第40卷第4期
2023年12月25日

油 田 化 学
Oilfield Chemistry

Vol.40 No.4
25 Dec，2023

文章编号：1000-4092（2023）04-690-07

低界面张力小分子驱油剂提高低渗透油藏采收率技术*

孟文玉[1]，唐善法[1,2]，王思瑶[1]，董沅武[1]，王 睿[1]，高 洁[1]，陈泽群[1]

（1. 长江大学石油工程学院，湖北 武汉 430100；2. 油气钻采工程湖北省重点实验室，湖北 武汉 430100）

摘要：针对低渗透油藏注入性差、洗油效率低，水驱无法有效提高采收率等问题，提出了一种低界面张力小分子驱油剂（LST溶液）提高低渗透油藏采收率新技术，评价了该驱油剂的界面活性、增黏性、乳化性、润湿性及其油藏环境适应性和驱油效果。结果表明，该驱油剂具有良好的界面活性和增黏性。在6788.23 mg/L的矿化水中，质量分数为0.4%时的LST溶液的油水界面张力为0.012 mN/m，且黏度与油藏原油黏度（3.4 mPa·s）相近。LST溶液具有较好的油水乳化能力，可改善油藏水润湿性。在47.2 ℃、油水比为1∶1的条件下，LST乳状液的稳定时间为120 min。岩心经LST溶液处理后，水相接触角由57.0°降至12.5°，油相接触角由24.3°增至38.6°。LST溶液具有良好的静态抗吸附性能，经岩心3次吸附后，LST残液与原油间的界面张力仍能达到10^{-2} mN/m数量级，黏度达2.895 mPa·s，乳状液静置10、120 min的析水率分别为38.6%、73.4%。LST溶液的耐盐性能较好。在矿化度为16 570 mg/L的环境下，其油水界面张力低于7×10^{-2} mN/m、黏度为3.06 mPa·s。LST溶液的驱油效果较好，可有效封堵高渗透孔道，启动低渗透孔道残余油。注入0.4 PV 0.4% LST溶液可使均质岩心（0.05 μm²）的水驱驱油效率提高11.21百分点，非均质岩心（级差3～10）水驱后的综合采收率提高6.55百分点～19.41百分点。LST溶液可以实现低剂量或低成本有效提高水驱采收率，在低渗透非均质油藏化学驱提高采收率方面具有较好的应用前景。

关键词：低渗透油藏；小分子驱油剂；界面张力；抗吸附性；提高采收率
文献标识码：A　　**DOI：**10.19346/j.cnki.1000-4092.2023.04.019
中图分类号：TE357.46：TQ423.9　　**开放科学（资源服务）标识码（OSID）：**

0 前言

随着石油资源的不断开采和利用，我国的大部分中高渗油藏已经进入高含水期，低渗、特低渗油藏逐渐成为我国提高石油产量的重要方向[1]。因此，为保证我国油气资源的产量和石油工业的发展，改善低渗透油藏的开采效果、提高采收率已成为必须解决的重要问题。

由于我国低渗透油藏孔隙度小、非质性强、贾敏效应明显，注水过程中启动压力及压力梯度大，致使低渗透油藏在驱替过程中压力过高，易发生注入水突进现象，难以形成有效驱替[2-4]。现有的常规表面活性剂驱虽能降低油水界面张力，但对非均质性油藏的适应性较差，难以达到良好的流度控制要求。传统的含聚合物化学驱中，聚合物属大分子或高分子物质，虽增黏性好但难以注入低渗透小孔隙中，如果强行注入则会因过强的剪切作用导致不可逆的黏度损失，甚至滞留孔隙中造成储层伤害[5-8]。因此，在低渗透油藏中，急需寻找一种注入性好且能有效改善驱替相流度并提高采收率的方法，以满

* **收稿日期：**2022-10-26；**修回日期：**2022-12-26。

基金项目：国家自然科学基金“阴离子双子表面活性剂粘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：孟文玉（1998—），女，长江大学石油与天然气工程专业硕士研究生（2021—），研究方向为油气田应用化学，E-mail：2950907937@qq.com。唐善法（1965—），男，教授，博士生导师，本文通讯联系人，研究方向为油气田应用化学，通讯地址：430100 湖北省武汉市长江大学石油工程学院，E-mail：Tangsf2005@126.com。

足良好的注入性、油藏环境适应性等需求。

本文提出了一种低界面张力小分子驱油剂(LST溶液)提高低渗透油藏采收率新技术。系统考察了LST溶液的界面活性、增黏性、乳化性能及润湿性,并研究了LST溶液静态吸附、配制水矿化度对其界面活性、增黏性的影响,最后模拟油藏均质/非均质性,评价了LST溶液驱油提高水驱采收率效果。本研究旨在为低渗透油藏化学驱提高采收率技术的选用提供新的思路及实验依据。

1　实验部分

1.1　材料与仪器

原油,47.2 ℃下的黏度为3.4 mPa·s,取自某低渗透油藏,脱水后备用;低界面张力小分子驱油剂LST溶液,属低聚型(聚合度n=3～5)小分子活性有机物,相对分子质量<2000,含羟基、羧酸、磺酸基及链烃等基团,由长江大学石油工程学院提供;人造岩心,石英砂(120～150 mm),渗透率为0.01～0.15 μm^2;含油岩心粉,取自前述低渗透油藏;模拟地层水矿化度与注入水一致,皆为6788.23 mg/L,离子组成(单位mg/L)为:Na^+ 1684.33、K^+ 10.67、Ca^{2+} 349.74、Mg^{2+} 75.01、Cl^- 1033.48、SO_4^{2-} 3470.9、HCO_3^- 164.1。

MCR301型界面流变仪,奥地利Anton Par公司;TEXAS-500型旋转滴界面张力仪,美国科诺工业有限公司;Brookfield DV3T型黏度计,美国Brookfield公司;OCA50型全自动接触角测量仪,德国Dataphysics公司;FA2004型电子天平,上海舜宇恒平科技仪器有限公司;多功能岩心驱替装置,海安石油科研仪器有限公司等。

1.2　实验方法

(1)溶液配制

模拟地层水的配制:根据离子组成,配制2000 mL 20 g/L的模拟地层水,机械搅拌0.5 h后移入2000 mL容量瓶定容,制得高矿化度地层水母液。实验所需矿化度皆由该母液稀释而成。

LST溶液的配制:准确称取18 g LST溶液置于装有模拟地层水的烧杯中,机械搅拌4 h,待完全溶解后移入500 mL容量瓶定容,制得高浓度的LST母液。实验所需LST溶液皆由该母液稀释得到。

(2)界面活性、黏度及乳化性测试

油水界面张力:在温度47.2 ℃、转速5000 r/min的条件下,采用旋转滴界面张力仪测定LST溶液与原油间的界面张力。

黏度:在温度47.2 ℃、剪切速率7 s^{-1}的条件下,使用黏度计测定LST溶液的黏度。

乳化性能:在温度47.2 ℃、油水比1∶1的条件下,在50 mL具塞量筒中加入10 mL 0.4% LST溶液与10 mL原油,使用玻璃棒搅拌均匀后,放入47.2 ℃的恒温箱中静置,观察并记录量筒开始油水分离的时间,然后每隔一定时间,记录一次析出水的体积,直至析出水体积不再变化。按式(1)计算乳状液的析水率(E),以此来判断驱油体系的乳化性能。

$$E=\frac{V_1}{V_2}\times 100\% \tag{1}$$

式中:V_1—析出水的体积,mL;V_2—制备乳状液时LST溶液体系的体积,mL。

(3)润湿性能测试

将岩心洗油烘干后,切割成尺寸一致的岩心切片,将其表面打磨光滑;在47.2 ℃下,用0.4% LST溶液浸泡7 h,取出风干;使用全自动接触角测量仪测定水相、油相接触角,根据接触角大小判定其润湿性。

(4)矿物静态吸附对LST溶液性能的影响

取适量目标油藏天然含油岩心粉,将岩心粉与0.4% LST溶液按质量比1∶50置于250 mL锥形瓶中,使其充分混合均匀后密封;将密封后的锥形瓶放入47.2 ℃恒温水浴摇床中振荡24 h;取出静置一段时间,待固液呈分离状态时取上层清液,测试其油水界面张力、黏度及乳状液析水率。重复以上操作3次,测定不同吸附次数下LST残液的油水界面张力、黏度和乳化析水率。

(5)LST溶液耐盐性测试

配制不同矿化度(0～16 570 mg/L)的0.4% LST溶液,评价矿化度对LST溶液油水界面活性、黏度、乳化性能的影响。

(6)驱油效果测试

均质岩心驱油实验。①选取均质人造岩心(0.05 μm^2),烘干、称量后充分饱和地层水,称岩心湿重,计算岩心的孔隙体积和孔隙度。②将岩心放

入多功能岩心驱替实验装置中，加环压，再实施油驱水，建立束缚水饱和度；封闭夹持器两端，使其在47.2 ℃下静置老化24 h。③以流速0.1 mL/min进行水驱油，直至出口端无油产出为止，计算水驱采收率。④转注0.4% LST溶液共0.4 PV，然后水驱至采出液含水率100%，计算LST驱提高水驱采收率。

非均质岩心驱油实验。①选取渗透率级差为3、5、10的岩心，烘干、称重后充分饱和地层水；②重复均质岩心驱油实验中的②③④操作。

2 结果与讨论

2.1 LST溶液性能评价

2.1.1 界面活性

在47.2 ℃下，不同质量分数（0.2%～1.0%）LST溶液与原油间的界面张力如图1所示。随LST溶液加量的增大，LST溶液与原油间的界面张力呈先降低后缓慢上升之势；LST溶液加量为0.4%时的油水界面张力最低。这与LST溶液中具有的特殊官能团及液相中的LST溶液扩散移动有关。LST溶液属低聚型小分子活性有机物，具有类似于双子表面活性剂的多亲水基团（羧基、羟基、磺酸基）及疏水基团（链烃），且聚合度相对更高（n=3～5）。LST溶液与水、原油间分别通过氢键[7-9]及疏水缔合作用，可更快更好地吸附在油水界面，有效降低油水界面张力。当LST溶液浓度较低时，油水界面吸附的LST溶液较少，降低油水界面张力效果不明显；随着LST溶液浓度增加，有更多的LST溶液可吸附于油水界面，使得油水界面张力降低；当体系浓度增大到临界值（0.4%）时，LST溶液分子在界面上的排列趋于饱和，即LST溶液分子继续吸附于油水界面的机遇受限，此时界面张力达到最小值；水中LST溶液浓度继续增大，则LST溶液活性分子开始在溶液中形成疏水缔合，液相黏度呈增大之势，影响LST溶液快速扩散到油水界面，继而导致界面张力小幅升高，界面活性变弱[10-11]。但在实验浓度范围内，油水界面张力均处于2×10^{-2} mN/m数量级，说明LST溶液具有较好的降低油水界面张力的能力，可以作为提高洗油效率的驱油剂。

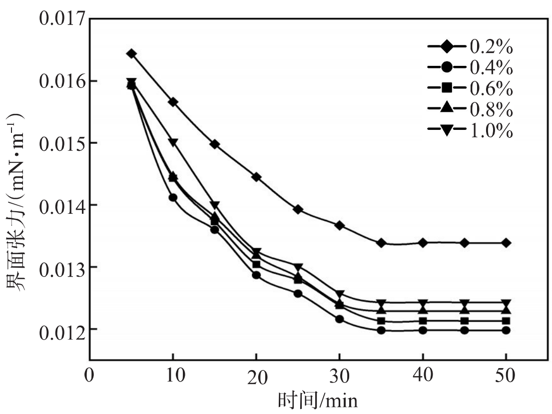

图1 不同质量分数LST溶液对油水动态界面张力的影响

2.1.2 增黏性

在47.2 ℃、剪切速率7 s^{-1}的条件下，0.2%～1.4% LST溶液的黏度如图2所示。LST溶液的黏度随着LST溶液加量的增大而增大。在质量分数为0.4%时，便可达到与地层原油相近的黏度，满足注入流体流度调节的需求。这主要与分子间的疏水缔合作用有关。随着LST溶液浓度的增加，溶液中LST分子间疏水缔合作用增强，分子大量聚集，形成一种较大的物理搭叠动态网状结构[12-13]，使得LST溶液黏度急剧增加。

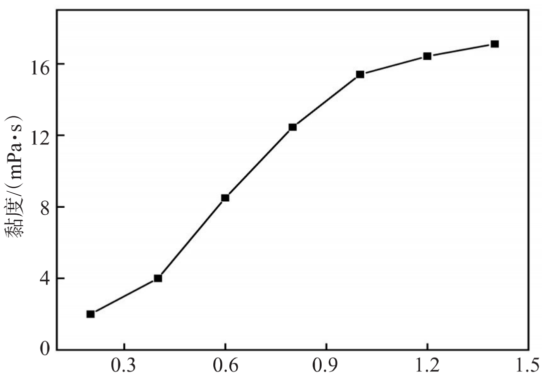

图2 LST溶液黏度随其加量的变化曲线

综上所述，0.4% LST溶液既有与地层原油相近的黏度，又具备低的油水界面张力，可以有效扩大波及体积和提高洗油效率。考虑到现场驱油的效果和经济性，选用质量分数为0.4%的LST溶液作为最佳驱油剂。

2.1.3 乳化性能

在47.2 ℃、油水比为1∶1的条件下，0.4% LST乳状液的乳化性能如图3所示。乳状液开始破乳的时间为5 min，在40 min内油水迅速分离，40 min以后油水分离的速度逐渐变缓，直至100 min时析水率曲线才逐渐平稳，此时的析水率为70%。这说明

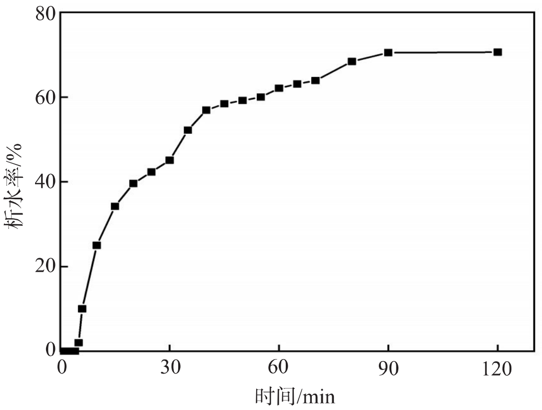

图3　在47.2 ℃下LST溶液乳状液的析水率随时间的变化

0.4% LST乳状液的破乳和析水时间较长,析水率较低,乳化稳定性较强。在40 min以前,受乳状液液滴间的相互作用及自身重力的影响,油和水在开始破乳之后油水分离速度很快[10, 14];经油水分离一段时间后,乳状液中的油滴在连续水相中的占比增大,增大了乳状液液滴之间的相互作用,使液滴之间排列的更加紧密,从而增强了油水界面膜的强度,有利于乳状液的稳定。

2.1.4　润湿性

将岩心置于0.4% LST溶液中浸泡后,测定岩心在水相和油相中接触角的变化。未经处理的岩心水相接触角为57.0°(<90°),说明岩心的亲水性较好;经LST溶液处理后,岩心的润湿角降至12.5°,由此可知LST溶液可增强岩心的水润湿性,使其更加亲水。LST溶液处理后,岩心与油相的接触角从24.3°增至38.6°,也说明了LST溶液使岩心变得更加疏油亲水。因此,LST溶液注入低渗透油藏后,可以减小孔隙表面对原油的附着力,将孔隙壁面的残余油剥离产出;同时可提高驱替相注入性,具有降压增注的效果[15]。

2.2　矿物静态吸附和矿化度对LST溶液性能的影响

2.2.1　矿物静态吸附的影响

0.4% LST溶液经重复多次吸附后,其残液与原油间的界面张力、黏度和乳化性能如表1所示。随着吸附次数的增加,LST残液与原油间的界面张力和乳状液的析水率均增大,黏度则减小。当吸附次数达到3次时,LST残液与原油间的界面张力仍能达到10^{-2} mN/m数量级,乳状液静置10、120 min的析水率为38.6%、73.4%,说明LST溶液具有良好的静态抗吸附性能。地层岩石对LST分子的吸附量较小,极大地减小了现场对LST溶液的使用量。这是由于目标油藏孔隙岩石矿物表面主要带负电荷,驱油剂LST溶液并不会电离出阳离子,且与储层岩石间的静电引力作用较弱[16–17],因此导致体系与岩石矿物表面的吸附量较小。

表1　LST溶液吸附残液的油水界面张力、黏度和乳化性能

吸附次数	界面张力/($mN\cdot m^{-1}$)	黏度/($mPa\cdot s$)	乳状液析水率/%	
			10 min	120 min
0	0.012	3.400	30.2	70.3
1	0.023	3.125	34.5	71.7
2	0.029	3.002	36.2	72.6
3	0.045	2.895	38.6	73.4

2.2.2　矿化度的影响

矿化度(0～16 570 mg/L)对0.4% LST溶液油水界面张力、黏度及乳化性能的影响如图4、图5所示。由图4可见,随着矿化度的增加,LST溶液的油水界面张力呈先降后升的趋势。矿化度较低时,LST溶液中的亲水基团大多存在于水相,少量分布于油相;随着矿化度增大,其与盐溶液中的反离子发生静电相互作用,压缩极性头水化层和胶束双电层[18],使得亲水基团更易吸附于油水界面,因此油水界面张力降低。随着矿化度的继续增加,界面的吸附平衡被破坏,油水界面张力增高[18]。这种高矿化度也会破坏LST溶液中的特殊网状结构,使得LST溶液黏度降低。当矿化度由6788 mg/L增至16 570 mg/L时,油水界面张力均在7×10^{-2} mN/m以下[19–20],且黏度仅下降了0.34 mPa·s。

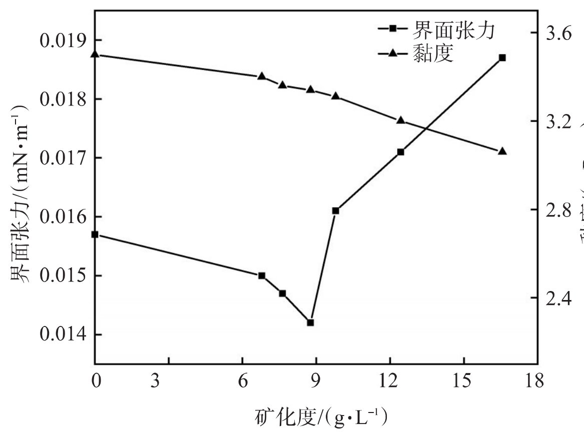

图4　矿化度对LST溶液油水界面张力和黏度的影响

由图5可见，随着矿化度的增大，乳状液出现破乳分层的时间逐渐缩短，最终析水率也越来越大。这是因为矿化度的增大增强了乳状液的絮凝和聚结作用，从而使乳化稳定性降低。矿化度增大，盐析作用增强，界面膜强度下降，乳状液的聚并阻力减小，稳定性降低[13]。

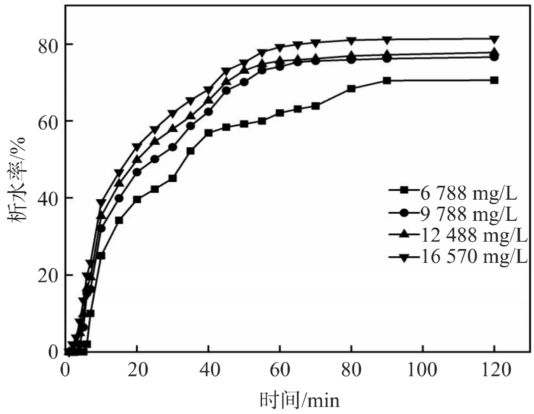

图5 矿化度对LST溶液乳化性能的影响

综上所述，LST溶液在高矿化度下的油水界面张力依然小于7×10^{-2} mN/m，且黏度仅下降了0.34 mPa·s，说明LST溶液在高矿化度下具有较好的界面活性、增黏稳定性和耐盐性。

2.3 LST溶液的驱油效果

2.3.1 均质岩心驱油效果

在注入速度为0.1 mL/min、注入量为0.4 PV、岩心渗透率为0.05 μm^{2}的条件下，0.4% LST溶液的驱油效果如图6所示。水驱阶段含水率达到98%时的注入压力为1.20 MPa，驱油效率为59.78%；当转至LST溶液驱后，含水率略有下降，且注入压力呈现先下降后上升的趋势；在LST溶液驱结束时，注入压力上升至1.43 MPa，驱油效率比水驱时提高了1.31百分点；在后续水驱阶段，驱替至含水率100%时的注入压力呈现稳步下降趋势，最终降至0.68 MPa，驱油效率明显提高，最终总采收率提高11.21百分点。从LST溶液驱油过程中注入压力的变化看，压力呈现先下降后上升的趋势，驱油效率则稳步提高。这主要是由于LST溶液在大孔道中产生封堵作用，注入压力随着体系注入量的增加而增大，进而使得驱替液向小孔道流动，推动小孔道中的油水混合液向前流动，因此LST溶液驱可起到提高采收率的目的。转至后续水驱阶段时，LST溶液也会随着注入水前进，直至封堵屏障被突破，这时注入压力明显下降，最终压力稳定阶段明显低于初始水驱。这是由于LST溶液不仅可以增强界面活性，还具有良好的抗吸附性能、乳化性能，使得后续水驱注入压力降低，达到提高采收率的目的。

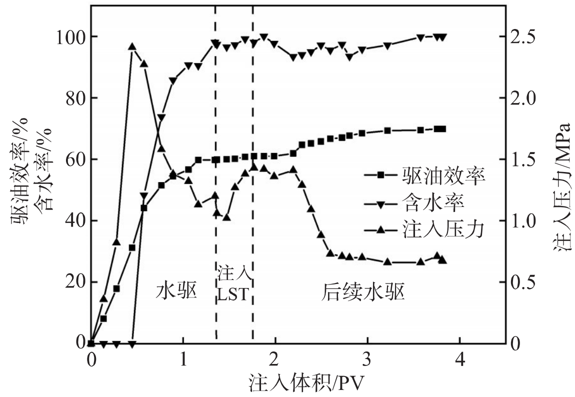

图6 LST溶液在均质岩心中的驱油效果

2.3.2 非均质岩心驱油效果

在不同级差的并联高、低渗透岩心进行LST溶液驱油实验，考察地层的非均质性对LST溶液驱油效果的影响，结果如表2所示。水驱采收率受渗透率和渗透率级差的影响较明显。水驱高渗透管采收率主要取决于岩心渗透率的大小，渗透率越大水驱采收率越高，说明水驱过程中存在高渗透通道优先渗流或驱替原油的特征。相应低渗透管水驱采收率大小则受渗透率极差的影响极大，渗透率极差越大，水驱采收率越低。由于渗流极差的存在，使得驱替液更易从高渗透通道通过，低渗透通道水驱油的困难性或低渗透层动用难度明显加重。因此，水驱后有必要对高渗透通道进行封堵，以加速低渗透层的启动和提高低渗透层的水驱采收率。

当注入0.4 PV 0.4% LST溶液后，高渗透管的最终采收率变化较小，与注入前相比仅提高了0.41%～4.50%；而低渗透管的采收率则明显增加，与水驱相比提高了13.38%～48.37%。由此可见，注入LST溶液可以有效封堵高渗透管通道，并可分流后续水至低渗透管。LST溶液的油水界面张力低，增黏效果好，较高黏度的LST溶液可对大孔道进行有效封堵，并启动小孔道，利用其自身对孔隙壁的强亲水润湿性和较好的乳化性能[21-23]，实现对残余油的剥离和乳化分散产出，提高洗油效率和波及体积，达到提高采收率的目的。

表2　不同级差双管岩心实施LST溶液驱提高采收率效果对比

岩心编号	渗透率/μm²	级差	水驱采收率/%			总采收率/%			采收率增幅/%		
			低渗透	高渗透	综合	低渗透	高渗透	综合	低渗透	高渗透	综合
50-4	0.05	3	42.73	79.11	61.89	56.11	79.52	68.44	13.38	0.41	6.55
150-5	0.15										
10-2	0.01	5	9.71	55.28	39.79	58.08	59.78	59.20	48.37	4.50	19.41
50-8	0.05										
10-5	0.01	10	4.40	61.84	42.24	51.89	66.21	61.32	47.49	4.37	18.99
100-6	0.10										

3　结论

提出了一种低界面张力小分子驱油剂（LST溶液）提高低渗透油藏采收率新技术。该驱油剂在较低的加量（0.4%）下可使油水界面张力达到10^{-2} mN/m数量级，其黏度接近油藏原油黏度（3.4 mPa·s）。LST溶液具有较好的乳化性能和亲水润湿性能，有利于驱替相注入及残余油的剥离、乳化产出。LST溶液具有较好的油藏环境适应性和耐盐性能，静态吸附损耗低。在矿化度为16 570 mg/L的环境下，其油水界面张力低于7×10^{-2} mN/m、黏度为3.06 mPa·s。LST溶液的驱油效果较好，可有效封堵高渗透孔道，启动低渗透孔道残余油。

参考文献：

[1]　马涛. 长庆低渗透油藏超低界面张力体系的构筑及驱油性能研究[D]. 北京：中国石油大学(北京)，2020：8–16.

[2]　解统平，何皓楠，宋君，等. 纳米SiO_2表面活性剂对高盐低渗透储层的驱油效果[J]. 现代化工，2022，42(5)：183–187.

[3]　冯树云，唐善法，胡睿智，等. 无机盐对阴离子Gemini表面活性剂溶液流变性的影响及机理[J]. 油田化学，2021，38(2)：310–316.

[4]　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.

[5]　黄婧. 两亲性阴离子二元梳形共聚物和阳离子三元嵌段共聚物的合成、界面活性及应用研究[D]. 上海：华东理工大学，2015：47–55.

[6]　唐艳丽. 阴-非离子表面活性剂的合成及驱油性能评价[D]. 成都：西南石油大学，2017：9–13.

[7]　王睿，唐善法，姜昭文，等. 羧酸盐Gemini表面活性剂的合成及性能[J]. 应用化工，2022，51(6)：1608–1613.

[8]　唐善法，周先杰，郝明耀. 低聚表面活性剂界面活性研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报)，2005(S1)：253–255.

[9]　王碧清，王继宇，刘雪婧，等. 低聚表面活性剂的合成及性能研究[J]. 合成化学，2010，18(S1)：202–206.

[10]　牛迪. 一种两性离子型四聚表面活性剂的合成及性能[D]. 黑龙江：东北石油大学，2020：197–219.

[11]　SIYAR M，LASHKARBOLOOKI M. Evaluation of the interfacial tension of binary surfactant mixtures and crude oil using the response surface method [J]. J Mol Liq，2022，366：120253.

[12]　XU Z X，LI Z M，CUI S，et al. Assessing the performance of foams stabilized by anionic/nonionic surfactant mixture under high temperature and pressure conditions [J]. Colloids Surf A：Physicochem Eng Aspects，2022，651：129699.

[13]　吕飞. 支化型丙烯酰胺类驱油聚合物研究[D]. 青岛：中国石油大学(华东)，2020：167–179.

[14]　周亚洲，杨文斌，殷代印. 化学驱原油原位乳化及提高采收率机理研究进展[J]. 油田化学，2022，39(4)：745–752.

[15]　CHEN L L，LIAO X W，TANG S F，et al. CO_2-low interfacial tension viscoelastic fluid synergistic flooding in tight reservoirs [J]. ACS Omega，2022，7：6271–6279.

[16]　李联中，田浩然. 适合特低渗透油藏的表面活性剂驱油体系研究及应用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版)，2022，37(3)：86–92.

[17]　易凡，陈龙，师涛，等. 强乳化复合表面活性剂驱油体系研究与应用[J]. 油田化学，2022，39(3)：466–473.

[18]　郑宪宝. 低渗透油藏驱油用耐温抗盐型表面活性剂研究[J]. 石油化工高等学校学报，2021，34(6)：70–75.

[19]　杨非，郭拥军，张新民，等. 聚驱后缔合聚合物三元复合驱提高采收率技术[J]. 石油学报，2014，35(5)：908–913.

[20]　盛友杰，李杨，阎灿彬，等. 高分子稳泡剂和SiO_2纳米颗粒对二元表面活性剂复配体系泡沫性能影响[J]. 高分子材料科学与工程，2023，39(4)：33–39.

[21]　王思瑶，唐善法，冯树云，等. 低界面张力黏弹表面活性剂驱油体系性能[J]. 中国科技论文，2022，17(9)：954–959.

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

[23]　HU R Z，TANG S F，MPELWA M，et al. Study on the structure-activity relationship between the molecular structure of anionic Gemini surfactants and the rheological properties of their micelle solutions [J]. J Dispersion Sci Technol，2022，43(4)：490–500.

Improving Oil Recovery in Low Permeability Reservoir by Low Interfacial Tension Small Molecule Oil Displacement Agent

MENG Wenyu[1], TANG Shanfa[1,2], WANG Siyao[1], DONG Yuanwu[1], WANG Rui[1], GAO Jie[1], CHEN Zequn[1]

(*1. College of Petroleum Engineering, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, P R of China; 2. Hubei Key Laboratory of Oil and Gas Drilling and Production Engineering, Wuhan, Hubei 430100, P R of China*)

Abstract: Aiming at the problems of poor injection, low oil washing efficiency and inability of water flooding to improve oil recovery in low permeability reservoirs, a new technology of low interfacial tension small molecule oil displacement agent (LST solution) to improve oil recovery in low permeability reservoirs was proposed. The interfacial activity, viscosity increase, emulsification, wettability, reservoir environment adaptability and oil displacement effect of LST solution were evaluated. The results showed that the displacement agent had good interfacial activity and viscidity. In the mineralized water with salinity of 6788.23 mg/L, the interfacial tension of 0.4% LST solution was 0.012 mN/m, meanwhile the viscosity was similar to that of reservoir crude oil (3.4 mPa·s). LST solution had good oil-water emulsification ability and could improve reservoir water wettability. The stabilization time of LST emulsion was 120 min at 47.2 ℃ and 1∶1 ratio of oil to water. After the core was treated with LST solution, the water-phase antenna decreased from 57.0° to 12.5°, while the oil-phase antenna increased from 24.3° to 38.6°. LST solution had good static anti-adsorption properties. After three times of core adsorption, the interfacial tension between LST residue and crude oil could still reach the order of 10^{-2} mN/m, and then the viscosity could reach 2.895 mPa·s. The water eluting rate of the emulsion after standing for 10 min and 120 min was 38.6% and 73.4%, respectively. The salt resistance of LST solution was good. When the salinity was 16 570 mg/L, the oil-water interfacial tension was lower than 7×10^{-2} mN/m and the viscosity was 3.06 mPa·s. LST solution had a good displacement effect, which could effectively plug the high permeability pore and start the residual oil in low permeability pore. Injecting 0.4 PV 0.4% LST solution could increase the water flooding efficiency of homogeneous core (0.05 μm^2) by 11.21 percentage points, while the integrated recovery efficiency of heterogeneous core (3—10 difference) by 6.55—19.41 percentage points. LST solution could effectively improve water drive recovery at low dosage or low cost, which had a good application prospect in enhancing oil recovery by chemical drive in low permeability heterogeneous reservoirs.

Keywords: *low permeability reservoir*; *small molecule displacement agent*; *interfacial tension*; *anti-adsorption property*; *enhanced oil recovery*