



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105154055 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 16

(21) 申请号 201510495995. 8

C09K 8/584(2006. 01)

(22) 申请日 2015. 08. 13

E21B 43/22(2006. 01)

(71) 申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 257000 山东省东营市东营区济南路
125 号

申请人 中国石油化工股份有限公司胜利油
田分公司桩西采油厂

(72) 发明人 杜勇 田波 滕学伟 钱钦

贾耀勤 侯洪涛 宾永锋

(74) 专利代理机构 济南日新专利代理事务所

37224

代理人 刘亚宁

(51) Int. Cl.

C09K 8/594(2006. 01)

权利要求书1页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种超低界面张力泡沫驱油体系及其使用方法

(57) 摘要

本发明提供一种超低界面张力泡沫驱油体系及其使用方法,该驱油体系由如下重量百分比的原料混合而成:起泡剂 0.1-0.3%、无机试剂 0.05-0.15%、稳泡剂 0.01-0.10%、水余量。所述的起泡剂是十二烷基二甲基甜菜碱、十二烷基羟磺基甜菜碱、十二烷基羟丙基磺基甜菜碱、月桂酰胺丙基羟磺基甜菜碱、月桂酰胺丙基甜菜碱、椰油酰胺丙基氧化胺、双子氧化叔胺、聚氧乙烯十二醇醚硫酸酯盐或十二烷基硫酸钠;所述的无机试剂是氢氧化钠、无水碳酸钠或偏硼酸钠;所述的稳泡剂是部分水解聚丙烯酰胺 HPAM、丙烯酰胺共聚物、羧甲基纤维素 PACHV 或羟丙基甲基纤维素 HPMC。

1. 一种超低界面张力泡沫驱油体系,其特征在於它由如下重量百分比的原料混合而成:

| | | | |
|-----|------------|------|------------|
| 起泡剂 | 0.1-0.3% | 无机试剂 | 0.05-0.15% |
| 稳泡剂 | 0.01-0.10% | 水 | 余量; |

所述的起泡剂是十二烷基二甲基甜菜碱、十二烷基羟磺基甜菜碱、十二烷基羟丙基磺基甜菜碱、月桂酰胺丙基羟磺基甜菜碱、月桂酰胺丙基甜菜碱、椰油酰胺丙基氧化胺、双季氧化叔胺、聚氧乙烯十二醇醚硫酸酯盐或十二烷基硫酸钠;

所述的无机试剂是氢氧化钠、无水碳酸钠或偏硼酸钠;

所述的稳泡剂是部分水解聚丙烯酰胺、丙烯酰胺共聚物、羧甲基纤维素或羟丙基甲基纤维素。

2. 根据权利要求 1 所述的一种超低界面张力泡沫驱油体系,其特征在於所述的起泡剂是十二烷基羟丙基磺基甜菜碱。

3. 根据权利要求 1 所述的一种超低界面张力泡沫驱油体系,其特征在於所述的无机试剂是偏硼酸钠。

4. 根据权利要求 1 所述的一种超低界面张力泡沫驱油体系,其特征在於所述的稳泡剂是羟丙基甲基纤维素。

5. 权利要求所述的一种超低界面张力泡沫驱油体系的使用方法,其特征在於取超低界面张力泡沫驱油体系和气体,按照超低界面张力泡沫驱油体系:气体=1~2:2~1 体积比同时注入到地层中;所述的气体是氮气、二氧化碳、空气或烟道气,该气体的体积按地层压力计算;注入的超低界面张力泡沫驱油体系和气体的总体积为油层总孔隙体积的 5%~50%。

6. 根据权利要求 5 所述的一种超低界面张力泡沫驱油体系的使用方法,其特征在於所述的气体是氮气。

7. 根据权利要求 5 所述的一种超低界面张力泡沫驱油体系的使用方法,其特征在於所述的超低界面张力泡沫驱油体系与气体的体积比是 1.4~1.6:1.6~1.4。

8. 根据权利要求 5 所述的一种超低界面张力泡沫驱油体系的使用方法,其特征在於所述的注入的超低界面张力泡沫驱油体系和气体的总体积为油层总孔隙体积的 10%~30%。

一种超低界面张力泡沫驱油体系及其使用方法

技术领域

[0001] 本发明属于油田三次采油技术,具体涉及一种超低界面张力泡沫驱油体系及其使用方法。

背景技术

[0002] 油藏经长期注水开发后,地层容易形成高渗水窜通道,注入水很容易沿大孔道方向单向突进,导致窜流现象发生。必须进行深度调剖来扩大波及体积,使注入水进入中、低渗层,同时起到提高洗油效率的效果。泡沫因其较高的视粘度及“堵大孔不堵小孔、堵水不堵油”的选择性封堵的特性,能够调整吸水剖面,增大水驱波及体积。此外,优异的泡沫体系能够大幅度降低油水界面张力,乳化剩余油,提高洗油效率。因而泡沫驱油技术能大幅度提高采收率。

[0003] 目前,已公知的泡沫体系配方及泡沫驱油方法主要有以下几种:专利文献 201010562580.5 公开了一种泡沫增强聚合物驱油剂及驱油方法,其中表面活性剂为十二烷基硫酸钠、十二烷基磺酸钠、十二烷基苯磺酸钠等,聚合物为部分水解聚丙烯酰胺、疏水缔合聚合物、两性聚合物等。专利文献 201210323309.5 公开了一种使用泡沫复合体系开采油田剩余原油的方法,泡沫复合体系由 NaOH、表面活性剂、部分水解聚丙烯酰胺组成。专利文献 CN201010521953.4 公开了一种耐温抗盐低张力泡沫驱油剂及其制备方法,由烷醇酰胺、双极性基表面活性剂和水,在 40-60℃ 下持续搅拌至完全溶解制得。专利文献 201210191135.1 一种适用于油田调剖和驱油的泡沫体系及一种驱油方法,其中表面活性剂为全氟烷基醚醇胺盐或双烷基酰胺聚氧乙烯醚,稳泡剂为硬脂酸铵或十二烷基二甲基氧化铵,增稠剂为聚表剂或聚丙烯酰胺,无机盐为氯化钠、硫酸钠、碳酸氢钠、碳酸钠、氯化钾、氯化钙和氯化镁的一种或几种混合物。

[0004] 公知的泡沫体系,前两种泡沫体系仅有较好的泡沫性能,但未达到超低界面张力,其提高驱油效率的作用较低;后两种泡沫体系未对泡沫的耐油性能进行评价。因而,尚无综合性能优良的泡沫驱油体系配方。

发明内容

[0005] 本发明旨在克服现有技术的不足,目的之一是提供一种超低界面张力泡沫驱油体系,该泡沫驱油体系具有超低界面张力、耐油性能好。此外,具有较好的起泡性能、乳化性能、稳定性能,能够调整驱替剖面,增大波及体积,降低油水界面张力,提高洗油效率,进一步提高采收率;目的之二是提供该超低界面张力泡沫驱油体系的使用方法。

[0006] 本发明的目的之一可通过如下技术措施来实现:

[0007] 该超低界面张力泡沫驱油体系由如下重量百分比的原料混合而成:

[0008] 起泡剂 0.1-0.3% 无机试剂 0.05-0.15%

[0009] 稳泡剂 0.01-0.10% 水 余量;

[0010] 所述的起泡剂是十二烷基二甲基甜菜碱(两性型)、十二烷基羟磺基甜菜碱(两性

型)、十二烷基羟丙基磺基甜菜碱(两性型)、月桂酰胺丙基羟磺基甜菜碱(两性型)、月桂酰胺丙基甜菜碱(两性型)、椰油酰胺丙基氧化胺(两性型)、双子氧化叔胺(双子型)、聚氧乙烯十二醇醚硫酸酯盐(阴-非离子型)或十二烷基硫酸钠(阴离子型);

[0011] 所述的无机试剂是氢氧化钠、无水碳酸钠或偏硼酸钠;

[0012] 所述的稳泡剂是部分水解聚丙烯酰胺 HPAM、丙烯酰胺共聚物、羧甲基纤维素 PACHV 或羟丙基甲基纤维素 HPMC。

[0013] 本发明的目的之一还可通过如下技术措施来实现:

[0014] 进一步,所述的起泡剂是十二烷基羟丙基磺基甜菜碱 DSB-12。

[0015] 进一步,所述的无机试剂是偏硼酸钠 NaBO_2 。

[0016] 进一步,所述的稳泡剂是羟丙基甲基纤维素 HPMC。

[0017] 本发明的目的之二可通过如下技术措施来实现:

[0018] 取上述的超低界面张力泡沫驱油体系和气体,按照超低界面张力泡沫驱油体系:气体 = 1 ~ 2:2 ~ 1 体积比同时注入到地层中;所述的气体是氮气、二氧化碳、空气或烟道气,该气体的体积按地层压力计算;注入的超低界面张力泡沫驱油体系和气体的总体积为油层总孔隙体积的 5% ~ 50%。

[0019] 本发明的目的之二还可通过如下技术措施来实现:

[0020] 进一步,所述的气体是氮气。

[0021] 进一步,所述的超低界面张力泡沫驱油体系与气体的体积比是 1.4 ~ 1.6:1.6 ~ 1.4。

[0022] 进一步,所述的注入的超低界面张力泡沫驱油体系和气体的总体积为油层总孔隙体积的 10% ~ 30%。

[0023] 本发明的泡沫驱油体系抽样做了如下实验:

[0024] 取胜利油田某采油区的原油,该采油区地层污水、矿化度 9842mg/L,实验温度 70℃。

[0025] 实验例 1:起泡剂的起泡性能

[0026] 采用 Waring-Blender 法评价泡沫的性能。Waring-Blender 搅拌法是在一定的转速下对一定体积的起泡体系进行搅拌,产生泡沫并测定起泡性能,该方法操作简便,实验结果具有较好的重复性,是目前实验室内较为常用的起泡性能评价方法。实验过程中的具体操作步骤如下:向 Waring-Blender 搅拌杯中加入 100mL 用污水配制浓度 0.2wt% 的起泡剂溶液,实验时以恒定速度 (2000r/min) 搅拌 60s,将产生的泡沫迅速倒入 1000mL 量筒中,记录初始泡沫体积为发泡剂的起泡体积。随时间的推移,由于泡沫的消泡与聚并,液体不断析出,记录泡沫中排出 50mL 液体所需要的时间,为衡量泡沫稳定性的析液半衰期,实验温度 70℃。

[0027] 表 1 不同起泡剂的起泡性能

[0028]

| 起泡剂 | 浓度, wt% | 起泡体积, mL | 析液半衰期, s |
|-----------------------|------------|----------|-------------|
| 十二烷基二甲基甜菜碱 (两性型) | 0.2 | 570 | 157 |
| 十二烷基羟磺基甜菜碱 (两性型) | 0.2 | 580 | 173 |
| 十二烷基羟丙基磺基甜菜碱 (两性型) | 0.2 | 580 | 183 |
| 月桂酰胺丙基羟磺基甜菜碱 (两性型) | 0.2 | 570 | 152 |
| 月桂酰胺丙基甜菜碱 (两性型) | 0.2 | 570 | 147 |
| 椰油酰胺丙基氧化胺 (两性型) | 0.2 | 570 | 155 |
| 双子氧化叔胺 (双子型) | 0.2 | 560 | 175 |
| 聚氧乙烯十二醇醚硫酸酯盐 (阴-非离子型) | 0.2 | 560 | 155 |
| 十二烷基硫酸钠 (阴离子型) | 0.2 | 580 | 161 |

[0029] 由表 1 可以看出,在浓度为 0.2wt%时,十二烷基羟丙基磺基甜菜碱的起泡性能最好,起泡体积为 580mL,析液半衰期为 183s。优选起泡剂为十二烷基羟丙基磺基甜菜碱。

[0030] 测定了不同浓度起泡剂十二烷基羟丙基磺基甜菜碱的起泡体积、析液半衰期,结果见表 2。可以看出,浓度为 0.2wt%时的起泡、稳泡性能最好,优选起泡剂浓度为 0.2wt%。

[0031] 表 2 不同浓度起泡剂十二烷基羟丙基磺基甜菜碱的起泡、稳泡性能

[0032]

| 起泡剂 | 浓度, wt% | 起泡体 积, mL | 析液半衰 期, s |
|--------------------|------------|-----------------|-----------------|
| 十二烷基羟丙基磺基甜菜碱 (两性型) | 0.05 | 410 | 108 |
| | 0.1 | 580 | 150 |
| | 0.2 | 580 | 183 |
| | 0.3 | 580 | 185 |
| | 0.5 | 590 | 187 |

[0033] 实验例 2 :泡沫驱油体系的耐油性

[0034] 方案一（混合油起泡）:将 100mL 浓度为 0.2wt% 的十二烷基羟丙基磺基甜菜碱溶液中加不同体积的煤油后,采用 Waring Blender 搅拌器定速搅拌 1 分钟,移入 1000mL 量筒中,将量筒置于 70℃ 水浴缸中,记录起泡体积,析液半衰期。

[0035] 表 3 不同油含量对起泡剂起泡、稳泡性能的影响

[0036]

| 起泡剂 | 煤油添加体积, mL | 起泡体积, mL | 体积变化率, % | 析液半衰期, s | 半衰期变化率, % |
|------------------------|------------|----------|----------|----------|-----------|
| 十二烷基羟丙基磺基甜菜碱 0.2wt% | 0 | 580 | | 183 | |
| | 2.5 | 560 | -3.45 | 191 | +5.46 |
| | 5 | 550 | -5.17 | 198 | +8.19 |
| | 10 | 570 | -1.72 | 205 | +12.02 |

[0037] 搅拌前加入煤油类同于泡沫在地层岩心中生成-破灭-再生状况。由表 3 可以看出,加入 10mL 煤油后,起泡剂十二烷基羟丙基磺基甜菜碱的起泡体积降低 1.72%,起泡体积变化较小,表明该起泡剂的耐油性较好。析液半衰期延长 12.02%,这是由于起泡剂对油的乳化效果好,使油分散为油滴,聚集在 Plateau 边界,形成假乳液膜,液膜厚度增加,稳定性增强,半衰期增加。

[0038] 方案二（泡沫遇油）:将 100mL 浓度为 0.2wt% 的十二烷基羟丙基磺基甜菜碱溶液采用 Waring Blender 搅拌器定速搅拌 1 分钟,移入 1000mL 量筒中,再置于 70℃ 水浴缸中,迅速加入已备好的煤油 20mL,读取起泡体积,测量析液半衰期。

[0039] 表 4 泡沫遇油后的起泡、稳定性能

[0040]

| 起泡剂 | 煤油添加体积, mL | 起泡体积, mL | 析液半衰期, s | 泡沫半衰期, min |
|------------------------|------------|----------|----------|------------|
| 十二烷基羟丙基磺基甜菜碱 0.2wt% | 0 | 580 | 183 | 13 |
| | 20 | 580 | 180 | 7 |

[0041] 搅拌后加入煤油类同于注入泡沫在地层遇油的稳定性。由表 4 可以看出,此方法测定所有起泡剂,起泡体积和析液半衰期变化不大,而泡沫半衰期影响较大。主要是由于煤油没有很好地被乳化,渗到气液界面的油在液膜表面迅速铺展,导致泡沫迅速破灭,表现为泡沫半衰期减小。

[0042] 综合两个方案,优选的十二烷基羟丙基磺基甜菜碱生成的泡沫具有较好的耐油

性。

[0043] 实验例 3 :起泡剂的界面张力性能

[0044] 实验采用美国 TX500C 型旋转滴界面张力仪,并通过摄像头每间隔一定时间即采集油滴图片,用专用软件进行记录和计算,从而得到实时的界面张力的数据。

[0045] 通过计算,单独 0.2wt% 十二烷基羟丙基磺基甜菜碱的界面张力为 0.02mN/m,加入 0.1wt% 偏硼酸钠 (NaBO_2) 后起泡剂溶液的界面张力为 0.008mN/m,达到超低界面张力。主要是因为偏硼酸钠与原油反应,生成的产物与十二烷基羟丙基磺基甜菜碱发生协同效应,进一步降低界面张力。

[0046] 实验例 4 :起泡剂的乳化性能

[0047] 配制浓度为 0.1wt%、0.2wt% 十二烷基羟丙基磺基甜菜碱的起泡剂溶液,10mL 具塞试管中加 5mL 起泡剂溶液,5mL 油田油样;油层温度 70℃ 水浴中预热 5min 后,均匀用力上下震荡 50 下,约半分钟,再置于水浴中,记录不同时间的分水量,计算分水率。

[0048] 实验例 5 :泡沫驱油体系稳定性能

[0049] 泡沫的稳定性能是关系泡沫在地层中是否能够产生良好封堵性能的关键。单独十二烷基羟丙基磺基甜菜碱虽具有较高的起泡能力,但在地层温度下泡沫稳定性较低,必须通过复配筛选出同时具有较好的起泡能力和稳泡能力的复合体系,这可通过加入稳泡剂实现。

[0050] 表 5 不同浓度羟丙基甲基纤维素 HPMC 对起泡剂稳定性能的影响

[0051]

| 起泡剂 | 羟丙基甲基纤维素浓度, wt% | 起泡体积, mL | 析液半衰期, s |
|------------------------|-----------------|----------|----------|
| 十二烷基羟丙基磺基甜菜碱 0.2wt% | 0 | 580 | 183 |
| | 0.01 | 550 | 210 |
| | 0.05 | 550 | 230 |
| | 0.1 | 530 | 305 |

[0052] 由表 5 可以看出,加入稳泡剂羟丙基甲基纤维素 HPMC 后,泡沫体系的稳定性能增强。随稳泡剂质量分数的升高,析液半衰期升高,体系的起泡体积下降。这是因为向起泡剂中添加聚合物后,复合体系粘度增大,从而减少了泡沫液膜中液体的流失,增加了液膜强度,而且气体在液膜中的溶解度也大大降低,从而减少了液膜的透气性,使得复合体系的稳定性大大增加。但聚合物质量分数过大,使得体系粘度过大,起泡难度增加。综合考虑,选择浓度为 0.05wt% 的稳泡剂较为合适,此时泡沫体系的起泡体积为 550mL,析液半衰期为 230s。

[0053] 通过实验例 1-5 优选了超低界面张力泡沫体系为十二烷基羟丙基磺基甜菜碱 0.2wt% + 偏硼酸钠 0.1wt% + 羟丙基甲基纤维素 0.05wt%。

[0054] 实验例 6 :泡沫驱油体系的封堵、防气窜性能

[0055] 采用填砂管实验评价泡沫的封堵、防气窜性能。泡沫的阻力系数是指向岩芯模型中注泡沫体系，泡沫体系在岩芯运移达到平衡时岩芯两端压差与水气同注时压差的比值（此时的水是不含表面活性剂的地层水）。泡沫的阻力因子是指向岩芯模型中注泡沫体系，泡沫体系在岩芯运移达到平衡时岩芯两端压差与单纯注水时压差的比值。将阻力系数、阻力因子大小可作为孔隙介质中泡沫的防气窜能力的度量，泡沫的阻力系数、阻力因子越大，其封堵、防气窜能力越强，波及系数越大。

[0056] 实验流程是首先湿法制备填砂管，液测其渗透率，向中间容器罐中加入使用桩西油田污水配制的起泡剂溶液，在设定油层温度 70℃ 的烘箱中充分预热，饱和地层水，测定地层水与气体不同比例同时注入时压差，再测定起泡剂溶液与气体不同比例同时注入时的压差。（回压均为 2MPa，流速为 1mL/min。）实验用美国 Parker Hannifin 公司生产的 201-FKASVBAA 气体质量流量计控制气体流量。

[0057] 表 6 填砂管填砂数据

[0058]

| 填砂管 | 长度, cm | 孔隙体积, mL | 孔隙度, % | 渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$ |
|-----|--------|----------|--------|--------------------------------|
| 1 号 | 30 | 59.2 | 40.68 | 2700 |

[0059] 表 7 阻力因子测定结果

[0060]

| 气液比 | 水驱压力, MPa | 气水混注压力, MPa | 泡沫驱压力, MPa | 阻力系 数 | 阻力因 子 |
|------|--------------|----------------|---------------|----------|----------|
| 1: 1 | 0.0038 | 0.087 | 1.82 | 20.9 | 478 |

[0061] 通过实验，气液比 1:1 时，优选的泡沫体系的阻力系数可达到 20.9，阻力因子可达到 478，泡沫能够产生很好的封堵能力，提高后续水驱的波及体积。

[0062] 实验例 7：泡沫驱油体系的驱油性能

[0063] 采用填砂管物理模拟实验评价泡沫的驱油性能。

[0064] 实验步骤如下：

[0065] (1) 对于填砂管模型（填砂管长度 30cm），先用湿填法填满砂后，再慢速注水驱替，直至压力平稳后称重，减去模型重量及填入砂重即得出孔隙体积；

[0066] (2) 在 70℃ 下，用模拟地层水驱替岩心 2PV；

[0067] (3) 在 70℃ 下，恒温饱和油，计算原始含油饱和度；

[0068] (4) 用模拟地层水驱替填砂管直至产出液含水率大于 98%，计算水驱累积采收率、阶段含水率以及相应的压力变化；

[0069] (5) 将泡沫体系溶液（十二烷基羟丙基磺基甜菜碱 0.2wt% + 偏硼酸钠 0.1wt% + 羟丙基甲基纤维素 0.05wt%）和一定流量的气体（气液比 1:1）同时注入泡沫发生器，打开放空管线阀门，在一定回压下放空至泡沫均匀后再注入模型，随后继续用模拟地层水驱至产出液含水率大于 98%（以产出液体积计量）；

[0070] (6) 对实验产出液进行破乳,并计算驱油实验的累积采收率、阶段含水率等。

[0071] 表 8 填砂管填砂数据

[0072]

| 长度, cm | 孔隙体积, mL | 孔隙度, % | 渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$ | 含油饱和度, % |
|--------|----------|--------|-----------------------------|----------|
| 30 | 58.6 | 39.86 | 1670 | 88.73 |

[0073] 本发明具有以下有益效果:

[0074] (1) 该泡沫驱油体系能够使稠油的界面张力降至 0.008mN/m,达到超低界面张力,具有较高的洗油效率。

[0075] (2) 该泡沫驱油体系耐油性能较好,泡沫遇油后较稳定,起泡性能基本不受影响。

[0076] (3) 该泡沫驱油体系乳化性能好,能够提高后续流体的波及体积。

[0077] 本发明的泡沫驱油体系具有超低界面张力,较好的起泡性能、乳化性能、耐油性能、稳定性能,泡沫的阻力因子较大,能够产生很好的封堵能力,提高后续水驱的波及体积和洗油效率。

附图说明

[0078] 图 1 是 0.1wt%、0.2wt% 泡沫与原油乳化的乳化性能示意图;

[0079] 由图 1 可以看出,0.1wt%、0.2wt% 泡沫与原油乳化效果较好,随着时间的延长,起泡剂的溶液浓度降低,分水速度较快,对采出液后续破乳处理影响较小。

[0080] 图 2 是采用填砂管物理模拟实验评价泡沫的驱油性能装置示意图;

[0081] 其中:(1)气瓶 (2)增压泵 (3)高压储罐 (4)气体质量流量控制系统 (5)平流泵 (6)恒温箱 (7)油罐 (8)水罐 (9)泡沫发生器 (10)放空阀 (11)填砂管 (12)回压阀 (13)产出液计量系统 (14)压力采集系统 (15)手摇加压泵

[0082] 图 3 泡沫体系的驱油性能。

[0083] 由图 3 可以看出,加入泡沫体系后,泡沫封堵作用较好,驱替压差升高较明显,后续水驱力升高,产出液含水率下降,泡沫驱采收率提高 16.81%,驱油效果较好。

具体实施方式

[0084] 实施例 1:

[0085] 本发明的超低界面张力泡沫驱油体系由如下重量百分比的原料混合而成:

[0086] 十二烷基二甲基甜菜碱(两性型) 0.1% 氢氧化钠 0.15%

[0087] 丙烯酰胺共聚物 0.01% 水 余量。

[0088] 取超低界面张力泡沫驱油体系和二氧化碳,按照超低界面张力泡沫驱油体系:二氧化碳=1:2 体积比同时注入到地层中;所述的二氧化碳气体的体积按地层压力计算;注入的超低界面张力泡沫驱油体系和二氧化碳气体的总体积为油层总孔隙体积的 5%。

[0089] 实施例 2:

[0090] 本发明的超低界面张力泡沫驱油体系由如下重量百分比的原料混合而成:

[0091] 十二烷基二甲基甜菜碱(两性型) 0.3% 氢氧化钠 0.05%

[0092] 丙烯酰胺共聚物 0.10% 水 余量。

[0093] 取超低界面张力泡沫驱油体系和二氧化碳,按照超低界面张力泡沫驱油体系:二氧化碳=2:1体积比同时注入到地层中;所述的二氧化碳气体的体积按地层压力计算;注入的超低界面张力泡沫驱油体系和二氧化碳气体的总体积为油层总孔隙体积的50%。

[0094] 实施例3:

[0095] 本发明的超低界面张力泡沫驱油体系由如下重量百分比的原料混合而成:

[0096] 十二烷基二甲基甜菜碱(两性型) 0.3% 氢氧化钠 0.05%

[0097] 丙烯酰胺共聚物 0.10% 水 余量。

[0098] 取超低界面张力泡沫驱油体系和二氧化碳,按照超低界面张力泡沫驱油体系:二氧化碳=1.4:1.6体积比同时注入到地层中;所述的二氧化碳气体的体积按地层压力计算;注入的超低界面张力泡沫驱油体系和二氧化碳气体的总体积为油层总孔隙体积的30%。

[0099] 实施例4:

[0100] 本发明的超低界面张力泡沫驱油体系由如下重量百分比的原料混合而成:

[0101] 十二烷基二甲基甜菜碱(两性型) 0.2% 氢氧化钠 0.15%

[0102] 丙烯酰胺共聚物 0.01% 水 余量。

[0103] 取超低界面张力泡沫驱油体系和二氧化碳,按照超低界面张力泡沫驱油体系:二氧化碳=1.6:1.4体积比同时注入到地层中;所述的二氧化碳气体的体积按地层压力计算;注入的超低界面张力泡沫驱油体系和二氧化碳气体的总体积为油层总孔隙体积的20%。

[0104] 实施例5:

[0105] 用十二烷基羟磺基甜菜碱(两性型)替代十二烷基二甲基甜菜碱(两性型),其它分别同实施例1-4。

[0106] 实施例6:

[0107] 用十二烷基羟丙基磺基甜菜碱(两性型)替代十二烷基二甲基甜菜碱(两性型),其它分别同实施例1-4。

[0108] 实施例7:

[0109] 用月桂酰胺丙基羟磺基甜菜碱(两性型)替代十二烷基二甲基甜菜碱(两性型),其它分别同实施例1-4。

[0110] 实施例8:

[0111] 用月桂酰胺丙基甜菜碱(两性型)替代十二烷基二甲基甜菜碱(两性型),其它分别同实施例1-4。

[0112] 实施例9:

[0113] 用椰油酰胺丙基氧化胺(阳离子型)替代十二烷基二甲基甜菜碱(两性型),其它分别同实施例1-4。

[0114] 实施例10:

[0115] 用双子氧化叔胺(双子型)替代十二烷基二甲基甜菜碱(两性型),其它分别同实施例1-4。

[0116] 实施例11:

[0117] 用聚氧乙烯十二醇醚硫酸酯盐（阳离子型）替代十二烷基二甲基甜菜碱（两性型），其它分别同实施例 1-4。

[0118] 实施例 12：

[0119] 用十二烷基硫酸钠（阳离子型）替代十二烷基二甲基甜菜碱（两性型），其它分别同实施例 1-4。

[0120] 实施例 13：

[0121] 用无水碳酸钠替代氢氧化钠，其它分别同实施例 1-12。

[0122] 实施例 14：

[0123] 用偏硼酸钠 NaBO_2 替代氢氧化钠，其它分别同实施例 1-12。

[0124] 实施例 15：

[0125] 用羧甲基纤维素 PACHV 替代丙烯酰胺共聚物，其它分别同实施例 1-14。

[0126] 实施例 16：

[0127] 用部分水解聚丙烯酰胺 HPAM 替代丙烯酰胺共聚物，其它分别同实施例 1-14。

[0128] 实施例 17：

[0129] 用羟丙基甲基纤维素 HPMC 替代丙烯酰胺共聚物，其它分别同实施例 1-14。

[0130] 实施例 18：

[0131] 用氮气替代二氧化碳，其它分别同实施例 1-17。

[0132] 实施例 19：

[0133] 用氮气替代二氧化碳，其它分别同实施例 1-17。

[0134] 实施例 20：

[0135] 用空气替代二氧化碳，其它分别同实施例 1-17。

[0136] 实施例 21：

[0137] 用空烟道气替代二氧化碳，其它分别同实施例 1-17。

[0138] 实施例 22：

[0139] 本发明的超低界面张力泡沫驱油体系由如下重量百分比的原料混合而成：

[0140] 十二烷基羟丙基磺基甜菜碱（两性型） 0.2% 偏硼酸钠 NaBO_2 0.1%

[0141] 羟丙基甲基纤维素 HPMC 0.05% 水 余量。

[0142] 取超低界面张力泡沫驱油体系和二氧化碳，按照超低界面张力泡沫驱油体系：氮气 = 1:1 体积比同时注入到地层中；所述的氮气气体的体积按地层压力计算；注入的超低界面张力泡沫驱油体系和氮气气体的总体积为油层总孔隙体积的 30%。

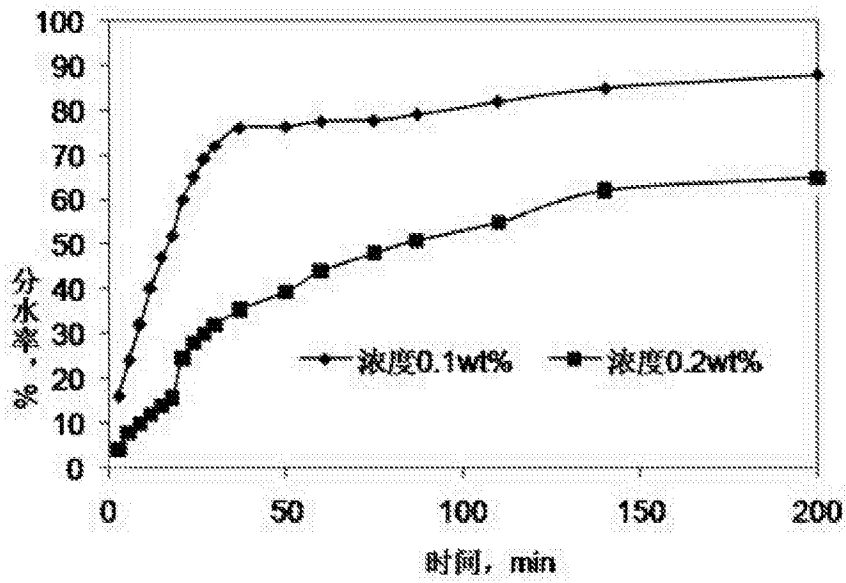


图 1

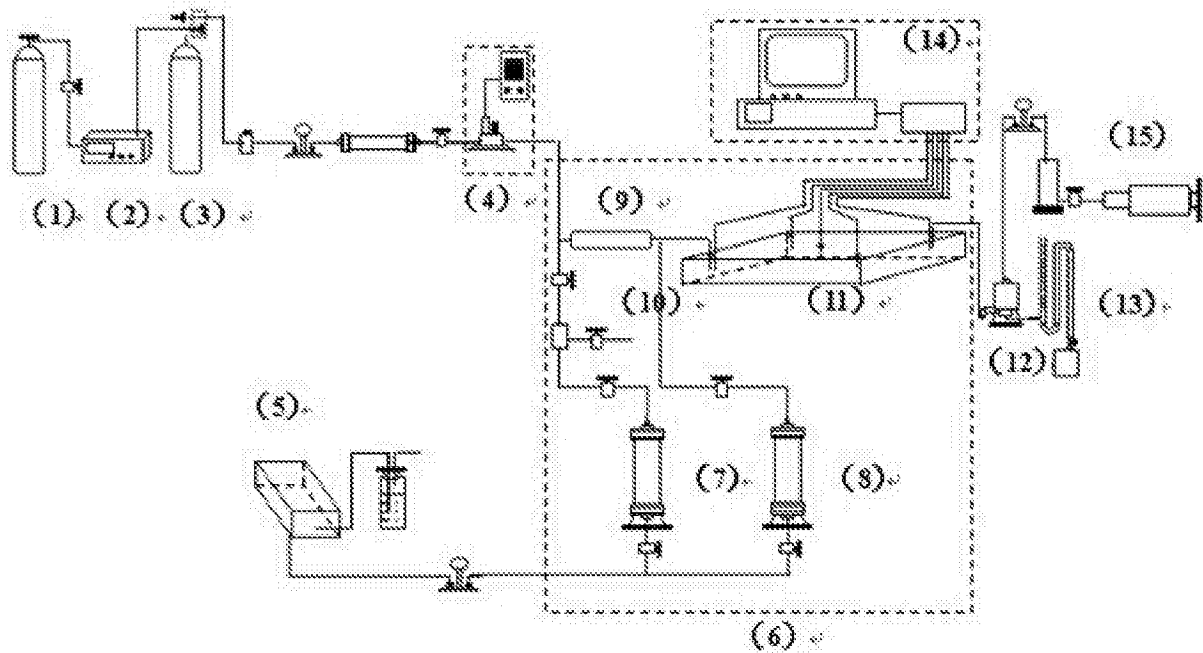


图 2

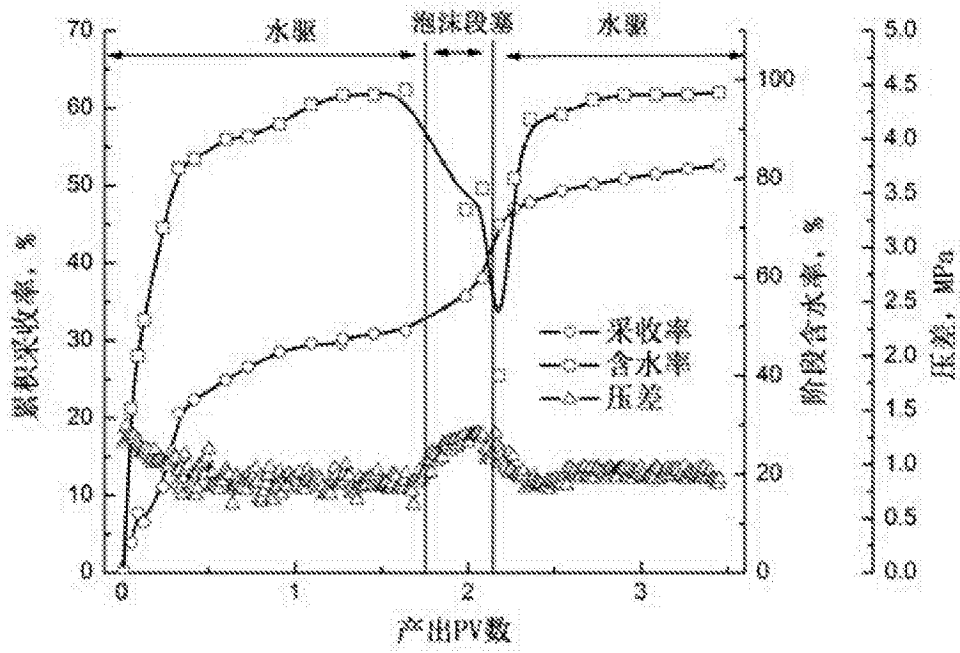


图 3