

新型低张力泡沫驱油体系性能研究

郭东红^{1*}, 李睿博², 孙建峰², 崔晓东¹

(1. 中国石油勘探开发研究院采油采气工程研究所, 北京 100083;

2. 中国石油勘探开发研究院油田化学研究所, 北京 100083)

摘要:针对大港港东油藏条件,对新型低张力泡沫驱油体系(芥酸酰胺丙基甜菜碱 EAB40 与十二烷基磺酸钠 SLS 的复配体系)的耐温性能、耐矿化度性能、抗二价离子性能进行了系统研究,结果表明,该低张力泡沫驱油体系的耐温性能达到 80℃,耐矿化度性能达到 60 000 mg/L,抗二价离子性能达到 220 mg/L。岩心对比驱油实验表明,低张力泡沫驱油体系 0.3% EAB40+0.2% SLS 能够在水驱基础上提高采收率 10.8%,明显优于单一表面活性剂驱(0.5% 芥酸酰胺丙基羟磺基甜菜碱 EHSB40)或单一泡沫驱(0.5% α -烯烴磺酸盐 AOS)。

关键词:油水界面张力;泡沫性能;低张力泡沫驱油体系;采收率

中图分类号:TE357

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2019)10-0116-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2019.10.025

Study on properties of new low tension foam flooding system

GUO Dong-hong^{1*}, LI Rui-bo², SUN Jian-feng², CUI Xiao-dong¹

(1. Department of Oil & Gas Production Engineering, Research Institute of Petroleum Exploration & Development,

CNPC, Beijing 100083, China; 2. Oilfield Chemistry Department, Research Institute of Petroleum

Exploration & Development, CNPC, Beijing 100083, China)

Abstract: According to the oil reservoir conditions of eastern Dagang Oilfield, the temperature resistance, salinity resistance and divalent ion resistance of low-tension foam flooding system that consists of erucamide propylbetaine EAB40 and sodium dodecyl sulfonate SLS are systematically studied. The results show that this low-tension foam flooding system can bear a temperature of 80℃, a salinity of 60 000 mg·L⁻¹ and a divalent ions of 220 mg·L⁻¹. Core contrast flooding experiments indicate that 0.3% EAB40+0.2% SLS low-tension foam flooding system can improve recovery efficiency by 10.8% on the basis of water flooding system, which is significantly better than single surfactant flooding system (0.5% EHSB40) or single foam flooding system (0.5% AOS).

Key words: interfacial tension between oil and water; foaming property; low tension foam flooding system; recovering rate

我国大部分油田处于高含水期,如果继续采用常规水驱方式,提高原油采收率的幅度比较有限。根据对采收率影响因素的综合分析,提高采收率应综合考虑以下两个方面:一是通过改善流度比提高波及效率;二是通过降低界面张力以提高驱油效率^[1-2]。

传统的泡沫驱能够较好地提高波及体积,但不能较大幅度地提高洗油效率;传统的表面活性剂驱能够较好地提高洗油效率,但不能较大幅度地提高波及体积。因此开发研制具有调剖和洗油能力的低张力泡沫驱油体系,进而开发出相应的驱油技术,将为老油田开发提供新的提高采收率方法^[3-6]。笔者在前期低张力泡沫驱油体系研制筛选的基础上^[7-8],对新型低张力泡沫驱油体系(芥酸酰胺丙基甜菜碱 EAB40 与十二烷基磺酸钠 SLS 的复配体系)

的耐温性能、耐矿化度性能、耐二价离子性能进行了系统研究,并开展了室内岩心对比驱油实验。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

芥酸酰胺丙基甜菜碱(EAB40)、芥酸酰胺丙基羟磺基甜菜碱(EHSB40),上海银聪新材料科技有限公司生产; α -烯烴磺酸钠(AOS),上海棋成实业有限公司生产;十二烷基磺酸钠(SLS),化学纯,国药集团化学试剂有限公司生产;大港港东 2 区原油,密度为 0.887 8 g/cm³,大港油田采油院生产。

电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司生产;TX-500C 型旋转滴界面张力仪,美国 CNG 公司生产;WARING 34BL99 型搅拌机,美国 WARING 公司生产;HH. S21-Ni6 型电热恒温水浴锅,北京长

收稿日期:2019-06-06;修回日期:2019-08-04

基金项目:中国石油天然气股份有限公司科技管理部及勘探开发研究院资助项目(2018D-5006-36,2012Y-050)

作者简介:郭东红(1965-),男,博士,高级工程师,研究方向为油气田开采用表面活性剂,通讯联系人,gdh@petrochina.com.cn。

安永创科学仪器有限公司生产;DWY-1A全自动原油电脱水仪,泰州市姜堰分析仪器厂生产;泡沫驱替多功能物理模拟实验装置,海安石油科研仪器有限公司生产。

1.2 配制模拟地层水

不同矿化度模拟水的配制方法:在电子天平上分别称取 2.400、4.400、7.400、9.400、19.400、29.400、39.400、49.400、59.400 g 氯化钠及总质量 0.600 g 的氯化钙和氯化镁(质量比 1:1)于烧杯中,向其中加入适量的蒸馏水进行溶解,然后转移至 1 L 的容量瓶中定容,配制成 3 000、5 000、8 000、10 000、20 000、30 000、40 000、50 000、60 000 mg/L 不同矿化度的模拟地层水,其中钙镁二价离子的质量浓度为 180 mg/L。

不同二价离子质量浓度模拟水的配制方法:与不同矿化度的模拟水的配制方法相同,保证体系总矿化度为 5 000 mg/L,钙镁离子总质量浓度分别为 180、200、220、240、260、280、300、320、340、360 mg/L。

1.3 油水界面张力的测试

利用 TX-500C 型旋转滴界面张力仪测试低张力泡沫驱油体系的油水界面张力,每个样品的测试时间是 2 h,记录平衡时的油水界面张力值。针对大港港东的油藏条件,除非特别说明,低张力泡沫驱油体系界面张力的测试温度设定为 65℃。

1.4 泡沫性能的评价方法

量取 100 mL 待测水溶液,用 WARING 34BL99 型搅拌器于转速 5 000 r/min 的条件下搅拌 1 min,然后将泡沫倒进 1 L 的量筒中,同时开始计时,读取低张力泡沫驱油体系的发泡体积及泡沫半衰期。

1.5 岩心驱替实验

岩心驱替实验步骤如下:在室温下测量岩芯长度、直径,并称量岩芯干重;将岩芯在饱和容器中抽空并饱和矿化度为 5 000 mg/L 的模拟地层水 24 h;称量岩芯湿重,根据盐水密度计算孔隙体积和孔隙度;室温条件下,用模拟地层水驱替饱和岩芯,压力稳定后测量水相渗透率;饱和实验用大港原油和煤油配制的模拟油 24 h,计算原始含油饱和度;驱替实验过程中保持温度 65℃,气液比 1:1,在 0.5 mL/min 注入速度下,水驱油至出口含水 98% 以上,记录压力变化,计算水驱采收率;转而 0.5 PV 的 3 种驱油体系至岩心含水量达到 98% 以上,分别计算 3 种驱油体系提高采收率数值。

2 结果与讨论

2.1 温度对低张力泡沫驱油体系界面张力和发泡性能的影响

不同温度下低张力泡沫驱油体系 0.30% EAB40+0.20% SLS 的油水界面张力和发泡性能如表 1 所示。从表 1 中可以看出,当温度在 50~80℃ 范围内变化时,0.30% EAB40+0.20% SLS 体系的油水界面张力保持在 10^{-2} mN/m 数量级,起始发泡体积保持在待测溶液体积的 4 倍以上,能够满足油田现场对低张力泡沫驱油体系性能指标的要求^[8],表明该低张力泡沫驱油体系具有较好的耐温性能,耐温性能最高达到 80℃。

表 1 不同温度下 0.30% EAB40+0.20% SLS 体系的油水界面张力和发泡性能

温度/ ℃	油水界面张力 $\sigma/(10^{-2}\text{mN}\cdot\text{m}^{-1})$	起始发泡体积 V_0/mL	泡沫半衰期 $T_{1/2}/\text{h}$
50	9.792	450	6.0
55	7.752	470	7.0
60	4.867	480	8.0
65	2.725	500	9.0
70	3.326	495	8.5
75	3.795	490	8.0
80	4.013	480	7.0

2.2 矿化度对低张力泡沫驱油体系界面张力和发泡性能的影响

不同矿化度下低张力泡沫驱油体系 0.30% EAB40+0.20% SLS 的油水界面张力和发泡性能如表 2 所示,从表 2 中可以看出,当矿化度在 3 000~60 000 mg/L 范围内变化时,0.30% EAB40+0.20% SLS 体系的油水界面张力和起始发泡体积均能满足现场指标要求,不仅具有较好的洗油效果,而且具有

表 2 不同矿化度下 0.30% EAB40+0.20% SLS 体系的油水界面张力和发泡性能

模拟矿化度水/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	油水界面张力 $\sigma/(10^{-2}\text{mN}\cdot\text{m}^{-1})$	起始发泡体积 V_0/mL	泡沫半衰期 $T_{1/2}/\text{h}$
3000	4.482	430	2.5
5000	2.725	440	10.0
8000	4.669	460	9.5
10000	5.053	480	9.0
20000	7.638	500	8.5
30000	6.056	540	8.0
40000	5.126	440	5.5
50000	5.030	420	5.0
60000	2.672	400	4.0

较强的调剖作用,表明该低张力泡沫驱油体系具有较好的耐矿化度性能,耐矿化度性能最高达到 60 000 mg/L。

2.3 二价离子质量浓度对低张力泡沫驱油体系界面张力和发泡性能的影响

不同二价离子质量浓度下低张力泡沫驱油体系 0.30% EAB40+0.20% SLS 的油水界面张力和发泡性能如表 3 所示。从表 3 中可以看出,当二价离子质量浓度在 180~220 mg/L 范围内变化时,0.30% EAB40+0.20% SLS 体系的油水界面张力和起始发泡体积满足现场指标要求,表明该低张力泡沫驱油体系抗二价离子性能较好,抗二价离子性能最高可以达到 220 mg/L。当二价离子质量浓度大于 220 mg/L 时,0.30% EAB40+0.20% SLS 体系的油水界面张力依然能保持在 10^{-2} mN/m 数量级,但起始发泡体积达不到待测溶液体积的 4 倍,说明随着二价离子质量浓度的升高,高价的 Ca^{2+} 等离子与体系中的阴离子基团作用生成沉淀,表面活性剂有效浓度降低,泡沫的起泡性和稳定性下降,从而一定程度上抑制了体系的泡沫性能^[9]。

表 3 不同二价离子质量浓度下 0.30% EAB40+0.20% SLS 体系的油水界面张力和发泡性能

钙镁离子质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	油水界面张力 $\sigma/(10^{-2}\text{mN}\cdot\text{m}^{-1})$	起始发泡体积 V_0/mL	泡沫半衰期 $T_{1/2}/\text{h}$
180	2.725	440	10.0
200	6.017	410	8.5
220	8.704	400	7.5
240	6.375	380	7.0
260	5.271	370	6.5
280	4.869	365	6.5
300	4.477	360	6.0

2.4 室内岩心对比驱油试验

岩心参数及岩心驱替对比实验结果分别如表 4、表 5 所示。

表 4 岩心参数

岩心编号	岩心长度/cm	岩心直径/cm	岩心孔隙度/%	岩心渗透率/mD	原油饱和度/%
1	10.10	2.50	32.30	295.35	71.20
2	10.05	2.55	32.80	296.10	72.50
3	10.00	2.45	31.50	295.80	70.70

从表 5 中可以看出,油水界面张力较低、泡沫性能较好的驱油体系即低张力泡沫驱油体系(0.3% EAB40+0.2% SLS)能够在水驱的基础上提高采收

表 5 岩心驱替对比实验结果

驱油体系	0.5% EHSB40 (1号岩心)	0.3% EAB40+ 0.2% SLS (2号岩心)	0.5% AOS (3号岩心)
油水界面张力 $\sigma/$ ($10^{-2}\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$)	7.067	2.725	86.06
起始发泡体积 V_0/mL	40	440	585
水驱采收率/%	34.30	35.10	33.90
总采收率/%	41.90	45.90	40.60
提高采收率/%	7.60	10.80	6.70

率可达 10.80%,明显优于单一的表面活性剂驱(0.5% EHSB40)或单一的泡沫驱(0.5% AOS)提高的采收率,表明针对大港港东油藏条件筛选出的低张力泡沫驱油体系 0.3% EAB40+0.2% SLS 即能提高洗油效率又能扩大波及体积,因而能够更大幅度地提高采收率。

3 结论

(1)0.30% EAB40+0.20% SLS 低张力泡沫驱油体系耐温性能达到 80℃,耐矿化度性能达到 60 000 mg/L,抗二价离子性能达到 220 mg/L。

(2)岩心对比驱油实验表明,低张力泡沫驱油体系 0.3% EAB40+0.2% SLS 能够在水驱基础上提高采收率 10.8%,明显优于单一的表面活性剂驱或单一的泡沫驱。

参考文献

- [1] 邹德海.高含水油藏泡沫调驱提高原油采收率研究[D].大庆:大庆石油学院,2006.
- [2] 程利民,王业飞,何宏,等.泡沫调驱的研究与应用进展[J].油田化学,2013,30(4):620-625.
- [3] Liang Xin, Xiang Minghui, Yang Yong, et al. The laboratory research on ultra-low interfacial tension foam flooding system with high-temperature and high-salinity[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 71-78:2163-2168.
- [4] 孙建峰,郭东红,崔晓东,等.甜菜碱类低界面张力泡沫驱油体系性能研究[J].石油钻采工艺,2014,36(3):92-95.
- [5] 余婷,杨旭,董雅杰,等.低界面张力泡沫驱油剂的制备及其性能[J].石油化工,2016,45(10):1243-1247.
- [6] 周玉萍.江汉油田高盐油藏低界面张力泡沫驱提高采收率研究[J].油田化学,2017,34(1):92-95.
- [7] 李睿博,郭东红,王源源,等.低张力泡沫驱油体系的研究进展[J].精细与专用化学品,2019,27(3):13-16.
- [8] 李睿博,郭东红,王源源,等.调驱一体化泡沫驱油体系配方优化研究[J].现代化工,2019,39(2):140-143.
- [9] 吴轶君,孙琳,蒲万芬.高温下高矿化度对泡沫性能的影响[J].石油化工,2017,46(5):619-625.■