

文章编号: 1000 - 2634(2007)02 - 0122 - 03

高内相稠油油包水乳状液流变性研究^{*}

孟江¹, 向阳¹, 魏小林², 李顺勇³

(1. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·成都理工大学, 四川 成都 610059;

2 西安长庆设计院石油所; 3 中国石油管道兰成渝输油公司)

摘要: 稠油形成的高内相 W/O 乳状液, 其流动性对生产有很大影响, 研究表明 W/O 乳状液流动特征可以用幂律模式描述, 具有剪切稀释性, 粘度与温度服从指数关系。随着内相体积浓度的增大, 乳状液粘度会出现一个最大值, 此时的内相体积浓度就是乳状液的转相点。在内相体积浓度小于转相点时, 粘度随内相体积浓度的增大而增大; 在内相体积浓度大于转相点时, 粘度随着内相体积浓度的增大而下降。在内相体积浓度大于转相点后, 乳状液会由 W/O 型转变为 O/W 型, 转相有一个过程。同时随着内相体积的增大、剪切速率的增大和温度的升高乳状液稳定性下降。高内相乳状液已经具有了粘弹流体的某些特征。本次研究在稠油生产中具有一定的理论意义。

关键词: 流变性; 高内相; 乳状液; 稠油; 粘度

中图分类号: TE312

文献标识码: A

胜利油田新滩某区块所产稠油, 其密度为 0.9641 g/cm^3 , 50 下粘度为 $1550.3 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 本文是以该稠油配制的 W/O 乳状液为研究对象。

图 1、2 直观地反映了不同乳状液粘度随剪切速率的变化情况以及它们的流变性能。它们都表现出非常明显的非牛顿流体特性, 其表观粘度随剪切速

1 W/O 乳状液的配制

在常温下, 取脱水稠油和地层水, 用手缓慢搅动, 分别配制内相体积浓度为 50%、55%、60%、65%、70%、75%、77%、80% 的 W/O 乳状液。在配制过程中发现, 随着内相体积浓度的增大, 配制乳状液的难度逐渐加大, 形成的 W/O 乳状液颜色也由黄黑色逐渐变为黄褐色。因此有时可以根据 W/O 乳状液的颜色就能大体判断其含水量的高低。

2 W/O 乳状液的流变性

前人对不同油品和低内相浓度的 W/O 乳状液流变性进行了研究, 认为其具有明显的非牛顿特性, 在中等剪切速率范围内可用幂律模式来描述^[1]。对于乳状液内相体积分数大于 0.5 时, 乳状液的性质可以近似看作非牛顿流体中的剪切稀化流体^[2-4]。

在 20 和 80 下分别对内相为 50%、55%、60%、65%、70%、75%、77%、80% 的 W/O 乳状液流变性进行了测量 (图 1、2)。

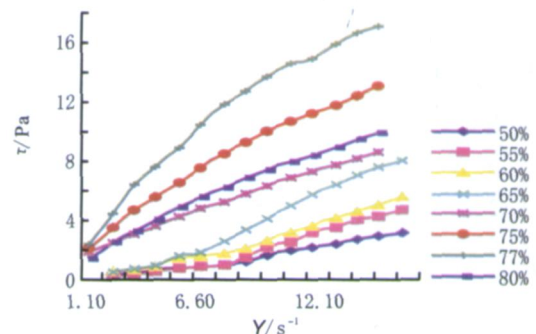


图 1 80 W/O 乳状液 $\tau \sim \gamma$ 曲线

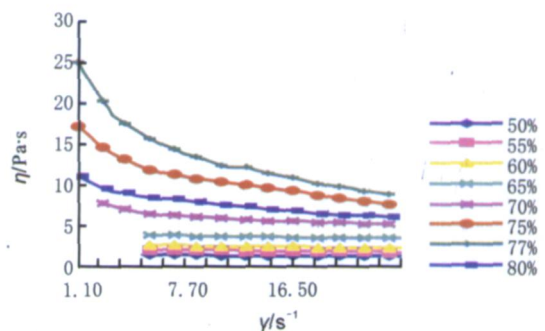


图 2 80 W/O 乳状液 $\eta \sim \gamma$ 曲线

^{*} 收稿日期: 2006 - 12 - 20

作者简介: 孟江 (1973 -), 男 (汉族), 陕西凤翔人, 博士研究生, 主要从事油气田开发研究。

率的增大而降低 ,表现出明显的剪切稀化特性。

为了更清楚的研究乳状液流变性 ,对曲线进行了拟合 ,拟合结果如表 1。从拟合结果来看 ,对于内相体积浓度不同的 W /O 乳状液 ,在研究温度范围内都呈现出不同程度的非牛顿特性 ,它们的流变特性遵从幂律模式

$$\tau = k \cdot \gamma^n$$

式中 , τ —剪切应力 , Pa; γ —剪切速率 , s^{-1} ; k —稠度系数 , $Pa \cdot s^n$; n —流变指数。

表 1 80 流变性拟合结果

<i>k</i>	<i>n</i>	<i>R</i> ²
0. 0775	1. 3211	0. 9826
0. 0294	1. 8596	0. 9876
0. 1282	1. 3469	0. 9900
0. 1017	1. 6224	0. 9905
1. 5110	0. 7222	0. 9905
1. 9360	0. 7075	0. 9981
2. 4695	0. 7445	0. 9901
1. 3084	0. 7575	0. 9976

从拟合的参数看 ,流变指数 n 随着乳状液内相体积浓度的增大 ,由大于 1 变为小于 1。这表明高内相的 W /O 乳状液随着其内相含量的增大 ,乳状液由膨胀性流体向假塑性流体转变。从研究的范围看 ,在 W /O 乳状液内相体积浓度大于 70% 时 ,流变指数 $n < 1$,表现为假塑性流体 ;在小于 65% 时 , $n > 1$,表现为膨胀性流体。同时在用旋转粘度计测量时 ,发现乳状液有爬杆现象 ,而且内相体积浓度越高 (低于转相点) ,表现得越突出。这表明高内相的 W /O 稠油乳状液具有粘弹流体的某些特征。

3 影响 W /O 乳状液流变性的因素

3.1 内相体积浓度的影响

在稠油确定的情况下 ,W /O 乳状液流变性主要受内相体积浓度的影响。从前面拟合情况看 ,乳状液随着内相体积浓度的增大 ,流变特性由膨胀性流体向假塑性流体转变 ,乳状液性质发生了变化。图 2 是不同温度下的乳状液粘度与内相体积浓度的关系曲线。

从图 2 可见 ,乳状液随内相体积的增加 ,其粘度逐渐增大 ;在内相体积浓度达到 77% 时 ,乳状液的粘度达到最大值。因为随着乳状液内相体积浓度的增加 ,连续相 (油) 中的分散液滴 (水) 急剧增多 ,油

相中水滴距离迅速减小 ,其间的作用力即范德华引力则显著增大 ,并导致水滴的聚集 ,形成构造复杂的聚集体 ,相流中发生液滴间的相互碰撞和相对滑动 ,以及相间表面能的作用 ,导致了粘度的迅速上升 ,非牛顿性质增强^[5]。最大值粘度随温度的升高而降低。在内相体积浓度超过 77% 后 ,粘度开始明显下降 ,随着内相体积浓度的增大 ,稠油 W /O 乳状液开始向 O /W 乳状液转化 ,从而粘度也发生了变化。在内相体积浓度达到 83% 时 ,乳状液粘度降到最低 ,W /O 乳状液已经转化为 O /W 乳状液或者高含水的油水两相体系。

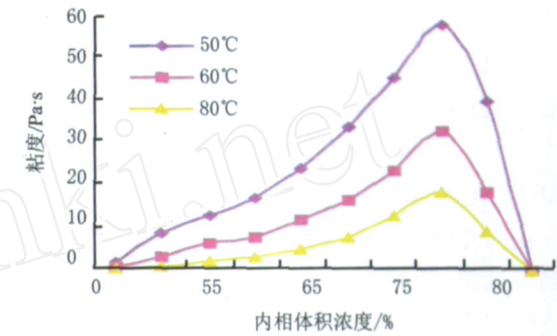


图 3 粘度与内相体积浓度曲线

3.2 剪切条件的影响

在实验研究范围内 ,由于剪切速率较低 ,内相体积浓度不同的 W /O 稠油乳状液在低剪切速率下 ,都表现出剪切稀化现象。同时也观察到随着剪切速率的增大乳状液粘度降低幅度变小 ,内相体积浓度越低粘度降幅越小 ,有幂律流体向牛顿流体转变的趋势 (图 1)。从图 1 可以看出 ,粘度随剪切速率的增大 ,粘度曲线由陡趋于平缓 ,内相体积浓度越高 (低于转相点) 这种变化越明显。

3.3 温度的影响

在剪切速率不太高的情况下 ,温度对稠油 W /O 乳状液粘度的影响比剪切速率影响要大得多。W /O 稠油乳状液粘度对温度的变化是敏感的。随着温度升高 ,乳状液的粘度明显下降。稠油 W /O 乳状液粘度随温度的升高而降低 ,与稠油粘度随温度变化规律基本一致^[6-7]。

稠油 W /O 乳状液粘度与温度符合关系式

$$\eta = ae^{-bT}$$

其中 , a 、 b —待定系数 ; η —粘度 , $mPa \cdot s$; T —温度 , $^{\circ}C$ 。

拟合结果见表 2。由表中可见 ,拟合相关系数 R^2 大于 0. 98 ,拟合得很好。待定系数 a 、 b 随着乳状液内

相体积浓度的不同而有差异。

表 2 不同含水 W/O 乳状液粘温拟合结果

内相体积 浓度 /%	50	55	60	65	70	75	80
a	422.91	697.19	919.71	1168.9	3081.1	3643.4	3477.9
b	0.9396	0.9725	0.9693	0.9158	1.0068	0.9648	1.0016
R^2	0.9804	0.9906	0.9865	0.986	0.9878	0.994	0.9882

4 W/O 乳状液转相点

转相就是两相体系中连续相和分散相相互转换的一种现象。转相是乳状液特性之一。稠油 W/O 乳状液转相点对于研究稠油降粘有一定意义。

从图 2 可见,粘度在内相体积浓度达为 77% 达到最大值,温度不同这个最大值也不一样。内相体积浓度为 77%,就是所研究的 W/O 乳状液转相形成 O/W 乳状液的转相点。

在内相体积浓度大于 77% 后粘度并不是突然降到很低值,直到内相体积浓度达到 83%,粘度才降低到 100 mPa·s 左右。实际上大于相转变点后, W/O 乳状液的转相是不完全的,因此表现出体系的粘度并不会很快降到很低。随着水含量的进一步增大,大部分水处于外相或游离态,因此粘度才表现出较低的值。

5 W/O 乳状液稳定性

稠油 W/O 乳状液的稳定性主要受稠油性质、内相体积浓度、温度、混合体条件等因素的影响。因此在稠油确定的条件下, W/O 乳状液随着内相体积浓度的增大、温度的升高、搅拌强度的增大稳定性变差,而且乳状液本身就处在一个热力不稳定状态,高内相乳状液稳定更差,更容易受外界条件影响而游离出水来。在实验中,将从现场取回的内相体积浓度为 62% 的乳状液油样,室温放置三天,样桶底部就有游离水出现,测量油样含水率下降为 56%,而内相体积浓度为 40% 的 W/O 乳状液,在同样的条件下很少有水出现。

当然采取单一的方法破乳,稠油 W/O 乳状液脱水并不完全,只是脱出部分水,脱出水的部分仍然是 W/O 乳状液。要使乳状液完全脱水必须采用合理的工艺和高效的破乳剂^[8-9]。

6 结 论

内相体积浓度不同的 W/O 乳状液,在研究范围内,其流变特性近似遵从幂律模式。

(1) W/O 乳状液随着其内相体积浓度的增大,乳状液由膨胀性流体向假塑性流体转变。

(2) 在低剪切速率下 W/O 稠油乳状液,表现出剪切稀化现象。

(3) 从粘度变化来看 W/O 乳状液转相存在一个过程;高内相的 W/O 稠油乳状液具有粘弹性流体的某些特征。

(4) 高内相体积浓度的乳状液稳定差,更容易受温度、混合体条件等因素的影响而脱水。

因此可以采取合理的措施降粘节能,以利于稠油集输^[10]。

参考文献:

- [1] 卢东风,张夏泽,姜海峰. 聚合物驱油井采出液流变性及管输水力的计算[J]. 油气田地面工程, 1999, 18(2): 14 - 16
- [2] Pal R. Pipeline flow of unstable surfactant stabilized emulsions[J]. AIChEJ, 1993, 39(11): 1754 - 1764
- [3] Chen X, Guo L. Flow patterns and pressure prop in oil-air-water three-phase flow through helically coiled tubes[J]. Int J. Multiphase Flow, 1999, 25(6, 7): 1053 - 1072
- [4] 黄建春,李光正,莫乃榕. 油水乳状液流过弯管的局部阻力特性研究[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(7): 98 - 100
- [5] 喻高明. 超稠油流变性综合研究[J]. 河南石油, 2004, 18(3): 40 - 43
- [6] 窦丹,宫敬. 稠油水乳状液表观粘度实验研究[J]. 化学工程, 2006, 9(34): 39 - 42
- [7] 张金亮,王为民,申龙涉,等. 辽河油田超稠油流变特性的试验研究[J]. 油气田地面工程, 2006, 7(15): 11, 15
- [8] 宁甲清,孟祎,李泽勤. 超稠油脱水工艺试验研究[J]. 特种油气藏, 2000, 7(1): 38 - 240
- [9] 武本成,朱建华,蒋昌启. 采用脱水剂强化超稠油脱水的实验研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2006(4): 123 - 125, 131
- [10] 郑钦祥. 稠油降粘技术及输送方法[J]. 油气田地面工程, 2006, 4(4): 6 - 7

(编辑 朱和平)

face activity, in the meantime, latherability and foam stability.

Key words: stearic acid; sulfonation; critical micelle concentration; latherability; foam stability

STUDY ON THE SCALE INHIBITION PERFORMANCE OF TETRA-POLYMER OF MA-AA-AM-SMAS

HUANG Jie (Fuzhou University, College of Environment and Resources, Fuzhou Fujian 350002, China), LIU Ming-hua ZHENG Fu-er *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY*, VOL. 29, NO. 2, 117 - 121, 2007 (ISSN 1000 - 2634, IN CHINESE)

Abstract: The tetra-polymer scale inhibitor of MA-AA-AM-SMAS, denoted as PMAAS, is prepared by aqueous solution polymerization and phosphonylation of monomers, i.e., maleic anhydride (MA), acrylic acid (AA), acrylamide (AM), sodium methyl allylsulfonate (SMAS) etc. The relationship between such factors as the tetrapolymer dosage, Ca^{2+} concentration, solution pH and temperature etc. on the scale inhibitor are comprehensively discussed, the changes between crystals of the preliminarily studied with environment scanning electronic microscope (ESEM). The scale inhibition percentage could reach 99% for CaCO_3 and 88.5% for CaSO_4 respectively, when pH = 7 and 7 mg/L of PMAAS is used. Additionally, the comparison with corresponding products indicates that the scale inhibition performance of calcium carbonate and calcium sulfate is of advantage.

Key words: scale inhibitor; tetra-polymer; maleic acid; acrylamide; calcium carbonate; calcium sulfate; organophosphonate acid

HIGH INTERNAL PHASE HEAVY OIL WATER - OIL EMULSION RHEOLOGY

MENG Jiang (Energy Sources Institute of Chengdu University of Technology, State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu Sichuan 610059, China), XIANG Yang, WEI Xiao-lin, et al *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY*, VOL. 29, NO. 2, 122 - 124, 2007 (ISSN 1000 - 2634, IN CHINESE)

Abstract: The high internal phase W/O emulsion formed in heavy oil tremendously influences the production. The research indicates that W/O emulsion rheological property can be described by power law pattern. It has the shear-thinning nature, there is the index relation between viscosity and temperature. As the increase of internal phase volume concentration, the viscosity of the emulsion reaches a maximum. The internal phase volume concentration corresponding the maximum of the emulsion viscosity is the transforming phase volume concentration. When the internal phase volume concentration is smaller than the transforming phase volume concentration, the increase of the internal phase volume concentration, the viscosity of the emulsion rises. When the internal phase volume concentration is greater than the transforming phase volume concentration, as the increase of the internal phase volume concentration, the viscosity of the emulsion decreases. After the internal phase volume concentration is greater than the transforming phase volume concentration, the emulsion will be changed to the O/W type from W/O type. As the increase of the internal phase volume concentration and the shear rate and the temperature rising, emulsion stability declines. The high internal phase W/O emulsion is of certain characteristics of viscoelastic fluid.

Key words: rheological property; high internal phase; emulsion; heavy oil; viscosity