

低碳背景下油气集输系统能效提升路径研究

高 芬 (陕西宇阳石油科技工程有限公司, 陕西 西安 710018)

周焕伟 (西安长庆工程建设监理有限公司, 陕西 西安 710016)

摘要: 低碳背景下油气集输系统面临能效提升压力。研究分析了集输系统能耗特征、影响因素及评估方法, 探索了集输工艺优化、数字智能化技术应用及可再生能源融合等技术路径, 提出了能效评价体系建设、经济性分析与投资决策优化及碳交易机制下能效管理策略等管理路径。通过技术创新与管理协同, 可构建技术经济可行、环境友好的油气集输新模式, 实现能效显著提升, 助力行业低碳转型。

关键词: 油气集输系统; 能效提升; 低碳技术; 碳交易机制

中图分类号: TE866 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 026-0013-03

Research on Energy Efficiency Improvement Pathways for Oil and Gas Gathering and Transportation Systems under Low-carbon Background

Gao Fen (Shaanxi Yuyang Petroleum Technology Engineering Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710018, China)

Zhou Huanwei (Xi'an Changqing Engineering Construction Supervision Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710016, China)

Abstract: Under low-carbon circumstances, oil and gas gathering and transportation systems face pressure to improve energy efficiency. This research analyzes energy consumption characteristics, influencing factors, and assessment methods of these systems. It explores technical pathways including process optimization, digital intelligent technology applications, and renewable energy integration. The study proposes management approaches through energy efficiency evaluation systems, economic analysis and investment decision optimization, and energy management strategies under carbon trading mechanisms. Through technological innovation and management coordination, technically feasible, economically viable, and environmentally friendly models can be established, significantly enhancing energy efficiency and supporting the industry's low-carbon transition.

Keywords: Oil and gas gathering and transportation systems; Energy efficiency improvement; Low-carbon technology; Carbon trading mechanism

在全球减碳趋势下, 油气行业面临转型压力。油气集输系统作为能源供应链关键环节, 能耗高、碳排放大。提高集输系统能效既是实现碳中和目标的必要手段, 也是企业降本增效的重要途径。本研究聚焦油气集输系统能效提升路径, 旨在探索低碳背景下的技术创新与管理优化方案, 为行业可持续发展提供参考。

1 油气集输系统能效现状分析

1.1 油气集输系统能耗特征与分布

油气集输系统作为连接油气田与终端用户的关键环节, 能耗主要集中于驱动设备、加热系统和辅助工艺。驱动设备包括泵、压缩机等, 通常占总能耗的45%–65%, 是系统最大能耗点。加热系统用于维持油品流动性, 在高黏原油集输中尤为突出, 能耗比例达20%–30%。输送管网中的摩擦损耗与沿程压降造成约15%–25%的能量损失。能耗分布呈现明显的地域差异性, 中国北方油田因气候寒冷, 加热能耗比例高达30%–40%; 海上油气田平台受空间限制, 对单位能耗效率要求更高^[1]。不同生产阶段能耗特征各异, 开发中期因注水量增加导致提升能耗显著上升, 后期开采

则因气液比变化引发集输能耗结构调整。

1.2 影响集输系统能效的关键因素

设备技术因素是影响集输系统能效的基础支撑。老旧泵机组效率普遍低于70%, 能量损失严重, 而新型高效设备可达85%以上, 节能潜力显著。设备选型不当、维护不足导致效率进一步降低, 系统能效整体下滑10%–15%。工艺设计合理性直接关系能量转换和利用效率, 合理的分离工艺选择可减少后续处理能耗, 管径优化可降低输送阻力, 工艺流程精简可减少能量损失点, 优化后能效提升8%–12%。管道状况因素尤为关键, 结垢和腐蚀不仅增加流动阻力使能耗提高15%–25%, 还加剧设备磨损, 形成恶性循环。管道弯头、阀门等局部阻力点设计不合理会造成额外5%–8%能耗。

油品物性变化亦显著影响系统能效, 含水率每增加10%, 输送能耗约增加8%–12%, 高含蜡原油在低温环境下流变性变差, 能耗可能增加30%–40%。气液比变化导致流态改变, 影响输送效率。运行管理水平对能效的影响不容忽视, 优化操作参数可节能5%–

10%，科学调度可提高设备匹配度。系统负荷与设计负荷匹配度偏离，造成设备非最佳工况运行，效率降低20%–30%，常见于产能变化阶段。环境气候条件对露天设备和管线影响明显，寒冷地区冬季能耗较夏季高出30%–50%，高温区域冷却系统负荷增加15%–20%。地形条件复杂地区能耗较平原高10%–15%。

1.3 能效提升潜力评估方法

能效评价体系构建是潜力评估的基础，应建立包括能耗强度、设备效率等指标的多层次评价模型，量化分析系统现状。能量平衡分析法通过构建完整的能力流向图，精确认识关键能耗环节和损失点，定位能效改进空间。标杆对比法将系统性能与行业最佳实践或理论极限进行对标，确定相对改进空间，国内外先进油田集输能效对比显示国内系统普遍有15%–25%的提升潜力。

设备诊断评估采用在线监测和离线测试相结合，评估单体设备能效水平，为精准改造提供依据。经济技术可行性分析结合投资回报周期和技术成熟度，对各项能效提升措施进行综合评估，筛选最优方案。系统模拟优化利用数值模拟技术在虚拟环境中预测不同改进方案效果，降低实施风险，优化投资决策。全生命周期评估考虑系统长期运行过程中的能效变化趋势，为分阶段实施提供支持^[2]。通过综合评估，国内油气集输系统能效提升潜力普遍在20%–30%，其中设备更新改造潜力约8%–12%，工艺优化潜力约6%–10%，管理提升潜力约5%–8%。能效提升不仅带来直接经济效益，还能降低系统运行风险，延长设备使用寿命，实现经济与环境效益双赢。

2 油气集输系统能效提升技术路径

2.1 集输工艺优化与节能技术应用

油气集输工艺优化是提升能效的核心路径，其中多相流输送技术可有效降低系统能耗。通过优化气液比和流速参数，可减少液相携带能量损失，降低管输能耗15%–20%。相变输送技术利用油品温度调控实现流变性改善，适用于高黏原油区块，可减少加热能耗30%–40%。分质集输工艺根据不同物性流体采用差异化方案，降低整体系统阻力，提高能源利用率10%–15%。

设备节能技术应用方面，高效泵机组升级改造是关键措施。变频调速技术针对负荷波动工况，实现设备最优运行，节能效果达15%–25%。管道内壁涂层技术通过降低摩擦系数，减少输送阻力，应用后能耗下降8%–12%。管道保温材料升级采用纳米气凝胶等新型材料，热损失减少40%–60%，显著降低加热能耗。系统余热回收利用技术将分离器、加热炉等设备废热

收集再利用，能源综合利用率提高20%–30%，实现系统内部能量梯级利用。

2.2 数字化与智能化技术在能效提升中的作用

数字化监测系统为能效管理提供数据基础，通过布设能耗在线监测点，实现关键设备、工艺单元能耗实时监控，能耗异常识别准确率达95%以上。智能诊断技术结合设备振动、温度等多维数据，及时发现能效衰减趋势，预判设备故障，维护决策精准性提高40%–50%。

优化控制技术基于生产工况变化自动调整操作参数，实现动态平衡。油气集输场站优化控制系统应用后，系统整体能效提升8%–12%。能效管理平台整合设备、工艺、管理等多层次数据，构建能量流向图谱，识别能耗异常和优化空间，能效改进措施实施精准度提高35%。数字孪生技术构建虚拟集输系统，通过模拟分析不同工况下能耗分布，优化系统配置和运行参数，避免能量浪费，工艺参数优化效率提高50%–60%，大幅缩短优化周期。

2.3 可再生能源与油气集输系统融合技术

光伏发电系统与集输站场结合，利用站场空闲场地布置光伏阵列，为辅助设备提供清洁电能。据统计，西部油田光伏系统可替代10%–20%的常规能源消耗，同时具有良好的经济性。风电系统在海上平台和陆地风资源丰富区域应用前景广阔，可为电动设备提供部分动力，降低化石能源依赖。

地热能利用技术在油气开发配套过程中具有独特优势，通过回注水系统耦合地热能回收装置，可获取低品位热能用于站场保温和生活热水，能源利用效率提升15%–25%。余热电站技术将原有火炬气和废热回收发电，转化为系统可用能源，实现能源二次利用，提高综合能效^[3]。混合能源供应系统整合多种可再生能源与常规能源，建立多能互补机制，通过智能调度平台实现能源最优分配，系统稳定性和经济性同步提升。能量存储技术解决可再生能源波动问题，采用电化学、压缩空气等多种存储方式，保障系统持续稳定运行，实现集输系统能源供应多元化与低碳化协同发展。

3 油气集输系统能效提升管理路径

3.1 能效评价体系与标准建设

油气集输系统能效评价体系应构建科学合理的多层次指标架构，系统级指标包括单位产量能耗、碳排放强度等宏观指标；设备级指标涵盖泵机组效率、加热炉热效率、管网输送效率等关键设备性能参数；过程级指标则细化至分离效率、降压能量回收率等工艺环节。静态评价方法通过周期性数据采集分析系统整

体表现,动态评价则实时监测能效变化趋势,两者结合形成全景式能效画像。

行业标准体系建设需完善三类标准:基础性标准规范术语、计量方法等共性内容;管理性标准明确评价流程与责任主体;限值性标准设定具体能耗上限与目标值。标准分级机制设置基准级作为行业准入门槛,先进级作为中期目标,领先级代表国际一流水平,形成阶梯式发展路径。

针对不同油品物性特征,高黏原油、高含水原油、高凝点油等类型应有差异化评价标准;从开发初期到中期再到后期,各阶段能效重点有别,标准设置应体现阶段性特征,增强适用性。监督体系整合企业内部能效自评机制,行业协会组织的标杆对标活动,以及第三方专业机构独立评价,多方协同确保评价客观公正。将标准执行情况纳入管理层和操作人员绩效考核,与薪酬和职业发展挂钩,建立激励与约束并重的管理机制。应加强与 ISO 50001 能源管理体系等国际标准对接,采纳 API、IPIECA 等国际组织先进经验,推动我国油气集输能效标准体系与国际接轨,提升行业整体竞争力和国际话语权。通过系统化、标准化的能效管理,引导企业形成以能效为核心的生产运营理念,实现经济效益与环境效益的协同优化。

3.2 低碳集输系统经济性分析与投资决策

低碳集输系统经济性分析需突破传统投资模式,建立全面成本收益评价体系。直接经济效益包括能源消耗减少带来的成本节约、设备寿命延长减少的维护费用;间接经济效益涵盖碳排放权交易收益、环保税费减免等。集输系统节能改造项目投资回收期一般为 2~5 年,工艺优化类项目回收较快,设备更新类项目周期相对较长。全生命周期成本分析将设备购置、安装、运行、维护及报废处理纳入评价,客观反映能效投资长期经济性。

投资决策模型应考虑多元目标与约束条件。多目标规划将经济效益、能效提升、碳减排等纳入决策框架,通过权重设定体现企业战略。实物期权分析引入油价、碳价等不确定因素,评估不同时点投资价值。风险评估采用情景分析、蒙特卡洛模拟等方法,量化政策变动、技术迭代对回报的影响。大型企业可优先布局战略性技术创新,中小企业宜选择成熟技术与管理优化,降低风险。投融资机制创新支撑能效项目实施^[4]。能效服务公司合同能源管理模式通过节能效益分享降低前期投资压力,已实施项目节能率平均达 18%~25%。绿色金融工具为能效项目提供低成本资金,部分银行针对能效项目贷款利率下浮 10%~20%。政府补贴与税收优惠应与能效提升效果挂钩,形成激励

约束并重的支持体系。企业内部可设立专项能效基金,将节约收益部分留存用于后续投资,形成良性循环。

3.3 碳交易机制下的能效管理策略

碳交易市场为油气集输系统能效提升提供了新的经济激励。建立覆盖直接排放与间接排放的碳核算体系是参与碳交易的基础,需细化至工艺单元和设备级别,实现碳排放数据可量化、可验证。内部碳定价机制将碳成本纳入项目评估和运营决策,引导资源向低碳项目倾斜。国内油气企业内部碳价格设定一般在 50~150 元 / 吨,高于当前市场交易价格。碳配额管理策略应根据企业减排成本曲线和市场碳价走势制定,研究表明油气集输系统减排边际成本低于 200 元 / 吨的项目占比约 40%,具有较好的减排经济性。

能效与碳减排协同管理模式整合传统能源管理与碳资产管理。组织架构上设立跨部门碳管理委员会,统筹协调各部门参与。将碳排放指标分解至各生产单元并纳入绩效考核,构建能效-碳排放一体化管理平台,实现数据实时监测与分析。强化员工碳交易意识和专业技能培训,培养复合型碳管理人才^[5~6]。与产业链上下游建立碳减排联盟,共享减排技术和经验,通过自愿减排交易、参与碳中和项目等方式,实现经济效益与环境效益双赢。

4 结论

低碳背景下油气集输系统能效提升是实现行业可持续发展的关键路径。通过系统能效分析、工艺优化与节能技术应用、数字智能化技术融合、可再生能源整合、完善能效评价体系、优化经济决策模型及碳交易管理策略等综合措施,可实现能效显著提升。未来应加强技术创新与管理协同,构建技术经济可行、环境友好的油气集输新模式,助力行业低碳转型。

参考文献:

- [1] 李雪. 低碳经济背景下的天然气营销战略研究——以中石油西南油气田分公司为例 [D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- [2] 程浩力, 脱哲, 龙尚军, 等. “双碳”背景下非洲油气田太阳能利用潜力分析 [J]. 油气田地面工程, 2025, 44(1):21~26.
- [3] 魏丽坤. DQ 油田采油二厂 N₂ 联合站油气集输管理问题研究 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2019.
- [4] 龙凤乐, 杨肖曦, 李松岩. 油气集输系统能量分析 [J]. 油气储运, 2005, 24(12):3.
- [5] 崔斌, 臧国军, 赵锐. 油气集输管道内腐蚀及内防腐技术 [J]. 石油化工设计, 2007, 24(1):4.
- [6] 成庆林, 张学强, 孟岚, 等. 油气集输系统用能评价方法的研究进展 [J]. 能源与环保, 2022, 44(1):177~182.