

文章编号: 1000-8241(2013)02-0121-04

温度影响下的成品油管道油品批次界面跟踪

梁永图¹ 郝丰斐² 张晓海³

1. 中国石油大学(北京), 北京 102249; 2. 航天万源实业公司, 北京 100076;
3. 中国石油集团工程设计有限责任公司北京分公司, 北京 100084

摘要: 为了更准确地跟踪成品油管道输送过程中的油品批次界面, 建立了考虑管道沿线油品温度变化的油品批次界面跟踪模型, 在求解管道沿线油品温度分布的基础上求解批次界面跟踪模型。将此模型应用于西南成品油管道, 对比考虑温度影响和未考虑温度影响下油品批次界面跟踪的结果, 表明考虑管道沿线温度影响的批次界面跟踪模型更接近于实际情况。建议在进行油品批次界面跟踪时, 对管道沿线温度的变化给予关注。(表 4, 图 1, 参 7)

关键词: 成品油管道; 油品批次; 温度; 影响; 界面跟踪

中图分类号: TE832

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2013.02.002

Interface tracking to the oil batch of products pipeline under the influence of temperature

Liang Yongtu¹, Hao Fengfei², Zhang Xiaohai³

1. China University of Petroleum (Beijing), Beijing, 102249; 2. CASC Wanyuan Industrial Company, Beijing, 100076;
3. Beijing Sub-company of Petro China Engineering Design Co. Ltd., Beijing, 100084

Abstract: In order to more accurately track oil batch interface in the oil products pipeline transportation, an oil batch interface tracking model with consideration of pipeline oil temperature changes is built and solved on the basis of solving oil temperature distribution along the pipeline. This model is used in Southwest Products Pipeline to compare the results of oil batch interface tracking considering temperature effects and those not considering temperature effects. The results show that the batch interface tracking model considering pipeline temperature effects is closer to the actual situation. It is recommended to pay attention to the changes of pipeline temperature for oil batch interface tracking. (4 Tables, 1 Figure, 7 References)

Key words: products pipeline, oil batch, temperature, influence, interface tracking

目前,关于顺序输送管道在油品批次界面跟踪方面的研究,较少考虑温度的影响^[1-6]。但实际上,成品油管道油品温度的变化会引起油品密度、体积的变化,从而影响油品批次界面跟踪的准确性。文献[7]讨论了温度对油品体积的影响,但未考虑站内温变、节流等因素的影响。中国石油大学开发的西南成品油管道优化软件未考虑温度的影响,其计算的批次到站时间与实际偏差在 1 h 之内。基于此,模拟计算管道沿线油温的变化,并跟踪油品批次界面位置随时间的变化。

1 油品批次界面跟踪模型

油品界面位置的变化是一个动态的过程。将整个

跟踪时间范围划分为不同时步,在不考虑管道内油品温度对批次体积和混油段长度影响的前提下,建立了 3 种油品批次跟踪模型。

(1) 在初始状态时,管道内原始批次的体积坐标及其在管道内的体积:

$$B_k^0 = V_k^{0\text{old}}$$

$$B_k^0 = B_{k+1}^0 + V_k^0, k \in K^{\text{old}}$$

(2) 在初始状态时,计划期内新注入批次的体积坐标及其在管道内的体积:

$$V_k^0 = 0, k \in K^{\text{new}}$$

$$B_k^0 = 0, k \in K^{\text{new}}$$

(3) 在第 j 时步,管道内各批次的体积坐标及其在管道内的体积:

$$B_k^j = B_{k+1}^j + V_k^j, k \in K^{\text{old}} \cup K^{\text{new}}$$

$$V_k^j = B_k^{j-1} - \sum_{i=0}^l \Delta t_j q_{i,k}^j, k \in K^{\text{old}} \cup K^{\text{new}}$$

式中： i 为管道沿线站场编号，首站编号为0，其他站场按照与管道起点的远近从小到大依次排序； j 为计算过程中时步的编号； k 为计划期内油品批次的编号； K^{new} 为在计划期内将注入的新油品批次集合； K^{old} 为初始时刻已在管道中的油品批次集合； B_k^j 为在第 j 时步第 k 批次油品距管道起点的体积坐标； V_k^j 为在第 j 时步第 k 批次油品在管道中的体积， m^3 ； $q_{i,k}^j$ 为第 i 站场在第 j 时步分输第 k 批次油品时的流量， m^3/s ； Δt_j 为第 j 时步的计算步长， s 。

2 管道沿线温度的计算

准确进行油品批次界面跟踪的关键是准确地计算管道沿线温度。在成品油管道输送过程中，影响温度变化的因素主要包括站内温升、节流温升和站间温变，计算公式如下^[1-2]：

$$T_{\text{pr}} = \frac{gH}{c} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) + T_{\text{pf}} \exp \left[\frac{\alpha v (\rho_{\text{pr}} - \rho_{\text{pf}})}{c} \right]$$

$$T_{\text{tr}} = T_{\text{pr}} + \frac{v (\alpha T_{\text{if}} - 1)}{c} \cdot (\rho_{\text{tr}} - \rho_{\text{tf}})$$

$$T_l = (T_0 + b) + [T_c - (T_0 + b)] \cdot \exp(-al)$$

$$a = K\pi D/Gc, b = gsG/K\pi D$$

式中： T_{pf} 、 T_{pr} 分别为油品过泵前后的温度， $^{\circ}\text{C}$ ； H 为泵扬程， m ； c 为油品比热容， $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ； η 为泵效率； α 为油品热膨胀系数， $1/^{\circ}\text{C}$ ； v 为油品运动粘度， m^2/s ； ρ_{pf} 、 ρ_{pr} 分别为油品过泵前后的压力， Pa ； T_{tf} 、 T_{tr} 分别为油品过节流部件前后温度， $^{\circ}\text{C}$ ； ρ_{tf} 、 ρ_{tr} 分别为油品过节流部件前后压力， Pa ； T_l 为与管道起点距离 l 处的温度， $^{\circ}\text{C}$ ； T_0 为管道埋深处自然地温， $^{\circ}\text{C}$ ； T_c 为管道起点温度， $^{\circ}\text{C}$ ； K 为土壤总传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ ； D 为管道外径， m ； G 为油品的质量流量， kg/s ； l 为管道距离起点长度， m ； s 为油流水力坡降； g 为重力加速度， m/s^2 。

联立上述3个方程可得考虑过泵、节流等因素的管道沿线温度的分布。综合考虑计算精度和计算速度的影响，合理确定计算时步以便准确跟踪各油品批次。

3 温度计算与界面跟踪模型的求解

在模拟开始时刻($t=0$)，根据当前时刻管道的初

始条件可得油品0时刻在管道内的温度分布和物性参数。在 $t=0$ 的温度场下，根据前述油品批次跟踪模型，可求得下一时步($t=t+dt$)管道中各批次油品的质量 m_k^j 和体积 V_k^j 。由于体积 V_k^j 不是在时刻($t=t+dt$)的温度场下求得的，因此存在一定误差。为了减少误差，将体积 V_k^j 转化为各批次油品在管道内的长度，根据此时各批次油品的界面位置重新计算当前时刻($t=t+dt$)各批次油品管道沿线温度、物性参数，以及在管道内的质量 $m_k^{j'}$ 和体积 $V_k^{j'}$ 。当 $|V_k^j - V_k^{j'}| \leq \varepsilon$ 时，则认为满足计算精度要求，此时得到的 $V_k^{j'}$ 即为该时刻管道内各批次油品的体积，否则令 $V_k^j = V_k^{j'}$ 、 $m_k^j = m_k^{j'}$ 重新计算，直到满足精度要求。当模拟输入管道的各批次油品总质量 $\sum m_k^{j'}$ 不小于计划输入的各批次油品总质量 M_k 时，模拟结束(图1)。

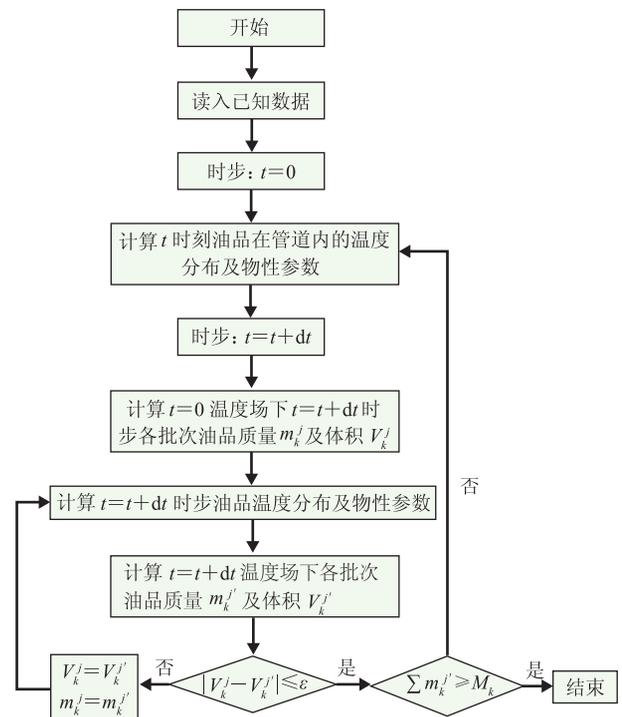


图1 界面跟踪模型求解框图

4 案例分析

以西南成品油管道为例，将界面跟踪模型计算结果(考虑温度)与西南成品油管道优化运行软件计算结果(未考虑温度)和油品实际到站时间进行比较。西南成品油管道全长1555.86 km，共设有16个站场，主要输送油品为0#柴油、90#汽油、93#汽油(表1~表3)。对西南成品油管道2009年09月15日6时至2009年09月19日6时的输油计划进行模拟。

表1 西南成品油管道基本参数

站场			里程	高程	外径	壁厚
序号	名称	类型	/km	/m	/mm	/mm
1	茂名	首站	0.00	18.75	508.0	7.1/6.4
2	玉林	分输泵站	161.09	71.51	457.0	7.1
3	贵港	分输站	246.33	47.94	457.0	7.1
4	黎塘	分输泵站	310.77	105.00	508.0	7.1/6.4
5	柳州	分输泵站	457.66	105.23	457.0	7.1
6	河池	分输泵站	617.09	209.50	457.0	7.9
7	陆桥	泵站	687.79	481.73	457.0	7.1
8	下司	泵站	767.77	925.88	457.0	7.9
9	都匀	分输泵站	876.67	803.53	457.0	7.9
10	贵阳	分输泵站	976.06	1 120.60	406.4	7.1
11	安顺	分输泵站	1 070.87	1 349.61	406.4	6.4
12	晴隆	分输泵站	1 183.37	1 401.20	406.4	7.1
13	盘县	分输泵站	1 261.52	2 017.22	406.4	7.1
14	曲靖	分输站	1 348.84	1 958.78	406.4	6.4
15	秧田冲	分输泵站	1 492.62	2 044.50	273.1	5.6
16	长坡	末站	1 555.86	1 906.04	—	—

表2 西南成品油管道油品批次的分布状态与输送计划

油品序号		油品种类		管道初始状态的油头距首站距离 /km	计划输送油品量 /(10 ⁴ t)
管道初始状态	输送计划	管道初始状态	输送计划		
1	1	93 [#] 汽油-0 ¹⁾	93 [#] 汽油-1 ²⁾	148.874	4.082 680
2	2	0 [#] 柴油-0 ¹⁾	90 [#] 汽油-1 ²⁾	1 555.860	0.927 523
—	3	—	0 [#] 柴油-1 ²⁾	—	2.485 210

1) “0”表示管道内原始油品批次; 2) “1”表示将要注入管道的油品批次。

表3 西南成品油管道各分输站场输送计划

站场	输送油品	开始时间 /h	结束时间 /h	输送流量 /(m ³ ·h ⁻¹)
贵港	0 [#] 柴油-0	0.00	11.51	94
黎塘	0 [#] 柴油-0	0.00	6.65	80
柳州	0 [#] 柴油-0	0.00	6.65	86
		6.65	6.65	101
河池	0 [#] 柴油-0	11.50	86.00	145
		6.65	74.00	83
都匀	0 [#] 柴油-0	0.00	96.00	47
贵阳	0 [#] 柴油-0	0.00	7.00	117
		7.00	75.00	99
安顺	0 [#] 柴油-0	75.00	96.00	78
		0.00	74.00	76
晴隆	0 [#] 柴油-0	74.00	96.00	114
盘县	0 [#] 柴油-0	0.00	96.00	36
曲靖	0 [#] 柴油-0	0.00	94.34	20
		0.00	94.00	130
秧田冲	0 [#] 柴油-0	94.00	96.00	150
		0.00	96.00	145

4.1 各批次油品体积的变化

在模拟期内, 各批次油品的管道沿线温度变化情况: 0[#]柴油-0 批次油品温度在 21.7~33.7 °C 之间变化, 优化软件中的柴油密度取 840 kg/m³, 而模型计算

过程中管输 0[#]柴油的密度变化率为 0.22%~1.78%。因此, 输送相同质量的油品, 考虑温度影响时油品在管道内的体积小于未考虑温度影响时的体积, 最大体积差为 769.5 m³。

93[#]汽油-0/1 批次油品温度在 28.04~36.7 °C 之间变化, 优化软件中的汽油密度取 740 kg/m³, 模型计算过程中管输 93[#]汽油的实际密度在 740 kg/m³ 上下波动, 变化率为 0.41%~0.67%, 其中实际密度偏小的情况占 63.46%。输送相同质量的油品, 考虑温度影响时油品在管道内的体积大于未考虑温度影响时的体积, 最大体积差为 860.65 m³。

90[#]汽油-1 批次油品温度在 30.75~34.33 °C 之间变化, 管输 90[#]汽油的实际密度较大, 变化率为 1.62%~3.51%。因此, 输送相同质量的油品, 考虑温度影响时油品在管道内的体积小于未考虑温度影响时的体积, 最大体积差为 473.36 m³。

0[#]柴油-1 批次油品温度在 30.02~38.93 °C 之间变化, 管输 0[#]柴油的实际密度稍大, 变化率为 1.32%~2.43%。因此, 输送相同质量的油品, 考虑温度影响时油品在管道内的体积小于未考虑温度影响时的体积, 最大体积差为 316.37 m³。

4.2 各批次油品到站时间

根据考虑温度影响、未考虑温度影响与实际各批次油品到达各站场的时间(表4)对比结果,对于93[#]汽油-0/1批次,由于考虑温度影响的体积比未考虑温度影响的体积大,油品在管道内的总长度也长,故在相同时间内油品运行的距离远,而各站间距是一定的,因此,考虑温度影响下的到站时间比未考虑温度影响下的到站时间稍早,与实际到站时间也更接近。

表4 西南成品油管道各批次油品到达各站场的时间

站场	油品批次	到站时间/h		
		未考虑温度	考虑温度	实际温度
茂名	93 [#] 汽油-0/1	—	—	—
	90 [#] 汽油-1	50.74	51.42	51.58
	0 [#] 柴油-1	64.01	63.56	62.92
玉林	93 [#] 汽油-0/1	2.06	1.98	1.49
	90 [#] 汽油-1	84.18	84.41	85.07
	0 [#] 柴油-1	—	—	—
贵港	93 [#] 汽油-0/1	13.57	13.03	12.38
	90 [#] 汽油-1	—	—	—
	0 [#] 柴油-1	—	—	—
黎塘	93 [#] 汽油-0/1	22.71	22.55	21.74
	90 [#] 汽油-1	—	—	—
	0 [#] 柴油-1	—	—	—
柳州	93 [#] 汽油-0/1	49.00	48.30	47.51
	90 [#] 汽油-1	—	—	—
	0 [#] 柴油-1	—	—	—
河池	93 [#] 汽油-0/1	75.17	74.81	74.03
	90 [#] 汽油-1	—	—	—
	0 [#] 柴油-1	—	—	—
陆桥	93 [#] 汽油-0/1	87.16	86.78	85.85
	90 [#] 汽油-1	—	—	—
	0 [#] 柴油-1	—	—	—

相对于90[#]汽油-1批次,93[#]汽油-1批次的体积较大,在首站流量相同的情况下,将93[#]汽油-1批次全部输入管道的时间比未考虑温度影响的情况稍晚,导致90[#]汽油-1批次进入首站的时间推迟0.68 h,实际90[#]汽油-1批次进入首站的时间比未考虑温度的情况推迟了0.84 h。受到90[#]汽油-1批次到达玉林站的时间及其在管道内的实际体积的共同影响,90[#]汽油-1批次到达玉林站的时间推迟了0.23 h,实际90[#]汽油-1批次到达玉林站的时间比未考虑温度的情况推迟0.68 h。

同理,相对于0[#]柴油-1批次,90[#]汽油-1批次的体积较小,在首站流量相同的情况下,将90[#]汽油-1批次全部输入管道的时间未考虑温度影响的情况稍早,导致0[#]柴油-1批次进入首站的时间提前0.45 h,

实际0[#]柴油-1批次进入首站的时间提前1.05 h。

因此,考虑管道沿线油品温度影响后,油品批次跟踪模型各批次油品到达各站场时间的计算结果与各批次油品到达各站场的实际时间更加接近。

综上所述,考虑管道沿线油品温度的影响,建立了油品批次跟踪模型。计算结果表明:在考虑温度影响的情况下,各批次油品在管道内的体积发生增大或减小的变化,同时,各批次油品的到站时间因受到温度的影响程度不同,也存在提前或推迟的差异。因此,在进行油品批次界面跟踪时,应该对管道沿线温度的变化给予关注,充分考虑温度的影响,使油品批次界面跟踪更加准确,从而更好地指导输油生产。

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, 2006: 113-116, 264.
- [2] 曾多礼. 成品油管道输送技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 99-101.
- [3] Diego C C, Jaime C. Dynamic scheduling of multiproduct pipelines with multiple delivery due dates[J]. Computers and Chemical Engineering, 2008, 32: 728-753.
- [4] 蒋仕章, 蒲家宁. 成品油顺序输送时的混油粘度计算与误差分析[J]. 油气储运, 2003, 22(2): 16-29.
- [5] 张运雷, 任凤. 长输成品油管道混油界面跟踪计算及误差修正[J]. 中国化工贸易, 2012, 4(7): 32, 162.
- [6] 钟仕荣, 扬金剑, 王建华. 原油顺序输送的混油界面跟踪与切割[J]. 油气储运, 2005, 24(8): 7-9.
- [7] 崔艳雨, 吴明, 朱云, 等. 压力和温度影响下的油品输送批次界面跟踪[J]. 油气田地面工程, 2008, 27(10): 16-17.

(收稿日期:2012-03-07;编辑:潘红丽)

作者简介:梁永图, 副教授, 1971年生, 2009年博士毕业于中国石油大学(北京)油气储运工程专业, 现主要从事长输管道与油气田集输相关技术的教学和研究工作。

电话: 13910970411; Email: liangyt21st@163.com

Liang Yongtu, Ph.D, associate professor, born in 1971, graduated from China University of Petroleum (Beijing), oil & gas storage and transportation engineering, in 2009, engaged in teaching and research of technologies with respect to long-distance pipeline and gathering of oil and gas field.

Tel: 13910970411, Email: liangyt21st@163.com