

文章编号: 0253-9985(2005)03-0370-04

改善稠油渗流流变性的试验

王步娥, 郑惠光

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:稠油的非牛顿性质是造成稠油油藏采油速度低、采收率低的一个重要原因。ZHSS-01 表面活性剂体系能在较宽的温度范围(30~71℃)、较高的矿化度(16×10^4 mg/L)和较高硬度(1.1×10^4 mg/L)条件下,与稠油形成水包油型乳状液,降粘效率达 98% 以上,有效地改善了稠油在井周地带的渗流流变性,降低了稠油在近井地带的渗流阻力,提高开采速度。试验表明,应用 ZHSS-01 表面活性剂进行驱油可提高采收率 3% 以上。

关键词:渗流力学;流变性;表面活性剂;稠油

中图分类号:TE313.7

文献标识码:B

Experimental study of improving rheological characteristics of heavy oil's percolation flow

Wang Bu'e, Zheng Huiguang

(Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing)

Abstract: Non-Newtonian flow characteristic of heavy oil is the main reason resulting in low oil recovery rate and low recovery factor in heavy oil reservoir. ZHSS-01 surfactant system can form reverse emulsion when it is mixed with heavy oil in the reservoir in a relatively wide range of temperature(30~71℃), relatively high salinity(16×10^4 mg/L) and relatively high hardness of water (1.1×10^4 mg/L), which would lead to a viscosity breaking effectiveness of over 98%. As a result, the rheological characteristics of percolation flow of heavy oil around the wellbore can be improved, filtrational resistance of heavy oil in the vicinity of the wellbore is lowered, and oil production rate is increased. Experimental study shows that recovery factor can be enhanced over 3% when heavy oil being displaced with ZHSS-01 surfactant system.

Key words: mechanics of percolation flow through porous media; rheological characteristics; surfactant; heavy oil

稠油含有较多的胶质和沥青质,在储层多孔介质中表现为非线性渗流特征^[1]。稠油的非线性渗流是造成采油速度低、采收率低的一个重要原因^[2]。20 世纪 70 年代末至 80 年代初,前苏联学者^[3]研究了表面活性剂对原油渗流流变性的影响。他们将表面活性剂溶液注入到油层中,明显地减弱了原油的结构力学性质,提高了驱替效果。加拿大学者^[4]也报导了应用表面活性剂溶液实现稠油井底乳化、提高举升效率、降低井底回压并实现油井增产的工艺方法。近年来,大港油田和辽河油田^[5,6]等也开展了表面活性剂吞吐试验,采用

高浓度表面活性剂溶液解除近井地带胶质和沥青质吸附造成的堵塞,达到了提高稠油产量的目的。

国内外同行利用旋转粘度计对原油乳状液的流变性也进行了广泛的研究^[6,7],主要探讨了地面输油管道输送稠油或高凝原油的可行性及技术方法。国外学者也曾利用玻璃球填充的多孔介质,测试较高渗流状态下乳状液的渗流流变性^[8]。

1 机理^[3,9~11]

根据典型稠油的非线性渗流特征曲线(图 1)可知,在相同的采油速度下,非牛顿流体(稠油)在低速

基金项目:中国石化化工集团公司油田开发先导试验项目(YTB1999)

第一作者简介:王步娥,女,34 岁,工程师,采油工程

收稿日期:2005-05-09

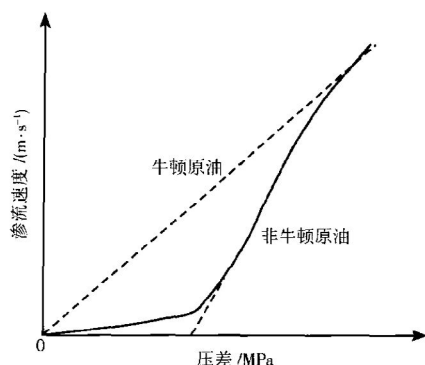


图1 原油在岩心内渗流速度和压力梯度关系示意图

Fig.1 Sketch map showing relation of Darcy velocity of crude oil vs. pressure gradient in core

下渗流所需压差要比牛顿流体所需的压差大。

在表面活性剂与原油混合过程中,当表面活性剂亲油基的亲油能力远小于亲水基的亲水能力时,易形成水包油型(O/W)乳状液。此时原油呈分散相,不能形成连续的网状结构,因此,原油的渗流阻力将下降,在一定程度上可降低油水流动比。

对于径向渗流来讲,压力梯度随其与油井距离的增加呈对数下降。在向油井中注入大剂量含表面活性剂的吞吐液后,油井附近地层能量得以补充,地层压力升高。当近井地带稠油转变为具有拟塑性的乳状液流向井筒时,近井地带的流压下降明显,井筒周围的泄油半径将增加,井周地带渗流条件得到改善,较深部的原油得以启动,采油速度得以提高。

2 试验

乳状液的流变性是多变量的函数,受乳化剂种类和浓度、稠油重质组分含量、温度及乳状液内相浓度等影响。这些因素之间具有复杂的内在联系,使每一种研究所获得的数据很难进行比较。将乳状液的内相浓度、表面活性剂类型和浓度、温度等综合起来研究,结果发现某些乳状液流体表现为牛顿流体,而大部分呈拟塑性的非牛顿流体。

2.1 方法和条件

采用 HAAKE-1 旋转粘度计对 ZHSS-01 表面活性剂体系进行了筛选及降粘效果试验;采用半径为 0.039 cm、长度为 4 m 的毛细管粘度计测量乳状液渗流流变性;在直径为 2.8 cm、长度为 40 cm 的散砂充填模上完成吞吐试验;试验温度为 30~71℃(某油田地层温度 71℃);模拟近井地带

流速为 4.5×10^{-6} m/s;地层水矿化度为 $1.6 \times 10^4 \sim 16 \times 10^4$ mg/L、硬度为 $1.8 \times 10^3 \sim 11 \times 10^3$ mg/L(Mg^{2+} , Ca^{2+} 浓度);原油粘度、蜡含量、胶质含量和沥青质含量分别为 31 120 mPa·s, 3.7%, 41.3% 和 23.7%。

2.2 结果和讨论

2.2.1 降粘效果

配制一系列不同内相(稠油)浓度的水包油型乳状液,采用毛细管粘度计进行粘度测量,做出粘度与剪切速率及温度关系(图 2,3)。

当内相浓度小于或等于 30% 时,表现出牛顿流体特性;当内相浓度大于 30% 时,乳状液表现出拟塑性流体特征。且随着剪切速率的进一步增加,粘度变化较缓慢,趋于牛顿流体(图 2)。

由图 3 可知,原油粘度很高,随温度的变化很明显。水包油型乳状液随温度的升高,粘度变化

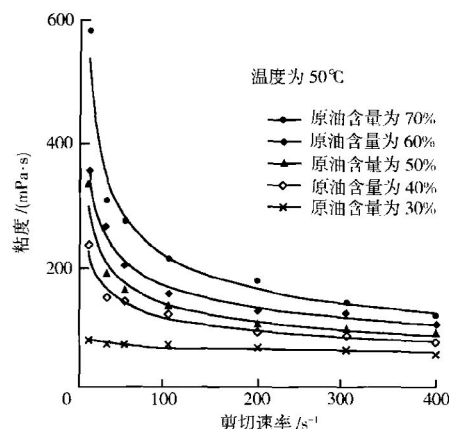


图2 乳状液粘度与剪切速率的关系曲线

Fig.2 Emulsion viscosity vs. shear rate

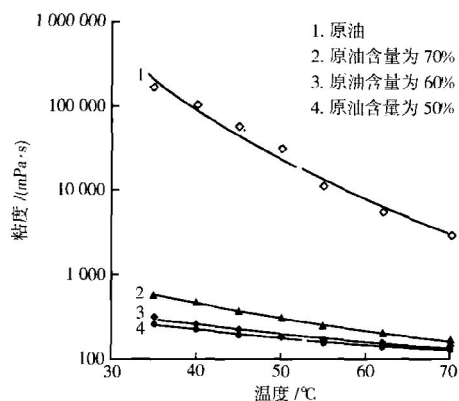


图3 原油及乳状液粘度随温度变化曲线

Fig.3 Viscosities of crude oil and emulsion vs. temperature

并不明显,且随着内相浓度的降低,变化越来越不显著。

2.2.2 耐矿化度、硬度

配置不同矿化度、不同硬度(Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量)的 ZHSS-01(0.4%)溶液,观察溶液是否有混浊现象,能否乳化稠油,并测试其对稠油的降粘效率的影响(表 1)。

试验结果说明,ZHSS-01 体系可耐较高的矿化度($16 \times 10^4 \text{ mg/L}$),较高硬度($1.1 \times 10^4 \text{ mg/L}$),乳化状况良好,降粘效率达 98%以上,可适合高矿化度油藏使用。

2.2.3 油水分离性能

配制不同浓度的 ZHSS-01 体系,将其与原油按体积比 1:1 混合,在同一搅拌强度下搅拌后倒入量筒中,在室温下静置,观察油水分离情况(表 2)。

油水分离试验表明,不同浓度的 ZHSS-01 体系与原油混合后均易乳化,静置后油水易分离,且

表 1 不同矿化度、硬度 ZHSS-01 体系对稠油降粘效率的能力

Table 1 Heavy oil viscosity breaking effectiveness of ZHSS-01 surfactant system in various salinity and hardness conditions

矿化度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	溶液现象	能否乳化	降粘率/%
16 057	0	溶液透明	能	99.0
160 058	0	溶液透明	能	99.8
160 058	1820	溶液透明	能	98.6
160 058	111 99	溶液透明	能	99.8

表 2 ZHSS-01 体系乳化后油水分离性能试验结果

Table 2 Results of performance test of oil/water separation after emulsified with ZHSS-01 surfactant system

ZHSS-01 体系浓 度/%	搅拌时 间/min	分层时 间/min	分层后 水量变化	现 象
0.05	2	10	不变	混合前水层为浅黄色,分层逐渐变浅成棕色,无油颗粒悬浮
0.08	2	15	不变	混合前水层为黄色,分层逐渐变浅成淡棕色,无油颗粒悬浮
0.2	2	12	增加 3%	混合前水层为黄色,分层后由深褐色逐渐变浅,有微量的油颗粒悬浮
0.6	2	10	增加 2.6%	混合前水层为黄色,分层后逐渐恢复成黄色,有微量油颗粒悬浮

浓度为 0.08% 的 ZHSS-01 体系乳化和乳化后油水分离性能均最好,因此不会增加原油脱水费用。

2.2.4 渗流流变性

水包油型乳状液在人造岩心内的渗流流变性与流过毛细管的流变性相似,表现为拟塑性流体(图 4)。

2.2.5 吞吐性能

制作渗透率相近的地层砂充填岩心,饱和模拟地层水后,以原油驱替至束缚水为止,然后分别进行表面活性剂吞吐 1 周期及两 2 期后的水驱油试验,对比研究水驱油效率的变化情况。

试验结果表明,ZHSS-01 吞吐能提高稠油油藏的采收率,在一定的吞吐次数内,吞吐次数越多,效果越好,提高采收率大于 3%(图 5)。其机

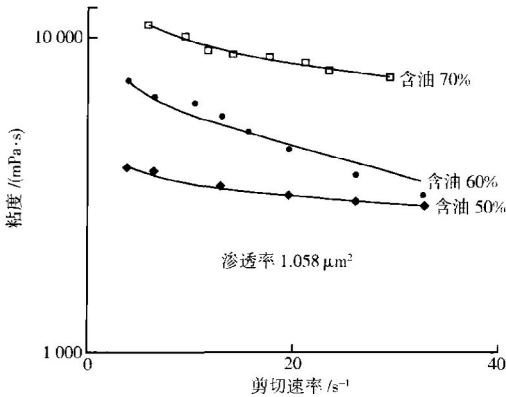


图 4 不同内相浓度的水包油型乳状液在岩心内渗流流变曲线

Fig.4 Rheological curves of oil-in-water emulsions with different internal phase concentrations percolating through core

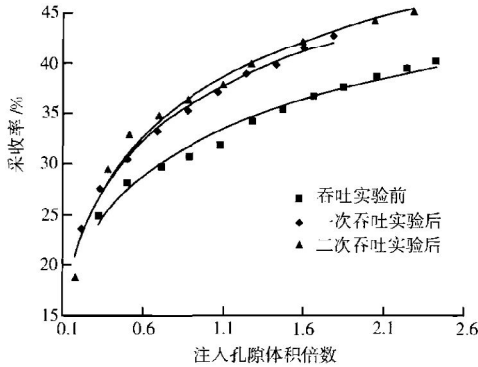


图 5 ZHSS-01 体系吞吐前后采收率与注入孔隙体积倍数的关系曲线

Fig.5 Recovery factor vs. pore volume injected before and after injection-withdrawal tests with ZHSS-01 surfactant system

理为:形成水包油乳状液,降低流动阻力;ZHSS-01活性组分向原油中渗透,改善稠油流变特性;改善储层水湿性,降低原油流动阻力。

不同温度吞吐试验结果说明,ZHSS-01适用温度范围较宽,为30~71℃。

2.3 矿场试验

八面河油田位于济阳拗陷东营凹陷南部斜坡东段的八面河断裂构造带上,面一区是位于其东北部的一个断鼻构造。面一区沙河街组三段上亚段油藏埋深1 175~1 195 m,储层空气渗透率 $1.418 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度36.0%,地层温度65℃,地层水总矿化度20 957 mg/L,原始地层压力12.41 MPa,目前为9.85 MPa。该区目前井网为不规则注采井网,注采井数比由初期的1:2.9下降为1:5.2,注采比由初期的0.9降为0.53,现井网与初期井网相比处于不完善状态。地下存水率为-1.205%,水驱指数为-7.04,原油粘度由开发初期的798.7 mPa·s上升到目前的1 046.2 mPa·s。原油粘度升高的主要原因:1)随着油层压力、温度的下降,溶解油气比降低,导致地下原油粘度增大;2)边底水和注入水的氧化作用,使原油密度、粘度逐步增大;3)油藏轻质原油不断采出,剩余原油粘度逐步增大。因此选择面一区6斜11井进行ZHSS-01吞吐试验。该井在措施实施前为躺井,不产油,措施实施时以400 L/min的速度注入120 m³ZHSS-01溶液,注入压力从12 MPa上升到15 MPa。开井生产2天后,有原油产出。连续生产97天,平均日增产原油3.59 t,累计增产原油343.6 t(统计日后该井还在继续生产)。在八面河油田共进行了5口低产、低液井的矿场试验,有效期一个月以上,累计增油534.1 t,投入产出比为1:4.2,经济效益显著。

致谢:本文使用了江汉油田流变实验室部分资料,深表谢意。

参 考 文 献

- 杰夫里卡莫夫 В В, 哈比布林 З А, 卡比洛姆 М М. 异常石油[M]. 王传禹, 译. 北京:石油工业出版社, 1982. 31~54
Девликамов В В, Хабибуллин З А, Кабилов М М. Аномальные нефти москва[M]. Translated by Wang Chuanyu. Beijing: Petroleum Industry Press, 1982. 31~54
- 阿梅托夫 N М, 巴伊基科夫 Ю М, 鲁津 Л М, 等. 重质高粘原油的开采[M]. 陈宝来, 卢学成, 译. 北京:石油工业出版社, 1990. 121~169
Аметов Н М, Байдилов Ю М, Руин Л М. Добыча тяжелых и высоковязких нефтей. [M]. Translated by Chen Baolai, Lu Xuecheng. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990. 121~169
- 巴巴良 Г А, 列维 Б И, 杜马相 А Б, 等. 表面活性剂在油田开发中的应用[M]. 刘青年, 姜言里, 译. 北京:石油工业出版社, 1987. 40~62
Бабалян Г А, Леви Б И, Тумасян А Б. Разработка нефтяных месторождений с применением поверхностно-активных веществ [M]. Translated by Liu Qingnian, Jiang Yanli. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987. 40~62
- Browne G E, Hass C R, Sell R D. Downhole emulsification: viscosity reduction increases production[J]. JCPT, 1996, 35(4): 34~37
- 唐瑞江. 稠油采油工艺的探索试验及应用研究[J]. 油气采收率技术, 1999, 6(1): 26~32
Tang Ruijiang. Test and application of heavy oil development technique[J]. Oil & Gas Recovery Technology, 1998, 5(4): 26~32
- 关德, 陈建武, 商利军, 等. 渤海绥中36-1油田化学吞吐降粘技术初探[J]. 中国海上油气(工程), 2000, 12(1): 40~44
Guan De, Chen Jianwu, Shang Lijun, et al. Discussion on the viscosity reduction by chemical huff and puff in SZ 36-1 oil field [J]. China Offshore Oil & Gas (Engineering), 2000, 12(6): 40~44
- Clark P E, Pilenhvar A. 原油在水中乳状液的特性[J]. 黄福堂, 邹信方, 译. 国外油田工程, 1997, 11: 28~34
Clark P E, Pilenhvar A. The properties of oil-in-water emulsions[J]. Translated by. Huang Futang, Zhou Xinfang. Foreign Oilfield Engineering, 1997, 11: 28~34
- Sarma H K, Maini B B, Jha K. 对乳化溶剂开采重油的评价[J]. 生如岩, 译. 国外油田工程, 1999, 12: 1~6
Sarma H K, Maini B B, Jha K. Appreciation of heavy oil production by solvent[J]. Translated by. Sheng Luyan. Foreign Oilfield Engineering, 1999, 12: 1~6
- McAuliffe C D. Oil-in-water emulsions and their flow properties in porous media[J]. JPT, 1973, 25(6): 73~77
- 赵国玺. 表面活性剂物理化学[M]. 北京:北京大学出版社, 1984. 320~400
Zhao Guoxi. The Physical chemistry of surface-active agent[M]. Beijing: Beijing University Press, 1984. 320~400
- 郑惠光. 非牛顿原油渗流流变特言及其在油田开发中的应用[J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25(3): 90~91
Zheng Huiguang. Rheological properties of non-Newtonian crude oil percolation and its application in oilfield development [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2003, 25 (3): 90~91

(编辑:高岩)