文章编号:1000-4092(2021)02-310-07

无机盐对阴离子Gemini表面活性剂溶液流变性的影响及机理*

冯树云[1],唐善法[1,2],胡睿智[1],姜昭文[1],金礼俊[1]

(1. 长江大学石油工程学院,湖北 武汉 430100;2. 长江大学非常规油气湖北省协同创新中心,湖北 武汉 430100)

摘要:为探讨无机盐对阴离子双子表面活性剂GACS416溶液流变性能的影响及机理,采用DV2T黏度计和MCR 301界面流变仪考察了无机盐类型及浓度对GACS416溶液黏度和黏弹性的影响;并通过动态光散射技术考察其溶液胶束尺寸变化特征。研究结果表明,加入适量的NaCl、KCl可对GACS416溶液有效增黏,$MgCl_2$、$CaCl_2$无增黏效果。NaCl浓度的增加,溶液黏度先增大再减小,而黏弹性由弱变强。随KCl浓度的增加,溶液黏度先增大后减小,黏弹性不断增强。当NaCl或KCl浓度低于1000 mg/L时可有效增黏,浓度高于1000 mg/L时无增黏效果。随NaCl浓度的增大,GACS416溶液中胶束的平均水力半径先增大后减小,使溶液黏度和弹性呈先增大后减小趋势;而随KCl浓度的增大,GACS416溶液中胶束的平均水力半径则逐渐增大,溶液黏度和弹性均相应增大。NaCl质量浓度为500 mg/L时,GACS416溶液黏度和黏弹性最好;KCl质量浓度为1000 mg/L时,GACS416溶液的黏度和黏弹性最好。图11表5参33

关键词:无机盐;阴离子双子表面活性剂;增黏效果;黏度;黏弹性
中图分类号:TQ423.11:TE357.46 **文献标识码**:A **DOI**: 10.19346/j.cnki.1000-4092.2021.02.021

0 前言

低渗透油藏储层致密、非均质性强、孔喉狭窄,在注水开发过程中受毛细管力的影响大,易出现绕流和卡断现象,造成大量原油滞留油藏,影响低渗透油藏的渗流及采收率[1-2]。常规的表面活性剂体系由于黏度低,活性水沿大孔道高渗带窜流严重,不能满足低渗透油藏提高采收率要求。因此,注入性好、能提高洗油效率及波及系数(降低界面张力、增黏),且经济高效的特种表面活性剂研发成为研究热点[3-5]。

Gemini表面活性剂含有两个亲水基和两个疏水基,与传统的单链表面活性剂相比,具有更优异的表面活性,更低的临界胶束浓度,在较低浓度下便可自组装形成胶束。这些特殊结构的胶束具有明显的增黏效果,同时提高波及系数及洗油效率,在改善油水流度比、提高非均质低渗透油藏采收率方面具有显著的优势[6-7]。有研究发现,含有不同添加剂的表面活性剂混合物,尤其是添加无机盐的表面活性剂混合物,其性能优于单独表面活性剂,且更易自组装形成具有增黏效果的胶束结构[8-10]。Chen等[11]研究了无机盐对阳离子Gemini表面活性剂溶液黏度行为的影响,发现添加低浓度无机盐可以屏蔽表面活性剂离子头基间的静电斥力,促进胶

* **收稿日期**:2020-07-14;**修回日期**:2020-12-25。
基金项目:国家自然科学基金"阴离子双子表面活性剂黏弹流体提高非常规油藏采收率基础研究"(项目编号51774049),国家自然科学基金"阴离子双子表活剂-纳米粒子构筑耐高温清洁压裂液基础研究"(项目编号51474035)。
作者简介:冯树云(1996—),女,长江大学石油与天然气工程专业在读硕士研究生(2019—),主要从事提高采收率技术研究,E-mail:1778254155@qq.com。唐善法(1965—),男,教授,博士生导师,本文通讯联系人,西南石油大学应用化学专业博士(2006),主要从事油田化学方面研究与教学工作,通讯地址:430100 湖北省武汉市蔡甸区大学路111号长江大学石油工程学院,E-mail:tangsf2005@126.com。

束聚集形成紧密的网络微观结构，使溶液黏度增加；但无机盐浓度过大时则会破坏溶液的内胶束结构，导致溶液黏度降低。Mao等[12]考察了KCl浓度对阳离子Gemini表面活性剂溶液流变性的影响，发现适当浓度KCl的加入可改善溶液的黏弹性，溶液中自组装形成的胶束形态更完整，彼此缠绕呈紧密的网状结构。添加无机盐改善表面活性剂性能研究主要集中于阳离子Gemini表面活性剂方面，而对阴离子Gemini表面活性剂的研究则以分子动力学模拟居多[13-15]。近期研究发现，阴离子Gemini表面活性剂对储层伤害率低，高矿化度环境适应性强，在较低浓度时便可快速增稠且具有明显的协同效应，较阳离子Gemini表面活性剂更具优势[16]。

基于盐对表面活性剂胶束结构的增强作用，本文在已合成阴离子型Gemini表面活性剂GACS416的基础上，通过实验手段考察了无机盐对其溶液流变性能的影响，并分析了盐对其胶束微观作用机理，以探究无机盐对阴离子Gemini表面活性剂的协同增黏效果，优选无机盐最佳增黏浓度，为构筑阴离子Gemini表面活性剂-盐黏弹流体提供理论依据。

1　实验部分

1.1　材料与仪器

$NaCl$、KCl、$MgCl_2$、$CaCl_2$，分析纯，天津市北联精细化工有限公司；GACS416表面活性剂，长江大学石油工程学院，分子结构如图1所示。

Physica MCR 301型界面流变仪，奥地利Anton Par公司；DV2T型黏度计，美国Brookfield公司；Zetasizernano型纳米粒度及Zeta电位分析仪，上海思百吉仪器系统有限公司。

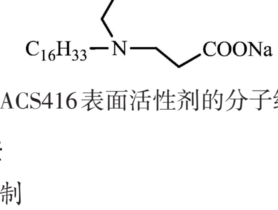

图1　GACS416表面活性剂的分子结构

1.2　实验方法

1.2.1　溶液配制

GACS416溶液的配制：准确称取定量GACS416表面活性剂（已提纯干燥恒重），置于蒸馏水中，水浴加热（30 ℃）并搅拌至完全溶解，用50毫升的容量瓶定容，得到所需浓度的GACS416溶液。

GACS416/无机盐溶液的配制：准确称取定量GACS416表面活性剂（已提纯干燥恒重）及所需量$NaCl$、KCl、$MgCl_2$或$CaCl_2$，置于蒸馏水中，水浴加热（30℃）并搅拌至完全溶解，用50毫升的容量瓶定容，得到所需浓度的无机盐-GACS416溶液。

1.2.2　黏度测试

采用DV2T型黏度计，在温度30 ℃、剪切速率7 s^{-1}下测试表面活性剂溶液的黏度。

1.2.3　黏弹性测试

采用MCR301界面流变仪测试表面活性剂溶液的黏弹性。在温度30 ℃、应力0.0001～1 Pa、频率1 Hz的条件下对溶液进行应力扫描，考察模量随剪切应力及应变的变化情况，确定线性黏弹区，然后在对应的线性黏弹区内对溶液进行频率扫描，考察模量随振荡角频率的变化情况。

1.2.4　动态光散射测试

测试用样品瓶采用动态光散射专用石英样品瓶，使用前通过丙酮蒸汽淋洗进行无尘处理[17]。将配制好的样品通过0.22 μm尼龙滤膜过滤到石英样品瓶中，30 ℃恒温24 h后进行动态光散射测试。测试过程中，利用633 nm激光波长收集90°的散射光，由温度调节控制器控制测试温度，控温精度为±0.01 ℃。

2　结果与讨论

2.1　GACS416溶液的流变性

2.1.1　GACS416浓度对溶液黏度的影响

在温度30 ℃、剪切速率7 s^{-1}条件下，不同质量分数（0.1%、0.3%、0.5%、0.7%）的GACS416溶液的黏度见图2。如图2所示，随GACS416质量分数的增加，溶液黏度逐渐增大；当质量分数小于0.5%时，溶液黏度增长速率较快；当质量分数大于0.5%时，溶液黏度增长速率缓慢。这是由于随GACS416溶液质量分数的增加，溶液中自组装形成了胶束结构，且胶束间彼此聚集缠绕，形成更为稳定的网状结构，从而提高溶液的黏度[18]。在实验条件下，质量分数为0.5%的GACS416溶液具有较好的黏度效果且用量少、经济性好。

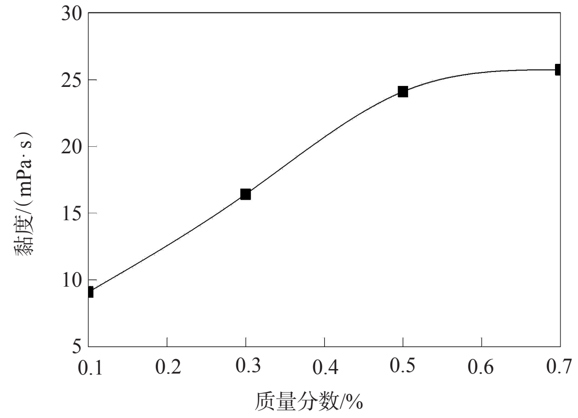

图2　不同浓度GACS416溶液的黏度

2.1.2　GACS416浓度对溶液黏弹性的影响

30 ℃下，不同质量分数(0.1%、0.3%、0.5%、0.7%)的GACS416溶液的黏弹性测试结果见表1。由表1可看出，质量分数为0.1%的GACS416溶液不具有黏弹性；质量分数为0.3%、0.5%、0.7%的GACS416溶液均具有黏弹性，且以弹性为主。随质量分数增大，GACS416溶液的损耗角正切tanδ降低而松弛时间*TR*均增大，质量分数0.5%的GACS416溶液tanδ为0.4012，松弛时间*TR*达到3.709 s，tanδ较小且松弛时间*TR*较长。可见，质量分数为0.5%的GACS416溶液的黏弹性优异。

表1　不同浓度GACS416溶液黏弹性

质量分数/%	tanδ	*TR*/s	黏弹性
0.1	–	–	不具有黏弹性
0.3	0.5601	1.847	弹性为主
0.5	0.4012	3.709	弹性为主
0.7	0.3897	4.052	弹性为主

2.2　无机盐对GACS416溶液流变性的影响

2.2.1　无机盐对GACS416溶液黏度的影响

在温度30 ℃，剪切速率7 s^{-1}下，NaCl、KCl、$MgCl_2$或$CaCl_2$加量对质量分数为0.5%的GACS416溶液黏度的影响见图3。由图3可知，加入适量的NaCl、KCl对GACS416有明显的增黏作用，而添加$MgCl_2$、$CaCl_2$无增黏效果。分析认为，适量Na^+、K^+的加入削弱了头基负电性原子间的静电排斥，压缩亲水头基间的扩散双电层，使头基排列更紧密，胶束间聚集缠绕，溶液黏度增加[19]；而带电量较大的Mg^{2+}、Ca^{2+}等二价离子受表面活性离子交叠电场协同作用的吸引而被束缚在表面活性离子周围的协同水化层，静电屏蔽作用较强，导致表面活性剂亲水头基间产生极为强烈的聚集收缩作用，不利于胶束生长，使胶束体系发生黏度损失[20-22]。

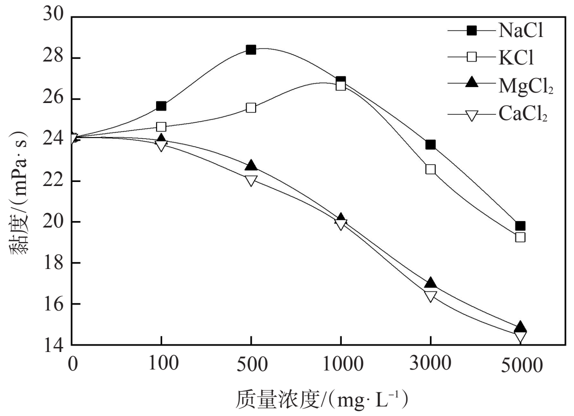

图3　无机盐浓度对0.5% GACS416溶液黏度的影响

NaCl对溶液表现出最佳增黏效果时的浓度较KCl低，并且可达到的黏度值更大。实验条件下，NaCl在各浓度下对质量分数0.5%的GACS416溶液的增黏效果均优于KCl。此外，随NaCl、KCl浓度增加，溶液黏度先增大后减小；当NaCl(或KCl)浓度低于最佳增黏浓度时，随盐浓度的增大，GACS416/NaCl、GACS416/KCl混合溶液的黏度逐渐增加；NaCl和KCl的最佳增黏浓度分别为500 mg/L和1000 mg/L，此时溶液黏度达到最大，分别为28.4 mPa·s和26.64 mPa·s；当NaCl或KCl浓度超过最佳增黏浓度，溶液的黏度随盐浓度的增加呈现下降趋势。NaCl(或KCl)浓度在0～1000 mg/L的范围内，溶液黏度均高于不加盐时的黏度，此时NaCl或KCl对溶液有协同增黏作用，这是因为低浓度Na^+、K^+的加入压缩了表面活性剂离子头基的双电层，减小了静电排斥作用，使得胶束体系的能量降低，分子间的解离和重组减少，聚集体表面的离子强度增加，胶束间缠绕更加紧密，溶液黏度增加[23-24]。当NaCl(或KCl)浓度大于1000 mg/L时，无机盐浓度过高，聚集体表面的离子强度过大，层状和棒状胶束结构被破坏，溶液中表面活性剂浓度降低，体系黏度开始降低[25-26]，无法起到增黏效果。

2.2.2　无机盐对GACS416溶液黏弹性的影响

基于黏度测试结果，优选增黏效果较好的NaCl和KCl两种盐，并对不同浓度GACS416/NaCl、GACS416/KCl体系进行黏弹性测试。

(1)NaCl对GACS416溶液黏弹性的影响

在30 ℃下,考察NaCl浓度(0 、100、500、1000 mg/L)对质量分数为0.5%的GACS416溶液黏弹性的影响,溶液的模量随角频率变化如图4,由图4计算得出的损耗角正切tan*δ*与松弛时间*TR*列于表2。

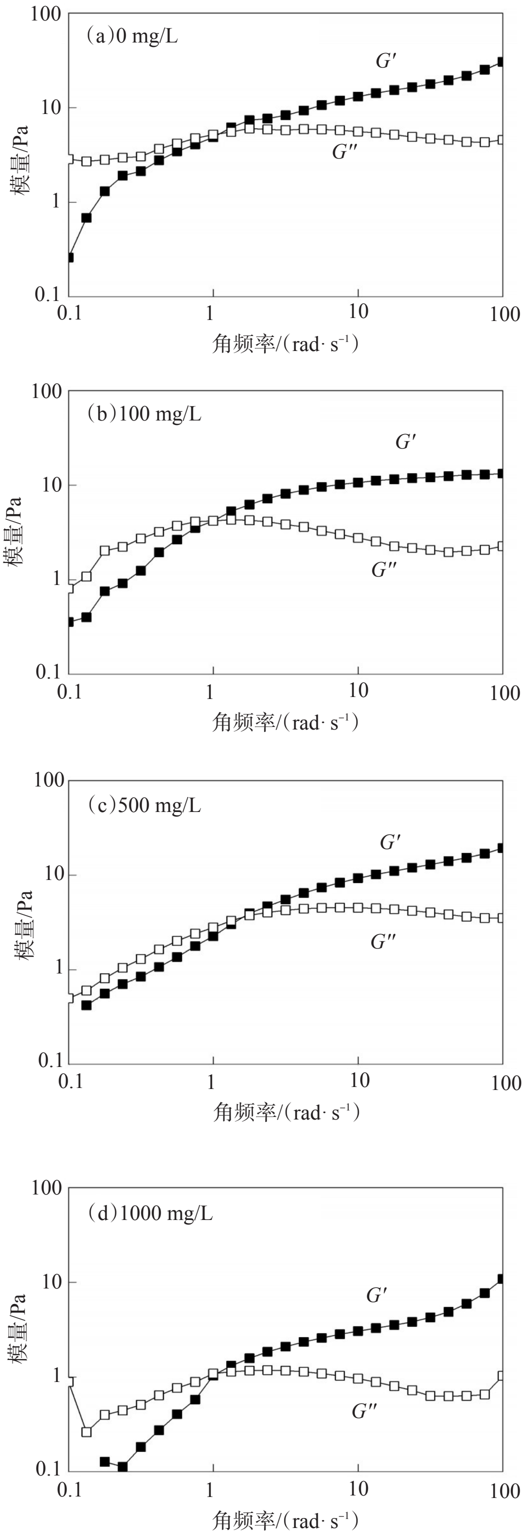

图4　NaCl浓度对0.5%GACS416溶液黏弹性影响

表2　GACS416溶液黏弹性测试

NaCl质量浓度/($mg\cdot L^{-1}$)	tanδ	*TR*/s	黏弹性
0	0.4012	3.709	弹性为主
100	0.3808	6.281	弹性为主
500	0.5092	4.052	弹性为主
1000	0.3362	5.650	弹性为主

由图4可以看出,当角频率较低时,储能模量*G*′小于耗能模量*G*″,黏性占主导;当角频率达到某一数值,*G*′等于*G*″;继续增大角频率时,*G*′大于*G*″,弹性占主导。随NaCl浓度(0、100、500、1000 mg/L)的增加,体系储能模量*G*′和耗能模量*G*″出现交点时的角频率大致相同,交点频率ω在1 rad/s左右,而交点处的模量值不断减小,依次为4.9 Pa、4.2 Pa、3.8 Pa和1.06 Pa。从表2可知,当NaCl浓度为0 mg/L时,损耗角正切tanδ=0.4012＜1,溶液总体以弹性为主[27-29];NaCl浓度为100 mg/L时,松弛时间*TR*最长,弹性最好。当NaCl浓度为500 mg/L时,损耗角正切tan*δ*较大,松弛时间*TR*较短,弹性较差,而此浓度下测得溶液的黏度较高,这说明在GACS416溶液中加入适量的NaCl可起到协同增黏作用,有利于增强其黏弹性,但过强的增黏效应可能引起溶液黏弹性下降。

(2)KCl对GACS416溶液黏弹性的影响

在30 ℃下,考察KCl浓度(0、100、500、1000 mg/L)对质量分数为0.5%的GACS416溶液黏弹性的影响,溶液的模量随角频率变化如图5所示,由图5计算得出的损耗角正切tan*δ*与松弛时间*TR*列于表3。图5黏弹性测试结果表明,当角频率较低时,储能模量*G*′小于耗能模量*G*″,黏性占主导;当角频率达到某一数值,*G*′等于*G*″;继续增大角频率时,*G*′大于*G*″,弹性占主导。此外,体系*G*′与*G*″出现交点时的角频率大致相同,在1.33 rad/s左右,交点处的模量值随KCl浓度的改变相差较小,在4.5 Pa左右。由表3可知,含不同浓度KCl的GACS416溶液的tan*δ*值均小于1,说明溶液以弹性为主;随着KCl浓度的增大,tan*δ*值减小,松弛时间*TR*逐渐增大,溶液弹性增大;当KCl浓度为1000 mg/L时,tan*δ*最小,松弛时间*TR*最长,弹性最好。

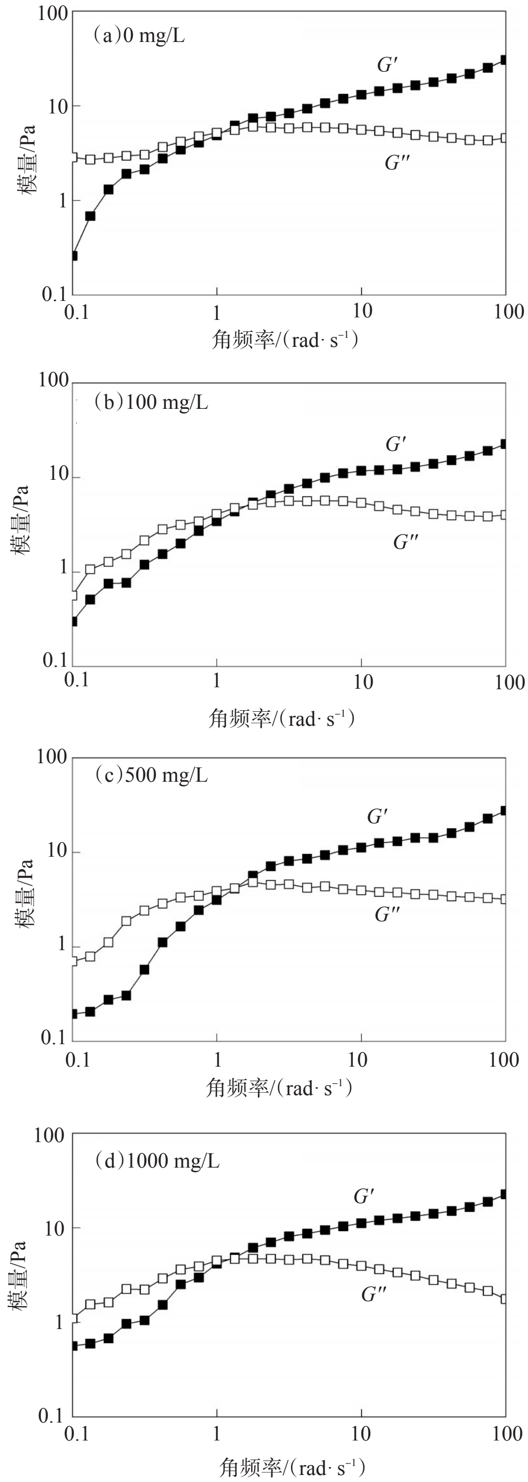

图5 KCl浓度对0.5%GACS416溶液黏弹性影响

表3 GACS416溶液黏弹性测试

KCl质量浓度/($mg\cdot L^{-1}$)	$\tan\delta$	TR/s	黏弹性
0	0.4012	3.709	弹性为主
100	0.4786	3.925	弹性为主
500	0.3806	4.720	弹性为主
1000	0.3497	5.772	弹性为主

2.3 无机盐对GACS416溶液流变性影响微观机理

2.3.1 NaCl的影响

在30 ℃下，对含不同浓度NaCl的0.5% GACS416溶液进行动态光散射测试（见表4），进而分析NaCl浓度对0.5% GACS416溶液流变性影响的微观机理。

表4 不同NaCl浓度的0.5%GACS416溶液平均水力学半径及黏度数据

NaCl质量浓度/($mg\cdot L^{-1}$)	平均水力学半径/nm	多分散性指数(PDI)	黏度/($mPa\cdot s$)
0	301.6	0.263	24.11
100	302.4	0.297	25.66
500	325.5	0.307	28.40
1000	311.8	0.280	26.87

由表4可知，不同NaCl浓度的0.5%GACS416溶液，*PDI*均较小，说明溶液中胶束的分散性良好[30]。随NaCl浓度增加，溶液中自组装形成的胶束结构平均水力学半径由301.6 nm，先增大至325.5 nm后减小到311.8 nm，呈现出先增大后减小的趋势，溶液宏观黏度相应表现为先增大后减小。说明GACS416溶液中自组装形成的胶束平均水力学半径越大，其溶液增黏效果越好。可见，溶液中胶束尺寸的变化趋势与其宏观流变性具有较好的关联性[31-33]。

2.3.2 KCl的影响

在30 ℃下，对含不同浓度KCl的0.5% GACS416溶液进行动态光散射测试（见表5），进而分析KCl浓度对0.5% GACS416溶液流变性影响的微观机理。

表5 不同KCl浓度的0.5% GACS416溶液平均水力学半径及黏度

KCl质量浓度/($mg\cdot L^{-1}$)	平均水力学半径/nm	多分散性指数(PDI)	黏度/($mPa\cdot s$)
0	301.6	0.263	24.11
100	306.6	0.353	24.64
500	325.4	0.325	25.57
1000	334.3	0.303	26.64

由表5可知，不同KCl浓度的0.5% GACS416溶液，*PDI*均较小，说明溶液中胶束的分散性良好。随KCl浓度增大，溶液中自组装形成的胶束结构平均水力学半径由301.6 nm增大至334.3 nm，溶液中胶

束平均尺寸不断增大，溶液宏观黏度相应增大。

综上，无机盐（NaCl、KCl）的加入可改变GACS416溶液胶束水力学半径，从而影响其宏观流变性能。

3 结论

阴离子双子表面活性剂GACS416的质量分数对其黏度和黏弹性存在影响，随质量分数的增大，其溶液黏度和黏弹性增强；质量分数0.5%的GACS416溶液具有经济高效性。

随NaCl（或KCl）浓度增加，0.5% GACS416溶液黏度先增后减；适当浓度（0～1000 mg/L）的NaCl和KCl均可对0.5% GACS416溶液有效增黏，其最佳增黏浓度分别为500 mg/L和1000 mg/L，NaCl的增黏效果更好。

当NaCl（或KCl）质量浓度在0～1000 mg/L范围，0.5% GACS416溶液均具有黏弹性且以弹性为主；GACS416与NaCl（或KCl）共同作用可进一步增强其溶液黏弹性能。

无机盐（NaCl/KCl）的加入增大了质量分数为0.5%的GACS416溶液的微观胶束平均水力学半径，此时溶液黏度和黏弹性也相应增大，表明GACS416溶液宏观流变性的变化与其微观胶束的变化有较好的关联性。

参考文献：

[1] 王杰祥，杜建德，王腾飞，等. 低渗非均质油藏注气提高采收率实验研究[J]. 科学技术与工程，2014，14(18)：44-47.

[2] 赵琳. 低渗透油藏表面活性剂驱提高采收率机理研究[D]. 青岛：中国石油大学(华东)，2013.

[3] 曹静静，杨裔琦. 国内低渗透油藏提高采收率技术现状及展望[J]. 四川化工，2017，20(06)：17-21.

[4] 王倩. 低渗透油藏表面活性剂驱降压增注及提高采收率实验研究[D]. 青岛：中国石油大学(华东)，2010.

[5] 田茂章，宋新民，马德胜，等. 低渗透黏弹性表面活性剂的研制和评价[J]. 应用化工，2015，44(05)：804-809.

[6] KAMAL M S. A review of gemini surfactants：potential application in enhanced oil recovery[J]. J Surfactants Deterg，2016，19(2)：223-236.

[7] MPELWA M，TANG Shanfa，JIN Lijun，et al. New sulfonate Gemini surfactants：synthesis and evaluation for enhanced oil recovery applications[J]. J Disper Sci Technol，2020，41(14)：2091-2099.

[8] 周六顺. 无机盐对正负离子表面活性剂复配系统流变性质的影响[D]. 长沙：湖南师范大学，2012.

[9] 孙文杰. 无机盐和有机盐对表面活性剂及其复配体系聚集和吸附行为的影响[D]. 济南：山东大学，2012.

[10] ZHANG Fanglei，ZHANG Qian，HAN Chuanhong，et al. Effect of aging time and salt on the viscosity behaviour of a Gemini cationic surfactant[J]. Phys Chem Liq，2017，55(4)：492-505.

[11] CHEN Xiaoxiao，LIU Qi，GUO Yan，et al. Effects of additives on the viscoelastic responses of cationic gemini surfactant solutions[J]. Soft Matter，2018，14(32)：6696-6707.

[12] KAMAL M S，HUSSAIN S M S，FOGANG L T，et al. Impact of spacer and hydrophobic tail on interfacial and rheological properties of cationic amido-amine Gemini surfactants for EOR application[J]. Tenside Surfact Det，2018，55(6)：491-497.

[13] 陈贻建，周洪涛，葛际江，等.双链阴离子表面活性剂1-烷基-萘基磺酸钠在气/液界面聚集行为：分子动力学模拟研究[J]. 物理化学学报，2017，33(6)：1214-1222.

[14] 薛春龙. 联结基对两性双子表面活性剂溶液行为的影响研究[D]. 大庆：东北石油大学，2017.

[15] SHI Peng，ZHANG Hui，LIN Lin，et al. Molecular dynamics simulation of four typical surfactants at oil/water interface[J]. J Disper Sci Technol，2018，39(9)：1258-1265.

[16] 胡睿智，唐善法，金礼俊，等.低界面张力阴离子双子表面活性剂黏弹流体的构筑与性能评价[J]. 油田化学，2020，37(1)：93-101.

[17] 谢丹华. 含长刚性联接链的羧酸盐Gemini表面活性剂在水溶液中的聚集行为：光散射和流变学研究[D]. 福州：福州大学，2013.

[18] 崔婷婷，唐善法，周天元，等. 添加剂对阴离子双子表面活性剂溶液耐温增黏性的影响研究[J]. 中国科技论文，2018，13(18)：2148-2153.

[19] 赵健慧. 耐温抗盐表面活性剂的合成，性能评价及驱油体系的构筑[D]. 青岛：中国石油大学(华东)，2015.

[20] 梁茜茜. 黏弹性双子表面活性剂的流变性与压裂性质研究[D]. 青岛：中国石油大学(华东)，2015.

[21] 韩一秀，周洪，韦勇强，等. TBAB/KCl对构筑阴离子蠕虫状胶束的影响[J]. 物理化学学报，2015，31(11)：2124-2130.

[22] 乐雷. 纳米材料对蠕虫状胶束溶液流变性改性机理研究[D]. 西安：西安石油大学，2017.

[23] HAO Lisheng，HU Peng，NAN Yanqing，et al. Salt effect on the rheological properties of the aqueous mixed cationic and anionic surfactant systems[J]. Colloid Surface A，2010，361(1)：187-195.

[24] 牛菲，秦旺盛，高志农. 含阴离子Gemini表面活性剂复配体系的性能研究[J]. 武汉大学学报(理学版)，2013，59(6)：589-593.

[25] 范成成. 阴离子表面活性剂与无机盐相互作用的理论研究[D]. 青岛：中国石油大学(华东)，2014.

[26] 赵剑曦，谢丹华. 阴离子蠕虫胶束[J]. 化学进展，2012，24(4)：456-462.

[27] HONG Yu, SHEN Yiding, YANG Xiaowu, et al. Rheological properties of salt-free symmetry-quaternary ammonium gemini surfactants aqueous solutions[J]. Phys Chem Liq, 2013, 52(1): 78-87.

[28] LAI Lu, MEI Ping, WU Xiaomei, et al. Micellization of anionic gemini surfactants and their interaction with polyacrylamide[J]. Colloid Polym Sci, 2014, 292(11): 2821-2830.

[29] 武红利. 无机盐对阳离子双子表面活性剂表面活性的影响[D]. 长春:吉林大学, 2012.

[30] HU Ruizhi, TANG Shanfa, MPELWA M, et al. A new low interfacial tension viscoelastic surfactant for EOR applications in low permeability reservoirs[J]. J Appl Sci Eng, 2020, 23(4): 701-711.

[31] ZHENG Yahui, TANG Shanfa, WANG Jiaxin, et al. Effect of micelle structure on the viscosity of sulfonate Gemini Surfactant Solution[J]. Arab J Sci Eng, 2018, 44(1): 259-267.

[32] YU Defeng, HUANG Xu, DENG Manli, et al. Effects of inorganic and organic salts on aggregation behavior of cationic Gemini surfactants[J]. J Phys Chem B, 2010, 114(46): 14955-14964.

[33] HOU Yanbo, HAN Yuchun, DEANG Manli, et al. Aggregation behavior of a tetrameric cationic surfactant in aqueous solution[J]. Langmuir, 2010, 26(1):28-33.

Effect of Inorganic Salts on Rheological Properties of Anionic Gemini Surfactant Solution and Its Mechanism

FENG Shuyun[1], TANG Shanfa[1,2], HU Ruizhi[1], JIANG Zhaowen[1], JIN Lijun[1]

(*1. College of Petroleum Engineering, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, P R of China; 2. Collaborative Innovation Center of Unconventional Oil and Gas Hubei Province, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, P R of China*)

Abstract: In order to explore the effects of inorganic salts on the rheological properties of anionic Gemini surfactant (GACS416) solution and its mechanism, the influence of inorganic salt type and concentration on the viscosity and viscoelasticity of surfactant solution were measured by DV2T viscometer and MCR 301 interfacial rheometer. The dimensional variations of micelles were studied by dynamic light scattering technique. The experimental results indicated that after adding NaCl and KCl with appropriate concentration, the viscosity of GACS416 solution could be effectively increased, while $MgCl_2$ and $CaCl_2$ has no viscosification effect. With the increase of NaCl concentration, the solution viscosity first increased and then decreased, while the elasticity first weakened and then strengthened. The solution viscosity and viscoelasticity of the solution were the best when the NaCl concentration was 500 mg/L. With the increase of KCl concentration, the viscosity of the solution increased first and then decreased, and the elasticity increased continuously. When NaCl or KCl concentration was lower than 1000 mg/L, the viscosity of the solution could be increased effectively. The microstructure of the solution demonstrated that with the increase of NaCl concentration, the average hydraulic radius of micelles in GACS416 solution first increased and then decreased, and the viscosity and elasticity of the solution first increased and then decreased. However, with the increase of KCl concentration, the average hydraulic radius of micelles gradually increased, and the viscosity and elasticity of the solution also increased correspondently. The solution viscosity and viscoelasticity were the best when the NaCl concentration was 500 mg/L or when the KCl concentration was 1000 mg/L.

Keywords: *inorganic salt*; *anionic Gemini surfactant*; *viscosification*; *viscosity*; *viscoelasticity*