

吉林油田低渗透油藏注入水水质实验研究

程静波^{1,2} 孙玉学¹ 刘军²

(大庆石油学院¹, 大庆 163318; 吉林油田勘探开发研究院², 松原 138000)

摘要 吉林油田低渗透油藏 95% 以上采用注水开发的方式, 而注入水大多是污水回注, 因此, 有必要对其水质情况进行研究, 改善水质, 从而提高油层采收率。以吉林油田八面台油田方 44、方 68 两个区块储层为研究对象, 从目前注入水水质现状分析入手, 对注入水与地层水的配伍性、注入水与地层的敏感性、注入水水质对储层的影响等进行研究, 内、外因相结合, 综合分析注水伤害情况, 给出水质改善建议。

关键词 注入水 水质 配伍性 敏感性 注水伤害

中图法分类号 TE357.61; **文献标志码** B

吉林油区已探明地质储量低渗透油藏占绝大多数, 这些低渗透油藏天然能量不足, 需要注水补充能量开发。近几来, 吉林油区低渗透油藏出现了注水井注入压力高或压力上升快, 导致注水井欠注严重或注不进水, 由于欠注, 地下能量损失严重, 导致递减加大, 降产快, 这就使得以注入水水质研究为主导的储层保护技术研究显得越来越重要。

1 注入水水质现状

依据行业标准《碎屑岩油藏注水水质推荐指标 SY/T-5329-94》, 对八面台油田现场注入水水质进行检测分析, 结果表明: 注水水质指标超标严重^[1]。悬浮物、含油量、Fe 含量、侵蚀 CO₂、溶解氧、硫酸盐还原菌、硫化物等都严重超标。总铁超标率为 77.42%; 硫化物超标率 83.87%; 溶解氧超标率 90.48%; 硫酸盐还原菌超标率 77.42%; 腐生菌超标率为 16.13%; 侵蚀二氧化碳超标率为 71.00%; 含油量超标率为 73.33%; 铁细菌不超标。最为突出的是悬浮物的超标率高达 100%, 水质损害给生产带来了极大的影响。

2009 年 8 月 11 日收到

第一作者简介: 程静波(1976—), 女, 工程师, 硕士研究生, 研究方向: 石油地质开发。

2 注入水与地层水的配伍性

2.1 注入水与地层水配伍性实验

在注入开发油田中, 当注入水和不配伍的地层水相遇时, 使原有的地层水和储层矿石之间的离子化学平衡被破坏, 岩石和混合水之间, 注入水和地层水之间随注入水不断介入将逐渐建立一个新的化学平衡。在打破旧的平衡建立新的平衡过程中, 只要流体中遇到两种以上不配伍的水存在或在流动过程中随压力和温度或流体的化学组分不平衡, 都存在结垢的可能, 不可避免的造成对储层的一定损害。在导致严重水敏的同时, 在注水速度过快时, 还将产生严重的速敏伤害, 低渗、特低渗的水敏更为严重。注入水与地层水的不相容性, 产生结垢是存在的, 前苏联学者指出, 当注入水与地层水混合, 混合物的化学成分符合 $Y = Ax + B$ 型直线方程, 如果曲线呈直线, 表示两种水相容, 若背离直线关系, 则表示不相容, 有生成沉淀的可能。

应用离子含量法, 对英台油田方 44、方 68 区块的注入水与地层水进行配伍性实验。将现场取回的注入水与地层水按 1:9、2:8、3:7、4:6 配比, 模拟油层温度完成实验, 实验结果表明(图 1、图 2), 方 44、方 68 区块的线性都很差, 说明两种水不相容, 可能有碳酸钙、碳酸镁、硫酸钙等沉淀生成。

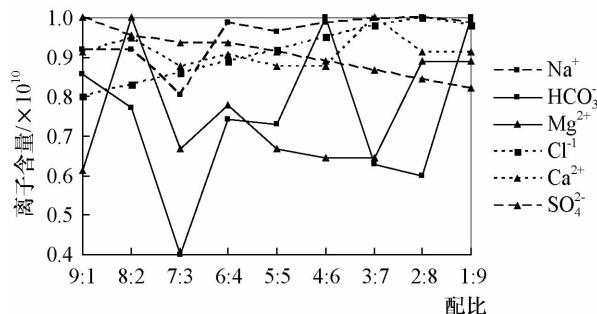


图1 方44区块离子含量图

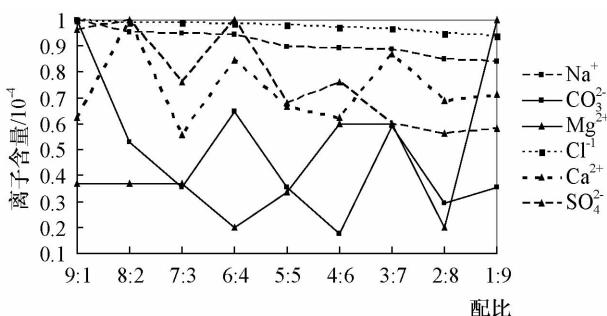


图2 方68区块离子含量图

2.2 注入水与地层水配伍性理论预测

2.2.1 浓度积与溶度积比较法

应用浓度积与溶度积比较法对英台油田方44、方68区块进行配伍性理论预测,初步计算确定其可混性。计算方44—8注入水和方44采出水各种离子的浓度积,并与各种化合物的溶度积进行比较(表1、表2),比较结果看出,注入水与地层水混合,可能有 CaCO_3 、 CaSO_4 、 MgCO_3 沉淀生成。

表1 方44—8和方44配伍预测表

	浓度积	溶度积	配伍性	
			预测结果	实验结果
CaCO_3	1.20×10^{-4}	4.8×10^{-10}	CaCO_3	CaCO_3
CaSO_4	1.22×10^{-5}	6.1×10^{-5}	无	无
FeS	7.55×10^{-8}	4.0×10^{-19}	—	—
MgCO_3	4.13×10^{-5}	1.0×10^{-5}	MgCO_3	MgCO_3

表2 方东2—10和方东4—8配伍预测表

	浓度积	溶度积	配伍性	
			预测结果	实验结果
CaCO_3	9.53×10^{-5}	4.8×10^{-10}	CaCO_3	CaCO_3
CaSO_4	8.10×10^{-5}	6.1×10^{-5}	CaSO_4	CaSO_4
FeS	9.03×10^{-8}	4.0×10^{-19}	—	—
MgCO_3	5.49×10^{-5}	1.0×10^{-5}	MgCO_3	MgCO_3

2.2.2 饱合指数法

Stiff 和 Davis 于 1952 年提出的饱合指数法是预测油田水中 CaCO_3 结垢趋势较成功的方法之一,它是一个经验方程式,其主要内容如下: $SI = \text{PH} - \text{PHS}$; $\text{PHS} = K + \text{PCa} + \text{PALK}$; $SI = \text{PH} - K - \text{PCa} - \text{PALK}$, 其中 SI : 结垢指数, 若 $SI < 0$, CaCO_3 未饱合, 不结垢。若 $SI > 0$ 可能结垢。 PH : 系统中实际 PH 值。 PHS : 系统中的 CaCO_3 达饱合时 PH 值。 K : 常数, 为含盐量, 组成和水温度的函数, 可由离子强度与水温度的关系曲线查到, PCa : Ca^{2+} 浓度负对数, 单位为 mol/L ; PALK : 总碱度负对数, 单位为当量/升, 离子强度 $u = 1/2(C_1Z_{12} + C_2Z_{22} + \dots + C_nZ_{n2})$ 式中 C : 离子浓度。据此计算的方44区块 $SI = 1.7$, 方68区块 $SI = 2.2$, 说明有碳酸钙垢生成。

通过配伍性实验和垢物预测技术证实八面台油田注入水水化学离子不合格,会对地层产生垢物伤害。

3 注入水与地层的敏感性

通过岩心流动实验考察油层岩石与外来流体接触后所发生的各种物理化学作用对岩石性质,主要是对渗透率的影响及其程度进行油层敏感性分析。

3.1 膨胀实验

选取八面台油田岩心用注入水饱和,然后再选取岩心用注入水加 2% 的防膨胀剂饱和,测定岩心的膨胀率,未加防膨胀剂岩心膨胀率为 0.985%, 渗透率为 $2.93 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 加防膨胀剂岩心膨胀率为 0.382%, 渗透率为 $8.32 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 结果表明, 加入防膨胀剂的膨胀率小于未加防膨胀剂的膨胀率, 说明存在一定程度的膨胀。

3.2 防膨剂恒压长效性实验

先用地层水饱和岩心,然后用 20 PV、40 PV、60 PV、80 PV、100 PV(PV 表示孔隙体积,100 PV 表示注入水的体积是孔隙体积的 100 倍,其他同)的注入水驱替,测定渗透率。再用注入水加防膨剂 2% 用不同孔隙体积倍数驱替,测定其渗透率,从中可以看出,未加防膨剂时渗透率低,加入防膨胀剂后渗透率明显增大。最后再注注入水驱替。如图 3,从中可看出注

入水损害指数 33.43, 损害程度中等偏弱; 注入水加 2% 防膨胀剂后无损害; 再注注入水, 损害指数 11.15, 损害程度弱。

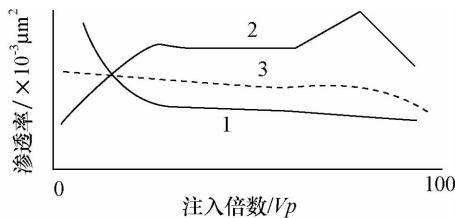


图 3 方 44 区块防膨实验图

3.3 盐敏损害

一般而言, 高于地层水矿化度的外来流体进入储层后引起黏土矿物收缩、脱落; 低于地层水矿化度的流体进入地层后引起黏土矿物的膨胀、迁移、分散。因此通过盐敏评价实验, 可以确定导致储集层渗透率明显变化的临界矿化度, 保护油层不受伤害。从方 83 和方 110 井的盐敏实验结果可以看出, 随着注入水矿化度的降低, 渗透率略有减少; 当矿化度降到 10 000 mg/L 时, 渗透率明显下降, 因此, 其临界矿化度为 10 000 mg/L。注水时要控制注入水的矿化度。

4 注入水质对储层的影响^[2-6]

与行业标准 SY/T 5329—94f 规定的 A3 级指标对比, 八面台油田的水质较差, 如悬浮物、粒径中值、含油、细菌等均超标严重, 为此开展了悬浮物浓度及粒径中值对储层渗透率的影响研究。

4.1 悬浮物浓度及悬浮物固体颗粒对渗透率的影响

4.1.1 滤膜实验

将石英砂微粒和碳酸钙颗粒研磨后根据 STOKES 定律筛选不同粒径的颗粒, 配制不同悬浮物浓度的悬浮液。通过滤膜试验筛选出适合颗粒堵塞岩心试验所用的悬浮物浓度及粒径中值。在恒定压力下, 各种悬浮物溶液通过微孔滤膜, 根据滤膜的累加体积与流量的变化, 可知悬浮物粒径大小及其浓度对滤膜的堵塞情况。

由图 4、图 5 可以看出悬浮物浓度为 2 mg/L 时, 滤膜堵塞程度将随悬浮物粒径的增大而减小, 粒径中值为 1.05 μm 的悬浮物对滤膜的堵塞最严重, 小

于 1.05 μm 的悬浮物对滤膜的堵塞反而较轻。因为粒径较大的颗粒是在滤膜表面外部形成滤饼, 而粒径小的颗粒可进入滤膜孔喉道, 随注入体积的增加, 进入滤膜深部的颗粒增多, 造成深部伤害逐渐加重。

选择粒径中值为 1.05 μm, 浓度呈阶梯递增的 10 种溶液进行滤膜堵塞试验, 如图 4、图 5, 发现悬浮物浓度大于 5.00 mg/L, 对储层就有损害, 且损害程度随着悬浮物浓度的增大而增大。因此, 应同时控制注入水中悬浮物颗粒粒径及浓度。

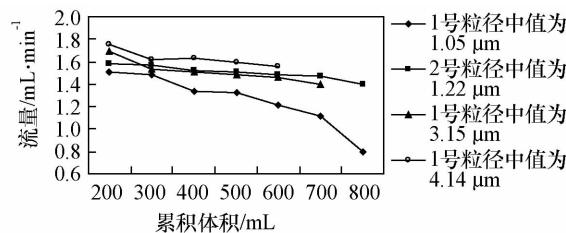


图 4 不同粒径中值的滤膜实验

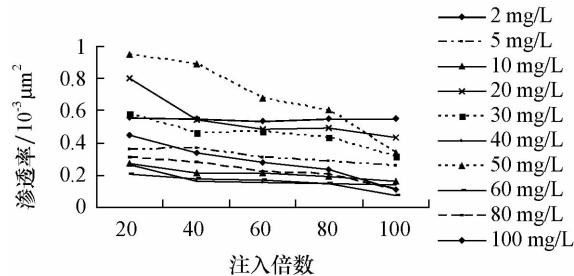


图 5 不同悬浮物浓度的滤膜实验

4.1.2 岩心颗粒堵塞实验

为了验证注入水中悬浮物的存在究竟有无伤害, 首先用含有悬浮物的注入水对天然岩心进行驱替实验, 其次用除去悬浮物的注入水驱替天然岩心, 两者比较看其渗透率的变化, 为了避开矿化度对岩心的敏感性而引起的渗透率变化, 做了具有一定矿化度的配制水对天然岩心的伤害实验。从图 6 中可以看出, 有悬浮物的注入水对岩心的伤害明显大于除去悬浮物的注入水对岩心的伤害, 说明悬浮物对地层损害较大, 而除去悬浮物的注入流体对地层基本无损害。另外从中还可看出除去悬浮物的注入流体随压力增大, 注入速度加大, 注入效果好, 地层无损害; 含有悬浮物的注入流体, 当注入压力为 6 时, 渗透率突然下降, 随着注入压力继续, 损害

程度增强。所以说悬浮物是造成加大注入压力,起不到注水增油作用的原因之一。

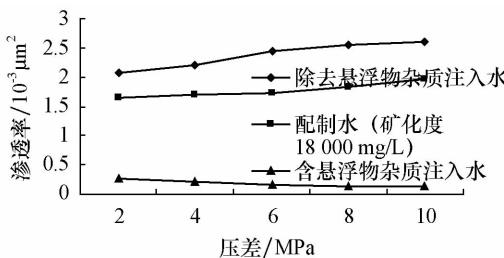


图6 注入水中悬浮物影响实验图

4.2 悬浮物的粒级配置对孔隙的堵塞研究

据八面台油田压汞等资料,储层平均孔隙直径青一段为 $2.04 \mu\text{m}$,注入水中固相颗粒直径主要分布范围在 $0.5\text{--}6.6 \mu\text{m}$ 。为此选取粒径小于 $0.45 \mu\text{m}$ 、 $2\text{--}5 \mu\text{m}$ 、大于 $10 \mu\text{m}$ 的悬浮物颗粒进行模拟储层伤害实验,结果显示,小于 $0.45 \mu\text{m}$ 的粒径,对储层损害指数 17.32,损害程度最弱, $2\text{--}5 \mu\text{m}$ 悬浮物颗粒损害指数 65,损害程度中等偏强,大于 $10 \mu\text{m}$ 悬浮物粒径对储层损害指数 75.31,损害程度最强。

5 结论与建议

(1) 通过配伍性实验和理论预测证明英台油田方 44、方 68 区块的注入水与地层水配伍性不理想,都结碳酸钙垢;

(2) 储层或多或少存在敏感性矿物,实验表明,

敏感性油田只有加入防膨胀剂才能提高驱油效果;

(3) 八面台油田注入水中悬浮物粒径中值 $0.45 \mu\text{m}$ 时对储层就有轻微的损害,并且随着颗粒加大损害迅速加大;

(4) 对于注水开发的低渗透油田,核心问题是“注够水、注好水”,提高最终采收率。生产实践表明,引进先进的污水处理工艺,提高污水处理水平才能保证低渗透油田注水的正常进行。建议今后将注入水质纳入油藏开发前期研究,通过实验制定区块注入水水质标准,优越可行的水质处理工艺;

(5) 对于新投产准备注水开发的井,有必要开展室内实验,进行注入水与地层水的配伍实验、注入水对地层的适应性研究、不同水质对储层的损害研究,以确定注入水源及水质处理指标,为高效注水开发提供依据。

参 考 文 献

- SY/T 5329—94. 行业水质标准. 北京:石油工业出版社,1994
- 唐海,赵金洲,李军,等.注入水水质对储层适应程度评价方法研究.大庆石油地质与开发,2003;22(6):33—35
- 李克向.保护油气层钻井完井技术.北京:石油工业出版社,1993
- 吴云桐,林永红,汤战宏,等.河 141 区块注入水水质对储层的伤害.油气地质与采收率,2003;10(4):64—66
- 朱德武,刘文臣,朱正刚.低渗油田注水过程中储层保护技术研究.断块油气田,2008;15(1):101—104
- 张光明,汤子余,姚红星,等.注入水水质对储层的伤害.石油钻采工艺,2004;26(3):46—48

The Experimental Study on Injected Water Quality of Low Permeability Reservoir in Jilin Oilfield

CHENG Jing-bo^{1,2}, SUN Yu-xue¹, LIU Jun²

(Daqing Petroleum Institute¹, Daqing 163318, P. R. China; Exploration and Development Research Institute of Jilin Oilfield², Songyuan 138000, P. R. China)

[Abstract] More than 95% of low permeability reservoir in Jilin Oilfield use the development way of injecting water, and injected water are mostly recharged water, therefore, it is necessary to study water quality and improve water quality, so that the oil recovery can be enhanced. Fang 44 and Fang 68 blocks of Bamiantai Oilfield are as examples for the study of reservoir, to analysis the current status of the injected water, compatibility with formation water and the sensitivity with formation and the impact to the reservoir, analysis comprehensively injected water damage from the combination of external factors and internal factors and give suggestions for improvement of water quality.

[Key words] injected water water quality compatibility sensitivity injected water damage