

热能回收技术在动力工程领域的创新与发展

王志超，蒋毅，杨林心

(泸州老窖股份有限公司，四川 泸州 646015)

摘要 热能回收技术是提升动力工程效率与节能减排的重要途径，在各类动力系统中得到广泛应用。本文对热能回收技术的主要类型以及其发展历程进行了梳理，着重分析了技术创新对提升能量利用率和环境保护的作用。研究结果表明，新型材料和智能控制等创新技术能显著促进动力系统的综合性能优化，热能回收技术的不断进步对推动动力工程的绿色转型与可持续发展具有积极意义。

关键词 热能回收技术；动力工程；新型材料

中图分类号:TK1

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.02.004

0 引言

近些年，热能回收的众多技术路径不断呈现，其中余热锅炉、热泵、相变储热材料以及熔盐储能等技术逐步走向成熟，并且在火力发电、工业制造、交通运输等动力工程系统中得到广泛运用。以智能控制为代表的信息化技术不断融合新型高效材料，实现热能回收全过程的高效管理与优化，显著提升系统综合性能。相关研究多聚焦单一技术性能及工程应用，然而在提升整体能量利用率、减少环境影响方面，技术创新与系统集成表现出更为重要的作用，目前热能回收技术正处于快速发展与持续创新阶段。本文系统梳理此技术的主要类型和发展历程，探讨技术创新在动力系统能量利用以及环境保护方面的作用，揭示热能回收技术对于动力工程绿色转型和可持续发展的推动意义。

1 热能回收技术的发展背景

1.1 热能回收技术的兴起历程

热能回收技术的兴起源于工业革命以来对能效提升的迫切需求。在20世纪初，余热利用的初步尝试主要是集中于简单的蒸汽动力系统中，随着20世纪中叶工业进程的加快，各类装备开始引入余热回收装置以期提高效率并减少能源浪费。21世纪，环保法规日益严格，对可再生能源的关注也在增加，这进一步推动了该领域的发展^[1]。先进材料与现代控制技术的结合，使热能回收技术在不同行业中的应用更为广泛，成为动力工程中的关键部分。

1.2 节能减排需求驱动

随着全球能源资源的日益紧张以及环境污染问题的加剧，节能减排已成为各国亟待解决的重要议题，

动力工程领域是能源消耗“大户”，其能效提升对节能减排至关重要。在此背景下，热能回收技术被视作提升能源利用效率的关键手段。该技术通过回收利用过程中的余热显著提升了系统的整体能效，降低了能耗和排放。各国纷纷出台政策推动并鼓励热能回收技术的研究和应用，以实现能源的高效利用以及环境的有效保护。热能回收技术的发展顺应了低碳经济的潮流，为动力工程领域的可持续发展提供了新的动力。

1.3 动力工程中的能效挑战

动力工程领域面临严峻的能效挑战，传统能源利用形式广泛存在效率低的问题，引发了大量能源浪费，化石燃料在发电和工业驱动中广泛应用，致使二氧化碳及其他污染物大量排放从而加剧了环境恶化的趋势。为了降低对环境的负面影响，提升能源的利用效率，动力工程亟需技术革新，热能回收技术因其能够有效捕捉废弃热能，并加以再利用，成为解决能效问题的关键路径。现代动力系统对高效率低排放的要求愈发严格，促使人们持续探寻新材料与创新技术，以实现能量的最大化转化以及最小化损失。

2 热能回收技术的主要类型

2.1 余热锅炉与有机朗肯循环

余热锅炉与有机朗肯循环作为热能回收技术的关键组成部分，在动力工程领域应用广泛，二者在提升系统效率、回收工业废热方面发挥着重要作用^[2]。余热锅炉主要通过回收工业废气中的显热来工作。它能将废气携带的热量传递给水，把水加热成蒸汽。这些蒸汽既可用于发电，为工业生产提供电力支持；也能直接应用于工业生产环节，满足特定的工艺需求。余

作者简介：王志超（1997-），男，本科，助理工程师，研究方向：热能动力工程。

热锅炉具有较高的热效率，能够充分挖掘废气中的热能价值，同时其低排放的特点也符合当下节能减排的环保要求，有助于减少工业生产对环境的负面影响。有机朗肯循环则另辟蹊径，采用低沸点有机工质，能更有效地将低温余热转化为电能，尤其适用于温差较小的热源场景。该循环系统结构简单，运行稳定可靠，即便在低温环境中也能保持高效运行状态，实现能源的有效回收利用。这不仅提高了能源的整体利用率，还能降低工业生产对化石燃料的依赖程度，对于推动能源结构的优化和可持续发展具有重要意义。

2.2 热泵与换热器

热泵与换热器在热能回收技术中发挥着至关重要的作用，借助高效的热量传递和转换来提高系统的整体效率，热泵在较低温差条件下可实现热量转移，能把低品位热能提升到可利用水平，在供暖制冷以及热水供应等领域应用广泛。换热器是能量传递的关键媒介，通过提升热交换效率以最大限度地利用废热资源。两者的结合极大地降低了系统能耗，其通过对热源和负载之间热量流动的优化实现。

2.3 热电转换材料应用

热电转换材料在热能回收技术中十分关键，能将热能直接转变为电能来实现高效能量利用。这类材料的热电转换效率的关键通常在于其具有显著的塞贝克系数，高电导率和低热导率。近年来，随着材料科学的发展，新型热电材料持续涌现，如铋碲化合物、钴酸钠以及硅锗合金等。这些材料表现出非常卓越的热电性能，能够在极为宽广的温度范围内稳定地工作。在推动热能回收技术的应用与发展方面，通过优化材料的微观结构来提升热电效能。

3 新型材料在热能回收中的应用

3.1 高效热交换材料

高效热交换材料在热能回收领域占据着至关重要的地位。这类材料的核心优势在于拥有优异的导热性能和稳定的化学性质，这使得它们能够在各种复杂工况下高效地实现热能的传递与储存，为热能回收利用提供了有力保障^[3]。在众多高效热交换材料中，先进的金属合金表现尤为突出。例如：铝合金和铜合金具有高导热系数，能快速将热量传导出去，同时还具备良好的耐腐蚀性，可在恶劣环境中长期稳定工作。因此，它们被广泛应用于余热锅炉和换热器等设备中，有效提升了热能回收效率。此外，复合材料与陶瓷材料的应用也呈现出不断攀升的趋势。这些材料不仅拥有卓越的热传导特性，能在高温环境下保持结构稳固，

而且通过优化其微观结构，还能进一步提高热能传递效率，减少能源损耗。高效热交换材料为动力工程系统的整体性能优化奠定了坚实的基础，推动了热能回收技术向更高效、更环保的方向发展。未来，随着材料科学的不断进步，高效热交换材料将在热能回收领域发挥更加重要的作用。

3.2 纳米技术驱动创新

纳米技术于热能回收方面的应用展现出极为显著的创新可能性。纳米材料以其独特的物理和化学性质，如高效导热性以及优异的热电转换能力，成为提升热能回收效率的重要途径。在热电材料的开发进程中，纳米结构的引入极大地提升了能量转换效率，降低了热损失。纳米颗粒在热交换器中的应用对改善换热性能，增强热能利用率有帮助。纳米材料的粒径和结构通过调控热导率和热阻得以实现精确调节，进而优化能量传递过程。纳米涂层技术在提高热电设备的耐久性和稳定性方面发挥了关键作用。

3.3 智能材料与自适应系统

智能材料在热能回收方面的应用越来越广泛，在自适应系统的构建中起着关键作用。智能材料能优化热能转化效率，是因为其可以感知和响应环境变化，如形状记忆合金及相变材料能够依据温度变化来调整自身结构，进而提升系统的能量利用率，这些材料不仅能实现对环境参数的实时调整，还具备优良的热响应特性，可通过多功能集成来保障系统的稳定性与效率。

4 智能控制技术促进综合性能优化

4.1 自动化调节系统

自动化调节系统在热能回收技术中起到关键作用，通过优化系统操作以及控制参数，实现了更高的能量利用率与稳定性^[4]。自动化调节系统对先进的传感器网络具有依赖性，能实时监测动力系统内的各类关键参数，如温度压力以及流量等。这些经智能算法分析处理的数据能够生成最优调节策略，实现快速响应与精准控制。动态调节能力可使系统于不同负荷及工况下维持最佳性能，降低人为干预引发的误差与不稳定性。自动化系统集成了自学习功能，能够依据历史运行数据展开模式识别与趋势预测，持续优化调节过程。

4.2 智能监测与故障诊断

智能监测与故障诊断是提升热能回收系统效率以及可靠性的重要手段。在动力工程中，借助先进的传感技术以及实时数据采集，能够对系统的运行状态予以全面监测。应用这些技术可以快速识别潜在的操作异常，以及进行故障预测，进而减少系统停机时间，

降低维护成本。机器学习与数据分析技术相结合使复杂动力系统的故障模式识别更为精准，不但提升了系统的整体稳定性，还强化了应对突发事件的能力。智能监测与故障诊断的应用极大地提高了热能回收系统的综合性能以及其在动力工程中的适用程度。

4.3 数据驱动的能量管理

数据驱动的能量管理在热能回收技术中起着极为重要的作用。通过精准的数据采集与分析来优化系统性能，现代动力工程中传感器网络对系统运行状态进行实时监测，收集大量能耗与产出数据，这些数据经先进算法处理，不但能有效识别系统运行中的能效瓶颈，还可借预测性分析防范潜在故障。数据驱动技术的应用使得能量流动更为高效，降低了不必要的能量浪费。结合机器学习技术进一步实现动态调整，提升了热能回收技术的可靠性与经济性。数据驱动的方法得到了广泛的普及，为动力工程的智能化管理提供了强有力的支持。

5 热能回收技术推动动力工程绿色转型

5.1 环境保护效益

热能回收技术通过提高动力工程的能效，以及减少污染物排放，从而对环境保护产生了积极的影响。这项技术能大幅降低废热排放，把它转变成可再利用的能源形式，以减少对自然资源的耗费，这不仅对降低燃料使用量有帮助，还能减轻温室气体的排放，有效地缓解全球变暖问题。热能回收技术的应用可降低有害物质的排放，提升空气质量，对人类健康和生态系统的维护发挥了关键作用^[5]。新型材料与智能控制的创新应用极大地推动了动力系统的优化，显著减少了能源转化过程中的损耗，大幅提高了能源利用效率，进一步强化了环境保护效益。热能回收技术对推动动力工程的绿色转型极为关键，为实现可持续发展的目标提供了技术支持。

5.2 可持续发展路径

在动力工程领域，热能回收技术的应用是实现可持续发展的关键路径。通过对动力系统能效进行优化，能有效降低能源消耗和碳排放，推动生态环境的改进，进而实现动力工程的绿色转变。在可持续发展的过程中，热能回收技术不但推动了资源的高效运用，而且促进了新材料以及智能控制的技术进步。这些创新极大地提升了系统的整体性能，为行业提供了极为多样化的解决方案，充分满足了未来发展对环境保护的严格要求。热能回收技术对于达到经济效益与环境效益的双赢局面具有重要作用，能为构建清洁高效低碳的能源奠定坚实的基础。

5.3 推动行业转型升级

在动力工程领域，热能回收技术的广泛应用已成为推动行业转型与升级的关键力量。该技术通过有效降低能源消耗、提升系统整体效率，为产业结构的可持续发展提供了强大助力。新材料与智能控制技术的融入，进一步降低了热能回收系统的维护与运营成本，同时优化了能量利用路径，实现了能源的高效配置。在市场与政策的双重激励下，企业纷纷转向绿色技术方案，以提升自身市场竞争力，为行业的长远发展奠定了坚实的基础。热能回收技术将持续创新突破，引领动力工程领域迈向更加绿色、高效的新阶段，不仅助力实现碳中和目标，更将推动全球能源结构的深刻变革，开启可持续发展新篇章。

6 结束语

在动力工程领域中，热能回收技术呈现出极为显著的效率提升以及节能减排成效，通过对主流技术类型和发展历程予以全面且系统的梳理之后，清楚地明确了技术创新特别是新型材料的应用以及智能控制策略对于提高能量利用率、推动动力系统朝着绿色方向转型所发挥的重要助力作用。研究结果表明，这些创新手段对动力系统综合性能进行了优化，进而有效减少了环境污染，满足了当前行业向可持续发展转型的现实需求。尽管热能回收技术当前已获得了实质性的进步成果，然而在技术成本方面依旧存在长期运行可靠性以及集成兼容等方面的局限性。此外，在极端工况下的适用性关键部件寿命预测以及实际工程推广等问题也需要深入研究。未来，新材料与智能算法的协同创新将聚焦系统集成效率提升、构建标准化评价体系以提供技术推广科学指导、强化多学科交叉融合、拓展热能回收技术于新兴动力工程领域的应用空间等，为推动热能回收技术的广泛应用提供助力。

参考文献：

- [1] 郭红刚.冶金工业废气热能回收技术应用研究[J].中国金属通报,2025(01):16-18.
- [2] 罗书磊,马盼飞,韩芬,等.浆粕车间蒸球泄放汽热能回收技术改造[J].山东化工,2023,52(19):157-160.
- [3] 雷银贵,何春云,张燕.大型磷复肥企业蒸汽冷凝水低温热能回收技术研究[J].云南化工,2023,50(07):124-126.
- [4] 胡春廷.热能与动力工程中的节能技术应用[J].集成电路应用,2023,40(05):324-325.
- [5] 史圯.火电厂热能动力工程中的节能技术分析[J].电子技术,2023,52(03):214-215.