

成品油管道顺序输送混油的优化处理

陈广贤

国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司 广东 广州 510000

摘要: 本文针对成品油管道顺序输送混油难题, 深入分析混油产生机理、发展规律及现有处理弊端, 从工艺参数优化、智能监测技术应用、切割回收升级、自动化管控四个维度提出全套优化方案。通过工程实践验证, 该方案能大幅缩减混油长度、降低油品损耗, 提升油品质量达标率, 兼顾经济效益与社会效益, 为长距离成品油管道安全高效输送、减少资源浪费提供了可行的技术参考和实操路径, 助力管道输送行业提质增效。

关键词: 成品油管道; 顺序输送混油; 优化处理; 智能监测

引言: 成品油管道顺序输送是当下油品调配的主流方式, 能提升输送效率、降低运输成本, 但不同油品交接时极易产生混油, 引发油品损耗、质量下降等问题, 制约管道输送行业发展。当前混油处理存在损耗大、成本高、精度不足等短板, 难以满足高效环保的输送需求。本文立足工程实际, 剖析混油成因与规律, 探究针对性优化措施, 破解混油处置痛点, 保障管道平稳运行, 实现降本增效、保障油品品质的核心目标。

1 成品油管道顺序输送混油机理分析

1.1 混油产生的核心原因

(1) 物理因素: 密度差、黏度差引发的混油。不同成品油理化性质存在差异, 汽油、柴油等油品密度、黏度各不相同, 管道输送时, 轻重油品交界面处会因重力作用出现分层滑移, 黏度差会导致油品流速分布不均, 打破界面平衡, 引发分子扩散与紊流混合, 形成初始混油。

(2) 工艺因素: 流速波动、启停泵、换向操作影响。管道运行工况不稳会加剧混油, 流速突变会破坏油品交界面稳定性, 启停泵、切换阀门会产生水击、涡流, 扰动油品流动, 让两种油品相互掺杂, 大幅扩大混油范围^[1]。

(3) 管道因素: 管径变化、弯管、阀门管件扰动。管道内部结构不规整, 会改变油品流动轨迹, 管径突变成形涡流, 弯管处产生离心力导致油品分层偏移, 阀门、管件等局部阻力件会制造紊流区, 进一步加剧油品混合, 扩大混油段长度。

1.2 混油形成与发展规律

(1) 混油段形成过程与形态特征。顺序输送启动时, 两种油品接触形成清晰界面, 随着输送推进, 界面逐渐拉伸、破碎, 形成两头浓度高、中间过渡的锥形混油段, 混油区域会随输送距离延长持续扩张。

(2) 层流、湍流状态下混油扩散差异。层流状态下, 混油以分子扩散为主, 扩散速度慢, 混油段较短; 湍流

状态下, 紊流扩散占主导, 油品混合剧烈, 混油扩散速度快, 混油段长度大幅增加^[2]。

(3) 输送工况对混油长度的影响规律。流速越高, 湍流程度越强, 混油段越长; 输送距离越远, 混油扩散时间越久, 混油段持续扩张; 启停泵、换向等操作越频繁, 混油长度增加越明显。

1.3 混油常用检测与计算方法

(1) 常规混油浓度检测技术。常用密度法、折射率法、色谱分析法等, 通过监测油品理化参数变化, 判断混油界面位置与浓度分布, 实现混油段实时追踪。国家管网华南分公司自主研发的油品界面智能检测仪, 采用高精度红外激光信号传输技术, 可精准检测密度相近油品界面, 测量准确性达 $\pm 0.0001 \text{g/cm}^3$, 为混油切割提供精确数据支撑^[3]。

(2) 经典混油长度计算模型。依托经验公式、半经验公式, 结合油品性质、流速、管径、输送距离等参数, 快速估算混油段长度, 适用于工程现场初步计算。

(3) 数值模拟在混油预测中的应用。利用CFD等软件, 搭建管道输送模型, 模拟油品流动与混合过程, 精准预测混油形态、长度与浓度分布, 适配复杂工况分析。华南分公司结合自身管网特点, 开发了管网批次跟踪系统, 实现混油段实时定位与动态预测。

1.4 混油处理现有方式及弊端

(1) 混油回掺、切割、再加工常规手段。混油回掺是将合格油品掺入混油稀释达标, 操作便捷; 切割是分离纯油与混油, 单独处置过渡段; 再加工是通过精馏、调和等工艺恢复油品品质, 保障质量。

(2) 现有处理工艺的经济性与局限性。回掺操作简便、成本低, 但会降低整体油品质量; 切割简单直接, 却会造成一定油品损耗; 再加工效果好, 可产出合格油品, 但设备投入高、运行成本高, 经济性欠佳。

(3) 混油处理现存核心问题。现有工艺普遍存在损耗大、成本高的问题,混油回收利用率低,且在复杂工况下混油处置精度不足,难以有效兼顾经济性与油品质量双重需求。

2 成品油管道顺序输送混油优化控制措施

2.1 输送工艺参数优化

(1) 油品输送顺序优化。重新规划油品输送批次,严格遵循“相近性质优先相邻”核心原则,结合各油品密度、黏度、馏程等关键指标,建立油品相容性评估体系,将性质差异控制在合理范围内的油品安排连续输送,最大限度减少交界面处的物理扰动和扩散,从源头抑制混油层形成,降低后续混油处理压力。

(2) 最优输送流速确定。通过大量现场试验与数值模拟仿真,结合不同管径、不同油品组合的实际工况,精准确定各场景下的临界流速范围,将输送流量稳定在最优区间内。既避免流速过低导致的油品滞留、混油层增厚,又防止流速过高引发的紊流扩散加剧,实现输送效率与混油控制的双重优化^[4]。

(3) 工况扰动最小化控制。制定标准化启停泵、换向操作流程,明确操作步骤与时间节点,采用“渐进式调速”技术,实现流速平稳升降,避免流速突变;应用SCADA系统实现压力、流量实时自动调节,精准补偿工况波动,消除人为操作误差,有效降低水击、涡流等扰动因素对混油界面的冲击,稳定混油层厚度。

2.2 智能监测与精准切割技术应用

(1) 油品界面智能检测系统。在管道关键站场、阀室精准安装华南分公司自主研发的油品界面智能检测仪,该设备集成高精度光纤探头与红外激光检测技术,可实时、连续监测混油浓度变化,检测响应时间小于0.5秒,能精准捕捉混油界面移动轨迹和浓度梯度,为混油精准切割提供可靠、实时的数据支撑,有效避免切割偏差导致的纯油浪费或混油超标^[5]。

(2) 混油在线预测与动态切割。搭建基于管网水力特性的混油仿真预测系统,结合管网批次跟踪技术,整合流速、压力、温度等实时运行参数,实现混油段长度、浓度分布的精准预测;开发自动切割控制系统,根据实时监测数据动态调整切割边界,精准分离纯油与混油,大幅提高纯油回收率,有效减少混油产生量,提升资源利用效率。

(3) 死油段消除改造。针对南宁-黎塘等支线管道死油段残留导致混油增多的问题,进行输送流程优化改造,将汽油、柴油进站管道分别单独接至支线主泵前管道,设置专用注入流程切换阀门,实现不同油品输送时的无缝

切换,彻底减少初始混油和管道死油段残留,改造后工程实践表明,相关支线混油产生量显著降低约25%,优化效果稳定可靠。

2.3 自动化管控系统升级

(1) SCADA系统混油监测模块优化。升级现有SCADA系统,全面接入在线浓度、流速、压力等监测设备,实现混油全流程、无死角实时监控;开发“中控操作导航系统”和“SCADA画面纠错系统”,可提前预演操作流程,及时发现并纠正操作隐患,减少误操作概率,大幅提高混油跟踪精度和响应及时性。

(2) 智能决策与闭环控制。建立混油大数据分析平台,整合历史运行数据、实时监测信息及工况参数,通过机器学习算法持续优化混油控制策略;实现“监测-预测-控制-反馈”全流程闭环管理,系统可在1秒内自动发出混油异常预警,30秒内生成针对性解决方案,将响应速度从传统分钟级提升至秒级,提升应急处置能力^[6]。

(3) 移动终端实时监控。开发管道混油界面监控小程序,适配手机、平板等移动终端,支持现场操作人员实时查看混油界面位置、前后行油品种类及浓度数据,同步接收异常预警信息,实现远程精准操作,降低人工干预带来的不确定性,确保操作规范性和准确性。

2.4 混油回收与再利用技术创新

(1) 混油精细分馏处理。在大型枢纽站场建设专业化混油处理中心,配备高效分馏装置与精密检测设备,根据混油浓度梯度进行多级分离、精细切割,将混油精确分离为合格汽油、柴油及少量重质混油,其中重质混油送至炼厂进行深度再加工,实现资源循环利用,纯油回收率提升至98%以上,大幅减少资源浪费。

(2) 减阻剂协同优化应用。在汽油外输过程中加注专用高效减阻剂,通过试验确定最优加注浓度,在降低管道沿程阻力、提高输送效率的同时,有效减少油品与管壁摩擦产生的紊流现象,抑制混油扩散,实现节能与控混双重效益。华南分公司在西南管道茂名首站应用该技术后,汽油外输流量提高9.6%,混油段长度缩短18%,应用效果突出^[7]。

(3) 跨区域混油资源统筹。建立华南管网混油资源统一调配机制,全面梳理各站场混油性质、产量及炼厂加工能力,制定最优调配方案,实现混油就近处理、优化利用,有效降低混油运输成本,提升管网整体运营的经济效益和资源利用率。

3 工程实践与效果分析

3.1 项目背景与实施条件

(1) 工程概况。本优化方案在国家管网华南分公司

珠三角成品油管道、西南成品油管道等主要干线实施，覆盖管道总长度超5000公里，涉及多座输油站场，输送油品包括汽油、柴油等多个品种。

(2) 原有处理方式弊端。原有处理方式为粗放切割与简单回掺，混油回收利用率低、损耗大，常出现油品不达标，返工耗时费力、增加成本。

(3) 优化改造目标与实施条件。本次优化目标为将混油长度缩减，混油损耗率降低，保证输送油品全指标达标。实施条件完备，管道设备完好，站场具备加装智能监测设备、升级自控系统的空间，现场操作人员经培训可熟练执行新工艺，施工期间可分段作业，不影响正常输送进度。

3.2 混油优化方案实施

(1) 工艺参数调整与现场执行。严格遵照优化标准，重新排布油品输送顺序，选用相近理化性质的油品相邻输送；锁定最优输送流速，将流量稳定在设定区间，杜绝流速波动；制定标准化启停泵、换向流程，操作人员全程依规操作，消除工况扰动。

(2) 智能监测设备安装与调试。在关键站场安装油品界面智能检测仪，完成光纤探头、红外激光信号传输系统调试，确保检测精度达到设计要求；在南宁、黎塘等站场实施死油段消除改造，完成专用注入流程切换阀门安装与测试。

(3) 自动化管控系统投用运行。完成SCADA系统混油监测模块升级，接入在线浓度、流速监测设备，搭建混油仿真预测系统，实现全流程实时监控、智能调控；开发并部署"中控操作导航系统"和"SCADA画面纠错系统"，提高操作精准性。系统投用后完成联动调试，各项指令执行顺畅，达到闭环管控要求。

3.3 实施效果测试与评价

(1) 混油长度、混油量对比。优化实施后，经现场实测，单批次混油长度显著缩短，缩减效果明显，混油损耗率大幅下降，远低于设定目标，混油产生量得到有效控制。其中，油品界面智能检测仪的应用显著提高了混油切割精度，有效提升了纯油回收率，进一步降低了油品损耗。

(2) 油品质量达标率检测结果。对输送油品进行全程抽检，各项质量指标均符合国家标准，达标率100%，无不合格油品返工情况，油品品质稳定可控。

(3) 输送工况稳定性验证。连续运行3个月，管道压力、流速、流量参数波动极小，无异常扰动、水击情况，启停泵、换向操作平稳，工况全程保持稳态，输送效率显著提升。

3.4 经济效益与社会效益分析

(1) 混油损耗降低带来的成本节约。混油损耗大幅减少，每年可减少油品损耗500余吨，节约原料成本、处理费用超300万元，经济效益十分显著。

(2) 运维效率提升与人工成本降低。自动化系统替代人工粗放管控，减少现场值守与操作工作量，人工成本降低30%，运维工作量大幅缩减，故障处置效率大幅提升。

(3) 保障油品质量与安全输送的社会效益。杜绝不合格油品流入市场，保障了成品油供应质量，消除了混油超标引发的安全隐患，保障管道长期安全稳定运行，树立了良好的行业形象，具备突出的社会效益。

结束语

综上，通过优化输送工艺、应用智能监测技术、精细化切割回收、升级自动化管控系统，能有效抑制混油生成、提升回收利用率，彻底解决传统混油处理的痛点。本次优化方案在国家管网华南分公司工程应用中成效显著，实现了损耗降低、质量达标、效益提升的多重目标。未来可进一步深化大数据分析 with 智能管控技术，适配更复杂的输送工况，持续完善混油防控体系，推动成品油管道输送技术朝着高效、绿色、智能方向稳步发展。

参考文献

- [1]黄鑫,滕霖.液氨/甲醇/成品油顺序输送技术研究进展[J].油气储运,2023,42(12):133-135.
- [2]梁永图.中国油气管网运行关键技术及展望[J].石油科学通报,2024,9(2):213-223.
- [3]郑坚钦.基于CAE-TSNE的成品油管道运行工况识别[J].石油科学通报,2024,9(1):148-157.
- [4]高盘峰.基于双重预防机制的原油、成品油管道安全风险管控策略研究[J].消防界,2025,11(6):87-91.
- [5]刘亮,王翊婷.兰-成-渝成品油管道减阻剂应用[J].化学工程与装备,2023,15(6):69-71.
- [6]国家管网华南公司.油品界面智能检测仪技术手册[Z].2020.
- [7]国家管网华南公司.珠三角成品油管道混油优化技术方案[R].2024.