

·油气采收率·

## 复合体系各组分对油水界面剪切粘弹性的影响规律

侯吉瑞<sup>1,2</sup>, 谢玉银<sup>3\*</sup>, 赵凤兰<sup>1,2</sup>, 谢东海<sup>1,2</sup>, 马云飞<sup>1,2</sup>, 苑玉静<sup>1,2</sup>

(1.中国石油大学(北京)提高采收率研究院,北京 102249; 2.石油工程教育部重点实验室,北京 102249;

3.中国石油新疆油田分公司 风城油田作业区,新疆 克拉玛依 834000)

**摘要:**为了探究复合体系各组分(碱、表面活性剂、聚合物)对油水界面剪切粘弹性的影响规律,利用 Physica MCR301 型流变仪测量了不同化学驱油体系与原油的界面剪切粘弹性。结果表明,原油和去离子水可以形成较坚固的界面膜,有较高的界面剪切粘弹性;少量表面活性剂(如质量浓度为 100 mg/L)的加入就会大幅度降低油水界面剪切粘弹性,在考察的质量浓度范围内,表面活性剂溶液的质量浓度越大,界面剪切粘弹性越低,在较高的质量浓度(如 3 000 mg/L)和较高的振荡角频率(如 1 rad/s)下,界面储能模量超出仪器测量下限;碱会严重破坏油水界面膜,使界面的损耗模量大幅度降低,界面的储能模量超出仪器测量下限,但是有机碱对界面膜的伤害要小于无机碱;聚合物的加入也会对油水界面剪切粘弹性产生影响,形成的界面膜抗剪切性能减弱。

**关键词:**界面剪切粘弹性 界面膜 表面活性剂 碱 聚合物

中图分类号:TE357.43

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)01-0068-06

## Effects of components in combination system on oil-water interfacial shear viscoelasticity

Hou Jirui<sup>1,2</sup>, Xie Yuyin<sup>3</sup>, Zhao Fenglan<sup>1,2</sup>, Xie Donghai<sup>1,2</sup>, Ma Yunfei<sup>1,2</sup>, Yuan Yujing<sup>1,2</sup>

(1.Enhanced Oil Recovery Research Institute, China University of Petroleum(Beijing), Beijing City, 102249, China;

2.MOE Key Laboratory of Petroleum Engineering, Beijing City, 102249, China;

3. Fengcheng Oilfield Operation Area, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang, 834000, China)

**Abstract:** Physica MCR301 rheometer was used to measure interfacial shear viscoelasticity between different chemical flooding systems and crude oil in order to explore effects of components in combination system (alkali, surfactant, polymer) on oil-water interfacial shear viscoelasticity. The results show that rigid interfacial film can be formed between crude oil and deionized water with high interfacial shear viscoelasticity. Small amounts of surfactant (like mass concentration of 100 mg/L) will significantly reduce interfacial viscoelasticity of crude oil and water. Within the examined mass concentration of the surfactant, higher concentration of the surfactant brings lower interfacial shear viscoelasticity of the interfacial film. Under the condition of high mass concentration of the surfactant (like 3 000 mg/L) and high oscillation angular frequency (like 1 rad/s), interfacial storage modulus exceeds the lower limit of the instrument. Alkali may cause serious damage to the interfacial film. Interfacial loss modulus of lye-oil system are far less than that of water-oil system and interfacial storage modulus of the lye-oil system is too small to be tested, but the damage of organic base on the interfacial film is smaller than that of inorganic base. Polymer will increase the oil-water interfacial viscoelasticity, but the interfacial film can be destroyed easily.

**Key words:** interfacial shear viscoelasticity; interfacial film; surfactant; alkali; polymer

界面流变性是油水界面膜的重要性质,与原油乳状液的稳定性和驱替速度密切相关<sup>[1-14]</sup>,包括界

面粘度和界面粘弹性等。界面粘弹性反映了界面膜强度,它使界面膜具有可扩张和可压缩性,当界

收稿日期:2014-11-25。

作者简介:侯吉瑞(1965—),男,吉林九台人,教授,博导,从事提高采收率与油田化学方面的研究。联系电话:(010)89731663,E-mail:houljirui@126.com。

\*通讯作者:谢玉银(1990—),女,山东聊城人,硕士。联系电话:18010119882,E-mail:xyy19900418@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“油田开采后期提高采收率技术”(2011ZX05009-004)。

面膜遭到破坏时,较强的界面粘弹性能使面膜产生抵抗并迅速恢复形变。界面粘弹性可用界面储能模量和界面损耗模量2个参数表征,分别代表面膜的弹性和粘性<sup>[15]</sup>。界面粘弹性分为界面剪切粘弹性和界面扩张粘弹性,2种粘弹性互补且针对界面层的焦点不同<sup>[16]</sup>。界面扩张粘弹性反映的是面膜的瞬时稳定性,界面剪切粘弹性反映了面膜的长期稳定性<sup>[17-20]</sup>。无论是实验还是理论研究都表明,界面剪切粘弹性要比界面扩张粘弹性小几个数量级,因此前者对测量方法和测量精度的要求很高,目前针对界面粘弹性的研究主要集中在界面扩张粘弹性<sup>[21-23]</sup>,几乎没有针对界面剪切粘弹性的研究。

利用Physica MCR301型流变仪<sup>[24]</sup>,采用双河油田某油组原油,分别测量原油与去离子水、一元表面活性剂溶液、一元聚合物溶液、一元碱液、表面活性剂—聚合物二元体系溶液以及表面活性剂—碱—聚合物三元体系溶液的界面剪切粘弹性,考察三元复合体系的各组分对界面剪切粘弹性的影响规律。

## 1 实验器材与方法

### 1.1 实验器材与条件

实验仪器包括Physica MCR301型流变仪、容量瓶、烧杯和50 mL注射器。

实验试剂包括去离子水,由阴离子型和非离子型复配而成的有效质量分数为50%的表面活性剂SH-6,水解度为19.43、相对分子质量为 $1\ 965.9 \times 10^4$ 的聚合物1630S,氢氧化钠(分析纯),乙醇胺,双河油田除气除水原油与煤油按体积比为2:1配制成的模拟油(实验温度下粘度为 $4.6\ \text{mPa}\cdot\text{s}$ )。

实验温度为 $50\ ^\circ\text{C}$ 。

### 1.2 界面剪切粘弹性测试原理

应用Physica MCR301型流变仪测量界面剪切粘弹性,所用转子为双锥形几何体转子。转子以某一角频率和应变幅度振荡,其边缘位于2种非混相流体的界面区域,对界面施加正弦剪切,使之形变,但是界面区域不发生变化,体相对于界面剪切粘弹性的影响通过水动力学分析来排除,这样就可以对界面的剪切粘弹性进行定量测量。以前的很多测试方法都没有排除体相的影响,以至于不能得到准确的界面剪切粘弹性。

### 1.3 界面剪切粘弹性测试方法

界面剪切粘弹性测试步骤包括:①打开仪器和

转子连接到仪器上;②在测量池中加入一定量的待测水溶液(下相液体);③利用法向应力确定转子的位置,使转子的边缘与下相液体表面相切;④用注射器取30 mL模拟油(上相液体),缓缓地、均匀地加到转子表面,并在测量杯上面盖上防挥发盖;⑤设定角频率、应变振幅、取点间隔、取点个数等参数,静置30 min后,开始测试。

体相粘弹性测试步骤包括:①关闭仪器和软件,取下界面测量系统,换上体相同轴圆筒测量系统;②打开仪器和相关软件,初始化,设定所需温度,将圆柱形转子连接到仪器上;③向测量杯中加入一定的待测水溶液(下相液体)或模拟油(上相液体),液体的量以使转子下降后能没过转子为准;④在与界面测试时相同的温度、角频率范围、取点间隔等参数下测量油相和水相的体相粘弹性。

界面粘弹性排除体相干扰的处理方法是:把体相粘弹性数据和界面剪切粘弹性数据导入仪器自带的程序中处理,排除体相粘弹性对界面剪切粘弹性的影响。

## 2 实验结果分析

### 2.1 去离子水与原油的界面剪切粘弹性

研究表明,原油与水之间坚硬的界面膜主要是沥青质在油水界面富集形成的网络结构,沥青质界面膜厚度约为2~10 nm,沥青质在界面上交叉连接,使界面膜有很高的粘度和粘弹性,为油滴聚并形成了一道屏障,高的界面能量也为恢复界面变形提供了很强的驱动力,因此使得油水乳状液稳定<sup>[25-28]</sup>。而在驱油过程中,不同驱替体系的注入无疑会在界面上形成竞相吸附,对界面膜的流变性产生影响。为了考察不同复合体系组分对油水界面剪切粘弹性的影响,首先测试去离子水和原油的界面剪切粘弹性(图1),以便与后面的结果进行对比。

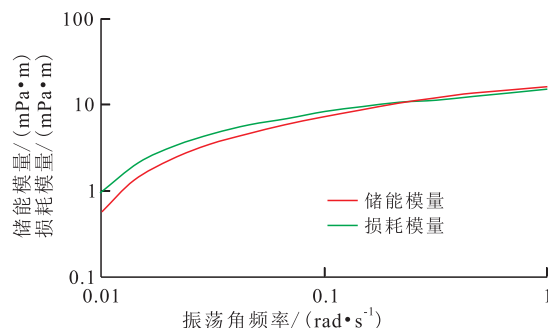


图1 去离子水与原油的界面剪切粘弹性

Fig.1 Interfacial shear viscoelasticity of deionized water and crude oil

由图1可知,油水界面的储能模量和损耗模量都随振荡角频率的增大而增加。当振荡角频率较低时,损耗模量高于储能模量,界面膜的粘性大于弹性;振荡角频率继续增大,损耗模量与储能模量有一个交点,之后,储能模量大于损耗模量,界面膜的弹性大于粘性。

## 2.2 一元体系溶液与原油的界面剪切粘弹性

### 2.2.1 表面活性剂溶液与原油的界面剪切粘弹性

结合图1,由质量浓度为100,1 000和3 000 mg/L的表面活性剂SH-6溶液与原油的界面储能模量、损耗模量随振荡角频率的变化(图2)可以看出,质量浓度为100 mg/L的SH-6溶液与原油的界面剪切粘弹性远小于油水界面的剪切粘弹性,这表明少量SH-6的加入即可大幅度降低油水界面的粘弹性。随着表面活性剂溶液质量浓度的增大,界面粘弹性进一步降低,但幅度不大。表面活性剂溶液和原油界面的损耗模量随着振荡角频率的增大而增加,储能模量在振荡角频率较低或较高时都因为其值太小,而达不到仪器的测量下限。表面活性剂溶液和原油接触后,表面活性剂会迅速吸附到油水界面上,使得界面上可吸附的沥青质大量减少,表面活性剂形成界面膜的强度较低,界面剪切粘弹性降低。质量浓度为1 000和3 000 mg/L的SH-6溶液与原油的界面剪切粘弹性接近,表明表面活性剂在界面的吸附基本达到饱和。当振荡角频率较高时,界面膜的网络结构被破坏,界面的储能模量又迅速降低,最终因太小而不可测。

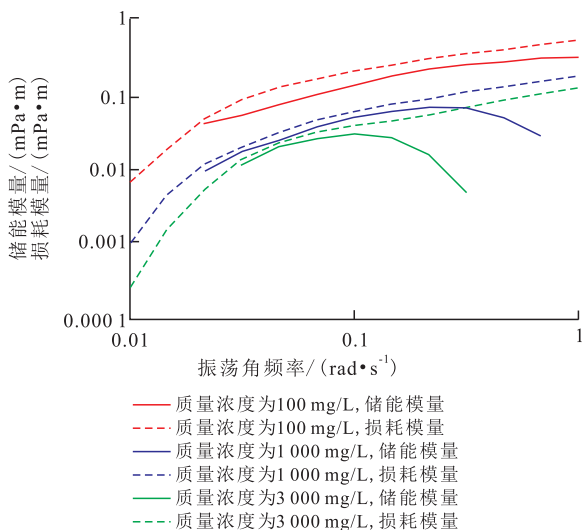


图2 不同质量浓度的表面活性剂溶液与原油的界面剪切粘弹性

Fig.2 Interfacial shear viscoelasticity of surfactant solution and crude oil

### 2.2.2 聚合物溶液与原油的界面剪切粘弹性

由质量浓度为1 000和2 000 mg/L的聚合物

1630S溶液与原油的界面储能模量和损耗模量随振荡角频率的变化(图3)可知,随着振荡角频率的增加,聚合物溶液与原油界面的储能模量和损耗模量都增大。随着聚合物溶液质量浓度的增大,界面剪切粘弹性增加。在低振荡角频率下(如0.01和0.014 7 rad/s),质量浓度为1 000和2 000 mg/L的1630S溶液与原油界面的损耗模量大于油水界面的损耗模量;在振荡角频率为0.01 rad/s时,质量浓度为2 000 mg/L的1630S溶液与原油的储能模量甚至大于油水界面的储能模量,但是随着振荡角频率的增大,1630S溶液与原油界面的储能模量和损耗模量又都低于油水界面的相应值。这是因为聚合物溶液质量浓度越大,吸附在界面上的聚合物越多,占据了部分沥青质的位置,聚合物分子链较长,吸附在界面的聚合物和沥青质交错连接形成网络结构,增加了界面的剪切粘弹性。但是,新形成的界面膜不稳定,抗剪切性能不如油水界面膜,因此剪切振荡后,粘弹性降低<sup>[29-30]</sup>。聚合物溶液与原油界面的储能模量和损耗模量之间有很明显的交点,而且聚合物溶液质量浓度越大,出现交点的振荡角频率越小。在交点左边,储能模量小于损耗模量,即界面膜的弹性小于粘性;交点右边,储能模量大于损耗模量,即界面膜的弹性大于粘性。聚合物溶液质量浓度增大使界面储能模量和损耗模量的交点提前,表明聚合物大分子与沥青质在界面上缠绕交错形成的网络结构虽然不是很稳定,但是对界面膜弹性的贡献要相对大于粘性。

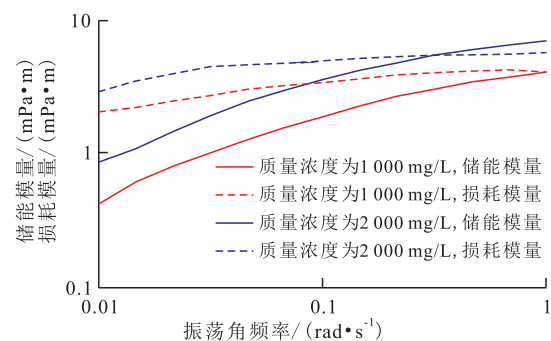


图3 聚合物溶液与原油的界面剪切粘弹性

Fig.3 Interfacial shear viscoelasticity of polymer solution and crude oil

### 2.2.3 碱液与原油的界面剪切粘弹性

由质量浓度为10 000 mg/L的氢氧化钠(无机碱)和10 000 mg/L的乙醇胺(有机碱)溶液与原油的界面剪切粘弹性(图4)可见,碱液与原油界面的储能模量值太小,不可测;由损耗模量的实验结果可见,无机碱和有机碱的加入都会大幅度降低油水界面剪切粘弹性。在低振荡角频率下,氢氧化钠溶液

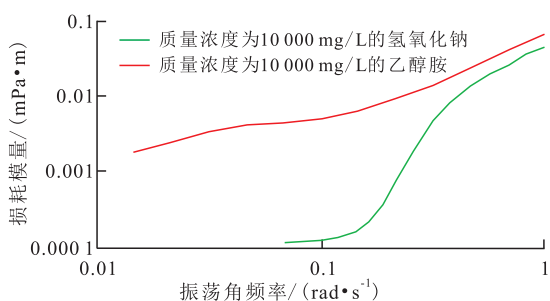


图4 碱液与原油的界面剪切粘弹性

Fig.4 Interfacial shear viscoelasticity of lye and crude oil

和原油界面的损耗模量值也因太小而不可测。出现这一现象的原因有2个:①碱与原油中的界面活性物质反应,生成表面活性剂,吸附在界面上,取代了沥青质的位置,表面活性剂形成的界面膜强度很弱;②碱会软化并破坏界面膜,大幅度降低界面剪切粘弹性。从图4还可看出,有机碱对界面膜的作用要小于无机碱。

### 2.3 表面活性剂—聚合物二元体系溶液与原油的界面剪切粘弹性

固定1630S溶液的质量浓度为1500 mg/L,配制表面活性剂的质量浓度分别为1000和3000 mg/L的表面活性剂—聚合物二元体系溶液,将表面活性剂—聚合物二元体系溶液和聚合物溶液与原油的界面剪切粘弹性进行对比。由实验结果(图5)可见,表面活性剂的加入大幅度降低了聚合物溶液和原油的界面粘弹性,这是由于表面活性剂在界面的吸附取代了一部分聚合物和沥青质的位置,使界面膜的剪切粘弹性降低。当振荡角频率较高时,损耗模量和储能模量开始下降,这是由于界面上的聚合

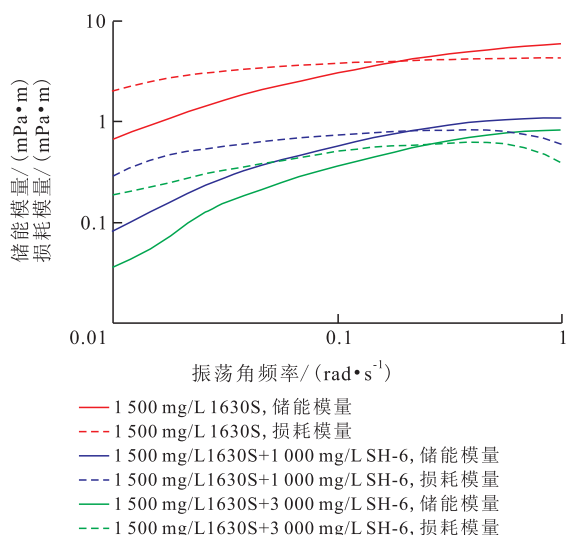


图5 表面活性剂—聚合物二元体系溶液与原油的界面剪切粘弹性

Fig.5 Interfacial shear viscoelasticity of surfactant-polymer solution and crude oil

物和沥青质减少之后,界面膜的网络结构强度相对降低,而且较高的振荡角频率也破坏了界面膜的网络结构。

### 2.4 表面活性剂—碱—聚合物三元体系溶液与原油的界面剪切粘弹性

由表面活性剂—碱—聚合物三元体系溶液与原油的界面剪切粘弹性(图6)可见,碱的加入降低了界面膜的弹性和粘性,但是乙醇胺对界面膜粘弹性的伤害要远小于氢氧化钠。这表明,在三元复合驱中用有机碱来代替无机碱更有利于乳状液的稳定,为三元复合驱中用有机碱代替无机碱提供了理论依据。

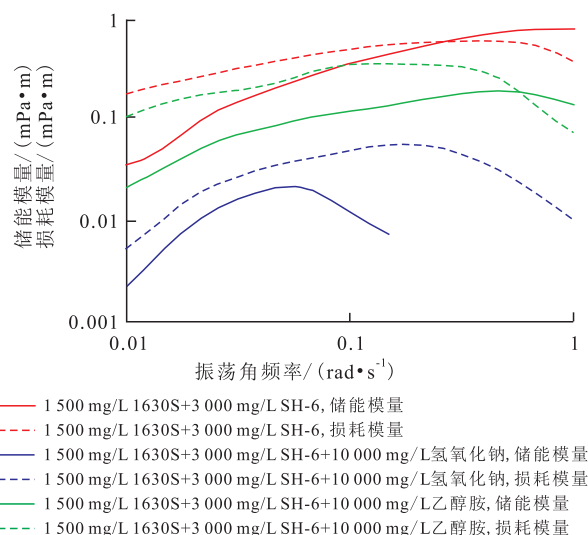


图6 三元体系溶液与原油的界面剪切粘弹性

Fig.6 Interfacial shear viscoelasticity of surfactant-polymer-base solution and crude oil

## 3 结论

对去离子水、一元表面活性剂溶液、一元聚合物溶液、一元碱液、表面活性剂—聚合物二元体系溶液以及表面活性剂—碱—聚合物三元体系溶液与原油的界面剪切粘弹性进行了测定,由结果分析可知:双河油田某油组原油与去离子水之间可以形成比较坚硬的界面膜,界面剪切粘弹性较大;表面活性剂的加入会使油水界面的剪切粘弹性显著降低,且表面活性剂溶液的质量浓度越大,界面剪切粘弹性降低越明显;碱的加入也会显著降低油水界面剪切粘弹性,有机碱对界面膜的破坏程度小于无机碱对界面膜的破坏程度;聚合物的加入会增大低振荡角频率下的油水界面剪切粘弹性,但是新形成的界面膜在剪切作用下容易被破坏。表面活性剂的加入,显著降低了聚合物溶液和原油的界面粘弹

性,使表面活性剂—聚合物二元体系溶液与原油的界面剪切粘弹性低于聚合物溶液与原油的界面剪切粘弹性,而且高的振荡角频率下界面膜被破坏,储能模量和损耗模量都降低。碱的加入会降低表面活性剂—聚合物二元体系溶液与原油的界面剪切粘弹性,但是有机碱对界面剪切粘弹性的降低幅度要远小于无机碱。

#### 参考文献:

- [1] 李学文,康万利.原油乳状液的稳定性与界面膜研究进展[J].油气田地面工程,2003,22(10):7-8.  
Li Xuewen, Kang Wanli. Advances in crude oil emulsion stability and interfacial film[J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2003, 22(10):7-8.
- [2] 郭继香,吴肇亮,李明远,等.界面剪切黏度对原油乳状液稳定性的影响[J].精细化工,2003,20(11):660-662.  
Guo Jixiang, Wu Zhaoliang, Li Mingyuan, et al. Effect of interfacial shear viscosity of crude oil on emulsion stability [J]. Fine Chemicals, 2003, 20(11):660-662.
- [3] 郑晓宇,孙梵.杯芳烷基嵌段聚醚的油-水界面粘度[J].石油学报:石油加工,2005,21(1):37-42.  
Zheng Xiaoyu, Sun Fan. Oil-water interfacial viscosity properties of p-tert-butylcalixarene block polyether [J]. Acta Petrolei Sinica: Petroleum Processing Section, 2005, 21(1):37-42.
- [4] 彭勃,李鸿雁,李明远,等.原油减压渣油馏分的油-水界面性质Ⅲ:伊朗轻质减压渣油馏分水界面粘度[J].石油学报:石油加工,2003,19(6):75-80.  
Peng Bo, Li Hongyan, Li Mingyuan, et al. Oil-water interfacial properties of vacuum residue fractions from crude oil Ⅲ: Oil-water interfacial viscosity of vacuum residue fractions from Iranian light crude oil [J]. Acta Petrolei Sinica: Petroleum Processing Section, 2003, 19(6):75-80.
- [5] 叶仲斌,刘向君,杨建军,等.聚合物与表面活性剂二元驱油体系界面性质研究[J].油气地质与采收率,2002,9(3):7-9.  
Ye Zhongbin, Liu Xiangjun, Yang Jianjun et al. Laboratory study on the interfacial property of polymer/surfactant two component displacement system [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2002, 9(3):7-9.
- [6] 曹绪龙,崔晓红,李秀兰,等.扩张流变法研究表面活性剂在界面上的聚集行为[J].化学通报,2009,72(6):507-515.  
Cao Xulong, Cui Xiaohong, Li Xiulan, et al. Study on the aggregation behavior of surfactant at interface by the dilatational rheological methods [J]. Chemistry, 2009, 72(6):507-515.
- [7] 朱艳艳,徐桂英.界面扩张流变方法研究大分子与表面活性剂的相互作用[J].物理化学学报,2009,25(1):191-200.  
Zhu Yanyan, Xu Guiying. Investigation of macromolecule/surfactant interaction by interfacial dilatational rheology method [J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2009, 25(1):191-200.
- [8] 王宜阳,张路,李明远,等.油酸钠和失水山梨醇油酸酯的油-水界面扩张粘弹性比较[J].石油学报:石油加工,2004,20(5):87-93.  
Wang Yiyang, Zhang Lu, Li Mingyuan, et al. Comparison of dilatational viscoelastic properties of sodium oleate with sorbitan monooleate at oil-water interface [J]. Acta Petrolei Sinica: Petroleum Processing Section, 2004, 20(5):87-93.
- [9] 王友启,周梅,聂俊.提高采收率技术应用现状及发展趋势[J].断块油气田,2010,17(5):628-631.  
Wang Youqi, Zhou Mei, Nie Jun. Application status and development trend of EOR technology [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2010, 17(5):628-631.
- [10] 张明安.二元复合体系微观驱油机理可视化实验[J].油气地质与采收率,2013,20(3):79-82.  
Zhang Mingan. Experiments on visualization of the microscopic mechanism of surfactant/polymer binary compound system [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(3):79-82.
- [11] 刘鹏,王业飞,张国萍,等.表面活性剂驱乳剂作用对提高采收率的影响[J].油气地质与采收率,2014,21(1):99-102.  
Liu Peng, Wang Yefei, Zhang Guoping, et al. Study of emulsification effect on oil recovery in surfactant flooding [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(1):99-102.
- [12] 张以根,王友启,屈智坚,等.孤岛油田馆陶组油藏三元复合驱油矿场试验[J].油田化学,1994,11(2):143-148.  
Zhang Yigen, Wang Youqi, Qu Zhijian, et al. Pilot results of alkaline, co-surfactant/polymer flooding in Guantao formation, Gudong oil field [J]. Oilfield Chemistry, 1994, 11(2):143-148.
- [13] 李美蓉,娄来勇,庄岩,等.孤岛聚合物驱原油沥青质乳化能力研究[J].特种油气藏,2007,14(5):76-79.  
Li Meirong, Lou Laiyong, Zhuang Yan, et al. Study on emulsification of Gudao crude oil asphaltene in polymer flooding [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2007, 14(5):76-79.
- [14] 赵凤兰,岳湘安,侯吉瑞,等.碱对复合驱油体系与原油乳化作用的影响[J].石油钻探技术,2010,38(2):62-66.  
Zhao Fenglan, Yue Xiang'an, Hou Jirui, et al. Impact of alkali on emulsification of compound flooding system and crude oil [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(2):62-66.
- [15] 谢玉银,侯吉瑞,张建忠,等.基于低质量浓度表面活性剂的复合驱效果评价[J].油气地质与采收率,2014,21(1):74-77.  
Xie Yuyin, Hou Jirui, Zhang Jianzhong, et al. Evaluation of low-concentration surfactant system for chemical flooding [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(1):74-77.
- [16] Maldonado-Valderrama J, Patino J M R. Interfacial rheology of protein-surfactant mixtures [J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2010, 15(4):271-282.
- [17] Fan Y, Simon S, Sjöblom J. Interfacial shear rheology of asphaltenes at oil-water interface and its relation to emulsion stability: Influence of concentration, solvent aromaticity and nonionic surfactant [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2010, 366(1/3):120-128.
- [18] Verruto V J, Le R K, Kilpatrick P K. Adsorption and molecular rearrangement of amphoteric species at oil-water interfaces [J]. Journal of Physical Chemistry B, 2009, 113(42):13 788-13 799.
- [19] Erk K A, Martin J D, Schwalbe J T, et al. Shear and dilatational interfacial rheology of surfactant-stabilized droplets [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2012, 377(1):442-449.

- [20] 曹宝格.驱油用疏水缔合聚合物溶液的流变性及粘弹性实验研究[D].成都:西南石油大学,2006.  
Cao Baoge.The experiment study on the rheological properties and viscoelastic of hydrophobic associating polymer solution used to displace crude oil[D].Chengdu: Southwest Petroleum University, 2006.
- [21] 王宜阳,张路,孙涛垒,等.不同结构破乳剂油水界面扩张粘弹性研究[J].物理化学学报,2003,19(4):297-301.  
Wang Yiyang,Zhang Lu,Sun Taolei, et al.Influences of demulsifiers with different structures on dilational properties of decane/water interface[J].Acta Physico-Chimica Sinica, 2003, 19(4): 297-301.
- [22] 王宇慧.大庆原油酸性组分界面膜扩张流变研究[J].石油化工高等学校学报,2012,25(2):38-41.  
Wang Yuhui.Dilational rheological study of interfacial film containing acidic components from Daqing crude oil [J].Journal of Petrochemical Universities, 2012, 25(2): 38-41.
- [23] 张春荣,宋新旺,曹绪龙,等.聚氧乙烯醚类表面活性剂表面扩张粘弹性研究[J].高等学校化学学报,2007,28(4):714-718.  
Zhang Chunrong, Song Xinwang, Cao Xulong, et al.Study of surface dilational elasticity and viscosity of nonylphenol polyoxyethylene ethers[J].Chemical Journal of Chinese Universities, 2007, 28(4): 714-718.
- [24] Erni P, Fischer P, Windhab E J, et al.Stress- and strain- controlled measurements of interfacial shear viscosity and viscoelasticity at liquid/liquid and gas/liquid interfaces[J].Review of Scientific Instruments, 2003, 74(11): 4 916.
- [25] Yarranton H W, Sztukowski D M, Sztukowski D M.Effect of interfacial rheology on model emulsion coalescence I: Interfacial rheology [J].Journal of Colloid and Interface Science, 2007, 310(1): 246-252.
- [26] 张学军,徐兴友,邢丽雯,等.沥青质含量在车排子地区油气藏研究中的应用[J].油气地质与采收率,2013,20(4):25-29.  
Zhang Xuejun, Xu Xingyou, Xing Liwen, et al.Application of asphaltene content for study of oil and gas accumulation in Chepaizi area[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(4): 25-29.
- [27] 谢忱,海俊杰,刘正军,等.辽河滩海地区原油物性变化规律研究[J].石油实验地质,2010,32(3):282-284.  
Xie Chen, Hai Junjie, Liu Zhengjun, et al.Physical property variation of crude oil in beach area, Liaohe Basin [J].Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(3): 282-284.
- [28] 肖传敏.原油组分对化学驱表面活性剂界面张力的影响[J].特种油气藏,2011,18(3):103-105.  
Xiao Chuanmin.Effect of oil components on interfacial tension of surfactants in chemical flooding[J].Special Oil & Gas Reservoirs, 2011, 18(3): 103-105.
- [29] 曹绪龙,刘坤,韩玉贵,等.耐温抗盐缔合聚合物的合成及性能评价[J].油气地质与采收率,2014,21(2):10-14.  
Cao Xulong, Liu Kun, Han Yugui, et al.Synthesis and properties of heat-tolerance and salt-resistance hydrophobically associating water-soluble polymer [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2): 10-14.
- [30] 薛新生,张健,舒政,等.剪切方式对疏水缔合聚合物溶液性能的影响[J].油气地质与采收率,2013,20(1):59-62.  
Xue Xincheng, Zhang Jian, Shu Zheng, et al.Study on effects of shear-mode on properties of hydrophobic associating polymer solution [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(1): 59-62.

编辑 刘北羿

## 欢迎订阅 2015 年《石油钻探技术》

《石油钻探技术》创刊于1973年,由中国石油化工集团公司主管、中国石化集团石油工程技术研究院主办,是全国中文核心期刊和历年中国科技论文统计源刊,被中国科学引文数据库(CSCD)、美国《石油文摘》与《化学文摘》、《中国石油文摘》和《中国地质文摘》等大量摘录。

《石油钻探技术》主要报道国内石油工程(包括钻井、钻井液、固井、测井、录井、完井、开采等专业)以及钻采机械设备与自动化方面的科技进展和现场经验,适当介绍国外石油工程技术发展的水平和动向。本刊主要栏目为:专家视点、学术争鸣、钻井完井、测井录井、油气开采、钻采机械、现场交流。适合于石油、海洋、地矿行业广大石油工程技术人员、高等院校师生和经营管理者阅读。

《石油钻探技术》为双月刊,大16开版本,逢单月未出版。2015年每期定价15元(含邮寄费),全年6期共90元,自办发行,欢迎有关单位和个人及时订阅。订阅办法:

1. 银行汇款:工行北京市海淀区支行,账号0200049629200702219,户名“中国石油化工股份有限公司石油工程技术研究院”,开户行代码102100004960,并注明“期刊”字样。

2. 邮局汇款:北京市朝阳区北辰东路8号北辰时代大厦716室,邮编100101,收款人:刘文臣,电话:010-84988356,84988317,传真:010-84988289,网址http://www.syzl.com.cn, E-mail: syzt@vip.163.com。