聚合物驱窜聚影响因素及防窜对策

蔡文斌[1]，李兆敏[2]，胥元刚[1]，张 星[3]

（1.西安石油大学 石油工程学院，陕西 西安 710065；2.中国石油大学（华东）石油工程学院，山东 东营 257061；
3.中国石化股份胜利油田分公司 采油工艺研究院，山东 东营 257000）

摘要：聚合物驱油是化学驱的主要方式之一，但油田长期注水开发导致油藏储层及流体物性发生较大变化，使得聚合物驱油过程中经常出现高渗透条带聚合物窜流，从而降低了驱油效率。通过微观的可视化实验，研究了聚合物在不同渗透率级差下的窜流规律，以及聚合物注入速度和质量浓度对聚合物驱窜聚的影响。从凝胶堵剂和注聚合物措施实施方案 2 个方面研究了防窜措施。矿场试验证明，建立的防窜措施有较好的适应性，提高了聚合物利用率，扩大了聚合物驱的波及体积，单井含水率下降了 5%，累积增油量为 426t。

关键词：聚合物驱；窜流；实验研究；防窜对策；驱油效率

中图分类号：TE357 **文献标识码**：A **文章编号**：1009-9603(2010)01-0074-03

聚合物驱可以改善流度比、提高注入水的波及体积，从而改善非均质油田的开发效果，作为提高油田采收率一种有效方法，是中国开展最广泛的化学驱技术之一[1]。但是由于长期的注水开发，造成油藏储层及流体物性发生很大变化，聚合物驱油过程中高渗透条带引起聚合物的突进，导致聚合物发生严重的窜流，使聚合物驱油效率降低，受效井过早见聚，含水率上升快，采出聚合物溶液质量浓度高，大大降低了聚合物驱油的效果。因此，研究聚合物驱窜聚规律和防窜措施很有意义[2-4]。前人通过数值模拟、灰色理论[5]以及模糊识别[6]等方法，研究注水后期大孔道在油藏中的分布，取得了相应的研究成果，笔者通过室内物理模拟实验，更为直观地展示了不同因素对聚合物驱窜聚的影响，并在此基础上提出了防窜对策。

1 室内物理模拟实验

实验试剂包括聚合物 MO4000、蒸馏水、模拟油、矿化度为 16g/L 的地层水、染色剂（3 种，红色流体为油，绿色为水，蓝色为聚合物）。实验仪器包括 GARSEN Digital-5000A 可视化展台、录像机、数字化电视、计算机、岩心流动实验装置。实验模型由特制玻璃板粘砂粘结而成，模型尺寸为15cm×15cm×0.15cm。

1.1 非均质性对窜聚的影响

制作了 3 种不同渗透率级差模型 A，B 和 C。其中模型 A（大孔道模型）渗透率级差为 5～100，模型 B 渗透率级差为 3～5，模型 C 渗透率级差为 1～2。在相同的实验条件下，对 3 种不同渗透率级差的模型进行驱油实验，对比其驱油效果。实验过程为：饱和水—饱和油—水驱（水驱至含水率达 98% 以上）—低速注入高质量浓度聚合物（注入速度为 0.05mL/min，聚合物质量浓度为 2.5g/L，注入量为 0.15 倍孔隙体积）—高速注入低质量浓度聚合物（注入速度为0.1mL/min，聚合物质量浓度为1g/L，注入量为 0.15 倍孔隙体积）—水驱至 1 倍孔隙体积（水驱速度为 0.2mL/min）。

实验结果表明，模型 A 和 B 仍然发生严重的窜聚现象，聚合物驱提高采收率很低。模型 C 注聚合物效果明显优于渗透率级差大的模型，聚合物驱提高采收率较高。这说明油层的强非均质性影响了聚合物窜流的程度和聚合物驱采收率的提高程度，对于强非均质性油层，要提高聚合物驱效果，必须通过一定的防窜措施改善其非均质性的程度[7]。

1.2 注入速度对窜聚的影响

实验过程为：饱和水—饱和油—水驱至含水率为 98% 以上—注入 0.3 倍孔隙体积、质量浓度为 2.5 g/L的聚合物—注入速度为0.2mL/min的后续水驱。实验模型选用B。实验分2组进行，第1组聚合

收稿日期：2009-11-10；改回日期：2009-12-17。
作者简介：蔡文斌，男，讲师，博士，从事提高采收率方面的研究工作。联系电话：15829335007，E-mail：peter_acai@yahoo.com.cn。
基金项目：国家高技术研究发展“863”计划“海上油田活性聚合物乳液驱油体系研究与应用技术”（2006AA09Z322）

物段塞注入速度为 0.05mL/min,第 2 组聚合物段塞注入速度为 0.5mL/min。

对比实验结果可以看出(图 1),注入速度对聚合物驱采收率的影响不大,但是聚合物驱注入速度越快,聚合物驱见效越早,开发时间越短,但采收率比低速注入的要略低,这主要是注入速度快,容易加剧聚合物溶液在高渗透条带窜流的发生,井底周围会出现高速非线性渗流现象,影响了聚合物驱效果。

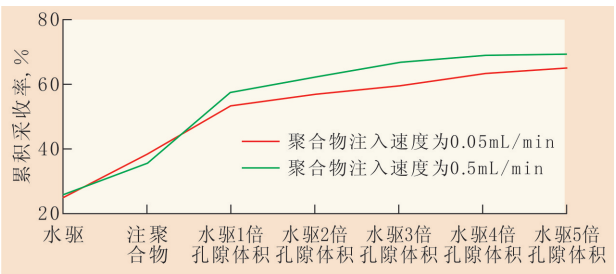

图 1　不同聚合物注入速度下的采收率对比

1.3　聚合物溶液质量浓度对窜聚的影响

实验模型选用 B。实验过程为:饱和水—饱和油—水驱至含水率为 98%以上—注入 0.3 倍孔隙体积的聚合物—注入速度为 0.2mL/min 的后续水驱。实验分 2 组进行,第 1 组聚合物段塞注入质量浓度为1g/L,第2组聚合物段塞注入质量浓度为2.5 g/L。

从实验结果可以看出(图 2),在相同的注聚合物段塞下,高质量浓度聚合物的窜流程度相对较弱,其驱油效果明显优于低质量浓度聚合物。高质量浓度聚合物溶液改善油水流度比的效果更好,在聚合物驱后的后续水驱中,起到了调驱的作用,所以高质量浓度聚合物驱油效果更明显,但随着聚合物质量浓度的增加,采油成本也相应增加。

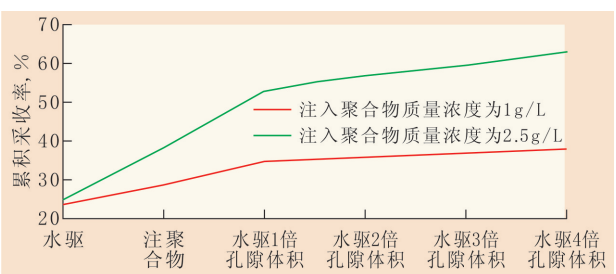

图 2　不同注入聚合物质量浓度下的采收率对比

2　聚合物驱防窜对策

2.1　改进凝胶堵剂配方

在原有凝胶堵剂 SLX-I 的基础上,进行配方改进,通过实验优选了聚合物、无机交联剂、有机交联剂、稳定剂、除氧剂的浓度配比,使其达到最好的热稳定性、耐温性和耐盐性,使聚合物溶液通过分子内和分子间交联而形成一种粘度或分子尺寸较大的体系,这个体系介于聚合物稀溶液与凝胶之间,其分子尺寸比聚合物溶液中分子尺寸大得多,性质既不同于聚合物溶液,也不同于常规金属交联体系,它是具有胶体性质的热力学稳定体系,有很好的耐温和抗二价离子的能力,成胶时间可控,流动性能好,可长时间保持流动和注入能力[8-9]。

2.2　建立合理防窜模式

通过聚合物窜流规律分析、对窜聚井区非均质性的分析以及聚合物驱物理模拟结果,依据多年的注聚合物措施实施方案,初步建立了以下 3 种防窜模式。

层内、层间渗透率差异大且存在高渗透条带的井区　①注聚合物前调整,根据地质动态分析确定存在高渗透条带;采用凝胶堵剂进行大剂量调剖,有效控制后续聚合物的窜流。重点调整完善高渗透易窜层位的井网。②注入第 1 段塞调整,对于注入井,采用高质量浓度、慢速注入,尽可能地减少对低渗透层的污染;添加交联剂,提高注聚合物粘度;对压力较低的井可注入阳离子聚合物段塞,提高聚合物的吸附能力。对于处于主流线的油井,在注聚合物初期,可放大生产压差提液生产,引导堵剂及后续高质量浓度聚合物向深部运移,有效封堵大孔道;对处于非主流线的油井可采用正常参数生产。③注入第 2 段塞调整,对于注入井,降低聚合物的质量浓度,使得聚合物更易进入低渗透潜力层段;高流量注入,扩大聚合物在低渗透层段的波及体积,提高驱替效率。对处于主流线的油井适当降低生产压差,控制液量,抑制高渗透层段聚合物的推进速度,防止窜流;对非主流线油井放大生产参数,扩大聚合物的平面波及面积。④后续水驱调整,对于注入井,注聚合物结束、转后续水驱前调整注入剖面,防止高渗透层段的水窜;适当增加注入量,改善后续水驱效果,提高驱替效率。对处于主流线的油井保持较小产量生产,控制液量,抑制高渗透层段水窜;对非主流线油井放大生产参数,扩大聚合物的平面波及面积。

层内、层间渗透率差异中等程度的井区　对于注入井,注聚合物前可采用小剂量调剖或不调剖;第 1 段塞采用中高质量浓度注入,部分低压井可加入交联剂,提高该段塞对剖面的调整能力;第 2 段塞降低聚合物质量浓度,增加注入量;后续水驱也增加注入量,进一步发挥聚合物驱作用。对于油井,各个注

聚合物阶段的生产要求及调整方法与渗透率差异严重的井区相同。

渗透率级差小于 5 的地层 该类地层注聚合物前可不调剖;第 1 段塞采用中等质量浓度注入,保证后续段塞的注入;第 2 段塞进一步降低质量浓度,增加注入量;后续水驱时进一步增加注入量,发挥聚合物驱作用。

3 现场应用

胜坨油田已进入特高含水开发后期,到 2004 年综合含水率达到了 94%左右,采出程度为 35%,高含水井多,水淹程度高,大量注入水无功窜流。在胜坨油田胜一区注聚合物扩大区,聚合物驱试验取得了明显的降水增油效果,但也暴露出严重窜聚和水窜的问题,所以进行了防窜试验。以 1188 井为例,该井共有吸水层位 5 个,在注聚合物后期,其中 1 个单层吸聚比例达到 54%,吸聚不均衡。1188 井对应油井 1176 井在注聚合物 9 个月后见聚,见聚质量浓度一直较高,保持在 250mg/L 左右,为此对其注入参数进行了调整,聚合物注入质量浓度从 1.8g/L 提高到 2.2g/L,降低聚合物注入速度,同时应用改进后的凝胶堵剂,并根据油藏的层间非均质性,针对 1176 井的高吸水层进行了堵水,该井治理后含水率下降了 5%,累积增油量为 426t。

4 结论

在聚合物驱油过程中,非均质性强的地层中窜聚严重,储层渗透率级差大于等于 3 时窜聚比较严重,需要采取防窜措施,聚合物注入速度和聚合物质量浓度对窜聚和最终采收率也有一定影响。

通过改进凝胶堵剂配方和建立合理防窜模式可以有效地防止聚合物驱窜聚,改进聚合物驱效果,提高最终采收率。

参考文献:

[1] 赵福麟. 油田化学[M]. 东营:石油大学出版社,2000.

[2] 李明远,肖建洪. 交联聚合物溶液深部调驱先导试验[J]. 石油学报,2002,23(6):72-76.

[3] 田根林,郑德温. 聚合物凝胶防窜实验室研究与现场应用[J]. 油气采收率技术,1995,2(1):8-15.

[4] 何鲜,朱维耀. 大港油田港西四区交联聚合物防窜驱油数值模拟研究[J]. 石油勘探与开发,1997,24(3):41-44.

[5] 曾流芳,陈柏平,王学忠. 疏松砂岩油藏大孔道定量描述初步研究[J]. 油气地质与采收率,2002,9(4):53-54.

[6] 刘月田,孙保利. 大孔道模糊识别与定量计算方法[J]. 石油钻采工艺,2003,25(5):54-59.

[7] Hidajat K K Mohanty, Flaum M, Hirasaki G. Rice university study of vuggy carbonates using X-ray CT scanner and NMR [A]. SPE 77396-MS,2005.

[8] 周守奎. 胜一区聚合物驱油藏调剖技术矿场实践与认识[J]. 油气地质与采收率,2008,15(4):75-77.

[9] 韩玉贵. 解决污水配制聚合物溶液粘度问题的方法探讨[J]. 油气地质与采收率,2008,15(6):68-70.

编辑 刘北羿

胜利油田连续 27 年探明储量过亿吨

经过国土资源部储量评审办公室组织有关专家认真审查,胜利油田探明储量顺利通过验收。2009 年度胜利油田合计上报 15 个油田 28 个区块,共新增探明含油面积 99.38km^2,新增探明石油地质储量 10 484.14×10^{4}t,新增技术可采储量 1 841.41×10^{4}t,探明储量区块中 500×10^{4}t 以上规模储量占 67.9%。特别是以砂砾岩为主体的盐家油田,通过详细划分扇体期次、准确构建能够反映“四性”的曲线和精确落实各项储量计算参数,该区上报探明含油面积 16.05km^2,储量 4 167.16×10^{4}t。

此外,胜利油田 2009 年度上报控制石油地质储量 10 452.98×10^{4}t(其中大于 1 000×10^{4}t 的区块 6 个,储量达 8 261×10^{4}t),预测石油地质储量 10 288.01×10^{4}t,实现连续 7 年三级储量均过亿吨。