结合，燃气轮机排出的高温烟气进入余热锅炉产生蒸汽，

驱动蒸汽轮机发电，实现能源梯级利用，提高能量转换效率，联合循环机组效率可比传统火电机组提高10%-15%。此外，超临界二氧化碳布雷顿循环具有系统紧凑、效率高的优势，以超临界二氧化碳为工质，在高温高压下运行，减少压缩功耗，提升循环热效率，有望成为未来火电热动力工程的重要发展方向。目前，已有部分科研机构和企业对超临界二氧化碳布雷顿循环开展试点研究，实验数据显示，该循环在提升能量转换效率方面潜力巨大，一旦大规模应用，将对火电行业产生深远影响。

4 基于运行管理的火电热动力工程能量转换效率提升策略

4.1 优化运行参数实现精准控制

精准调控运行参数对提升效率至关重要。通过先进的自动化控制系统，实时监测蒸汽温度、压力、流量等参数，根据机组负荷变化，动态调整燃烧器风门开度、给粉量、汽轮机调速汽门开度等，使设备始终运行在最佳工况。例如，在机组负荷降低时，适当降低蒸汽压力，减少汽轮机节流损失；在负荷增加时，及时调整燃烧工况，保证蒸汽供应稳定。利用智能算法优化运行参数组合，实现机组运行的智能化、精细化控制，最大程度提升能量转换效率。一些智能化程度较高的火电厂，借助大数据分析和智能算法，能够精准预测不同时段的用电需求，提前调整机组运行参数，避免因参数不合理导致的能量浪费，有效提升了发电效率。

4.2 强化设备维护保障稳定运行

定期、科学的设备维护是保障设备稳定运行、提升效率的基础。建立完善的设备巡检制度，及时发现锅炉受热面结垢、汽轮机叶片磨损等问题，并进行处理。定期对设备进行清洗、检修、保养，更换老化、损坏部件，确保设备性能良好。利用在线监测技术，实时掌握设备运行状态，提前预警设备故障，避免因设备突发故障导致停机，减少能量损失。通过强化设备维护，延长设备使用寿命，提高设备运行可靠性，为能量转换效率提升提供硬件保障。某火电厂引入先进的设备在线监测系统，能够实时监测设备关键部件的运行状况，提前发现潜在故障隐患，通过及时维护，设备故障率显著降低，机组连续运行时间延长，能量转换效率得到有效保障。

4.3 加强人员培训提升操作水平

操作人员专业素养直接影响机组运行效率。定期组织员工参加技术培训，学习先进的运行管理理念、设备操作技能、故障处理方法等。邀请行业专家进行技术讲座，分享最新技术成果与实践经验。开展岗位练兵、技能竞赛等活动，激发员工学习积极性，提升操作水平。

训练有素的操作人员能准确判断设备运行状态，及时调整运行参数，高效处理设备故障，确保火电热力工程安全、稳定、高效运行，提升能量转换效率。某火电厂定期选派员工参加行业高端技术培训，并组织内部技能竞赛，员工操作水平大幅提升，在设备出现突发故障时，能够迅速采取有效措施，保障机组正常运行，显著提升了电厂整体运行效率。

5 火电热力工程能量转换效率优化的未来发展趋势

5.1 前沿技术研发与应用前景

未来，火电热力工程将聚焦前沿技术研发与应用。如研发新型高温超导材料用于发电机，降低电阻，减少电能传输损耗，提高发电效率。探索高效储能技术与火电结合，在用电低谷期存储多余电能，高峰时释放，平衡电力供需，提升能源利用效率。纳米技术也有望应用于燃烧过程，通过纳米催化剂促进燃料充分燃烧，降低燃烧温度，减少污染物排放，为能量转换效率提升带来新突破。目前，国内外科研团队已在高温超导材料研发上取得阶段性成果，预计在未来几年有望实现小规模应用，届时将为火电机组发电效率提升带来新机遇。

5.2 多能互补与协同优化方向

多能互补将成为火电热力工程发展趋势。火电厂与风电、光伏等新能源联合运行，利用火电稳定性弥补新能源间歇性缺陷，实现能源协同优化。在热电联产基础上，拓展至冷热电三联供，满足用户多种用能需求，提高能源综合利用效率。火电厂与储能系统结合，调节电力输出，提升电网稳定性。通过多能互补与协同优化，构建高效、清洁、稳定的能源供应体系，提升火电热力工程在能源系统中的地位与作用。部分地区已开展火-风-光-储一体化项目试点，通过优化能源调度，实现了不同能源之间的优势互补，有效提升了区域能源供应稳定性与利用效率，为火电热力工程发展提供了新思路。

5.3 智能化与自动化发展展望

智能化、自动化将深度融入火电热力工程。利用

人工智能、大数据技术，实时分析设备运行数据，预测设备故障，优化运行参数，实现智能运维。通过自动化控制系统，远程监控、操作设备，减少人工干预，提高运行可靠性与效率。构建智慧电厂，实现生产过程智能化决策、管理精细化，提升火电热力工程整体运行效率与管理水平，适应能源行业智能化发展潮流。已有部分先进火电厂构建了智慧管控平台，实现了设备运行状态实时监测、故障智能诊断与自动处理，运行管理效率大幅提升，人力成本显著降低，成为火电行业智能化发展的标杆。

6 结论

火电热力工程能量转换效率优化是一项复杂而系统的工程，关乎能源可持续发展与环境保护大局。尽管当前面临设备老化、燃烧不充分、系统匹配不佳等诸多挑战，但通过夯实理论基础，采用先进技术，优化运行管理，紧跟前沿技术研发、多能互补、智能化发展趋势，有望实现效率质的飞跃。这需要政府、企业、科研机构多方协同，加大技术研发投入，完善政策支持体系，培养专业人才培养队伍，共同推动火电热力工程向高效、清洁、智能方向迈进，为全球能源转型贡献力量，在能源发展新征程中书写火电行业的崭新篇章。

参考文献

- [1]周西华,张潇文,白刚,等.煤矿热力灾害防控研究现状及趋势综述[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2024,43(05):534-544.
- [2]顾兴茂.电厂汽轮机的高效能热力学分析与优化[J].产品可靠性报告,2024,(10):152-154.
- [3]王世鹏.浮环结构气膜密封热力学润滑理论与试验研究[D].兰州理工大学,2023.
- [4]朱红霞.气溶胶和大气热力学条件对降水和潜热垂直结构的影响[D].中国科学技术大学,2023.
- [5]高懿伟,郭志国,张俊,等.我国金属矿山热力灾害防治技术研究现状与展望[J].金属矿山,2022,(12):196-204.