

DOI: 10.3969/J. ISSN. 1000-3754. 2015. 05. 018

大庆油田抗盐聚合物筛选及试验

周浩¹ 王天逸² 曹瑞波¹ 韩培慧¹ 张晓芹¹

(1. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712; 2. 西南石油大学石油工程学院, 四川 成都 610500)

摘要: 与清水配制聚合物相比, 污水配制聚合物黏度损失可达50%, 为了节省聚合物用量, 开展了抗盐聚合物驱技术研究。选择5种抗盐聚合物品种, 评价了增黏性、抗吸附性、渗流能力等性能指标, 筛选出了性能最优的LH2500抗盐聚合物品种。结果表明, LH2500抗盐聚合物可提高采收率13.8%, 比 2.5×10^4 普通聚合物驱多提高采收率4.9个百分点。应用筛选出的LH2500抗盐聚合物开展了试验, 初见成效, 与普通聚合物驱区块相比, 试验区采收率多提高2.2个百分点, 预计最终可提高采收率15个百分点以上。

关键词: 大庆油田; 污水; 抗盐聚合物; 驱油实验; 试验

中图分类号: TE357.46

文献标识码: A

文章编号: 1000-3754 (2015) 05-0097-05

SCREENING AND TEST OF THE SALT-RESISTING POLYMERS FOR DAQING OILFIELD

ZHOU Hao¹, WANG Tianyi², CAO Ruibo¹, HAN Peihui¹, ZHANG Xiaoqin¹

(1. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing 163712, China;

2. College of Petroleum Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: Compared with the polymer solution prepared with clear water, the viscosity loss of those made with sewage can reach up to 50%. In order to save the polymer consumption, the technical studies were carried out on the salt-resisting polymers. Five kinds of the salt-resisting polymers were chosen and their properties, such as the viscosification, adsorption resistance, seepage capability and etc. were evaluated. As a result, Polymer LH2500 was selected as the best one. The results show that Polymer LH2500 can enhance oil recovery factor by 13.8%, which was 4.9% higher than that of common polymer with molecular mass of 25 million. The field test of Polymer LH2500 has achieved initial success. Compared with the common polymer-flooded blocks, the recovery factor of the tested areas is higher by 2.2% and the expected ultimate recovery factor can be enhanced by 15% or above.

Key words: Daqing Oilfield; sewage; salt-resisting polymer; oil displacing experiment; test/experiment

聚合物驱油时将油田采出污水作为配制聚合物用水, 既解决了配制水来源, 又避免了采出污水外排带来的环境污染问题。然而, 在现有污水条件

下, 为了保持聚合物的流度控制作用及驱油效果, 需要大幅度提高聚合物的质量浓度, 增加聚合物用量, 致使聚驱成本攀升, 影响聚驱开发效益^[1-10]。

收稿日期: 2015-06-29 改回日期: 2015-08-02

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“二类油层聚合物进一步提高采收率配套技术”(2011E-1207)。

作者简介: 周浩, 男, 1968年生, 高级工程师, 从事聚合物驱油技术研究。

E-mail: haozhou@petrochina.com.cn

因此，为了克服当前污水配制聚合物造成的不利影响，选用新型抗盐聚合物是降低聚合物用量、改善开发效果的有效途径之一。

1 污水对聚合物溶液黏度的影响

大庆油田第一、二、三、四、六采油厂污水水质分析表明，油田采出污水 pH 为 7.05~8.93，总体为弱碱性，平均矿化度 5 129 mg/L。污水中还含有原油、悬浮固体、硫酸盐还原菌、腐生菌、铁细菌、铁离子、硫化物、残余聚合物、残留化学助剂等。

污水组分的复杂性对聚合物溶液的初始黏度必然会产生较大影响。为了验证这种影响的程度，测试了清、污水配制条件下的黏—浓曲线（图 1）。从图 1 可见，无论中分聚合物还是 2 500×10⁴ 高分聚合物，相同质量浓度时污水配制黏度远低于清水配制。如在质量浓度为 1 000 mg/L 时，2 500×10⁴ 聚合物清、污水配制时黏度分别为 60.1、37.5 mPa·s，中分聚合物清、污水配制时黏度分别为 32.8、15.4 mPa·s。两种聚合物污水和清水配制黏度相差 2 倍左右。实验数据说明，污水对聚合物溶液黏度影响显著，有必要开展抗盐聚合物驱技术研究。

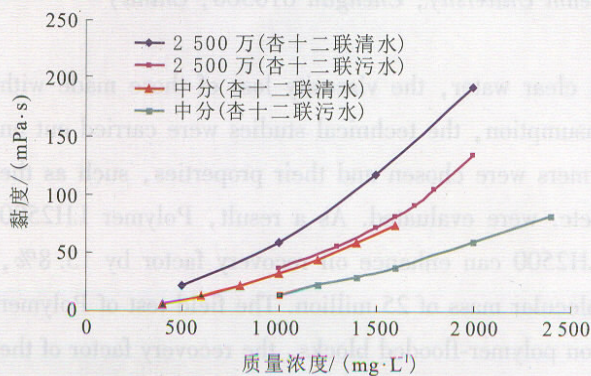


图1 清、污水配制条件下聚合物黏—浓关系曲线
Fig.1 Relations between the viscosity and mass concentration for the polymers prepared with the clear water and sewage

2 抗盐聚合物筛选及性能评价

选择 5 种抗盐聚合物进行性能评价，并与 2 500 万普通聚合物进行对比，筛选出性能最优的抗盐聚合物产品。

2.1 增黏性能评价

采用杏十二联污水测定不同聚合物的黏—浓关系，质量浓度依次为 700、1 000、1 300、1 600

mg/L，黏—浓曲线如图 2。在污水体系中，5 种抗盐聚合物增黏性能均好于 2 500 万普通聚合物，黏度为 50 mPa·s 时，抗盐聚合物比 2 500 万普通聚合物质量浓度低 15%~35%。

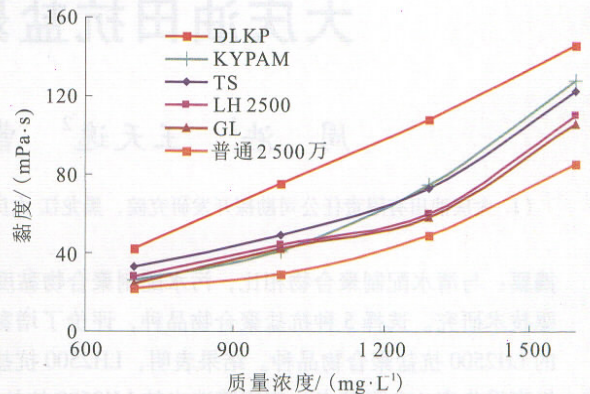


图2 不同聚合物黏—浓关系

Fig.2 Relations between the viscosity and mass concentration for different polymers

2.2 黏度稳定性能评价

污水配制、相同黏度（50 mPa·s）条件下，测定了不同聚合物溶液黏度保留率随放置时间的变化规律，黏度保留率稳定性如图 3。从图 3 可见，不同聚合物 30 d 内黏度保留率相近，均在 70% 以上；30~90 d，LH2500 和 GL 抗盐聚合物黏度保留率明显大于其他 3 种抗盐聚合物，也大于 2 500 万普通聚合物。值得关注的是，LH2500 抗盐聚合物 30 d 后黏度保留率明显回升，90 d 时黏度保留率高达 92%。

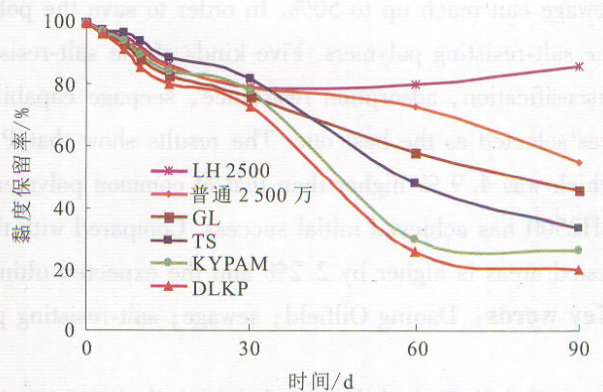


图3 不同聚合物黏度保留率稳定性

Fig.3 Stabilities of the viscosity retention ratio for different polymers

2.3 抗吸附性能评价

吸附是由于静电引力和氢键的弱键合作用引起的聚合物在岩石表面的聚集，会导致聚合物在溶液中质量浓度和驱替前缘黏度的降低，从而影响驱油效果，因此抗吸附性是评价聚合物产品性能的重要指标。在 80~100 目油砂上，采用多次吸附方法评

价不同聚合物的抗吸附性能 (图 4)。由图 4 可以看出, 经过 5 次吸附后, LH2500 抗盐聚合物的抗吸附性最优, 黏度保留率为 78%, TS、KYPAM 抗盐聚合物与 2 500 万普通聚合物相当, 黏度保留率分别为 60%、59% 和 57%, GL 和 DLKP 抗盐聚合物抗吸附性较差, 黏度保留率仅为 39% 和 26%。

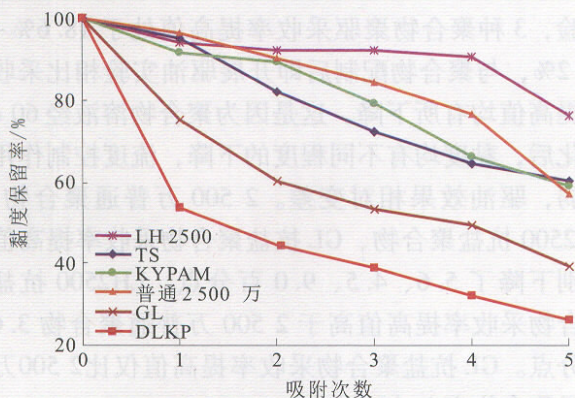


图 4 不同聚合物黏度保留率随吸附次数变化
Fig.4 Changes of the viscosity retention ratio with the adsorption times for different polymers

2.4 抗盐聚合物初筛选

在开展增黏性、黏度稳定性、抗吸附性评价的同时, 还开展了抗稀释性、抗剪切性、黏弹性、过滤性等性能评价, 7 项性能指标按优劣进行排序, 如表 1 所示。从表 1 可见, LH2500、GL 和 KYPAM 三种抗盐聚合物综合性能具有相对优势。

2.5 渗流性能评价

上述评价结果说明, 与 2 500 万普通聚合物相比, LH2500、GL 和 KYPAM 三种抗盐聚合物性能具有相对优势。因此, 针对这 3 种聚合物进一步开展了岩心渗流实验, 进一步优选性能最优的抗盐聚合物。实验所用岩心为天然岩心, 尺寸为 2.5 cm × 10 cm。用污水配制黏度为 50 mPa · s 的聚合物溶液, 以 0.2 mL/min 的速度注入, 当注入压力连续平稳 2 h 以上时结束注聚合物, 再以 0.2 mL/min 的注入速度注入污水, 当注入压力连续平稳 2 h 以上时结束实验。

阻力系数反映了聚合物溶液渗流过程中流度的变化, 阻力系数越高, 表明聚合物溶液改善油水

表 1 不同聚合物综合性能评价排序

Table 1 Evaluated orders of the comprehensive performance for different polymers

性能排序	产品	增黏性	抗吸附性	抗稀释性	黏度稳定性	过滤实验	抗剪切性	黏弹性
1	LH2500	4	1	1	1	1	4	3
2	GL	5	5	2	2	3	3	2
3	KYPAM	2	3	4	5	2	1	5
4	TS	3	2	5	4	5	5	1
5	普通 2 500 万	6	4	3	3	4	2	4
6	DLKP	1	6	6	6	6	6	6

度比的能力越强。残余阻力系数反映了聚合物对岩石渗透率造成的永久损失, 残余阻力系数越高, 表明聚合物溶液改善油层非均质性、调整吸液剖面能力越强^[11]。根据流度定义计算出阻力系数和残余阻力系数 (表 2)。从表 2 可见, LH2500、GL 抗盐

表 2 聚合物溶液渗流实验数据

Table 2 Experimental data of the flow for the polymer solutions

聚合物名称	质量浓度 / (mg · L ⁻¹)	水测渗透率 / (10 ⁻³ μm ²)	阻力系数	残余阻力系数
普通 2 500 万	1 300	247.25	86.12	19.77
LH2500	1 200	235.24	134.81	7.41
KYPAM	1 100	244.26	29.29	3.57
GL	1 100	219.79	153.79	17.93

聚合物的阻力系数明显高于 2 500 万普通聚合物, KYPAM 抗盐聚合物阻力系数和残余阻力系数远低于其他 3 种聚合物。实验结果说明, LH2500、GL 抗盐聚合物在流度控制性能方面具有相对优势。

3 抗盐聚合物驱油效果评价

上述基本理化性能和渗流实验结果表明, LH2500 和 GL 抗盐聚合物在增黏性能、稳定性、抗吸附性和调堵性能上表现相对最优。因此, 选择上述 2 种抗盐聚合物和 2 500 万普通聚合物开展了驱油实验研究, 2 500 万普通聚合物驱油实验作为评价抗盐聚合物驱油效果的对比基础。

3.1 聚合物配制后即开展驱油实验

实验所用岩心为人造双层非均质岩心, 岩心尺

寸为 4.5 cm×4.5 cm×30 cm, 低、高渗透层气测渗透率为 300×10^{-3} 、 $1\ 200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。岩心饱和油后在 45 °C 恒温箱中老化 12 h。首先进行水驱油, 采出液含水率连续 2 h 大于 98% 以上时结束水驱; 然后注入新配制的聚合物溶液 0.5 PV, 黏度为 50 mPa·s; 最后进行后续水驱, 当采出液含水率连续 2 h 大于 98% 时结束实验^[12]。

从表 3 可见, LH2500、GL 抗盐聚合物聚驱采收率提高值分别为 26.7%、28.2%, 高于 2 500 万普通聚合物 2.5~4.0 百分点。

表 3 聚合物配制后人造岩心驱油实验结果数据

Table 3 Result data of the oil displacing experiments on the prepared man-made cores by the polymers

聚合物名称	聚合物	有效	水驱	聚驱采收率	最终
	质量浓度 / (mg·L ⁻¹)	渗透率 / (10 ³ μm ²)	采收率 / %	提高值 / %	采收率 / %
普通 2 500 万	1 300	474	39.7	24.2	63.9
LH2500	1 200	415	39.5	26.7	66.2
GL	1 100	442	39.6	28.2	67.8

3.2 聚合物溶液老化后开展驱油实验

由聚合物溶液黏度稳定性实验结果可以看出,

表 4 聚合物老化后人造岩心驱油实验结果数据

Table 4 Result data of the oil displacing experiments on the man-made cores after the polymer aged

聚合物名称	聚合物质量浓度 / (mg·L ⁻¹)	黏度 / (mPa·s)		水测渗透率 / (10 ⁻³ μm ²)	水驱采收率 / %	聚驱采收率 提高值 / %	最终采收率 / %
		初始	60 d 后				
		普通 2 500 万	1 300				
LH2500	1 200	50	41.9	452	39.8	22.2	62.0
GL	1 100		35.7	414	39.5	19.2	58.7

表 5 聚合物老化后天然岩心驱油实验结果数据

Table 5 Result data of the oil displacing experiments on the natural cores after the polymer aged

聚合物名称	聚合物质量浓度 / (mg·L ⁻¹)	黏度 / (mPa·s)		水测渗透率 / (10 ⁻³ μm ²)	水驱采收率 / %	聚驱采收率 提高值 / %	最终采收率 / %
		初始	60 d 后				
		普通 2 500 万	1 300				
LH2500	1 200	50	42.6	325	41.3	13.8	55.1
GL	1 100		35	307	41.7	13.1	54.8

不同聚合物溶液老化 60 d 后黏度差异较大, 为考察黏度稳定性差异对驱油效果的影响, 开展了不同聚合物溶液老化 60 d 后的驱油实验研究。

为了统一实验条件, 实验用水、岩心等材料 and 3.1 部分相同。由表 4 可以看出, 在其他实验条件相同条件下, 聚合物溶液老化 60 d 后再开展驱油实验, 3 种聚合物聚驱采收率提高值处于 18.6%~22.2%, 与聚合物配制后即开展驱油实验相比采收率提高值均有所下降。这是因为聚合物溶液经 60 d 老化后, 黏度均有不同程度的下降, 流度控制作用减弱, 驱油效果相对变差。2 500 万普通聚合物、LH2500 抗盐聚合物、GL 抗盐聚合物采收率提高值分别下降了 5.6、4.5、9.0 百分点。LH2500 抗盐聚合物采收率提高值高于 2 500 万普通聚合物 3.6 百分点。GL 抗盐聚合物采收率提高值仅比 2 500 万普通聚合物高 0.6 百分点。

为了验证人造岩心驱油实验结果, 进一步开展了天然岩心驱油实验。从表 5 可见, LH2500、GL 抗盐聚合物比 2 500 万普通聚合物分别多提高聚驱采收率 4.9 和 4.2 百分点。结合表 4 和表 5 可以看出, LH2500 抗盐聚合物与 2 500 万普通聚合物相比, 既降低了用量又取得了较好的驱油效果。

4 抗盐聚合物驱试验

为探索聚驱提效的新途径, 在污水矿化度相对

较高的杏北开发区, 选择了杏六区中部 3 号站 (地层水矿化度 8 217.5 mg/L), 开展新型抗盐聚合物试验。从上述 5 种抗盐聚合物性能评价结果

看, LH2500 抗盐聚合物综合性能具有明显优势。因此, 试验选用 LH2500 抗盐聚合物。

4.1 试验区概况及驱油方案设计

试验目的层为葡 I 2—3 油层。采用五点法面积井网, 平均注采井距 125 m。试验总井数 71 口 (33 注 38 采), 中心井 12 口。在对 LH2500 抗盐聚合物各项性能研究的基础上, 结合试验区的地质特征、水淹特点和注采井动静态资料制定聚合物驱油方案: 选用不同质量浓度聚合物段塞阶梯注入。段塞一: 聚合物质量浓度 1 500 mg/L, 注入 0.05 PV, 注入速度 0.16 PV/a; 段塞二: 聚合物质量浓度 1 300 mg/L, 注入 0.7 PV, 注入速度 0.2 PV/a。抗盐聚合物体系均为清配污稀。

4.2 试验效果

试验区于 2014 年 1 月投注聚, 目前注入 0.25 PV, 聚合物用量 468 mg/L·PV。为了对比评价抗盐聚合物的试验效果, 与 3 号站开发状况、地质条件相似的 1-2 号站采用 2 500 万普通聚合物驱, 清配清稀。与 1-2 号站相比, 3 号站注采能力较强。3 号站视吸水指数平均高于 1-2 号站 16%、采液指数平均高于 1-2 号站 18%; 1-2 号站油层动用厚度比例提高了 6.9%, 3 号站油层动用厚度比例提高了 21.4%, 两者差值达 14.5 百分点。

试验区目前全区含水率降幅 16.6 百分点, 提高采收率 4.0 百分点。与 1-2 号站对比, 相同注入量条件下, 含水率多下降 7.8 百分点, 采收率多提高 2.2 百分点 (图 5)。数值模拟预测最终可提高采收率 15 百分点以上。

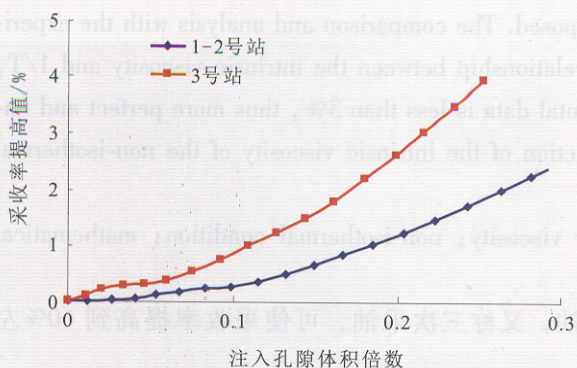


图5 3号站和1-2号站采收率提高值随注入孔隙体积倍数变化

Fig.5 Changes of the enhanced recovery factor with the PVs for Station 3 and 1-2

5 结 论

(1) 水质分析表明, 大庆油田污水平均矿化度 5 129 mg/L。与清水配制聚合物相比, 大庆油田污水配制聚合物黏度损失可达 50%, 为了节省聚合物用量, 有必要开展抗盐聚合物驱技术研究。

(2) 选择 5 种抗盐聚合物进行性能评价, 并与 2 500 万普通聚合物进行对比, 筛选出性能最优的 LH2500 抗盐聚合物。驱油实验表明, LH2500 抗盐聚合物可提高采收率 13.8%, 比 2 500 万普通聚合物多提高采收率 4.9 百分点。

(3) 抗盐聚合物驱现场试验效果显著。与普通聚合物驱相比, 在注入 0.25 PV 时, 抗盐聚合物驱试验区采收率多提高 2.2 百分点, 预计最终可提高采收率 15 百分点以上。

参考文献:

- [1] 罗锋. 中低分“抗盐”聚合物性能及驱油效果 [J]. 大庆石油学院学报, 2010, 34 (4): 77-81.
- [2] 郑伟林. 采油污水配制聚合物技术在孤东油田的应用 [J]. 上海化工, 2006, 31 (8): 27-30.
- [3] 张晓芹, 关恒, 王洪涛. 大庆油田三类油层聚合物驱开发实践 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 33 (3): 374-377.
- [4] 包木太, 陈庆国, 王娜, 等. 油田污水中聚丙烯酰胺 (HPAM) 的降解机理研究 [J]. 高分子通报, 2008, 21 (2): 1-9.
- [5] 张洪山. 二类油层污水体系聚合物驱物理模拟实验研究 [J]. 油气地质与采收率, 2009, 16 (6): 73-75.
- [6] 张金波, 傅绍斌, 曾玉彬. 油田采出水回注处理技术进展 [J]. 工业水处理, 2000, 20 (10): 5-8.
- [7] 包木太, 骆峻峻, 陈庆国, 等. 生物接触氧化法处理油田含聚污水室内模拟实验 [J]. 西安石油大学学报, 2009, 24 (1): 79-84.
- [8] 屈撑囤, 王新强, 谢娟, 等. 阳离子聚合物处理油田采油污水研究 [J]. 西安石油大学学报, 2006, 21 (2): 23-25.
- [9] 王雪燕. 改善含油污水水质的新途径 [J]. 油气田地面工程, 2007, 26 (1): 31-32.
- [10] 吴北光. 大庆油田含油污水水质控制方法 [J]. 油气田地面工程, 2004, 23 (3): 46-51.
- [11] 牛丽伟, 卢祥国, 陈才, 等. 两种耐温聚合物凝胶分子聚集态及性能对比 [J]. 大庆石油地质与开发, 2015, 34 (1): 119-120.
- [12] 韩海英, 李俊键. 聚合物微粒深部液流转向油藏适应性 [J]. 大庆石油地质与开发, 2013, 32 (6): 113-115.