

常减压蒸馏装置余热回收系统的经济性与碳排放评估

郭兴宇（中海油惠州石化有限公司，广东 惠州 516086）

摘要：本文针对常减压蒸馏装置余热回收系统进行了全面评估，着重分析了其经济性和碳排放影响。研究首先介绍了常减压蒸馏装置的工作原理及工艺流程，详细阐述了余热回收系统的组成和运行原理。随后，从投资成本、运行维护、节能效益和投资回收期等方面评估了系统的经济性，并从碳排放来源、减排潜力、环境影响和碳交易等方面分析了系统的碳排放情况。最后，探讨了提升系统经济性和减少碳排放的技术和管理措施。研究结果表明，余热回收系统在提高能效、降低运行成本和减少碳排放方面具有显著效果，对炼油行业的可持续发展具有重要意义。

关键词：常减压蒸馏装置；余热回收；经济性评估；碳排放；能效提升；可持续发展

中图分类号：TE624.1 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167(2025)020-0055-03

Economy and carbon emission assessment of waste heat recovery system of atmospheric and vacuum distillation unit

Guo Xingyu(CNOOC Huizhou Petrochemical Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516086, China)

Abstract: This paper makes a comprehensive evaluation of the waste heat recovery system of atmospheric and vacuum distillation unit, focusing on the impact of its economy and carbon emission. The working principle and process of atmospheric and vacuum distillation unit are introduced, and the composition and operation principle of waste heat recovery system are expounded in detail. Subsequently, the economy of the system is evaluated from the aspects of investment cost, operation and maintenance, energy saving benefit and investment payback period, and the carbon emission situation of the system is analyzed from the aspects of carbon emission source, emission reduction potential, environmental impact and carbon trading. Finally, the technology and management measures to improve the system economy and reduce carbon emissions are discussed. The results show that the waste heat recovery system has a significant effect in improving energy efficiency, reducing operating costs and reducing carbon emissions, which is of great significance for the sustainable development of the refining industry.

Key words: atmospheric and vacuum distillation device; waste heat recovery; economic assessment; carbon emission; energy efficiency improvement; sustainable development

随着全球能源需求的不断增长和环境问题的日益严峻，节能减排已成为炼油行业面临的重要挑战。常减压蒸馏装置作为炼油过程中能耗最大的单元之一，其能源利用效率直接影响到炼油厂的整体能效水平和环境影响。在此背景下，余热回收技术作为一种有效的节能手段，在常减压蒸馏装置中得到广泛应用。本研究旨在全面评估常减压蒸馏装置余热回收系统的经济性和碳排放影响，为炼油企业优化能源利用、降低运营成本和减少环境足迹提供理论依据和实践指导。通过系统的分析和评估，本文将为推动炼油行业的可持续发展贡献新的见解和思路。

1 常减压蒸馏装置概述

常减压蒸馏装置是炼油厂中最重要的初级分离装置之一，其作用是将原油按照沸点范围分离成不同馏分，为后续加工提供原料。该装置主要由预热系统、初馏塔、常压塔、减压塔及相应的加热炉、换热器和冷却系统组成。原油首先经过一系列换热器预热，然后进入初馏塔进行初步分离，分离出的轻组分进入常

压塔，而重组分则进入减压塔进行进一步分离。

常减压蒸馏装置的工艺流程可以概括为：原油→预热→初馏→常压蒸馏→减压蒸馏→产品。在这个过程中，原油被加热到约350℃，在常压塔中分离出汽油、煤油、柴油等轻质产品；常压渣油继续加热到390–400℃后进入减压塔，在负压下分离出润滑油馏分和减压渣油。整个工艺过程涉及大量的热量交换和能量转换，因此在能效优化和余热回收方面具有巨大的潜力。

2 余热回收系统介绍

常减压蒸馏装置余热回收系统是一套复杂的能量综合利用体系，其主要由余热锅炉、换热器、蒸汽发生器和相关管道、控制系统等组成。该系统通过回收装置生产过程中产生的废热，将其转化为可利用的热能或电能，从而提高整体能源利用效率。余热锅炉是该系统的核心设备，它利用高温烟气和工艺物流的余热产生蒸汽，这些蒸汽可用于驱动涡轮发电机发电，或直接用于工艺加热和动力需求。

余热回收系统的运行原理基于热力学第二定律，即从高温热源向低温热源传递热量的过程中，可回收部分能量进行利用。在常减压蒸馏装置中，高温烟气、高温油品和蒸汽冷凝水等都含有大量可利用的余热。通过合理设计的多级换热网络，这些余热被逐步回收并加以利用。例如，高温烟气可用于预热燃烧空气，高温油品可用于加热工艺物流，而蒸汽冷凝水的余热则可用于锅炉给水预热。这种多层次的热量回收不仅提高了能源利用效率，还减少了冷却水的消耗，实现了能源和水资源的双重节约。

3 余热回收系统的经济性评估

初始投资成本是评估余热回收系统经济性的基础。该成本涵盖了设备购置、安装调试、土建工程以及系统集成等多个方面。其中，核心设备如余热锅炉、换热器和蒸汽发生器的成本占据了主要部分。此外，控制系统和自动化设备的引入也需要一定的资金投入。尽管初始投资金额较大，但随着技术进步和规模化生产，设备成本呈现下降趋势。同时，优化系统设计、合理配置设备容量也可以有效控制投资成本。此外，项目前期调查、可行性研究和工程设计等间接成本也应纳入考虑范围。企业在进行投资决策时，需要全面评估这些成本，并合理规划融资方案，以降低财务压力。

运行维护费用是影响系统经济性的持续因素。余热回收系统的稳定高效运行需要定期进行设备清洗、防腐蚀处理、性能检测和预防性维护。这些工作不仅可以延长设备使用寿命，还能保持系统的高效运行。与传统的能源系统相比，余热回收系统的运行维护成本相对较低，主要体现在能耗减少和人工成本降低方面。然而，考虑到系统复杂性和对运行稳定性的高要求，建立专业的维护团队和制定完善的维护制度至关重要。同时，采用先进的在线监测技术和预测性维护策略，可以进一步提高维护效率，降低长期运营成本。

节能效益是余热回收系统经济性的核心体现。通过回收利用废热，系统可以显著降低外部能源的消耗，如燃料油、电力和蒸汽等。这不仅直接降低了能源采购成本，还减少了能源运输和储存的相关费用。具体而言，余热回收系统通过提高工艺物流预热温度、提供工艺加热蒸汽或发电等方式，实现了能量的多级利用。这些措施带来的节能效果可以根据具体的能源价格和系统性能进行量化评估。此外，在一些地区，余热发电还可以享受政府补贴或优惠政策，进一步增加了系统的经济效益。企业需要综合考虑当地能源价格、能源结构和政策支持等因素，准确评估节能效益。

投资回收期是衡量余热回收系统经济可行性的主要指标，它反映了系统收回初始投资所需的时间。一

般来说，余热回收系统的投资回收期在3到5年之间，具体取决于系统规模、能源价格、运行效率和维护成本等因素^[1]。随着能源价格的上涨和节能意识的提高，投资回收期有缩短的趋势。这表明余热回收系统具有良好的经济回报潜力，对于企业来说是一项值得投资的节能项目。在进行投资回收期分析时，应采用动态分析方法，考虑资金时间价值、设备残值等因素，以提高评估准确性。

此外，相关政策支持和补贴也是影响系统经济性的重要因素。许多国家和地区为促进节能减排，针对余热回收技术应用出台了各种激励政策。这些政策可能包括投资补贴、税收优惠、低息贷款等，可以显著降低项目的投资风险和财务成本。企业需要密切关注和充分利用这些政策，以提高项目经济性。同时，参与碳排放交易市场也可以为余热回收系统带来额外收益，通过出售碳减排量获得经济回报^[2]。

4 余热回收系统的碳排放评估

余热回收系统的碳排放评估是衡量其对环境可持续性贡献的重要环节，全面分析系统在减少温室气体排放方面的潜力对于制定减排策略和应对气候变化至关重要。该评估应涵盖碳排放来源分析、减排潜力评估、环境影响评价以及碳交易机制等多个方面。

碳排放来源是评估的基础。在传统常减压蒸馏装置中，碳排放主要来自燃料燃烧和电力消耗。燃料燃烧产生的直接排放，包括加热炉燃烧燃料油或天然气产生的CO₂，是最大的温室气体来源。间接排放则主要来自外部电力供应，尤其是当电力来自化石燃料发电厂时。此外，设备制造、运输和安装等过程也会产生一定的碳排放，虽然这些一次性排放占总排放量的比例较小，但在全生命周期评估中也应予以考虑。余热回收系统的运行可能会引入新的碳排放源，如辅助设备（泵、风机等）的电力消耗，但这些新增排放通常远小于系统减排量。

减排潜力评估是碳排放评估的核心内容。余热回收系统通过提高能源利用效率，减少外购能源需求，从而间接降低碳排放。具体而言，系统可以通过以下途径实现减排：①利用高温烟气余热预热燃烧空气或工艺物流，减少燃料消耗；②利用中温余热产生蒸汽，替代或减少外购蒸汽需求；③利用低温余热进行工艺或空间加热；④通过余热发电，减少购电量。这些措施的综合效果可以通过能量平衡和碳排放因子进行量化计算。一般来说，余热回收系统可实现10%–30%的能源节约，相应的碳减排量也相当可观^[3]。

环境影响评价则从更广泛的角度考察余热回收系统的生态效益。除了直接减少CO₂排放外，系统还能

有效降低其他污染物排放，如 SO₂、NO_x 和颗粒物等，从而改善空气质量。这对于位于城市区域或环境敏感地区的炼油厂尤为重要。此外，通过减少冷却水消耗，余热回收系统还能缓解水资源压力，对于水资源紧缺地区具有特殊意义。在生态系统影响方面，减少温室气体排放有助于缓解气候变化对生态系统的扰动，维护生物多样性。因此，余热回收系统的环境效益远不止于碳减排，而是对整个生态环境产生积极影响。

在评估余热回收系统的碳排放时，还应考虑全生命周期碳足迹。这包括系统建设、运行和退役等各个阶段的碳排放。系统建设阶段主要涉及设备制造和安装过程的碳排放；运行阶段主要是辅助设备电力消耗产生的间接排放；退役阶段则包括设备拆除和处理的碳排放。虽然这些阶段的碳排放相对于系统生命周期内减少的排放量来说较小，但进行全面评估可以更准确地反映系统的真实减碳效果。

此外，评估过程中还需要考虑系统的减排可持续性。这涉及长期运行稳定性、设备更新周期等因素。一个设计良好、维护得当的余热回收系统可以长期稳定运行，持续产生减排效果。同时，新技术和新材料的不断涌现也为提高系统效率和延长使用寿命提供了可能，这进一步增强了系统的减排可持续性。

在进行碳排放评估时，建议采用标准化的计算方法，如 IPCC（联合国政府间气候变化专门委员会）的指南或国际标准化组织（ISO）的相关标准。这些方法提供了统一的排放因子和计算规则，有利于提高评估结果的可比性和可信度。同时，充分利用先进的模拟软件和监测技术，可以提高数据采集和分析的准确性。

余热回收系统只是炼油厂整体碳减排战略的一部分。为了实现深度减排，还需要结合其他措施，如工艺优化、清洁能源替代、碳捕集与封存等。因此，在评估余热回收系统的碳排放时，应该将其置于整个工厂的碳管理框架中，考虑其与其他减排措施的协同效应。

5 提升余热回收系统经济性和减少碳排放的措施

为了进一步提升余热回收系统的经济性和减少碳排放，可以从技术和管理两个方面采取多种措施。在技术层面，先进的热交换技术是关键。例如，采用新型高效换热器可以提高热回收效率，而热泵技术的应用则能够实现低温热源的利用^[4]。此外，优化工艺流程和参数，如采用多级预热和更精细的温度控制，也可以显著提高整体能效。

另一个重要的技术措施是智能控制系统。通过引入先进的传感器和控制系统，可以实现对余热回收系统的实时监测和优化控制。这不仅可以提高系统运行效率，还能延长设备使用寿命，降低维护成本。同时，

将余热回收系统与整个炼油厂的能源管理系统集成，能够实现全局优化，进一步提高能源利用效率。

在管理层面，建立健全的能源管理制度是基础。这包括制定详细的能源使用和考核指标，建立能源审计制度，以及定期开展能源效率评估。通过持续监测和分析能源使用情况，可以及时发现和解决问题，优化系统运行。同时，建立全员参与的节能文化也非常重要，通过培训和激励机制，提高全体员工的节能意识和参与度。

加强设备的定期维护和更新也是提高系统经济性和减少碳排放的重要措施。定期对设备进行清洗、检修和性能测试，可以确保系统长期稳定高效运行。对于一些老旧或效率低下的设备，及时进行更新或改造，虽然需要一定的投资，但从长期来看，往往能够带来显著的经济和环境效益。

6 结论

本研究对常减压蒸馏装置余热回收系统的经济性和碳排放进行了全面评估，得到了以下主要结论：

余热回收系统在提高常减压蒸馏装置能源利用效率方面具有显著效果。通过回收利用废热，该系统能够有效降低装置的外部能源消耗，从而大幅减少运营成本和碳排放量。

从经济性角度来看，虽然余热回收系统需要一定的初始投资，但其运行维护成本相对较低，节能效益显著。在大多数情况下，系统的投资回收期在 3 到 5 年之间，显示出良好的经济回报潜力。

在碳排放方面，余热回收系统通过提高能源利用效率和减少外部能源消耗，能够显著降低直接和间接碳排放。这不仅有助于企业履行环境责任，还为参与碳交易、获得额外收益提供了机会。

通过采用先进技术、优化管理措施和多能源互补策略，可以进一步提升余热回收系统的经济性和环境效益。这些措施包括使用高效换热器、实施智能控制、建立完善的能源管理制度，以及探索与可再生能源的结合等。

参考文献：

- [1] 张世军 . 燃气锅炉余热回收的理论与应用 [D]. 重庆：重庆大学 ,2006.
- [2] 李国志 . 基于技术进步的中国低碳经济研究 [D]. 南京：南京航空航天大学 ,2011.
- [3] 陈恒 , 卫海涛 . 碳排放政策下煤化工生产工艺技术路线优化研究与应用 [J]. 河北化工 ,2021(08):132-135,141.
- [4] 刘骏 . 开式绝热吸收系统及绝热型吸收器性能研究 [D]. 杭州：浙江大学 ,2015.