



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102492409 A

(43) 申请公布日 2012.06.13

(21) 申请号 201110407705.1

E21B 43/22(2006.01)

(22) 申请日 2011.12.09

(66) 本国优先权数据

201010589921.8 2010.12.09 CN

(71) 申请人 大庆油田有限责任公司

地址 163453 黑龙江省大庆市让胡路区中原路 99 号

(72) 发明人 乐建君 伍晓林 柏璐璐 赵群

李蔚 侯兆伟 王颖 郭盟华

张继元 陈星宏 刘洋 窦续谋

王蕊 王艳玲

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司

11322

代理人 鲁兵

(51) Int. Cl.

C09K 8/584(2006.01)

C09K 8/588(2006.01)

权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 5 页

(54) 发明名称

一种复配生物驱油剂及其应用

(57) 摘要

本发明公开了一种复配生物驱油剂,包括按重量比 1 : 1 ~ 8 : 1 配制的生物表面活性剂与化学表面活性剂,所述生物表面活性剂为鼠李糖脂发酵原液,所述化学表面活性剂为脂肪酸酰胺磺基顺丁烯二酸单酯钾盐。本发明复配的生物驱油剂中化学表面活性剂的用量低(0.0125wt%),复配体系能达到小于  $10^{-2}$ mN/m 数量级的超低界面张力,具有驱油效率高、制备工艺简单和成本低廉等优点,适合高含水油田进一步提高采收率的推广和应用。



聚合物 + 生物表面活性剂 + 化学表面活性剂, 重量比 1 : 13 : 2, 段塞大小  $4000\text{m}^3$  ;  
聚合物 + 化学表面活性剂, 重量比 1 : 2, 段塞大小  $4000\text{m}^3$  ;  
其中, 所述生物表面活性剂、化学表面活性剂、聚合物和调剖剂如前述权利要求所述。

## 一种复配生物驱油剂及其应用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及三次采油技术领域中的一种复配生物驱油剂及其在石油驱油中的应用。

### 背景技术

[0002] 生物驱油剂是一种由微生物合成的、结构多样的表面活性物质,主要分为糖脂类、脂肽和脂蛋白类、磷脂和脂肪酸类、聚合表面活性剂和微粒表面活性剂类五大类,油田驱油常用的生物表面活性剂属于脂肽类和糖脂类。

[0003] 生物驱油剂与化学驱油剂性能相似,但相比之下,还有许多有利之处:①可生物降解,不会造成再污染;②无毒或低毒;③一般不致敏、可消化,因此可用于化妆品、食品和功能食品的添加剂;④可以用工业废物生产,有利于环境污染治理;⑤具有更好的环境相容性、更高的起泡性,在极端温度、pH值、盐浓度下的更好选择性和专一性;⑥结构多样,有可能适用于特殊领域(Cairns WL1 Biosurfactants and Biotechnology[M] NY:Marcel Dekker Inc,1987.1)。生物驱油剂还具有良好的抗细菌、霉菌和病毒的性能,这是一般化学合成的表面活性剂难以匹敌的(Jitemdra D D,Ibrahim M BI Microbio Mol Biol Rev[J],1997,61(1):47~64.)。

[0004] 生物驱油剂同一般的生物表面活性剂一样,其生产首先依赖于生产菌,不同的生产菌产生不同的表面活性剂。由于采油对生物表面活性剂属于粗放型,对生物表面活性剂的提取和纯化要求不高,因此对采油用生物表面活性剂的研究主要集中在生产菌(微生物)的筛选改良和培养上。现阶段生物表面活性剂的研究主要集中在从原油开采的油层中分离选育生物表面活性剂的产生菌,然后对其进行培养并用于三次采油。

[0005] 生物驱油剂作为三次采油中的一种性能优良的助剂,具有广泛的应用前景。现在油田驱油用的表面活性剂的发展趋势正在由强碱向弱碱、三元向二元、一元发展。随着对作为主剂的化学表面活性剂性能要求的提高,新型表面活性剂的研制难度也随之加大、且成本上升,生物驱油剂作为辅剂应用正好弥补了现有化学表面活性剂在性能上的不足,同时较大幅度降低了综合成本,表现出了良好的发展前景。

[0006] 根据对以前的研究结果来看(张子涵,杨振宇,国郅,大庆葡萄花油田北部复合驱可行性探讨,大庆石油地质与开发,2005,24(1):82~84),许多化学表面活性剂,如KPS、WXS、MS298、烷基苯、TD与NaOH及Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>的复合体系与萨尔图油田或杏树岗油田的油水都具有一定的适应性,但与葡萄花油田的油水进行了大量的界面张力评价后发现,这些体系与葡萄花油田原油间不能形成超低界面张力。特别是进口表面活性剂ORS41-NaOH体系在大庆油田萨尔图及杏树岗油田的生物表面活性剂复合驱矿场试验中取得了很好的效果,但与葡萄花油田原油却很难形成超低界面张力,ORS41-NaOH体系与葡萄花原油的界面张力见图1(NaOH浓度分别为1.0wt%、1.2wt%和1.5wt%),而使用生物酶与鼠李糖脂发酵液复配驱油实验研究【西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(1):119~121】表明,鼠李糖脂发酵液与生物酶复配其界面张力达到0.41mN/m,而生物酶单独作用为1.67mN/m,鼠李糖



25mPa·s。

[0017] 所述生物驱油剂在石油驱油中的应用也属于本发明的保护范围。

[0018] 驱油时,在水驱段塞后单纯用所述复配生物驱油剂配制段塞进行驱油。或者,在水驱段塞后,用聚合物段塞和所述复配生物驱油剂配制段塞交替注入。复配生物驱油剂在驱油体系中浓度为 0.5wt% -2.0wt%,优选 1.0wt%。

[0019] 具体的,可在水驱段塞后,用以下任一方案继续进行驱油:

[0020] 方案一:单纯用所述复配生物驱油剂配制段塞,复配生物驱油剂浓度为 1.0wt%,用量为 0.5PV;

[0021] 方案二:用聚合物与复配生物驱油剂混合配制段塞,复配生物驱油剂浓度 1.0wt%,聚合物浓度 0.1wt%,用量为 0.5PV;

[0022] 方案三:依次注入 0.1wt% 聚合物 0.1PV、1.0wt% 复配生物驱油剂 0.25PV 和 0.1wt% 聚合物 0.15PV。

[0023] 这里,复配生物驱油剂在驱油体系中浓度为 1.0wt%,其中化学表面活性剂有效浓度为 0.125wt%,鼠李糖脂发酵原液与化学表面活性剂重量比为 7:1。

[0024] 另一具体的复合驱油方案是在油层水驱后,再依次注入以下段塞:

[0025] 聚合物+调剂剂,重量比 1:4,段塞大小 1000m<sup>3</sup>;

[0026] 聚合物+鼠李糖脂发酵原液,重量比 1:12,段塞大小 10000m<sup>3</sup>;

[0027] 聚合物+调剂剂,重量比 1:4,段塞大小 1000m<sup>3</sup>;

[0028] 聚合物+生物表面活性剂+化学表面活性剂,重量比 1:13:2,段塞大小 4000m<sup>3</sup>;

[0029] 聚合物+化学表面活性剂,重量比 1:2,段塞大小 4000m<sup>3</sup>;

[0030] 其中生物表面活性剂、化学表面活性剂、聚合物和调剂剂如前述。

[0031] 本发明使用了一种与鼠李糖脂具有较好协同效应的化学表面活性剂。该化学表面活性剂的单一产品在有效浓度 0.1% (wt) 以下与葡北油水能形成 10<sup>-3</sup>mN/m 数量级的超低界面张力,而且浓度范围较宽 0.1% (wt) ~ 0.01% (wt)。含有本发明化学表面活性剂的生物驱油剂具有驱油效率高、制备工艺简单和成本低廉等优点,适合高含水油田进一步提高采收率的推广和应用。

[0032] 下面结合具体实施例对本发明做进一步详细说明。

## 附图说明

[0033] 图 1 为 ORS41-NaOH 体系与葡萄花原油的界面张力图

[0034] 图 1A 为生物大分子胶团 400× 电镜图片

[0035] 图 1B 为生物表面活性剂分子 1000× 电镜图片

[0036] 图 2 为不同浓度鼠李糖脂发酵原液与界面张力的关系曲线

[0037] 图 3 为不同浓度的化学表面活性剂的界面张力检测结果

[0038] 图 4 为鼠李糖脂生物表面活性剂与化学表面活性剂复配的界面张力检测结果

[0039] 图 5 为岩心渗透率对复配生物驱油剂注入能力的影响

[0040] 图 6 为不同分子量聚合物的粘浓曲线

[0041] 图 7 为注入采出水配制复配生物驱油剂的粘浓曲线

[0042] 图 8 为鼠李糖脂发酵原液复配体系段塞和聚合物段塞注入方案的优化结果

### 具体实施方式

[0043] 下述实施例中所用方法如无特别说明均为常规方法。

[0044] 实验材料

[0045] 1、油样

[0046] 原油样品取自葡 II 联合站的脱水脱气的混合原油,该原油 20℃ 的密度为 0.7628g/cm<sup>3</sup>,50℃ 测得的运动黏度为 12.91mPa·s,闪点为 37℃,凝固点为 33℃,分子量为 365.3,恩氏蒸馏分析结果 300℃ 前的蒸馏组分占 30.6%,原油组分分析见下表 1。

[0047] 表 1 葡 II 联合站脱水脱气混合原油组分分析

[0048]

油样	原油物性				族组成				
	密度 g/cm <sup>3</sup>	黏度 mPa·s	含蜡 量%	含胶量 %	饱和烃 %	芳烃 %	总烃 %	非烃 %	沥青质 %
葡 II 联合站 混合原油	0.7628	12.91	19.0	12.8	47.5	34.3	81.8	12.1	6.1

[0049] 从原油物性来看,含蜡量较高,地层温度条件下的黏度为 12.9mPa·s,油水黏度比大于 20,高于长垣老区。从族组成分析结果来看,原油中芳烃和沥青质的含量也明显高出长垣老区,说明该区块原油物性独特,在筛选驱油配方体系上,针对原油的配伍性,作好驱油剂的优选。

[0050] 2、水样

[0051] 实验用的注入采出水样品分别取自葡 82-77 和葡 80-73 井。该区块同一井组的注入采出井水质组分差异不大,主要检测常规的水质分析指标是否存在明显差异,说明用该水样配制的驱油体系具有代表性,检测分析结果见表 2。

[0052] 表 2 葡北区块注入采出井的水质分析(浓度单位:mg/L)

[0053]

水样	井号	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Br <sup>-</sup>	I <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
注入水	P82-77	7.9	3050	1060	9.61	5.18	3.81	16	7.29
采出水	P80-73	7.1	3090	1050	0	5.18	5.24	16.8	9.24
水样	井号	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Sr <sup>++</sup>	Cu <sup>++</sup>	TDS	
注入水	P82-77	9.28	1580	0.14	0.04	1.69	0.01	5950	
采出水	P80-73	9.28	1670	0.08	0.06	2.05	0.02	5970	

[0054] 水质分析结果表明,注入水偏碱性,pH 值为 7.9,总矿化度为 5950mg/L,采出水为中性,pH 值为 7.1,总矿化度为 5970mg/L。水质中各种阴和阳离子对比,采出水比注入水的

含量略偏高。总体上看,注入采出井水质组分差异不大。

[0055] 实验仪器及装置

[0056] 美国 Texas2500 型旋滴超低界面张力仪 ;DV2III+ 型 Brookfield 黏度计、电子天平、TVT2 界面张力仪、LEICA DMIRB 生物倒置显微镜、多功能岩芯驱替装置 (江苏省海安石油仪器设备厂生产)。

[0057] 实验方法

[0058] (1) 表面及界面张力测定方法 SY/T 5370-1999 ;

[0059] (2) 驱油用丙烯酸胺类聚合物性能测定 SY/T 5862-1993 ;

[0060] (3) 聚丙烯酰胺特性粘数测定方法 GB/T 12005.1-1989 (2004) ;

[0061] (4) 岩心常规分析与物模驱油实验方法 SY/T 5336-2006。

[0062] 试验一、适合试验区块的复配生物驱油剂配方的筛选及优化

[0063] 界面张力是提高采收率的重要指标之一,界面张力越低驱油效果越好。实验采用大庆沃太斯化工有限公司销售提供的鼠李糖脂发酵原液 (缩写为 RH,生物表面活性剂),主要成份有:生物大分子蛋白类 (主要有菌体细胞蛋白、核酸蛋白、多糖类蛋白等),糖脂,多糖,甘油脂,主要成分见表 3。

[0064] 该生物表面活性剂的分子结构中既有极性基团又有非极性基团,是一类中性两性分子。亲水基团是非离子形式的单糖、二糖、多糖、羧基、氨基或肽链,疏水基团则由带羟基的脂肪酸组成。该生物表面活性剂 (鼠李糖脂发酵原液) 含聚集的生物胶团 (图 1A) 以及具有溶胶性质的生物表面活性剂分子 (图 1B),胶团直径在微米级,与油层孔隙喉孔道匹配,为无规则形状弹性体,其数量多且分布均匀。

[0065] 表 3 生物表面活性剂鼠李糖脂发酵原液主要组分

[0066]

组分 g/L 批号	生物表面活性剂					菌体蛋白
	糖脂	中性脂			多糖	
		单油甘脂	双油甘脂	三油甘脂		
2-23	25.8	18.2	4.26	0.39	4.56	12.34
3-5	27.2	20.5	6.09	0.43	4.12	15.12
3-16	27.6	19.8	6.13	0.35	5.07	14.8

[0067] 分别用注入水和采出水配制鼠李糖脂发酵原液浓度范围在 0.01%~10% 的水溶液,依次测得不同浓度的生物表面活性剂的界面张力与浓度的关系曲线 (图 2,所用原油为葡二联脱气原油,实验温度 45℃,检测仪器为 TVT2 界面张力仪)。

[0068] 检测结果表明,无论是用注入水,还是采出水配制,单一鼠李糖脂体系与原油的界面张力都较高,没有达到超低值范围。鼠李糖脂发酵液原液浓度在 0.5%~1% 范围时测得的界面张力为 8.4~9.6mN/m 之间,由此可见用单一的鼠李糖脂发酵液做驱油剂难以获得满意的驱油效果。

[0069] 经过多次筛选和检测,得到一种与鼠李糖脂具有较好协同效应的化学表面活性剂脂肪酸酰胺磺基顺丁烯二酸单酯钾盐,其由大庆富杰化工有限公司生产,以动植物油脂脂肪酸、单乙醇胺、顺丁烯二酸酐、亚硫酸钾为原料,经酰胺化、酯化、磺化等一系列反应合成得



脂发酵液复配驱油实验研究,西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(1):119~121),目前葡北油田油层温度40~50℃,该温度下,优选出的复配体系均可以达到超低界面张力。

[0081] 表4 油层温度对复配生物驱油剂体系界面张力的影响

[0082]

温度(℃) 复配体系浓度(%)	25	30	35	40	45	50	界面张力
0.025% (配比为1:1)	7.5	7.3	6.3	6.4	4.3	4.1	×10 <sup>-2</sup> mN/m
0.1% (配比为8:1)	5.0	5.4	3.2	2.5	2.9	1.6	
1% (化学表面活性剂 0.2wt%, 配比为4:1)	2.4	2.1	1.7	1.2	0.9	0.7	

[0083] 压力:由于现场施工以及药剂的配制都是在地面常压进行的,所以压力对复配生物驱油体系的影响,可以忽略。而驱油体系进入油层后,压力对复配生物驱油体系的影响,可以借鉴目前其他复合驱现场试验的资料(葡萄花油田北部聚合物驱可行性研究,大庆石油地质与开发,2001,20(2):80~82)。

[0084] 渗透率:渗透率对复配生物驱油体系的影响表现在注入通过能力的变化上(大庆油田三次采油技术的实践与认识,大庆油田地质与开发,2001,20(2):1~8)。葡北油田属于断块的薄差油层,受油层非均质程度影响,井组油层发育存在一定差异,在单井驱替溶液浓度设计上,需要根据各井组间实际注入能力进行个性化设计。

[0085] 为了测试复配生物驱油体系(浓度0.1wt%,含化学表面活性剂0.0125wt%,鼠李糖脂发酵原液与化学表面活性剂的重量比为8:1)在油层中的注入通过能力,实验采用天然岩心,渗透率分别为 $118 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $184 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $285 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。考虑到现场试验区注入井的实际开采情况,将复配生物驱油剂配制成黏度为 $25\text{mPa} \cdot \text{s}$ 的溶液,设计的驱替段塞为0.5PV,驱替速度定为0.2mL/min。其中水驱阶段的注入倍数为3.0~3.5PV之间,复配生物驱油剂驱替段塞为0.5PV,之后为后续水驱阶段。

[0086] 从驱替实验结果(图5中三种岩心渗透率分别为 $118 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $184 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $285 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,图中线条以数值来区分)来看,当渗透率小于 $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时,复配生物驱油体系通过岩心时,能形成较高的压力梯度“墙”,压力增幅超过2.0MPa,有助于驱油体系扩大波及体积,同时也使被驱替出的残余油富集成“带”,进一步提高采收率。当渗透率大于 $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时,形成的压力梯度明显偏低,压力增幅仅有0.5MPa,此情形下虽然驱油体系的通过能力提高了,但波及残余油部位的区域却受限,大大影响采出效果。因此,结合现场注入井的注入压力与油层破裂压力之间的差值,合理设计驱油体系的黏度和注入速度,对改善和提高复配生物驱油剂的驱油效果具有重要的指导意义。

[0087] (2) 复配生物驱油剂对试验区块岩心的驱油效果

[0088] 由于复配生物驱油剂的物模实验是为现场试验方案中各项设计参数值的确定提

供重要的依据。因此,针对不同试验区块开展的室内物理模拟实验方案(实验条件、影响因素)的设计也同样尤为重要。为了更好验证复配生物驱油剂的驱油效果及作用机理,开展了天然岩心物模驱油实验,该项试验同时也为复配生物驱油现场应用的配方设计提供了参数。

[0089] ①实验基础参数

[0090] 实验用的复配生物驱油体系浓度 0.1wt%,含化学表面活性剂 0.0125wt%,鼠李糖脂发酵原液与化学表面活性剂的重量比为 8 : 1。实验温度为 45℃。驱替速度为 0.2mL/min,相当于地层中渗流速度为 1m/d。

[0091] ②微生物驱油实验步骤

[0092] 岩心抽空饱和七厂油井采出的地层水→饱和模拟油(造束缚水)→水驱至含水 98%结束,计算水驱采收率→注入复配生物驱油剂段塞,保持恒温→再水驱至含水 98%结束。

[0093] 实验采用三组天然岩心,渗透率区段分别为小于  $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  段、 $150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  段和  $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  段,驱油实验结果见表 5。

[0094] 表 5 不同岩心渗透率的复配生物驱油剂实验结果

[0095]

编号	渗透率 ( $10^{-3}\mu\text{m}^2$ )	含油饱和度 (%)	水驱采收率 (%)	段塞大小 (PV)	最终采收率 (%)	提高采收率 (%)
1	84.4	63.3	35.5	0.40	40.8	5.3
2	89.5	67.3	41.0	0.40	46.7	5.7
3	154	60.0	47.0	0.40	53.5	6.5
4	167	55.1	46.0	0.40	52.3	6.3
5	207	62.2	44.6	0.40	49.8	5.2
6	216	63.6	48.2	0.40	53.3	5.1

[0096] 通过注入复配生物驱油剂段塞,发现三组岩芯提高采收率的幅度均在 5% (OOIP) 以上,其中渗透率小于  $150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时的采收率值高于渗透率大于  $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的采收率值。说明本发明的复配生物驱油剂适用于渗透率小于  $150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  油层,获得的驱油效果相对更高一些。

[0097] 试验三、复配生物驱油剂段塞和聚合物段塞注入方案的优化

[0098] 室内物模驱油试验主要研究注入剂的优选及合理注入方式、注入段塞、注入浓度、注入量、注入时间的确定,以及注入后效果预测。

[0099] (1) 复配生物驱油剂用量提高采收率效果

[0100] 为了考察复配生物驱油剂浓度对提高采收率的影响,进行了复配生物驱油剂浓度优化实验,复配生物驱油剂浓度分别为 0.5wt% (FJ-1 浓度 0.1wt%,RH : FJ-1 为 4 : 1)、1.0wt% (FJ-1 浓度 0.125wt%,RH : FJ-1 为 7 : 1)、2.0wt% (FJ-1 浓度 0.25wt%,RH : FJ-1 为 7 : 1)

[0101] 表 6 不同浓度下复配生物驱油剂驱油实验结果

[0102]

序号	渗透率 ( $10^{-3}\mu\text{m}^2$ )	含油饱和度 (%)	水驱采收率 (%)	最终采收率 (%)	提高采收率 (%)	复配生物驱油 剂浓度(%)
1	140	62.2	44.6	49.8	5.2	0.5 (配比为 4:1)
2	146	63.6	48.2	53.3	5.1	
3	164	60.0	47.0	53.5	6.5	1.0 (配比为 7:1)
4	177	58.1	48.0	54.0	6.0	
5	127	55.1	46.0	52.3	6.3	2.0 (配比为 7:1)
6	171	63.4	48.4	54.9	6.5	

[0103] 从实验结果(表6)可以看出,复配生物驱油剂浓度在0.5%、1.0%、2.0%时提高采收率值均在5~7%之间,差别不大,这是因为复配生物驱油剂除了具有降低油水界面张力外,还具有优良的增溶、乳化以及减少原油在岩石表面的粘附力等作用。综合考虑实验效果和地层水的稀释作用影响,最终确定复配体系(复配生物驱油剂)采用的浓度为1.0wt%。

[0104] (2) 聚合物对驱油效果的影响

[0105] 提高采收率项目是否成功及是否有经济效益的关键是最大程度地提高油藏波及效率,所以应朝着用注入的流体最大限度地提高油藏波及面积的方向努力。考虑到葡北试验区油藏的非均质性,设计注入复配体系段塞前,应加入前置聚合物调剖段塞,这样可进一步改善和提高生物表面活性剂的驱油效果。前置聚合物调剖段塞设计涉及聚合物分子量及浓度的确定。

[0106] ①分子量的确定(葡萄花油田北部聚合物驱可行性研究,大庆石油地质与开发,2001,20(2):80~82)

[0107] 采用清水配制聚合物母液和溶液,聚合物溶液浓度采用1000mg/L。使用分子量 $800 \times 10^4 \sim 1500 \times 10^4$ 的聚丙烯酰胺聚合物,聚合物溶液粘度为17~37mPa·s(表7)。

[0108] 表7用葡北地层水配制不同分子量聚合物的粘度对应表

[0109]

浓度 (mg/L)	200	400	600	800	1000	1200	1500
粘度 (mPa.s)	4.8	8.9	13.4	17.4	22.3	27.9	36.5

[0110] 根据驱油实验结果,油层渗透率越低,可注入的聚合物相对分子质量越低,聚合物驱效果越差(见表8)。

[0111] 表8 聚合物驱油实验结果

[0112]

序号	渗透率 ( $10^{-3}\mu\text{m}^2$ )	水驱采收率 (%)	最终采收率 (%)	提高采收率 (%)	聚合物分子量 ( $10^4$ )
1	364.3	59.26	67.38	8.12	1500
2	456.8	58.89	67.54	8.65	
3	327.0	61.29	68.85	7.56	
4	96.9	56.73	63.63	6.90	800
5	85.85	57.87	64.61	6.74	
6	46.9	44.25	48.62	4.37	550
7	51.96	48.44	52.96	4.52	
8	9.11	43.21	46.91	3.70	240
9	16.63	41.39	45.26	3.87	

[0113] 因此,在选择聚合物相对分子质量时,应尽可能选择高相对分子质量的聚合物,以便在其他条件相同的情况下取得更好的驱油效果,建议采用  $800 \sim 1500 \times 10^4$  分子量的聚合物(窄小砂体油田交联聚合物深度调剖可行性研究,大庆石油地质与开发,2002,21(6):55~57)。

[0114] ②聚合物浓度的确定

[0115] 根据物模驱油实验结果,注入液粘度与原油的粘度比在 3:1 以上驱油效果较好。试验区块地下原油粘度为  $6.9\text{mPa}\cdot\text{s}$ ,注入体系的地下工作粘度应在  $20.7\text{mPa}\cdot\text{s}$  以上。

[0116] 以往研究结果认为,聚合物溶液经过地面设备和注入井井底到达油层时的粘度将大约损失 52.6%,因此试验的注入井注入体系井口粘度要求达到  $30\text{mPa}\cdot\text{s}$  以上。

[0117] 考虑复配生物驱油剂注入过程中,油层阻力系数增大,注入能力下降的实际情况,在单井设计过程中,根据单井的实际需要确定单井的注入浓度。在具体注入过程中,要在保证前置聚合物体系粘度的条件下,根据实际的注入情况,适当调整聚合物浓度,保证注入井注入体系井口粘度要求达到  $30\text{mPa}\cdot\text{s}$  以上,注入压力在油层破裂压力以下为准,参见图 6 和图 7。

[0118] 综合各项指标,最终确定优选的聚合物为聚丙烯酰胺,分子量在 800-1500 万之间,浓度在  $600\sim 1200\text{mg/L}$  之间,配制的驱油体系黏度在  $15\sim 30\text{mPa}\cdot\text{s}$  之间。

[0119] (3) 段塞组合的优化

[0120] 对复配的生物驱油剂(1.0wt%, FJ-1 浓度 0.125wt%, RH:FJ-1 为 7:1)段塞和聚合物段塞注入方案进行了优化。实验结果(分别对表 9 中三种方案共进行了六次岩心驱油试验,试验中的采收率、含水与压力关系如图 8 中 A-F 所示,)表明,方案一[注入单纯生物驱油剂的一个段塞,1.0%复配生物驱油剂 0.5PV]提高采收率的幅度在 5.5%,而方案二[注聚合物与复配生物驱油剂混合的一个段塞,(1.0%复配生物驱油剂+0.1%聚合物)0.5PV]和方案三[依次注入聚合物、复配生物驱油剂、聚合物三个段塞,(0.1%聚合物)0.1PV+1.0%复配生物驱油剂 0.25PV+(0.1%聚合物)0.15PV]的效果均好于方案一,提高采收率的幅度分别在 8.3%和 9.0%,明显高出 2.8%和 3.5%,其中方案三(聚合物与复配生物驱油剂段塞分别交替注入)又比方案二(聚合物与生物驱油剂混注段塞)提高采收率 0.7%。

[0121] 表 9 生物驱油剂复合驱注入方式优化实验结果

[0122]

序号	段塞方式	含油饱和度 (%)	水驱采收率 (%OOIP)	生物驱 EOR (%OOIP)	总采收率 (%OOIP)	渗透率 ( $10^{-3}\mu\text{m}^2$ )
1	方案一	63.3	35.5	5.3	40.8	209
2	生物驱油剂体系	67.3	41.0	5.7	46.7	216

[0123]

3	方案二	53.5	40.9	8.7	48.7	144
4	聚合物与生物驱油剂混注	57.8	41.3	7.9	49.2	118
5	方案三	58.0	50.0	8.6	58.6	296
6	聚合物+生物驱油剂+聚合物	64.0	51.7	9.3	61.0	285

[0124] 试验四、复配生物驱油剂体系 (1wt%, FJ-1 浓度 0.125wt%, RH : FJ-1 为 7 : 1) 注入参数设计

[0125] (1) 复配生物驱油剂段塞大小的确定

[0126] 生物驱油剂驱试验区为 2 注 9 采井组, 井距为  $300\text{m} \times 300\text{m}$ , 含油面积  $0.72\text{km}^2$ , 平均单井射开砂岩厚度 11.0m, 射开有效厚度 9.05m, 地层平均孔隙度为 23%。经初步测算整个试验区的孔隙体积为  $140 \times 10^4\text{m}^3$ 。试验区两口注入井平均日注液量  $150\text{m}^3$ , 在不改变试验区原有的生产制度条件下, 现场复配生物驱油剂驱替液的浓度按 1% 配制, 不同方案的生物驱油剂段塞大小和药剂用量见表 10。

[0127] 表 10 试验区生物驱油剂段塞大小确定

[0128]

备选方案	段塞大小 (PV)	配液量 ( $\text{m}^3$ )	1%用量 (t)	注入周期 (d)
1	0.010	14000	140	93
2	0.015	21000	210	140
3	0.020	28000	280	187
4	0.030	52000	520	346
5	0.040	64000	640	427

[0129] 从上述 5 个方案中可以看出, 方案 1 的药剂用量太少, 难以保证试验效果, 而方案 4 和 5 的药剂不仅用量太大, 而且注入周期在 7 个月以上, 因此不做备选。只有方案 2 和 3 的药剂用量较适合, 通过对比后优选方案 2, 既能节省药剂成本, 缩短施工周期, 又能满足现场的应用效果。现场配制 200 吨的复配生物驱油剂, 需注入水  $20000\text{m}^3$ , 由此可确定生物驱油剂段塞的体积大小为  $2.0 \times 10^4\text{m}^3$ 。

## [0130] (2) 复配生物驱油剂驱油体系用量确定

[0131] 在确定生物驱油剂段塞大小的基础上,考虑到复配生物驱油剂驱油体系中还有其他辅助的化学药剂,包括化学表面活性剂、聚合物和一定比例的调剖剂,调剖剂具体为预交联体膨颗粒调剖剂(例如由大庆万通化工有限公司销售的型号 WT-1 的产品),聚合物与调剖剂按 1 : 4(重量比)的比例配制。结合两口注入井的配注情况,设计的用量见表 11。

## [0132] 表 11 试验区化学剂用量统计

[0133]

化学剂种类	有效含量 (%)	商品单价 (万元/吨)	有效用量 (吨)	商品用量 (吨)
聚合物	/	1.6	16	16
调剖剂	/	1.6	6	6
化学表面活性剂	50	1.6	16	16
生物表面活性剂	/	0.85	140	140
合计	/		178	178

[0134] 主剂:(生物表面活性剂,即鼠李糖脂发酵原液),用量 140 吨,配制浓度为 1%,段塞大小 10000m<sup>3</sup>。

[0135] 辅剂 1(聚合物):用量 16 吨,配液浓度 600-1000mg/L,分子量 1000-1500 万,配液黏度控制在 15-30mPa·s。

[0136] 辅剂 2(调剖剂):用量 6 吨,配液浓度 2000-4000mg/L,配液黏度控制在 15-25mPa·s,段塞大小 2000m<sup>3</sup>。

[0137] 辅剂 3(化学表面活性剂):用量 16 吨,配液浓度 2000mg/L,配液黏度控制在 15-25mPa·s,段塞大小 8000m<sup>3</sup>。

## [0138] (3) 复配生物驱油剂的注入方式

[0139] 参考室内实验结果,整个驱油过程设计为五个段塞,每个段塞所需的药剂组成、配比、用量及大小具体见表 12。

## [0140] 表 12 试验区化学剂段塞大小及配比

[0141]

段塞	药剂组成	段塞大小 (m <sup>3</sup> )	配比	用量 (t)
1	聚合物+调剖剂	1000	1: 4	0.8, 3
2	聚合物+鼠李糖脂发酵液	10000	1: 12	8, 100
3	聚合物+调剖剂	1000	1: 4	0.8, 3
4	聚合物+鼠李糖脂发酵液+化学表面活性剂	4000	1: 13: 2	3.2, 40, 8
5	聚合物+化学表面活性剂	4000	1: 2	3.2, 8
合计		20000		178

[0142] 在段塞注入方式上考虑了试验区的开采状况,以及地层水对生物驱油剂的稀释效

应和生物驱油剂在油层中的吸附损失。为提高生物驱油剂利用效率,添加了两个小的调堵段塞,通过调整水驱通道,改变液流方向,使生物驱油剂能波及范围更广的剩余油区域,达到进一步提高采收率的目的。采用上述不同的大小段塞组合及交替注入方式,能获得更高的驱油效果,实验结果,采收率提高在 5 个百分点以上。

[0143] (4) 复配生物驱油剂的效果预测

[0144] 根据室内物模驱油实验结果,在注入生物驱油剂段塞 0.4PV,注入浓度 1%的条件下,可提高采收率 6 个百分点。如按注入生物驱油剂段塞 0.015PV,注入浓度 1%的条件下计算,提高采收率应在 0.2 个百分点以上。因此,试验区采用生物驱油剂驱油,预计可增油 2000 吨以上。参照目前国际市场油价,按每吨增油 50 美元计,每吨增油的产值为  $50 \times 6.82 \times 7.35 = 2506$  元,则增油 2000 吨的产值为:  $2506 \times 2000 = 501.2$  万元。而此次现场试验的投入费用在 200 万元,则投入采出比达到 1 : 2.5。

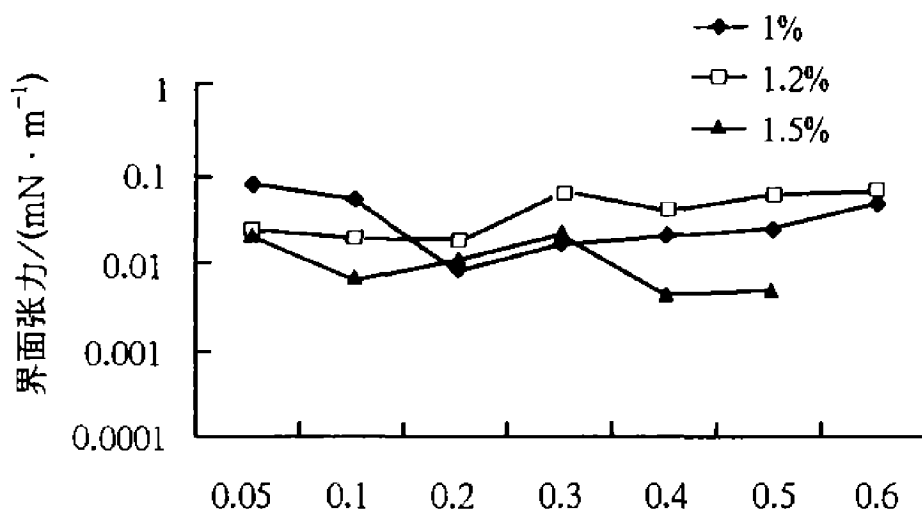


图 1

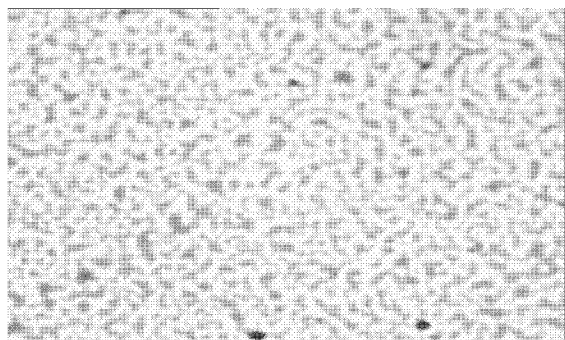


图 1A

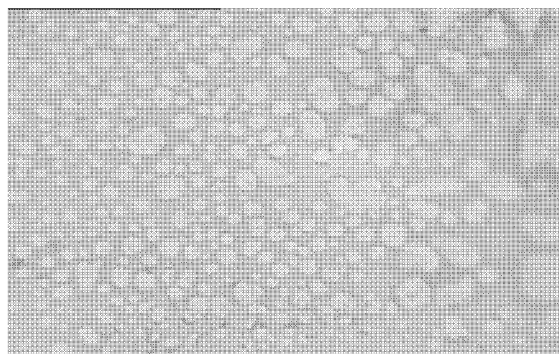


图 1B

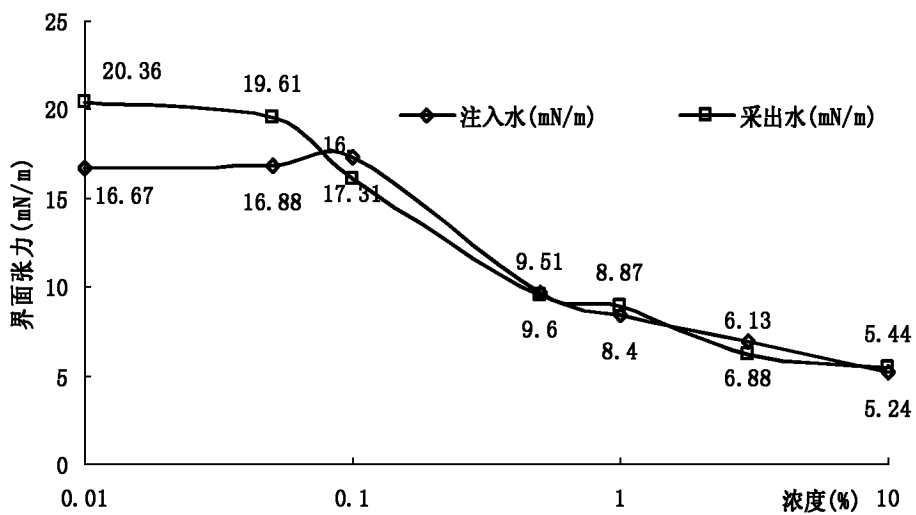


图 2

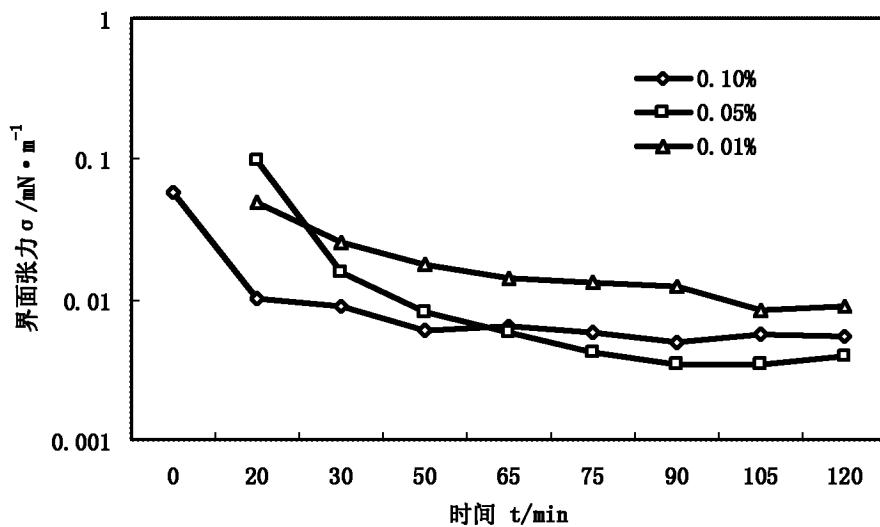


图 3

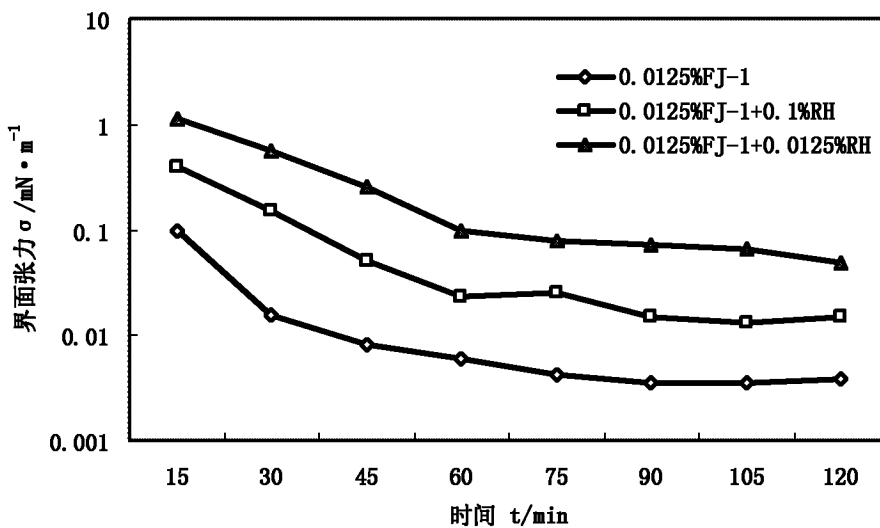


图 4

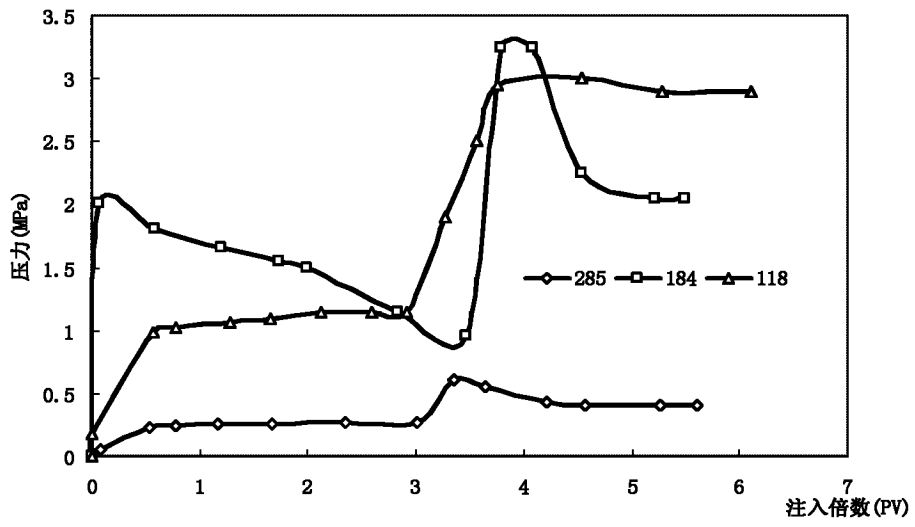


图 5

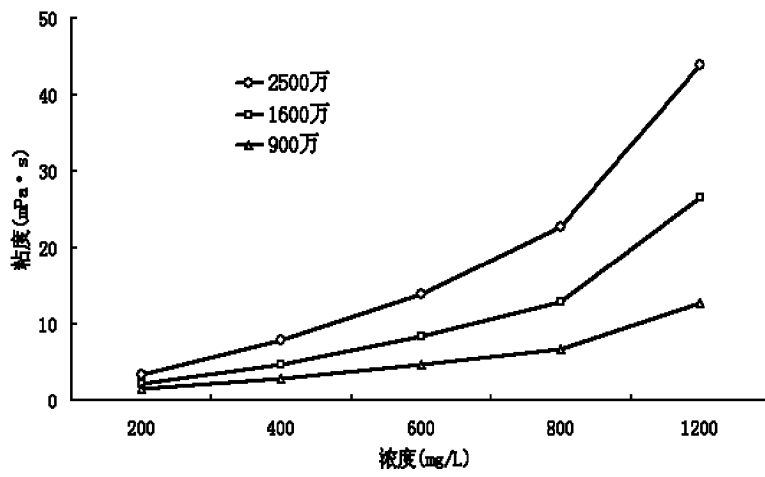


图 6

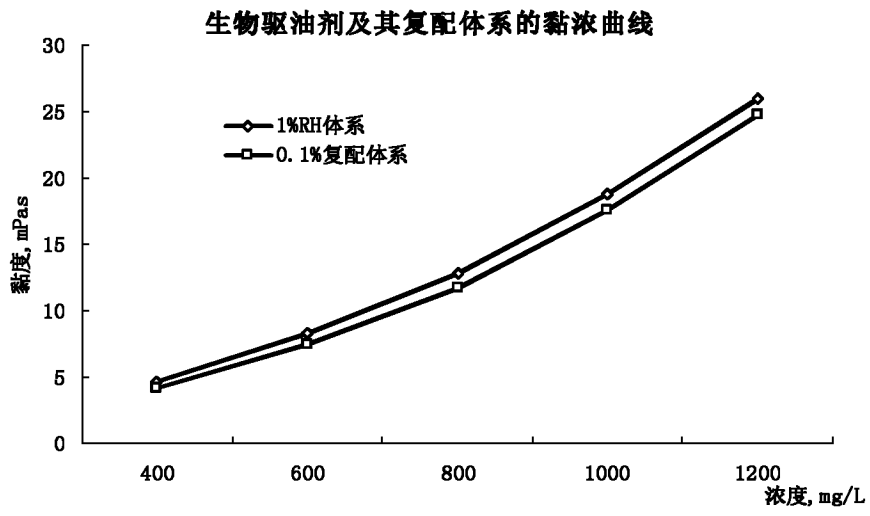
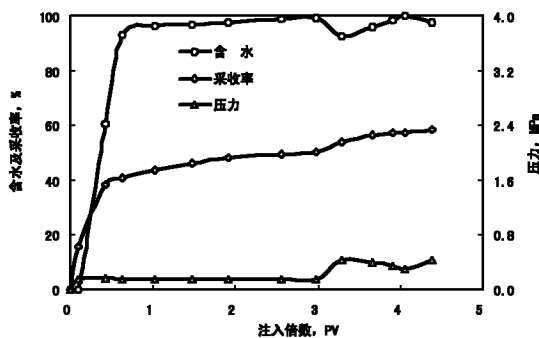
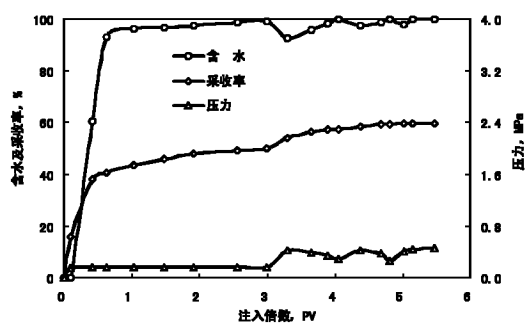


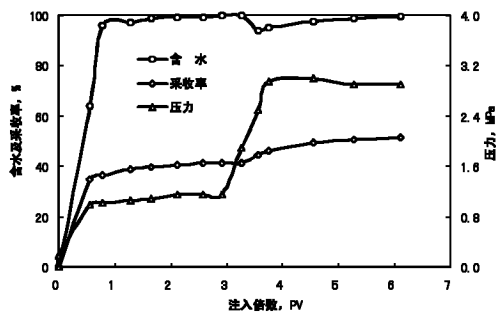
图 7



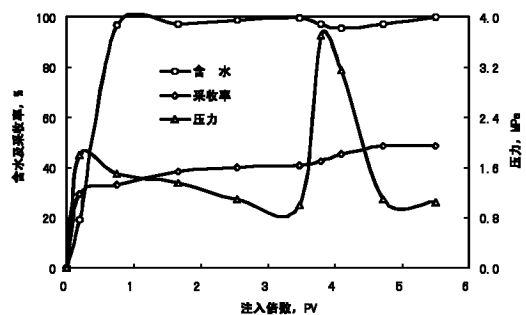
A 天然岩心 1-1 物模驱油实验



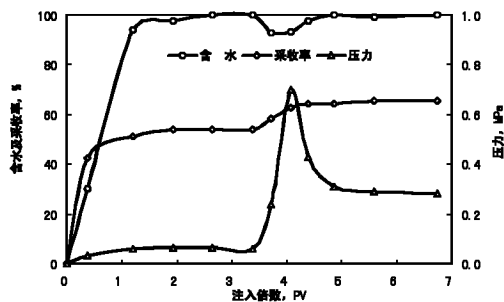
B 天然岩心 1-2 物模驱油实验



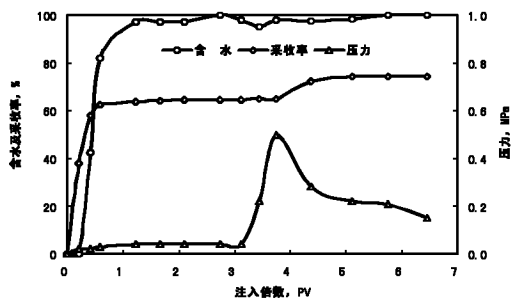
C 天然岩心 2-1 物模驱油实验



D 天然岩心 2-2 物模驱油实验



E 天然岩心 3-1 物模驱油实验



F 天然岩心 3-2 物模驱油实验

图 8