

引文:赵赏鑫, 庞贵良, 邱姝娟, 等. 成品油管道增输甲醇的工艺技术探讨[J]. 油气储运, 2025, 44(8): 874–881.

ZHAO Shangxin, PANG Guiliang, QIU Shujuan, et al. Technical discussion on incorporating methanol transport in product oil pipelines[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2025, 44(8): 874–881.

成品油管道增输甲醇的工艺技术探讨

赵赏鑫¹ 庞贵良² 邱姝娟² 于达³ 史博会³ 温凯³ 宫敬³

1. 国家石油天然气管网集团有限公司科技部; 2. 国家管网集团联合管道有限责任公司西部分公司;
3. 中国石油大学(北京)·油气管道输送安全国家工程研究中心

摘要:【目的】借助在役成品油管道增输甲醇, 可为氢能、甲醇输送提供便捷通道, 也是解决成品油管道输量空缺问题的有效途径, 但目前中国还未形成完整的成品油管道增输甲醇工艺技术体系。【方法】通过梳理甲醇的基本性质与相关标准, 探讨了成品油管道增输甲醇批次的设计方法, 分析了甲醇与柴油、甲醇与汽油相邻输送的注意要点, 讨论了增输甲醇对混油量的影响, 并明确了隔离液选择应用的关键环节; 聚焦成品油管道增输甲醇的质量管理, 重点阐述了批次界面监测与跟踪、甲醇与汽柴油混油段切割、混油处理等工艺技术。【结果】甲醇分别与柴油、汽油相邻批次输送各有优势, 需要结合管道输油、沿线用油情况与管道自身条件比选确定增输甲醇的批次, 并需重点关注混油量的控制方式; 若采用隔离液控制混油, 需根据隔离工艺可行性、前后油品质量、隔离液价格、隔离可靠性等多方面进行综合分析, 从而确定选用合适的隔离液; 借助在线密度计、光学界面仪、在线批次界面跟踪等仪器及技术, 可实现甲醇与汽柴油批次输送界面的有效监测与跟踪; 推荐以沸程、闪点等指标作为汽柴油与甲醇混油段切割点选择的依据; 甲醇/汽油、甲醇/柴油、汽油/柴油 3 种混油接收存储时, 为保障油品质量、降低混油处理难度, 宜对不同批次间的混油分别接收、分别储存。【结论】成品油管道增输甲醇在工艺上具有可行性, 但未来还需在甲醇与柴油的混油段流动特性、混油扩散特性、含水甲醇与汽柴油的批次界面混油特性、甲醇与汽柴油顺序输送混油计算模型等方面开展深入研究, 以期成品油管道增输甲醇的运行管理提供技术保障。(图 1, 参 32)

关键词: 成品油管道; 增输甲醇; 批次设计; 界面跟踪; 混油切割; 混油接收

中图分类号: TE832

文献标识码: A

文章编号: 1000-8241(2025)08-0874-08

DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2025.08.004

Technical discussion on incorporating methanol transport in product oil pipelines

ZHAO Shangxin¹, PANG Guiliang², QIU Shujuan², YU Da³, SHI Bohui³, WEN Kai³, GONG Jing³

1. Department of Science and Technology, China Oil & Gas Pipeline Network Corporation; 2. PipeChina United Pipeline Western Branch Co., Ltd.; 3. China University of Petroleum (Beijing)/National Engineering Research Center for Pipeline Safety

Abstract: [Objective] Utilizing existing product oil pipelines for additional methanol transport can enhance hydrogen and methanol delivery while addressing the issue of insufficient throughput in product oil pipelines. However, China has not yet developed a comprehensive technological system for this purpose. [Methods] The basic properties of methanol and relevant specifications and standards were reviewed to discuss the batch design for incorporating methanol transport in product oil pipelines. Precautions for the adjacent transportation of methanol with diesel and gasoline were analyzed. The impact of additional methanol transport on mixed oil volumes was examined, and key aspects of isolation fluid selection and application were identified. With a focus on quality management for additional methanol transport in product oil pipelines, process technologies such as batch interface monitoring and tracking, methanol/gasoline and methanol/diesel mixed oil cutting, and mixed oil treatment were elaborated on. [Results] The adjacent batch transportation of methanol with diesel and gasoline respectively has its own advantages. A feasible batch design for additional methanol transport in product oil pipelines can be established by comparing pipeline oil transportation, oil consumption, and pipeline characteristics, while giving special focus on the control of oil mixing. If isolation fluid is employed, its selection should be based on a

comprehensive analysis of the feasibility of the isolation process, oil quality before and after treatment, cost, and reliability. Online density meters, optical interface meters, and online batch interface tracking technologies can effectively monitor and track the interface in the adjacent batch transportation of methanol with diesel and gasoline. Boiling range and flash point were recommended as criteria for methanol/gasoline and methanol/diesel mixed oil cutting. To maintain oil quality and simplify mixed oil treatment, the three types of mixed oil (methanol/gasoline, methanol/diesel, and gasoline/diesel) should be received and stored separately for each batch. **[Conclusion]** Transporting additional methanol through product oil pipelines is technically feasible. However, future research is required on the flow characteristics of the mixed oil segment between methanol and diesel, the diffusion characteristics of the mixed oil, the mixed oil characteristics at the batch interface between water-containing methanol and gasoline/diesel, and the calculation model for mixed oil during the batch transportation of methanol with gasoline and diesel. This research aims to provide technical support for the operation and management of additional methanol transport through product oil pipelines. (1 Figure, 32 References)

Key words: product oil pipeline, additional methanol transport, batch design, interface tracking, mixed oil cutting, mixed oil receiving

近年来中国在节能减排、“双碳”目标的指引下, 新能源汽车发展迅速。根据中国汽车工业协会行业信息部发布的数据^[1], 2024 年 1—11 月, 中国新能源汽车产量、销量分别达到 $1\,134.5 \times 10^4$ 辆、 $1\,126.2 \times 10^4$ 辆, 同比分别增长 34.6%、35.6%, 其中新能源汽车的国内销量 $1\,012.1 \times 10^4$ 辆, 同比增长 40.3%。随着能源转型的逐步推进, 中国成品油的总体需求即将进入平稳、下降阶段^[2]。国家石油天然气管网集团有限公司(简称国家管网集团)成立后, 从中国石油、中国石化等企业接管了大型油气管网, 成品油管道从原来的企业销售系统成员转变为独立的油品承运方, 管道的输油需求也发生了变化。目前, 中国有很大部分成品油管道输量不足, 随着新能源汽车的推广应用, 成品油需求量将逐步下降, 且该趋势还将进一步发展^[3-4]。

在此形势下, 开拓成品油管道新介质输送市场是必然选择^[5-6]。中国正在大力发展风能、光能, 准备将其转化成氢能应用, 但氢能的产地多在西北部地区, 而主要能源消费地在东南部地区, 因此会产生巨量的氢能输送需求, 未来成品油管道增输载氢液体将是一个重要的发展方向^[7]。液态有机氢载体有甲醇、甲基环己烷、十二氢-N-乙基咔唑、1,2-B,N-环己烷、二苳基甲苯等。目前, 中国甲醇产量、消费量均居世界首位, 甲醇生产企业主要分布在具有资源优势的西北部地区, 而消费市场主要集中在东部沿海地区, 且传统的运输方式能力不足^[8], 因此借助成品油管道增输甲醇是双赢的举措。甲醇生产工艺成熟、成本低、用途广泛, 既是氢能载体, 还是重要的化工原料与燃料^[9]。此外, 甲醇的物性也与成品油管道输送介质的物性相近。

1 甲醇的基本性质及应用

1.1 基本性质

甲醇是一种无色、透明、易燃、有毒的液体, 略带酒精味, 熔点为 $-97.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 沸点为 $64.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 密度为 $0.791 \sim 0.793\text{ g/cm}^3$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的黏度为 $0.552\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 、饱和蒸汽压为 12.3 kPa 。

1.1.1 溶性

甲醇是极性较强的有机化合物, 能与水、有机溶剂(乙醇、乙醚、苯、丙酮等)相溶。无水甲醇(水的质量分数不大于 0.05%)能与汽油以任意比例互溶, 但有少量水分就会严重破坏汽油与甲醇的互溶性, 使二者产生相分离(分层现象)。甲醇含水量 0.1%(质量分数 0.1%)的 M50 混合燃料(甲醇与汽油体积比 50%)的相分离温度为 $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而含水量增加会使相分离温度升高, 如甲醇含水量 2.0%的 M50 混合燃料, 其相分离温度将超过 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[10-11]。

柴油属于非极性石油系液体, 在常温下与甲醇难以互溶, 直接混合无法形成均匀稳定的混合物且易发生分层。通过添加醇类助溶剂可实现甲醇与柴油互溶, 但少量水即会破坏甲醇/柴油/助溶剂体系。

1.1.2 毒性

甲醇因其易燃、易爆、毒性被列入特别管控危险化学品目录中^[12]。甲醇的毒性级别不高, 但对人体的危害不容忽视, 其对人体的神经、血液及代谢系统影响最大, 经消化道、呼吸道或皮肤摄入甲醇均会产生毒性反应, 甲醇蒸气会损害人的呼吸道黏膜与眼睛, 经常接触甲醇可能造成人体永久性伤害。甲醇中毒的常见症状包括头痛、恶心、呕吐、视力模糊、失明等,

成人摄入 5~15 g 甲醇就会中毒,甚至导致死亡。

1.1.3 燃料性能

甲醇的闭口闪点、开口闪点、自燃点分别为 8℃、12℃、473℃,爆炸极限的下限、上限分别为 5.5%、44.0%,燃烧热值(19.6 MJ/kg)不到普通汽油的 50%。甲醇的辛烷值高达 114,氧含量约 50%,有自供氧效应。M18 以下的甲醇汽油可满足汽油发动机燃料性能需求,M85 以上的甲醇汽油则要求改装汽车发动机。

将轻柴油、甲醇、助溶剂按比例调合成复合甲醇柴油新型燃料,可替代柴油用于柴油内燃机、工业锅炉、电厂等领域。甲醇的闪点低,因此甲醇柴油的闪点控制极为关键,且甲醇热值低,会导致发动机动力下降,故甲醇柴油含水将会出现分层现象。

1.2 甲醇燃料的应用

1973 年第四次中东战争引发了世界石油危机,1975 年瑞典首先提出将甲醇作为汽车燃料,美国、日本、巴西等国相继跟进^[13],1979 年德国率先推广 M15 甲醇汽油^[14]。但 20 世纪 80 年代后期,日本、美国等国家立法禁用。1998 年,国际汽车联合会发布的《世界燃料规范》中明确禁用甲醇^[15],致使目前世界主要国家均禁用甲醇汽油。

中国从 20 世纪 80 年代初开始对醇(含甲醇)类燃料进行系统的代用燃烧研究,同期,山西、河南、陕西、新疆、甘肃等省(自治区)出台了 M5~M15 汽油标准并进行试用,但此类甲醇汽油在国家层面尚未许可。中国虽然发布了 GB/T 23510—2009《车用燃料甲醇》与 GB/T 23799—2009《车用甲醇汽油(M85)》,但前者仅是针对甲醇原料,后者给予了 M85 甲醇汽油合规性,但使用 M85 甲醇汽油需要改进发动机,而中国道路交通安全法^[16]明确规定严禁私自改装汽车与发动机。因此,实质上中国甲醇汽油通道并未开通。中国部分企业推出甲醇柴油并试用,也出现了甲醇柴油企业标准,但目前尚无明确的国家标准与地方标准,因此,甲醇柴油不属于正规车用燃油。2023 年 9 月,中国出入境检验检疫协会发布了全球首个 T/CIQA 70—2023《船用甲醇燃料》团体标准,规定了适于船用发动机的甲醇燃料质量指标,推动了船用燃料向甲醇转型。

2 成品油管道增输甲醇的批次设计

中国成品油管道顺序输送的介质主要为不同牌号

的汽油、柴油,也有部分管道兼输航空煤油。在顺序输送过程中两个相邻批次油品之间必然产生混油,不同油品的质量控制指标不同。因此,在输送过程中混油的控制与处理是保证油品质量的关键环节。成品油管道增输甲醇首先要在保障油品质量的前提下,选择与甲醇顺序输送的相邻油品设计输送批次。

2.1 甲醇与柴油、汽油相邻输送

甲醇的密度介于柴油与汽油之间,与航煤相当,黏度接近于汽油^[17]。当甲醇与柴油批次相邻输送时,应注意以下 4 个方面:①甲醇与柴油不相溶,两者之间的混油段可呈现浑浊状态,在低速与静置状态下容易分层;②甲醇与柴油的黏度差较大,因此,相邻输送时除导致混油的黏度差、密度差外,也需重点关注二者速度差;③甲醇的闪点低,对柴油质量影响较大;④甲醇的沸点远低于柴油,采用蒸馏法可将两者分离。

当甲醇与汽油批次相邻输送时,应注意以下 5 个方面:①甲醇的黏度与汽油相近,相邻输送产生的混油量相对较少;②甲醇的辛烷值高于汽油,将其混入汽油能提高汽油的抗爆性;③汽油的质量指标中不包括闪点,因此,甲醇的闪点指标对汽油无影响;④甲醇与汽油相溶,少量甲醇混入汽油对油品的储存、运输影响不大;⑤甲醇与汽油的密度差较大,可利用在线密度计监测批次界面。

可见,对于成品油管道增输甲醇的批次设计,需结合管道输油、沿线用油情况、管道自身条件进行要素比选,确定最优综合条件。

2.2 增输甲醇对混油量的影响

管道终点混油量是成品油管道关注重点,通常采用奥斯汀公式^[18]进行计算,其表达式为:

$$L_1 = \begin{cases} 11.75 d^{0.5} L_2^{0.5} Re^{-0.1}, & Re > Re_j \\ 18\,384 d^{0.5} L_2^{0.5} Re^{-0.9} e^{2.18 d^{0.5}}, & Re \leq Re_j \end{cases} \quad (1)$$

式中: L_1 为管道终点混油段长度, m; L_2 为管道长度, m; d 为管道内径, m; Re 为混油段雷诺数; Re_j 为临界雷诺数。

在计算管道终点混油段长度时,应先由管道内径确定 Re_j ,再根据前后批次油品的黏度与管内的流速计算 Re 。当 $Re > Re_j$ 时,计算出的混油段较短;当 $Re \leq Re_j$ 时,计算出的混油段较长。因此,混油段雷诺数的控制是减少混油量的重要措施。针对具体管道可通过临界雷诺数推算管道流速,将其作为管内流速控制的下限,即可保证混油量处于较低的范围。

甲醇与汽油具有相溶性, 甲醇/汽油批次界面的混油特性与其他成品油差异不大, 用流速控制混油量的措施具有可行性^[19]。甲醇与柴油不相溶, 且暂无管输实例, 低流速时甲醇与柴油分层对批次界面混合特性的影响不明确。中国较多成品油管道采用柴油推水投产, 可为甲醇/柴油输送混油量预测提供借鉴。现阶段, 国家管网集团正在开展甲醇/柴油输送工业性试验, 以明确甲醇/柴油的混油特性。

管道高差起伏同样会对增输甲醇的混油产生影响。实际管道落差对长距离管道的坡度影响不大, 如乌兰(乌鲁木齐—兰州)成品油管道最大落差接近 1 300 m, 该管段长度为 132.7 km, 管道的坡度不到 1%, 因此, 在输送中满足流速的要求即可避免混油异常^[20]。然而, 管道沿线局部可能会有较短的大坡度管道, 在顺序输送甲醇停输时需考虑局部高差特性的影响。

2.3 隔离液的选择

隔离液为插入在相邻油品批次间的介质, 需满足在与前、后油品进行大比例掺混的前提下也不会影响油品质量的要求。典型案例为镇杭(镇江—杭州)成品油管道^[21], 该管道在两个车用柴油批次间输送航煤, 航煤的硫含量约 1 200 mg/kg, 远高于车用柴油的国家标准。为了确保航煤与车用柴油的质量, 对首站进行改造(图 1), 采用低硫(小于 10 mg/kg)航煤作为隔离液, 实现了柴油/航煤混油两段切割, 接收端无需下载混油, 解决了混油处理的难题。

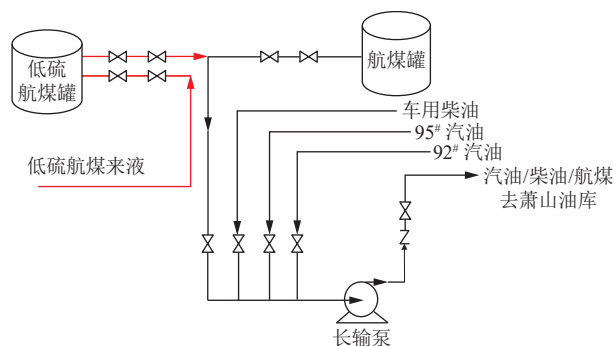


图 1 镇杭成品油管道首站增加隔离液工艺流程图

Fig. 1 Process flow diagram for adding isolation fluid at the first station of Zhenhai—Hangzhou Product Oil Pipeline

成品油管道增输甲醇时, “混油间”隔离液的选择是目前需解决的关键问题之一。对于汽油/甲醇批次而言, 较好的隔离液是乙醇。在隔离液的汽油端, 按照 GB 18351—2017《车用乙醇汽油(E10)》, 汽油中最高可以掺入 12% 的乙醇; 在甲醇端, 根据 GB 338—2011《工业用甲醇》, 甲醇中乙醇的含量指标为“供需双方协

商”, 混油处理具有灵活性, 有望实现对隔离液两段切割不下载混油。乙醇汽油的质量稳定性较差, 不宜长时间储存^[22]。在乙醇汽油推广地区, 乙醇与汽油的调和均是在油库的出口端实施, 随后送往加油站销售。因此, 从管道中接收的乙醇汽油应该单独储存并尽快出售。对于缺少汽油的管道, 如果无法保证在输送过程中以较高的流速运行(大于柴油与甲醇充分掺混的临界流速), 可以考虑在甲醇与柴油中间放置汽油作为隔离液。

采用隔离液技术对首站相当于增加了一种输送介质, 因此需要增加工艺设施(隔离液储罐、隔离液注入泵及流量控制装置等), 还应保障隔离液的来源^[23]。隔离液的选择需要考虑对前、后油品质量的影响、供货价格、隔离可靠性等因素, 因此, 并非各种油品均有合适的隔离液。此外, 也可考虑寻找更适合的甲醇与柴油的助溶剂以与固相隔离(如清管球)。

3 成品油管道增输甲醇的质量管理

国务院印发的《关于推动成品油流通高质量发展的意见》^[24]中明确规定“严肃查处油品质量不达标、非法调和成品油、将非标油品作为发动机燃料销售给成品油零售商或者发动机燃料使用方等行为”, 中国尚未正式推广使用甲醇汽油与甲醇柴油, 因此, 管输过程中不能将过多的甲醇混入汽油、柴油中^[25-26]。成品油管道增输甲醇质量管理的关键是油品批次界面监测与跟踪、混油段合理切割、混油处理等问题。

3.1 油品批次界面监测与跟踪

中国成品油管道沿线站场普遍安装了在线密度计与光学界面仪, 用于监测与跟踪批次界面。在线密度计适用于监测汽油/甲醇批次, 但由于汽油与甲醇的密度差小于汽油与柴油的密度差, 若单一使用在线密度计监测汽油/甲醇批次界面, 其精度会有一定程度下降。因此, 需结合智能在线批次界面跟踪技术, 以满足汽油/甲醇界面监测与跟踪的要求^[27]。对于甲醇/柴油批次界面, 由于甲醇与柴油密度相近, 在线密度计难于识别甲醇/柴油批次界面, 故应使用光学界面仪进行监测。但在应用前, 还需将通过实验获取的甲醇/柴油混油光学特征信息输入监测系统中。近些年还出现了近红外光谱在线监测系统的界面识别新技术^[28], 但该技术仍未成熟, 无法实现规模化应用。

3.2 混油段合理切割

混油段切割的首要目标是保证从管道下载的成品油品质符合国家标准或所在地方标准。混油段甲醇端的切割需要满足产品(或原料)的相关质量标准。先进的批次界面跟踪技术借助可靠的油品物性检测设施,能实现批次界面透明化跟踪,为混油段切割奠定了基础,具体表现在:实时显示各批次界面在管道中的位置;实时显示批次界面处混油段前中后油品浓度分布状态;准确预测批次界面与不同混油浓度点到达目标站场的时刻^[29]。

3.2.1 甲醇/汽油混油段

针对甲醇/汽油混油段的切割,一方面需要考虑汽油中所含甲醇含量对汽油质量的影响,另一方面需要考虑甲醇中汽油含量对甲醇质量的影响。

根据 GB 17930—2016《车用汽油》,汽油中甲醇含量(质量分数)不能超过 0.3%^[17]。结合接收站汽油储罐的容积、混油段中甲醇与汽油的浓度分布,推算混油段汽油端切割浓度点,在此基础上留有一定余量进行切割,即可保证下载汽油的质量。如果下载点地区允许使用 M15 甲醇汽油,则可以考虑混油段两段切割技术,不下载混油。

此外,因甲醇是沸程较窄的单一物质,根据 GB 338—2011《工业用甲醇》,甲醇优等品、一等品、合格品的沸程分别为 0.8℃、1.0℃、1.5℃,而车用燃料甲醇的沸程为 1.0℃。甲醇的沸点是 64.7℃,现行国家标准汽油的终馏点是 205℃,若在甲醇中掺入少量汽油就会改变甲醇的沸程。因此,可采用沸程作为汽油/甲醇混油段甲醇端切割质量控制指标,以确定合理的切割方式。

3.2.2 甲醇/柴油混油段

针对甲醇/柴油混油段的切割,一方面需要考虑柴油中甲醇含量对柴油质量的影响,另一方面需要考虑甲醇中柴油含量对甲醇质量的影响。

中国车用柴油标准中没有涉及甲醇的内容,但柴油中若混入甲醇会使柴油的闪点、黏度、润滑性及凝点等指标下降。其中,闪点是柴油的敏感性指标,推荐使用闪点作为混油段柴油端切割质量控制指标。需要注意的是,由于甲醇的闪点低于柴油,若互不相溶的甲醇与柴油在柴油接收罐中出现分层,则会引发因采用闪点为控制指标而导致的甲醇在柴油中掺混量过大的问题。

此外,因甲醇与柴油的沸点、沸程差异较汽油更

大,因此,也可以用沸程作为甲醇/柴油混油段甲醇端切割质量控制指标。由于柴油馏程对应的温度点远高于汽油,因此采用沸程为控制指标时甲醇中允许掺混的柴油量将少于汽油。

3.3 混油处理

成品油管道增输甲醇可能产生甲醇/汽油、甲醇/柴油、汽油/柴油共 3 种混油(如果有其他隔离液则会出现更多种的混合物)。汽油/柴油混油的处理方式与含甲醇混油的处理方式不同,含甲醇混油不宜与汽油/柴油混油同罐储存。甲醇/汽油混油与甲醇/柴油混油的分离工艺也不同,这两种混油也应分别储存。从保障油品质量、降低混油处理难度的角度考虑,甲醇/汽油、甲醇/柴油、汽油/柴油 3 种不同批次间的混油应该分别接收、分别储存^[30]。

3.4 甲醇质量

甲醇作为化工原料与燃料时,不同应用场景对其品质要求存在显著差异。根据 GB 338—2011,作为化工原料的甲醇通常要求高纯度;根据 GB/T 23510—2009,作为燃料的甲醇品质要求适当纯度即可。因此,在成品油管道顺序^[31]输送甲醇时,除了要除去混油外,还应关注其长距离输送时甲醇的质量衰减,包括长距离成品油管道的洁净度、站场工艺流程中的盲段等,故需要制定详细的操作规程与运行调运方法^[32]。

4 结论及建议

成品油管道增输甲醇能拓宽成品油管道的应用领域,为成品油管道输送开辟新局面。为实现甲醇在成品油管道中的输送,建议深入开展以下研究:

1) 甲醇与柴油的混油特性。甲醇与柴油的混油不溶合,在低流速或高差较大的情况下容易分层,其流动性与汽柴油的混油段不同。需深入了解甲醇/柴油混油段流动特性、混油扩散特性,以期成品油管道增输甲醇的运行管理提供依据。

2) 含水甲醇与汽柴油的批次界面混油特性。成品油管道在低洼处可能存在积水,积水溶入甲醇将破坏与汽油的互溶性,甲醇含水也将影响与柴油的混合特性。成品油管道增输甲醇需要研究甲醇含水对批次界面混油的影响规律。

3) 甲醇与汽柴油顺序输送混油计算模型。成品油管道是按照相邻互溶油品各占 50%,根据两种油

品的密度差、黏度差建立混油段计算模型。需要针对甲醇与汽油、柴油混合流动及混油扩散特性建立混油计算模型,特别是甲醇柴油混油、含隔离液或助溶剂混油的计算方法,据此开发界面跟踪、混油扩散预测软件,以期为成品油管道增输甲醇的运行管理提供技术保障。

4)保障管输甲醇质量的措施。成品油管道顺序输送甲醇时,需了解托运商对甲醇品质的要求。同时,需要对管道洁净度、站场工艺等进行分析,基于甲醇质量要求确定运行方案,对清管周期、输送介质批次安排、站内流程切换等进行详细分析,以确保管输甲醇质量满足要求。

参考文献:

- [1] 中汽协会行业信息部. 2024年11月新能源汽车产销情况简析[EB/OL]. (2024-12-26)[2025-02-10]. http://www.caam.org.cn/search/con_5236607.html.
Industry Information Department of China Association of Automobile Manufacturers (CAAM). Brief analysis of new energy vehicle production and sales in November 2024[EB/OL]. (2024-12-26)[2025-02-10]. http://www.caam.org.cn/search/con_5236607.html.
- [2] 梁永图, 廖绮, 邱睿, 涂仁福, 邵奇, 沈亮. 市场化改革背景下成品油管网运营关键技术及展望[J]. 油气储运, 2023, 42(9): 978–987, 1008. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2023.09.003.
LIANG Y T, LIAO Q, QIU R, TU R F, SHAO Q, SHEN L. Key operation technologies and prospects to product oil pipeline network under market-oriented reform[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2023, 42(9): 978–987, 1008.
- [3] 中国石化经济技术研究院市场营销研究所. 炼油与成品油市场跨越“拐点”[N]. 中国石化报, 2025-01-22(5).
Marketing Research Institute of Sinopec Economic & Development Research Institute (SEDRI). Crossing the “Inflection Point” in the refining and refined oil market[N]. China Petrochemical News, 2025-01-22(5).
- [4] 梁永图, 廖绮, 邱睿, 涂仁福, 邵奇, 沈亮. 市场化改革背景下成品油管网运营关键技术及展望[J]. 油气储运, 2023, 42(9): 978–987, 1008. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2023.09.003.
LIANG Y T, LIAO Q, QIU R, TU R F, SHAO Q, SHEN L. Key operation technologies and prospects to product oil pipeline network under market-oriented reform[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2023, 42(9): 978–987, 1008.
- [5] GALIMOVA T, FASIHI M, BOGDANOV D, LOPEZ G, BREYER C. Analysis of green e-methanol supply costs: Domestic production in Europe versus imports via pipeline and sea shipping[J]. Renewable Energy, 2025, 241: 122336. DOI: 10.1016/j.renene.2024.122336.
- [6] 陈朋超. “双碳”愿景下管网多介质灵活输运与智能化高效利用发展战略思考[J]. 油气储运, 2023, 42(7): 721–730. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2023.07.001.
CHEN P C. Strategic thinking on pipeline network development for flexible multi-media transport and intelligent efficient utilization under dual carbon vision[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2023, 42(7): 721–730.
- [7] 刘科. 甲醇是储氢最好的载体[J]. 中国石油和化工产业观察, 2021(12): 31–32.
LIU K. Methanol is the best carrier for hydrogen storage[J]. China Petroleum and Chemical Industry Observer, 2021(12): 31–32.
- [8] 薛金召, 杨荣, 肖雪洋, 马亚斌, 汪希领, 廖有贵. 中国甲醇产业链现状分析及发展趋势[J]. 现代化工, 2016, 36(9): 1–7. DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2016.09.001.
- XUE J Z, YANG R, XIAO X Y, MA Y B, WANG X L, LIAO Y G. Utilization status and prospect of methanol industrial chain in China[J]. Modern Chemical Industry, 2016, 36(9): 1–7.
- [9] 唐治钊, 王君山, 黄星亮. DMC-甲醇汽油互溶性影响因素的研究[J]. 天然气化工(C1化学与化工), 2013, 38(4): 52–54, 59. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9219.2013.04.015.
TANG Z F, WANG J S, HUANG X L. Study on influence factors of miscibility of DMC-methanol-gasoline blends[J]. Natural Gas Chemical Industry, 2013, 38(4): 52–54, 59.
- [10] 赵赏鑫, 庞贵良, 邱姝娟, 黄鑫, 滕霖. 甲醇-成品油混合体系相溶性规律实验[J]. 油气储运, 2024, 43(11): 1239–1248. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2024.11.005.
ZHAO S X, PANG G L, QIU S J, HUANG X, TENG L. Experimental research on the miscibility law of methanol-product oil blending systems[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2024, 43(11): 1239–1248.
- [11] 杨蔚权, 许世海, 钱亚宁, 邱金华. 甲醇与柴油互溶性研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2006, 8(3): 18–20. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1980.2006.03.006.
YANG W Q, XU S H, QIAN Y N, QIU J H. The study on dissolvability of methanol with diesel oil[J]. Journal of Chongqing

- University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2006, 8(3): 18–20.
- [12] 中华人民共和国应急管理部, 中华人民共和国工业和信息化部, 中华人民共和国公安部, 中华人民共和国交通运输部. 应急管理部 工业和信息化部 公安部 交通运输部公告(2020 年 第 3 号): 特别管控危险化学品目录(第一版)[EB/OL]. (2020–06–12)[2025-04-29]. https://www.mem.gov.cn/gk/tzgg/yjbagg/202006/t20200612_353782.shtml.
Ministry of Emergency Management of the People's Republic of China, Ministry of Industry and Information Technology, The Ministry of Public Security of the People's Republic of China, Ministry of Transport of the People's Republic of China. Announcement of the Ministry of Emergency Management, Ministry of Industry and Information Technology, Ministry of Public Security, Ministry of Transport (No. 3 of 2020): catalogue of specially controlled hazardous chemicals (first edition)[EB/OL]. (2020–06–12)[2025-04-29]https://www.mem.gov.cn/gk/tzgg/yjbagg/202006/t20200612_353782.shtml.
- [13] 鲁彪. 浅述我国甲醇汽油的应用发展[J]. 四川化工, 2012, 15(5): 19–21. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4887.2012.05.011.
LU B. Overview of application development of methanol gasoline[J]. Sichuan Chemical Industry, 2012, 15(5): 19–21.
- [14] 范例, 席海华, 司利增. 车用甲醇燃料的资源可行性与经济效益分析[J]. 公路与汽运, 2010(5): 18–22. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2668.2010.05.006.
FAN L, XI H H, SI L Z. Analysis of resource feasibility and economic benefits of methanol fuel for vehicles[J]. Highways & Automotive Applications, 2010(5): 18–22.
- [15] 沈燕华. 国外甲醇汽油的发展与启示[J]. 中外能源, 2010, 15(12): 23–28.
SHEN Y H. Methanol gasoline development in foreign countries and enlightenment to China[J]. Sino-Global Energy, 2010, 15(12): 23–28.
- [16] 佚名. 《中华人民共和国道路交通安全法》(中华人民共和国主席令, 第八十一号, 2021 年 4 月 29 日)[Z/OL]. (2021-04-29)[2024-07-20]. <http://www.npc.gov.cn/englishnpc/Law/Frameset-index.html>.
Anon. Standing Committee of the National People's Congress (SCNPC). Road traffic safety law of the People's Republic of China (Presidential order No. 81)[Z/OL]. (2021-04-29)[2024-07-20]. <http://www.npc.gov.cn/englishnpc/Law/Frameset-index.html>.
- [17] 刘翠伟, 艾丽纳, 杜长慧, 聂超飞, 杨文, 裴业斌, 等. 甲醇/柴油顺序输送混油规律模拟[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2025, 49(2): 205–213. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5005.2025.02.020.
LIU C W, AI L N, DU C H, NIE C F, YANG W, PEI Y B, et al. Simulation of mixed oil law of methanol/diesel in sequential transportation[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2025, 49(2): 205–213.
- [18] CHEN L, YUAN Z Y, XU J X, GAO J Y, ZHANG Y H, LIU G. A novel predictive model of mixed oil length of products pipeline driven by traditional model and data[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2021, 205: 108787. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.108787.
- [19] 徐燕萍, 范华军. 长输成品油管道顺序输送混油量的控制[J]. 管道技术与设备, 2010(1): 55–56, 59. DOI: 10.3969/j.issn.1004-9614.2010.01.019.
XU Y P, FAN H J. Study of controlling contamination quantity for long-distance products pipeline[J]. Pipeline Technique and Equipment, 2010(1): 55–56, 59.
- [20] 张楠, 宫敬, 闵希华, 高发连, 陈树东, 李晓平. 大落差对西部成品油管道投产的影响[J]. 油气储运, 2008, 27(1): 5–8. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2008.01.002.
ZHANG N, GONG J, MIN X H, GAO F L, CHEN S D, LI X P. The influence of elevation on the commissioning of China west products pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2008, 27(1): 5–8.
- [21] 杨芳芳, 谭永忠, 郑小彦. 镇杭管道顺序输送中混油的创新处理[J]. 油气储运, 2018, 37(11): 1243–1247. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2018.11.008.
YANG F F, TAN Y Z, ZHENG X Y. Innovative treatment of contaminated aviation kerosene during batch transportation of Zhenhai–Hangzhou Products Pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2018, 37(11): 1243–1247.
- [22] 刘超, 邹贵祥, 乔航. 乙醇汽油的特性及运用情况分析[J]. 现代盐化工, 2024, 51(3): 28–30. DOI: 10.19465/j.cnki.2095-9710.2024.03.041.
LIU C, ZOU G X, QIAO H. Analysis of characteristics and application status of ethanol gasoline[J]. Modern Salt and Chemical Industry, 2024, 51(3): 28–30.
- [23] 杨筱衡, 张国忠. 输油管道设计与运营[M]. 第 2 版. 东营: 中国石油大学出版社, 2006: 269–289.

- YANG X H, ZHANG G Z. Design and management of oil transmission pipeline[M]. 2nd ed. Dongying: China University of Petroleum Press, 2006: 269–289.
- [24] 中华人民共和国国务院办公厅. 国务院办公厅印发关于推动成品油流通高质量发展的意见[EB/OL]. (2025-02-05) [2025-03-05]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202502/content_7002343.htm.
- General Office of the State Council (GOSC). The General Office of the State Council issues opinions on promoting high-quality development of refined oil circulation[EB/OL]. (2025-02-05) [2025-03-05]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202502/content_7002343.htm.
- [25] 张娟利, 黄勇, 张新庄, 王仙仙, 杨天华. 低比例甲醇汽油对金属的腐蚀研究[J]. 表面技术, 2016, 45(8): 34–39. DOI: [10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2016.08.006](https://doi.org/10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2016.08.006).
- ZHANG J L, HUANG Y, ZHANG X Z, WANG C C, YANG T H. Research on corrosion of metals by low proportion methanol gasoline[J]. Surface Technology, 2016, 45(8): 34–39.
- [26] FARINA C, GRASSINI U. Stress corrosion cracking of carbon steel in methanol[J]. International Journal of the Italian Association for Metallurgy, 2022(2): 74–79.
- [27] 郭伟, 于达, 宋进舟, 沈亮, 于阳, 吕政, 等. 国家管网体制下成品油管道批次界面跟踪技术[J]. 油气储运, 2023, 42(6): 601–611. DOI: [10.6047/j.issn.1000-8241.2023.06.001](https://doi.org/10.6047/j.issn.1000-8241.2023.06.001).
- GUO Y, YU D, SONG J Z, SHEN L, YU Y, LYU Z, et al. Products pipeline batch interface tracking technology under PipeChina system[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2023, 42(6): 601–611.
- [28] 周围. 油水两相管流动态含油率红外光谱定量检测及分析方法研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2022.
- ZHOU W. Study on quantitative detection and analysis method of dynamic oil content in oil-water two-phase pipe flow by infrared spectrum[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2022.
- [29] 黄维和, 刘刚, 陈雷, 杨文, 袁子云. 中国成品油管道顺序输送混油研究现状与展望[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2023, 47(5): 122–129. DOI: [10.3969/j.issn.1673-5005.2023.05.012](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5005.2023.05.012).
- HUANG W H, LIU G, CHEN L, YANG W, YUAN Z Y. Current status and prospect of studies on mixed oils in batch transportation of multi-product pipelines in China[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2023, 47(5): 122–129.
- [30] BECHTOLD R L, GOODMAN M B, TIMBARIO T A. Use of methanol as a transportation fuel[EB/OL]. [2024-07-20]. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2016/06/Methanol-Use-in-Transportation.pdf>.
- [31] YUAN Z, CHEN L, LIU G, SHAO W, ZHANG Y, MA Y. Physics-informed student's t mixture regression model applied to predict mixed oil length[J]. Journal of Pipeline Science and Engineering, 2023, 3(1): 100105. DOI: [10.1016/j.jpse.2022.100105](https://doi.org/10.1016/j.jpse.2022.100105).
- [32] 沈亮, 倪玮隆, 许玉磊, 梁永图, 郭晓磊. 市场化运营模式下成品油管道输送能力分配[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2025, 40(1): 90–98. DOI: [10.3969/j.issn.1673-064X.2025.01.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-064X.2025.01.011).
- SHEN L, NI W L, XU Y L, LIANG Y T, GUO X L. Allocation of refined oil pipeline transmission capacity under market-oriented mode[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2025, 40(1): 90–98.
- (编辑: 张雪琴)
-
- 基金项目:**国家自然科学基金青年基金资助项目“基于状态空间模型的天然气管网瞬态优化控制研究”, 51504271; 北京市自然科学基金面上项目“深水油气混输管道中赋存蜡的水合物颗粒黏聚/黏附作用机制研究”, 3232030.
- 作者简介:**赵赏鑫, 男, 1979年生, 教授级高工, 2006年博士毕业于中国石油大学(北京)机械设计与理论专业, 现主要从事油气管道科技工作。地址: 北京市朝阳区东土城路5号城科大厦, 100013。电话: 13522867993。Email: zhaosx@pipechina.com.cn
- 通信作者:**邱姝娟, 女, 1976年生, 高级工程师, 2000年硕士毕业于西南石油大学油气储运工程专业, 现主要从事油气管道、新能源管道输送专业方向的研究工作。地址: 新疆乌鲁木齐市高新区(新市区)喀什东路街道四平路2288号创新广场F座907室, 830011。电话: 15981790006。Email: qiusj@pipechina.com.cn
- Received: 2025-02-26
 - Revised: 2025-05-26
 - Online: 2025-06-04

