

动力工程中热能回收技术的优化与应用研究

黄金福

福建华电可门发电有限公司, 福建省福州市, 350500;

摘要: 在能源短缺与环境问题日趋严峻的背景下, 动力工程作为能源消耗与转换的核心领域, 提升其热能回收效率已成为践行节能降耗战略、推动行业绿色转型的核心路径。本文聚焦动力工程中热能回收技术的应用现状, 深入剖析现有技术存在的瓶颈制约, 从核心技术改进、系统集成优化及智能调控融合三个维度, 系统探讨热能回收技术的优化方向与实施路径, 并结合工业发电、冶金及化工等典型应用场景, 实证分析优化后技术的应用成效。研究表明, 通过科学的技术改良与系统整合, 可显著提升动力工程中热能资源的回收率与综合利用率, 为动力工程领域实现绿色低碳发展提供坚实的技术支撑。

关键词: 动力工程; 热能回收; 技术优化; 系统集成

DOI: 10.69979/3060-8767.26.01.023

引言

动力工程是涵盖能源生产、转换、传输及利用的综合性工程领域, 广泛服务于电力发电、工业生产、交通运输等关键行业。在动力工程运行过程中, 存在大量热能损失, 相关统计数据显示, 工业领域动力设备的热能利用率不足40%, 其余热能多以烟气、余热废水、乏汽等形式直接排放, 不仅造成了巨额能源浪费, 还加剧了环境热污染, 与全球“双碳”目标相悖。随着全球能源结构转型进程持续加快, 节能降耗已成为各行各业的核心发展共识, 动力工程作为能源消耗大户, 其热能回收技术的优化升级与规模化应用迫在眉睫。

热能回收技术通过特定设备与系统, 对动力工程运行过程中产生的余热、余压等低品位热能进行回收、转换与再利用, 最终实现能源梯级利用的目标。近年来, 国内外学者围绕热能回收技术开展了大量基础性与应用性研究, 涌现出余热锅炉、吸收式制冷、有机朗肯循环(ORC)等多种成熟度较高的热能回收技术。但在实际工程应用中, 此类技术仍普遍面临回收效率偏低、系统适配性差、运行成本偏高及技术集成度不足等问题。基于此, 本文开展动力工程中热能回收技术的优化与应用研究, 旨在明确技术优化的核心方向与关键路径, 推动热能回收技术在动力工程中的高效落地, 为该领域的能源节约与环境改善提供理论支撑与实践范例。

1 动力工程中热能回收技术的应用现状

1.1 常见热能回收技术类型

动力工程中的热能回收技术可依据回收对象特性

与核心回收原理划分为多种类型, 其中应用范围较广、技术成熟度较高的主要包括以下四类: 其一为余热锅炉回收技术, 该技术核心是回收动力设备排放烟气中的热能, 通过余热锅炉将烟气热量传递给工质并产生蒸汽, 进而用于发电或供热, 广泛应用于火电、钢铁、水泥等行业的动力系统; 其二为吸收式制冷回收技术, 该技术以动力工程产生的余热为驱动源, 带动吸收式制冷机组运行, 实现余热向冷能的转换, 主要用于工业生产制冷、车间空调等场景, 在化工、纺织等行业应用较为普遍; 其三为有机朗肯循环(ORC)技术, 专门针对低品位余热资源设计, 采用低沸点有机工质作为循环介质, 通过吸收余热实现工质蒸发、膨胀做功, 进而驱动发电机发电, 适用于工业余热、地热等低品位热能的回收利用; 其四为余热余压发电技术, 通过回收动力设备运行过程中同步产生的余压能与余热, 搭配涡轮机、发电机等核心设备完成能量转换与回收, 在冶金、化工等高压生产场景中应用优势显著。

1.2 现有技术应用存在的问题

尽管热能回收技术已在动力工程领域实现初步应用, 但实际运行过程中暴露的诸多问题, 严重制约了其回收效率的提升与应用场景的拓展。首先, 回收效率偏低问题突出, 尤其是针对低品位热能资源, 现有技术的回收效率普遍低于30%。核心原因在于低品位热能具有温度低、能量密度小、参数稳定性差等固有特性, 现有回收设备的换热效率与能量转换效率难以满足此类热能的回收需求; 其次, 系统适配性薄弱, 不同动力工程的运行工况存在显著差异, 余热资源的温度、流量等关

键参数波动幅度较大，而现有热能回收系统多为刚性固定设计，难以实现与动力工程运行工况的动态适配，导致系统在部分工况下出现无法稳定运行或回收效率骤降的问题；再次，运行成本居高不下，热能回收系统的设备购置、工程安装及后期维护成本较高，且部分技术运行过程中需消耗额外能源用于系统调控，导致企业投资回报周期普遍较长，极大削弱了企业采用热能回收技术的积极性；最后，技术集成度不足，现有动力工程中的热能回收多以单一技术独立应用为主，未能实现多种回收技术的协同整合与梯级利用，无法充分挖掘不同品位热能资源的利用价值，能源浪费问题仍未得到根本解决。

2 动力工程中热能回收技术的优化策略

2.1 核心回收技术的改进与升级

针对现有热能回收技术存在的效率偏低问题，需从核心技术层面开展定向改进与升级迭代。对于余热锅炉回收技术，可通过两方面优化提升性能：一是优化换热面结构设计，采用陶瓷换热材料、金属基复合材料等高效换热材料，提升换热面的传热系数与耐高温、抗腐蚀性能；二是增设高效烟气净化装置，减少烟气中粉尘、硫化物等杂质对换热面的腐蚀与堵塞，延长设备使用寿命与运行稳定性。对于有机朗肯循环（ORC）技术，优化重点集中于工质选型与循环系统参数匹配：结合动力工程余热资源的温度特性，筛选热稳定性好、传热性能优、环境友好且经济性强的有机工质；同时采用回热循环、多级蒸发等优化设计方案，提升循环系统的能量转换效率。对于吸收式制冷回收技术，需聚焦三个核心方向：优化吸收剂与制冷剂的配比、研发高效传热传质设备、重构机组运行流程，通过多维度优化提升机组的制冷系数与余热利用率。

2.2 热能回收系统的集成优化

实现多种回收技术的协同集成与系统整体优化，是提升热能回收效率的核心关键。一方面，构建梯级热能回收系统，基于动力工程中余热资源的品位差异，采用差异化回收技术进行分层回收与梯级利用：高品位余热（温度高于400℃）通过余热锅炉产生高压蒸汽用于发电；中品位余热（温度在100℃-400℃）采用ORC技术发电或驱动吸收式制冷机组；低品位余热（温度低于100℃）用于厂区供暖、生活热水供应或工业生产原料预热，实现热能资源的最大化回收与高效利用。另一方

面，推动热能回收系统与动力工程主系统的一体化设计，将热能回收系统全面纳入动力工程的整体运行规划，借助专业系统仿真工具与多目标优化设计方法，实现回收系统与主系统运行参数的精准匹配，减少系统运行过程中的能量损耗，提升整个动力系统的综合能源利用效率。此外，可融合余热余压回收技术，将热能回收与压力能回收有机结合，形成“余热+余压”协同回收模式，进一步提升能源回收效果。

2.3 智能调控技术的融合应用

针对动力工程运行工况波动大导致热能回收系统适配性差的问题，需融合智能调控技术，构建动态优化运行体系。首先，搭建余热资源实时监测与预警系统，部署温度、流量、压力等高精度传感器，全面采集动力工程中余热资源的关键参数，依托工业互联网数据传输网络将监测数据实时传输至中央控制系统，实现对余热资源参数的动态监测与异常预警。其次，引入智能控制算法（如模糊控制算法、神经网络控制算法、模型预测控制算法等），结合余热资源监测数据与系统运行状态参数，构建多变量智能调控模型，实现对热能回收系统运行参数的实时动态调整，确保系统在不同工况下均能维持最佳运行状态。最后，融合物联网与大数据分析技术，对热能回收系统的长期运行数据进行存储、挖掘与分析，精准识别系统运行过程中的优化空间，为系统的运维保养与升级改造提供数据支撑。通过智能调控技术的深度融合应用，可显著提升热能回收系统的适配性与运行稳定性，有效降低系统运行成本。

3 动力工程中热能回收优化技术的应用案例

3.1 火电厂烟气余热回收优化应用

某大型火电厂前期采用传统余热锅炉回收烟气余热，但由于烟气中粉尘含量较高，换热面易发生堵塞与腐蚀问题，致使烟气余热回收效率仅维持在25%左右。为破解这一困境，该电厂对热能回收系统实施了全方位优化升级：一是改造余热锅炉换热系统，采用陶瓷基复合换热材料重构换热面结构，显著提升了换热效率与抗腐蚀、抗堵塞性能；二是构建三级梯级热能回收系统，将烟气余热按品位划分为高、中、低三个等级开展差异化回收：高品位烟气（温度高于450℃）通过余热锅炉产生高压蒸汽用于主力发电；中品位烟气（温度在200℃-450℃）配套ORC机组进行辅助发电；低品位烟气（温度低于200℃）用于厂区供暖与生活热水供应；三是引

入智能调控系统，通过部署高精度传感器实时监测烟气温度、流量等参数，采用模糊控制算法动态调整余热锅炉与 ORC 机组的运行参数。系统优化升级后，该火电厂的烟气余热回收效率提升至 42%，年节约标准煤约 3.5 万吨，减少二氧化碳排放约 9 万吨，不仅显著提升了企业的节能效益与环保效益，还降低了企业的能源采购成本，实现了生态效益与经济效益的双赢。

3.2 冶金行业动力系统余热回收优化应用

冶金行业的炼钢、炼铁等核心工艺过程中会产生大量高温余热与高压余压，某大型钢铁企业原有热能回收系统采用单一余热余压发电技术，系统适配性薄弱，在生产工况波动时，回收效率骤降至 20% 以下。为提升热能回收效果，该企业对热能回收系统进行了集成化优化改造：一是整合余热锅炉、ORC 机组与吸收式制冷机组，构建多品位梯级热能回收系统，针对不同品位余热资源开展精准回收利用：高品位余热用于主力发电，中品位余热驱动吸收式制冷机组为生产车间提供工艺冷能，低品位余热用于原料预热；二是搭建智能调控平台，通过部署分布式传感器实时采集余热、余压参数，结合生产工况数据，采用神经网络控制算法动态调整回收系统的运行状态，实现系统与生产工况的精准适配；三是推进回收系统与冶金动力主系统的一体化融合设计，优化系统连接管路与运行流程，减少系统运行过程中的能量损耗。系统优化后，该钢铁企业的热能回收率从原来的 32% 提升至 48%，年新增发电量约 2.8 亿度，年节约生产成本超 1.6 亿元，同时大幅降低了余热排放对周边环境的热影响，为冶金行业热能回收技术的优化应用提供了典型范例。

4 未来展望

在全球能源危机加剧、环境约束日趋严格的背景下，动力工程中热能回收技术的优化升级与深度应用将迎来更广阔的发展空间。未来，热能回收技术的核心发展方向可概括为以下四个方面：一是高效节能材料的研发与产业化应用，重点开发具有超高传热效率、优异耐高温与抗腐蚀性能的新型复合材料，进一步提升热能回收设备的核心性能与使用寿命；二是新能源技术与热能回收技术的深度融合，将太阳能、风能等新能源技术与热能回收技术有机结合，构建多能源互补的一体化动力系统，提升系统的能源供应稳定性与综合节能效果；三是智能调控技术的迭代升级，融合人工智能、大数据、云

计算与数字孪生等先进技术，构建具备自主决策、动态优化与远程监控功能的智能化热能回收调控系统，实现系统全生命周期的智能化运行；四是跨行业技术推广与应用场景拓展，将动力工程领域成熟的热能回收优化技术推广至建筑供暖、交通运输、民用生活等其他领域，构建全社会层面的热能梯级利用体系，助力实现全社会能源节约与绿色发展目标。

此外，需强化政府与企业的协同联动，加大对热能回收技术研发与应用的资金投入，完善相关政策支持体系，通过财政补贴、税收减免等激励政策，鼓励企业积极采用先进热能回收技术，推动动力工程领域的绿色低碳转型。同时，加强国际间的技术交流与合作，积极引进国外先进热能回收技术与工程经验，结合我国动力工程的行业特点与运行工况开展消化吸收与自主创新，全面提升我国热能回收技术的自主研发能力与整体应用水平。

5 结论

动力工程领域热能回收技术的优化升级与规模化应用，是践行节能降耗理念、推动行业绿色低碳发展的关键抓手。现有热能回收技术在实际应用中仍面临回收效率偏低、系统适配性差、运行成本较高及技术集成度不足等突出问题，严重制约了其推广应用。通过核心回收技术的定向改进与升级、热能回收系统的协同集成优化以及智能调控技术的深度融合应用，可有效提升热能回收效率与系统运行稳定性。火电厂、冶金行业等典型应用案例的实践成效表明，优化后的热能回收技术能够显著提升企业的节能效益、经济效益与环保效益，具备良好的推广价值。未来，随着高效节能材料、新能源技术与智能调控技术的持续突破，热能回收技术在动力工程中的应用深度与广度将不断拓展，为行业绿色转型提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 张汉青. 煤化工精馏过程中热能回收技术优化分析 [J]. 工程管理, 2025(3).
- [2] 汤子锋, 张晓慧. 热能与动力工程中的节能技术探讨 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术:00036-00036[2025-12-11].
- [3] 吴华新. 低位烟气余热深度回收利用状况述评 (I) ——新技术路线与回收条件改变的影响 [J]. 热能动力工程, 2012, 27(3):6.