

文章编号: 1673 - 9620 (2008) 01 - 0040 - 04

基于 PHOENICS 的原油顺序输送管道混油数值模拟^{*}

朱 莹, 王树立, 史小军

(江苏工业学院 江苏省油气储运技术重点实验室, 江苏 常州 213016)

摘要: 建立了原油顺序输送混油模型, 利用 PHOENICS 软件进行了数值模拟, 并得出了混油浓度变化图象和曲线。表明在原油管道顺序输送过程中粘度差的影响, 给出了不同管道倾角条件下浓度场的分布; 同时也验证了停输时, 密度大的油品在管道下方所形成混油段长度无明显增大现象且小于油品以相反的方向输送时所形成的混油段长度。研究结果对于减少停输工况下的混油与停输再启动混油界面的跟踪与切割具有理论指导意义。

关键词: 原油顺序输送; 混油; 管道倾角; 停输; 数值模拟

中图分类号: TE 832.3

文献标识码: A

PHOENICS - Based Numerical Study for Contamination in Batch Pipeline of Crude Oil

ZHU Ying, WANG Shu - li, SHI Xiao - jun

(Jiangsu Key Laboratory of Oil and Gas Storage and Transportation Technology, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: The contamination model for batch transportation of crude oil was established. Numerical Simulation for the concentration distribution of contamination in Batch Pipeline has been investigated with the help of PHOENICS. The result is given by curves and pictures. The computation results showed the effect of viscosity difference in crude pipeline. The theory that crude oil with smaller density is in bottom of pipe forming the length of contamination is not obvious and shorter than contrary direction at shut - down was also testified. The study has the theoretical guidance significance to reducing contamination at shut - down and tracking and incising contamination interface on breaking down and restart of pipeline.

Key words: batch transportation of crude; contamination; pipeline inclination angle; shut - down; numerical simulation

随着经济发展对液体燃料需求的快速增长, 2020 年我国石油消费量将增至 5 亿吨左右。但是据相关报道, 按照目前石油探明储量和各大油田生产能力估算, 今后国内原油产量增长有限, 每年约为 1.8 亿吨 ~ 2.0 亿吨, 也就是说每年还需进口 3

亿吨左右的油品。在“十五”以来我国所进口的油品中, 原油一直占 3/4 以上, 目前所占比例高达 87.2 %^[1]。

当前我国原油进口渠道单一, 80 % 以上的进口原油需要从海上运输, 原油上岸后大多利用输油管

^{*} 收稿日期: 2007 - 09 - 18

基金项目: 中国石化股份公司资助项目 (X504007)

作者简介: 朱莹 (1983 -), 女, 江苏镇江人, 硕士生。

道(如甬沪宁管道)运往各个炼化企业。顺序输送管道中油品交替时,在接触面处将产生一段混油。混油量与输送油品的密度、粘度等物性参数有关,尤其是管线处于地势起伏,高差较大的情况下,这种影响更加明显,通常密度大的油品处于斜坡的上方及粘度小的油品后行时混油量将有显著增加^[2]。另外如果油品输送过程中,出现临时停输现象(多为事故性停输)的话,这给正常切换油源带来极大的麻烦,对混油也会产生影响,而且不同的停输工况下,这种影响也是不尽相同的。应用 PHOENICS 3.6 软件模拟进口原油顺序输送管道的混油特性,并对不同倾角和停输工况下的管道进行了模拟分析,得出的结论对采取有效措施,减少混油发生具有理论指导意义。

1 顺序输送混油数学模型

在顺序输送管道中为了减少混油长度,应使管道在紊流流态下运行,本文采用紊流 $K-\epsilon$ 双方程模型模拟顺序输送原油管道中混油浓度的变化。由于两相油品之间的密度差是混油形成的重要因素,在动量方程中引入了重力项以模拟重力的影响。因此在不考虑热量传递的情况下,描述顺序输送内管内油品流动的方程有连续性方程、动量方程、组分方程和紊流流动的 $K-\epsilon$ 双方程,其经验常数的取值见文献[3]。

2 数值求解

PHOENICS 3.6 软件采用有限体积法对控制方程进行离散化^[3],将描写流动过程的偏微分方程转化成为各个节点上的代数方程组。在压力与速度耦合关系的处理上采用了 SIMPL EST 算法。

2.1 边界条件的设置

管壁内表面:在管道内壁面上,对速度、压力使用无滑移边界条件,对 K 、 ϵ 设为零。入口:入口速度均匀分布且垂直于入口截面。通过设置不同的时间内起作用的两个入口,实现模拟顺序输送两种油品。前一个入口输送第一种油品,油品浓度为 0。当交替输送第二种油品时,第一个入口将关闭,同时第二个入口开始输送第二种油品,油品浓度为 1。出口:规定为自由出口,物理量的条件可按坐标局部单向化方式处理,既不规定任何边界条件。近壁区域:在壁面附近的网格点上,平行于壁面的速度和紊流动能(K , ϵ)由对数函

数确定。

2.2 混油物性参数的设置

如果物性是常数可以直接在前处理界面中进行设置。由于混油段的物性参数是随混油各组份比例的不同而变化的,要在 PHOENICS 3.6 专用的 plant 或 inform 模块中设置。

2.2.1 密度设置

混油段截面密度变化遵循简单的比例相加规律^[4],即混油段密度为每种油品体积分数与其密度乘积之和:

$$\rho_m = C_B \rho_B + (1 - C_B) \rho_A$$

式中: ρ_A 、 ρ_B 、 ρ_m 分别为 A 油品、B 油品和混油的密度 (kg/m^3), C_B 为 B 油品的体积分数。

2.2.2 粘度设置

混油粘度按文献[4]提出公式计算:

$$\mu_m = a_B C_B \mu_B + a_A (1 - C_B) \mu_A$$

式中: μ_A 、 μ_B 、 μ_m 分别为 A 油品、B 油品和混油的运动粘度 (m^2/s), a_A 、 a_B 为待定因数。

3 算例及结果分析

2005 年我国主要从沙特、俄罗斯、伊朗、安哥拉、阿曼和科威特等国进口原油合计 8 000 多万吨,占当年原油进口总量的 6 成以上,下面就阿曼和科威特原油为例模拟顺序输送混油规律。

管道内径为 508 mm,油温为 20℃,阿曼原油前行,科威特原油后行。原油物性参数见文献[5],油品平均流速为 1 m/s。

3.1 管道倾角对混油段的影响

图 1 反映了顺序输送的两种原油在不同倾角 ($\pm 20^\circ$, 0° , $\pm 90^\circ$) 管道内运动 20 s (混油界面运动 15 s) 时的浓度曲线变化规律。可见重力场导致的管内浓度分布不对称还是很明显的。当然必须注意,该图仅仅是混油界面刚开始产生,倾角和原油密度差导致两油品间激烈的流态扰动,随着混油界面的前移,油品间分子扩散和湍流传质将使得倾角等对浓度分布的影响减小。

图 2 是顺序输送的两种原油垂直上行和下行运动 40 s (混油界面运动 35 s) 时混油浓度场分布图。从图 2 (A) 和 2 (B) 中可以看出, (A) 比 (B) 截面浓度分布均匀,这是由于混油区内紊流脉动与油流的组份分布相互影响。前行的是科威特原油时,其密度较大,受到的质量力也较大,而层

流底层速度较小,对前行原油质量力的抑制作用较小,再由于流体与管壁之间有附着力作用,前行原油就会在壁面留下液膜。因此图 2 (B) 中的液膜是粘度、截面速度分布不均、密度差等几方面共同作用的结果。另外图 2 (B) 中前行原油留有混油尾,是因为两种原油顺序输送时,后行原油进入前行油品中去,在此过程中管内表面会留有前行原油的液膜,此液膜将随混油流动被冲走;在相同输送条件下,粘度小的原油在管

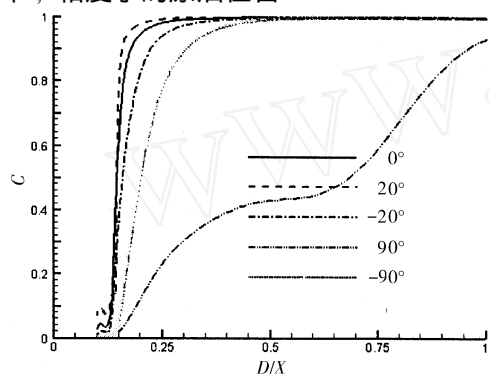


图 1 不同管道倾角下原油浓度分布曲线

Fig 1 Contamination concentration curves of crude oil with different inclination angle

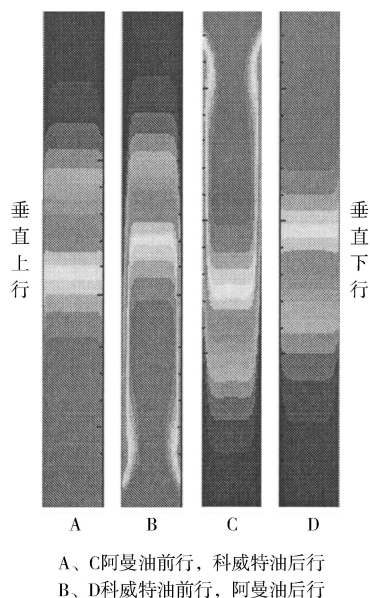


图 2 原油垂直输送混油浓度场

Fig 2 Contamination concentration distribution for vertical transfering of crude oil

壁上附着的油层较薄;当前行原油密度较大时,由于层流底层脉动强度小,所以此时原油所受质量力在层流底层所起作用也比较明显,减弱了后行油品对前行原油壁面液膜的冲刷。而阿曼原油前行时(图 2 (A)),可以认为在层流层的混油浓度和核心层浓度相同,形成的液膜瞬间被冲掉。垂直向下输

送时,混油情况如图 2 (C) 和 2 (D) 所示。

科威特原油前行,此时粘度对边界层的影响同上述。对比图 2 (D) 和 2 (B),可以发现上行时有较长的混油尾,密度在层流边界层的影响大于粘度的影响。这是因为垂直顺序输送原油时,油品所受重力影响是最大的,下行时,若密度大的油品处于地势高处,则密度大的后行油品重力势能较大,很容易进入前行油品中去,混油界面也会全体前移,如图 2 (C) 所示。

3.2 停输后不同倾角对混油段的影响

原油顺序输送过程中,临时停输现象时常发生,停输工况不同,对混油的影响也不相同。突然停输时,管内原油重力场引起的自然对流和原油分子间相互扩散作用成为原油浓度分布扰动的主要因素行分析。

在上述管道中,混油界面运动 5 s 后停输,在不同管道倾角和停输时间下的浓度分布如图 3 ~ 图 5。可以看出,管道倾角不同,重力场引起的流态变化和强度相差很大。在上坡管内如图 3 和图 5 (上行),可以看出,较重的原油处在重力势能较低的位置。此时自然对流引起的管内液 - 液传质相对较弱,且随着时间的延长,此现象消失,而只是单纯的两原油交界面处的分子扩散,浓度分布将出现明显的分层。在下坡管内如图 4 和图 5 (下行),密度大的

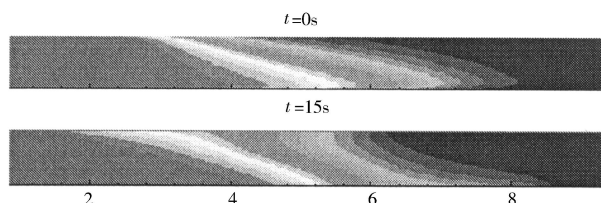


图 3 倾角 - 20° 时不同停输时间原油浓度分布

Fig 3 Concentration distribution of crude oil at inclination angle of - 20° at different shutdown time

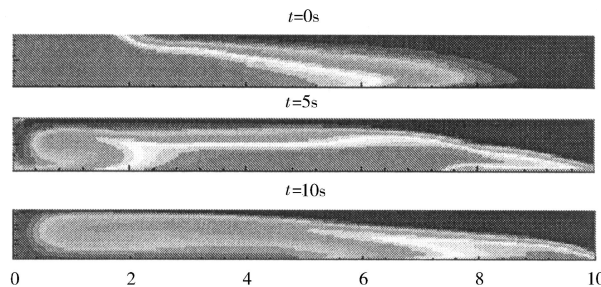


图 4 倾角 20° 时不同停输时间原油浓度分布

Fig 4 Concentration distribution of crude oil at inclination angle of 20° at different shutdown time

后行原油处在重力势能较大的位置, 在重力的作用下, 后行原油往前行原油中嵌入, 导致激烈的管内传质。因此, 管内较重油在上, 轻油在下, 自然对流引起管内液-液间传质, 且随时间的延续, 传质过程一直延续。

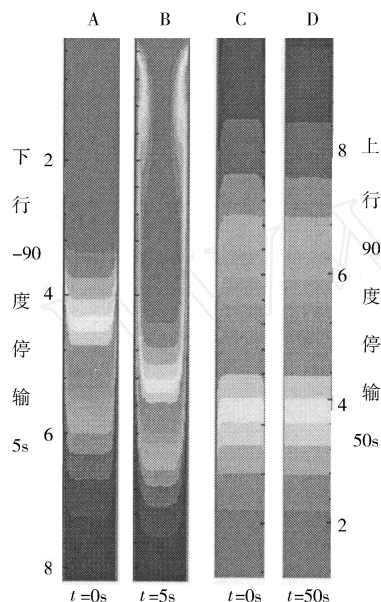


图5 竖直输送不同停输时间浓度分布

Fig 5 Contamination concentration distribution for vertical transferring after different shutdown time

图5是垂直顺序输送上述两种原油10s后, 停输50s的工况下的浓度分布图。可以看出, 当初始混油界面前进大约5m时($t=10s$), 原油开始停输, 紊流脉动将会明显降低直至消失, 此时所形成的混油主要是由于密度差的存在。停输前, 由于强烈的紊流脉动能使混油浓度沿截面均匀地分布, 消除了重力场中液体分层作用, 使较重的液体不会流至较轻液体下边。而当停输时, 密度差将会产生较重的液体层流到较轻液层之下的渗流。当密度小的原油在管道上方时(如图5上行), 可以发现无明显的混油头和层流底层且截面上浓度分布均匀现象。而从图5(下行)中则可以发现层流边界层的前行原油液膜长度逐渐变长。由于分子的扩散作用, 也使得混油尾向管道截面中心扩散。而当前行的是阿曼原油, 上行时停输发生, 重力势能反

而抑制了后行原油对前行原油的渗流作用(如图5上行)。所以轻油前行重油后行, 管道上坡时, 混油量反而无明显增加现象; 当输送次序相反, 停输发生时, 停输使混油量增大。

对于垂直下坡管道停输工况, 密度小的原油在管道上方, 混油区范围较小且混油头很快消失, 截面浓度均匀; 而如图5(下行)所示密度大的原油在上方时, 混油区范围较大。

4 结 论

建立原油顺序输送混油数学模型, 利用PHOENICS软件进行数值求解, 可以方便的得出不同倾角工况下顺序输送的浓度场分布和浓度曲线。混油尾的形成是许多因素共同作用的结果, 并不仅仅是粘度差的影响。在落差较大的管道中进行顺序输送, 密度差对层流边界层的影响会表现的比较明显且大于粘度差的影响。在停输情况下, 重力场对管内原油间的传质影响较大, 指出密度大的原油在重力势能较高位置处, 产生自然对流现象, 重力场对原油间传质影响较大且随时间的延长持续下去。对于密度大的原油在重力势能较低的位置处, 随着时间的延长, 原油间的自然对流传质逐渐被抑制, 两原油交界面处的分子扩散将起主导作用, 且产生明显的分层。

参考文献:

- [1] 杨上明. 我国石油来源和运输多元化格局初步形成 [J]. 中国石化, 2006, (8): 12-13.
- [2] 韩淑华, 冬青译. 不同因素对混油形成的影响 [J]. 国外油气储运, 1995, 13 (4): 1-3.
- [3] 陶文铨. 数值传热学 [M]. 第2版. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.
- [4] 蒋仕章, 蒲家宁. 管道顺序输送混油黏度的计算与分析 [J]. 管道技术与设备, 2003, 3 (2): 3-4.
- [5] 吕稳高, 冯先强. 浅谈原油顺序输送过程中混油量的计算 [J]. 天然气与石油, 2007, 25 (1): 11-13.
- [6] 刘强, 王树立, 李恩田, 等. 重力场对管内液-液传质影响的数值模拟 [J]. 化学工程, 2007, 35 (5): 9-12.