



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114196389 B

(45) 授权公告日 2023.02.24

(21) 申请号 202111623416.5

(22) 申请日 2021.12.28

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 114196389 A

(43) 申请公布日 2022.03.18

(73) 专利权人 延长油田股份有限公司  
地址 716000 陕西省延安市宝塔区枣园路  
中段

专利权人 西南石油大学  
成都赛璐石油科技有限公司

(72) 发明人 董越 王振宇 董海波 梅艳  
高振东 郭肖 郭卫民 周明  
欧阳华劲 张军连 王迪东  
李林凯 左忠华 韩宏昌

(74) 专利代理机构 深圳峰诚志合知识产权代理  
有限公司 44525

专利代理师 胡石开

(51) Int.Cl.  
C09K 8/594 (2006.01)  
C09K 8/584 (2006.01)  
E21B 43/22 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 107502330 A, 2017.12.22  
CN 105154055 A, 2015.12.16  
CN 110776893 A, 2020.02.11  
CN 105542741 A, 2016.05.04  
CN 103642481 A, 2014.03.19

审查员 郭钰铂

权利要求书1页 说明书8页

(54) 发明名称

一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装  
二氧化碳泡沫驱油剂及制备方法与应用

(57) 摘要

本发明提供一种适合低渗油藏的超低界面  
张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂,由如下组分组  
成: {二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷  
基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷,  
椰油酰胺基丙基甜菜碱,十二烷基二甲基氧化  
胺,水杨酸钠,螯合剂,无机盐,余量为水。本发明  
专利还提供该超低界面张力自组装二氧化碳泡  
沫驱油剂的制备方法和应用。该自组装二氧化  
碳泡沫驱油剂,抗盐抗酸性好,起泡液粘度高,产  
生的泡沫细腻丰富,稳定性好,在低渗油藏中注  
入性好,能改善油水流量比,显著扩大波及效率,  
能降低油水界面张力,显著提高洗油效率;该泡  
沫剂不会产生盐析现象,也不与钙镁离子发生化  
学反应生成沉淀。

1. 一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂,其特征在于:所述超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂由如下重量百分比的组分组成:

{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷:0.2-0.3%,

甜菜碱型表面活性剂:0.2-0.3%,

非离子表面活性剂:0.1-0.35%,

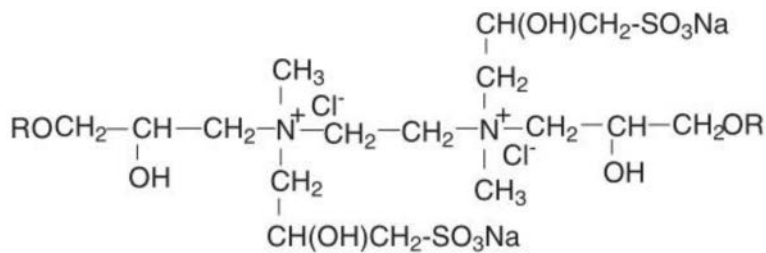
反离子化合物:0.02-0.07%,

螯合剂:0.04-0.14%,

无机盐:5-7%,

余量为水,

其中,所述{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷的结构式为:



R为十二烷基,它是一种羟基磺基甜菜碱型Gemini表面活性剂;

所述非离子表面活性剂为十二烷基二甲基氧化胺;所述反离子化合物为水杨酸钠;所述螯合剂为EDTA;所述无机盐为氯化钠、氯化镁、硫酸钠、硫酸氢钠、碳酸钠、氯化钾、氯化钙中的任意一种或几种。

2. 根据权利要求1所述一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂,其特征在于:所述甜菜碱型表面活性剂为椰油酰胺基丙基甜菜碱。

3. 根据权利要求1所述一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂的制备方法,其特征在于:所述制备方法为:

(1) 将水加热至70℃,加入无机盐,加入{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷,搅拌溶解后,再加入椰油酰胺基丙基甜菜碱,搅拌溶解;

(2) 向步骤(1)得到的混合溶液中依次加入非离子表面活性剂十二烷基二甲基氧化胺和螯合剂EDTA,搅拌溶解;

(3) 向步骤(2)得到的混合溶液中加入水杨酸钠,搅拌溶解。

## 一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂及制备方法与应用

### 技术领域

[0001] 本发明属于化学驱油领域,具体涉及一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂及制备方法与应用。

### 背景技术

[0002] 近年来国家提出了碳达峰和碳中和的国家战略,二氧化碳进行地质封存和利用是一种直接实现碳达峰和碳中和的有效途径,采用二氧化碳泡沫驱油不但能有效实现二氧化碳的封存,还能利用二氧化碳性质进一步提高原油采收率。低渗油藏选择二氧化碳驱是由于与高渗透油藏相比,二氧化碳在低渗透油藏中运移能力减弱,气窜时间大大延缓,且能增溶原油,降低原油粘度,延长油田低渗油藏已开始注入二氧化碳,且取得了一定的效果。

[0003] 延长低渗透油藏普遍具有“低孔、低渗、低产”的特征,采用常规的注水、注气方法能改善低渗透油藏的开发效果,但是在开发中后期易出现“注不进”、或水窜和气窜,注入流体波及效率低,导致低渗透油藏动用程度低,采收率低。目前常用的方法有:聚合物驱、表面活性剂驱、碱水驱、泡沫驱。碱水驱会降低体系的粘弹性,同时增加采出液的处理难度;聚合物驱对注入空隙较小的低渗油田难以注入,所以并不适合。

[0004] 泡沫驱通过改善流度比,降低油水界面张力,提高洗油效率,增加地层能量,同时能降低启动压力和注水压力,提高混合流体的渗流能力,从而提高低渗透油藏采收率。泡沫具有调剖和驱油作用的主要原因在于泡沫在多孔介质内的渗流特性,即泡沫堵大不堵小及堵水不堵油的特性,导致泡沫在高、低渗透呈均匀推进;同时,泡沫还具有一定的降低界面张力的作用。因而泡沫提高采收率显著,一般情况下泡沫驱提高采收率25%以上,聚合物驱可提高采收率10-20%。针对低渗低孔低压特征的延长低渗油藏,由于大多数孔喉属细长型孔喉,孔径过小,而聚合物驱由于分子量大,无规线团水力学半径大,因而聚合物注不进去,另水驱效果又不佳,顾考虑采用泡沫驱。

[0005] 泡沫体系的流度控制能力比聚合物更强,流动前缘也更趋稳定,体积波及系数更高,而且泡沫洗油能力较强,能节约表面活性剂用量,同时具有较好的泡沫性能和超低界面张力,降低无效水循环,且不含有强碱或弱碱,避免腐蚀结垢,提高经济效益。

[0006] 目前,虽然市面上已经研制出一些泡沫驱油剂,但是仍然存在一些问题,例如,在盐水中泡沫的起泡性差、粘度低、降低界面张力不够、泡沫综合指数不高、泡沫不够稳定等。如发明专利ZL201710864250.3“一种自组装超微泡沫驱油剂及其制备方法与应用”存在高盐度条件下降低界面张力不够,起泡液粘度偏低,泡沫强度不够,成本相对高,对储层渗透性能好但非均质性强的低渗油藏扩大波及体积不足的实际问题。另外,虽然有些起泡体系能有降低界面张力且强度高,但所用的表面活性剂浓度太高,导致成本太高,根本不能在现场应用。如发明专利CN110776893A“一种超低界面张力强泡沫驱油剂”,所使用的表面活性剂最低浓度达到30%,而驱油效率在16-21%之间,驱油效率并不高,因而很难在油田上大规模应用。针对以上的实际问题和低渗油藏特征,经分子结构设计和多次反复实验,在与发

明专利ZL2017110864250.3相同实验条件下,本发明所使用的一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装驱油剂降低油水界面张力更低,达到超低值甚至更低,且在相同用量条件下自组装形成的复合蠕虫状胶束的粘度更高,形成的泡沫稳定时间更长,扩大波及效率更显著。

### 发明内容

[0007] 针对现有技术的缺陷,本发明提供一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂及应用,所述泡沫的各组分可以自组装形成复合蠕虫状胶束,增加了体系的粘度,具有无碱、无腐蚀的特点,具有抗盐抗酸能力,能使油水界面张力达到超低,产生的泡沫细腻稳定丰富。

[0008] 一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂,由如下重量百分比的组分组成:

[0009] {二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷:0.2-0.3%,

[0010] 两性表面活性剂椰油酰胺基丙基甜菜碱:0.2-0.3%,

[0011] 非离子表面活性剂十二烷基二甲基氧化胺:0.1-0.35%,

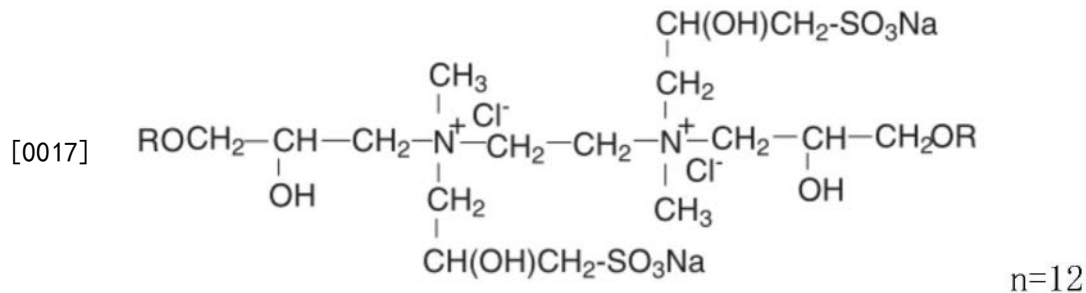
[0012] 反离子化合物水杨酸钠:0.02-0.07%,

[0013] 螯合剂:0.04-0.14%,

[0014] 无机盐:5-7%,

[0015] 余量为水,

[0016] 其中,所述{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷的结构式为



[0018] 所述{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷为羟基磺基甜菜碱Gemini表面活性剂。

[0019] 所述{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷为现有技术中的表面活性剂,其制备方法见文章Ming Zhou, et al, Synthesis of New Sulfobetaine Gemini Surfactants with Hydroxyls and Their Effects on Surface-Active Properties, Journal of Surfactants&Detergents, 2018。

[0020] 优选地,所述两性离子表面活性剂为椰油酰胺基丙基甜菜碱(CAB)。

[0021] 优选地,所述非离子表面活性剂十二烷基二甲基氧化胺(OB-2)。

[0022] 优选地,所述反离子化合物为水杨酸钠。

[0023] 优选地,所述螯合剂为EDTA。

[0024] 优选地,所述无机盐为氯化钠、氯化镁、硫酸钠、硫酸氢钠、碳酸钠、氯化钾、氯化钙中的任意一种或几种。当所述无机盐为氯化钠、氯化镁、硫酸钠、硫酸氢钠、碳酸钠、氯化钾、

氯化钙中的任意几种时,任意几种的组分为任意比例混合。

[0025] 上述适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂的制备方法为:

[0026] (1) 将水加热至70℃,加入无机盐,加入{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷,搅拌溶解后,再加入椰油酰胺基丙基甜菜碱,搅拌溶解;

[0027] (2) 向步骤(1)得到的混合溶液中依次加入非离子表面活性剂十二烷基二甲基氧化胺和螯合剂,搅拌溶解。

[0028] (3) 向步骤(2)得到的混合溶液中加入水杨酸钠,搅拌溶解。

[0029] 对步骤(3)得到的混合溶液通过Brookfield VIII粘度计测定超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂粘度,采用Tax500超低旋转界面张力仪测定界面张力。

[0030] 上述一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂及应用,所述应用为:采用OWC-9360恒速搅拌器,在搅拌杯中加入超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂溶液,通入CO<sub>2</sub>气体,在恒定转速10000r/min下,搅拌60s,立即进行检测,具体检测如下:

[0031] 读取初始泡沫体积V<sub>0</sub>,并开始计时;记录消掉一半泡沫时所需的时间t<sub>1/2</sub>,即为泡沫半衰期,最后计算泡沫综合指数FCI (FCI=0.75×V<sub>0</sub>×t<sub>1/2</sub>)。

[0032] 上述一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂及应用,所述应用为:将超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂通过填砂管模型制备泡沫,具体操作为:将超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂加入活塞容器中;所述活塞容器的下端与双缸泵相连,活塞容器的上端通过三通阀与所述填砂管的入口端相连,CO<sub>2</sub>高压气瓶通过三通阀与填砂管的入口端连接;所述填砂管的出口端依次与皂泡流量计、泡沫试管相连;用CO<sub>2</sub>高压气瓶接入活塞容器的上部空间,充满CO<sub>2</sub>气体并保持与CO<sub>2</sub>高压气瓶等压;双缸泵的输出流量为1mL/min,气液比采用1.5:1交替注入,等待产生了连续稳定的丰富细腻泡沫后,即可得到可注入低渗透岩心的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫;其中,所述填砂管内填充80-100目的石英砂,所述双缸泵为ISCO恒压恒流双缸泵。

[0033] 上述一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂及应用,所述应用为:将超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂在低渗岩心进行岩心驱油实验,具体操作为:将饱和高矿化度地层水的岩心放入岩心夹持器中装好,并加围压,检查系统的密封性,若密封性良好,则继续进行实验;通过中间容器向岩心注入原油,直至出口全部流出的是原油,建立原始含油饱和度;水驱原油至经济极限(含水率稳定到98%),建立水驱油藏模型,并计算水驱采收率;打开阀门,接入前面填砂管制备的泡沫,注入0.5PV超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱替原油,该泡沫段塞全部注入后,后续水驱至经济极限,计算超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂提高原油采收率。

[0034] 本发明所述的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫体系配方中,表面活性剂浓度低,在反离子化合物作用下能够自组装形成复合蠕虫状胶束,这种复合蠕虫状胶束的轮廓长度可以从500纳米甚至到100微米;在溶液中,当复合蠕虫状胶束达到一定的长度和密度时,胶束之间开始互相缠绕交叠,形成具有粘弹性的网络结构。与现有高分子溶液不同的是,高分子是由共价键连在一起的长链分子结构,而复合蠕虫状胶束则是由小分子在分子间力作用下聚集形成的分子有序组合体。表面活性剂分子形成的复合蠕虫状胶束与小分子

表面活性剂间存在着解离和重组的过程,因此,整个体系是一个动态的、平衡的网络结构。与发明专利CN110776893A和ZL201710864250.3相比,本发明专利的反离子分子量更小,自组装形成的复合蠕虫状胶束更长,宏观上表现出相同用量下其粘度更高。由于复合蠕虫状胶束的形成能有效地阻止碳酸钙晶核的生成和晶体的长大,钙、镁离子挤压复合蠕虫状胶束导致双电层变薄,复合蠕虫状胶束的流体力学减小,尺度减小,产生的泡沫细小、均匀,且稳定性能好,发泡之后产生直径在1-20 $\mu\text{m}$ 大小的泡沫。同时,Gemini羟基磺基甜菜碱表面活性剂、CAB甜菜碱表面活性剂与氧化胺型非离子表面活性剂的协同作用,导致表面活性剂分子在油水界面上排列更加紧密,降低油水界面张力更强,可使油水界面张力值达超低值甚至更低。

[0035] 本发明的优点:

[0036] (1) 本发明所述的泡沫驱油剂,羟基磺基甜菜碱Gemini表面活性剂{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷和椰油酰胺基丙基甜菜碱(CAB)与水杨酸钠在盐水中能够形成复合蠕虫状胶束,具有一定的粘度。在相同条件下加入相同的量,采用水杨酸钠体系形成的粘度远大于采用十二烷基硫酸钠形成的体系粘度。通入 $\text{CO}_2$ ,经过发泡,产生的泡沫丰富、细腻,直径尺寸在1-20 $\mu\text{m}$ 之间,且半衰期较长;在延长油田这种含盐高的油藏中注入 $\text{CO}_2$ 泡沫时,既抗酸又抗盐,该泡沫体系不但不会与钙、镁离子产生沉淀,而且起泡性和稳泡性好,还可使油水界面张力达到 $10^{-3}\text{mN/m}$ 数量级甚至更低。

[0037] (2) 本发明所述泡沫驱油剂不含碱,聚合物,避免了碱在应用中带来的降低体系的粘弹性、碱与地层水产生沉淀、增加注入工艺及采出液处理难度、增加成本等问题,同时避免使用聚合物由于分子量太大,溶于地层水后形成的无替线团的水力学半径大,在低渗特低渗油藏中的细长孔喉难以注入这一缺陷;

[0038] (3) 发泡后的泡沫通过改善流度比,显著降低油水界面张力,提高洗油效率和增加地层能量,提高流体的波及能力,从而提高低渗透油藏的采收率。

## 具体实施方式

[0039] 配制起泡剂溶液时采用的地层水矿化度如表1所示。

[0040] 表1地层水矿化度

离子	钠离子	钾离子	钙离子	镁离子	氯离子	碳酸氢根离子	总矿化度
浓度, mg/L	16181	5326	4266	3217	35297	1254	65541

[0042] 实施例1

[0043] 1. 一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂,包含如下重量百分比的组分:

[0044] {二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷:0.2%,

[0045] 两性离子表面活性剂椰油酰胺基丙基甜菜碱(CAB):0.2%,

[0046] 非离子表面活性剂十二烷基二甲基氧化胺(OB-2):0.1%,

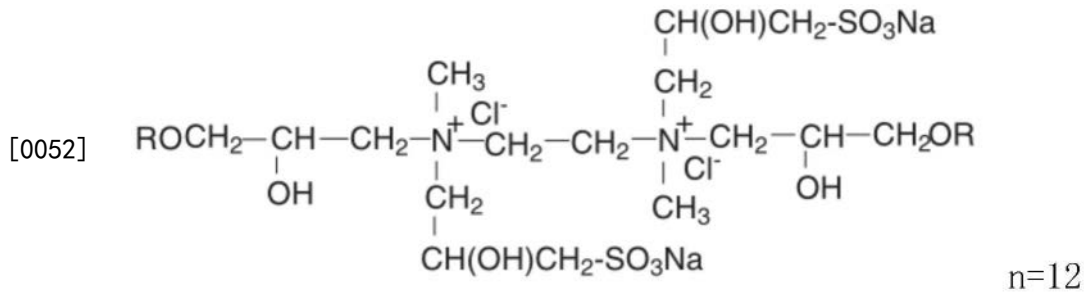
[0047] 水杨酸钠:0.03%，

[0048] 螯合剂为EDTA:0.14%，

[0049] 地层水矿化度:65541mg/L，

[0050] 余量为水,总量为100%，

[0051] 其中,所述{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷的结构为



[0053] 所述{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷为羟基磺基甜菜碱型Gemini表面活性剂。

[0054] 所述{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷为现有技术中的表面活性剂,其制备方法见文章(Ming Zhou, et al, Synthesis of New Sulfobetaine Gemini Surfactants with Hydroxyls and Their Effects on Surface-Active Properties, Journal of Surfactants&Detergents, 2018.)。

[0055] 实施例2

[0056] 2.一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂,包含如下重量百分比的组分:

[0057] {二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷:0.25%，

[0058] 两性离子表面活性剂椰油酰胺基丙基甜菜碱(CAB):0.25%，

[0059] 非离子表面活性剂十二烷基二甲基氧化胺(OB-2):0.2%，

[0060] 螯合剂为EDTA:0.04%，

[0061] 地层水矿化度:65541mg/L,,

[0062] 余量为水,总量为100%，

[0063] 其中,所述{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷的结构式、制备方法同实施例1。

[0064] 实施例3

[0065] 3.一种适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂及应用,包含如下重量百分比的组分:

[0066] {二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷:0.3%，

[0067] 两性离子表面活性剂椰油酰胺基丙基甜菜碱(CAB):0.3%，

[0068] 非离子表面活性剂十二烷基二甲基氧化胺(OB-2):0.35%，

[0069] 螯合剂为EDTA:0.10%，

[0070] 地层水矿化度:65541mg/L,

[0071] 余量为水,总量为100%,

[0072] 其中,所述{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷的结构式、制备方法同实施例1。

[0073] 一.制备方法、性能检测及应用

[0074] 1.将实施例1-3所述的适合低渗油藏的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫,分别按照以下制备方法制备:

[0075] (1)将地层水加热至70℃(地层水矿化度的具体阳离子和阴离子浓度如表1所示),加入{二[N-甲基-N-(3-十二烷氧基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷,搅拌溶解后,再加入椰油酰胺基丙基甜菜碱,搅拌溶解。

[0076] (2)向步骤(1)得到的混合溶液中依次加入非离子表面活性剂十二烷基二甲基氧化胺和螯合剂,搅拌溶解。

[0077] (3)向步骤(2)得到的混合溶液中加入水杨酸钠,搅拌溶解。

[0078] 2.性能检测及应用

[0079] (1)对上述步骤(3)得到的混合溶液通过Brookfield VIII粘度计测定超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂粘度,采用Tax500超低旋转界面张力仪测定界面张力,结果如表2所示。

[0080] (2)采用OWC-9360恒速搅拌器,在搅拌杯中加入超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂,通入CO<sub>2</sub>气体,在恒定转速10000r/min下,搅拌60s,立即读取初始泡沫体积V<sub>0</sub>,并开始计时;记录消掉一半泡沫时所需的时间t<sub>1/2</sub>,即为泡沫半衰期,最后计算泡沫综合指数FCI(FCI=0.75×V<sub>0</sub>×t<sub>1/2</sub>),结果如表2所示。

[0081] 表2泡沫驱油剂的粘度、界面张力、起泡性和半衰期的影响

配方	粘度, mPa. s	起泡体积, mL	半衰期, min	FCI, mL. min	油水界面张力, mN. m <sup>-1</sup>
[0082] 实施例1	13.2	590	16	7080	3.1×10 <sup>-3</sup>
实施例2	24.5	560	22	9240	1.2×10 <sup>-3</sup>
实施例3	32.7	550	20	8250	2.2×10 <sup>-4</sup>

[0083] 与发明专利ZL201710864250.3相比,本发明专利没有使用三乙醇胺和尿素;在其它剂用量和条件相同的条件下,两发明专利实施例1、2和3进行一一对应比较:本发明专利实施例1的粘度比发明专利ZL201710864250.3提高了4.7mPa.s,起泡体积增加了18mL,半衰期增加了8min,泡沫综合指数FCI增加了3648mL.min;本专利实施例2的粘度提高了7.3mPa.s,起泡体积增加了50mL,半衰期增加了4min,泡沫综合指数FCI增加了2355mL.min;本专利实施例3的粘度提高了13.5mPa.s,起泡体积增加了140mL,半衰期增加了4min,泡沫综合指数FCI增加了3330mL.min;可见与发明专利ZL201710864250.3相比,该泡沫驱油剂的粘度和泡沫综合指数FCI都有显著增加。

[0084] 针对延长油田原油,发明专利ZL201710864250.3没有测定油水界面张力,我们在该专利实验条件下测定了它的三个实施例,其油水界面张力均达不到10<sup>-3</sup>mN.m<sup>-1</sup>数量级(超



低值),而本发明专利实施例1和2的油水界面张力均达到 $10^{-3}\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ 数量级,而实施例3的油水界面张力更低,达到 $10^{-4}\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ 数量级,因而本发明专利驱油剂降低油水界面张力更强。

[0085] 在本发明专利所用的表面活性剂及助剂远远小于发明专利CN110776893A中的表面活性剂及助剂的条件下,本发明专利驱油剂比发明专利CN110776893A降低油水界面张力更低,起泡体积更好。

[0086] (3) 将超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂通过填砂管制备泡沫,具体操作为:将超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂加入活塞容器中;所述活塞容器的下端与双缸泵相连,活塞容器的上端通过三通阀与所述填砂管的入口端相连, $\text{CO}_2$ 高压气瓶通过三通阀与填砂管的入口端连接;所述填砂管的出口端依次与皂泡流量计、泡沫试管相连;用 $\text{CO}_2$ 高压气瓶接入活塞容器的上部空间,充满 $\text{CO}_2$ 气体并保持与 $\text{CO}_2$ 高压气瓶等压;双缸泵的输出流量为 $1\text{mL}/\text{min}$ ,气液比保持1.5:1交替注入,等待产生了连续稳定的丰富细腻泡沫后,即可得到可注入低渗透岩心的超低界面张力自组装二氧化碳泡沫;其中,所述填砂管内填充80-100目的石英砂,所述双缸泵为ISCO恒压恒流双缸泵。

[0087] (4) 将超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂进行岩心驱油,具体操作为:将饱和和高矿化度地层水的岩心放入岩心夹持器中装好,并加围压,检查系统的密封性,若密封性良好,则继续进行实验;通过中间容器向岩心注入原油,直至出口全部流出的是原油,建立原始含油饱和度;水驱原油至经济极限(含水率稳定到98%),建立水驱油藏模型,并计算水驱采收率;打开阀门,接入前面填砂管制备的泡沫,注入0.5PV超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱替原油,该泡沫注完后,后续水驱至经济极限,计算超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂提高原油采收率。实施例1-3所用岩心的岩心参数如表3所示,实施例1-3所用超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱油剂的驱替实验结果表4所示。

[0088] 表3实验岩心基本参数

序号	岩心长度/cm	岩心直径/cm	孔隙体积/ $\text{cm}^3$	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$
[0089] 实施例 1	5.87	2.49	4.15	14.7	3.28
实施例 2	5.51	2.54	4.24	14.8	3.52
实施例 3	5.43	2.50	4.34	14.9	3.63

[0090] 表4超低界面张力自组装二氧化碳泡沫驱实验结果

岩心编号	水驱效率/%	泡沫驱突破压力/Mpa	泡沫驱提高采收率/%
[0091] 实施例 1	24.55	8.1	26.6
实施例 2	26.76	8.9	28.4
实施例 3	25.89	8.2	30.3

[0092] 在本发明专利所用的主剂(包括{二[N-甲基-N-(3-十二烷基-2-羟基)丙烷基-N-(2-羟基-3-磺酸钠)丙烷基]氯化铵}乙烷、椰油酰胺基丙基甜菜碱、十二烷基二甲基氧化胺、水杨酸钠、螯合剂EDTA)总用量(0.56-1.16%)远远小于发明专利CN110776893A的主剂(阴阳离子表面活性剂、甜菜碱型表面活性剂和非离子表面活性剂)总用量(30-80%)的情况下,本发明专利中的最低驱油效率和最高驱油效率分别为26.6%和30.3%,比发明专利CN110776893A的九个实施例中的最低驱油效率和最高驱油效率高出了10.4%和9.6%,因

而具有更高的驱油能力。