

# 三元复合驱采出污水回注渗透率的影响因素分析

袁 敏<sup>1,2</sup>, 贾忠伟<sup>2</sup>, 邵先权<sup>3</sup>, 张晓雷<sup>2</sup>, 石京平<sup>2</sup>

(1. 大庆石油学院 石油工程学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油天然气集团公司大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712; 3. 中国石油天然气集团公司大庆油田有限责任公司 第二采油厂, 黑龙江 大庆 163414)

**摘要:** 基于大庆油田三元复合驱采出污水回注对地层存在的损害现象, 研究了污水回注渗透率的影响因素。采用室内水驱实验方法, 对三元复合驱采出污水中悬浮物、油、碱、聚合物等因素进行了分析, 阐述了各种成分对渗透率的影响机理。结果表明, 悬浮物颗粒会堵塞孔隙喉道, 油产生的“贾敏效应”将增大油水流动阻力, 碱与岩石及黏土矿物间的物理化学作用会使地层结垢, 聚合物在岩芯中的吸附和滞留共同造成地层渗透率的下降。因此, 建议将三元复合驱采出污水中悬浮物、油、碱、聚合物等处理合格后再进行回注, 以减轻对地层的损害。

**关键词:** 三元复合驱; 碱; 悬浮物; 聚合物; 污水回注; 地层损害

**中图分类号:** P641.25 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)01-0089-04

## Influence Factors Analysis of Permeability of Produced Waste Water Reinjection in Alkali-surfactant-polymer Flooding

YUAN Min<sup>1,2</sup>, JIA Zhong-wei<sup>2</sup>, SHAO Xian-quan<sup>3</sup>, ZHANG Xiao-lei<sup>2</sup>, SHI Jing-ping<sup>2</sup>

(1. School of Petroleum Engineering, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318 Heilongjiang, China;

2. Institute of Exploration and Development, Daqing Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Daqing 163712, Heilongjiang, China; 3. The Second Oil Production Factory, Daqing Oilfield Company,

China National Petroleum Corporation, Daqing 163414, Heilongjiang, China)

**Abstract** Based on the formation damage caused by produced waste water reinjection in Alkali-surfactant-polymer (ASP) flooding of Daqing oilfield, influence factors of permeability of produced waste water reinjection are studied. The influence factors of suspended matter, oil, alkali, polymer, and so on in produced waste water reinjection were analyzed, the damage mechanism of the factors on formation is explained. The result shows that suspended matter plugs pore constriction; “Jamin effect” caused by oil increases oil and water flowing resistance; the physical chemistry reaction among alkali, stone and clay mineral make scale formation; adsorption and retention of polymer in the core decreases the permeability of reservoir. Therefore, suspended matter, oil, alkali, polymer, and so on in produced waste water reinjection should be treated before reinjection in order to reduce the formation damage.

**Key words:** ASP flooding; alkali; suspended matter; polymer; waste water reinjection; formation damage

## 0 引言

大庆油田持续稳产的主力储备技术——三元复合驱技术应用的规模不断扩大, 现已进入工业化推广阶段。随着推广区块的不断增加, 三元复合驱

采出污水处理和利用问题就显得格外突出。将三元复合驱采出污水回注地层, 既节约水资源和补充地层能量, 又能保护环境<sup>[1-3]</sup>。三元复合驱采出污水水质决定了对地层的伤害程度, 因此有必要将三元复合驱采出污水回注渗透率的影响因素进行分

收稿日期: 2009-04-10

基金项目: 国家科技重大专项项目(2008ZX05000-042)

作者简介: 袁 敏(1973-), 女, 辽宁辽中人, 高级工程师, 从事油层物理实验研究。E-mail: yuanm@petrochina.com.cn

析和评价。

## 1 实验条件及方法

模拟地层水依据大庆油田地层水资料配制而成,矿化度 6 770 mg/L,用于测定岩芯基准渗透率( $k_1$ )。实验用注入水则将三元污水根据实验需要通过处理、配制而成,用于测定不同条件下注入水渗透率( $k_2$ )。岩芯采用大庆油田天然岩芯样品,实验过程中采用恒速法驱替。实验流程见图 1。

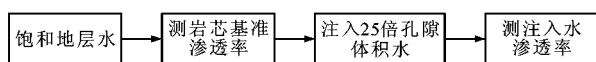


图 1 实验流程

Fig. 1 Experimental Procedure

渗透率下降程度( $C$ )的计算公式为

$$C = (1 - k_2/k_1) \times 100\%$$

当渗透率下降程度大于等于 30% 时,可以认为注入水对地层伤害严重,不能注入地层。

## 2 污水回注渗透率的影响因素

三元复合驱采出污水回注有必要考虑注入水

中悬浮物、油、聚合物、碱等 4 种成分。

### 2.1 悬浮物对渗透率的影响

注入水中悬浮物的存在是影响三元复合驱采出污水回注的一个重要因素,悬浮物主要从两个方面对岩芯渗透率产生影响:①悬浮物的粒径与岩芯孔隙半径的匹配关系;②悬浮物的含量与岩芯渗透率大小对应关系。控制好这两个关系能有效防止“桥堵”现象。图 2 是在微观仿真模型上进行的悬浮物堵塞孔隙喉道的过程。

#### 2.1.1 悬浮物粒径对渗透率的影响

理论分析与实验结果表明,悬浮物粒径中值与孔隙喉道半径间的匹配关系是影响三元复合驱采出污水回注的重要因素<sup>[4-5]</sup>。通常认为,悬浮物粒径中值超过孔隙中值的 1/3 时,就会对孔隙造成堵塞。通过不同渗透率天然岩芯流动实验,确定三元复合驱采出污水流过岩芯而不发生堵塞的最大悬浮物粒径。实验注入水将取自 217 三元污水处理试验站的三元复合驱采出污水用 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤后,加入不同粒径的标准粒子配制而成。由实验结果可以看出,随着岩芯渗透率的增大,能够通过岩芯孔隙的三

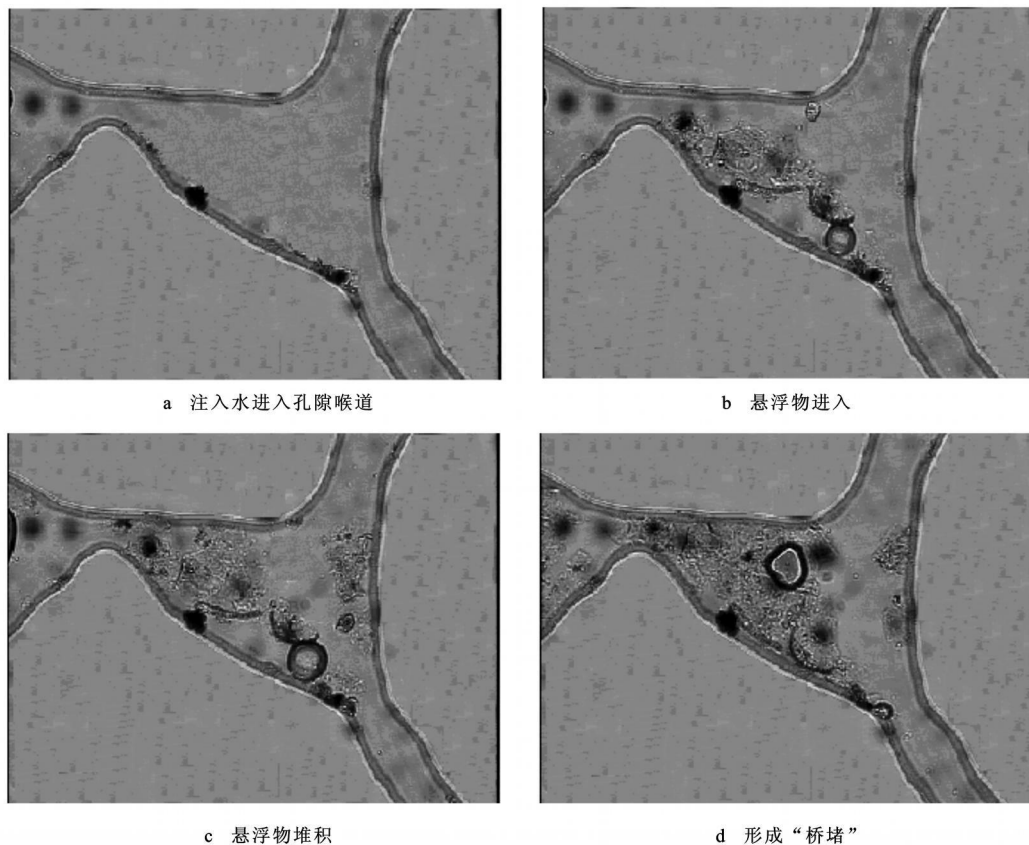


图 2 悬浮物在油层孔隙内造成堵塞的过程

Fig. 2 Process of Suspenders Particles Block in Reservoir Core

元复合驱采出污水悬浮物粒径也增加(图 3)。

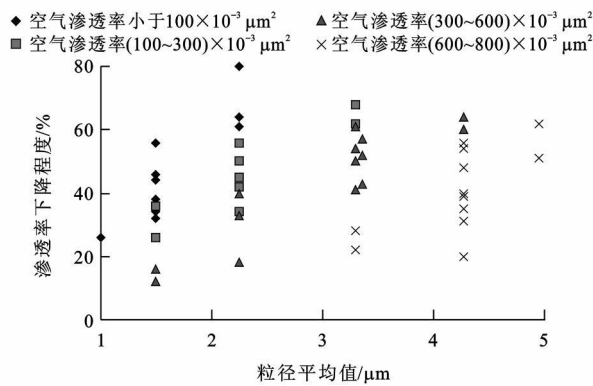


图 3 悬浮物粒径与渗透率下降程度的关系

Fig. 3 Relationship of Suspender Particles Diameter to Permeability Descending Ratio

2.1.2 悬浮物质量浓度对渗透率的影响

在三元复合驱采出污水回注过程中,除了悬浮物粒径要达到标准外,还要严格控制悬浮物质量浓度。尤其对低渗透油藏,悬浮物对地层的堵塞与含量密切相关<sup>[6-7]</sup>,堵塞程度随悬浮物质量浓度的增大而增加。悬浮物质量浓度增大造成岩芯渗透率大幅度下降,使注水压力上升。在室内注水伤害实验中,将 217 三元污水处理试验站污水经 0.45 μm 滤膜过滤后,加入由不同质量浓度标准粒子配制成的注入水,驱替 25 倍孔隙体积得到的悬浮物质量浓度与渗透率下降程度之间的关系(图 4),说明注入水中悬浮物质量浓度超标<sup>[4]</sup>,对油层损害比较严重。因此应针对各个不同渗透率的油层,按照其悬浮物质量浓度在三元复合驱采出污水回注时进行严格控制。

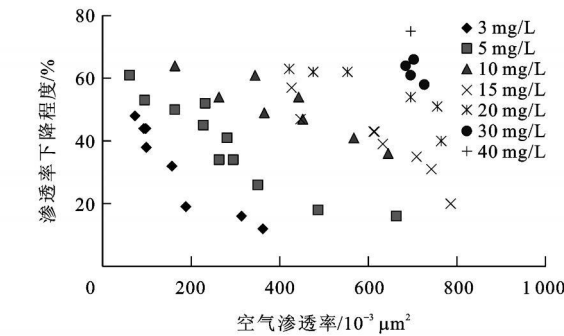


图 4 悬浮物质量浓度与渗透率下降程度的关系

Fig. 4 Relationship of Suspended Matter Content to Permeability Descending Ratio

2.2 含油量对渗透率的影响

三元复合驱采出污水中的含油量也会对渗透率产生影响<sup>[8-10]</sup>,油滴在通过小喉道时要经过变形,

产生的“贾敏”效应会增大油水流动的阻力,使地层吸水能力变差。同时,注入水中的油滴也会与悬浮物、聚合物、表面活性剂相融合,堵塞地层孔隙。所以在进行三元复合驱采出污水回注时,也要控制注入水中的含油量。在室内注水伤害实验中,把 217 三元污水处理试验站污水经 0.45 μm 滤膜过滤后加入不同含量的油进行岩芯伤害评价实验(图 5)。实验结果表明,随着含油量的增加污水渗透率下降程度也增大。

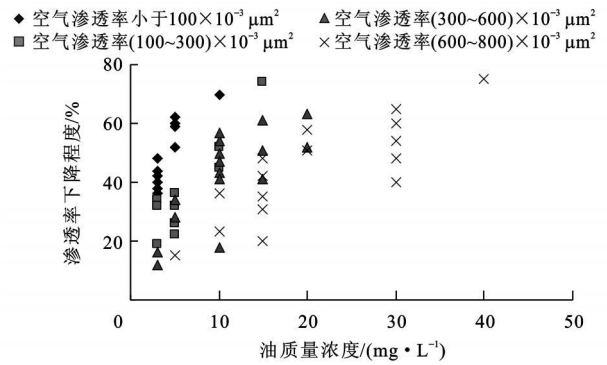


图 5 油质量浓度与渗透率下降程度的关系

Fig. 5 Relationship of Oil Content to Permeability Descending Ratio

2.3 聚合物质量浓度对渗透率的影响

聚合物对三元复合驱采出污水回注的影响主要是由于聚合物在孔隙内的吸附和滞留及聚合物溶液运动引起的颗粒运移造成的<sup>[11]</sup>。根据现场聚合物驱采出污水的情况,选用了聚合物质量浓度分别为 90.5、209.3、416.1 mg/L 的含聚合物污水进行聚合物质量浓度的评价实验。对于每种聚合物质量浓度,注入后,其渗透率下降程度都比较大(20%~60%),平均为 40%(图 6)。而渗透率下降程度与聚合物质量浓度没有明显的对应关系。只是总体上渗透率下降的速度随着聚合物质量浓度增大和岩芯空

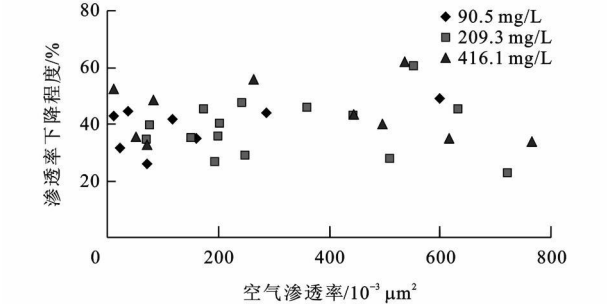


图 6 聚合物质量浓度与渗透率下降程度的关系

Fig. 6 Relationship of HPAM to Permeability Descending Ratio

气渗透率的减小而提高。含聚合物污水注入后岩芯渗透率下降幅度与聚合物在岩芯内的吸附、滞留密切相关<sup>[12]</sup>, 而聚合物在岩芯内的吸附、滞留与岩芯的孔隙结构、黏土类型、黏土含量以及聚合物的水解度、相对分子质量、水的矿化度等多种因素有关<sup>[13]</sup>, 因此含聚合物污水注入后, 聚合物对渗透率下降的影响是多种因素共同作用的结果。

#### 2.4 碱对渗透率的影响

根据现场配制三元体系溶液的配方, 采取大庆地区地层水加入 1.2%NaOH 配制的碱溶液, 进行单因素的评价实验。含碱地层水注入岩芯后, 经过地层温度(45℃)浸泡 15 d 做渗透率下降程度的对比。从实验结果可以看出, 碱水浸泡后, 岩芯渗透率下降幅度为 18%~50%, 平均为 38% (表 1)。碱同

表 1 碱对地层伤害实验结果

Tab. 1 Laboratory Result of Damage of Alkali to Reservoir

序号	岩芯号	空气渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	地层水渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	碱水渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	后续地层水渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	渗透率下降程度/%
1	317-1	84.41	33.74	28.68	18.31	45.7
2	187-1	120.33	42.86	29.30	21.16	50.7
3	604-2	510.78	224.00	224.00	146.03	35.9
4	187-10	834.66	220.00	220.00	181.08	18.7

### 3 结语

(1)三元复合驱采出污水回注渗透率的主要影响因素有悬浮物、含油、碱和聚合物等, 大庆油田三元复合驱采出污水在悬浮物等主要指标达不到现有注水指标。

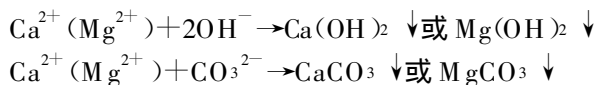
(2)悬浮物对地层产生的损害主要表现在粒径和质量浓度上, 随着岩芯渗透率的增大, 能够通过孔隙喉道的悬浮物粒径和质量浓度也增加; 含油产生的“贾敏效应”使油水流动阻力增大, 碱与岩石及黏土矿物之间结垢, 聚合物在岩芯内的吸附和滞留共同造成油层吸水能力下降。

(3)进行三元复合驱采出污水回注时, 应将各项污水指标处理合格或与普通污水混注, 以减轻对岩芯渗透率的影响。

#### 参考文献:

- [1] 高云文, 曹海东, 常 铮, 等. 陕北油气田开发中水资源综合利用[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(4): 75-78.
- [2] 姜 亭, 魏仙样, 杭 健, 等. 延长油田郑庄区长 6 油层组小层对比划分在注水开发中的应用[J]. 西北地质, 2007, 40(3): 85-91.
- [3] 金拴联, 蒋远征, 杨秋莲, 等. 安塞油田注水开发技术研究

岩石间的相互作用首先是与二价阳离子反应形成水不溶物, 即  $\text{Na}^+$  同  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  交换反应产生的沉淀物会对岩石孔隙产生堵塞, 使黏土膨胀造成渗透率降低。其次, 碱同岩石及地层水中多价离子反应, 在适当的压力、温度、离子构成及 pH 值条件下, 这些反应物会从溶液中沉淀而形成垢沉积在岩石孔隙中, 对地层造成伤害。碱与黏土矿物和岩石骨架作用, 形成一定数量的钙垢、硅酸盐垢、铝酸盐垢等, 在孔喉处形成堵塞, 导致渗透率下降<sup>[10]</sup>。通过岩芯静态浸泡实验(1.2%NaOH), 溶解出的硅、铝离子浓度逐渐增大, 说明碱对岩石及黏土具有溶解能力。



[J]. 西北地质, 2008, 41(1): 115-120.

- [4] 贾忠伟, 杨清彦. 大庆油田含聚合物污水回注指标修订实验研究[R]. 黑龙江大庆: 中国石油天然气集团公司大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 2004.
- [5] 夏惠芬, 张新春, 马文国, 等. 超低界面张力的二元驱油体系对水驱残余油启动和运移机理[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(6): 55-58.
- [6] 王洪涛, 罗 剑, 李雨松, 等. 石油污染物在土壤中运移的数值模拟初探[J]. 环境科学学报, 2000, 20(6): 755-760.
- [7] 杜春安, 蒋 焱, 耿雪丽, 等. 生化/NF 技术处理低渗透油田回注水研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2009, 24(2): 78-80.
- [8] 尹先清, 周兰芳, 曾玉彬, 等. 炼油厂废水处理回注的研究[J]. 工业水处理, 1998, 18(2): 22-24.
- [9] 彭 志, 李凡磊, 赵绍伟. 江苏油田含油污水处理新工艺新技术[J]. 油田化学, 2008, 25(1): 23-26.
- [10] 高慧梅, 姜汉桥, 陈民锋. 储层孔隙结构对油水两相相对渗透率影响微观模拟研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(2): 56-59.
- [11] 王永清, 李海涛, 蒋健勋. 油田注入水水质调控决策方法研究[J]. 石油学报, 2003, 24(3): 68-73.
- [12] 李玉善, 刘宝库, 刘伟平, 等. 华孚含聚污水化学处理技术在孤岛六联合站的应用[J]. 油田化学, 2008, 25(1): 27-29.
- [13] 官文超, 贾忠伟. 三元复合驱对地层伤害及防治研究[R]. 黑龙江大庆: 中国石油天然气集团公司大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 2001.