

焦炉化产品回收过程能耗控制与节能研究

刘馨月 侯雨辰 于淼 郭天赐 赵猛 孙宇 鞠奥 孟德鑫

鞍山华泰环能工程技术有限公司，辽宁 鞍山 114000

[摘要]在我国持续推进双碳战略与工业绿色低碳转型的宏观背景下，焦化行业作为传统的高能耗、高排放领域，其节能降耗工作不仅具有重要的环境效益，同时也具备显著的经济价值。文中围绕焦炉化产品回收这一关键工序，系统探讨了其能耗现状、主要影响因素以及可行的节能路径。通过对近年来特别是2022至2025年间行业相关能耗数据、技术进展与管理实践的系统梳理，指出该工序能耗主要集中于红焦显热、荒煤气物理热以及工艺蒸汽消耗等环节。

[关键词]焦炉化产品回收；能耗控制；节能技术；余热回收

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18590 中图分类号: X511 文献标识码: A

Energy Consumption Control and Energy-saving Research in the Recycling Process of Coke Oven Products

LIU Xinyue, HOU Yuchen, YU Miao, GUO Tianci, ZHAO Meng, SUN Yu, JU Ao, MENG Dexin

Anshan Huatai Environmental Energy Engineering Technology Co., Ltd., Anshan, Liaoning, 114000, China

Abstract: Against the macro background of Chinese continuous promotion of the dual carbon strategy and industrial green and low-carbon transformation, the coking industry, as a traditional high energy consumption and high emission field, not only has important environmental benefits in terms of energy conservation and consumption reduction, but also has significant economic value. The article systematically explores the energy consumption status, main influencing factors, and feasible energy-saving paths of the key process of coke oven product recycling. Through a systematic review of industry related energy consumption data, technological progress, and management practices in recent years, especially from 2022 to 2025, it is pointed out that the energy consumption of this process is mainly concentrated in areas such as red coke sensible heat, raw gas physical heat, and process steam consumption.

Keywords: coke oven product recycling; energy consumption control; energy-saving technology; waste heat recovery

当前，全球气候变化问题日益严峻，我国双碳战略目标的提出为工业体系绿色转型指明了方向。在这一过程中，高能耗的钢铁-焦化产业链成为减排降碳的重点领域。焦炉化产品回收工序，作为连接炼焦生产与化工资源提取的关键环节，不仅是焦化企业实现价值增值的重要部分，同时也是能源消耗与碳排放的集中区域。该工序涉及复杂的传热、传质与化学反应过程，能源利用形式多样，涵盖高温余热、中低压蒸汽、电力驱动及直接燃料燃烧等，能耗结构复杂且总量较大。近年来，随着国家环保标准的不断提高和能源成本的持续上涨，焦化企业的生存与发展越来越依赖于能效水平的提升。降低生产能耗、提高能源利用效率已成为企业增强市场竞争力的内在要求。因此，系统分析焦炉化产品回收过程的能耗特征，探索切实可行的节能降耗技术与管理路径，不仅符合当前行业发展的迫切需求，也具有重要的学术研究价值。

1 焦炉化产品回收工艺概述

1.1 焦炉化产品回收基本流程

焦炉化产品回收，在行业内通常简称为化产回收，其主要任务是对炼焦过程中产生的高温荒煤气进行冷却、净化，并提取其中所含的各类化学产品。整个流程始于从炭

化室导出的约650~700℃的荒煤气，首先经过桥管与集气管用循环氨水进行初步冷却，随后进入初冷器通过间接换热方式进一步降温。冷却后的煤气进入电捕焦油器脱除焦油雾滴，之后依次通过脱氨、脱硫和脱苯等工段，最终得到焦油、硫铵、粗苯等产品，净化后的煤气则作为燃料或化工原料外送。这一系列工序紧密衔接，对水、电、蒸汽等公用工程需求量巨大，构成了典型的能量密集型化工操作单元。每个工段的稳定运行都直接关系到最终产品的收率与质量，同时也深刻影响着系统的整体能耗水平。

1.2 能耗特点与主要耗能环节

焦炉化产品回收过程的能耗呈现出品位多样、分布分散、与工艺操作强相关等特点。从能量角度看，进入回收系统的荒煤气携带大量物理显热，约占炼焦总能耗的36%，但在传统流程中，这部分热量多数通过冷却水散失，未能得到有效利用。与此同时，为维持蒸氨、脱苯等工序的热量平衡，需持续消耗大量蒸汽或煤气，构成运行成本的主要部分。具体耗能环节包括：煤气冷却系统中循环水泵与制冷水泵的电耗；蒸氨塔、脱苯塔等再沸器或管式炉的蒸汽与煤气消耗；各类溶液循环泵、物料输送风机等动力设备的电力消耗；以及工艺设备与管线的散热损失。此外，

红焦显热损失约占系统总能耗的 37%，虽主要发生于熄焦环节，但采用干熄焦技术可从根本上回收这部分能量，对降低全厂总能耗具有关键作用。这些能耗环节相互关联，某一环节的优化往往能产生连锁的节能效应。

2 焦炉化产品回收过程能耗分析

2.1 能耗构成与分布

依据行业通用统计方法，炼焦工序净能耗是指所消耗各类能源折合为标准煤的总量，扣除回收并外供的能源折标煤量。在化产回收子系统中，主要能源输入包括电力、焦炉煤气（或其他燃料）以及不同压力等级的蒸汽，能源输出则体现为回收化学产品自身蕴含的能量及可能外送的余热资源。针对某年产 300 万 t 焦化厂的模拟研究表明，化产回收部分的能耗主要集中在循环冷却水系统、低温冷却水系统、低压蒸汽消耗以及管式炉煤气等方面。通过实施能量流优化工艺，可使上述各部分能耗分别降低 11.55%、9.35%、56.12% 和 12.97%。这一结果清晰表明，工艺本身的热集成水平和用能结构合理性对整体能耗具有决定性影响。此外，不同生产规模、不同装备水平的焦化企业，其能耗构成比例也存在一定差异，需要结合企业实际情况进行具体分析。

2.2 影响能耗的关键因素

焦炉化产品回收过程的能耗水平受多重因素影响，可概括为技术装备、工艺操作与管理运行三个层面。在技术装备层面，焦炉炉型（捣固焦炉或顶装焦炉）、煤气净化工艺路线选择（如硫铵工艺与磷酸洗氨工艺），以及高效能装备（如干熄焦系统、高效初冷器、变频泵等）的应用情况，构成能耗的先天基础。在工艺操作层面，各项工艺参数的稳定控制与优化调整对能耗有直接影响，例如焦炉加热制度、蒸氨塔与脱苯塔的操作条件、循环水系统水温水质管理等。工艺操作的微小波动，长期积累也会导致显著的能耗差异。在管理运行层面，企业是否建立完善的能源管理体系、是否实现能耗在线监测与智能调度、是否将节能指标纳入绩效考核，决定了技术潜力的持续挖掘程度。例如，立恒焦化通过构建三级能源管理体系，依托能源管控中心实现全厂煤气零放散，是管理节能的成功范例。这三个层面的因素相互交织，共同决定了最终的能耗表现。

2.3 能耗评价指标

科学、统一的能耗评价指标体系是衡量企业能效水平、追踪节能改进效果的重要工具。对焦化行业而言，最核心的指标是炼焦工序单位产品能耗，即每生产一吨合格焦炭（干基）所净消耗的能源量，单位为千克标准煤每吨（kgce/t）。该指标涵盖从备煤到化产回收的全流程，并扣除了外供能源，能全面反映企业能源利用效率。国家相关文件对顶装焦炉的能效标杆水平设定为 110kgce/t。实际运行中，湖南华菱湘潭钢铁通过系列技改与管理提升，2023 年将该指标降至 97.80kgce/t，优于国家标杆 11.1%；

立恒焦化 2024 年侧装捣固焦炉的指标为 100.36kgce/t，也达到先进水平^[1]。此外，在化产回收车间内部，还可设立蒸氨蒸汽单耗、脱苯煤气单耗、循环水电耗等过程性指标，用于日常精细化管控。这些过程指标是构成综合指标的基础，对其进行持续监控与优化，是实现整体能效提升的关键。

3 能耗控制策略与技术途径

3.1 工艺操作优化

在不进行大规模投资的前提下，对现有工艺操作参数进行精细化调整与优化，是实现节能的最直接、成本较低的途径。其核心是确保各工艺单元在设计高效区间内稳定运行，减少因操作波动引起的无效能耗。具体措施可包括：在蒸氨单元推广负压脱氨技术，实现塔顶含氨蒸汽的循环利用，可降低新蒸汽消耗 60%~70%；对初冷器阻力进行实时监控与清洗优化，维持良好换热效率；改善循环水系统水质，回用部分工艺冷凝水，降低补水量与处理能耗；应用焦炉加热优化控制系统，实现加热煤气与烟道吸力的精准调节，可节约加热煤气约 2%。某企业通过系列操作优化，将净化水单耗从 1.3m³/t 焦降至 0.9m³/t 焦，取得了可观的节能效果。这些优化措施通常不需要改动主体设备，主要依靠对操作制度的完善和人员技能的提升，具有见效快、投入少的特点。

3.2 设备性能改进

对高能耗关键设备进行技术改造或升级，是从源头提升能效的根本举措。在化产回收领域，设备节能改造主要围绕提高传热效率、降低流体输送损耗、提升动力设备运行效率等方面展开。例如，对循环氨水泵、循环水泵等大功率设备实施变频改造，根据负荷自动调节转速，可避免阀门节流损失，某企业改造后日均节电达 9900kWh。对干熄焦连续排污系统进行改造，回收闪蒸蒸汽，可使蒸汽用量从 7~9t/h 降至 3~5t/h。此外，采用高效传热元件更新初冷器与换热器、使用高性能保温材料减少散热、推广大型干熄焦技术等，均属于设备节能的有效途径。设备改造通常需要一定的资金投入，但带来的节能效益也更为持久和稳定，是提升企业长期能效水平的重要支撑。

3.3 余热回收与利用

对工艺过程中产生的大量中低温余热进行系统性回收与利用，是挖掘节能潜力的主攻方向。目前，回收红焦显热的干熄焦技术已成熟应用，其热回收效率可达 80% 以上，所产蒸汽用于发电，实现了能源的梯级高价值利用。荒煤气物理显热的回收、以及脱硫废液、循环冷却水等低温余热的利用，也可通过 ORC 发电、供热等途径实现能源再生。国内相关单位已开发出“高温发电、中温供汽、低温回用”的梯级余热利用模式。值得一提的是，学术界提出的“气-渣协同循环”理念，通过焦炉煤气与高温熔渣的余热协同回收与物质转化，有望将碳减排潜力提升至 48%，为行业深度节能提供了新思路。余热回收项目的实施，不仅节

约能源，还能减少冷却介质消耗和热污染，具有多重效益。

3.4 系统集成与流程优化

从化产回收系统乃至全厂角度进行热能、物料与动力的集成优化，是实现能效跨越的高阶策略。其核心是打破工序壁垒，实现废热与副产品的逐级对口利用。借助 Aspen Plus 等流程模拟软件，可对全系统进行建模与优化分析。研究表明，相较于传统工艺，采用优化后的“能量流工艺”可使循环冷却水、低温冷却水、低压蒸汽和管式炉煤气消耗分别降低 11.55%、9.35%、56.12% 和 12.97%，系统能效明显提升，年二氧化碳减排量超过 10 万 t。在运行层面，依托 5G、物联网与大数据技术建设智慧能源管控平台，实现全厂能源介质动态平衡与优化调度，可从根本上杜绝能源浪费。系统集成优化往往涉及多个部门的协调，需要从工厂整体设计或大规模技改的角度进行规划，其节能潜力也最为巨大。

4 节能管理措施与实施建议

4.1 能源监测与管理体系建设

完善的能源监测体系和管理制度是节能措施持续见效的保障。企业应建立覆盖主要耗能设备和关键工艺节点的在线计量网络，实现能耗数据实时、准确采集。在此基础上，构建公司、车间、班组三级能源管理架构，将能耗指标分解落实并纳入绩效考核，形成全员节能氛围。可借鉴“识别八大浪费”的精益方法，系统排查并消除生产中的各类浪费现象。例如，湖南华菱湘潭钢铁通过能源管理系统实现全程数据跟踪与异常预警，有效防止了能源浪费；山焦焦化产品回收厂通过优化备件存储与操作流程，从管理细节挖掘节能潜力。能源管理体系的建立是一个持续完善的过程，需要企业高层重视并提供资源支持。

4.2 操作规范与人员培训

再好的技术与设备也需由人操作，因此提升一线人员的节能意识与技能至关重要。企业应制定关键操作的标准化作业程序（SOP），明确最优步骤与参数范围。定期开展节能技术培训与经验交流，使员工理解节能原理，激发其参与改进的主动性。积极采纳职工合理化建议，对可行建议给予奖励并实施，形成良性循环。某企业采纳职工关于改造除油器的建议，年节约蒸汽 580t、节电 7600kWh，体现了全员参与节能的成效。人员培训不仅要注重技能传授，更要培养员工的节能习惯和责任感，使节能成为企业文化的一部分。

4.3 技术改造与经济性分析

推进节能技术改造必须进行严谨的技术经济性评估。企业应对技改项目的投资成本、运行费用、节能效益、投资回收期及附加效益进行全面测算。对于变频改造、余热

回收等中小型项目，可结合修旧利废降低改造成本。政府部门和行业协会应通过发布节能技术推荐目录、组织交流活动、推广能效“领跑者”经验等方式，为企业提供参考。只有证明技改能在合理周期内带来经济回报，企业才有持续投入的动力^[2]。此外，在评估经济效益时，也应适当考虑社会效益和环境效益，特别是在国家环保要求日益严格的背景下。

4.4 行业政策与标准引导

宏观政策与能效标准是推动行业绿色升级的外部动力。国家通过制修订能耗限额标准、实施差别电价、评选能效“领跑者”等措施，持续引导企业节能降耗。例如，山西省 2022 年全面启动熄焦工艺升级，淘汰湿熄焦比例达 54.3%，改造后年节水 80 多万 t、减尘 600 多 t。立恒焦化在 2025 年成为焦化行业唯一能效“领跑者”，其技术与管理模式为同行提供了范本。未来随着碳市场建设的推进，碳排放成本将内化为企业成本，进一步激励深度节能与低碳技术创新^[3]。

5 结语

焦炉化产品回收过程的能耗控制与节能是一项涉及多学科、多层次的综合性课题。本文分析表明，该过程能耗结构复杂，但节能潜力显著，红焦显热、荒煤气物理热及工艺蒸汽消耗是重点环节。实现能效持续提升需要构建全方位策略：在操作层面推行精细化与标准化，在技术层面推广高效设备与余热回收技术，在管理层健全能源监测与激励体系，在政策层面顺应国家导向与标准要求。行业先进企业如立恒焦化、湖南华菱湘潭钢铁等的实践已证明，通过技术与管理协同，完全可以将能耗降至优于国家先进值的水平。而“气-渣协同循环”等前沿理念，则为未来深度减碳提供了新的可能。面对双碳目标，焦化行业应走出一条以能效提升为核心、资源循环与低碳发展并重的高质量道路，这需要产学研用各方共同努力，持续推动技术创新与管理模式优化，最终实现经济效益与环境效益的双赢。

【参考文献】

- [1] 华隽石.减少焦炉气湿法脱硫工艺中副盐产生的策略研究[J].清洗世界,2025,41(12):85-87.
- [2] 郑亚娜,路小莹,王新东,等.焦炉煤气零重整竖炉喷氧段气体的燃烧与改质[J].中国冶金,2026(1):1-14.
- [3] 杨文涛,谢法,李涛,等.某型天然气燃烧室燃烧焦炉煤气的适应性改进设计研究 [J].燃 气 轮 机 技 术,2025,38(4):20-28.

作者简介：刘馨月（1996.2—），毕业院校：辽宁科技大学，所学专业：化学工程与技术，当前就职单位：鞍山华泰环能工程技术有限公司，工程师。