

节能降耗中热能与动力工程的实际应用

李亚飞

431382*****0019

摘要: 在全球能源紧缺与生态环境压力日益严峻的背景下,节能降耗已成为国家可持续发展战略的核心。热能与动力工程作为能源转换与利用的关键学科,其技术进步与系统优化对工业、交通、建筑等领域的能效提升具有决定性作用。本文深入探讨了在节能降耗目标驱动下,热能与动力工程领域的最新理论发展与实际应用。通过分析能量梯级利用、系统集成优化、先进循环技术、智能控制与数字化管理等核心方向,并结合余热回收、清洁燃烧、可再生能源整合等具体案例,系统阐述了该学科如何从源头、过程到末端全链条赋能节能降耗。文章旨在揭示热能与动力工程在现代能源体系中的关键角色,并为未来的技术研发与工程实践提供方向性参考。

关键词: 节能降耗;热能与动力工程;能量梯级利用;系统集成;余热回收;智能控制

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.063

引言

能源是人类社会发展的物质基础,其高效、清洁利用关乎经济安全、环境保护与气候变化应对。我国正处工业化与城镇化深入发展阶段,能源消费总量大,但利用效率有提升空间。因此,推进节能降耗是缓解能源供需矛盾、保障国家能源安全,推动产业升级、实现绿色低碳发展的必然选择和根本途径。

热能与动力工程是研究热能等能量形式的产生、转换、传输、利用及动力系统设计与优化的传统工科,涵盖传统设备及新兴能源技术等。其本质是高效、经济、环保地将一次能源转化为动力、热量与冷量。在节能降耗背景下,该学科从关注单一设备性能扩展到对整个能源系统的全局优化等,通过理论与技术渗透到主要耗能行业,成为系统性节能的核心技术支撑。本文将全面梳理其在节能降耗中的关键作用与实践路径。

1 理论基础:从热力学完善到系统集成

节能降耗的源头在于对能量本质与转换规律的深刻认识。热力学第一、第二定律构成了热能与动力工程最根本的理论基石。传统的节能思路多侧重于提高单一设备或过程的热效率,这主要基于第一定律的分析。然而,单纯的效率提升存在理论极限,且可能忽视能量“质”的贬值。

因此,现代节能理论更强调基于热力学第二定律的焓分析(Exergy Analysis)。焓是指在给定的环境条件下,能量中理论上能够转换为最大有用功的部分。通过焓分析,可以清晰地识别出系统中能量贬值(焓损)最

严重的环节,从而指导优化方向,实现“按质用能”^[1]。例如,在化工过程中,高温位热能用于驱动汽轮机发电,其排汽的中温位热能用于工艺加热,最后的低温位余热再用于供暖或驱动吸收式制冷,这便是基于焓值匹配的梯级利用思想。

在此理论深化基础上,系统集成技术得以发展。在复杂工业过程中,通过分析整个生产流程的热源与热阱,利用换热网络优化设计,使工艺流股间实现最大限度的内部热交换,从而最小化外部公用工程的消耗。这种从局部优化到全局集成的思维转变,是热能与动力工程在系统层面实现大幅度节能降耗的理论先导。

2 关键技术与应用领域

2.1 工业领域:过程强化与余热深度回收

工业是能耗主体,其节能潜力巨大。热能与动力工程技术在此领域的应用极为广泛。

高效工业锅炉与窑炉: 为了实现更高的能源利用效率,这类设备采用了多种先进的清洁燃烧技术,例如富氧燃烧技术,该技术通过增加氧气含量来促进燃料的充分燃烧;分级燃烧技术,它能够按照特定的比例和阶段进行燃烧,从而有效控制燃烧过程中的温度和反应速度;以及高温空气燃烧技术,这种技术利用高温预热的空气参与燃烧,有助于提升燃烧的稳定性 and 效率。同时,配合精心设计的先进换热器结构以及选用优质的炉衬材料,这些措施共同作用下,可以显著地提高燃烧效率和热能的利用效率,并且有效地减少排烟过程中产生的热量损失。

工业余热回收发电：在冶金、水泥、玻璃等重工业生产过程中，会产生大量的中高温余热资源，比如烧结矿显热、烟气余热等。针对这些宝贵的余热资源，可以采用余热锅炉与螺杆膨胀机相结合的方式，或者运用有机朗肯循环（ORC）等低温发电技术，将原本会被废弃的热能成功转化为高品质的电能。特别是有机朗肯循环（ORC）技术，由于其对于中低温热源（温度范围在 80°C - 300°C 之间）具有非常出色的适应性能，所以在余热利用领域脱颖而出，成为了备受瞩目的明星技术^[2]。

压缩空气系统节能：压缩空气系统在工业领域被称为“第四大公用工程”，其能耗水平相当高。为了降低能耗，可以采取一系列综合性的措施，包括采用高效的螺杆式或离心式压缩机，以提高压缩效率；运用变频调速技术，根据实际需求灵活调整压缩机的运行速度；对管网进行优化设计，减少输送过程中的压力损失；积极开展泄漏治理工作，防止压缩空气的无谓流失；此外，还可以实施热回收策略，将压缩过程中产生的热量用于加热工艺用水或者进行空间采暖等用途。通过以上这些措施的协同作用，可以使压缩空气系统的节能率达到30%以上。

工艺系统优化：正如前面所提到的，在石油化工、造纸等行业，可以通过应用夹点技术来重新规划和设计换热网络。夹点技术是一种系统化的能量集成方法，通过对整个工艺过程中的热量流动进行深入分析和合理安排，实现过程热量的高效集成，从而最大限度地减少外部能量输入的需求，达到节约能源、提高经济效益的目的。

2.2 电力行业：提升发电效率与发展分布式能源

电力行业作为能源转换的核心枢纽，其能效的提升对实现国家整体节能目标具有至关重要的作用。在当前全球能源转型和碳减排的大背景下，电力行业的技术革新和效率优化不仅是行业自身发展的需要，更是推动全社会绿色低碳发展的重要支撑。

高参数大容量火电机组是燃煤发电领域技术进步的关键方向之一。通过发展超超临界（USC）甚至先进超超临界（A-USC）发电技术，可以显著提高蒸汽的运行参数，包括压力和温度，从而直接有效地提升燃煤电厂的净效率。这种技术路线的优势在于能够以较低的煤耗产生更多的电能，同时减少污染物排放。目前，全球

最先进的超超临界机组供电效率已突破47%，这标志着燃煤发电技术迈上了一个新的台阶，并为未来进一步优化提供了坚实的基础。

燃气-蒸汽联合循环（CCPP）是一种结合了燃气轮机布雷顿循环与余热锅炉蒸汽轮机朗肯循环的高效发电方式。它通过对燃料能量进行梯级利用，实现了极高的发电效率，通常可达60%以上^[3]。此外，这类机组还具备启停灵活的特点，能够快速响应电网负荷变化，因此在调峰和可再生能源消纳方面表现出色。作为一种清洁高效的天然气利用方式，燃气-蒸汽联合循环不仅有助于降低碳排放，还能满足现代电力系统对灵活性和可靠性的需求。

热电联产（CHP）技术则通过在同一过程中同时生产电力和有用热能，大幅提升了能源的综合利用效率，总能源利用率可达到80%以上。而分布式能源系统更进一步，将冷、热、电联产（CCHP）系统布置在用户附近，从而减少了输配电过程中的能量损失。这种模式不仅可以与光伏、风电等可再生能源形成灵活互补，还能够增强能源供应的可靠性和经济性。尤其是在城市区域或工业园区，分布式能源系统的应用前景广阔，它不仅能提供多样化的能源服务，还可以有效缓解集中式供能的压力，促进能源结构的优化升级。

2.3 建筑与民用领域：供暖空调系统的能效革命

建筑运行能耗约占社会总能耗的三分之一，供暖空调是其主要部分。

高效热泵技术是一种非常先进的能源利用方式，其主要包括空气源、地源以及水源热泵。这些热泵技术的核心原理是基于逆卡诺循环的物理机制，通过这一机制，它们能够从周围的环境介质（例如空气、土壤或者水体）中提取低品位的热能。这种低品位热能虽然单独看来能量密度较低，但经过热泵系统的转换和提升，只需消耗少量的电能，就可以输出数倍于所耗电量的热量或冷量。因此，这项技术成为了替代传统燃煤锅炉供暖以及传统电制冷空调的一种高效且环保的理想方案，尤其是在节能减排的大背景下，具有极其重要的应用价值。

建筑能源管理系统（BEMS）则是一种依托物联网技术和大数据分析的智能化系统。它通过对建筑物内部各类用能设备（包括暖通空调系统、照明系统、电梯系统等）进行实时监测，收集大量运行数据，并结合智能算法对这些数据进行分析和处理，从而实现了对设备的精

准调控与优化运行。通过这样的方式,可以有效避免诸如“大马拉小车”这类因设备选型不当或运行不合理造成的能源浪费现象,同时还能显著减少无效能耗的发生,最终达到节约能源、提高能源利用效率的目的^[4]。

绿色数据中心冷却技术则是针对现代数据中心这一高能耗领域的创新解决方案。由于数据中心在运行过程中会产生大量的热量,传统的冷却方法往往会导致极高的能耗。为了降低这部分能耗,目前普遍采用自然冷却技术,即充分利用室外低温冷空气来为数据中心降温;此外,还有液冷技术和热管背板冷却技术等更为先进的冷却手段。这些技术的应用不仅能够显著减少冷却系统的电力消耗,还可以有效降低数据中心的整体能耗指标(如PUE值),从而使其更加符合绿色环保的要求,助力实现可持续发展的目标。

2.4 交通运输领域:动力系统的绿色转型

交通运输是石油消费的主力,动力系统革新是关键。

内燃机技术进步:通过缸内直喷、涡轮增压、可变气门正时、废气再循环(EGR)等技术,持续提升汽油机和柴油机的热效率。混合动力技术(如丰田THS、本田i-MMD)将内燃机与电机耦合,使发动机始终工作在高效区,实现显著的节油效果。

新能源动力系统:纯电动汽车(BEV)彻底摆脱了对化石燃料的依赖,其能量转换效率远高于内燃机。燃料电池汽车(FCEV)以氢为燃料,通过电化学反应发电,效率高且零排放,是长远发展方向。热管理与能量管理策略是提升这些新能源车辆续航里程的核心。

3 前沿趋势与智能化赋能

随着信息技术、材料科学与人工智能的快速发展,热能与动力工程正与这些领域深度融合,开启节能降耗的新篇章。

数字化与智能运维:利用数字孪生技术,为物理能源系统(如电厂、压缩空气站)创建高保真虚拟模型,实现状态实时映射、故障预测、运行优化和智能决策。人工智能算法可用于负荷预测、多设备协同调度、燃烧优化控制等,挖掘潜藏的节能空间。

新型储能技术集成:为解决可再生能源间歇性与用户负荷波动性问题,将储热(熔盐、相变材料)、储冷、蓄电池等储能技术与热能动力系统紧密耦合。例如,光

热发电中的熔盐储热可实现24小时连续发电;在区域能源系统中,储热罐可平衡热负荷峰谷,提高热电联产机组的运行经济性^[5]。

多能互补综合能源系统(IES):这是未来的主要形态。系统集成化石能源、可再生能源(风、光、生物质)、储能以及热、电、气、冷多种能源形式,通过智能调度与能量管理平台,实现异质能源的优势互补与协同优化,在满足多元化用能需求的前提下,追求系统整体的能效最高、成本最低、碳排放最少。

4 结语

节能降耗是一项复杂而长期的系统工程,其深度与广度正随着技术进步而不断拓展。热能与动力工程作为连接能源供给侧与需求侧的核心桥梁,通过持续的理论创新与技术突破,在提升能源转换效率、挖掘余热资源潜力、优化系统运行模式、促进多能融合互补等方面发挥着不可替代的作用。从基于热力学定律的底层原理优化,到融合信息技术的顶层系统设计,该学科已从传统的“动力设备”范畴,演变为驱动整个社会能源体系向高效、清洁、低碳、智能化转型的综合性学科。

未来,面对“双碳”目标的严峻挑战与机遇,热能与动力工程的发展将更加注重全生命周期分析、低碳/零碳燃料应用(如氢、氨)、与信息-物理系统的深度融合。唯有坚持创新驱动,推动产学研用紧密结合,才能不断释放热能与动力工程在节能降耗中的巨大潜力,为建设节约型社会和美丽中国提供坚实的技术保障与工程解决方案。其发展路径也将从追求单一指标的卓越,迈向系统整体可持续性最优的新境界。

参考文献

- [1] 满永刚. 热电厂节能降耗中热能与动力工程的应用[J]. 电力设备管理, 2024, (18): 274-276.
- [2] 杨晨琛, 朱洁雯. 节能降耗中热能与动力工程的实际运用研究[J]. 产业创新研究, 2024, (10): 85-87.
- [3] 徐世泽. 热能与动力工程中的节能技术研究[J]. 产品可靠性报告, 2023, (07): 126-128.
- [4] 殷凤超. 基于节能降耗中热能与动力工程的应用探索[J]. 科技创新导报, 2021, 18(32): 60-62.
- [5] 张晨光. 浅谈节能降耗中热能与动力工程的实际运用[J]. 智慧中国, 2021, (09): 94-95.