

文章编号: 1000-8241(2017)10-1149-05

# 成品油管道混油动态体积分数判断两段式切割法

李雪 王晓霖 肖文涛

中国石化抚顺石油化工研究院

**摘要:** 在成品油管道顺序输送过程中,相邻批次油品间不可避免会产生混油。目前接收站对混油段的接收常采用固定体积分数三段式切割法,切割体积分数较为保守,造成较大的混油切割量。在此充分利用管输油品质量潜力的稀释作用,提出动态体积分数判断两段式切割法。该方法利用混油接收站场的体积分数分布曲线、管输汽油与柴油间相互掺混的最大体积分数及接收罐可用罐容,计算出第一、第二判断体积分数,以此为满足两段式切割条件的判据,并回归混油体积分数分布曲线公式,从而求出掺入混油量最小的切割体积分数。该切割法实现了短距离成品油管道混油段的两段式切割,能够有效控制油品质量,减少混油切割量,可以适当降低混油处理费用,节省混油罐的建设与使用费用。(图4,表1,参22)

**关键词:** 成品油管道;混油切割;动态体积分数;两段式切割

中图分类号: TE832

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2017.10.008

网络出版时间: 2017-8-21 10:15:13

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1093.TE.20170821.1015.004.html>

## Two-section cutting method of contamination in products pipeline by dynamic volume fraction judgment

LI Xue, WANG Xiaolin, XIAO Wentao

SINOPEC Fushun Research Institute of Petroleum and Petrochemicals

**Abstract:** During the batch transportation of products pipelines, adjacent batches will inevitably blend with each other. At present, the receiving of contamination plugs at receiving stations is often performed by means of constant-volume-fraction three-section cutting method, whose cutting volume fraction is more conservative, leading to more volume of contamination. In this paper, the cutting judgment method based on dynamic volume fraction was proposed by using the dilution effect of oil product quality potential sufficiently. In this method, the first and second judging volume fraction are calculated by using the volume fraction distribution curve of contamination receiving station, the maximum volume fraction of pipeline gasoline/diesel mixture, and the effective volume of receiving tank, and they are taken as the criteria of two-section cutting and used to regress the mixing volume fraction distribution curve formula. And accordingly, the cutting volume fraction corresponding to the minimum contamination is obtained. By virtue of this method, the two-section cutting of contamination plug in the short pipeline is realized, the quality of oil products is controlled effectively, the cutting volume of contamination is reduced, the contamination disposal cost is cut down appropriately, and the building and operating expenses of contamination tanks are saved. (4 Figures, 1 Table, 22 References)

**Key words:** products pipeline, mixed oil cutting, dynamic volume fraction, two-section cutting

成品油管道常采用顺序输送方式,不同批次、不同型号的油品在顺序输送过程中,在对流传递和扩散传递作用下,必然会在管内形成混油段,混油的妥善处理将直接影响输送油品的质量及管输运行成本<sup>[1]</sup>。中国成品油管道顺序输送产生的混油常集中在输油末站

处理,混油的处理方法主要包括:就近送回炼厂重新加工,掺混油直接供用户使用或降级处理<sup>[2-7]</sup>。因此,混油段的切割是顺序输送成品油管道以及油品储存的重要环节,也是降低管道输送成本、保证油品质量、提高管输经济效益的重要影响因素。

目前,中国对于汽油与柴油混油段的处理未考虑混油量,统一采用固定体积分数三段式切割法,即将混油按固定比例切割为3段,将能够掺入前后两种纯净油品罐内的混油切入两种纯净油品的储罐内,中间段作为待处理混油进入混油罐<sup>[5-12]</sup>。由于采用的切割比例较为保守,虽然可以保证油品的质量安全,但混油切割量较大,使得混油处理的费用较高<sup>[13-16]</sup>。在此,针对混油量较小的混油段,提出动态体积分数判断两段式切割法,以期降低混油切割量。

### 1 动态体积分数判断两段式切割法

由于同一油品不同批次的性质会存在差异,且站场接收罐可用容积随实际情况而变动,因此,如果考虑油品质量潜力的稀释作用,混油段的切割体积分数则与批次油品质量、混油量相关。

#### 1.1 混油体积分数分布曲线

对距离管道末站最近站场的SCADA系统测得的混油过站“密度-时间-流量”数据进行处理,得到混油段通过该站场时的体积分数分布曲线。若该站场距离末站较近,可以将该曲线视为末站混油的体积分数分布曲线;否则将该站测得的混油长度作为初始混油长度,利用理论公式或经验公式对末站混油长度进行计算,得到末站混油体积分数分布预测曲线<sup>[17-21]</sup>。

#### 1.2 混油长度比例

设前行油品为A油,后行油品为B油,认为管道末站的混油体积分数与前行油品A的体积分数 $K_{At}$ 相对应的混油长度比例为 $\phi_{At}$ ,则 $\phi_{At}$ 与实测混油段总长 $L$ 的乘积为A油相应体积分数所对应的混油段长度 $L_A$ 。

#### 1.3 允许掺混体积分数

管道末站A油与B油允许的掺混体积分数,取决于前后两种油品的性质、油品的质量指标及储罐的有效容积。在末站的前一站场取得该混油段前行、后行纯油油样,利用两种油样与末站罐内原有油品进行掺混实验,分别得到A油允许掺入B油的体积分数 $K_{BgA}$ 、A油罐内原有A油允许掺入B油的体积分数 $K_{BgAI}$ 、B油允许掺入A油的体积分数 $K_{AgB}$ 及B油罐内原有B油允许掺入A油的体积分数 $K_{AgBI}$ 。在初期阶段,需要对每一批次油品进行掺混实验以确定允许掺混体积分数,后期可以根据经验值进行计算。

由于柴油中掺入汽油时对掺混比例最敏感的指标

为闭口闪点值,而汽油中掺入柴油时对掺混比例最敏感的指标为终馏点,因此,可以根据GB/T 261-2008《闪点的测定》和GB/T 6536-1997《石油产品蒸馏测定法》进行柴油中掺入汽油的闪点和汽油中掺入柴油的终馏点检测实验,以此确定允许掺混体积分数<sup>[22]</sup>。

#### 1.4 A(B)油罐内允许掺入B(A)油的最大体积

若站场内不具备倒罐操作条件,则只能充分利用罐内原有油品和该批次油品的质量潜力来对混油进行稀释,忽略罐内死油的影响。设该批次A油总量为 $V_{AZ}$ ,A油即将切入最后一个A油罐时已经接收进罐的A油体积为 $V_{AC}$ ,A油罐内原有油品体积为 $V_{AI}$ ,B油罐内原有油品体积为 $V_{BI}$ ,切入B油罐的B油体积为 $V_{BC}$ ,据此可以计算出A油罐内允许掺入B油最大体积 $V_B$ 和B油罐允许掺入A油最大体积 $V_A$ :

$$V_B = K_{BgA}(V_{AZ} - V_{AC}) + K_{BgAI}V_{AI} \quad (1)$$

$$V_A = V_{BI}K_{AgBI} + V_{BC}K_{AgB} \quad (2)$$

若站场内可以进行倒罐操作,则利用空罐接收混油头或混油尾,若未注满则将其他罐内该批次的纯净油品注入接收罐内,即利用储罐有效罐容的该批次油品的质量潜力来进行稀释,忽略罐内死油的影响。设A油罐的有效罐容为 $V_{AG}$ ,B油罐的有效罐容为 $V_{BG}$ ,则 $V_A$ 与 $V_B$ 的计算式为:

$$V_B = K_{BgA}V_{AG} \quad (3)$$

$$V_A = K_{AgB}V_{BG} \quad (4)$$

#### 1.5 切割判断体积分数

在某时间段内,进入A油罐的B油量利用累积叠加法可得。据此,反算出第一、第二判断体积分数 $K_{At1}$ 、 $K_{At2}$ (图1)。若第一判断体积分数小于第二判断体积分数,则说明该汽油与柴油混油段可以进行两段

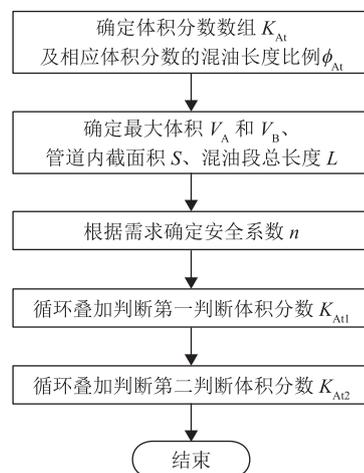


图1 切割判断混油体积分数计算流程图

式切割;否则,仍需按三段式切割方法进行混油处理:  
 $1\% \phi_{99}SL + 2\% \phi_{98}SL + \dots + (1 - K_{At1}) \phi_{At1}SL = V_B/n$  (5)  
 $1\% \phi_1SL + 2\% \phi_2SL + \dots + K_{At2} \phi_{At2}SL = V_A/n$  (6)  
 式中:  $S$  为管道内截面积,  $m^2$ ;  $n$  为管道安全系数;  $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、 $\dots$ 、 $\phi_{99}$  分别为前行 A 油体积分数为 1%、2%、 $\dots$ 、99% 时所对应的混油长度比例;  $\phi_{At1}$ 、 $\phi_{At2}$  分别为第一判断体积分数、第二判断体积分数所对应的混油长度比例。

1.6 切割体积分数

将所得混油体积分数曲线分段进行公式回归计算,得出  $K_{At1}$  与  $K_{At2}$  范围内函数的最小值即为混油切割体积分数  $K_A$ ,按照该体积分数进行一次切割,即可实现零混油量的目标,且前后行油品的相互掺混总量最小(图 2)。

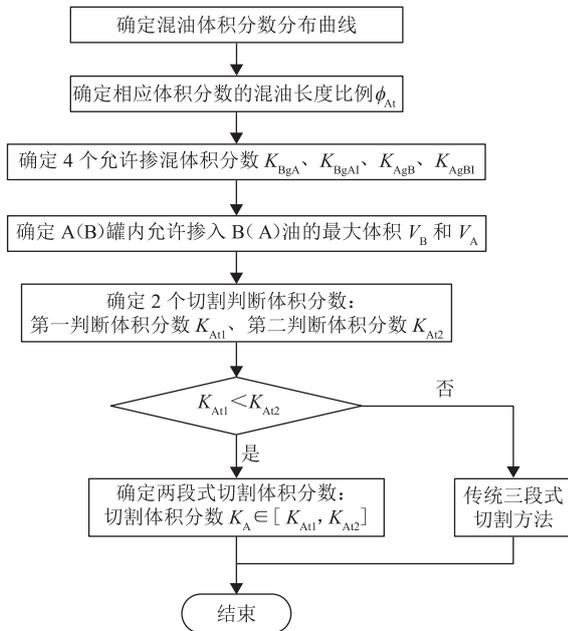


图 2 混油动态体积分数判断切割法流程图

2 实例分析

某成品油管道全长 293.3 km,沿线设有 3 座站场。末站的汽油与柴油界面主要采用固定混油切割体积分数的三段式切割法,将富含前行油品的混油头按一定体积分数切入前行油品纯油罐,将富含后行油品的混油尾按一定体积分数切入后行油品纯油罐,而中间段

的混油部分则切入专门的混油罐中,单次平均切割混油量约  $50 m^3$ ,年切割量高达  $3\ 000 m^3$ ,混油处理带来的经济损失不容忽视。

针对某次 -35# 柴油与 93# 汽油的混油段,确定其混油段体积分数分布曲线,由于该站场距离管道末站较近,可将该站场的体积分数曲线视为末站体积分数曲线(图 3)。

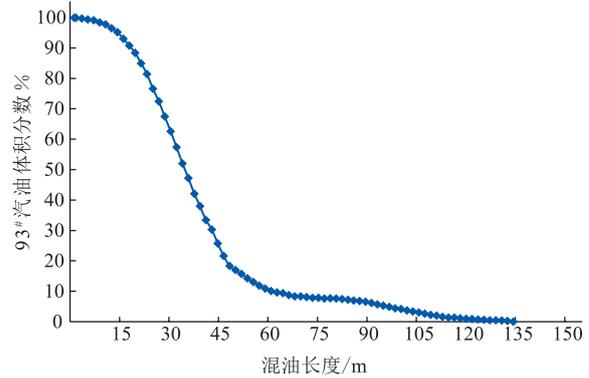


图 3 某成品油管道末站混油体积分数分布曲线

接收混油头、混油尾的油罐均为  $2 \times 10^4 m^3$  的空油罐,由于该批次后行 -35# 柴油仅  $2\ 000 \times 10^3 kg$ ,无法注满接收罐,因此后行 -35# 柴油中可用于稀释的油品仅以该批次 -35# 柴油的油品总量  $2\ 000 \times 10^3 kg$  为准。现场提取 93# 汽油和 -35# 柴油油样进行掺混实验,对汽油中掺入少量柴油和柴油中掺入少量汽油分别进行终馏点和闪点测试,得到两种油品相互允许掺混体积分数  $K_{AgB}$ 、 $K_{BgA}$ 。由于接收罐为空罐,且站场内可以进行倒罐操作,因此不存在  $K_{AgBl}$ 、 $K_{BgAl}$ 。充分考虑现场实际情况,安全系数取 2,则得到末站混油切割实验结果(表 1)。

表 1 某成品油管道末站混油切割实验计算结果

掺混体积分数%		最大体积/ $m^3$		判断体积分数%	
$K_{BgA}$	$K_{AgB}$	$V_A$	$V_B$	$K_{At1}$	$K_{At2}$
0.971	1.5	39.6	176.6	18.4	77.5

根据表 1 可见,  $K_{At1} < K_{At2}$ ,可以判定该 -35# 柴油与 93# 汽油混油段可进行两段式切割。

为了更加准确地回归混油体积分数分布曲线,按体积分数分布变化趋势,将体积分数曲线划分为 3 部分(图 4),分别进行公式回归,拟合出关于前行 A 油体积分数与混油长度的 3 部分函数关系式为:

$$f(x) = \begin{cases} 3 \times 10^{-7} x^4 - 2 \times 10^{-5} x^3 - 6 \times 10^{-5} x^2 + 0.001 x + 0.995, & x \in [0, 50.2] \\ 8 \times 10^{-8} x^4 - 2 \times 10^{-5} x^3 - 0.003 x^2 - 0.166 x + 3.551, & x \in (50.2, 78.8) \\ -3 \times 10^{-8} x^4 + 2 \times 10^{-5} x^3 - 0.002 x^2 + 0.173 x - 4.457, & x \in [78.8, 134.4] \end{cases} \quad (7)$$

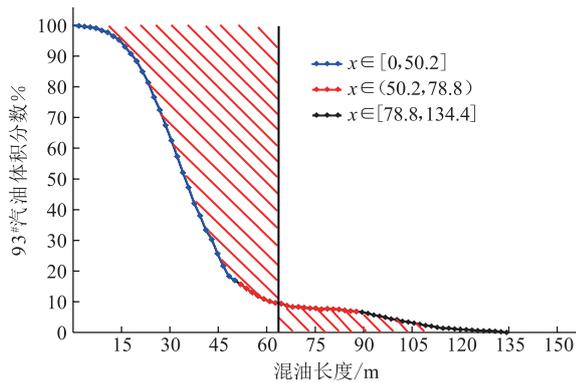


图4 某成品油管道末站混油体积分数分布曲线划分图

式中： $f(x)$ 为93#汽油的体积分数，%； $x$ 为混油的长度，m。

求解最小的稀释混油量可以转化为求图4中红色阴影面积最小的问题，求得切割体积分数为62.3%时，按该体积分数进行混油段接收可实现零混油量切割。

### 3 结论

(1) 固定体积分数三段式切割法可以满足汽油与柴油混油段切割的油品质量安全需求，但造成较大的混油切割量，增加混油处理负担。对于混油量较小的汽油与柴油混油段，应该充分利用管输油品剩余质量潜力的稀释能力，降低混油处理造成的经济损失。

(2) 动态体积分数判断两段式切割法利用混油接收站场的体积分数分布曲线、管输汽油与柴油间相互掺混的最大体积分数以及接收罐可用罐容，计算出第一判断体积分数和第二判断体积分数，若满足两段式切割条件则对混油体积分数分布曲线进行公式回归，积分求导得出掺入混油量最小的切割体积分数。

(3) 针对混油量较小的汽油与柴油混油段，动态体积分数判断两段式切割法能够实现混油切割零混油量，降低混油处理费用，节省混油罐建设与使用费用。

#### 参考文献：

[1] 杨筱衡. 输油管道设计与管理[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2011: 76-81.  
 YANG X H. Pipeline design and management[M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2011: 76-81.  
 [2] 文林. 成品油管道顺序输送优化运行研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2014: 5-7.

WEN L. Research on batching transport operation optimization of the products oil pipeline[D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2014: 5-7.  
 [3] 吕坦. 成品油管道顺序输送混油分析与模拟研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2012: 5-17.  
 LYU T. The analysis and simulation study about batching transportation of mix oil by products pipeline[D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2012: 5-17.  
 [4] 吴玉国, 田垦. 成品油管道技术发展现状与趋势[J]. 现代化工, 2014, 34(5): 4-8.  
 WU Y G, TIAN K. Current status and development trends of refined oil pipeline technology[J]. Modern Chemical Industry, 2014, 34(5): 4-8.  
 [5] 于金广. 鲁皖成品油管道增设混油处理设施的实践[J]. 油气储运, 2013, 32(2): 157-161.  
 YU J G. Practice of installing contaminated treatment facilities in Shangdong-Anhui Products Pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2013, 32(2): 157-161.  
 [6] 付永杰. 华北成品油管网混油控制及处理改进措施[J]. 油气储运, 2013, 32(10): 1058-1062.  
 FU Y J. Improvement on the control and treatment of mixed oil in North China Product Oil Pipeline Network[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2013, 32(10): 1058-1062.  
 [7] 吕坦, 文林, 王佳, 等. 成品油顺序输送混油与调度研究[J]. 辽宁化工, 2013, 42(11): 1346-1348.  
 LYU T, WEN L, WANG J, et al. Study on contaminated oil quantity and scheduling of batch transportation of products[J]. Liaoning Chemical Industry, 2013, 42(11): 1346-1348.  
 [8] 宫敬, 王琴, 王卫东, 等. 成品油管道的混油计算方法研究[J]. 管道技术与设备, 2013(1): 1-3.  
 GONG J, WANG Q, WANG W D, et al. Study of the calculation method for mixing volume in products pipeline[J]. Pipeline Technique and Equipment, 2013(1): 1-3.  
 [9] 赵晓刚. 成品油管道混油量计算方法及减少混油量措施探讨[J]. 当代化工, 2012, 41(3): 328-330.  
 ZHAO X G. Study on calculating methods of mixed oil quantity in the product pipeline and measures to reduce mixed oil quantity[J]. Contemporary Chemical Industry, 2012, 41(3): 328-330.  
 [10] 赵堂玉. 兰郑长管道混油处理相关问题和议[J]. 油气储运, 2015, 34(4): 400-402.  
 ZHAO T Y. Problems in treatment of mixed oil in Lanzhou-

- Zhengzhou-Changsha Products Pipeline and relevant suggestions[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2015, 34(4): 400-402.
- [11] 董荣国. 华东成品油管道混油影响因素的分析和优化控制措施[J]. 石油库与加油站, 2013, 22(1): 12-17.
- DONG R G. Influencing factors analysis on mixed oil amount in East China Oil Product Pipeline and optimization control measures[J]. Oil Depot and Gas Station, 2013, 22(1): 12-17.
- [12] 王晏林. 兰成渝成品油管道油品质量控制研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2012: 4-6.
- WANG Y L. Research on product oil quality control of Lanzhou-Chengdu-Chongqing Products Pipeline[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2012: 4-6.
- [13] 王凤娟, 李立婉, 王思维. 提高顺序输送成品油管道混油切割精度方法[J]. 当代化工, 2014, 43(7): 1376-1378.
- WANG F J, LI L W, WANG S W. Method to improve the contamination cutting precision during product oil batch transportation[J]. Contemporary Chemical Industry, 2014, 43(7): 1376-1378.
- [14] 丁小勇. 西部成品油管道混油切割新方法[J]. 油气储运, 2013, 32(12): 1279-1281.
- DING X Y. New method of contaminated oil cutting used in Western Product Pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2013, 32(12): 1279-1281.
- [15] 郭祎, 张道全, 刘鹏, 等. 西部成品油管道末站混油切割改进措施[J]. 油气储运, 2011, 30(7): 520-522.
- GUO Y, ZHANG D Q, LIU P, et al. The improvement of mixed oil cutting in Western Product Pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2011, 30(7): 520-522.
- [16] 祝和军, 刘玉梅. 克乌成品油管道工程设计[J]. 油气储运, 1999, 18(2): 34-36, 59.
- ZHU H J, LIU Y M. The engineering project of Kewu Product Pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 1999, 18(2): 34-36, 59.
- [17] 任瑾云, 曾宇平, 贾旭, 等. 中银原油管道改成品油管道混油量的研究[J]. 现代化工, 2016, 36(5): 196-198.
- REN J Y, ZENG Y P, JIA X, et al. Study on the mixture oil of the Zhong Yin crude oil pipeline modify the product pipeline[J]. Modern Chemical Industry, 2016, 36(5): 196-198.
- [18] 陈世一, 崔艳星, 崔艳雨. 成品油顺序输送管道混油量计算方法[J]. 油气储运, 2007, 26(8): 16-18.
- CHEN S Y, CUI Y X, CUI Y Y. The calculation method of the mixed oil volume in multi-product pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2007, 26(8): 16-18.
- [19] 谷俊标. 顺序输送管道不同工况下混油量的计算[J]. 油气田地面工程, 2005, 24(3): 15-17.
- GU J B. The calculation of the mixed oil volume in different operating condition of multi-product pipeline[J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2005, 24(3): 15-17.
- [20] 周宇, 邱姝娟, 吴明, 等. 成品油顺序输送混油浓度的计算[J]. 油气储运, 2006, 25(9): 15-27.
- ZHOU Y, QIU S J, WU M, et al. The calculation of the mixed oil concentration in multi-products pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2006, 25(9): 15-27.
- [21] 李欣泽. 成品油管道的混油长度计算方法[J]. 油气储运, 2015, 34(5): 497-499.
- LI X Z. Calculation method for length of oil mixtures in product pipelines[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2015, 34(5): 497-499.
- [22] 李会朵, 梁静华, 朱峰, 等. 成品油混油掺混实验与临界比例计算[J]. 油气储运, 2011, 30(3): 180-182.
- LI H D, LIANG J H, ZHU F, et al. Mixing experiment and critical proportion calculation for contamination of products[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2011, 30(3): 180-182.

(收稿日期: 2016-09-12; 修回日期: 2017-08-21; 编辑: 刘朝阳)

**作者简介:** 李雪, 女, 1988年生, 助理工程师, 2014年硕士毕业于中国石油大学(北京)油气储运工程专业, 现主要从事油气储运工艺优化相关研究。地址: 辽宁省大连市旅顺口区南开街96号, 116045。电话: 0411-56399222, Email: lixue.fshy@sinopec.com