

电厂热能动力工程中的节能技术研究

许 苏

丹阳中鑫华海清洁能源有限公司 江苏 镇江 212311

摘 要：电厂热能动力工程作为能源转换和利用的重要领域，节能技术的发展与应用至关重要。本文深入探讨了电厂热能动力工程中的多种节能技术，如调频技术优化、废热高效回收利用、高效燃烧系统以及智能化监控与调度等。这些技术的实施不仅有效提高了能源利用效率，减少了能源浪费，还显著降低了环境污染。本研究为电厂热能动力工程的节能降耗提供了科学指导和实践路径，对推动能源行业的可持续发展具有重要意义。

关键词：电厂热能动力工程；节能技术；发展的推动作用

引言：在能源需求持续增长与环境保护压力日益增大的背景下，电厂热能动力工程中的节能技术研究成为推动能源可持续发展的关键。本文旨在深入探讨电厂热能动力工程中的节能技术，以期通过技术创新与应用，有效提升能源利用效率，降低能源消耗，减轻环境污染。这一研究对于促进能源行业的绿色发展，保障能源安全与生态环境平衡具有重要意义，为构建低碳、高效、可持续的能源体系贡献力量。

1 电厂热能动力工程概述

1.1 电厂热能动力工程基本原理

(1) 热能转换与传递过程。该过程遵循热力学定律，通过多环节实现能量转化。天然气在燃气轮机燃烧室燃烧释放热能，高温烟气推动燃气轮机转子高速旋转，完成热能到机械能的转换；燃气轮机带动发电机，借助电磁感应原理，把机械能转化为电能；同时，燃气轮机排出的高温烟气进入余热锅炉，加热水质（水）产生蒸汽，驱动蒸汽轮机再次做功（联合循环），进一步提升能源利用率。此过程中，存在排烟、散热等不可逆损失，需通过技术手段减少能量损耗。(2) 动力装置的工作原理及类型。动力装置以工质循环为核心，通过燃气轮机、余热锅炉、蒸汽轮机、发电机等设备协同工作。基于布雷顿循环与朗肯循环的联合循环，工质经历压缩、燃烧、膨胀、放热、蒸发、再膨胀的过程。按燃气轮机类型分类，主要有重型燃气轮机联合循环装置，效率高且运行稳定；航改型燃气轮机装置，启动快且调峰性能好；还有分布式燃机电厂装置，适用于区域能源供应，各类装置均需控制系统保障稳定运行。

1.2 电厂热能动力工程的现状与挑战

(1) 当前电厂能源利用效率。我国燃机电厂联合循环平均能源利用效率约55%-60%，先进H级燃气轮机联合循环可达63%-65%，国际先进水平超65%；简单循环燃

机电厂效率偏低，约30%-40%。不同类型电厂效率差距明显，传统重型燃机电厂效率提升空间缩小，分布式燃机电厂受限于规模，整体效率有待提高。(2) 能源消耗与环境影响分析。燃机电厂以天然气为主要燃料，相比燃煤电厂排放的SO₂、NO_x及CO₂显著降低，但仍存在碳排放问题，与“双碳”目标存在一定差距。虽低氮燃烧技术降低了污染物排放，但天然气价格波动影响运营成本，且部分地区存在气源供应不稳定问题^[1]。(3) 面临的节能降耗技术挑战。燃气轮机透平叶片耐高温极限限制了燃烧温度提升，导致效率提升受限；联合循环系统中燃气轮机与蒸汽轮机的匹配性优化难度大，部分负荷下效率下降明显；余热锅炉排烟温度偏高，低温余热回收技术不成熟；此外，老旧燃机改造受核心部件兼容性限制，高效节能技术推广存在初期投资高的经济壁垒。

2 电厂热能动力工程中的节能技术

2.1 选择适宜的调频技术

(1) 调频技术的作用与原理。调频技术是维持电网频率稳定的核心手段，其原理是通过快速调整电厂发电机组的输出功率，抵消电网负荷波动带来的频率偏差。当电网负荷增加时，调频系统触发机组增发功率；负荷下降时则减少出力，确保频率维持在50Hz±0.2Hz的标准范围内。该技术通过调节燃气轮机燃料供应量、改变压气机导叶角度等方式实现功率响应，响应速度通常需达到秒级，是保障电网安全运行的关键技术。(2) 根据电厂实际情况选择调频方法。燃机电厂需结合机组类型、容量及运行工况选择调频方法：对于重型燃气轮机联合循环机组，多采用“燃气轮机快速响应+蒸汽轮机协同调节”的协调控制方式，通过燃气轮机燃料阀快速动作响应负荷变化，蒸汽轮机滞后补偿；航改型燃机则适合“快速启停调峰”模式，利用其启动快的特点实现调频。分布式燃机电厂常搭配储能系统实现联合调频，如

与飞轮储能结合,可将调频响应时间缩短至1秒以内^[2]。

(3) 调频技术在节能降耗中的应用案例。某H级燃气轮机联合循环电厂采用“一次调频+深度调峰”联合系统后,机组调频响应速度提升30%,单次调频过程中的天然气消耗降低2.5%。该系统通过优化燃料控制曲线,减少了频繁调节导致的燃烧波动,年节约天然气约800万立方米,同时降低了燃气轮机热部件的疲劳损伤,综合节能效益显著。

2.2 废热回收利用技术

(1) 废热产生的原因与类型。电厂废热主要源于三个环节:一是燃气轮机排气余热,温度通常在500-600℃;二是余热锅炉排烟损失,温度约120-150℃;三是辅机设备(如压气机、水泵)的散热。按温度划分,可分为高温废热(>300℃)、中温废热(100-300℃)和低温废热(<100℃),其中中高温废热占比达70%以上,回收潜力巨大。(2) 废热回收方法及装置介绍。1) 余热锅炉:核心废热回收设备,利用燃气轮机高温排气加热水产生蒸汽,参与联合循环做功,可回收60%-70%的排气余热。2) 烟气再热器:加装在余热锅炉尾部,利用中温烟气加热燃烧用空气,提升燃烧效率,降低排烟温度20-30℃。3) 有机朗肯循环(ORC)系统:适用于低温废热回收(如余热锅炉排烟),通过低沸点工质吸收热量膨胀做功,驱动小型发电机发电,发电效率可达10%-15%。(3) 废热回收技术的实际应用效果评估。某F级燃气轮机联合循环电厂在余热锅炉后加装ORC系统,回收排烟余热,使电厂整体效率提升1.2个百分点,年额外发电800万kWh。另一电厂采用烟气再热器技术,将燃烧空气预热至200℃以上,燃气轮机效率提升0.8%,年节约天然气约500万立方米,投资回收期约4年,同时减少了烟气中酸性物质的凝结腐蚀。

2.3 高效燃烧技术

(1) 高效燃烧器的工作原理与优势。高效燃烧器通过优化天然气与空气的混合方式和燃烧组织提升效率,如干式低氮燃烧器采用预混燃烧技术,使燃料与空气充分混合后再燃烧,火焰温度均匀且降低NO_x生成;扩散燃烧器则通过分级配风控制燃烧速度。其优势在于燃烧效率可达99.5%以上,较传统燃烧器节能1-2%,同时NO_x排放浓度可控制在25ppm以下。(2) 燃烧优化系统的监测与控制。系统通过布置在燃烧室的激光传感器和热电偶,实时监测火焰温度分布、燃烧稳定性及过剩空气系数。结合DCS控制系统,自动调节燃料流量、空气流量和燃烧器摆角,使空燃比维持在最佳区间,避免过氧燃烧导致的热量损失或缺氧燃烧产生的不完全燃烧损失^[3]。

(3) 高效燃烧技术在电厂中的应用实例。某400MW级F级燃气轮机改造干式低氮燃烧器后,燃烧效率从98.6%提升至99.5%,单台机组年节约天然气约600万立方米,NO_x排放浓度从50ppm降至20ppm以下,无需额外脱硝即可满足环保标准,年减少运行成本约400万元。

2.4 智能化监控与调度技术

(1) 智能化监控系统的构成与功能。系统由三层架构组成:感知层(安装数千个传感器,监测燃气温度、压力、振动、排气成分等参数)、网络层(工业以太网/5G实现数据传输)、应用层(AI算法平台与数字孪生系统)。功能涵盖设备状态预警、能耗实时分析、燃烧优化、故障诊断等,可实现全流程数据可视化。(2) 实时监测与智能调度在节能降耗中的作用。实时监测能及时发现异常能耗点,如压气机效率下降可立即触发清洗预警;智能调度则通过预测次日负荷曲线,优化机组启停计划和负荷分配,例如在高峰负荷时段满负荷高效运行,低谷时段降负荷至最佳效率区间,使厂用电率降低0.2-0.4个百分点^[4]。(3) 智能化技术在电厂中的实施策略与效果分析。某燃机电厂推行“智慧电厂”改造,采用机器学习算法优化燃烧参数,使机组平均供电天然气消耗下降3.2%;通过智能调度系统协调3台燃气轮机运行,年减少非计划停机时间30小时,节约天然气约300万立方米,综合节能效益达千万元级别。

2.5 其他节能技术探讨

(1) 燃气轮机通流部分优化与效率提升。通过对压气机和透平叶片进行气动优化,采用先进叶型设计,减少气流损失,可使燃气轮机效率提升0.5-1%。某电厂对压气机进行水洗优化和叶片修复后,压气机效率提升1.2%,燃气轮机出力增加5MW,年节约天然气约200万立方米。(2) 蒸汽再热技术的应用与节能效果。在联合循环系统中采用蒸汽再热技术,将高压蒸汽引入燃气轮机排气通道再次加热后进入低压蒸汽轮机,可提升蒸汽循环效率2-3%。某电厂应用后,联合循环效率从58%提升至59.2%,年增加发电量约1200万kWh。(3) 其他创新节能技术的应用前景。磁悬浮轴承技术应用于燃气轮机,可降低机械损耗30%以上,同时减少润滑油系统能耗;氢天然气混合燃烧技术可降低碳排放10-15%,目前处于试验阶段;碳捕集与燃气轮机联合系统将捕集能耗控制在2.0GJ/吨CO₂以下,商业化前景广阔。

3 节能技术对电厂热能动力工程发展的推动作用

3.1 提高能源利用效率与经济效益

(1) 分析节能技术对能源利用效率的提升作用。节能技术通过全环节优化显著提升能源利用效率。废热回

收技术可降低余热锅炉排烟温度40-60℃,使电厂整体效率提升1-2个百分点;高效燃烧技术将燃烧效率从98%提高至99.5%以上,减少1-2%的燃料浪费;智能化调度通过负荷匹配使机组在最优工况运行,厂用电率降低0.2-0.4个百分点。多种技术协同下,先进联合循环机组能源利用率突破65%,较传统机组提升8-10%,大幅缩小与理论极限的差距。(2)探讨节能技术对电厂经济效益的积极影响。节能技术从降本与增收两方面创造效益。某600MW级联合循环机组应用废热回收与燃烧优化技术后,年节约天然气3000万立方米,直接降低燃料成本1800万元;智能监控系统减少设备故障停机时间20%,年减少损失500万元;参与电网调频的机组年增收300-500万元。同时,环保达标避免罚款,低氮燃烧技术可使年环保支出减少200万元以上,形成显著的经济回报。

3.2 促进电厂可持续发展

(1)讨论节能技术在推动电厂可持续发展方面的作用。节能技术通过资源节约与环保达标支撑可持续发展。在资源利用上,某集团通过节能改造使单位发电天然气消耗下降8%,年减少天然气消耗1.5亿立方米;在环保层面,低氮燃烧与碳减排技术使污染物排放下降50%,碳排放强度降低12%,帮助电厂满足环保政策要求,避免因超标被限产或关停,延长机组服役周期。(2)分析节能技术与电厂绿色发展目标的契合点。节能技术与绿色目标形成深度契合:高效燃烧减少天然气消耗,直接降低碳排放;余热回收提升能源利用率,减少单位发电的燃料消耗;氢混燃等前沿技术推动向零碳转型。某电厂通过节能技术整合,实现NO_x排放浓度低于20ppm,CO₂排放强度下降15%,成为“低碳电厂”示范单位。

3.3 对行业技术创新的启示与推动

(1)总结节能技术在电厂热能动力工程中的创新

点。节能技术创新体现在三方面:多循环耦合(如燃气轮机-蒸汽轮机-ORC三联供)、智能燃烧控制(AI自适应调节)、材料升级(陶瓷基复合材料使透平叶片耐温提升200℃)。这些创新突破传统技术瓶颈,例如将燃气轮机单机效率从38%提升至42%以上。(2)探讨节能技术对行业技术创新的启示与推动作用。节能技术推动形成“问题导向-技术研发-产业应用”的创新链条。其经验启示行业需聚焦实际需求,如针对碳约束开发氢燃机技术;同时带动上下游创新,如高效燃烧器推动特种陶瓷发展,智能系统促进高温传感器升级。目前已成为行业技术升级核心驱动力,预计未来5年将催生20余项关键技术突破,推动行业向高效化、低碳化转型。

结束语

综上所述,电厂热能动力工程中的节能技术研究对于提升能源利用效率、促进环境友好型能源发展具有重要意义。通过不断探索和实践,我们已取得了显著的节能成效。未来,应继续加大节能技术的研发力度,推动技术革新与产业升级,为实现全球能源可持续发展目标贡献力量。同时,加强国际合作,共同应对能源与环境挑战,共创绿色、低碳的美好未来。

参考文献

- [1]叶葵.热能与动力工程中的节能技术措施分析[J].化工管理,2020,(05):54-55.
- [2]余冯坚,陈凯.热能与动力工程中的节能技术探讨[J].应用能源技术,2021,(04):33-34.
- [3]刘军.热能与动力工程中的节能技术探讨[J].南方农机,2020,(13):132-133.
- [4]魏春雷.热能与动力工程中的节能技术探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2020,(15):166-167.