

热电联产系统在工业余热回收中的效能评估

刘传跃

国能邳州生物发电有限公司 江苏徐州

【摘要】随着能源需求增长与环境问题凸显，工业余热回收愈发关键。热电联产系统整合热电转换，于工业领域潜力巨大。本文聚焦其在余热回收效能，探讨原理、分析关键指标，对比不同工况，旨在揭示系统优势与优化方向，为提升能源利用率、促工业可持续发展提供支撑。

【关键词】热电联产；工业余热；效能评估；能源利用；可持续

【收稿日期】2025 年 1 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 2 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.jjea.20250051

Evaluation of efficiency of cogeneration system in industrial waste heat recovery

Chuan Yue Liu

Guoneng Pizhou Biological Power Generation Co., Ltd, Xuzhou, Jiangsu

【Abstract】 As energy demand grows and environmental issues become more prominent, the recovery of industrial waste heat has become increasingly critical. Combined heat and power systems integrate thermal and electrical conversion, offering significant potential in the industrial sector. This paper focuses on the efficiency of waste heat recovery, exploring principles, analyzing key indicators, and comparing different operating conditions. The aim is to reveal system advantages and optimization directions, providing support for improving energy utilization and promoting sustainable industrial development.

【Keywords】 Cogeneration; Industrial waste heat; Efficiency evaluation; Energy utilization; Sustainability

引言

在当今工业高速发展时代，能源消耗急剧攀升。大量余热被直接废弃，既造成能源浪费，又加重环境负担。热电联产系统作为高效能源利用技术，为工业余热回收开辟新径。深入探究其在工业场景下效能表现，对优化能源配置、降低能耗、实现绿色生产意义重大，亟待开展系统研究。

1 热电联产系统原理剖析

热电联产系统，作为工业领域能源高效利用的关键技术，其运行机制紧密依托热力学定律，成功实现了能源利用从单一模式向综合利用的重大转变。在燃料燃烧这一基础环节，化学能会以极快的速度转化为热能^[1]。回顾传统能源利用方式，往往只着眼于获取其中一小部分高品位能量，用于发电或者驱动特定设备，却忽视了其余大量余热的潜在价值，最终只能任由这部分宝贵的能源白白散失到环境中。与之形成鲜明对比的是，热电联产系统独辟蹊径，

对整个能量转化流程进行了精心优化。在将燃料燃烧产生的高温高压热能，通过先进的发电设备高效转化为电能的还巧妙规划了余热利用路径。

在复杂且环环相扣的工业生产流程中，各类高温设备和工艺环节宛如一座座储量丰富的能源“富矿”，持续不断地释放出大量具备回收利用价值的余热。以钢铁冶炼这一典型行业为例，高炉在炼铁的核心过程中，炉内温度可飙升至上千摄氏度，此时产生的大量高温废气宛如携带了巨大能量的“隐形列车”，呼啸而过却蕴含着亟待开发的能源宝藏^[2]。在化工生产领域，反应釜作为化学反应的“主战场”，当化学反应激烈进行时，同样会释放出汹涌澎湃的热量，这些热量若不加以有效利用，无疑是一种巨大的能源浪费。热电联产系统凭借一系列经过精心设计、具备高度针对性的特定装置，如高效且精准的余热收集器，能够如同敏锐的猎手一般，精准地捕捉这些稍纵即逝的余热。

作者简介：刘传跃（1975-）男，汉，安徽淮南，技师，大专，研究方向为热动力。

热电联产系统的核心部件，诸如汽轮机和换热器，在整个系统的运行体系中占据着至关重要的地位，宛如人体的心脏和血管般不可或缺，它们之间的协同运作更是保障热电产出稳定的关键所在。汽轮机作为系统中当之无愧的能量转换枢纽，在高温高压蒸汽强大动力的推动下，宛如一台高速运转的精密机械，以极高的速度旋转起来，在这一过程中，能够将热能以极高的效率转化为机械能，进而凭借机械传动带动发电机持续稳定地产生电能。而换热器则肩负着余热传递与转换的艰巨重任，它犹如一座连接不同能量形式的“桥梁”，能够将汽轮机排出的余热有条不紊地传递给供热介质，例如常见的水或蒸汽。这些被赋予热量的供热介质随后奔赴工业生产过程中的各个加热、烘干等环节，为其提供源源不断、恰到好处的热能支持。

2 效能关键指标分析

在热电联产系统中，能效比堪称衡量其性能的核心指标。它宛如一座桥梁，紧密关联着电能、热能的产出与系统输入的能量。从本质上讲，能效比越高，意味着系统在消耗相同输入能量的情况下，能够产出更多的有用能量，即电能与热能的总和。这不仅体现了系统对能源的高效利用，更在一定程度上决定了系统的经济可行性与环保效益^[3]。在某些先进的热电联产设施中，通过采用高效的燃烧技术与能量转换装置，能效比可达到令人瞩目的数值，大幅降低了单位能量产出的成本，同时减少了对环境的负面影响。

余热回收率亦是不可忽视的关键指标，它以直观的方式反映了系统从废热中捕获能量的比例。在工业生产过程中，大量的废热往往被白白浪费，既造成了能源的损失，又可能对环境产生热污染。而热电联产系统中的余热回收机制，则致力于将这些原本被遗弃的能量重新利用起来。余热回收率越高，表明系统在节能方面的成效越显著。通过安装高效的余热回收装置，如热交换器等设备，能够将工业废热中的热量传递给需要加热的介质，用于生产工艺中的预热环节或者生活热水供应等，实现能源的梯级利用，进一步提升系统的整体效能。

设备的稳定性与可靠性对于热电联产系统的持续运行能力至关重要。若系统频繁出现故障，需要进行维修，不仅会中断能量的稳定供应，影响生产

的正常进行，还会增加额外的维护成本，从而折损系统的整体效能^[4]。一个稳定可靠的热电联产系统，应当具备先进的设备监测与预警机制，能够实时掌握设备的运行状态，提前发现潜在的故障隐患，并及时进行处理。在设备的选型与安装过程中，要充分考虑到系统的实际运行环境与需求，选用质量可靠、性能稳定的设备，确保系统能够长期、高效地运行。通过精准监测与深入分析能效比、余热回收率以及设备稳定性与可靠性这些关键指标，能够全方位、深层次地洞察热电联产系统的运行优劣，从而为后续的系统改进工作找准着力点，实现系统性能的持续优化与提升。

3 不同工况下效能对比

在复杂多元的工业领域，各行业间余热特征千差万别。以钢铁、化工、建材行业为例，钢铁冶炼过程中，钢水出炉时产生大量高温余热，温度可达上千摄氏度，流量也极为可观；化工生产涉及众多化学反应，余热温度范围广，从几百摄氏度到低温余热均有分布，且流量受反应规模、工艺调控影响较大；建材行业，如水泥窑余热，温度和流量同样随生产流程、设备运行状态波动^[5]。这种余热温度、流量的显著差异，决定了热电联产系统在不同工业门类应用时，面临截然不同的工况条件。

针对高、中、低不同余热品位工况，热电联产系统展现出各异的适配特性。在高温工况下，依据热力学第二定律，较高的热源温度能有效降低卡诺循环的不可逆损失，为电能转换创造了极为有利的条件，系统的电能转换率可轻松突破 40%，发电优势显著。当进入低温工况，电能转换效率虽受限于热力学原理，一般不足 20%，但系统在供热方面的优势开始凸显。低温余热通过合理的热交换设备，可稳定地为周边区域提供供暖、热水等热能服务，满足工业生产及生活用热需求，实现余热的梯级利用。

除余热品位外，工业生产模式也深刻影响着热电联产系统的效能发挥。连续生产模式，如钢铁厂的高炉炼铁，设备长时间稳定运行，余热持续稳定产生，这为热电联产系统营造了理想的运行环境，系统可长时间保持稳定高效运转，实现能源的高效转换与利用^[6]。反观间歇生产模式，例如部分化工产品的批次生产，设备频繁启停，余热产生呈间歇性，这就要求热电联产系统具备出色的启停灵活性。系

统需能快速响应余热的产生与中断，在短时间内完成启动并投入运行，停止运行时又能妥善处理设备降温、维护等事宜，以保障在间歇工况下，尽可能提升能源利用效率，减少能源损耗。只有精准把握各工业门类余热工况特点，从余热品位、生产模式等多维度考量热电联产系统的适配性，才能充分挖掘系统潜能，最大化发挥其效能，助力工业领域实现节能减排与可持续发展的双重目标。

4 优化策略探索

在设备优化领域，换热器的升级是提升热电联产系统余热回收效率的关键环节。传统换热器的材质与结构往往限制了其传热性能，导致余热在传递过程中大量损耗。采用新型的高导热系数材料制造换热器，如纳米复合材料或高效合金，能显著增强热量传导效率^[7]。对换热器的结构进行创新设计，例如采用螺旋缠绕式、微通道式结构，增大传热面积，减少热阻，实现余热的高效回收与传递。汽轮机作为热电联产系统中的核心动力设备，其能量转换效率直接影响系统整体性能。引入先进的汽轮机技术，如采用多级反动式汽轮机、高效叶型设计，能够有效降低蒸汽在汽轮机内的流动损失和机械损耗，提高机械能向电能的转换效率，从而减少能量在转换过程中的浪费。

在运行调控层面，实时工况的精准监测与智能调整堪称实现热电分配最优化的核心要素。工业生产犹如一个复杂且多变的巨网，对热能与电能的需求犹如潮汐般，随时间呈现出动态变化的态势^[8]。工厂车间内，各类大型设备运转时，时而因高强度加工任务对电能有着急切需求，时而因特定生产环节的工艺要求，对热能的需求陡然增加。借助先进的传感器网络，其如同敏锐的触角，全方位地实时采集生产现场的温度、压力、流量等关键参数。这些参数通过高速数据传输线路，源源不断地汇聚到智能控制的系统中。系统内搭载的大数据分析模块与智能算法，如同经验丰富的智囊团，对海量数据进行深度挖掘与运算，精确计算出不同工况下的最优热电分配比例。

从系统集成视角出发，热电联产系统不应孤立运行，而需与工业流程深度融合。打破传统的各环节独立运作模式，将热电联产系统与上下游工业生产流程紧密衔接，构建一体化的能量供需网络。在

化工、钢铁等行业，将余热回收系统产生的热能直接输送至生产工艺中的加热、干燥等环节，实现热能的梯级利用；将发电过程产生的电能回馈至生产车间，满足设备运行需求。通过这种协同运作方式，不仅减少了能源在传输过程中的损耗，还优化了整个工业系统的能量流动，实现了从单一设备优化到全系统效能提升的跨越，全方位增强了热电联产系统余热回收的综合效能。

5 结语

展望未来，随着科技进步，热电联产系统在工业余热回收领域前景广阔。新型材料、智能控制技术将不断融入，进一步提升能效、降低成本。工业界将愈发重视系统集成创新，促使不同产业依据自身余热特点定制高效方案，实现能源循环利用闭环，助力全球工业迈向低碳、可持续发展新高度。

参考文献

- [1] 樊围国, 聂万庆, 宋明浩. 多元市场下含氢储能替代的零碳综合能源系统容量优化配置研究[J]. 电力科学与工程, 2025, 41(03): 11-19.
- [2] 肖卓楠, 安尧, 刘英琦. 光煤互补热电联产电厂耦合储热系统调峰性能研究[J]. 热能动力工程, 2025, 40(03): 100-107+132.
- [3] 田世东, 陈文涛, 王万斌, 等. 考虑碳交易机制的多能源系统调度方法[J]. 电工电气, 2025, (03): 10-15.
- [4] 邱志勇, 莫愿斌. 基于改进雪雁算法的热电联产系统经济调度优化[J]. 现代电子技术, 2025, 48(06): 127-135.
- [5] 迟维双. 燃气轮机热电联产系统在造纸行业中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2025, 54(02): 1-3.
- [6] 彭程, 赵雪峰, 邓炜瀚, 等. 基于源荷不确定性的油田综合能源系统优化调度方法[J]. 东北石油大学学报, 2025, 49(01): 101-116+12.
- [7] 席新军, 蒋鲲, 郭晓青. 太阳能热电联产系统设计与能效提升[J]. 中国军转民, 2025, (03): 128-129.
- [8] 邢阁玉, 孟伟, 白兆宇, 等. 面向高参数大流量工业供汽的高效热电联产系统[J]. 电力科技与环保, 2025, 41(01): 120-129.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS