

风城稠油掺稀流动性变化规律研究

谢 萍¹ 马晨波² 林小飞¹ 韩善鹏²

1. 中国石油西部管道分公司, 新疆 乌鲁木齐 830012;
2. 中国石油大学(北京)油气管道输送安全国家工程实验室, 北京 102249

摘 要: 随新疆地区风城稠油产量的逐年提高, 部分稠油需通过西部原油管道掺稀输送至下游炼厂。掌握风城稠油掺混稀油后所得混合原油的物性变化规律是稠油掺稀管输的关键环节。通过调研国内外相关文献, 结合风城稠油、克拉玛依稀油、哈国油及其混合原油的实测数据, 总结得到稠油掺稀前后的流动性变化规律。通过对比实测混合原油黏度数据和 17 种混合原油黏度预测模型计算结果, 得到适合风城稠油与稀油的最优黏度预测模型, 为西部管道输送风城稠油提供黏度预测数据, 为制定稠油输油方案提供参考。

关键词: 稠油; 掺稀; 流动性变化; 黏度预测模型

DOI: 10.3969/j.issn.1006-5539.2014.06.002

0 前言

高黏原油的长距离输送通常采用稠油与轻质原油掺混的方式达到原油降凝、降黏、降低管道摩阻的目的。目前, 新疆风城地区稠油产量逐步提高, 但是本地稠油加工能力不足。当产地附近稀油资源较为丰富时, 稠油掺稀是简单有效的方法^[1]。通过西部原油管道安全高效地将稠油掺稀输送至下游炼厂的关键是掌握风城稠油掺混稀油后所得混合原油的物性变化规律。凝点及黏度测试过程繁琐, 通过数学模型的方法对混合原油黏度进行预测能节约实验工作量。国内外学者提出了一些黏度计算模型^[2] (如 Bingham 模型、Arrhenius 模型、Cragoe 模型等), 但每种模型的适用范围不同, 不存在普遍适用的混合油黏度预测模型。针对(风城稠油+克拉玛依稀油)二组分混合原油, 以及(风城稠油+克拉玛依稀油+哈国油)三组分混合原油, 从密度、凝点、黏度三方面研究了稠油掺稀后的流动性变化规律, 优选得到了针对性强的混合油黏度预测模型, 为西部原油管道制定稠油输送方案提供了依据。

1 稠油掺稀流动性变化规律

1.1 单种原油的基础物性

风城稠油和克拉玛依稀油、哈国油的物性差异大,

风城稠油的突出特点为高密度、高凝点、高黏度。风城稠油中胶质含量为 22.6%(w), 沥青质含量为 3.2%(w), 重组分含量高, 导致原油具有高密度。在 20℃条件下, 风城稠油密度为 943.5 kg/m³, 远高于克拉玛依稀油(848.4 kg/m³)和哈国油(837.8 kg/m³)。风城稠油的凝点为 7℃, 高于克拉玛依稀油(2℃)以及哈国油(-5℃)。风城稠油、克拉玛依稀油和哈国油三种原油基础物性测试结果见表 1。由表 1 可见, 在相同温度、相同剪切速率条件下, 风城稠油黏度显著高于克拉玛依稀油、哈国油。

1.2 混合原油密度

在室温条件(20℃)下, 将风城稠油与克拉玛依稀油按照不同的比例配制得到 5 种均匀混合原油后测试其密度, 原油混合比例及密度测试结果见图 1。

将风城稠油与克拉玛依稀油按照 1:1 均匀混合后得到的混合油视为 1 种单一油品, 与哈国油按照不同比例配制得到 5 种混合原油, 原油密度测试结果见图 2。

由图 1~2 可见, 混合原油的密度随其中重组分油质量分数的上升而线性增加, 说明风城稠油、克拉玛依稀油、哈国油 3 种组分油掺混后得到混合原油的密度符合线性加和规律。

收稿日期: 2014-06-13

作者简介: 谢 萍(1972-), 女, 甘肃武威人, 高级工程师, 硕士, 主要从事管道输送工艺的研究工作。

表 1 单种原油基础物性

油样	20℃密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	凝点/ ℃	含蜡 量 w / (%)	胶质 含量 w / (%)	沥青质 含量 w / (%)	温度 / ℃	50 s^{-1} 黏度/ $\text{mPa}\cdot\text{s}$
风城稠油	943.5	7	<1.0	3.2	22.56	10	35 946.73
						20	10 618.07
						30	4 020.60
						40	1 545.50
						50	776.78
						60	452.78
						70	258.52
克拉玛依稀油	848.4	2	8.4	2.3	11.66	10	128.06
						20	38.90
						30	17.66
						40	12.99
						50	10.38
						60	7.58
						70	4.97
哈国油	837.8	-5	8.1	1.5	5.83	10	8.87
						20	6.46
						30	4.12
						40	2.87
						50	2.11
						60	1.75
						70	1.31

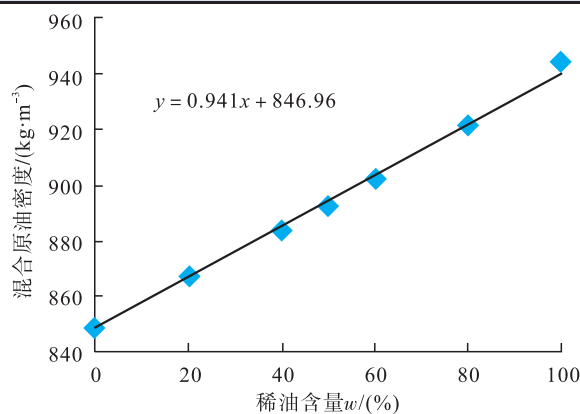


图 1 风城稠油-克拉玛依稀油混合原油密度

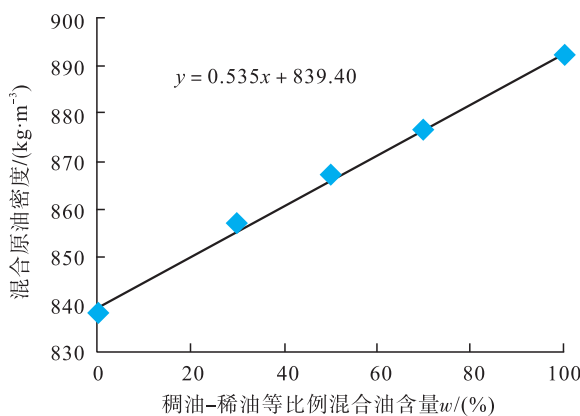


图 2 风城稠油-克拉玛依稀油-哈国油混合原油密度

1.3 混合原油凝点变化规律

风城稠油与克拉玛依稀油按不同比例混合后组成的 5 种混合原油,以及风城稠油与克拉玛依稀油、哈国油按不同比例混合后组成的 6 种混合原油进行凝点测试,测试结果见图 3~5。混合原油凝点与各组分原油凝点通常不是简单的线性加和关系,两种物性差异较大的原油掺混后,由于组分间的相互作用,可能出现混合原油凝点比各组分原油凝点更高或者比各组分原油凝点更低的情况^[3]。

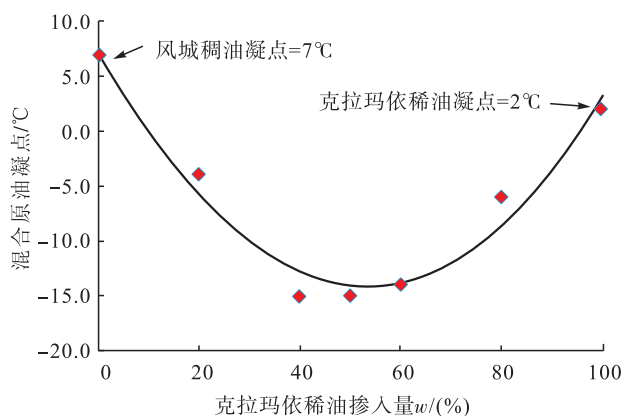


图 3 风城稠油-克拉玛依稀油混合原油凝点

由图 3 可知,风城稠油掺入克拉玛依稀油后凝点下降,混合原油凝点低于风城稠油(7 °C)以及克拉玛依稀油(2 °C)。随着克拉玛依稀油掺入量的逐渐提高,混合油凝点经历先降低后升高的变化趋势。克拉玛依稀油的掺入量在 40%(w)~60%(w) 范围,混合油凝点达到最低值-15~-14 °C。

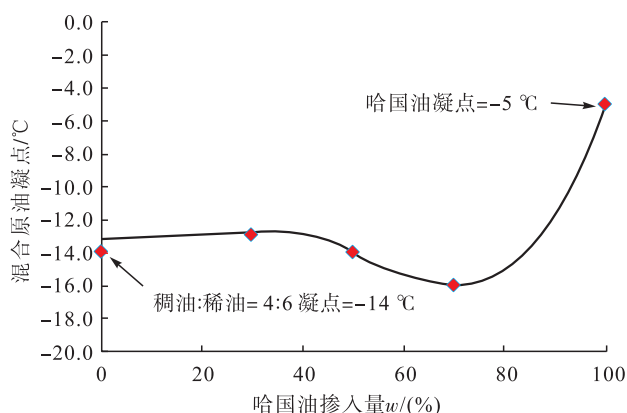


图 4 风城稠油:克拉玛依稀油=4:6 与哈国油的混合原油凝点

由图 4 可见,风城稠油:克拉玛依稀油=4:6 中掺入哈国油后凝点下降。哈国油掺入量低于 30%(w)条件下,混合油凝点与风城稠油:克拉玛依稀油=4:6 类似。在 30%(w)~70%(w)范围内,随着哈国油掺入量的提高,混合油凝点降低,混合油凝点低于风城稠油:克拉玛依稀油=4:6。向风城稠油:克拉玛依稀油=5:5 中掺入哈国油,得到了相似的凝点变化规律,见图 5。

当稠油中掺入少量稀油时,降低了沥青质、胶质的含量,致使其黏度显著降低^[4],混合原油失去流动能力所

对应的凝点更低。当稠油中掺入稀油的比例较高时,混合原油含蜡量低于掺混稀油中的含蜡量,导致蜡晶聚集成结构性胶凝的温度低于稀油胶凝点。基于以上两点,混合原油凝点出现了比各组分原油凝点更低的情况,这有利于稠油掺稀输送。

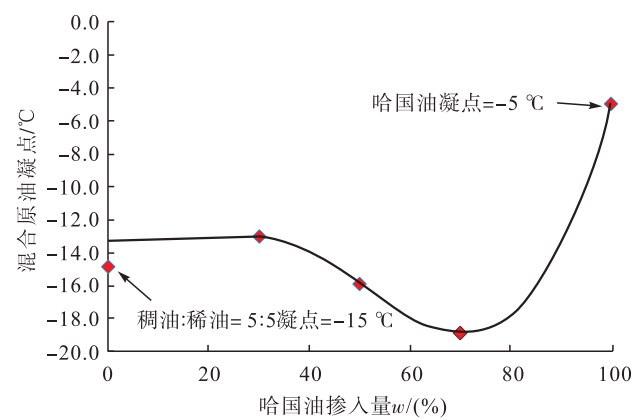


图 5 风城稠油:克拉玛依稀油=5:5 与哈国油的混合原油凝点

1.4 稠油掺稀后的黏度变化

采用 HAAKE VT550 同轴圆筒旋转黏度计,按照 SY/T 520-2008《原油黏度测定-旋转黏度计平衡法》对风城稠油、克拉玛依稀油、哈国油,以及混合原油的黏温关系进行了测试。

稠油中掺入少量稀油后黏度大幅下降^[5]。以 10、40 ℃ 两个温度条件下风城稠油以及掺稀混合油的黏度为例,分析掺稀油后混合原油黏度的降低幅度,数据对比结果见表 2。

表 2 稠油掺稀后黏度变化表

风城稠油掺稀混合原油	黏度 /(mPa·s)		掺稀原油黏度与风城稠油黏度比值/(%)	
	10℃	40℃	10℃	40℃
风城稠油	35 946.73	1 545.50	—	—
风城稠油:克拉玛依稀油=4:6	299.12	54.23	0.83	3.51
风城稠油:克拉玛依稀油=5:5	555.07	81.50	1.54	5.27
风城稠油:克拉玛依稀油=6:4	990.28	129.46	2.75	8.38
(风城稠油:克拉玛依稀油=5:5):哈国油=3:7	25.10	9.96	0.07	0.64
(风城稠油:克拉玛依稀油=5:5):哈国油=5:5	62.43	16.51	0.17	1.07
(风城稠油:克拉玛依稀油=5:5):哈国油=7:3	148.54	29.53	0.41	1.91
(风城稠油:克拉玛依稀油=4:6):哈国油=3:7	28.40	9.59	0.08	0.62
(风城稠油:克拉玛依稀油=4:6):哈国油=5:5	53.95	14.03	0.15	0.91
(风城稠油:克拉玛依稀油=4:6):哈国油=7:3	112.70	25.61	0.31	1.66

注:10℃ 温度下为非牛顿流体,取 50 s⁻¹ 表观黏度。

由表 2 可见,在 10、40 ℃ 两个温度条件下,掺稀后的混合原油与风城稠油黏度比值小于 10%,说明降黏幅度

超过 90%,稠油掺稀降黏效果明显。随着克拉玛依稀油、哈国油掺入比例增大,混合油黏度降低。

2 混合原油黏度模型的筛选

根据二组分混合油(风城稠油+克拉玛依稀油),以及三组分混合原油(风城稠油+克拉玛依稀油+哈国油)黏度测试结果,对 17 种混合原油黏度计算模型进行筛选,对比计算值与实测值,得到最优的黏度计算模型。

2.1 混合原油黏度计算模型概述

混合原油黏度不具有线性加和性,大多数半理论模型建立在热力学基础上,比如基于状态方程或对应状态法的黏度计算模型^[6-7],多采用黏度的不同函数形式进行加和,即:

$$f(\mu_m)=\sum_{i=1}^N X_i f(\mu_i) \tag{1}$$

式中: μ_m 为混合原油的黏度,mPa·s; μ_i 为各组分原油 i 的黏度,mPa·s; X_i 为各组分原油 i 的质量分数; $\sum_{i=1}^N X_i=1$ 。

函数 $f(\mu)$ 形式多样,令 $f(\mu)=\lg \mu$,即得到 Arrhenius 模型^[6]:

$$\lg \mu_m=\sum_{i=1}^N X_i \lg \mu_i \tag{2}$$

混合原油的黏度往往并不简单地遵循式(1)所示的函数线性加权规则,需要在这些基础模型上,进行非线性修正,得到多个修正模型。某些修正模型中需要每两种组分原油按等比混合所得混合原油的黏度数据 μ_{jk} 作为基础数据,具体见表 3。

2.2 混合原油黏度计算模型筛选

2.2.1 混合原油黏度计算模型评价指标

研究中采用以下 4 个评价指标描述混合原油黏度计算模型的准确性^[2],具体见表 4。

2.2.2 混合原油黏度测试结果

对 9 种混合原油进行黏度测试,用于混合油黏度预测模型的筛选,它们分别为:风城稠油:克拉玛依稀油=4:6、5:5、6:4 3 种混合原油,(风城稠油:克拉玛依稀油=5:5):哈国油=3:7、5:5、7:3 3 种混合原油,(风城稠油:克拉玛依稀油=4:6):哈国油=3:7、5:5、7:3 3 种混合原油,测试结果见表 5~6。考虑到有些计算模型需要将每两种组分原油按等比例混合后所得原油的黏度作为基础数据,预测其他配比所得混合油的黏度。因此,实际用于模型筛选的混合原油共 6 种。

2.2.3 混合原油黏度计算值与实测值对比

通过对计算所得结果和实测结果对比,按照引入的 4 个评价指标对模型进行筛选。以(风城稠油:克拉玛依稀油=4:6):哈国油=7:3 混合原油为例,计算黏度与实测黏

表 3 进行评价的混合原油黏度计算模型

模型名称	黏度计算式	修正项系数 B_{12}	修正项系数 C_{12}
Binham 模型	$\mu_m^{-1} = \sum_{i=1}^N X_i \mu_i^{-1}$	N/A	N/A
Binham 修正模型 1	$\mu_m^{-1} = (X_1 \mu_1^{-1} + X_2 \mu_2^{-1} + C_{12} X_1 X_2)$	N/A	$C_{12} = 2(\mu_{12}^{-1} - \mu_1^{-1} - \mu_2^{-1})$
Binham 修正模型 2	$\mu_m^{-1} = (X_1 \mu_1^{-1} + X_2 \mu_2^{-1} + C_{12} B_{12} X_1 X_2)$	$B_{12} = \left(\frac{\lg(100X_1)}{\lg(100X_2)} \right)^{\text{sgn}(C_{12})}$	$C_{12} = 2(\mu_{12}^{-1} - \mu_1^{-1} - \mu_2^{-1})$
双对数模型	$\lg \lg \mu_m = \sum_{i=1}^N X_i \lg \lg \mu_i$	N/A	N/A
双对数修正模型 1	$\lg \lg \mu_m = X_1 \lg \lg \mu_1 + X_2 \lg \lg \mu_2 + C_{12} X_1 X_2$	N/A	$C_{12} = 2(2 \lg \lg \mu_{12} - \lg \lg \mu_1 - \lg \lg \mu_2)$
双对数修正模型 2	$\lg \lg \mu_m = X_1 \lg \lg \mu_1 + X_2 \lg \lg \mu_2 + C_{12} B_{12} X_1 X_2$	$B_{12} = \left(\frac{\lg(100X_1)}{\lg(100X_2)} \right)^{\text{sgn}(C_{12})}$	$C_{12} = 2(2 \lg \lg \mu_{12} - \lg \lg \mu_1 - \lg \lg \mu_2)$
Cragoe 模型	$\mu_m = 5 \times 10^{-4} e^{(1000 \ln 20 / F_m)}$ $F_i = (1000 \ln 20) / [\ln \mu_i - \ln(5 \times 10^{-4})]$ $F_m = \sum_{i=1}^N X_i \cdot F_i$	N/A	N/A
Cragoe 修正模型 1	$\mu_m = 5 \times 10^{-4} e^{(1000 \ln 20 / F_m)}$ $F_i = (1000 \ln 20) / [\ln \mu_i - \ln(5 \times 10^{-4})]$ $F_m = X_1 F_1 + X_2 F_2 + C_{12} B_{12} X_1 X_2$	1.0	$C_{12} = 2(2 F_{12} - F_1 - F_2)$
Cragoe 修正模型 2	$\mu_m = 5 \times 10^{-4} e^{(1000 \ln 20 / F_m)}$ $F_i = (1000 \ln 20) / [\ln \mu_i - \ln(5 \times 10^{-4})]$ $F_m = X_1 F_1 + X_2 F_2 + C_{12} B_{12} X_1 X_2$	$B_{12} = \left(\frac{\lg(100X_1)}{\lg(100X_2)} \right)^{\text{sgn}(C_{12})}$	$C_{12} = 2(2 F_{12} - F_1 - F_2)$
Cragoe 修正模型 3	$\mu_m = 5 \times 10^{-4} e^{(1000 \ln 20 / F_m)}$ $F_i = (1000 \ln 20) / [\ln \mu_i - \ln(5 \times 10^{-4})]$ $F_m = X_1 F_1 + X_2 F_2 + C_{12} B_{12} X_1 X_2$	1.0	$C_{12} = 0.030 \ 2(F_1 + F_2) - 16.240 \ 4$
Arrhenius 模型	$\lg \mu_m = \sum_{i=1}^N X_i \lg \mu_i$	N/A	N/A
Arrhenius 修正模型 1	$\mu_m = 10^{(X_1 \lg \mu_1 + X_2 \lg \mu_2 + C_{12} B_{12} X_1 X_2)}$	$B_{12} = \left(\frac{\lg(100X_1)}{\lg(100X_2)} \right)^{\text{sgn}(C_{12})}$	$C_{12} = 2(2 \lg \mu_{12} - \lg \mu_1 - \lg \mu_2)$
Arrhenius 修正模型 2	$\mu_m = 10^{(X_1 \lg \mu_1 + X_2 \lg \mu_2 + C_{12} B_{12} X_1 X_2)}$	$B_{12} = 1 - \frac{X_1}{2} + \frac{X_2}{2}$	$C_{12} = 2(2 \lg \mu_{12} - \lg \mu_1 - \lg \mu_2)$
Grunberg-Nisson 模型	$\mu_m = 10^{(X_1 \lg \mu_1 + X_2 \lg \mu_2 + C_{12} X_1 X_2)}$	N/A	$C_{12} = 2(2 \lg \mu_{12} - \lg \mu_1 - \lg \mu_2)$
Kendall-Monroe 模型	$\mu_m = \left(X_1 \mu_1^{\frac{1}{3}} + X_2 \mu_2^{\frac{1}{3}} \right)^3$ $\mu_m = e^{(X_1 \ln \mu_1 + X_2 \ln \mu_2)}$	N/A	N/A
Lederer 模型	$a = 17.04 \times \frac{(\rho_1 - \rho_2)^{0.523 \ 7} \cdot \rho_1^{3.274 \ 5} \cdot \rho_2^{1.631 \ 6}}{\ln(\mu_1 / \mu_2)}$ $X_a = \frac{a X_1}{a X_1 + X_2}, \ X_b = 1 - X_a$	N/A	N/A
J.M.Albesharah 模型	$\mu_m = 10^{(X_1 \lg \mu_1 + X_2 \lg \mu_2 - 4.976 \times 10^{-8} X_1 X_2 \cdot (a-b)^2)}$	N/A	N/A

注:J.M.Albesharah 模型中 a 为稠油的 API 值, b 为稀油的 API 值。

度的对比结果见表 7。

根据风城稠油与克拉玛依稀油加哈国油组成的混合原油的计算黏度与实测黏度的对比结果可见,Cragoe

修正模型 2、Grunberg-Nisson 模型和 Arrhenius 修正模型 2 计算结果较好, 计算值与实测值之间的平均相对偏差均小于 10%。

表 4 混合原油黏度计算模型评价指标

指标名称	指标表达式
最大绝对偏差 MAX	$MAX=\max \mu_{cal}-\mu_{mea} $
最大相对偏差 AD	$MaxD=\max (\mu_{cal}-\mu_{mea})/\mu_{mea} $
平均绝对偏差 $MaxD$	$AD=\frac{1}{n} \mu_{cal}-\mu_{mea} $
平均相对偏差 ARD	$ARD=\frac{1}{n} (\mu_{cal}-\mu_{mea})/\mu_{mea} $

注： μ_{cal} 与 μ_{mea} 分别是黏度的模型计算值和实测值， n 表示测试点数目

表 5 风城稠油-克拉玛依稀油混合原油黏度值

温度/℃	混合原油黏度 η (mPa·s)		
	风城稠油 40%(w)	风城稠油 50%(w)	风城稠油 60%(w)
10	299.12	555.07	990.28
20	151.46	238.36	420.70
30	80.20	131.68	233.64
40	54.23	81.50	129.46
50	35.85	49.96	77.59
60	24.56	31.91	50.55

表 6 风城稠油-克拉玛依稀油-哈国油混合原油黏度值

温度/ ℃	混合原油黏度 η (mPa·s)					
	油 A 30%(w)	油 A 50%(w)	油 A 70%(w)	油 B 30%(w)	油 B 50%(w)	油 B 70%(w)
10	28.40	53.95	112.70	25.10	62.43	148.54
20	17.19	30.72	58.04	16.07	32.25	71.63
30	11.87	20.74	37.92	12.60	22.02	44.24
40	9.59	14.03	25.61	9.96	16.51	29.53
50	9.06	10.00	17.42	7.75	11.98	21.32
60	8.16	8.51	12.19	5.31	9.42	15.71

注：油 A 为风城稠油：克拉玛依稀油=4:6 混合原油，油 B 为风城稠油：克拉玛依稀油=5:5 混合原油。

针对不同混合原油，3 个计算模型的平均相对偏差相差不大，但对于测试的 6 种混合原油，Cragoe 修正模型 2 的最大相对偏差优于 Grunberg-Nisson 模型和 Arrhenius 修正模型 2。因此，建议优先选用 Cragoe 修正模型 2 作为混合原油黏度计算模型，6 种混合原油黏度模型计算平均偏差均小于 10%。相比其他 16 种黏度计算模型，Cragoe 修正模型 2 更适用于计算由物性相差较大的原油掺混所得混合原油的黏度。

2.3 预测不同掺混比例混合原油的黏温关系

以风城稠油：克拉玛依稀油=4:6 与哈国油掺混所得混合原油在 10、40℃两个温度条件下的黏度作为示例，利用 Cragoe 修正模型 2 所得计算结果见图 6。

表 7 (风城稠油：克拉玛依稀油=4:6)：哈国油=7:3 混合原油计算黏度结果表

黏度计算模型	绝对偏差 η (mPa·s)		相对偏差 η (%)	
	最大绝对偏差	平均绝对偏差	最大相对偏差	平均相对偏差
Binham 模型	85.05	25.20	75.46	65.54
Binham 修正模型 1	223.17	40.82	208.99	106.08
Binham 修正模型 2	8.48	2.72	26.06	9.24
双对数模型	58.34	40.88	43.61	13.14
双对数修正模型 1	7.79	3.01	77.50	24.17
双对数修正模型 2	20.82	10.36	207.12	64.94
Cragoe 模型	30.79	29.44	25.63	13.51
Cragoe 修正模型 1	2.85	0.46	28.34	8.98
Cragoe 修正模型 2	8.80	1.70	13.24	6.76
Cragoe 修正模型 3	31.16	30.63	27.14	13.69
Arrhenius 模型	8.60	2.58	16.28	9.38
Arrhenius 修正模型 1	3.41	0.43	33.58	8.24
Arrhenius 修正模型 2	3.62	0.22	31.15	7.92
Grunberg-Nisson 模型	4.47	0.29	21.70	6.42
Kendall-Monroe 模型	36.38	9.23	38.21	18.21
Lederer 模型	22.12	7.61	27.36	19.78
J.M.Albesharah 模型	8.60	2.75	16.28	10.17

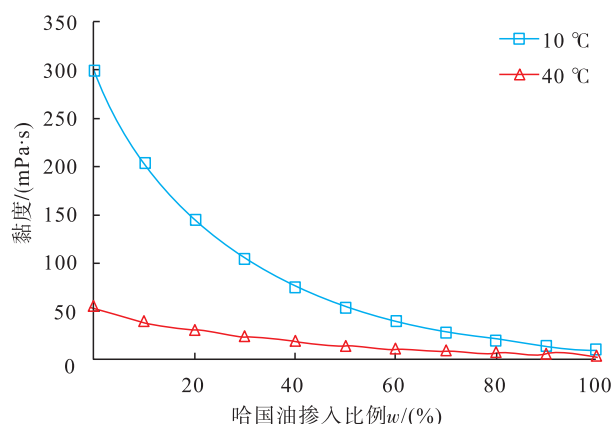


图 6 风城稠油：克拉玛依稀油=4:6 与哈国油的混合原油粘度

由图 6 计算结果可知，利用 Cragoe 修正模型 2 可以得到风城稠油：克拉玛依稀油=4:6 与哈国油在 10、40℃的温度条件下，按任意掺混比例掺混所得混合原油的黏度。采用 Cragoe 修正模型 2 可以对风城稠油：克拉玛依稀油=4:6 与哈国油掺混所得混合原油的黏温关系进行预测。

3 结论

a)通过向风城稠油中掺入克拉玛依稀油、哈国油，可

以显著降凝。风城稠油与克拉玛依稀油组成的混合原油、风城稠油与克拉玛依稀油加哈国油组成的混合原油凝点显著低于风城稠油凝点。

b) 风城稠油掺稀后降黏效果明显。在 10、40℃这两个温度条件下,掺稀后的混合原油与风城稠油黏度比值小于 10%,降黏幅度超过 90%,稠油黏度随加入稀油的增多而降低。

c) 推荐 Cragoe 修正模型 2 作为根据风城稠油与克拉玛依稀油组成的混合原油、风城稠油与克拉玛依稀油加哈国油组成的混合原油黏度计算模型。采用 6 种混合原油实测值验证发现,模型计算值与实测值之间的平均相对偏差小于 10%。相比其他 16 种黏度计算模型,Cragoe 修正模型 2 更适用计算由物性相差较大的原油掺混所得混合原油的黏度。采用 Cragoe 修正模型 2 可以对物性相差较大 2 种原油掺混所得混合原油的黏温关系进行预测。

参考文献:

- [1] 孟科全,唐晓东,邹雯雯.稠油降黏技术研究进展[J].天然气与石油,2009,27(3):30-34.
Meng Kequan, Tang Xiaodong, Zou Wenwen. Progress in Research on Heavy Oil Viscosity Reduction Technology [J]. Natural Gas and Oil, 2009, 27(3): 30-34.
- [2] 钱建华.中国石化进口原油输送方案研究[D].北京:中国石油大学,2007.
- Qian Jianhua. Transportation of Imported Crude Oils through the SINOPEC Pipeline System[M]. Beijing: China University of Petroleum, 2007.
- [3] Zhang Jinjun, Zhao Tanghua, Wu Haihao. Addition of a Heavy Crude May Facilitate Pipelining of Some Waxy Crudes. Houston: Proc. of the 6th UNITAR Int. Conf. on Heavy Crude and Tar Sands, 1995.
- [4] 王治红,肖惠兰,左毅.开采与集输过程中稠油降黏技术研究进展[J].天然气与石油,2012,30(6):1-4.
Wang Zhihong, Xiao Huilan, Zuo Yi. Research Progress of Viscosity Reducing Technology in Heavy Oil Production and Gathering and Transportation [J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30(6): 1-4.
- [5] Ghannam T, Hasan W, Abu-Jdayil B, et al. Rheological Properties of Heavy & Light Crude Oil Mixtures for Improving Flowability [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2012, 81: 122-128.
- [6] Monnery W D, Svrcek W Y, Mehrotra A K. Viscosity: A Critical Review of Practical Predictive and Correlative Methods [J]. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 1995, 73 (1): 3-40.
- [7] Mehrotra A K, Monnery W D, Svrcek W Y. A Review of Practical Calculation Methods for the Viscosity of Liquid Hydrocarbons and Their Mixtures [J]. Fluid Phase Equilibria, 1996, 117(1): 344-355.

习近平主席和普京总统共同见证 中国石油与俄气俄油签署合作协议

2014年11月9日,在中国国家主席习近平和俄罗斯总统普京的共同见证下,中国石油集团董事长周吉平代表中国石油分别与俄罗斯天然气工业股份公司和俄罗斯国家石油公司签署《关于沿西线管道从俄罗斯向中国供应天然气的框架协议》和《关于万科油田项目合作的框架协议》。

《关于沿西线管道从俄罗斯向中国供应天然气的框架协议》是中国石油与俄气继今年5月签署《中俄东线供气购销合同》之后,中俄天然气合作取得的又一新进展。协议规定未来俄罗斯通过中俄西线天然气管道向中国供气的基本技术经济条款,确定供气规模 $300 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 、供气量渐增期为4~6a、供气期限30a的合作框架以及下步工作计划等。该供气项目对于优化我国能源消费结构、转变经济发展方式、促进中西部地区经济发展具有重要意义。

在中国石油与俄罗斯国家石油公司签署的《关于万科油田项目合作的框架协议》中,双方确定在万科油田开展合作的意向,俄方邀请中国石油购买万科油田部分股份,协议规定了交易原则等条件。万科油田是俄罗斯国家石油公司目前正在开发中的油田,2013年产量达到 $2200 \times 10^4 \text{ t}$ 左右。框架协议的达成体现了互利共赢的合作原则,有利于双方进一步加强上下游一体化战略合作。

(王路 摘自中国石油报)