

热能与动力工程中的节能技术分析

李燕皇

控软自动化技术（北京）有限公司，北京，100176；

摘要：热能与动力工程是能源利用体系中的核心领域，广泛应用于电力、交通、工业和建筑等部门。随着能源消耗持续增长和环境问题日益严峻，节能技术在提升能源利用效率、降低碳排放以及推动绿色低碳转型方面发挥着关键作用。本文系统分析了热能与动力工程中常见的节能技术路径，包括热力循环优化、余热回收利用、燃烧改进技术、先进材料与装备应用，以及智能化与信息化节能管理。通过对各类技术的机理剖析与应用案例研究，指出其在实际工程中的效果与局限，并探讨未来节能技术的创新发展方向。研究表明，节能技术不仅是实现能源安全与环境可持续的技术支撑，也是“双碳”目标下推动能源结构优化与产业升级的重要手段。

关键词：热能与动力工程；节能技术；余热回收；燃烧优化

DOI：10.69979/3060-8767.25.11.022

引言

能源是现代社会发展的基础资源，而热能与动力工程是能源利用的主要环节，承担着能源转换与输送的核心任务。然而，在长期依赖化石能源的背景下，该领域普遍存在能源利用效率偏低、排放强度过高的问题。在“双碳”战略目标的驱动下，节能成为实现能源清洁转型与高质量发展的重要路径。热能与动力工程中的节能技术涵盖系统设计优化、设备升级改造以及运行管理智能化等多个方面，其核心在于提高能量转换效率、减少能量损失，并推动能源系统向低碳化和可再生能源融合方向发展。学界与产业界在此领域已积累了丰富的研究成果和应用经验，但在不同技术路径的适用性、经济性以及协同效益方面仍存在诸多挑战。因此，有必要对热能与动力工程中的节能技术进行系统化分析，以期对相关领域的技术进步和政策制定提供参考。

1 热能与动力工程的节能需求背景

热能与动力工程是能源利用体系中的关键环节，涉及电力生产、工业过程、交通运输以及建筑供能等多个领域。随着社会经济的快速发展和人民生活水平的不断提升，能源需求总量持续增长，而传统以煤炭、石油等化石燃料为主的能源结构，使得能源利用效率不高的问题尤为突出。据统计，我国一次能源消费中超过 60% 依赖煤炭，火电机组仍然是电力供应的主体。然而，由于机组设计水平、运行管理和设备老化等原因，其平均能量转化效率仍处于全球中等偏下水平，存在显著的节能潜力。同时，在钢铁、水泥、石化等高耗能行业中，工

艺设备运行过程中产生的大量余热和余压未得到充分利用，形成了巨大的能源浪费。

从环境压力的角度看，能源利用过程伴随的大量二氧化碳、氮氧化物和颗粒物排放，已成为制约社会可持续发展的主要因素。全球气候变化形势日益严峻，国际社会普遍要求各国采取有效措施降低碳排放。在“双碳”目标的战略背景下，我国必须在保持经济增长的同时实现能源消耗强度和碳排放总量的下降，而这在很大程度上依赖于节能技术的推广与应用。此外，能源价格波动和国际能源安全形势的不确定性，也对我国能源供需格局形成挑战。因此，从资源利用、环境保护和能源安全三个层面出发，热能与动力工程中的节能需求既具有现实的紧迫性，也蕴含长远的战略价值。

2 关键节能技术路径

2.1 热力循环优化技术

热力循环是热能与动力工程中实现能量转化的核心环节，其效率直接决定了整个系统的能源利用水平。传统火电机组主要采用朗肯循环，其热效率受限于蒸汽温度和压力水平。为突破这一瓶颈，研究者提出了超临界和超超临界机组，通过提高蒸汽参数至 600℃ 以上、压力超过 25MPa，实现了显著的效率提升，机组热效率已接近 45%。此外，联合循环技术在天然气发电中得到广泛应用，燃气轮机与蒸汽轮机协同运行，将燃气高温排气的余热引入余热锅炉，驱动蒸汽轮机发电，使循环效率达到 55% 以上，成为当前火电节能的主流技术路径之一。近年来，复合循环与多级循环优化成为新的发展

方向。例如，布雷顿循环与朗肯循环的耦合能够充分利用不同温度等级的热能，减少能量梯级损失。在余热回收与新能源耦合方面，有学者提出了朗肯循环与有机朗肯循环（ORC）的双循环模式，使低温废热也能有效转化为电能，提高系统整体效率。这些热力循环优化技术不仅改善了能量利用率，还为电力行业的节能减排提供了坚实的技术基础。

2.2 余热与余能回收利用技术

在工业过程和动力系统运行中，大量的余热和余能常常以高温烟气、蒸汽冷凝水、余压气体等形式排放到环境中，造成严重的能源浪费。余热与余能回收利用技术的核心在于通过换热、发电或工艺再利用等方式，将这些废弃能量重新加以利用。典型的余热利用技术包括余热锅炉、余热发电和热泵系统。其中，余热锅炉能够将高温烟气的热量回收转化为蒸汽，再次驱动汽轮机发电或供热；余热发电广泛应用于水泥、钢铁和冶金行业，可将高温废气直接用于驱动汽轮机，实现“以废生电”。

在低温余热的利用方面，有机朗肯循环技术（ORC）具有独特优势。其工作介质沸点较低，能够在 $80^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内实现热能转化，在地热、太阳能余热以及工业低温余热利用中展现出广阔前景。同时，余压利用也是节能的重要方式，如钢铁企业通过余压透平装置利用高压气体的膨胀做功，既回收了能源，又降低了系统运行压力，保障了安全性。这些技术路径在工业领域已经形成大规模应用，不仅节约了燃料成本，还有效减少了二氧化碳排放。未来，随着材料学和换热技术的进步，余热与余能回收将更加多元化与高效化，逐步向系统化、智能化方向发展。

2.3 燃烧改进与清洁燃烧技术

燃烧过程是动力系统和工业设备中能量释放的主要方式，其效率和清洁性对节能减排具有决定性作用。传统燃烧技术存在燃料利用率低、污染物排放高等问题，因此燃烧改进技术成为节能研究的重要方向。分级燃烧技术通过在不同区域分步供氧，使燃烧过程更加充分，并有效抑制氮氧化物的生成。富氧燃烧技术则利用高浓度氧气替代部分空气，减少了氮气的稀释作用，提高了火焰温度和燃烧效率，同时降低了氮氧化物排放。低温燃烧和催化燃烧技术也逐渐受到关注。低温燃烧通过控制火焰温度在适宜区间，使燃烧过程更加均匀，减少燃

料不完全燃烧带来的能量损失和污染排放；催化燃烧则借助催化剂降低燃烧反应的活化能，不仅提高了燃料的利用率，还显著减少了有害气体的排放。在煤炭清洁利用方面，循环流化床燃烧技术因其燃料适应性广、燃烧效率高和污染控制效果好，已在电力行业得到广泛应用。随着新能源和生物质能的发展，混合燃烧和协同燃烧技术成为新的趋势，这类技术能够有效提升系统灵活性，实现多元能源的高效清洁利用。

2.4 智能化与信息化节能管理技术

随着信息技术与能源工程的深度融合，智能化与信息化节能管理逐渐成为提升系统效率的重要手段。智能节能管理技术的核心是通过大数据、人工智能和物联网等手段，实现对动力系统运行状态的实时监控与优化控制。在电力系统中，智能调度能够根据负荷变化和发电机组运行状况，动态调整机组出力，实现供需平衡的同时减少能耗。在工业领域，基于传感器与智能算法的能耗监测系统能够精准识别设备能耗异常，帮助管理者实施精细化节能改造。数字孪生技术在热能与动力工程中逐渐兴起，通过建立设备与系统的虚拟模型，实现运行过程的仿真预测与故障预警，为节能优化提供科学依据。建筑领域的能源管理系统（EMS）则通过对供暖、制冷、照明等系统的综合调控，实现分布式能源的高效利用。在国家层面，智慧能源管理平台的建设推动了区域能源系统的互联与协同，实现多能互补和综合节能。可以预见，随着人工智能和 5G 通信技术的发展，智能化节能管理将进一步推动热能与动力工程从传统粗放式用能模式向精细化、智能化、低碳化方向转型。

3 应用案例与效果评价

3.1 国内典型节能技术应用案例

在我国能源消费结构以煤炭为主的背景下，火电行业节能改造成为推动节能减排的重要抓手。近年来，我国大力推进超临界与超超临界机组建设，以提高燃煤发电的效率。以华能国际能源集团为例，其在江苏投运的 1000MW 超超临界机组，通过采用高参数蒸汽条件、先进汽轮机叶片冷却技术和低损失发电机组，实现了超过 4.5% 的发电效率，较传统亚临界机组提高约 8 个百分点，每年可节约标煤数十万吨，减排二氧化碳百万吨级。该案例表明，热力循环优化在我国大规模火电机组中已经取得显著成效。

在工业领域，钢铁和水泥行业的余热发电应用最为典型。例如，宝钢股份建设的高炉煤气余能发电系统，通过余压透平与余热锅炉的协同运行，年发电量超过 10 亿千瓦时，约占企业总用电需求的 20%，有效降低了生产过程的外购电依赖。水泥行业则普遍推广窑头窑尾余热发电技术，以海螺集团为代表的大型企业，其余热发电系统在生产过程中实现了对高温烟气的充分利用，每年节约标煤百万吨以上。这些案例证明，余热与余能利用技术不仅带来了直接的经济收益，还显著改善了能源利用效率与环境效益。

3.2 国际节能技术应用经验与成效评价

在国际范围内，发达国家在热能与动力工程节能技术的研发与应用方面积累了丰富的经验。美国在天然气联合循环电站的建设方面走在前列，其典型电站机组效率已达到 60% 以上，不仅大幅减少了燃料消耗，也降低了温室气体排放。在工业领域，日本长期推行能源管理标准，形成了较为完善的余热回收利用体系。以日本钢铁企业新日铁住金为例，其通过余热发电与煤气干法回收技术的深度融合，实现了能源回收率的大幅提升，生产过程中二氧化碳排放量显著低于国际平均水平。

在欧洲，德国的能源转型战略强调节能与可再生能源协同推进。其在建筑与城市供能系统中广泛应用热电联产（CHP）和区域供热技术，实现了能源梯级利用与分布式能源优化配置。丹麦则通过政策引导和技术支持，推动了全国范围内的集中供热系统建设，余热利用率接近 90%，在节能减排方面取得了全球领先的成果。这些案例表明，制度引导与技术创新相结合，是推动节能技术广泛应用的关键。从效果评价的角度看，节能技术的推广不仅带来了能源利用效率的提升，还在经济效益和环境效益方面表现突出。在经济层面，企业通过节能改造普遍实现了燃料成本的降低与生产效率的提高，投资回收周期通常在 3~5 年之间，具备较高的经济可行性。在环境层面，节能技术应用显著减少了温室气体和污染物排放，推动了生态环境改善与低碳发展。从社会层面看，节能技术还促进了节能装备制造、智能监测等新兴产业的发展，形成了新的经济增长点。综合来看，节能技术不仅是企业可持续发展的内在要求，也是国家实现

“双碳”目标和绿色转型的必然选择。

4 结束语

热能与动力工程作为能源利用体系的核心领域，其节能技术的发展对于推动能源结构优化、实现环境友好型社会 and 保障国家能源安全具有深远意义。本文从节能需求与研究意义出发，系统分析了热力循环优化、余热余能回收、燃烧改进以及智能化节能管理等关键技术路径，并结合国内外典型案例探讨了其应用成效与发展经验。研究表明，节能技术的推广不仅能够显著提升能源利用效率，降低资源消耗和碳排放，还能带动产业升级与绿色经济增长，具有显著的经济、环境与社会综合价值。展望未来，随着“双碳”目标的持续推进，节能技术将在更高层次与更广领域得到深化与拓展。一方面，需要进一步依托新材料、新工艺与信息化技术，推动能源系统的智能化、数字化升级，实现跨行业、跨系统的综合节能。另一方面，应强化政策支持与标准建设，形成政府、企业与社会协同的节能推进机制。可以预见，热能与动力工程节能技术将成为我国能源转型与可持续发展的关键支柱，对实现高质量发展目标具有不可替代的战略意义。

参考文献

- [1] 李飞, 袁源, 武泽东. 热能动力系统的智能控制策略及其在节能减排中的应用研究[J/OL]. 中文科技期刊数据库(全文版) 工程技术, 2025(6) [2025-06-03]. <https://www.cqvip.com/doc/journal/2010434268753529860>.
- [2] 毕明业. 热能动力工程系统智能化设计关键技术及可靠性分析[J]. 数码设计(电子版), 2024, (5): 0746-0748.
- [3] 郑云龙. 热能动力系统中智能化监控与故障诊断技术应用[J]. 电力设备管理, 2024, (14): 83-85.

作者简介：李燕皇，出生年-：1982.05.08，性别：男，民族（汉族略）：汉，籍贯：广东省梅县，学历：本科，目前职称：中级热能与动力工程师，研究方向：热能与动力工程。