

高速剪切对定靖三线加剂原油改性效果影响

乔孟辰 安家荣

中国石油大学(华东), 山东 青岛 266555

摘要:为探究短时间高速剪切对加剂原油改性效果的影响规律,优选出合适的过泵剪切模拟方式,以定靖三线混合原油-2为例,分别利用搅拌器和流变仪对加剂原油进行高速剪切,并以凝点和表观粘度考察高速剪切温度、剪切强度、剪切时间三个因素对加剂原油改性效果的影响规律,对比分析搅拌器高速剪切和流变仪高速剪切的异同。发现长时间或低温下的高速剪切对加剂原油改性效果影响较大,而短时间内剪切强度的变化对其影响较小,流变仪高速剪切的实验结果滞后于搅拌器高速剪切,因此管输过程中应尽量避免原油经受长时间或低温下的高速剪切,降凝剂加注位置可选在离心泵前,而过泵剪切模拟使用搅拌器更合适。

关键词:高速剪切;搅拌器;流变仪;原油降凝剂

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2016.02.002

0 前言

剪切历史会影响降凝剂对原油的改性效果,其中短时间高速剪切对加剂原油改性效果影响较大^[1]。本文以定靖三线混合原油-2为例,通过实验模拟高速剪切,探究其对降凝剂改性效果的影响规律。

1 加剂原油的基本物性

定靖三线混合原油-2中蜡、胶质、沥青质的质量含量分别为9.81%、12.85%和1.04%^[2]。通过实验筛选出GY3(L)降凝剂为适合定靖三线混合原油-2的降凝剂,最佳添加浓度为100 mg/kg。为保证实验条件统一,避免实验处理过程中原油轻组分挥发,选择50℃作为原油热处理温度。在50℃热处理条件下,测得定靖三线加剂混合原油-2(以下简称加剂混合原油-2)凝点为16℃,析蜡点为30℃,反常点为24℃^[3]。

2 高速剪切对加剂原油的影响

在管道输送过程中,原油会受到多种形式的剪切作用,而离心泵的剪切因其高速剧烈会使原油的物化性质

发生巨变^[4]。高速剪切模拟实验中,分别利用搅拌器和流变仪对加剂原油进行高速剪切,并以凝点和表观粘度来考察剪切温度、剪切强度、剪切时间三个因素对加剂原油改性效果的影响规律^[5]。

实验方法:测量不同高速剪切条件下加剂原油的凝点并与未剪切时凝点^[6]作对比,选取最低值以上约7℃为表观粘度的测量温度,以确保原油在该温度下为非牛顿流体。根据《原油粘度测定 旋转粘度计平衡法》测量不同高速剪切条件下加剂混合原油-2的表观粘度^[7]。

2.1 剪切温度对加剂原油改性效果的影响

不同温度下,含蜡原油各组分在原油中的形态结构、聚集状态等不同,因此高速剪切对含蜡原油低温流动性的影响也不同^[8]。不同高速剪切温度下加剂混合原油-2的凝点见图1。搅拌器和流变仪剪切时凝点最低分别为15.3℃和16℃,故分别测量加剂混合原油-2在22℃和23℃下的表观粘度,见表1。

搅拌器剪切:温度较高(50、40℃)时,短时间的高速剪切降低了原油的表观粘度;当剪切温度(35、30℃)逐渐接近析蜡点时,原油的表观粘度开始上升并高于未剪

收稿日期:2015-08-24

基金项目:延长石油集团定靖三线油品物性分析及加降凝剂研究

作者简介:乔孟辰(1990-),女,河北廊坊人,硕士研究生,主要从事多相管流,油气田集输技术的研究工作。

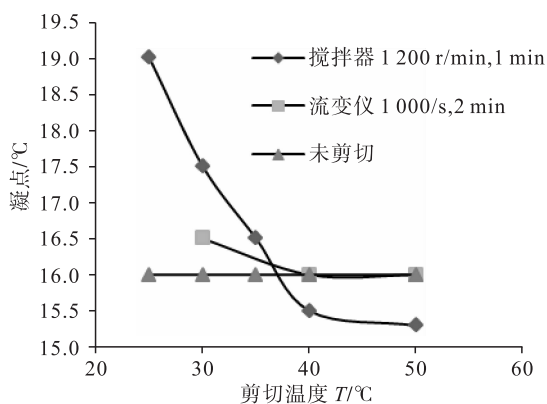


图1 不同剪切温度下加剂混合原油-2的凝点

表1 不同剪切温度下加剂混合原油-2的表观粘度

搅拌方式	高速剪切温度 $T/^\circ\text{C}$	不同剪切速率下表观粘度 $\eta/(\text{mPa}\cdot\text{s})$			
		40 s^{-1}	70 s^{-1}	120 s^{-1}	200 s^{-1}
搅拌机	50	45.72	44.07	42.54	41.21
	40	55.69	50.07	47.62	44.63
	35	87.77	68.37	58.74	52.04
	30	83.77	66.78	58.49	52.13
	25	241.08	160.9	118.34	92.69
	未剪切	58.48	51.82	49.00	46.17
	流变仪	50	51.61	48.08	45.06
40		50.46	48.76	45.78	43.34
35		51.87	48.95	46.08	43.60
30		61.04	52.65	48.55	45.19
25		63.87	56.13	50.58	46.66
20		60.79	55.81	52.33	49.50
未剪切		57.17	51.43	46.71	43.55

切原油;当剪切温度(25 °C)在反常点附近时,降凝剂的改性效果显著恶化。

流变仪剪切:温度为50、40、35 °C时,短时间的高速剪切降低了原油的表观粘度;当温度(35、30、25 °C)在析蜡点附近时,加剂原油的改性效果消失甚至变差。

2.2 剪切强度对降凝剂改性效果的影响

加剂原油的性质与高速剪切强度相关^[9]。实验分别利用搅拌器的剪切转速 n ^[10]和流变仪的剪切速率 $\dot{\gamma}$ ^[11]来表征剪切强度的大小。不同剪切强度下加剂混合原油-2的凝点见图2。搅拌器和流变仪剪切时凝点最低分别为13.3 °C和15.5 °C,故分别测量加剂混合原油-2在20 °C和22 °C下的表观粘度,见表2~3。

搅拌机剪切:在整个剪切转速变化过程中,原油的表观粘度都低于未剪切原油;剪切转速从1 000 r/min变为1 200 r/min时,原油的凝点及表观粘度增幅较大。

流变仪剪切:随着剪切速率的增加,原油的表观粘度增幅缓慢,最终表观粘度高于未剪切原油。

2.3 剪切时间对加剂原油改性效果的影响

高速剪切时间长短同样会对原油产生不同的作用^[12]。

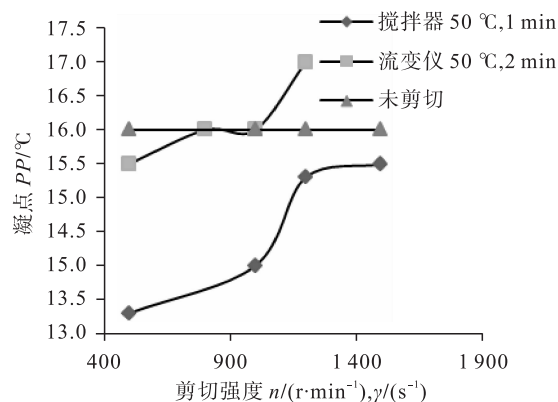


图2 不同剪切强度下加剂混合原油-2的凝点

表2 搅拌机不同剪切强度下加剂混合原油-2的表观粘度

高速剪切转速 $n/(r\cdot\text{min}^{-1})$	不同剪切速率下表观粘度 $\eta/(\text{mPa}\cdot\text{s})$			
	40 s^{-1}	70 s^{-1}	120 s^{-1}	200 s^{-1}
500	60.27	55.43	51.04	48.10
1 000	62.19	55.94	52.62	49.39
1 200	72.17	62.17	56.56	52.31
1 500	73.23	62.73	56.89	52.39
未剪切	80.25	69.14	62.36	57.18

表3 流变仪不同剪切强度下加剂混合原油-2的表观粘度

高速剪切转速 $n/(r\cdot\text{min}^{-1})$	不同剪切速率下表观粘度 $\eta/(\text{mPa}\cdot\text{s})$			
	40 s^{-1}	70 s^{-1}	120 s^{-1}	200 s^{-1}
500	50.01	48.07	45.43	43.66
800	54.55	49.61	47.16	44.66
1 000	55.92	51.68	48.11	45.53
1 200	63.13	55.63	51.40	48.16
未剪切	57.65	51.34	47.85	44.96

不同剪切时间下加剂混合原油-2的凝点见图3。搅拌器和流变仪剪切时凝点最低分别为15.3 °C和14 °C,故分别测量混合原油-2在22 °C和21 °C下的表观粘度,见表4。

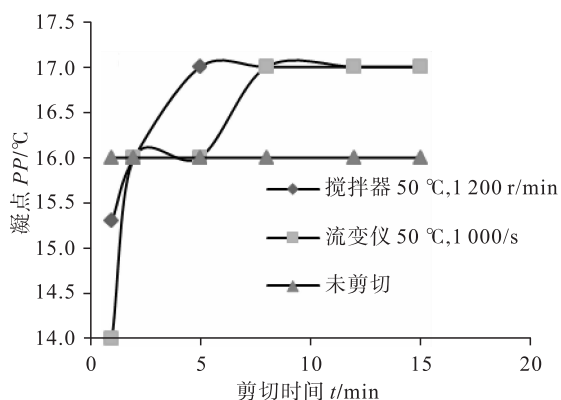


图3 不同剪切时间下加剂混合原油-2的凝点

表4 不同剪切时间下加剂混合原油-2的表观粘度

剪切方式	剪切时间 t /min	不同剪切速率下表观粘度 η / (mPa·s)			
		40 s ⁻¹	70 s ⁻¹	120 s ⁻¹	200 s ⁻¹
搅拌器	1	45.72	44.07	42.54	41.21
	2	52.30	48.85	45.03	42.02
	5	70.48	61.74	56.43	51.95
	8	71.33	61.61	56.17	52.14
	12	75.18	62.58	54.93	49.87
	15	78.98	67.09	60.12	54.96
	未剪切	58.48	51.82	49.00	46.17
流变仪	1	54.27	50.35	48.50	46.13
	2	56.04	51.43	48.30	45.85
	5	58.70	52.37	48.96	46.81
	8	61.04	52.65	48.55	45.19
	12	67.61	59.20	54.71	50.77
	15	74.35	60.17	53.90	49.71
	未剪切	61.01	55.51	51.67	48.24

搅拌器剪切:剪切时间较短(1、2 min)时,原油的表观粘度都低于未剪切原油;剪切时间继续增加,加剂原油的改性效果逐渐恶化,但恶化速度比较平均。

流变仪剪切:剪切时间较短时,短时间的高速剪切改善了原油的低温流动性;当剪切时间延长到12 min时,原油表观粘度开始高于未剪切原油。

2.4 数据对比分析

分析搅拌器高速剪切和流变仪高速剪切对加剂混合原油-2改性效果的影响规律异同,并分析其产生原因。

2.4.1 搅拌器和流变仪剪切规律相同点

加剂混合原油-2在两种剪切方式作用下凝点和表观粘度的变化趋势相似。

1) 加剂原油制备过程中手动搅拌强度较低,降凝剂在混合原油中的溶解有限,短时间的高速剪切促进了降凝剂在原油中的溶解^[13],故剪切温度较高及剪切时间较短时,原油的表观粘度有所降低。

2) 当剪切温度逐渐接近析蜡点时,原油中的蜡分子逐渐析出^[14],此时高速剪切破坏现有蜡晶聚集体而产生众多未与GY3(L)链接过的蜡晶断面,并以此为晶核促进蜡晶的进一步形成,原油的表观粘度明显增加^[15-16],降凝剂逐渐失效。

3) 随着剪切强度的增加或剪切时间的延长,溶解后的降凝剂与蜡晶之间的链接逐渐被打散^[17],来不及与刚产生的细小蜡晶发生作用,原油的表观粘度便逐渐升高。当剪切强度或剪切时间增加到一定程度后,被打碎的蜡晶细小到不再受剪切作用的影响,故原油低温流动性恶化速度变缓。

2.4.2 搅拌器和流变仪剪切规律不同点

搅拌器和流变仪的剪切原理不同。搅拌器通过叶片进行剪切,剪切的无序性强,原油飞溅严重,剪切时原

油液面变化明显^[18];而流变仪的剪切作用面为转子外壁,剪切相对较缓^[19]。

1) 搅拌器高速剪切开始恶化的温度要高于流变仪高速剪切,恶化程度也较高。

2) 不同剪切强度下,搅拌器剪切的原油流变性都优于未剪切原油,且随剪切强度增加原油表观粘度变化明显,而流变仪剪切的原油表观粘度则与未剪切原油相差不多。剪切温度较高时,大的蜡晶聚集体还未形成,搅拌器剪切的无序性使降凝剂的溶解更加充分,还未达到恶化原油低温流动性的强度;而流变仪的剪切强度本来就弱,故短时间高速剪切对原油影响并不大^[20]。

3) 随剪切时间的延长,流变仪高速剪切凝点的稳定滞后于搅拌器,原油的低温流动性优于搅拌器剪切。

3 结论

1) 在剪切时间较长或剪切温度接近反常点时,加剂原油的表观粘度明显增加;剪切时间较短且剪切温度较高时,加剂原油的低温流动性比未剪切原油有所改善。因此,在加剂原油长距离输送过程中,应尽量避免原油经受长时间或低温下的高速剪切,无法避免时应及时补充降凝剂。

2) 短时间内内剪切转速、剪切速率的变化对加剂原油凝点和表观粘度的影响不大,剪切强度较低时甚至有所降低。因此,短时间过泵剪切不会对降凝剂改性效果产生很大影响,降凝剂加注位置可选在离心泵前。

3) 流变仪高速剪切的实验结果滞后于搅拌器剪切,而搅拌器剪切的工作原理与离心泵更相近,剧烈程度更大,剪切的无序性使其更接近实际情况,因此搅拌器剪切的实验结果更可信,建议高速剪切实验选用搅拌器进行模拟。

参考文献:

- [1] 李传宪. 原油流变学[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2009: 155-157.
Li Chuanxian. Crude Oil Rheology [M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2009: 155-157.
- [2] 李传宪, 史秀敏. 加剂长庆原油的流变性研究[J]. 油田化学, 2001, 18(1): 83-86.
Li Chuanxian, Shi Xiumin. Rheological Properties of Changqing Crude Oil Treated by Pour Point Depressant GY3 [J]. Oilfield Chemistry, 2001, 18(1): 83-86.
- [3] 于涛, 顾建栋, 殷炳纲, 等. 剪切历史对西部管道外输吐哈油物性的影响[J]. 油气储运, 2012, 31(1): 71-74.
Yu Tao, Gu Jiandong, Yin Binggang, et al. The Effects of Shear History on the Physical Properties of TuHa Oils in West

- Pipelines [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2012, 31 (1): 71 - 74.
- [4] 马一枚. 大庆原油降凝剂合成及作用机理研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2006.
Ma Yimei. Synthesizing PPD for Daqing Crude Oil and Studying on Mechanism [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2006.
- [5] 孟迪. J油田含蜡原油常温输送技术及剪切效应模拟研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2014.
Meng Di. Study of Transporting Technology at Ordinary Temperature and Simulation of Shearing Effect of Waxy Crude Oil in the J Oilfield [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2014.
- [6] 李传宪, 杨飞, 陈红, 等. 原油凝点测定法: SY/T 0541 - 2009[S]. 北京: 国家能源局, 2009: 2.
Li Chuanxian, Yang Fei, Chen Hong, et al. Test Method for Gel Point of Crude Oils; SY/T 0541 - 2009 [S]. Beijing: National Energy Administration, 2009: 2.
- [7] 刘学, 陈红, 郑玉泉, 等. 原油粘度测定 旋转粘度计平衡法: SY/T 0520 - 2008[S]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2008: 2.
Liu Xue, Chen Hong, Zheng Yuquan, et al. Viscosity Determination of Crude Petroleum-Equilibrium Method by Rotational Viscometer; SY/T 0520 - 2008 [S]. Beijing: National Development and Reform Commission, 2008: 2.
- [8] 李传宪, 李琦瑰, 郑树贵. 一种表征原油流变结构随温度变化的新方法[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24 (5): 76 - 79.
Li Chuanxian, Li Qigui, Zheng Shugui. A New Method for Describing Rheological Structure in Changing with Temperature [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2000, 24 (5): 76 - 79.
- [9] 吕爱华. 加剂含蜡原油剪切效应和模拟技术研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2006.
Lü Aihua. Research on Shear Effect on Waxy Crude Oils Treated with Pour Point Depressant and Simulation of Shear History [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2006.
- [10] 李玉凤. 加剂原油输送过程中的剪切作用模拟方法[J]. 油气储运, 2005, 24(11): 9 - 12.
Li Yufeng. Studies on the Simulation of Shear Effect in Pipelining PPD-beneficiated Crude [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2005, 24 (11): 9 - 12.
- [11] 荣海伦. 高凝原油降凝降粘技术研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2011.
Rong Hailun. Study on Pour Point-viscosity Reducing Technology for High Pour Point Crude Oil [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2011.
- [12] 张劲军, 赵堂华, 刘忠晖, 等. 剪切作用对添加降凝剂后新疆混合原油流变性的影响[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1993, 17(6): 74 - 78.
Zhang Jinjun, Zhao Tanghua, Liu Zhonghui, et al. Effect of Shear on Rheology of Xinjiang Combined Crude Oil Treated by Pour Point Depressant [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 1993, 17 (6): 74 - 78.
- [13] 薛维海. 高效降凝剂的研制[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2006.
Xue Weihai. Synthesis of High-efficient Pour Point Depressant [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2006.
- [14] 盖芸. 含蜡原油管道蜡沉积模型研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2014.
Gai Yun. Study of Wax Deposition Model in the Waxy Crude Oil Pipeline [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2014.
- [15] 李鸿英, 张劲军. 剪切作用对加剂原油低温流动性影响的研究[J]. 油气田地面工程, 2002, 21(1): 96 - 97.
Li Hongying, Zhang Jinjun. Study of Effects of Shearing on the Low Temperature Fluidity of Crude Oil with PPD [J]. Oil-gas Field Surface Engineering, 2002, 21 (1): 96 - 97.
- [16] 苗青. 加剂原油过泵剪切的室内模拟实验[J]. 油气储运, 2004, 23(8): 24 - 27.
Miao Qing. Simulation Experiment on Pump-shear Effects on PPD-treated Crude Oil [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2004, 23 (8): 24 - 27.
- [17] 刘银庆, 康万利, 马一玫, 等. 大庆原油降凝剂效果评价[J]. 大庆石油学院学报, 2006, 30(3): 40 - 42.
Liu Yinqing, Kang Wanli, Ma Yimei, et al. Evaluation of the Effect of Pour Point Depressant in Daqing Crude Oil Field [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2006, 30 (3): 40 - 42.
- [18] 胡锡文, 林兴华, 刘海洋, 等. 8种搅拌机搅拌特性的实验研究[J]. 化工机械, 2005, 32(5): 259 - 262.
Hu Xiwen, Lin Xinghua, Liu Haiyang, et al. Experimental Investigations on the Mixing Characteristics of Eight Mixers [J]. Chemical Engineering & Machinery, 2005, 32 (5): 259 - 262.
- [19] 徐继润, 徐俊杰, 丁仕强. 旋转流变仪测量空间的探讨[J]. 过滤与分离, 2010, 20(1): 1 - 3.
Xu Jirun, Xu Junjie, Ding Shiqiang. Discussion of Spatial-measurement with Rotation Rheometers [J]. Filtration & Separation, 2010, 20 (1): 1 - 3.
- [20] 杨景丽. 惠宁线原油流变性及输送工艺研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2010.
Yang Jingli. Research on the Oil's Rheological Characteristics and Transportation Technology of Hul-Ning Oil Pipeline [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2010.