

设计计算

成品油顺序输送管道混油量计算方法*

陈世一** 崔艳星 崔艳雨
(中国民航大学) (中国石油天然气管道工程有限公司) (中国民航大学)

陈世一 崔艳星等:成品油顺序输送管道混油量计算方法,油气储运,2007,26(8) 16~19。

摘 要 针对有初始混油的成品油管道,叙述了当量管长法在管道终点混油量计算中的应用,得到了管道终点混油量与初始混油量间的关系,分析了管径和流量变化对管道终点混油量的影响。对采用各种混油量计算公式得到的计算结果进行了比较和分析,给出了各公式的适用条件。

主题词 成品油管道 顺序输送 混油量 当量管长 计算方法

成品油管道多采用顺序输送方式,在油品切换过程中,产生初始混油是不可避免的。成品油管道多面向市场,一般设有多个进油口和分输口,管道通常为非等径的;管道在进油和分输作业中,各管段中的流量要发生变化。目前考虑初始混油、管径和流量变化对混油量影响的计算方法主要有当量管长法^[1,2]和直接公式法^[3~5]。本研究讨论常见的混油量计算结果的差异,以及公式的适用性。

一、初始混油的管道终点混油量计算

在考虑顺序输送管道在油品切换过程中产生的初始混油的影响时,管道终点混油量的计算方法有当量管长法和直接公式法。

1、当量管长法

当量管长法是将初始混油量换算成产生该混油量应具有的当量管道长度,将该长度与实际管道长度相加作为等效管道长度,计算管道终点的混油量^[1,2]。该方法概念清晰,可以利用各种计算公式,适用性强。当量管长法的基础是不含初始混油的管道终点混油量计算公式,常用的公式有扩散理论公式和经验公式。

(1)扩散理论公式

根据对称浓度扩散理论,计算无初始混油的管

道终点混油量公式为:^[3~5]

$$C = 4 \alpha Z L P e^{-0.5} \quad (1)$$

$$Z = \frac{x}{2 \sqrt{D_T t}}$$

$$P e = \frac{V L}{D_T}$$

式中 C ——管道终点混油长度, m;
 α ——考虑管壁处层流边层影响的修正系数^[5];
 L ——管道长度, m;
 x ——管道终点与起始接触面的距离, m;
 t ——切换到后行油品后所经过的时间, s;
 D_T ——油品的紊流扩散系数;
 $P e$ ——贝克莱数;
 V ——油品的平均流速, m/s。

(2)经验公式

如果将后行油品浓度为 1%~99% 的两界面间距离定义为混油段长度,常用的计算混油段长度公式为奥斯汀(Austin)和帕尔弗莱(Palfrey)给出的经验公式,即 Austin-Palfrey 公式^[2~5]为:

$$C = 11.75 \sqrt{d L R e^{-0.1}} \quad (2)$$

$$(R e > 10\,000 e^{2.72\sqrt{d}})$$

$$C = 18\,384 \sqrt{d L R e^{-0.9}} e^{2.175\sqrt{d}} \quad (3)$$

$$(R e < 10\,000 e^{2.72\sqrt{d}})$$

式中 d ——管道内径;

* 中国民航总局科技基金资助项目(MY0517415)。

** 300300,天津市滨海国际机场;电话:(022)24092160。

Re ——前行和后行油品浓度各为 50% 的混油对应的雷诺数。

浓度各为 50% 的混油运动粘度按以下经验公式计算:

$$\lg \lg(\nu \times 10^6 + 0.89) = \frac{1}{2} \lg \lg(\nu_A \times 10^6 + 0.89) + \frac{1}{2} \lg \lg(\nu_B \times 10^6 + 0.89)$$

式中 ν ——浓度各为 50% 的混油在输送温度下的运动粘度, m^2/s ;

ν_A ——A 油在输送温度下的运动粘度, m^2/s ;

ν_B ——B 油在输送温度下的运动粘度, m^2/s 。

另一个计算混油长度的经验公式为^[1]:

$$C = 10^3 (\lambda_A^{1.8} + \lambda_B^{1.8}) (d/L)^{0.43} L \quad (4)$$

$$\lambda_i = 0.11 (\epsilon + 68/Re_i)^{0.25} \quad (i = A, B)$$

式中 λ_A ——相互交替的 A 种油品摩擦阻力系数;

λ_B ——相互交替的 B 种油品摩擦阻力系数;

ϵ ——管道的相对粗糙度;

Re_i ——第 i 种油品对应的雷诺数。

Austin-Palfrey 公式和式(4)均没有考虑管道初始混油的影响,如果管道具有初始混油,则需要应用当量管长方法计算。

2、有初始混油的管道终点混油长度计算公式

(1)由扩散理论得到的混油量计算公式^[4]:

$$C = C^* \sqrt{1 + \frac{Pe}{16 Z^2} \left(\frac{C_0}{L}\right)^2} \quad (5)$$

式中 C^* ——无初始混油的管道终点混油长度, m ;

C_0 ——初始混油长度, m 。

实际上,式(5)可以应用当量管长法,由扩散理论公式得出,其中 C^* 按式(1)计算。将初始混油长度 C_0 代替式(1)中的混油长度 C ,便可求出当量管道长度 L' ,再将管道的实际长度 L 与当量管道长度 L' 之和代替式(1)中的 L 就可推导出式(5)。

(2)由扩散理论得到的计算混油量半经验公式

考虑初始混油量后,后行油品在管道终点处的浓度可以用下式计算^[5]:

$$K_B = \frac{1}{2} [1 - \phi(Z + Z_0)] + \frac{V_{SB} C_0}{V_S L} \frac{e^{-Z^2}}{2\sqrt{\pi}} Pe^{0.5} \quad (6)$$

$$Z_0 = \frac{C_0}{4\sqrt{D_T t}}$$

$$\phi(Z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^Z e^{-z^2} dz$$

式中 t ——改输后行油品后的时间, s ;

V_{SB} ——在初始混油段中后行油品的体积, m^3 ;

V_S ——初始混油量, m^3 ;

K_B ——后行油品在管道终点的浓度。

3、算例

为了比较各种计算方法得到的计算结果的差异,取顺序输送中的柴油和汽油两种油品。柴油的运动粘度为 $7.75 \times 10^{-6} m^2/s$,汽油的运动粘度为 $0.665 \times 10^{-6} m^2/s$,管道的绝对粗糙度为 $0.15 mm$,混油段长度定义为后行油品浓度为 1% 和 99% 的两界面间的距离, D_T 采用雅勃隆斯基(Яблонский)-希兹基洛夫(Хизгилов)公式^[5]。

(1)在讨论初始混油量对管道终点混油量影响时,取流速为 $1.0 m/s$;管道的长度为 $100 km$ (管内径为 $0.3 m$)和管道长度为 $200 km$ (管内径为 $0.5 m$)进行计算,结果见表 1。

表 1 初始混油量对管道终点混油的影响

初始混油长度(m)	d=0.3 m, L=100 km 管道终点混油长度(m)			
	式(5)	式(6)	Austin 公式	式(4)
0	957.8	736.8	610.3	803.6
100	966.6	771.2	618.4	815.3
200	992.5	850.5	642.2	842.8
300	1 034.2	933.5	680.0	882.0
400	1 089.9	1 006.7	729.7	930.8
500	1 157.5	1 072.3	789.0	987.3

初始混油长度(m)	d=0.5 m, L=200 km 管道终点混油长度(m)			
	式(5)	式(6)	Austin 公式	式(4)
0	1 478.6	1 182.8	1 058.7	1 180.8
100	1 483.8	1 205.1	1 063.4	1 189.6
200	1 499.5	1 265.6	1 077.4	1 210.4
300	1 525.4	1 347.2	1 100.4	1 240.5
400	1 560.8	1 432.6	1 131.8	1 278.5
500	1 605.2	1 513.0	1 170.9	1 323.4

表 1 中 Austin 公式和式(4)的计算结果是应用当量管长法得到的。从表 1 可以看出,终点混油长

度随初始混油长度的增大而增大,但增大的速率随初始混油长度的增大而减小。其中,Austin-Palfrey公式所得计算结果为最小,式(5)所得的计算结果为最大。当式(1)中的修正系数 $\alpha = 1.0$ 时,式(4)与式(5)的计算结果很接近,如图 1($d=0.5 \text{ m}, L=200 \text{ km}, V=1.0 \text{ m/s}$)和图 2($d=0.5 \text{ m}, L=200 \text{ km}, L_s=100 \text{ m}$)所示。从图 2 可以看出,随着流速(雷诺数)的增大,Austin-Palfrey 公式所得计算结果逐渐接近式(4)和式(5)的结果。

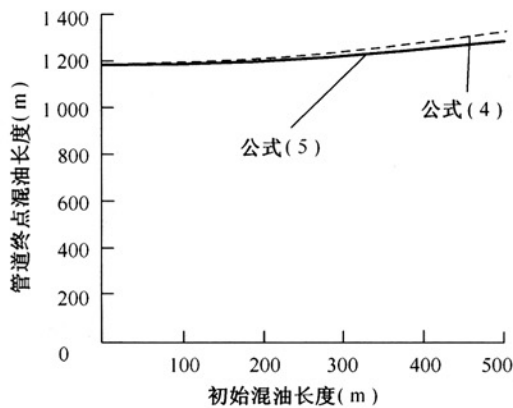


图 1 公式(4)与公式(5)计算结果比较

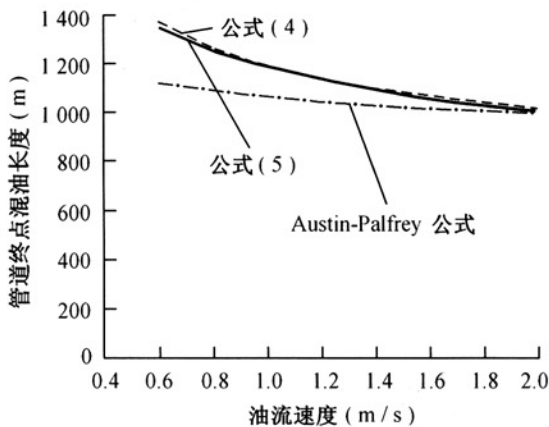


图 2 油流速度对混油长度的影响

需要说明的是,在存在初始混油的情况下,式(6)计算出的终点混油段关于初始混油界面是不对称的,50%浓度界面前的混油段比50%浓度界面后的混油段短;当初始混油长度较大时,计算50%浓度界面后的混油长度时会出现两个解,第一个解通常小于初始混油长度的一半,与实际不符,应舍去。在上述的方法中,式(6)的计算量最大,该方法不仅要计算误差函数 $\phi(Z)$,而且还要求解方程的根,需要借助计算机完成。

(2)为了讨论初始混油量对管道终点混油量的影响程度与管道长度的关系,取管道的内径为0.5 m,初始混油长度为200 m,流速为1.0 m/s,计算结果见表2。从表2可以看出,管道终点混油量随着管道长度的增大而增大,但增大的速率随着管道长度的增大而减小。

表 2 管道长度与管道终点混油量的关系

管道长度 (km)	管道终点混油长度(m)			
	式(5)	式(6)	Austin 公式	式(4)
200	1 499.5	1 265.6	1 077.4	1 210.4
400	2 105.9	1 734.3	1 510.5	1 775.0
600	2 573.1	2 099.8	1 844.6	2 227.3
800	2 967.7	2 410.3	2 126.8	2 618.7
1 000	3 315.6	2 685.0	2 375.7	2 970.1

二、管道变径和分输(或注油)时 终点混油量的计算

采用当量管长法和扩散理论公式法^[3,5]讨论变径和分输(注油)对管道终点混油量的影响。当量管长法是将管道分成若干个管段,每个管段的管径和流量均不变,前一个管段末端的混油量作为下一个管段的初始混油量,计算每个管段末端的混油量时采用有初始混油的管道终点混油量计算方法。前面所述各公式用于变径或分输管道时,应采用当量管长法。

1、扩散理论公式法

若顺序输送管道由 $n+1$ 段直径不同的管段组成,其管内径分别为 d_0, d_1, \dots, d_n ;在各管段中的流速分别为 $V_0(t), V_1(t), \dots, V_n(t)$;各管段的紊流扩散系数分别为 $D_{T0}(t), D_{T1}(t), \dots, D_{Tn}(t)$;混油的起始接触界面流过各管段的时间分别为 $t_1, (t_2 - t_1), \dots, (t_n - t_{n-1}), (t_0 - t_n)$, t_0 为起始接触界面由起点流至终点所需的时间。管道终点处后行油品浓度 K_B 与时间 t 的关系为^[3,5]:

$$K_B = \frac{1}{2} \left[1 - \phi \left(\frac{x}{2\sqrt{A_n}} \right) \right] \quad (7)$$

$$A_n = \left(\frac{d_0}{d_n} \right)^2 \int_0^{t_1} D_{T0}(t) dt + \left(\frac{d_1}{d_n} \right)^2 \int_{t_1}^{t_2} D_{T1}(t) dt + \dots$$

$$+ \left(\frac{d_{n-1}}{d_n} \right)^2 \int_{t_{n-1}}^{t_n} D_{T_{n-1}}(t) dt + \int_{t_n}^t D_{Tn}(t) dt$$

2、算 例

取管道的长度为 200 km, 初始混油长度为 0。如果管道有变径, 变径点取管道的中点, 即 100 km 处, 前段管内径为 500 mm, 后段管内径为 350 mm; 如果有分输, 分输点也为管道中点。因式(6)和式(7)均没有考虑管壁处层流边层造成混油的影响, 即修正系数 $\alpha=1.0$, 为了便于比较, 在式(5)中也取 $\alpha=1.0$ 。

表 3 为管道的流量保持不变, 在管道中点变径的各公式计算结果比较。计算中取管道入口处的流速为 1.2 m/s。从表 3 可以看出, 式(6)和式(7)计算的管道终点混油长度小于管道实际中点的混油长度, 所以式(6)和式(7)不能用于计算有变径的管道终点混油量。

表 3 在流量不变、管径变化时的计算结果比较

计算 公式	管道变径处混油长度(m)		管道终点 混油长度 (m)
	按上游管段 直径	按下游管段 直径	
式(5)	799.5	1 631.5	1 742.8
式(6)	799.5	1 631.5	1 559.4
式(7)	799.5	1 631.5	1 296.1
Austin 公式	735.1	1 500.2	1 613.6
式(4)	759.6	1 550.3	1 738.6

表 4 为管道的内径保持不变, 在管道中点有分输情况下各公式的计算结果比较。计算中取管道入口处的流速为 1.2 m/s, 分输后管道内的流速为 1.0 m/s, 管道内径为 0.5 m。从表 4 可以看出, 式(5)和式(7)的计算结果相同, 而且与式(4)的计算结果相差很小, 而 Austin-Palfrey 公式计算的结果仍然为最小。

表 4 在管径不变、中点分输时的计算结果比较

计算 公式	混油长度(m)	
	100 km 处	管道终点
式(5)	799.5	1 157.0
式(6)	799.5	1 356.2
式(7)	799.5	1 157.0
Austin 公式	735.1	1 049.3
式(4)	759.6	1 154.5

表 5 为管道既有变径, 又有分输情况下的各公式计算结果比较。本例中取管道变径前的油流速度为 1.2 m/s, 经过变径和分输后的油流速度为 1.5 m/s。从表 5 可以看出, 式(6)和式(7)不适合计算有变径情况下的管道终点混油量。

表 5 流量和管径变化对终点混油量的影响

计算 公式	管道 100 km 变径处 的混油长度(m)		管道终点 混油长度 (m)
	按上游管段 直径	按下游管段 直径	
式(5)	799.5	1 631.5	1 772.0
式(6)	799.5	1 631.5	1 649.3
式(7)	799.5	1 631.5	1 335.0
Austin 公式	735.1	1 500.2	1 624.8
式(4)	759.6	1 550.3	1 772.1

三、结 论

(1) 管道终点混油长度随初始混油长度的增大而增大, 但增大的速率随初始混油长度的增大而减小。

(2) 在所讨论的混油长度计算公式中, Austin-Palfrey 公式的计算结果最小, 而式(5)的计算结果最大。当修正系数 $\alpha=1.0$ 时, 式(4)和式(5)的计算结果十分接近; 随着雷诺数的增大, Austin-Palfrey 公式的计算结果逐渐接近于式(4)和式(5)的计算结果。

(3) 式(6)和式(7)不适合计算变径管道混油量。

参 考 文 献

- 1, 苗承武: 输油管道设计和管理, 石油工业出版社(北京), 2001。
- 2, 陈庆勋: 成品油顺序输送分输和变管径混油量的计算, 油气储运, 1999, 18(1)。
- 3, 谷俊标: 顺序输送管道不同工况下混油量的计算, 油气田地面工程, 2005, 24(3)。
- 4, 杨筱衡 张国忠: 输油管道设计与管理, 石油大学出版社(东营), 1996。
- 5, 严大凡: 输油管道设计与管理, 石油工业出版社(北京), 1986。
- 6, 陈 峰 张国忠 亓 强: 顺序输送管道变流速下混油量的计算, 油气储运, 2002, 21(9)。

(收稿日期: 2006-05-18)

编辑: 孟凡强