

# Analysis on the influence of optimization of coking waste heat recovery system on comprehensive energy consumption

Weimin Li

Henan Pingdingshan Dongxin Coking Co., Ltd., Pingdingshan, Henan, 467045, China

## Abstract

As a critical component of steel production systems, coking processes generate substantial residual heat during high-temperature energy release. Failure to properly recover this waste heat leads to both energy waste and environmental pollution. This study examines the composition of residual heat resources and current recycling challenges within typical coking operations. Guided by energy efficiency objectives, we explore key technological pathways for optimizing recovery systems. Through systematic thermal balance analysis, multi-source coupling integration, process redesign, and hierarchical heat utilization are implemented. Empirical data from industrial applications demonstrates optimized energy consumption patterns before and after implementation. Results indicate that scientifically configured heat recovery pathways can effectively reduce unit coke production energy consumption while enhancing thermal efficiency, delivering significant economic and environmental benefits. The research provides practical guidance for coking enterprises in achieving energy conservation, emission reduction, and green development.

## Keywords

coking process; waste heat recovery; system optimization; energy consumption analysis; energy saving transformation

# 焦化余热回收利用系统优化对综合能耗的影响分析

李维民

河南省平顶山市东鑫焦化有限公司, 中国·河南·平顶山 467045

## 摘要

焦化工艺在钢铁冶炼体系中具有重要地位, 其高温热能释放过程中伴随大量余热排放, 若未合理回收, 将造成能源浪费和环境污染。本文基于典型焦化生产流程, 分析余热资源的构成及当前回收利用存在的问题, 并以能效提升为导向, 探讨回收系统优化的关键技术路径。在系统热平衡基础上, 利用多源耦合、流程再设计与热能分级利用等手段进行系统性优化, 并结合实际工程数据, 评估优化前后对综合能耗的影响。研究表明, 科学配置余热回收路径可有效降低单位焦产能耗, 提高热效率, 具有良好的经济与环境效益。本文研究对焦化企业节能降耗、绿色发展具有现实指导意义。

## 关键词

焦化工艺; 余热回收; 系统优化; 能耗分析; 节能改造

## 1 引言

随着能源结构转型与碳达峰、碳中和目标的逐步推进, 焦化行业面临愈发严峻的能效管理与环保压力。焦化过程作为高温热化学反应体系, 其副产的高温煤气、蒸汽、烟气等蕴含大量余热资源。但由于工艺设计、设备配置及热能梯级利用体系不健全, 余热利用率普遍不高, 能源浪费现象较为严重。焦化企业若能系统性优化余热回收路径, 不仅有助于降低单位能耗和运营成本, 还可提升能源利用效率, 实现绿色转型。

本文结合当前主流焦化流程, 以多种余热形式为研究对象, 通过数据建模与热能耦合路径优化分析, 深入探讨余

热回收系统在节能减排中的作用机制。通过实证研究, 评价优化改造对焦化综合能耗的具体影响, 提出针对性建议, 为焦化行业高质量发展提供理论支持与实践路径。

## 2 焦化生产中余热的构成与利用现状

### 2.1 焦化余热的来源与特征

焦化工业是煤炭清洁利用的重要途径, 其工艺过程主要包括炼焦、煤气净化和副产品回收等多个环节<sup>[1]</sup>。在这些环节中, 尤其是炼焦阶段所产生的高温烟道气、荒煤气及冷凝过程中释放的热量, 是典型的高品质余热资源, 具有显著的回收利用价值。其中, 炼焦炉在进行干馏过程时, 炉内温度高达 1000℃以上, 而排出的荒煤气温度通常在 750℃以上, 含有大量显热和部分可燃成分; 同时, 烟道废气温度也普遍在 400℃至 500℃之间, 具备良好的热交换和回收潜力。此外, 在煤焦油、苯、萘等副产品的冷凝回收过程中, 也伴

【作者简介】李维民(1979-), 男, 中国山西交口人, 从事焦化、炼焦、化工研究。

随大量低品位余热的释放。

这些余热资源具有几个鲜明特征：一是温度高，热品位好，适合用于发电、供热等高能耗环节；二是连续性强，焦化生产通常为24小时连续作业，热源稳定，可支撑稳定回收系统运行；三是波动小，由于焦炉炉温和烟气流量可控，余热参数变化幅度相对较小，便于热交换系统的调节和优化<sup>[2]</sup>。这些特点决定了焦化余热若能科学、高效地加以回收和利用，将极大地提升系统热效率，降低能源消耗，对实现焦化行业节能减排具有重要意义。

## 2.2 当前回收路径的主要问题

虽然国内大多数焦化企业已建成余热锅炉、烟气换热器、余热发电装置等基础设施，尝试对焦化过程中的余热进行利用，但整体回收效率和经济性仍不尽理想。在实践中，焦化余热利用存在以下几个关键问题：

热源与用热单元之间的耦合不足。在一些企业中，热能的供应侧与需求侧缺乏系统化的匹配设计，导致高温热源被用于低温热负荷，造成能源品位浪费。例如，荒煤气热能原本可用于驱动蒸汽轮机发电，却被简单用于低温供暖，无法发挥其应有的高效价值。

二次传热路径导致能效损失。部分企业的热回收系统采用多级换热或长距离热力输送方式，在热传导过程中存在明显的热损失，尤其在中低温段余热利用中更为突出。此外，由于换热器效率有限、传热介质流量波动等原因，系统总体热利用率偏低。

自动化控制与响应能力不足。当前多数焦化企业的热能调节系统仍以手动或低水平自动控制为主，缺乏对热负荷变化的快速响应机制，致使在热源波动或用热需求变化时，系统调节滞后，换热效率下降，甚至造成部分余热排放。

余热回收系统运维管理不到位。在一些企业中，余热设备运行维护缺乏系统培训和专业人员支撑，换热器结垢、管道堵塞、阀门失灵等问题频发，严重影响设备运行稳定性和热效率的发挥。

这些问题的存在不仅降低了焦化余热的实际利用率，也制约了焦化行业进一步推进节能降耗、提升经济效益的步伐。

## 2.3 国内外技术发展趋势

在全球“双碳”目标背景下，焦化余热利用技术正在不断升级和优化。国际上，欧美、日本等工业强国已在焦化余热利用方面积累了成熟经验，普遍采用梯级利用、多能互补、智能调控等技术路径，实现了能源在多个温度层级的高效转化<sup>[3]</sup>。例如，日本某钢铁集团通过将荒煤气热能用于蒸汽驱动压缩系统，并进一步与城市集中供热系统对接，基本实现了焦化装置“热能自给”和“零热排放”。此外，国外企业在热能系统设计中强调余热与电、冷、动力等多种能源形式协同转化，提升整体系统的能效水平。

我国近年来也在积极推进焦化余热回收的集成化与智

能化建设。一些大型焦化企业试点建立了联合汽轮发电系统，利用高温荒煤气驱动蒸汽轮机发电，同时利用余蒸汽供暖或参与工业用热。在部分新建或改扩建项目中，还开始引入分布式能源系统，实现热电联供与余热远程利用。此外，一些企业在系统集成方面积极采用热泵技术、余热蓄能系统等先进工艺，提高余热回收的稳定性与灵活性。

尽管如此，我国焦化行业在余热利用的实际应用中仍面临一些突出挑战：如系统设计规范不足、集成度低、运行参数不稳定、能效评估机制缺失等。当前部分余热回收项目仍停留在“设备拼装”而非“系统集成”的水平，热能流动路径不清晰，过程控制能力弱，缺乏基于数据驱动的智能调度系统。

因此，未来焦化余热的高效利用必须走向系统化、智能化、集成化方向。需从工艺设计、设备选型、系统运行到数据管理等各环节进行系统优化，推动形成标准化、模块化的余热利用技术体系<sup>[4]</sup>。同时，政府层面可通过设立专项补贴、制定能效评价标准、推广典型案例等方式，加快技术在行业内的推广应用。通过政策引导与技术创新双轮驱动，焦化行业有望实现绿色、高效、低碳的发展目标，为我国节能减排与资源循环利用作出积极贡献。

## 3 系统优化路径设计与分析

### 3.1 余热耦合模式重构

优化焦化余热系统的首要任务，是实现热源与用热对象之间的高效匹配与动态协调。当前余热利用普遍存在热源单一、利用方式僵化等问题，难以应对焦化生产过程中负荷波动和能源需求多样化的实际情况。因此，需以热电联产思路为基础，重构焦化余热耦合模式，构建涵盖荒煤气、烟道气、冷却水等多源热能的互补体系，推动煤气加热、蒸汽驱动与热水供应之间的柔性转换和联动利用。通过系统化规划热能流向，实现从热源采集、能量转化到用热分配的全过程协同，提高整体能源利用效率。

在此基础上，应采用高效换热设备（如板式换热器、管壳式换热器等）和可调节动态控制阀门，构建“智能调节+反馈控制”的闭环系统，实现对热能流动路径的灵活切换与调控，及时响应工况变化，保障系统运行稳定性和能效水平。

同时，应注重对不同温度等级余热的科学分级与合理利用，实现热能的“梯级利用”。高温荒煤气应优先用于驱动蒸汽锅炉并带动汽轮机发电，形成高品质热能的最大化转化；中温烟道气可用于热水生产、工业换热等中温需求；而低温冷却水所携带的余热则适合用于生活热水供应、厂区供暖等场景。通过热能品位分层利用，可显著减少热损耗，提升余热系统的经济性和节能性。

### 3.2 流程再设计与系统集成

传统焦化工艺流程设计往往以“单工序最优化”为导

向,导致各工艺段之间运行相对独立,缺乏统一的能量协调机制。热能传递路径被割裂,形成“就地散热”“分散利用”等低效现象,制约了焦化余热的系统性利用。因此,有必要对现有焦化流程进行再设计,推动各环节之间的热能循环耦合。

建议以“焦炉—余热锅炉—汽轮发电—热水供应”作为主干路径,构建一体化、闭环式余热利用平台。将焦炉出口高温荒煤气或烟气直接引入余热锅炉,实现第一层次热能采集;再利用产生的高压蒸汽驱动汽轮机发电,形成第二层次热能转化;之后通过低压蒸汽或排汽为热水系统供能,满足工业及生活热水需求,形成完整的热电联产循环链条。

此外,流程再设计还应同步引入自动化和智能化控制系统,集成DCS(集散控制系统)、PLC(可编程逻辑控制器)等技术设备,对温度、流量、压力等关键工艺参数实现实时监控与动态调节。通过建立数据采集与模型预测机制,构建智能决策控制平台,实现各节点之间热能传递的最优路径选择与负荷平衡,从而进一步提升整个系统的灵活性、安全性与热效率,为焦化企业迈向绿色、高效、智能化运营提供坚实的技术支撑。

## 4 优化改造后系统综合能耗分析

### 4.1 改造前能耗状况

以某年产80万吨焦的焦化厂为研究样本,改造前该厂焦化工序能源利用效率较低。单位焦炭耗约为145kg标准煤当量每吨(kgce/t),热能回收率不足40%。这意味着大量余热未得到有效利用,白白排空,系统运行能效远未达到理想状态,不仅造成能源的极大浪费,还增加了企业的生产成本。

### 4.2 改造措施及成效

1. 余热回收率提升:实施以余热锅炉升级、蒸汽管网改造、换热设备增设为核心的技术优化后,焦炉荒煤气的热能回收率大幅提升至95%以上,烟气余热利用率提高到72%。这表明优化后的系统能够更充分地捕获和利用生产过程中产生的余热,减少了能源的散失<sup>[5]</sup>。

2. 发电能力增强:通过蒸汽余热驱动汽轮机实现热电联产,系统发电能力提升至35kWh/吨焦,显著减少外购电量约40%。这一改变不仅降低了企业对外部电网的依赖,还进一步提高了能源的综合利用效率,实现了能源的梯级利用。

3. 单位能耗降低:综合折算后,单位焦炭能耗降低至128kgce/t,能耗下降幅度达11.7%。这一数据直观地反映了优化改造在降低能源消耗方面的显著效果。

4. 系统热力效率提高:改造后能源利用各环节协同增

强,系统热力效率由原来的68%提升至82%。结合实际运行工况测算,该厂全年节约标准煤近1.4万吨,减少二氧化碳排放量超过4万吨。这不仅提高了能源使用效益,降低了企业运营成本,还显著提升了环境友好性,为焦化行业的节能减排和可持续发展提供了有力支撑,充分验证了余热系统优化在焦化行业节能降碳中的应用价值与推广潜力。

## 5 经济与环境效益评估

从经济角度分析,焦化余热系统优化虽前期投资较高,但其回收期相对较短。以本文所研究焦化厂为例,系统升级总投资约为3800万元,主要用于设备更新与控制系统改造。节能降耗带来的直接经济收益包括电费节省、蒸汽外供、运行成本降低等,年均收益约达1100万元,投资回收期为3.5年。

从环境效益看,系统优化有效减少烟气排放温度与热量,降低冷却水使用量,有助于改善厂区热污染问题。同时,减少碳排放与有害气体释放,提升企业环保绩效。在碳交易机制逐步落地背景下,其减排收益亦将成为长期经济价值来源。

## 6 结语

焦化行业作为高能耗、高排放产业,其节能减排潜力巨大。本文围绕焦化余热回收利用系统,深入分析了其存在的问题与系统性优化路径,并以实际工程案例验证了其节能降耗成效。研究表明,通过优化热能耦合结构、重构工艺流程、引入智能调控手段等措施,可显著提升余热利用效率,降低单位焦炭能耗,实现经济与环境效益双赢。

未来焦化企业应从系统工程角度出发,构建集成化、智能化、低碳化的热能管理平台,并结合区域能源协同机制,进一步拓展余热外供与综合利用路径,为实现绿色焦化和低碳发展提供有力支撑。

## 参考文献

- [1] 李文吉.SDS脱硫脱硝技术在焦炉余热回收中的应用[J].化肥设计,2024,62(05):37-39.
- [2] 高拥军,张磊,李华.焦炉上升管中荒煤气余热回收的结焦问题研究[J].当代化工研究,2024,(01):134-136.
- [3] 屈克林,钱虎林,王涛.焦炉上升管余热回收温度预警系统应用研究[J].安徽冶金科技职业学院学报,2023,33(04):4-5+14.
- [4] 李臻.堆积床层气固换热特性与高温散料余热回收新工艺研究[D].北京科技大学,2023.
- [5] 徐爱英,王建林,杨星,等.浅谈上升管余热回收在宁钢焦化厂的应用[C]//中国金属学会.2023全国冶金焦化流程节能减排创新技术研讨会会议文集.宁波钢铁有限公司;2023:51-54.