

多氟烷基甜菜碱的高温驱油特性研究

刘妍卿

(中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司勘探开发研究院 山东 东营 257000)

【摘要】本文提出了一种新型氟碳类表面活性剂(多氟烷基甜菜碱)作为高温驱油剂,测定多氟烷基甜菜碱在高温处理前后不同浓度下的界面张力。研究表明,在70℃条件下化学剂质量浓度高于0.1%后,可将油水界面张力降低至 5.2×10^{-2} mN/m以下,而且经过300℃高温处理后界面张力变化率仅为7.69%,表现出良好的油水界面性能和耐温性能。同时考察了质量浓度对降粘性能的影响,确定了多氟烷基甜菜碱溶液的最低使用浓度为0.55%,此浓度下的乳化降粘率达到90%以上,具有良好的降粘效果。利用中性润湿模型和亲油模型进行驱油剂伴注蒸汽驱油实验,考察了200℃条件下多氟烷基甜菜碱的驱油能力与质量浓度的变化规律。在中性和油湿模型中驱油剂伴注蒸汽驱均可提高驱油效率,其中中性润湿模型驱油效果更好。两种模型中驱油剂的使用浓度为0.55%时,驱油效率提高量最大,经济效益最好。对多氟烷基甜菜碱驱油性能的研究为降低稠油开采成本、开拓氟碳表面活性剂新领域应用提供参考。

【关键词】氟碳表面活性剂;多氟烷基甜菜碱;界面性能;降粘性能;驱油效果

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2021.09.1316

一、前言

目前稠油油藏以注热开发作为主要的开采方式,通过高温蒸汽加热稠油储层,增强原油流动性以利于顺利采出。为了强化稠油蒸汽驱开发效果,近年来国内外诸多学者研究了稠油化学蒸汽驱技术。通过加入表面活性剂,协同蒸汽加热稠油降粘,降低油水界面张力,改善稠油流变性,成为提高稠油采收率的重要手段。

但是化学剂辅助蒸汽驱的成本高,受低油价下的平衡油价限制,辅助蒸汽的助剂必须价格低廉且使用量少。同时辅助蒸汽采油用的化学剂受蒸汽和不同区块储层条件的制约,必须有良好的各项性能指标。近井地带蒸汽温度高达300℃以上,要求伴注的化学剂必须能耐300℃左右的高温,而目前通用的表面活性剂耐温上限低,热稳定性差;此外,蒸汽助剂应在增强稠油流动性、降低油水界面张力方面起到切实可行的作用,达到改善稠油流变性的目的。从而使表面活性剂辅助蒸汽驱采油时达到理想的采收率,取得良好的经济效率。所以能耐高温的高性能驱油剂成了亟需研究的问题。而氟碳类表面活性剂分子结构中独特的C-F键,使此类表面活性剂具有高表面活性、高耐热稳定性的特性,有望在蒸汽采油领域得以应用。

本文针对多氟烷基甜菜碱具有氟碳高稳定性和甜菜碱高表面活性的优点,对多氟烷基甜菜碱的耐温性、界面性能、降粘率和驱油能力进行实验研究,为氟碳表面活性剂在蒸汽辅助稠油开采中的应用提供帮助。

二、多氟烷基甜菜碱性能测试实验

多氟烷基甜菜碱是将直链上6个碳原子氟化形成的氟碳类表面活性剂,分子式为: $F(CF_2)_6CH_2CH_2SO_2NH(CH_2)_3N^+(CH_3)_2CH_2COOH$,无毒、易降解,不会对人体和环境造成危害。多氟烷基甜菜碱由实验室自制获得。首先多氟烷基磺酸与N,N-二甲基-1,3-丙二胺在120℃和氮气保护作用下进行酰胺化反应,生成相应的中间体多氟烷基酰胺。多氟烷基酰

胺与氯乙酸钠经季铵化反应,得到相应的多氟烷基甜菜碱。

(一)多氟烷基甜菜碱耐温性能及油水界面性能测试

1.测试目标及条件

利用TX500C型全量程旋转滴界面张力仪,测定70℃时多氟烷基甜菜碱溶液与原油的界面张力,并将多氟烷基甜菜碱置于300℃的高温高压釜中处理12h后,静置降温,再次在70℃下测定其与原油的界面张力。通过对比高温处理前后多氟烷基甜菜碱溶液与原油界面张力的变化,表征多氟烷基甜菜碱的高温稳定性及油水界面性能。实验使用的多氟烷基甜菜碱溶液的质量浓度分别为:0.02%、0.05%、0.1%、0.3%、0.5%。

2.测试结果

多氟烷基甜菜碱溶液与原油界面张力测试结果如下:

由以上测试结果可以看出,随着质量浓度逐渐增大,界面张力逐渐降低。多氟烷基甜菜碱溶液的浓度到达0.1%时,即可使油水界面张力到达 5.2×10^{-2} mN/m,并且浓度超过0.1%后,界面张力的变化率较小。说明多氟烷基甜菜碱溶液降低界面张力性能良好。同时经过300℃高温处理后,油水界面张力变化率较小,表现出优异的高温稳定性。

(二)多氟烷基甜菜碱降粘率测试

1.测试目标及条件

将高温处理后的不同质量浓度的多氟烷基甜菜碱溶液与孤岛油田脱水原油按照质量比2:8混合。用玻璃棒搅拌均匀,观察多氟烷基甜菜碱溶液对原油的乳化效果,并使用Brookfield旋转黏度计在70℃下测定油水乳状液的粘度。结合脱水原油黏度,计算获得多氟烷基甜菜碱的降粘率,分析不同浓度下多氟烷基甜菜碱的降粘性能。实验先使用质量浓度分别为0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%的高温驱油剂浓度进行测试,确定一个降粘率较好的浓度区间,然后在降粘率较好的浓度区间内设置5个浓度梯度再次进行降粘率测试,确定乳化降粘效果较好的多氟烷基甜菜碱溶液的最低使用浓

表 2-1 多氟烷基甜菜碱溶液耐温性能及油水界面性能测试结果表

质量浓度 (%)	70℃界面张力 (mN/m)	300℃处理后界面张力 (mN/m)	界面张力变化率 (%)
0.02	1.525	1.531	0.39
0.05	0.140	0.143	2.14
0.1	0.052	0.056	7.69
0.3	0.050	0.053	6.00
0.5	0.049	0.052	6.12

度。

2. 测试结果

不同浓度下多氟烷基甜菜碱降粘率测试结果如表2-2所示:

表2-2 不同质量浓度的多氟烷基甜菜碱的降粘率测试结果表

质量浓度 (%)	乳化现象	降粘率 (%)
0.3	不乳化	-
0.6	极易乳化, 黄色	90.3
0.9	极易乳化, 黄色	91.2
1.2	易乳化, 棕色	91.7
1.5	易乳化, 深棕色	92.4

由表2-2多氟烷基甜菜碱乳化降粘率测试结果看出, 当多氟烷基甜菜碱质量浓度在0.6%-1.5%区间内, 多氟烷基甜菜碱乳化降粘效果差别不大, 考虑开发成本, 选择在质量浓度为0.6%附近设置5个质量浓度梯度更小的浓度, 质量浓度分别为: 0.45%, 0.55%, 0.65%, 0.75%, 0.85%。再次测试不同浓度下多氟烷基甜菜碱的乳化降粘率。降粘率测试结果如下表2-3所示。

表2-3 小浓度梯度下多氟烷基甜菜碱降粘率测试结果表

质量浓度 (%)	乳化现象	降粘率 (%)
0.45	极易乳化, 黄色	73.6
0.55	极易乳化, 黄色	90.1
0.65	极易乳化, 黄色	90.5
0.75	易乳化, 棕色	90.8
0.85	易乳化, 深棕色	91.0

由以上测试结果看出, 当多氟烷基甜菜碱质量浓度从0.45%增大到0.55%时, 多氟烷基甜菜碱对原油的乳化降粘率明显提升, 但是继续增大多氟烷基甜菜碱的质量浓度时, 降粘率变化不大。选择多氟烷基甜菜碱的使用质量浓度为0.55%较为合适。

(三) 多氟烷基甜菜碱驱油能力测试

1. 测试目标及条件

实验用砂为用孤岛原油经过不同时间老化, 处理成中性和油性润湿的石英砂。按润湿性把油砂洗净烘干, 采用干装法将备好的干砂制成实验需要的8支管式模型。实验用油为孤岛油田脱水原油, 70℃的油藏温度下粘度为702mpa·s, 属于普通稠油。实验前进行脱水及过滤处理, 并测定各温度点的粘度。实验用水为模拟地层水, 矿化度为5682mg/L。

表2-4 不同温度下原油粘度测试结果表

实验温度, ℃	70 (油藏温度)	100	200	250
原油粘度, mPa·s	702	105	26	3.29

驱替实验使用多氟烷基甜菜碱溶液的质量浓度分别为0%、0.3%、0.55%、1.0%。利用如图2-1所示的稠油蒸汽驱物理模拟实验装置, 在200℃下进行高温驱油剂伴蒸汽驱油实验, 分析高温驱油剂在中性润湿模型和油湿模型中的驱油能力。实验步骤参考《中华人民共和国天然气行业标准SY/T6315-2006》中的非稳态驱替法。主要实验步骤如下: (1) 建立岩样初始饱和和水状态。干样称重, 将岩样抽真空2h后, 饱和模拟地层水, 求得有效孔隙体积和孔隙度。(2) 系统建压、升温。设定系统回压为地层压力。设定恒温箱温度为实验温度, 恒温5h。(3) 油驱水法建立束缚水。以0.1mL/min的注入速度, 用原油驱水至不出水为止, 测定产水量, 计算模型内的束缚水饱和度。(4) 高温驱油剂伴注蒸汽驱油。以0.2mL/

min的注入速度向岩心注入高温驱油剂溶液。根据出油量选择时间间隔。随着出油量的下降, 逐渐提高驱替速度, 延长记录时间间隔。直至不出油为止, 实验结束。(5) 处理实验数据, 绘制高温驱油剂驱油效率曲线。

2. 测试结果

(1) 中性润湿模型中, 不同浓度多氟烷基甜菜碱溶液的驱油效率实验结果如表2-6所示:

表2-5 不同浓度多氟烷基甜菜碱溶液的驱油效率结果 (中性模型)

质量浓度, %	0	0.3	0.55	1.0
驱油效率, %	61.08	65.54	75.03	78.43

从中性润湿模型中驱替实验结果看, 随着多氟烷基甜菜碱溶液浓度增加, 驱油效率不断增大, 但是增大幅度是先变大后减小的。多氟烷基甜菜碱溶液的质量浓度为0.55%时, 驱油效率达到75.03%, 比单纯蒸汽驱提高13.95%, 驱油剂辅助蒸汽驱驱油效果非常好; 多氟烷基甜菜碱溶液的质量浓度为1.0%的驱油效率仅比质量浓度为0.55%的驱油效率提高3.4%, 因此, 蒸汽驱过程中引入多氟烷基甜菜碱溶液可明显提高驱油效率。同时确定合适的使用浓度, 将取得最大的经济效益。(2) 油湿模型中, 不同浓度多氟烷基甜菜碱的驱油效率实验结果如表2-6所示:

表2-6 不同浓度多氟烷基甜菜碱的驱油效率结果 (油湿模型)

质量浓度 %	0	0.3	0.55	1.0
驱油效率 %	55.01	61.14	68.56	70.56

由以上图表可知, 当采用油湿模型时, 使用多氟烷基甜菜碱能够提高驱油效率。驱油效率随多氟烷基甜菜碱的浓度的变化规律和中性模型相似。但是蒸汽驱和高温驱油剂辅助蒸汽驱的驱油效率明显低于中性润湿模型。驱油剂质量浓度为1.0%的驱油效率仅比质量浓度为0.55%的驱油效率提高2%。所以, 当多氟烷基甜菜碱的使用浓度为0.55%时, 油湿模型的驱油效率提高量最大, 经济效率最好。

三、结论

(1) 多氟烷基甜菜碱溶液使用浓度高于0.1%, 即可使孤岛原油的油水界面张力降低到 5.2×10^{-2} mN/m, 使用浓度低, 界面性能良好; 同时300℃高温处理前后油水界面张力变化较小, 高温稳定性好。(2) 随着多氟烷基甜菜碱溶液浓度增加, 高温驱油剂的乳化降粘率增大。但是当多氟烷基甜菜碱溶液浓度达到0.55%时, 乳化降粘率变化较小, 0.55%作为多氟烷基甜菜碱溶液的最佳使用浓度。(3) 中性润湿模型和油湿模型中, 驱油剂辅助蒸汽驱均可提高驱油效率。其中在中性润湿模型中驱油效果更好。通过分析两种模型中驱油效率随驱油剂浓度的变化规律, 确定质量浓度为0.55%时, 驱油效率提高量最大, 可实现经济效益最大化。

参考文献

[1] 吕小博, 魏云鹤, 于萍, 等. 稠油降黏聚合物功能材料的合成与降黏性能研究[J]. 材料工程, 2012, (11): 52-60.

[2] 应丹丹. 甜菜碱型表面活性剂驱油体系的研究[D]. 西安石油大学, 2012.

作者简介:

刘妍卿 (1986—), 女, 山东潍坊人, 工程师, 硕士。从事稠油开发实验研究工作。