

长距离油气管道运输的能耗分析与节能降耗技术研究

王明涛 关 兵(山东港华燃气集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要: 当今时代, 能源需求持续攀升, 长距离油气管道运输作为油气资源跨区域调配的核心手段, 对保障能源供应起着中流砥柱的作用。然而, 其运输过程中的能耗问题犹如高悬的达摩克利斯之剑, 严重制约着行业的可持续前行。本文全方位解析长距离油气管道运输能耗构成, 深挖泵与压缩机、热力、摩阻损失等环节能耗产生根源; 细致探究管道设计参数、输送介质特性、运行工况等多元影响因素。

关键词: 长距离油气管道; 能耗分析; 节能降耗; 管道设计; 智能调控

中图分类号: TE832 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167(2025)019-0108-03

Energy consumption analysis and energy saving and consumption reduction technology research of long-distance oil and gas pipeline transportation

Wang Mingtao, Guan Bing (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: In today's era, energy demand continues to rise, and long-distance oil and gas pipeline transportation, as the core means of cross-regional allocation of oil and gas resources, plays a mainstay role in ensuring energy supply. However, the problem of energy consumption in the transportation process is like a sword of Damocles, which seriously restricts the sustainable progress of the industry. This paper comprehensively analyzes the energy consumption composition of long-distance oil and gas pipeline transportation, and digs deep into the root causes of energy consumption in pumps and compressors, thermal power, friction losses and other links. Carefully explore multiple influencing factors such as pipeline design parameters, conveying medium characteristics, and operating conditions.

Keywords: long-distance oil and gas pipelines; energy consumption analysis; energy saving and consumption reduction; piping design; Intelligent control

1 长距离油气管道运输能耗构成

1.1 泵与压缩机耗能

在油气管道输送体系里, 泵作为液态油品的“输送引擎”, 压缩机则是气态天然气的“动力推手”, 二者协同发力, 为流体克服管道阻力与地势高差注入动能。泵站与压缩机站通常是能耗大户, 其耗电量往往在管道总能耗中独占鳌头。以大型输油管网为例, 一座中等规模的泵站, 电机装机功率动辄数千千瓦, 年耗电量以百万千瓦时计, 持续不间断运行, 电能消耗如“无底洞”。泵与压缩机能耗高低与扬程(压头)、流量紧密挂钩, 且运行效率的些许波动都能引发能耗的剧烈起伏。一旦选型偏差或运行工况偏离理想设计值, 额外能耗便会如影随形。

1.2 热力能耗

针对含蜡、高黏原油及天然气输送需求, 为防介质凝结、黏度“飙升”阻碍流动, 热力保障不可或缺。锅炉房、加热炉等热力设施全天候运行, 吞噬大量燃料, 天然气、燃油等资源持续“告急”。在寒冷地区或输送高凝点油品的管道, 加热炉需将原油从低温“唤醒”至适宜流动的温度区间, 并沿途“呵护”, 持续补充热量, 热力能耗占比直线攀升, 成为总能耗的关键组分。

1.3 摩阻损失能耗

流体在管道内“奔涌”之际, 管壁宛如“摩擦阻力带”, 持续消耗流体动能, 摩阻损失由此而生。这部分能量损耗悄无声息地转化为热能消散于环境。摩阻损失与管道内径、流体流速、黏度及管壁粗糙度等要素“纠缠不清”。依据达西公式, 沿程摩阻水头损失近似与流速平方成正比, 流速失控或管径失策, 摩阻能耗便会呈几何级数增长。譬如管径规划过窄, 为达输送量“硬指标”被迫提升流速, 摩阻“巨兽”瞬间吞噬大量能量。

2 影响长距离油气管道运输能耗的因素

2.1 管道设计参数

2.1.1 管径

管径恰似管道运输的“咽喉”, 主宰流体流速与摩阻格局。大管径赋予流体宽敞“通道”, 流速舒缓, 摩阻损失随之“偃旗息鼓”, 但前期建设成本高昂, 资金投入似“天文数字”; 小管径虽初建成本亲民, 然摩阻能耗与泵、压缩机耗能却随之“水涨船高”。设计阶段仿若精准“天平秤”, 需权衡初始投资与长期运行能耗, 借由经济管径精细算法锚定最优管径。

2.1.2 管长与线路走向

管长无疑是能耗的“正比例杠杆”, 越长则能耗“攀

升”不止。线路走向更是能耗的“隐形操控手”，穿越崇山峻岭、深壑峡谷的线路，高差起伏似“崎岖山路”，泵站、压缩机站需额外发力，耗能剧增。复杂地质区域“暗藏玄机”，管道应力隐患频现，运行效率“打折”，间接能耗悄然滋生。

2.2 输送介质特性

2.2.1 油品黏度与密度

高黏度油品仿若黏稠“胶水”，流动性极差，摩阻“梗阻”严重，输送时需“洪荒之力”破阻，加热降黏工序更添热力能耗。高密度油品则是泵的“沉重负担”，负荷徒增，能耗飙升。稠油输送宛如“负重爬坡”，能耗远超轻质原油输送数倍。

2.2.2 天然气组分与压缩因子

天然气成分“大杂烩”，不同组分含量微妙变化，改写压缩因子与热力学“剧本”，压缩机功耗随之“跌宕起伏”。富含重烃的天然气似“顽固分子”，压缩难度“爆棚”，输送中能耗居高不下，气质波动还易搅乱管道内流态，摩阻损失“趁火打劫”。

2.3 运行工况

目前，油气需求潮汐般涨落，季节性、昼夜差异显著，管道流量随之“动荡不安”。泵与压缩机被迫脱离“舒适区”，非设计工况下运行效率“跳水”，频繁启停或负荷“大起大落”，额外耗能汹涌而至。城市燃气管网“感同身受”，用气高峰与低谷“冰火两重天”，管网能耗深受其扰。

压力控制。压力设定失当，能耗“漏洞百出”。压力过高，如紧绷“弓弦”超管道承压极限，设备耗能“狂奔”，安全风险“红灯频闪”；压力过低，无法满足输送“刚需”，多级联设备紧急“救场”增压，能耗再度“加码”。精准压力调控是节能“密钥”。

3 长距离油气管道运输节能降耗技术

3.1 优化管道设计

3.1.1 采用变径设计

依循沿线流量渐变“韵律”，量身定制分段变径管道。流量“汹涌”的首段以大管径“领航”，后续流量渐次“退潮”，管段管径顺势“瘦身”，各段流速“张弛有度”，摩阻能耗“望而却步”。某跨国能源动脉，干线起始段管径仿若“巨擘”，分支线路管径精巧“递减”，节能硕果累累。

3.1.2 合理规划线路

地理信息系统(GIS)加持，管道线路规划仿若“精准导航”，绕开高山险阻、大河天堑，地势高差“化险为夷”，泵站、压缩机站布局“精简高效”，耗能“瘦身”显著。兼及周边能源设施“抱团取暖”，余热回收惠泽民生，能源综合利用“大放异彩”。

3.2 采用高效设备

3.2.1 高效泵与压缩机选型

新型高效泵与压缩机“闪亮登场”，水力(气动)效率超群，高效运行区间“宽广无垠”。变频调速泵、压缩机“长袖善舞”，依实时流量“灵动变速”，设备逃离低效“泥沼”，节能成效斐然。某输气干线“焕新”变频压缩机，能耗“跳水”约20%，节能红利滚滚而来。

3.2.2 高效加热设备应用

冷凝式加热炉、热管换热器等高效热力“神器”风靡，燃料利用率“飙升”，排烟热损失“溃不成军”。冷凝式加热炉宛如“热能捕手”，回收烟气潜热，热效率较普通炉型“一骑绝尘”，高出10%–15%，原油加热能耗“应声而降”。

3.3 应用智能调控系统

3.3.1 基于SCADA系统的优化控制

管道监控与数据采集(SCADA)系统“慧眼看六路”，实时洞察管道压力、温度、流量等关键情报，依托数学模型与智能算法，泵、压缩机远程“智能巡航”。依工况动态优化运行参数，系统时刻“高能”运行，某长输油管网借此“东风”，年节能折标煤数千吨。

3.3.2 管网水力、热力平衡调节

管网分支节点“重兵把守”，调节阀、平衡阀精准“制衡”，智能控制系统“运筹帷幄”，实时驯服各支路流量、压力“野马”，水力、热力平衡“尽在掌握”。能量浪费“无处遁形”，管网能效“满血复活”，城市燃气管网与油气田集输管网受益匪浅。

3.4 推广节能新工艺

3.4.1 原油顺序输送中的节能技术

原油顺序输送“巧施妙计”，依油品物性差异“排兵布阵”，输送批次、界面跟踪控制“严丝合缝”。优化混油切割、“智能pig”精准监测界面，混油处理能耗“锐减”，油品间稀释降黏“协同发力”，后续加热与输送能耗“节节败退”。

3.4.2 天然气减阻内涂技术

天然气管道内壁“披上”减阻涂层“战衣”，管壁粗糙度“俯首称臣”，摩阻系数“大跳水”。实验为证，减阻涂层“魔力”非凡，摩阻系数降幅30%–50%，相同输送压力下输量“高歌猛进”或压缩机功耗“黯然失色”，节能长效显著。

4 节能降耗技术应用案例分析

4.1 某大型输油管道工程

这条贯穿东西、绵延2000余公里的输油“巨龙”，年输油量千万吨级“豪迈出征”。建设前期，能耗模拟“沙盘推演”精细入微：变径管设计贴合流量“脉搏”，依据多年积累的沿线油品需求变化数据以及不

同季节、不同时段的流量波动规律，精准确定各段管径尺寸，确保每一寸管道都能在最优流速下运行，将摩阻损失控制到最低；选用国际领先水平的高效离心泵，其独特的叶轮设计和先进的密封技术极大提高了水力效率，同时配备智能变频调速装置，可根据实时流量自动调整泵的转速，避免了电机在低效区间空转，让“动力心脏”强劲且节能；线路规划团队借助高精度地理信息系统（GIS），反复比对多种方案，巧妙避开地质复杂、地势起伏剧烈的区域，选择地势相对平缓、施工难度小的路线，减少了泵站的设置数量，降低了高程差带来的额外能耗。

投运后，基于SCADA系统构建的智能调控平台宛如一位“智慧管家”，全面接管泵站运行。通过分布在管道沿线的数千个传感器，实时采集压力、温度、流量等海量数据，传输至控制中心。控制中心内的智能算法迅速对数据进行分析处理，依据预设的能耗优化模型，动态调整泵站内泵的开启台数、运行转速以及出站压力等参数。例如在油品需求淡季，自动减少运行泵的数量并降低转速，在保证输送任务的前提下，最大限度降低能耗。经对比，与传统设计运营管道相比，能耗降低约15%，每年节省电费数千万元，同时减少了大量二氧化碳排放，为企业带来了显著的经济效益和环保效益，也为同行业的管道建设与运营提供了极具价值的范例。

4.2 某城市燃气管网改造

老旧城市燃气管网犹如一位“迟暮老人”，压力失衡、能耗“高烧”不退，亟待一场“脱胎换骨”的改造。改造工程团队从管网“神经末梢”入手，在关键节点安装高精度智能调节阀和灵敏的压力传感器，这些设备如同“智能卫士”，实时感知管网内的压力变化，并将数据迅速传输至全新搭建的管网智能管控系统。管控系统依托大数据分析和人工智能算法，依据城市不同区域、不同时段的用气需求，精确计算出各支路所需的燃气流量和压力，然后向智能调节阀发出指令，实时“驯服”各支路流量、压力“野马”，实现了管网的精准水力、热力平衡，杜绝了因压力不均导致的能量浪费。

在气源端，老旧的活塞式压缩机被高效螺杆式压缩机取而代之。新压缩机采用先进的螺杆啮合技术，具有更高的压缩效率和更宽的工况适应范围，在不同的用气负荷下都能稳定运行，节能效果显著。同时，针对部分主干管，采用了天然气减阻内涂技术。施工人员运用专业的喷涂设备，在管道内壁均匀涂抹一层特殊的减阻涂层，这种涂层表面光滑如镜，有效降低了管壁粗糙度，使得摩阻系数大幅降低。实验数据表明，

减阻涂层可使摩阻系数降低30%~50%，在相同输送压力下，管网输气能力提升了10%，压缩机能耗降低了25%。改造后的管网压力“平稳着陆”，供气可靠性大幅提升，无论是炎炎夏日的空调用电高峰，还是寒冬腊月的供暖用气旺季，都能稳定、高效地为城市居民输送清洁能源，实现了节能与供气保障的“比翼齐飞”。

5 结论与展望

通过对长距离油气管道运输能耗全方位且深入的剖析，我们已然明晰泵与压缩机耗能、热力能耗以及摩阻损失能耗这三大核心构成要素，也精准把握了管道设计参数、输送介质特性、运行工况等关键影响因素。在实践层面，优化管道设计、采用高效设备、应用智能调控系统以及推广节能新工艺等一系列举措，犹如一套紧密咬合的“组合拳”，发挥出巨大效能。从所列举的实际案例来看，无论是大型输油管道工程，还是城市燃气管网改造项目，均成功实现显著节能，企业经济效益得以大幅提升，同时为环境保护做出突出贡献，达成经济效益与环境效益的“双丰收”。

展望未来，随着科技浪潮汹涌澎湃，长距离油气管道运输领域的节能降耗将迎来更为广阔的发展前景。一方面，新能源技术与油气管道运输的融合有望成为现实，太阳能、风能等清洁能源将逐步在沿线泵站、压缩机站“安家落户”，为其提供源源不断的绿色电力，彻底打破传统能源消耗的“枷锁”，大幅削减碳排放。另一方面，大数据与人工智能技术将深度嵌入能耗管控流程，凭借超强的数据处理能力和精准的分析预测功能，实时监测每一个细微环节，挖掘潜藏的节能潜力，让能耗管理达到前所未有的精细化、智能化程度。再者，新型材料研发持续发力，超滑、自修复的管道内衬材料研发进程不断加速，一旦问世并广泛应用，将从根源上大幅降低摩阻能耗，为管道运输“减负”。相信在科技的强劲驱动下，长距离油气管道运输必将以更加绿色、高效的崭新姿态，为全球能源供应保障注入源源不断的动力，有力推动可持续发展迈向新高度。

参考文献：

- [1] 杨筱衡, 张国忠. 输油管道设计与管理 [M]. 山东: 中国石油大学出版社, 2017.
- [2] 李玉星, 姚光镇. 输气管道设计与管理 [M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2019.
- [3] 梁永图, 冯文兴, 等. 油气管道节能技术 [J]. 油气储运, 2015, 34(7):697-702.
- [4] 张鹏, 王树立, 赵会军. 长输原油管道节能技术综述 [J]. 当代化工, 2016, 45(1):141-144.
- [5] 王剑波, 钱成文, 等. 天然气管道减阻内涂技术应用及效果分析 [J]. 油气储运, 2018, 37(2):193-198.