

文章编号: 0253-9985(2007)04-0520-03

低张力体系改善低渗透油藏水驱渗流特征实验

赖南君^{1,2}, 叶仲斌², 陈洪², 罗平亚²

(1. 西南石油大学 研究生院, 四川 成都 610500)

(2. 西南石油大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610500)

摘要: 低渗透油藏注水井吸水能力低, 注水压力逐渐升高, 注水开发效果差。以国内低渗透注水开发油田(T油田)为例, 研制了改善低渗透油藏注水开发效果的低张力体系。室内实验结果表明, 低张力体系能够有效地降低残余油饱和度, 增加油水两相共渗区间, 改善低渗透油藏水驱渗流特征, 从而改善低渗透油藏的注水开发效果。

关键词: 低张力体系; 注入压力; 相对渗透率; 渗流特征; 低渗透油藏

中图分类号: TE112.2 **文献标识码:** A

Experiment of low-tension system for improving percolation behaviors in waterflooding low-permeability reservoirs

Lai Nanjun^{1,2}, Ye Zhongbin², Chen Hong², Luo Pingya²

(1. Graduate School of Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500 2. State Key Lab of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500)

Abstract Waterflooding performs poorly in low-permeability reservoirs due to their low absorbing capacity and gradually increasing injection pressure. This paper takes T oilfield, a low-permeability oilfield under waterflood development program, as an example to illustrate the development of a Low-Tension System for improving waterflooding effectiveness in low-permeability reservoirs. Lab experimental result shows that the system can effectively reduce residual oil saturation, increase oil/water two-phase common seepage intervals, improve percolation behaviors and thus enhance waterflooding efficiency in low-permeability reservoirs.

Key words low-tension system; injection pressure; relative permeability; percolation behavior; low-permeability reservoir

低渗透油藏储层物性差, 孔隙结构复杂, 孔隙度低, 渗透率低, 非均质性强, 原始含水饱和度高, 含油饱和度低; 它的注水井吸水能力低, 注水压力逐渐升高, 甚至注不进水^[1,2]。国内油田多在注入水中加入化学体系来改善低渗透油藏的注水开发效果, 如粘土稳定剂等, 但是这些化学体系性能都比较单一, 往往达不到满意的效果^[3~6]。

以国内某低渗透注水开发油田(T油田)为例, 研制了低张力体系, 加入注入水中改善低渗透油藏水驱效果。

1 低张力体系

低张力体系(RSE)是由季铵盐型阳离子双子表面活性剂与普通表面活性剂 OP-10 复配而成的。季铵盐型阳离子双子表面活性剂具有很低的临界胶束浓度值(CMC)和很高的界面活性^[7~9], 研究表明^[10,11], 季铵盐型阳离子双子表面活性剂与 OP-10 具有良好的协同效应。T 油田地层温度变化较大(50~80℃), 低张力体系能够在较宽

收稿日期: 2007-06-08

第一作者简介: 赖南君(1979-), 男, 博士研究生, 油气田开发工程

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(G1999022502)

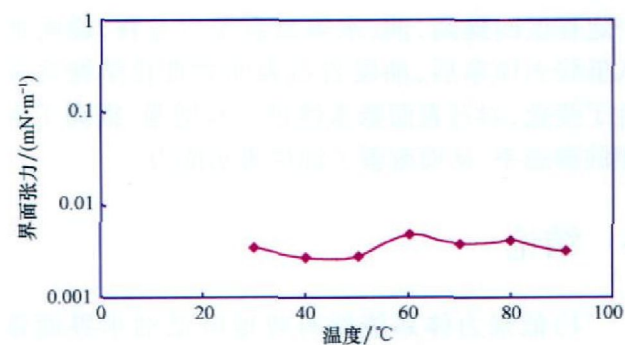


图 1 T 油田原油油水界面张力随温度变化曲线
Fig. 1 Crude interfacial tension vs temperature in T oilfield

的温度范围内将 T 油田的原油油水界面张力降低至 10^{-3} mN/m 数量级 (图 1)。

2 实验

室内实验使用的地层水是 T 油田的模拟地层水 (表 1), 实验流程见图 2 实验步骤如下。

1) 将已抽提、洗净、烘干、表面经平整的岩心在空气中称重, 然后在真空下饱和地层水, 在空气中称出饱和地层水后的岩样重量, 计算岩心孔隙体积。

$$V_p = (W_2 - W_1) / \rho \tag{1}$$

式中: V_p 为岩心孔隙体积, cm^3 ; W_1 为已抽提、洗净、烘干、表面经平整后岩心在空气中重量, g; W_2 为饱和地层水后岩心的重量, g; ρ 为地层水的密度, g/cm^3 。

2) 将地层水以一定泵速注入岩心, 记录驱替不同孔隙体积倍数的驱替压力, 直至驱替压力稳定, 记录压力, 求出基质渗透率 (K)。

3) 油驱水测油相渗透率 (K_o), 在驱替过程中, 由低到高调节流速, 直至达到束缚水状态, 再改为与上一步同样流速进行驱替, 记录驱替不同孔隙体积倍数的驱替压力, 油驱至驱替压力稳定, 记录压力, 求出水的相对渗透率 (K_{rw})。

4) 水驱, 记录驱替不同时间的驱替压力, 水驱至驱替压力稳定, 记录压力, 求出油的相对渗透率 (K_{ro})。

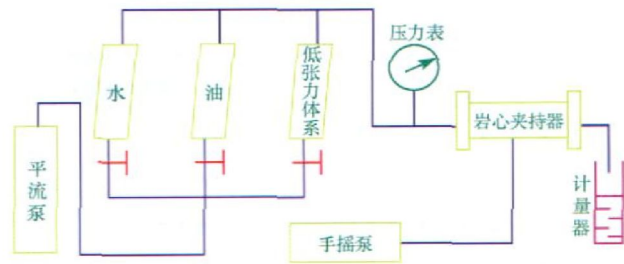


图 2 实验流程
Fig. 2 Flow chart of experiment

- 5) 注入低张力体系, 注入后停注一段时间。
6) 油驱, 记录驱替不同孔隙体积倍数的驱替压力, 水驱至驱替压力稳定, 记录压力, 求出水的相对渗透率 (K_{rw})。
7) 重复步骤 4, 求出油的相对渗透率 (K_{ro})。

3 结果与分析

取 T 油田的岩心进行实验分析。该岩心编号为 T11Q 长度为 4.1 cm, 直径为 2.5 cm, 孔隙体积为 2.16 mL 渗透率为 4.55×10^{-3} μm^2 。先进行注入低张力体系前后压力变化实验, 其中注入排量为 2 mL/h 由图 3 可得到如下实验结果。

1) 在注入低张力体系前的水驱油过程中, 入口端压力随着注入水量的增加而有较大的增加; 当注入量约为 2 倍岩心孔隙体积时, 到达一个最大压力, 其后才开始缓慢下降。

2) 注入低张力体系之后, 入口端压力只有微弱的上升, 无大的波动; 当注入量约为 1 倍岩心孔隙体积时, 注入压力曲线即很平稳, 入口端压力相对于注入低张力体系以前有较大程度的降低, 尤其是最大注入压力相比要低很多。

这主要是因为在水驱油过程中, 随着孔隙介质中含油饱和度降低, 连续油柱常被卡断, 产生大量分散油珠, 此时贾敏效应大大增加了水驱油所需的压力, 因而造成注入低张力体系前压力变化曲线出现峰值, 只有当入口端压力大到足够克服贾敏效应, 使油珠变形通过喉道后, 注入压力才会逐渐降低。注入低张力体系以后, 由于其降低

表 1 T 油田地层水分析数据

Table 1 Datasheet of formation water analysis in T oilfield

pH 值	离子含量 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)						总矿化度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	水型
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-		
6	20 685	9 103	782	49 776	504	183	81 000	CaCl_2

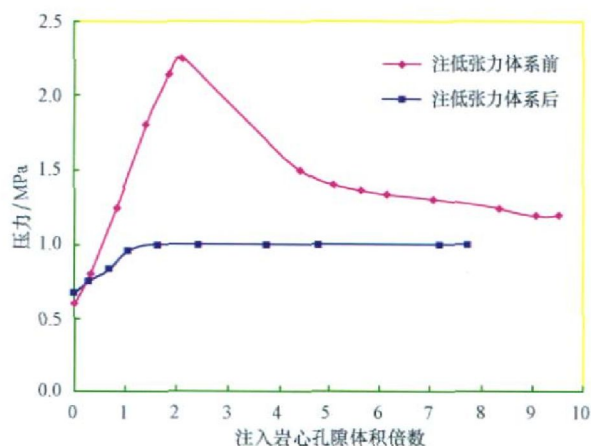


图 3 注入低张力体系前后压力变化曲线

Fig. 3 Pressure curves before and after injecting low-tension system

油水界面张力,使残余油膜、油珠易于变形,削弱了贾敏效应;同时对岩心中粘土起到了稳定作用,防止其膨胀和运移。因而,注入低张力体系后的入口端压力只在开始时有一点升高,随后一直保持平稳,这意味着其能够有效地改善低渗透油层中流体的渗流特性,使近井地带的原油流动畅通。

图 4 是根据实验结果作出的两条迭加的油水相对渗透率曲线,一条是原油与注入水的相对渗透率曲线,另一条为原油与加低张力体系注入水的相对渗透率曲线。实验结果表明:1)向注入水中加入低张力体系,可以有效地降低残余油饱和度,增加油水两相共渗区间,而油水两相共渗区间越大,水驱采收率越高;2)水相相对渗透率有了

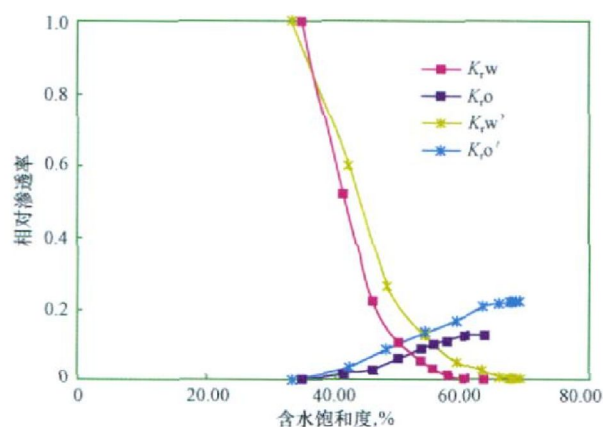


图 4 油水相对渗透率曲线

Fig. 4 Curves of relative oil/water permeability

一定程度的提高,油、水等渗点发生右移,说明加入低张力体系后,油层岩石表面物理化学性质发生了变化,岩石表面亲水性进一步增强,提高了水相的渗透率,从而改善了油层吸水能力。

4 结论

1)低张力体系能够有效地降低油水界面张力,使残余油膜、油珠易于变形,减小贾敏效应,降低注入压力。

2)低张力体系能够有效地改善低渗透油层渗流特征,使近井地带的原油流动畅通。

3)向注入水中加入低张力体系可以有效地降低残余油饱和度,增加油水两相共渗区间,从而改善低渗透油藏的注水开发效果。

参 考 文 献

- 1 李道品. 低渗透砂岩油田开发 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 39~ 45
- 2 何更生. 油层物理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 164~ 250
- 3 朱玉双, 李庆印, 王小孟. 马岭油田北三区延 10 油层注水开发中储层伤害研究 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 263~ 268
- 4 王步娥, 郑惠光. 改善稠油渗流变性的试验 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 370~ 373
- 5 李红南, 徐怀民, 许宁, 等. 低渗透储层非均质模式与剩余油分布——以辽河西部凹陷齐 9- 欢 50 区块杜家台油层为例 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 404~ 408
- 6 尹志军, 鲁国永, 邹翔. 陆相储层非均质性及其对油藏采收率的影响——以冀东高尚堡和胜利永安镇油藏为例 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 106~ 110
- 7 陈大钧. 油气田应用化学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2006. 333~ 340
- 8 赵剑曦. 新一代表面活性剂: Geminis [J]. 化学进展, 1999, 11(4): 348~ 357
- 9 Benraou Z M. A lkanedily-alpha-omega-bis(dimethylalkyl ammonium bromide) surfactants effect of the spacer chain length on the critical micelle concentration and micelle ionization degree [J]. Language 1991(7): 1 072~ 1 781
- 10 杨建军. 阳离子双子表面活性剂在三次采油领域的应用基础研究 [D]. 四川成都: 西南石油学院, 2005. 44~ 64
- 11 陈洪. 油气开采用表面活性剂的合成及性能研究 [D]. 四川成都: 西南石油学院, 2004. 65~ 78

(编辑 董立)