

引用格式:王志强,王岳. 弯管内成品油顺序输送混油数值计算[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2019,46(1):29-36.
WANG ZhiQiang, WANG Yue. Numerical calculation for mixed oil in batch transportation at an elbow[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2019,46(1):29-36.

弯管内成品油顺序输送混油数值计算

王志强 王岳*

(辽宁石油化工大学 石油天然气工程学院,抚顺 113001)

摘要:为了研究弯管对成品油顺序输送混油量的影响,采用 volume of fluid (VOF) 多相流模型,通过改变水平弯管的弯曲角度、曲率半径与竖直双弯管油品的输送顺序、方向及速度等因素,对水平弯管和竖直双弯管两种状态下成品油顺序输送进行三维数值模拟。结果表明:成品油在不同弯曲角度水平弯管中顺序输送时,随弯管弯曲角度增大,弯管处流场变化对混油段干扰加剧,混油量加大;在不同曲率半径水平弯管中输送时,随着弯管曲率半径增大,混油“双前锋”效应减弱,顺序输送过程中的混油段也相应缩短;成品油在竖直双弯管中顺序输送时,对于油品上行,汽油前行比柴油前行产生的混油量少,对于油品下行,相同输送顺序下结果则正好相反;当油品上行、汽油前行时,增大油品输送速度,紊流径向脉动加剧,油品间轴向扩散减小,混油段明显变短。

关键词:弯管;成品油;顺序输送;混油;数值模拟

中图分类号: TE832 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2019.01.005

引言

在多种油品于管道里顺序运送的过程中,切换油品会导致不同油品相遇,在分子扩散和湍流运动作用下产生一部分混油^[1-6]。对于地形复杂的成品油输送管道,难免会遇到障碍物或大落差地段等情况,因此需要通过弯管来实现管道转向及爬坡功能。与单独直管段相比,弯管中混油的变化情况复杂得多。在弯管内混油变化方面,吴玉国等^[7]分析了竖直弯管内的混油特性,得出竖直弯管内混油特性的主要影响因素为重力作用方向与管道轴向的角度及流速分布变化;杜明俊等^[8]通过对冷热原油顺序途经90°弯头、10 m落差的管输过程进行数值模拟,分析了不同输送顺序、流速、油温对混油浓度的影响;乔伟彪等^[9]通过对成品油流经向上U型管和向下U型管两种情况进行数值计算,分析了不同输送顺序和水力瞬变对混油质量分数的影响;赵海

燕^[10]就90°弯管对顺序输送混油的影响进行数值模拟,得出混油段经过弯管后有所增加的主要原因是弯管处涡流使高流速区向左侧管壁偏移;徐金萌等^[11]对成品油由上至下和由下至上流经Z型管时的混油变化进行了数值计算,得出两种情况下汽油前行时截面体积分数的分布总比柴油前行时均匀;方利民等^[12]针对90°圆角和圆弧弯头结构对混油量的影响进行模拟计算,得出半圆弧弯管结构比90°圆角弯管对混油的影响更小。然而,以上研究大多是针对混油在单一弯管处的发展情况。本文采用 volume of fluid (VOF) 多相流模型对成品油顺序输送混油在弯管内的发展变化情况进行模拟计算,针对水平弯管不同的弯曲角度、曲率半径与竖直双弯管油品不同的输送顺序、方向及速度等因素对顺序输送混油量的影响情况进行对比研究,并分析了不同的弯管结构及工况下的混油机理,以期对成品油顺序输送管道设计和弯管处混油机理的研究提供理论指导。

1 模型的建立

1.1 物理模型

以90#汽油与0#柴油两种介质作为成品油顺序输送的研究对象,表1为两种介质的基本物理性质。

收稿日期:2017-11-14

基金项目:辽宁省科技厅计划项目(20131088)

第一作者:男,1991年生,硕士生

*通信联系人

E-mail: wangyuefs@126.com

表 1 成品油的物理性质

Table 1 Physical properties of refined oil

介质	密度(20℃)/(kg·m ⁻³)	黏度(20℃)/(Pa·s)
90#汽油	738	4.5756×10^{-4}
0#柴油	850	4.25×10^{-3}

实际运行中的成品油管道通常需要诸多弯头或弯管结构来实现油品转向,且流向各异。针对水平弯管和竖直双弯管两种状态进行成品油顺序输送三维数值模拟,分析对比水平弯管不同弯曲角度、曲率半径与竖直双弯管油品不同输送顺序、方向及速度等各因素对顺序输送混油量的影响。

1.2 数学模型

假设不考虑沿线的温度变化,即不开启能量方程。为了减少顺序输送管道中因混油所造成的损失,应使油品在紊流的状态下输送^[13-14]。采用 $k-\varepsilon$ 双方程^[15]湍流模型模拟管道顺序输送过程的混油特性,此模型对较小压力梯度的自由剪切流具有较好的模拟效果^[16]。为了使模拟更接近真实情况,在壁面附近使用壁面衰减函数和加密的网格分布。

湍流脉动动能方程(k 方程)为

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M \quad (1)$$

湍流动能耗散方程(ε 方程)为

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + \frac{C_{1\varepsilon} \varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

式中, G_k, G_b 分别为平均速度梯度和浮力引起的湍动能 k 的产生项; Y_M 为可压缩湍流中脉动扩张贡献; μ_t 为湍流黏度, Pa·s; u_i, u_j 为时均速度, m/s; k 为湍流动能, J; ε 为湍流耗散率, %; ρ 为流体密度, kg/m³; σ_k 和 σ_ε 分别为 k 方程和 ε 方程的湍流 Prandtl 数; $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_{3\varepsilon} = 1$, $C_\mu = 0.09$ 为经验常数。

连续性方程为

$$\frac{\partial \alpha_q}{\partial t} + v_q \nabla \alpha_q = \frac{S_{\alpha_q}}{\rho_q} + \frac{1}{\rho_q} \sum_{p=1}^n (m_{pq} - m_{qp}) \quad (4)$$

式中, α_q 为第 q 相流体的体积分数; v_q 为第 q 相流

体的速度, m/s; S_{α_q} 为第 q 相流体的含量; ρ_q 为第 q 相流体的密度, kg/m³; m_{pq} 为 p 相到 q 相的质量变化, m_{qp} 为 q 相到 p 相的质量变化。

动量方程为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{v}) + \nabla(\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = -\nabla p + \nabla[\mu(\nabla \mathbf{v} + \nabla \mathbf{v}^T)] + \mathbf{F} \quad (5)$$

式中: \mathbf{v} 为共享速度矢量; p 为液体内应力张量, Pa; μ 为两相流体的混合黏度, Pa·s; \mathbf{F} 为力的总和, N。

1.3 几何模型的确立及网格划分

图 1 和图 2 分别为水平弯管与竖直双弯管的几何模型及网格划分图,其尺寸大小如图所示。图 1 中 α 为水平弯管弯曲角度,分别为 30°、60°和 90°, b 为曲率半径,分别为 D 、 $3D$ 和 $5D$ ($D=0.5$ m)。图 2 中竖直双弯管弯曲角度 45°,曲率半径 0.5 m。由于弯管结构特殊,利用四面体网格划分方式可以对模型进行快速划分并对弯管的壁面进行网格加密,而且采用四面体网格有利于控制模型整体网格数目。经网格无关性检验得知,当网格数达到 13 万个时计算结果误差相对较小。

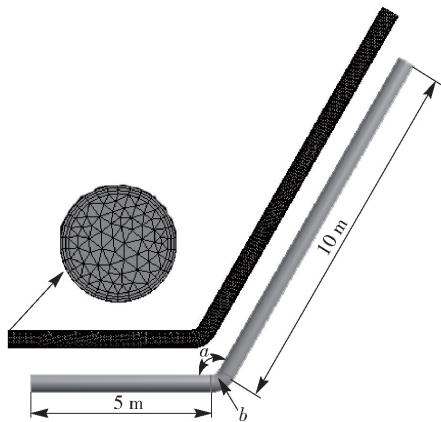


图 1 水平弯管几何模型及网格划分

Fig. 1 Geometric model and grid division of horizontal bend

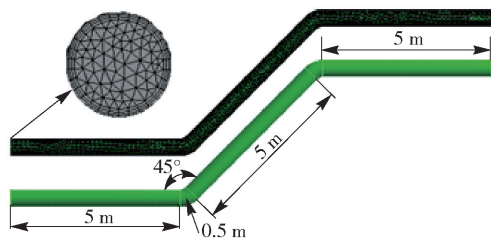


图 2 竖直双弯管几何模型及网格划分

Fig. 2 Geometric model and mesh division of the vertical double bend

1.4 模拟设置

针对 90°汽油与 0#柴油交替输送场景,采用多相流 VOF 模型进行计算。为了使模拟达到良好的效果,在开始时进行稳态计算,同时将入口处第二相体积分数设为 0;当计算达到收敛后改为瞬态计算,并且将之后输送介质的体积分数改为 1,实现油品顺序输送。设置进口边界条件为速度入口,速度垂直进口截面且在其上平均分布;设置出口边界条件为自由出流,物理量条件按坐标局部单向化处理,不规定任何边界条件。

2 模拟结果与分析

2.1 水平弯管顺序输送混油模拟

2.1.1 弯管不同弯曲角度对顺序输送混油的影响

以曲率半径 0.5 m,弯曲角度分别为 30°、60°和 90°的水平弯管为例,按入口速度 1 m/s(不考虑重力)、汽油前行柴油后行进行模拟计算,得出水平弯管的速度分布图、油品体积分数分布图如图 3、4 所示。

图 3 为 6 s 时不同弯曲角度水平弯管的速度分布云图。从图 3(a)、(b)、(c) 可以看出,入口直管段部分流速分布呈现出中间高、两侧低的规律,且流速分布较为对称,但在弯管处流速分布出现显著变化,形成了流速较高的涡流区;弯管处内侧流速高于外侧,在内侧形成高速低压区,而在外侧形成低速高压区。对比图 3 (a)、(b)、(c) 可知,随着弯管弯曲角度的增大,弯管内侧区域的流速逐渐增大,同时内外侧的高低压区域也相应增大,弯管处的速度分布情况变得更加复杂。经过弯管后,由于流体的惯性使得内侧涡流脱离内壁而形成外高内低的流场分布,且与较小弯曲角度的弯管相比,在出口直管段大弯曲角度的弯管高流速区域分布更加小而尖。

图 4 为水平弯管在不同弯曲角度下不同时刻的混油分布云图。从图 4 可知,混油段在入口直管段运行时,任意截面上管中心区域混油浓度分布比较均匀,但管壁附近体积分数梯度较大,表明此阶段的混油是管道截面流速分布不均匀导致的对流扩散和紊流扩散共同作用的结果。混油段经过弯管后,混油前锋出现向右侧管壁偏移的趋势,且混油前锋由原来的“单峰”逐渐形成了 $t = 7\text{ s}$ 时的混油“双前锋”,随着油品继续前行,混油前锋又向“单峰”过渡。这是因为弯管内侧高速流体由于惯性脱离管壁

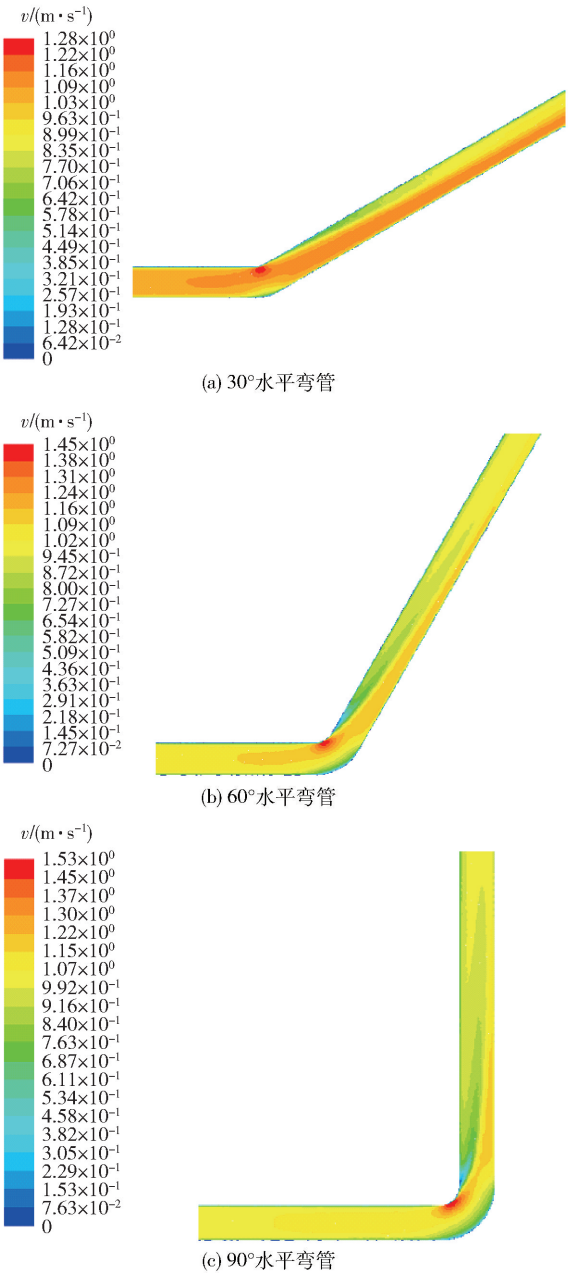


图 3 6 s 时水平弯管不同弯曲角度下的速度分布云图
Fig. 3 Velocity distribution of horizontal bends for different bending angles after 6 s

沿切线方向流向出口直管段右侧管壁,导致高流速区向右侧管壁偏移;同时外侧低速流体受到弯管向心力的作用而流向出口直管段左侧管壁,从而形成了右前左后的“双峰”混油界面;油品继续前行,由于受到管壁黏性力作用,靠近管壁附近处油品速度逐渐减小,而管道中心速度逐渐增大,使得“双前锋”逐渐消失,又恢复至“单峰”状态。

对比图 4(a)、(b)、(c) 可见,弯管弯曲角度增大会促进混油“双前锋”的形成,对流扩散加剧,造

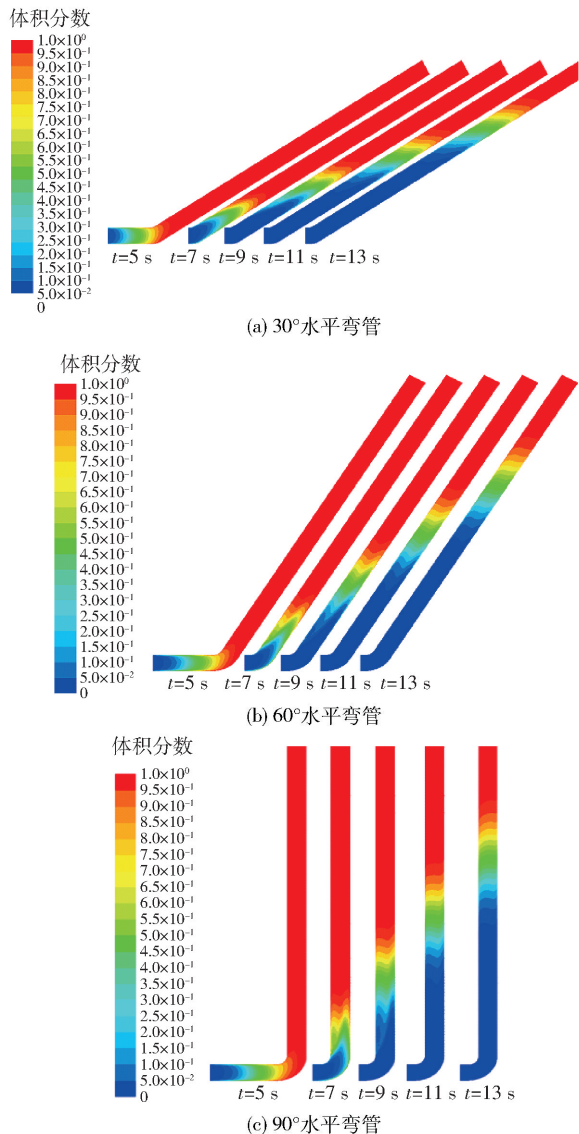


图4 水平弯管在不同时刻不同弯曲角度下的混油分布云图

Fig. 4 Distribution of contamination of horizontal bends for different bending angles and different times
成顺序输送过程中混油段加长。

2.1.2 弯管不同曲率半径对顺序输送混油的影响

以弯曲角度 90° , 曲率半径分别为 D 、 $3D$ 和 $5D$ 的水平弯管为例, 按入口速度 1 m/s (不考虑重力)、汽油前行柴油后行进行模拟计算, 得出水平弯管的油品体积分数分布及弯管不同弯曲角度时的混油长度对比, 见图5、表2。

图5 为水平弯管在不同曲率半径下不同时刻的混油分布云图。如图所示, 混油段经过弯管时, 由于管壁内侧速度大, 流体摆脱弯管向心力, 在惯性作用下高流速区进入出口直管段后向右侧管壁偏移, 造

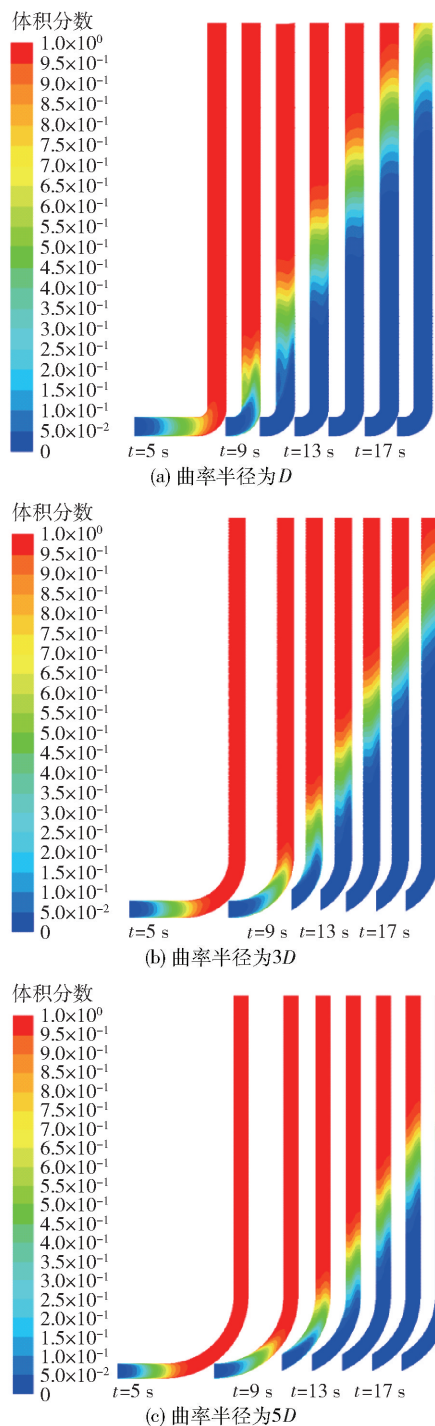


图5 水平弯管在不同时刻不同曲率半径下的混油分布云图

Fig. 5 Distribution of contamination of horizontal bends for different curvature radii and different times

成混油头也偏向管道外侧; 而管壁外侧速度较小, 在弯管向心力作用下低流速区进入出口直管段后向左侧管壁偏移, 在左侧管壁形成滞后的混油头, 由原来的“单峰”逐渐形成混油“双前锋”, 随着油品继续前

行,混油前锋又向“单峰”过渡。对比图 5(a)、(b)、(c)可知,随着弯管曲率半径增大,混油“双前锋”效应减弱,对流扩散减缓,顺序输送过程中的混油段也相应缩短。

表 2 为弯管不同曲率半径时前行油品浓度为 2%~98% 的混油段长度对比情况。从表 2 可知,随着弯管曲率半径的减小,混油段长度逐渐增加,且混油增长率涨幅也相应增大。

表 2 弯管不同曲率半径时的混油段长度对比

Table 2 Comparison of mixed oil length for different curvature radii of the elbow

曲率半径/ m	油品输送 时间/s	混油段 长度/m	混油增长率/ %
0	13	4.21	0
D	13	5.18	23.04
3D	13	4.77	13.30
5D	13	4.53	7.60

2.2 竖直双弯管顺序输送混油模拟

2.2.1 不同输送顺序和方向对顺序输送混油的影响

以弯曲角度 45°,曲率半径 0.5 m 的竖直双弯管为例,按入口速度为 1 m/s(考虑重力),分 4 种工况进行模拟计算:①工况 1,汽油前行,油品上行;②工况 2,汽油后行,油品上行;③工况 3,汽油前行,油品下行;④工况 4,汽油后行,油品下行。

图 6 为后行油品输送 4 s 时,各工况入口直管段混油分布云图。根据图中工况 1,后行柴油密度较大,而重力方向垂直于管道轴向,造成管道中后行柴油下沉、前行汽油上浮的现象,即后行油品向下楔形插入前行油品之中。图 7 为 4 s 时工况 1 入口直

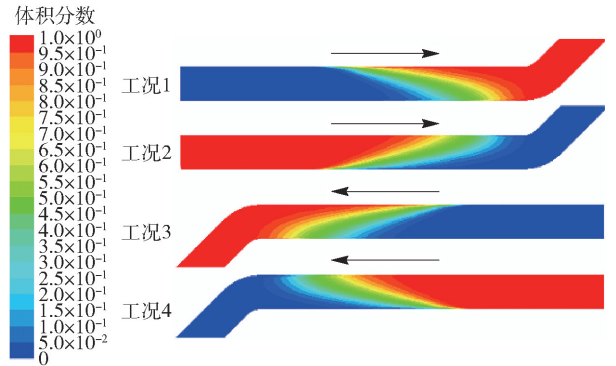


图 6 4 s 时各工况入口直管段混油分布云图

Fig. 6 Distribution of contamination in inlet straight pipe section for different working conditions after 4 s

管段不同截面径向体积分数分布图。由图 7 可知,后行油品在各个横截面的最大浓度均在 $y = -0.22$ m 处,体积分数分别为 0.99,0.96,0.85,0.63,0.31。由工况 2 可知,后行密度较小的汽油上浮嵌入柴油中,造成相同界面处后行油品浓度峰值上移。工况 3、工况 4 流入口直管段的混油规律分别与工况 1、工况 2 的情况相似。

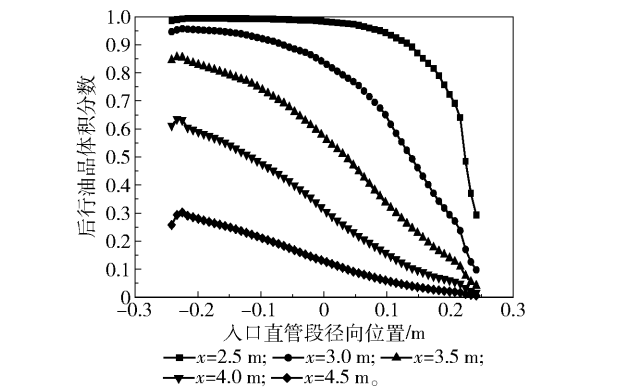


图 7 工况 1 入口直管段不同截面径向体积分数分布图(4 s)

Fig. 7 Radial volume fraction distribution of different sections of the inlet straight pipe section under working condition 1 (4 s)

图 8 为 10 s 时各工况倾斜管段混油分布云图。由于弯管横截面的流速分布非常不均匀,混油段经过弯管后混油现象加剧。对于工况 1,油品进入倾斜管段后,重力方向与油品前进方向成 135°夹角,导致在径向上混油浓度分布更加不对称,混油段明显加长;与工况 1 不同,工况 2 前行油品浓度和黏度较大,受管壁的阻力也较大,后行浓度和黏度较小的汽油对弯管外侧残留的前行柴油冲刷效果减弱,造

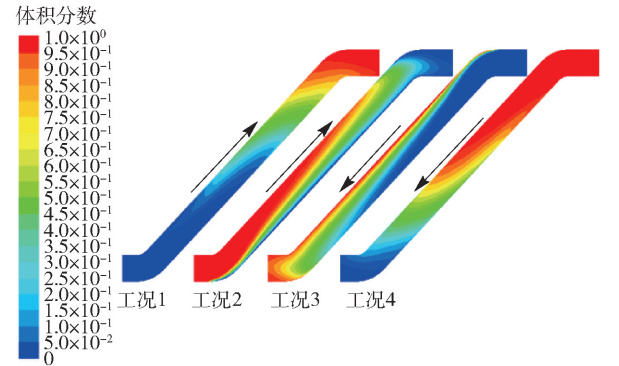


图 8 10 s 时各工况倾斜管段混油分布云图

Fig. 8 Distribution of contamination in the inclined pipe section under different working conditions after 10 s

成混油情况加重。工况 3、工况 4 流经斜管段的混油规律分别与工况 2、工况 1 的情况相似。

图 9 为 14 s 时各工况出口直管段混油分布云图。图 10 为工况 1 出口直管段不同截面轴向体积分数分布图。混油段进出口直管段后,重力方向再次垂直于管道轴向。从图 9 和图 10 可知,工况 1 下,油品体积分数曲线在浓度为 50% 的混油界面处不对称,存在明显的浓度梯度。后行柴油在重力作用下下沉,前行汽油上浮,且混油尾有变短趋势。对于工况 2,混油进出口直管段后,高速区偏移至管道上侧,导致混油前峰逐步向上侧管壁移动,混油现象明显加剧。混油段离开弯管一段距离后,由于管壁黏性力,高流速区逐渐向管道中心偏移,加之重力作用,混油前峰有下移趋势。工况 3、工况 4 流经出口直管段的混油规律分别与工况 2、工况 1 的情况相似。

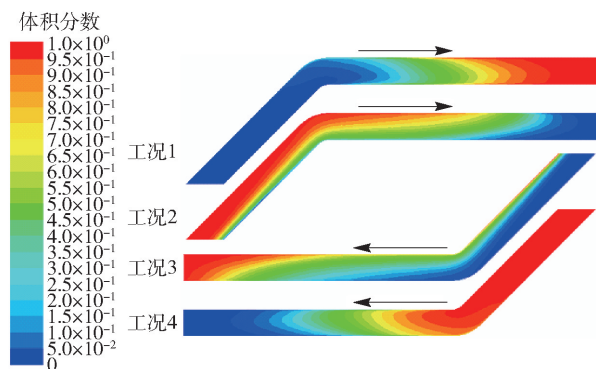


图 9 14 s 时各工况出口直管段混油分布云图

Fig. 9 Distribution of contamination in the outlet straight pipe section under different working conditions after 14 s

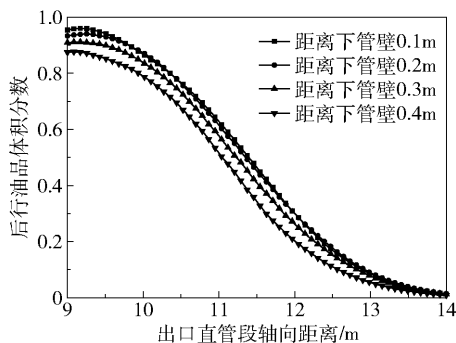


图 10 工况 1 出口直管段不同截面轴向体积分数分布 (14 s)

Fig. 10 Axial volume fraction distribution of different sections of the outlet straight pipe section under working condition 1 (14 s)

2.2.2 流速对顺序输送混油的影响

以弯曲角度 45° , 曲率半径 0.5 m 的竖直双弯管为例,按入口速度分别为 1 m/s 和 2 m/s (考虑重力)、汽油前行柴油后行进行模拟计算,得出不同速度下竖直双弯管的混油分布云图如图 11 所示。由图 11 可知,初始混油前进相等长度后,随油品流速增大,管道截面上的混油浓度分布变得更加均匀,混油段明显变短。因为管道在紊流状况下运行,速度越大,紊流径向脉动就越剧烈,油品间轴向扩散越弱。

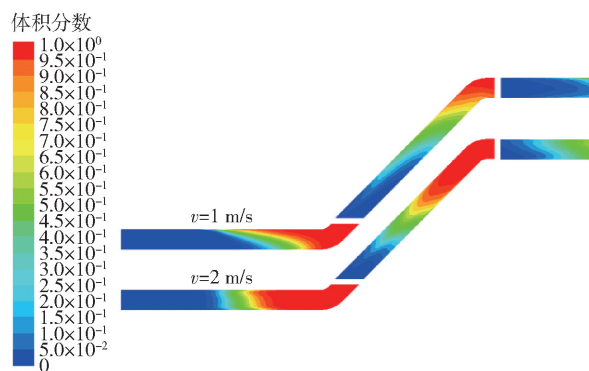


图 11 不同流速下的混油分布云图

Fig. 11 Distribution of contamination for different flow rates

3 结论

(1) 成品油在不同弯曲角度水平弯管中顺序输送时,在弯管及后面的直管段内流速分布发生较大变化,高流速区向管壁右侧偏移,造成混油增加;随弯管弯曲角度增大,弯管处流场变化对混油段干扰加剧,混油增长率加大。

(2) 成品油在不同曲率半径水平弯管中顺序输送时,随着弯管曲率半径增大,混油“双前锋”效应减弱,对流扩散减缓,顺序输送过程中的混油段也相应缩短。与相同长度的直管相比,曲率半径为 $5D$ 、 $3D$ 和 D 弯管的混油长度增长率分别为 7.6%、13.3% 和 23.04%。

(3) 成品油在竖直双弯管中顺序输送时,对于油品上行,汽油前行比柴油前行产生的混油量少,对于油品下行,相同输送顺序下结果则正好相反;当油品上行、汽油前行时,增大油品输送速度,紊流径向脉动加剧,油品间轴向扩散减小,混油段明显变短。

(4) 综合考虑弯管结构对顺序输送混油的影响,在设计管道时,为减少混油量,水平弯管部位应尽量避免弯管大弯曲角度转向和小曲率半径过度;

管道操作运行时,适当提高油品输送速度以及针对具体油品输送方向采取合适的输送顺序可有效降低混油量。

参考文献:

- [1] 王红菊,祝慧智,张延萍. 全球油气管道建设概况[J]. 油气储运, 2015, 34(1): 15-18.
WANG H J, ZHU Q Z, ZHANG Y P. Overview of oil and gas pipelines in the world[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2015, 34(1): 15-18. (in Chinese)
- [2] 吴先策. 顺序输送管道混油的分析与计算[J]. 管道技术与设备, 1996(5): 11-13.
WU X C. Analysis and calculation of mixed oil in batch transportation pipeline[J]. Pipeline Technique and Equipment, 1996(5): 11-13. (in Chinese)
- [3] 戴福俊,胡焯,纪荣亮,等. 西南成品油管道混油量的计算[J]. 油气储运, 2009, 28(2): 40-42.
DAI F J, HU X, JI R L, et al. Calculation and analysis on contaminated volume of southwestern products oil pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2009, 28(2): 40-42. (in Chinese)
- [4] 康正凌,宫敬. 管道顺序输送的混油研究[J]. 油气储运, 2002, 21(5): 8-11.
KANG Z L, GONG J. Study on the contamination of batching transportation of products[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2002, 21(5): 8-11. (in Chinese)
- [5] 王昆,陈保东,郭淑娟,等. 管道顺序输送产生混油的问题研究[J]. 油气储运, 2007, 26(8): 8-12.
WANG K, CHEN B D, GUO S J, et al. Study on the product oil contamination caused by batching transportation[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2007, 26(8): 8-12. (in Chinese)
- [6] 蒲家宁. 管道顺序输送混油分析中的若干问题[J]. 油气储运, 2000, 19(12): 18-21.
PU J N. Some problems on the mixture analysis of batch transportation of pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2000, 19(12): 18-21. (in Chinese)
- [7] 吴玉国,陈保东,李小玲,等. 冷热原油顺序输送弯管内混油特性数值模拟[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2010, 34(3): 125-129.
WU Y G, CHEN B D, LI X L, et al. Numerical simulation on contaminated oil characteristics in bend pipe of batch pipelining of cold and hot crude oils[J]. Journal of China University of Petroleum(Natural Science Edition), 2010, 34(3): 125-129. (in Chinese)
- [8] 杜明俊,马贵阳,许丹,等. 冷热原油顺序输送过程混油浓度的数值模拟[J]. 油气储运, 2010, 29(10): 730-733.
DU M J, MA G Y, XU D, et al. Numerical simulation on contamination concentration of cold-hot crude oil during batch transportation[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2010, 29(10): 730-733. (in Chinese)
- [9] 乔伟彪,马贵阳,杜明俊,等. U型管内成品油顺序输送混油数值计算[J]. 油气储运, 2011, 30(10): 755-757.
QIAO W B, MA G Y, DU M J, et al. Numerical calculation of contaminated product in U-shape pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2011, 30(10): 755-757. (in Chinese)
- [10] 赵海燕. 不同工况下顺序输送混油的CFD模拟[J]. 化学工业与工程技术, 2012, 33(1): 54-57.
ZHAO H Y. CFD simulation of contamination on batch transportation pipeline under different conditions[J]. Journal of Chemical Industry & Engineering, 2012, 33(1): 54-57. (in Chinese)
- [11] 徐金萌,吴明,胡志勇,等. Z型管成品油顺序输送混油量数值计算[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2013, 33(1): 35-38.
XU J M, WU M, HU Z Y, et al. Numerical calculation of contaminated product in Z-shape pipeline[J]. Journal of Liaoning Shihua University, 2013, 33(1): 35-38. (in Chinese)
- [12] 方利民,梁永图,何国玺. 顺序输送环道中弯管结构对混油量的影响分析[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2016, 36(3): 24-29.
FANG L M, LIANG Y T, HE G X. Analysis on the influence of different pipe bending structures on mixture volume in the sequence transportation experimental loop[J]. Journal of Liaoning Shihua University, 2016, 36(3): 24-29. (in Chinese)
- [13] 陈庆勋. 成品油顺序输送分输和变管径混油量的计算[J]. 油气储运, 1999, 18(1): 7-8.
CHEN Q X. Calculation on the mixing oil volume of sequence transportation of oil product in the batch and variable diameter pipes[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 1999, 18(1): 7-8. (in Chinese)
- [14] 赵会军,张青松,张国忠,等. 基于PHOENICS顺序输送管道内两种油品传质数值研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2006, 33(6): 22-25.
ZHAO H J, ZHANG Q S, ZHANG G Z, et al. PHOENICS-based numerical study of mass transfer with two pe-

- troleum products in a batch pipeline[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2006, 33(6): 22–25. (in Chinese)
- [15] 吴子牛. 计算流体力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 70–76.
- WU Z N. Computational fluid dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2001: 70–76. (in Chinese)
- [16] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001: 332–340.
- TAO W Q. Numerical heat transfer[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001: 332–340. (in Chinese)

Numerical calculation for mixed oil in batch transportation at an elbow

WANG ZhiQiang WANG Yue*

(College of Petroleum Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China)

Abstract: In order to study the influence of an elbow pipe on the amount of refined oil mixed in sequential delivery, the volume of fluid (VOF) multi-phase flow model was adopted. By changing the bending angle of the horizontal elbow pipe, the radius of curvature and the delivery sequence of the vertical double elbow pipe, direction and speed, three-dimensional numerical simulations of the orderly delivery of refined oil under both horizontal and vertical double bends have been carried out. The results show that when the product oil is transported sequentially in different horizontal bending pipes with different bending angles, as the bending angle of the pipe increases, the variation of flow field at the bend increases the interference in the mixed oil section and the rate of mixing of the oil increases. When conveyed in horizontal bends with different radii of curvature, as the curvature radius of the elbow increases, the “double forward” effect of the mixed oil decreases and the mixed oil segment in the process of sequential delivery decreases accordingly. When the product oil is conveyed sequentially in a vertical double-bend pipe, for the oil to go up, the amount of the mixed oil produced by the gas oil forward is smaller than that from the diesel oil forward; for the oil to go down, the result is exactly opposite for the same sequence of delivery. When the oil goes up and the gas oil goes ahead, as the oil delivery speed increases, the radial pulsation of the turbulent flow is increased, the axial diffusion between the oil products decreases and the mixed oil section becomes significantly shorter.

Key words: elbow pipe; refined oil products; batch transportation; mixed oil; numerical simulation

(责任编辑: 吴万玲)