

## 高温高盐条件下 APG-LC 复配体系的泡沫性能与界面张力

孟庆阳<sup>1</sup>, 陈捷<sup>1</sup>, 赵甜静<sup>1</sup>, 杨黎明<sup>1</sup>, 徐毅<sup>1</sup>,  
相明辉<sup>1</sup>, Andress Waag<sup>1</sup>, 宋兴旺<sup>2</sup>, 祝仰文<sup>2</sup>

(1. 上海大学 环境与化学工程学院, 上海 200444; 2. 中国石化股份胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257000)

**摘要:** 以制备耐高温高盐的泡沫复合驱油体系为主要目的, 研究了不同配比的非离子表面活性剂烷基多糖苷(alkyl polyglycosides, APG)和咪唑啉两性表面活性剂(2-Undecyl-N-Carboxymethyl-N-Hydroxyethyl Imidazole, LC)复合体系在高温高盐条件下的界面张力、泡沫量和泡沫稳定性等, 并用 SVT20N 旋转滴界面张力仪分别测定了不同配比的 APG-LC 复合体系在不同浓度时的油水界面张力. 实验结果表明, APG 与 LC 的配比会直接影响体系的界面张力, 当其配比为 6:4 且质量分数为 0.3 时, 油水界面张力达到最低值.

**关键词:** 泡沫驱油; 界面张力; 泡沫稳定性; 非离子表面活性剂; 两性表面活性剂

**中图分类号:** TQ 423

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1007-2861(2013)04-0437-04

## Interfacial Tension and Foaming Properties of APG and LC Aqueous Solutions with High Salinity in High Temperature

MENG Qing-yang<sup>1</sup>, CHEN Jie<sup>1</sup>, ZHAO Tian-jing<sup>1</sup>, YANG Li-ming<sup>1</sup>, XU Yi<sup>1</sup>,  
XIANG Ming-hui<sup>1</sup>, Andress Waag<sup>1</sup>, SONG Xin-wang<sup>2</sup>, ZHU Yang-wen<sup>2</sup>

(1. School of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China;

2. Shengli Oil Field Company of Geological Sciences, SINOPEC, Dongying 257000, Shandong, China)

**Abstract:** For the preparation of a foam flooding system in the presence of high content of salinity at high temperature, alkyl polyglycosides (APG) and 2-Undecyl-N-Carboxymethyl-N-Hydroxyethyl Imidazole (LC) system was investigated at different concentrations and proportions. Foam properties such as interfacial tension (IFT), foamability, and foam stability were measured. Oil-water IFT of the APG-LC system was measured with the spinning drop method on SVT20N at different ratios of APG and LC with different concentrations, respectively. The results showed that the ratio of APG and LC directly affects IFT of the blend system. When the ratio of APG and LC was 6:4 and mass fraction of the blend system was 0.3%, the IFT was minimum.

**Key words:** foam flooding system; interfacial tension (IFT); foam stability; nonionic surfactant; amphoteric surfactant

石油是一种不可再生的化石能源, 影响着国家的经济发展速度和综合国力. 地底下砂岩中储藏的大量石油仅通过一次采油、二次采油和三元复合驱油技术<sup>[1-3]</sup>, 仍然大量残留. 经过一系列的实验发现, 泡沫驱油技术能增加波及面积, 提高驱油效率, 被认为是一种最有应用前景的三次采油技术<sup>[4-7]</sup>. 对于聚合物驱和三元复合驱, 泡沫复合驱油技术是一种全面多元化加强驱油效率的新型采油技术, 该技术具有更大的

波及体积及驱油产量, 同时具有保持低界面张力的特性<sup>[8-12]</sup>.

泡沫是不溶或者微溶性的气体, 分散于液体中所形成的分散体系, 广泛应用于各种工业生产及日常生活中, 如提高原油采收率、矿物浮选、泡沫清洗、洗涤化学、消防和个人护理<sup>[13-15]</sup>等方面. 由于吸附在气液界面的表面活性剂分子, 泡沫暂时稳定存在. 泡沫是热力学不稳定体系, 泡沫的衰变主要受到液膜的变薄

收稿日期: 2013-06-07

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目(2011ZX05011-004)

通信作者: 陈捷(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向为应用化学. E-mail: jchen@shu.edu.cn

和聚并过程控制,因此根据不同的应用领域及属性,可以增强泡沫的稳定性<sup>[11,16-17]</sup>.

本工作主要研究了表面活性剂复配体系烷基多糖苷(alkyl polyglycosides, APG)和咪唑啉两性表面活性剂(LC)溶液在高温高盐条件下的泡沫量、泡沫稳定性与界面张力等泡沫性能.

## 1 实验部分

### 1.1 试剂与仪器

烷基多糖苷(APG), AR, 上海发凯化工有限公司;咪唑啉两性表面活性剂(LC), AR, 上海发凯化工有限公司;氯化钠(NaCl)、氯化钙(CaCl<sub>2</sub>)和氯化镁(MgCl<sub>2</sub>), AR, 国药集团化学试剂有限公司;原油,胜利油田;高盐水,自配;去离子水;Waring Blender 高速搅拌机 4L, 美国 WARING 公司;SVT20N 超低界面张力仪, 德国Dataphysics公司.

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 样品制备

通过初步筛选发现, APG 与 LC 具有较好的耐盐、耐高温性能, 故选择 APG-LC 复配体系进行研究. 将 APG 和 LC 两种表面活性剂分别以 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 和 9:1 不同的配比溶于高盐水(模拟地层水, 30 000 mg/L NaCl, 800 mg/L CaCl<sub>2</sub>, 800 mg/L MgCl<sub>2</sub>), 配成质量分数分别为 0.1, 0.3 和 0.5 的溶液;最后, 在室温下搅拌溶解 30 min, 静置备用.

#### 1.2.2 泡沫量与泡沫稳定性

泡沫稳定性是由一定时间内的泡沫体积量来评价的, 实验使用 Waring Blender 法评价泡沫的性能. 将复配的表面活性剂溶液倒入搅拌器中, 高速搅拌 1 min 后, 对泡沫体积随时间变化进行监测和记录. 泡沫半衰期是泡沫体积减少到最初发泡量的一半时所耗费的时间<sup>[18]</sup>.

#### 1.2.3 界面张力

实验中, 表面活性剂复配体系与原油之间的界面张力(interfacial tension, IFT)通过 SVT 旋转滴张力仪测定. 取一滴原油封装入 1 mL 复配体系溶液的样品管内, 在高速旋转(>5 000 rad/min)的条件下读出平衡时的界面张力值.

## 2 结果与讨论

### 2.1 起泡性能

起泡性是指表面活性剂溶液的发泡能力, 它取决于新界面生成时表面活性剂的表面张力<sup>[19]</sup>. 本研究研究了 APG-LC 复配体系在质量分数为 0.1%, 0.3% 和 0.5% 的水溶液的泡沫性能(见图 1). 从图中可看出,

APG-LC 复配体系发泡量随 APG 的增加而逐渐增大. 当表面活性剂复配体系质量分数为 0.3% 时, 发泡量相对较高;当复配体系质量分数低于 0.3% 时, 表面活性剂胶束在气水界面无法充分吸附, 从而胶束不能够稳定发泡. 当体系质量分数超过 0.3% 时, 局部表面活性剂胶束过多, 从而抑制了稳定泡沫表面的形成.

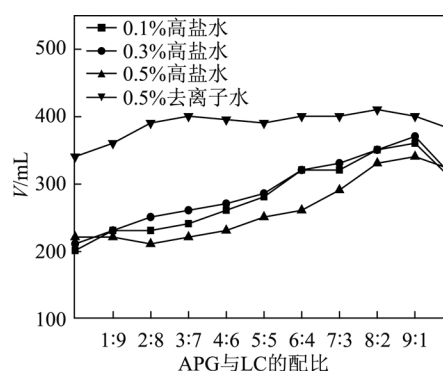


图 1 APG-LC 复配体系中浓度和配比不同对发泡量的影响

Fig. 1 Effect of concentration and ratio of APG-LC systems on the foam volum

通过图 1 比较去离子水与高盐水的发泡能力, 可以看出去离子水的发泡能力相对较高, 这是由于高盐水中含有大量的 NaCl 及其 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 离子, 这些电解质的存在大大削弱了复配体系的发泡能力. 在高盐水中, 复配体系的发泡量随 APG 的增加而增加;而在去离子水中, APG 含量对复配体系的泡沫发泡量的影响不明显.

### 2.2 泡沫稳定性

影响泡沫稳定性的因素有表面活性剂在气液界面的吸附密度、电解质、疏水性、气体流量和排出液等<sup>[20]</sup>, 一般通过半衰期来表征泡沫的稳定性. 所谓半衰期是指在一定条件下泡沫体积衰减一半所用的时间.

如图 2 所示, 对于不同配比的 APG-LC 表面活性剂复配体系的泡沫稳定性进行了比较. 结果表明, 在高盐条件下 LC 的泡沫稳定性比 APG 好. 在复配体系中, 随着 APG 含量的增加, 泡沫稳定性有所提高. 当 APG 与 LC 的配比大于 4:6 时, 泡沫稳定性随 APG 的增加而下降.

相对而言, 在无盐条件下 APG-LC 复配体系的泡沫稳定性较小, 高盐水的泡沫半衰期比去离子水的泡沫半衰期相对较长. 这是由于高盐水中所含的 NaCl, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 离子使得泡沫分子间的排列更紧密, 从而大大提高了泡沫的稳定性, 因此 APG-LC 复配体系在高盐条件下的稳定性较好.

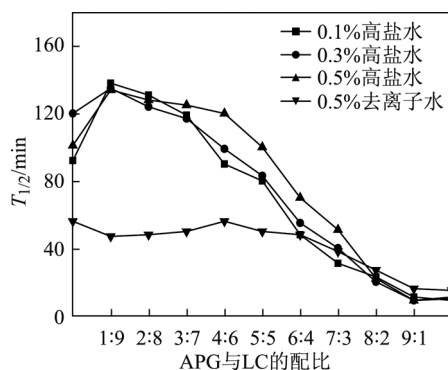


图2 APG-LC复配体系中浓度和配比不同对泡沫稳定性的影响

Fig. 2 Effect of concentration and ratio of APG-LC systems on foam stability

### 2.3 油水界面张力

图3所示的是浓度为0.1%, 0.3%和0.5%的APG-LC复配体系在80°C时油水界面张力. 从图中可以看出, APG与LC的对比对界面张力的影响较为明显, 当配比为6:4时, 体系界面张力达到最低; 当配比大于6:4时, 体系的界面张力又开始回升. 另一方面, APG-LC复配体系的总浓度对界面张力也有一定的影响, 表面活性剂浓度为0.3%时, 界面张力相对较低. 这可能是由于水中表面活性剂浓度过高或者过低, 不利于降低油水界面张力. 当复配体系的浓度为0.3%, APG与LC的配比在6:4到9:1范围时, 油水界面张力均达到 $10^{-3}$  mN/m, 即所谓的超低界面张力.

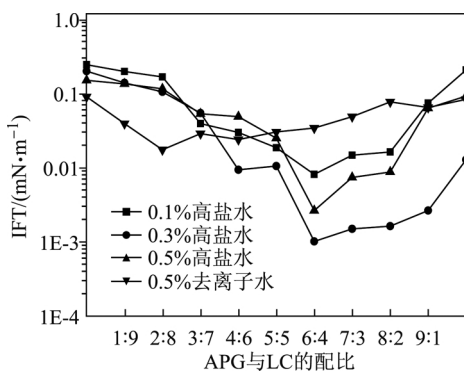


图3 APG-LC复配体系中浓度和配比不同对界面张力的影响

Fig. 3 Effect of concentration and ratio of APG-LC systems on interfacial tension

然而, 在去离子水为溶剂的复配体系中, 界面张力基本上都大于 $10^{-2}$  mN/m, 这可能是由于体系中两性离子表面活性剂的阴、阳离子间的相互作用, 导致表面活性剂的活性降低, 当水中存在一定浓度的离子时, 更多的表面活性剂能够分布在界面上, 发挥了降低界面张力的作用.

本实验比较了浓度为0.3%的APG-LC复配体系在25°C与80°C条件下的油水界面张力(见图4). 从图中可以看出, 配比在6:4到9:1时, APG-LC复配体系在80°C时的界面张力明显低于25°C时的界面张力. 25°C时, 随着APG含量的增加, 油水界面张力上升; 80°C时, 随着APG含量的增加, 油水界面张力下降. 这一方面是由于随着温度的上升, 原油的粘度逐步下降, 另一方面此范围内的复配体系对原油的作用可能增大.

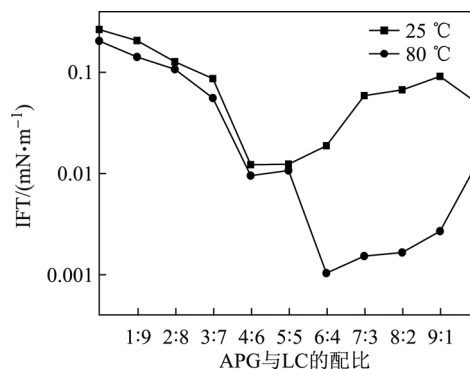


图4 APG-LC复配体系中温度不同对界面张力的影响

Fig. 4 Effect of temperature of APG-LC systems on interfacial tension

## 3 结论

(1) 非离子表面活性剂烷基多糖苷(APG)和咪唑啉两性表面活性剂(LC)复配体系在高温高盐环境下可达到 $10^{-3}$  mN/m范围内的超低界面张力.

(2) 在高温高盐条件下, APG含量增大有利于发泡量的提高, 而LC含量的提高则有利于泡沫的稳定.

(3) 当APG与LC的配比为6:4, 体系总浓度为0.3%时, 油水界面张力在80°C时最低, 可达 $10^{-4}$  mN/m.

## 参考文献:

- [1] 杨海龙, 卓兴家. 三次采油技术的现状及发展趋势 [J]. 内蒙古石油化工, 2010(22): 92-94.
- [2] 刘培军, 陈金辉, 申权, 等. 三次采油方法及原理综述 [J]. 化工管理, 2013(8): 16.
- [3] 李威. 浅析三次采油技术的运用及发展趋势 [J]. 化学工程与装备, 2013(4): 140-141.
- [4] 李治龙, 钱武鼎. 我国油田用泡沫流体综述 [J]. 钻井液与完井液, 1994, 15(6): 88-94.
- [5] 王增林, 王其伟. 强化泡沫驱油体系性能研究 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(3): 49-55.

- [6] 刘泽凯, 闵家华. 泡沫驱油在胜利油田的应用 [J]. 油气采收率技术, 1996, 3(3): 23-29.
- [7] 王其伟. 泡沫驱油发展现状及前景展望 [J]. 石油钻采工艺, 2013(2): 94-97.
- [8] 刘中春, 吴文祥. 泡沫复合驱微观驱油特性分析 [J]. 石油大学学报, 2003, 27(1): 49-53.
- [9] 裴海华, 葛际江. 稠油泡沫驱和三元复合驱微观驱油机理对比研究 [J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2010, 25(1): 53-56; 111.
- [10] 万里平. 泡沫流体稳定性机理研究 [J]. 新疆石油学院学报, 2003, 15(1): 70-73.
- [11] 蒲万芬, 彭陶钧, 龚蔚, 等. 自生泡沫驱油机理研究 [J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(2): 118-120.
- [12] 舒玉华, 卢拥军, 杨艳丽, 等. 泡沫流体起泡与稳泡特性及影响因素探讨 [J]. 天然气技术, 2008, 2(2): 53-56.
- [13] 刘艳玲, 李奴英. 泡沫浮选分离法的应用进展 [J]. 吕梁高等专科学校学报, 2004, 20(2): 71-72.
- [14] BERND Z, 巫建国. 现代化妆品中的气雾泡沫剂 [J]. 日用化学品科学, 1987(3): 59-62.
- [15] 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): 1307-1312.
- [16] 周静, 谭永生. 稳定泡沫流体的机理研究 [J]. 钻采工艺, 1999, 22(6): 75-78.
- [17] 李兆敏, 唐晓红, 王渊. DY-1 高温起泡剂的流变性和稳定性研究 [J]. 钻采工艺, 2005, 28(3): 91-95.
- [18] 高伟, 孟庆阳. 十六烷基三甲基溴化铵和 3 种十二烷基阴离子表面活性剂复配驱油体系的性能 [J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2010, 16(5): 547-552.
- [19] SHRESTHA L, ACHARYA D. Aqueous foam stabilized by dispersed surfactant solid and lamellar liquid crystalline phase [J]. Colloid Interface Sci, 2006, 301(1): 274-281.
- [20] SARKER D K, BERTRAND D. Characterisation of foam properties using image analysis [J]. Texture Stud, 1998, 29(1): 15-42.