

# 特低渗透油藏新型高效驱油剂的研究与应用

——以延长油区杏子川油田王214试验区为例

洪玲, 王香增, 王成俊, 高瑞民

(陕西延长石油(集团)有限责任公司, 陕西 西安 710075)

**摘要:**为解决特低渗透油藏油井产能低、含水上升快、产量递减快、采收率低的问题,通过室内实验对22种驱油剂进行了筛选,优化了适用于延长油区特低渗透油藏的高效驱油剂,其由11号非离子表面活性剂和15号生物表面活性剂按照体积比为1:1复配而成。对该新型驱油剂进行了界面张力实验、抗盐与抗钙性能实验和岩心驱替实验,结果表明,其具有脱油效率高、界面张力低、抗盐与抗钙性能强、溶解性好、驱油效率高和成本低的优点,可以改变储层岩石润湿性,降低注入压力,较大幅度地提高原油采收率,改善特低渗透油藏开发效果。在延长油区杏子川油田王214试验区开展了矿场试验,至2012年8月油井见效率为90%,可以提高原油产量40%,区块累积增产油量为13 555 t,水驱曲线预测提高采收率6.08%,阶段投入产出比为1:5.06。

**关键词:**低渗透油藏 驱油剂 表面活性剂 界面张力 抗盐与抗钙性能 润湿性

**中图分类号:** TE357.432

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2013)03-0092-03

表面活性剂驱油是低渗透—特低渗透油藏提高采收率的有效技术之一。阴离子表面活性剂界面活性高,耐温性能好,但抗盐性能差;非离子表面活性剂抗盐、耐多价阳离子性能好,但在地层中稳定性差,吸附量比阴离子高,且不耐高温,成本高;两性离子表面活性剂大多数都可用于高矿化度、较高温度的油层,且能大大降低非离子表面活性剂与阴离子表面活性剂复配时的色谱分离效应,但成本高<sup>[1-3]</sup>。这些不足制约着该项技术在油田的推广应用。因此,需要研制一种合适的驱油体系,不仅能降低体系界面张力,而且可以降低成本,提高采收率,最大限度地满足低渗透—特低渗透油田开发的需要<sup>[4-6]</sup>。

## 1 实验材料及方法

### 1.1 材料及仪器

选用22种驱油剂,实验用水包括蒸馏水、去离子水和地层水,实验用油为延长油区杏子川油田原油与煤油配制的模拟油,在50℃条件下,密度为0.812 1 g/cm<sup>3</sup>,粘度为2.21 mPa·s。

实验仪器包括BI-200SM型广角动/静态光散射

仪系统、STX-500H型界面张力测量仪、DV-II<sup>+</sup>型布氏粘度计、Harke100流变仪、ES120-4型电子天平、HJ-6型多头磁力搅拌器、烧杯和试管等。驱油设备主要包括平流泵、压力传感器、岩心夹持器、手摇泵和中间容器等。实验温度为40℃。

### 1.2 实验方法

静态脱油实验是观察表面活性剂样品洗油作用的直观实验。在实验中,取经烘干老化的岩心砂与原油混合,置于固定体积的容器中,加入一定质量分数的驱油剂溶液(或地层水),置于地层温度下的恒温箱中。测量不同时间的脱油量,计算脱油效率,并与地层水的脱油效率进行对比。通过实验,筛选出驱油效率高和溶解性好的样品。

界面张力实验是在油层条件下测试油水界面张力,以获得表面活性剂样品低界面张力的最佳范围,确定实验用水对驱油剂油水界面张力的影响。

岩石润湿性实验是在油藏温度下,利用试验区的天然岩心,建立束缚水饱和度和含油饱和度,将岩心放入自吸仪中,进行吸水排油;然后,进行水驱,使岩心中的油处于残余状态,放入吸油仪中,进行吸油排水及油驱。在此基础上,岩心洗油烘干后,注入质量分数为0.3%的驱油剂溶液,重复吸水

收稿日期:2013-02-20。

作者简介:洪玲,女,高级工程师,从事油田开发及提高采收率技术研究。联系电话:(029)88899657, E-mail: sxychongl@163.com。

基金项目:国土资源部矿产节约与综合利用示范工程“特低渗透油田高效开发提高采收率示范工程”(886043),陕西省科技统筹创新工程计划项目“提高延长油田主力油层开发效果系统工程关键技术研究”(2011KTZB-04)。

指数和吸油指数测试。

岩心驱替实验主要研究驱油剂质量分数对岩心驱油效率的影响。在油藏温度和压力条件下,利用天然岩心,建立束缚水饱和度和含油饱和度,将岩心放入夹持器中进行水驱油,至不出油时加入含有一定质量分数的驱油剂溶液,直至岩心中的油处于残余状态。

## 2 驱油剂的复配与性能评价

经过室内实验分析对比,从22种驱油剂中筛选出的11号非离子表面活性剂和15号生物表面活性剂,均具有抗盐与抗钙性能好,易溶解,驱油效率高,适用范围广的优点。这2种表面活性剂均能充分溶解于矿化度为 $10 \times 10^4$  mg/L的水中或钙离子质量浓度为 $5 \times 10^3$  mg/L的水中;11号非离子表面活性剂与煤油间的界面张力较低(图1)。质量分数为0.3%的11号非离子表面活性剂在特低渗透率人造均质岩心中驱油效率增加值为9.33%,注入压力可以降低50%;质量分数为2%的15号生物表面活性剂在裂缝性特低渗透率天然岩心中驱油效率增加值为9.85%。由此可见,11号非离子表面活性剂可用于矿化度为 $10 \times 10^4$  mg/L、钙离子质量浓度为 $5 \times 10^3$  mg/L的特低渗透油藏提高驱油效率,且具有降低注入压力的作用,可解决低渗透油藏注水压力高的问题;15号生物表面活性剂可用于矿化度为 $10 \times 10^4$  mg/L、钙离子质量浓度为 $5 \times 10^3$  mg/L的裂缝性油

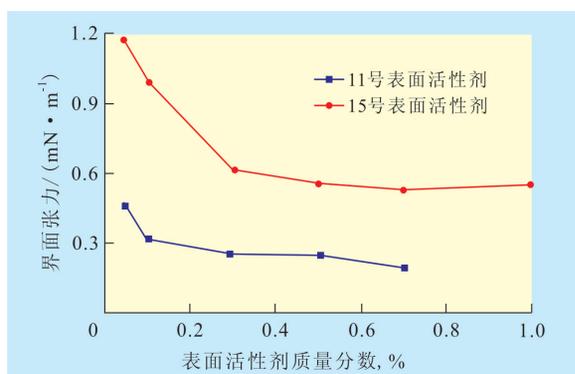


图1 表面活性剂质量分数及与煤油间界面张力的关系

藏提高驱油效率。

将11号非离子表面活性剂和15号生物表面活性剂按照体积比为1:1进行复配,制成新型驱油剂,测试其抗盐与抗钙性能、界面张力、对岩石润湿性的影响和驱油性能。

### 2.1 抗盐与抗钙性能

将质量分数为0.5%的新型驱油剂溶于氯化钠质量浓度分别为 $0, 2.5 \times 10^4, 5 \times 10^4, 10 \times 10^4$  mg/L的盐水中,氯化钙质量浓度分别为 $0, 1 \times 10^3, 2.5 \times 10^3, 5 \times 10^3$  mg/L的盐水中,观察驱油剂在盐水中的溶解情况。经观察,驱油剂在盐水中溶解性能很好,抗盐性能可达到 $10 \times 10^4$  mg/L,抗钙性能可达到 $5 \times 10^3$  mg/L。

### 2.2 界面张力

为确定新型驱油剂在不同矿化度水中的界面活性<sup>[7-8]</sup>,用氯化钠质量浓度分别为 $0, 5 \times 10^3, 1 \times 10^4, 2 \times 10^4, 5 \times 10^4, 10 \times 10^4, 15 \times 10^4$  mg/L的盐水配制质量分数为0.5%的驱油剂溶液,测得其与煤油的界面张力分别为0.440 2, 0.516 5, 0.560 7, 0.592 7, 0.910 0, 0.811 6和0.811 6 mN/m。随着溶液矿化度的增加,油水界面张力总体呈上升趋势,但变化幅度很小,所以试验用驱油剂的抗盐性较稳定。同时也可以看出在高矿化度条件下该驱油剂油水界面张力相对较低。

保持水的总矿化度为 $1 \times 10^4$  mg/L,用钙离子质量浓度分别为 $0, 0.5 \times 10^3, 1 \times 10^3, 1.5 \times 10^3, 2 \times 10^3, 2.5 \times 10^3$  mg/L的盐水配制质量分数为0.5%的驱油剂溶液,测得其与煤油的界面张力分别为0.440 2, 0.457 4, 0.467 3, 0.344 3, 0.418 1和0.319 7 mN/m。随着溶液钙离子质量浓度的增加,驱油剂与煤油间界面张力总体呈下降趋势,但变化幅度很小,所以试验用驱油剂的抗盐性较稳定。

### 2.3 润湿性

利用自吸法<sup>[9]</sup>测定岩石润湿性。由实验结果(表1)可以看出,1号和5号岩心的初始润湿性都是强亲水,在注入新型驱油剂溶液后,岩石的润湿类型变为亲水,说明该驱油剂可改变岩石的润湿性,有利于提高驱油效率。

表1 自吸法测定油藏岩石润湿性实验结果

岩心号	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙 度, %	润 湿 指 数		相对润 湿指数	润湿 类型	备注
			油湿指数	水湿指数			
1	5.3	13.25	0.063	0.901	0.838	强亲水	
1	5.3	13.25	0.156	0.806	0.650	亲水	加驱油剂
5	3.9	12.05	0	0.854	0.854	强亲水	
5	3.9	12.05	0.111	0.761	0.650	亲水	加驱油剂

## 2.4 驱油性能

随着新型驱油剂的注入,岩心驱油效率不断增加,当驱油剂质量分数为0.1%~0.3%时,驱油效率增加幅度较大(图2)。同时,驱油剂能显著降低注入压力<sup>[10-12]</sup>,使其下降幅度大于50%。

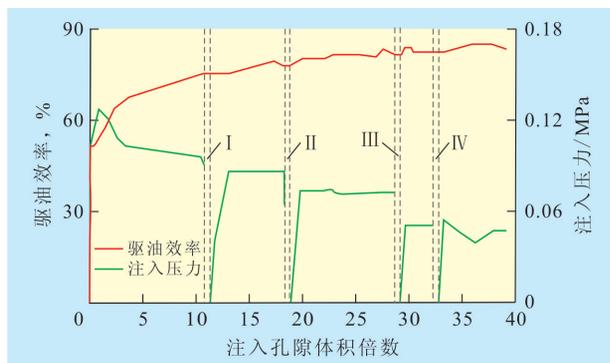


图2 新型高效驱油剂岩心驱替实验结果

- I—注入质量分数为0.1%的0.5倍孔隙体积的驱油剂;  
 II—注入质量分数为0.3%的0.5倍孔隙体积的驱油剂;  
 III—注入质量分数为0.5%的0.5倍孔隙体积的驱油剂;  
 IV—注入质量分数为0.7%的0.5倍孔隙体积的驱油剂

## 3 矿场应用

杏子川油田王214试验区主要开发层系为上三叠统延长组长2油层,油层中部深度为950 m,油层平均孔隙度为11.95%,平均渗透率为 $7.96 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,具有低孔隙、特低渗透的特征。平均地面原油密度为 $0.8594 \text{ g/cm}^3$ ,地层原油体积系数为1.029,平均地层原油粘度为 $16.0565 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,含蜡量为8.12%。地层水总矿化度为 $24855 \text{ mg/L}$ ,水型为 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 型。试验区有9口注水井和43口采油井,含油面积为 $3.68 \text{ km}^2$ ,石油地质储量为 $274 \times 10^4 \text{ t}$ 。

试验区自2010年5月注入实验所配制的新型高效驱油剂,配液质量分数为0.5%,至2012年7月共注入0.41倍孔隙体积的驱油剂溶液269.8 t。注入3个月(约0.005倍孔隙体积)后,区块整体见效(图3),

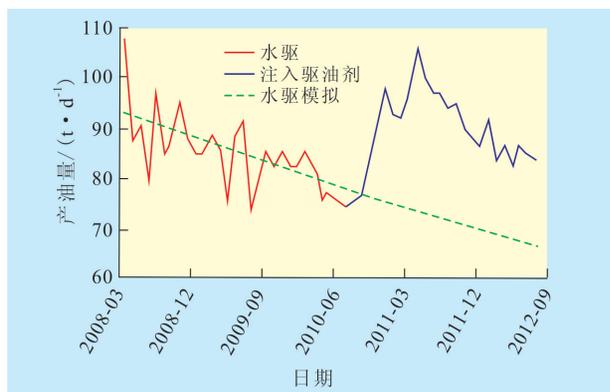


图3 王214试验区产油量变化趋势

呈现产液量和产油量增加、含水率下降的特征。至2012年8月油井见效率为90%,试验区产液量由试验前的215.92 t/d增加到281.63 t/d,产油量由74.88 t/d最大增加到105.18 t/d(图3),增加了40%,综合含水率由65.3%降低到62.6%,变化幅度不大,累积增油量为13555 t,水驱曲线预测提高采收率为6.08%,阶段投入产出比为1:5.06,取得了显著效果。

## 4 结束语

利用非离子表面活性剂和生物表面活性剂复配,不仅可形成优势互补,而且能保持单个表面活性剂的优点,可进一步降低驱油剂的成本。

新型高效驱油剂具有界面张力低,抗盐与抗钙性能强,改变岩石润湿性等优点;不仅可以提高驱油效率,还可以降低注入压力;通过矿场试验进一步验证了该高效驱油剂具有大幅度增加油井产量,提高采收率,投入产出比高的特点,适合特低渗透油田推广。

### 参考文献:

- [1] 唐红娇,侯吉瑞,赵凤兰,等.油田用非离子型及阴-非离子型表面活性剂的应用进展[J].油田化学,2011,28(1):115-118.
- [2] 陈锡荣,黄凤兴.驱油用耐温抗盐表面活性剂的研究进展[J].石油化工,2010,39(12):1307-1311.
- [3] 仇莉,吴芳,张弛,等.驱油用表面活性剂的发展及界面张力研究[J].西安石油大学学报:自然科学版,2010,25(6):59-65.
- [4] 王东方,崔晓朵,尹海峰,等.筛选驱油用表面活性剂方法初探[J].油气地质与采收率,2011,18(4):57-60.
- [5] 尚朝辉,吴晓东.桩西115区块表面活性剂驱技术研究与应[J].油田化学,2012,29(2):220-224.
- [6] 赵琳,李爱芬,李会会,等.三季铵盐表面活性剂界面性能及驱油效果评价[J].油气地质与采收率,2012,19(1):72-74.
- [7] 张海红,王晓燕,牛丽伟,等.SJT-B表面活性剂/聚合物二元复合体系性能评价[J].大庆石油学院学报,2009,33(1):24-28.
- [8] 欧阳传湘,付蓉,涂志.超稠油三元复合吞吐中表面活性剂筛选及性能评价[J].石油地质与工程,2009,23(6):105-107.
- [9] 曲岩涛,王建,李奋,等.SYT 5152—1999 油藏岩石润湿性测定方法[S].北京:石油工业出版社,2008.
- [10] 冯岸洲,张建强,蒋平,等.低渗透油藏高浓度表面活性剂体系降压增注试验研究[J].油田化学,2011,28(1):69-73.
- [11] 刘春天,李星.驱替体系的主要性质对驱油效率的影响[J].油气地质与采收率,2012,19(1):66-68.
- [12] 梁玉纪,海心科,李玉明.低渗透油田表面活性剂降压增注技术及应用[J].石油天然气学报,2010,32(4):353-355.