

引用格式:张小静,卢军,张卓,等.基于聚合物驱的多级非均相调驱研究[J].油气藏评价与开发,2020,10(6):90-95.

ZHANG X J, LU J, ZHANG Z, et al. Research on multi-stage heterogeneous flooding based on polymer flooding[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(6):90-95.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.06.014

基于聚合物驱的多级非均相调驱研究

张小静¹,卢军²,张卓¹,梁丽梅¹,郭琳琳³

(1.中国石化河南油田分公司勘探开发研究院,河南 南阳 473132;2.中国石化河南油田分公司油气开发管理部,河南 南阳 473132;3.中国石化河南油田分公司采油二厂,河南 南阳 473400)

摘要:针对王集油田王17断块中低渗断块油藏非均质严重,注入水沿高渗透条带突进,采出程度低,水驱提高采收率能力有限的问题,开展了化学驱提高采收率技术研究,评价筛选了聚合物、黏弹颗粒驱油剂(PPG),应用物模技术对复配形成的非均相驱油体系段塞结构、驱油效率及分流率进行评价,应用数模技术,优化了段塞量及结构,预测王17块采用多级非均相调驱段塞聚合物驱可提高采收率8.25个百分点,现场应用已初见成效,该技术成果已在下二门油田B238块聚合物驱项目借鉴推广应用。

关键词:聚合物驱;多级段塞;非均相驱;物理模拟;数模优化

中图分类号:TE357

文献标识码:A

Research on multi-stage heterogeneous flooding based on polymer flooding

ZHANG Xiaojing¹, LU Jun², ZHANG Zhuo¹, LIANG Limei¹, GUO Linlin³

(1.Petroleum Exploration and Development Research Institute, Sinopec Henan Oilfield, Nanyang, Henan 473132, China;

2.Oil and Gas Development Management Division, Sinopec Henan Oilfield, Nanyang, Henan 473132, China;

3.No. 2 Oil Production Plant, Sinopec Henan Oilfield, Nanyang, Henan 473400, China)

Abstract: In order to solve the problems of serious heterogeneity, breakthrough of injected water along high permeability zone, low recovery percent of reserves and limited EOR capability of water flooding in the middle and low permeability fault-block reservoir of Wang-17 Block in Wangji Oilfield, the EOR technology of chemical flooding has been studied, and polymer and preformed particle gel (PPG) have been evaluated and screened. The slug structure, oil displacement efficiency and diversion rate of heterogeneous oil displacement system formed by compounding have been evaluated by physical simulation technology. And the slug volume and structure have been optimized by numerical simulation technology. It is confirmed that multi-stage heterogeneous profile control and slug polymer flooding can improve the recovery rate in Wang-17 Block by 8.25 percentage points. The field application has achieved initial results. This technology has been used for reference and popularized in the polymer flooding project of B238 Block in Xiaermen Oilfield.

Key words: polymer flooding, multi-stage slug, heterogeneous flooding, physical simulation, numerical simulation optimization

非均相化学驱技术可以显著提高水驱区块的采收率,目前已在胜利油田孤岛中一区Ng3及胜一区沙二1-3等区块开展应用,取得了显著的增油降水效果,其中孤岛中一区Ng3提高采收率8.5个百分点,实现采收率突破60%^[1-5]。但其注入驱剂中黏弹颗粒驱

油剂(PPG)质量浓度高,连续注入周期长,成本增大,经济效益下降。为此,开展以聚合物驱为主辅助多级非均相调驱技术研究,以降低成本,提高经济效益。本文采用物模、数模技术相结合,在确保聚合物驱扩大波及体积的基础上发挥非均相调驱功能,实现加合

收稿日期:2020-07-17。

第一作者简介:张小静(1974—),女,本科,工程师,从事三次采油提高采收率技术研究工作。地址:河南省南阳市宛城区河南油田勘探开发研究院,邮政编码:473132。E-mail:1322783855@qq.com

基金项目:中国石化股份有限公司示范工程“中高渗砂砾岩油藏聚驱后非均相复合驱技术”(P19007-4);中国石化股份有限公司重大专项“聚驱后油藏水驱提高采收率技术”(P16080)。

增效,最终确定非均相调驱段塞级数、尺寸大小。

1 多级非均相段塞聚合物驱物模研究

1.1 实验材料与方法

1.1.1 材料与设备

高温高压微观驱替实验系统^[6-7]由变焦体视显微镜、图像采集分析系统、微观模型、高压仓、高精度驱替泵、压力传感器系统、驱替控制系统、加热保温系统等组成(图1),采用蔡司变焦体视显微镜物镜0.3×,1.0×,1.5×;荧光激发模块;原装日本摄像头,帧率25帧/s;ISCO泵流速范围0.000 01~22 mL/min;尼康D800数码单反相机;西图微观模拟驱替动态图像分析系统软件CIAS-SCU-Q。

1.1.2 室内实验条件及步骤

1) 聚合物:选用筛选聚合物(P)为HNI-1,黏弹颗粒驱油剂(PPG)为HNPPG-1。

2) 实验用水:王集油田现场净化陈化注入污水,经0.45 μm微孔滤膜过滤后使用。

3) 模拟原油:王集油田采油井井口原油,脱水后,加入煤油配制模拟原油,模拟油黏度为11 mPa·s。

4) 驱油体系配方:聚合物浓度1 500 mg/L,非均相体系配方浓度为聚合物1 200 mg/L+PPG800 mg/L。

5) 岩心:人造长条方岩心(2.5 cm×2.5 cm×30 cm),渗透率分别为 $200\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 左右和 $600\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 左

右,渗透率级差分别为2.8和3.1的2组双管并联岩心。

6) 驱替流速:驱替流速为50 mL/h,线性速度为1 m/d。

7) 实验温度:模拟王集油田油藏温度67 ℃。

8) 实验步骤:

岩心饱和模拟油老化后水驱至含水99%,水驱后分别注入3种化学驱油体系组合配方,转注后续水驱至含水99%,评价聚合物驱、非均相驱及多级段塞非均相复合驱油体系在双管并联岩心中的驱油效率和分流率^[8-11]。

配方1:0.6PV(P);配方2:0.1PV(PPG/P)+0.4PV(P)+0.1PV(PPG/P);配方3:0.1PV(PPG/P)+0.2PV(P)+0.05PV(PPG/P)+0.2PV(P)+0.05PV(PPG/P)。

1.2 实验结果

1.2.1 驱油效率

配方1实验:双管岩心水驱至综合含水99%,水驱采收率为49.1%,注入0.6PV聚合物溶液,转后续水驱至含水99%,最终采收率达到67%,提高采收率17.9个百分点。其中,高渗岩心提高采收率9.47个百分点,低渗岩心提高采收率30.28个百分点(表1)。

配方2实验:双管岩心水驱至综合含水99%,水驱采收率为36.96%,注入0.6PV非均相体系,段塞结构为0.1PV(PPG/P)+0.4PV(P)+0.1PV(PPG/P),转后续水驱至含水99%,最终采收率达到59.77%,提高采收率22.81个百分点。其中,高渗岩心提高采收

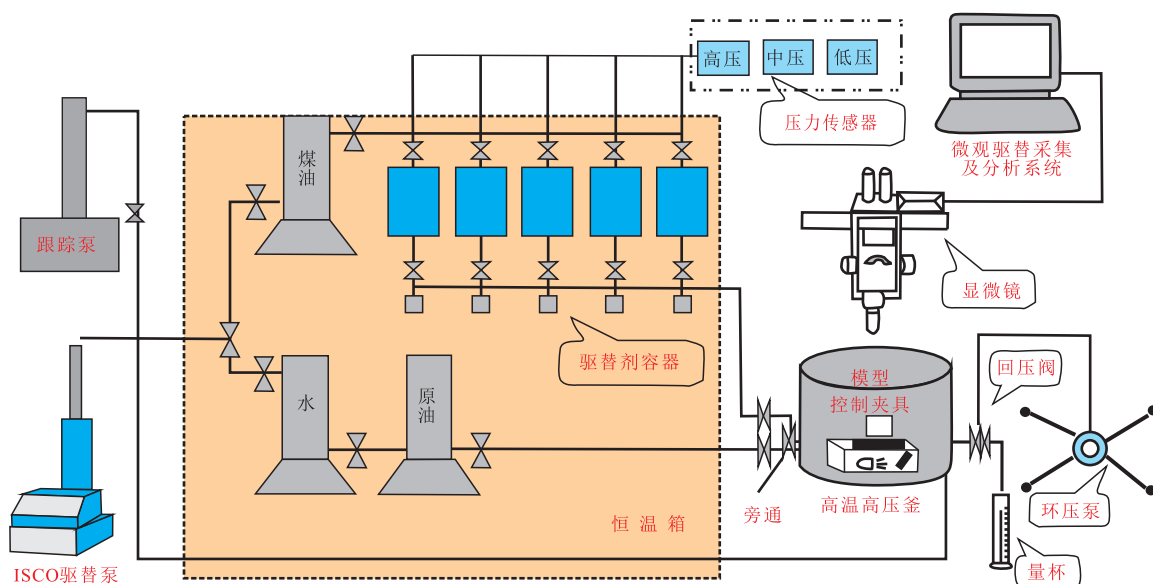


图1 高温高压微观驱油实验系统

Fig. 1 Micro oil displacement experimental system with high temperature and high pressure

表1 非均相复合驱驱油效率及分流率
Table 1 Oil displacement efficiency and diversion rate of heterogeneous composite flooding

配方	岩心种类	空气渗透率/ μm^2	孔隙度/%	水驱采收率/%	水驱分流率/%	化学驱分流率/%	后续水驱分流率/%	最终采收率/%	采收率提高百分点
0.6PV(P)	低渗岩心	0.257	18.66	25.85	2	10~85	2	56.13	30.28
	高渗岩心	0.498	22.76	67.17	98	85~90	98	76.64	9.47
	并联岩心			49.10				67.00	17.90
0.1PV(PPG/P)+0.4PV(P)+0.1PV(PPG/P)	低渗岩心	0.204	16.35	31.03	3	20~30	2	55.13	24.10
	高渗岩心	0.569	23.15	42.08	97	70~80	98	63.79	21.71
	并联岩心			36.96				59.77	22.81
0.1PV(PPG/P)+0.2PV(P)+0.05PV(PPG/P)+0.2PV(P)+0.05PV(PPG/P)	低渗岩心	0.213	16.81	17.31	2	35~40	15	59.87	42.56
	高渗岩心	0.654	25.09	39.44	98	60~65	85	63.01	23.57
	并联岩心			32.04				61.96	29.92

率21.71个百分点,低渗岩心提高采收率24.10个百分点。

配方3实验:双管岩心水驱至综合含水99%,水驱采收率为32.04%,注入0.6PV非均相复合驱油体系,段塞结构为0.1PV(PPG/P)+0.2PV(P)+0.05PV(PPG/P)+0.2PV(P)+0.05PV(PPG/P),转后续水驱至含水99%,最终采收率高达61.96%,提高采收率29.92个百分点。其中,高渗岩心提高采收率23.57个百分点,低渗岩心提高采收率42.56个百分点。

1.2.2 分流率实验

注入非均相复合驱油体系后,配方2实验中低渗岩心分流率从3%增加到30%,高渗岩心分流率从97%下降到70%,配方3实验低渗岩心分流率从2%增加到35%~40%,高渗岩心分流率从98%降低到60%~65%,高、低渗岩心出口产液量均发生了改变,高渗产液量降低、低渗产液量得到一定程度的提高^[12-14],说明非均相复合驱油体系具有一定的改善剖面能力,从段塞结构看,非均相复合驱油体系段塞交替次数越多剖面改善效果越好^[13-15]。但转后续水驱后,分流率又发生反转,反映出非均相体系中PPG因变形和水解而使其封堵能力和耐冲刷性减弱,为此现场应用要注重后续水驱调整。

实验结果表明:

1)非均相驱油体系有较好的提高采收率能力,提高采收率幅度大于聚合物驱;

2)随着段塞交替次数增多,化学驱分流率增加、提高采收率增加;主要是水驱主要动用的是高渗岩心,注入非均相复合驱油体系后,提高采收率主要贡献在低渗岩心,非均相复合驱油体系具有一定的调剖能力。

2 多级非均相段塞聚合物驱数模研究

采用SLCHEM数值模拟软件对多级非均相段塞聚合物驱参数进行优化。SLCHEM是胜利油田自主研发的包含非均相驱的化学驱数值模拟软件,具有常规水驱开发数值模拟,聚合物驱、表面活性剂驱、泡沫复合驱、二元复合驱及三元复合驱等化学驱数值模拟功能,前后处理系统完整^[15-18]。

数模应用目标区王集油田王17井区实际油藏模型,采用单因素分析法,类比同类油藏注聚参数和室内实验评价研究结果,设计前置段塞和后置段塞为非均相驱段塞,经过数值模拟优化,主要参数为注入浓度1500 mg/L,注入速度0.11PV/a,注采比1.0,在此基础上优化了总段塞量、前置段塞,重点进行了主段塞多级非均相段塞聚合物驱优化。

2.1 段塞尺寸优化

在室内实验及数模确定注入浓度1500 mg/L的基础上,设计总注入段塞分别为0.3,0.4,0.5,0.6,0.7 PV的5套方案进行数模预测(表2)。

优化结果看出,随着注入段塞尺寸增大,提高采

表2 注入段塞优化方案
Table 2 Injection slug optimization scheme

注入段塞(PV)	增油量/ 10^4t	聚合物量/t	采收率提高百分点	吨聚增油/ $(\text{t}\cdot\text{t}^{-1})$	综合指标
0.3	3.19	706	4.15	45.2	1.88
0.4	4.36	941	5.67	46.3	2.63
0.5	5.28	1176	6.87	44.9	3.09
0.6	5.58	1411	7.26	39.6	2.87
0.7	5.65	1646	7.35	34.3	2.52

注:综合指标= $\Delta\eta\times\text{换油率}/100$ 。

收率的值呈上升趋势,当注入段塞从0.3PV增加至0.4PV时吨聚增油从45.2 t/t上升至46.3 t/t,之后随着注入段塞尺寸增大,吨聚增油呈下降趋势;随着注入段塞尺寸增大,综合指标在0.5PV时出现拐点,值最大,确定总注入段塞尺寸为0.5PV。

2.2 前置段塞优化

在注入浓度1500 mg/L、总注入段塞0.5PV、注入速度0.11PV/a参数优化的基础上,设计非均相调驱体系的前置段塞尺寸分别为0.03,0.04,0.05,0.06,0.07,0.08PV的6套方案进行数模优化(表3),随着非均相调驱体系前置段塞的增大,提高采收率值也相应增大,在注入段塞大于0.05PV之后,提高采收率增幅减缓,确定PPG非均相调驱体系前置段塞为0.05PV。

表3 前置段塞优化方案
Table 3 Pre-slug optimization scheme

前置段塞(PV)	累积增油/10 ⁴ t	采收率提高百分点
0.03	5.32	6.92
0.04	5.48	7.13
0.05	5.63	7.32
0.06	5.71	7.42
0.07	5.75	7.48
0.08	5.79	7.53

2.3 主体段塞结构优化

在确定总段塞、前置段塞、后置段塞、注入速度及注采比1.0的基础上,重点是对主体段塞中的非均相调驱段塞的级数和段塞尺寸进行优化,研究设计三种段塞组合12种方式进行数模优化(表4)。

表4 非均相多段塞组合
Table 4 Heterogeneous slug combination

分类	前置段塞(PV)	主体段塞(PV)	后置段塞(PV)
不组合	0.05	0.4(P)	0.05
	0.05	0.4(PPG/P)	0.05
一次组合 (一级)	0.05	0.19(P)+0.02(PPG/P)+0.19(P)	0.05
	0.05	0.18(P)+0.04(PPG/P)+0.18(P)	0.05
	0.05	0.17(P)+0.06(PPG/P)+0.17(P)	0.05
	0.05	0.16(P)+0.08(PPG/P)+0.16(P)	0.05
	0.05	0.15(P)+0.10(PPG/P)+0.15(P)	0.05
二次组合 (二级)	0.05	0.13(P)+0.01(PPG/P)+0.13(P)+0.01(PPG/P)+0.12(P)	0.05
	0.05	0.12(P)+0.02(PPG/P)+0.12(P)+0.02(PPG/P)+0.12(P)	0.05
	0.05	0.12(P)+0.03(PPG/P)+0.11(P)+0.03(PPG/P)+0.11(P)	0.05
	0.05	0.11(P)+0.04(PPG/P)+0.11(P)+0.04(PPG/P)+0.10(P)	0.05
	0.05	0.10(P)+0.05(PPG/P)+0.10(P)+0.05(PPG/P)+0.10(P)	0.05

第一种方式:主体段塞为全过程聚合物驱和非均相驱;

第二种方式:设计以聚合物驱为主,在聚驱过程中加入一级不同尺寸段塞量的非均相驱;

第三种方式:设计以聚合物驱为主,在聚驱过程中加入二级不同尺寸段塞量的非均相驱。

数模优化结果显示(表5),一次组合驱加入非均相调驱段塞优于聚合物驱,二次组合驱提高采收率高于一次组合驱段塞和聚合驱,全过程非均相驱采收率增幅最高。

全过程非均相驱吨聚增油最低、综合指标偏低,聚合物驱采收率增幅、综合指标最低;随着段塞组合驱中非均相驱段塞量的增加采收率增幅增加,吨聚增油先增加后减小,综合指标对非均相驱段塞量的变化不敏感。

总体上当二级非均相段塞量增加到0.04PV时,采收率幅度减缓,吨聚增油、综合指标最高。

根据以上数值模拟研究结果,借鉴室内实验,已实施聚合物驱及非均相驱矿场试验研究,优选确定最终段塞结构为二级非均相段塞,段塞尺寸0.4PV,段塞结构:0.12PV(P)+0.02PV(PPG/P)+0.12PV(P)+0.02PV(PPG/P)+0.12PV(P)。

2.4 总体段塞优化结果

多级非均相段塞聚合物驱配方及段塞用量:

- 1) 总段塞:0.5PV。
- 2) 前置段塞:0.05PV非均相。
- 3) 主体段塞:0.4PV二次组合段塞,段塞结构为

表5 非均相多段塞组合提高采收率预测
Table 5 Prediction of enhanced oil recovery by heterogeneous multi-slug combination

主体段塞组合方式		累增油/ 10 ⁴ t	采收率 提高 百分点	干粉 用量/ t	吨聚 增油/ (t·t ⁻¹)	综合 指标
级数	尺寸(PV)					
不组合	聚合物驱	5.94	7.72	1 439	41.3	3.2
	非均相	7.38	9.71	2 138	34.9	3.4
一次组合 (一级)	0.02(非均相)	6.10	7.93	1 466	41.6	3.3
	0.04(非均相)	6.22	8.09	1 494	41.7	3.4
	0.06(非均相)	6.28	8.16	1 521	41.3	3.4
	0.08(非均相)	6.31	8.20	1 548	40.7	3.3
	0.10(非均相)	6.32	8.22	1 576	40.1	3.3
二次组合 (二级)	0.02(非均相)	6.21	8.08	1 466	42.4	3.4
	0.04(非均相)	6.34	8.25	1 494	42.5	3.5
	0.06(非均相)	6.40	8.32	1 521	42.1	3.5
	0.08(非均相)	6.43	8.36	1 548	41.5	3.5
	0.10(非均相)	6.44	8.38	1 576	40.9	3.4

注:综合指标= $\Delta\eta \times$ 换油率/100。

0.12PV(P) + 0.02PV(PPG/P) + 0.12PV(P) + 0.02PV(PPG/P) + 0.12PV(P)。

4) 后置段塞:0.05PV非均相。

5) 注入速度:0.11PV/a。

6) 注采比:1.0。

7) 配方体系:聚合物配方1 500 mg/L,非均相调驱体系配方1 200 mg/L聚合物+800 mg/LPPG。

8) 指标预测:控制地质储量 76.9×10^4 t,提高采收率8.25个百分点,增加可采储量 6.34×10^4 t。

3 现场应用

该研究成果已在王集油田王17块应用,设计注聚井12口,对应采油井26口,于2019年12月开始注入前缘非均相体系段塞,截至2020年7月底地层压力缓慢上升,由8.75 MPa增加到12.57 MPa,上升了3.82 MPa,注采比1.02;已有4口井见效,产量由35.5 t/d增加到51.4 t/d,采油速度由1.07%提高到2.23%,矿场效果达到预期,相对于连续注入,节约了黏弹颗粒驱油剂用量,提高了经济效益^[18-20],目前该成果已推广至下二门油田B238块聚合物驱提高采收率项目。

4 结论

1) 物模证实非均相驱油体系有较好的提高采

收率能力,提高采收率幅度大于聚合物驱,提高采收率主要贡献在低渗岩心,从结构上看,分级数越多,提高采收率越高。

2) 数模表明多级非均相段塞聚合物驱好于单纯的聚合物驱,随着段塞组合驱中非均相驱段塞量的增加采收率增幅增加,吨聚增油指标随着非均相驱段塞量的增加先增大后减小,综合指标对非均相驱段塞量的变化不敏感。

3) 现场非均相前缘段塞注入0.04PV,地层压力缓慢上升,采油速度由1.07%提高到2.23%,已有4口采油井见效,阶段累增油1 300 t,矿场效果达到预期,实现了加合增效。

参考文献

- [1] 孙焕泉,曹绪龙,李振泉,等.非均相复合驱油技术[M].北京:科学出版社,2016.
SUN H Q, CAO X L, LI Z Q, et al. The heterogeneous phase combination flooding used in enhanced oil recovery[M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [2] 曹绪龙.非均相复合驱油体系设计与性能评价[J].石油学报(石油加工),2013,29(1):115-121.
CAO X L. Design and performance evaluation on the heterogeneous combination flooding system[J]. Acta Petrolei Sinica(Petroleum Processing Section), 2013, 29(1): 115-121.
- [3] 孙焕泉.胜利油田三次采油技术的实践与认识[J].石油勘探与开发,2006,33(3):262-266.
SUN H Q. Practice and understanding of tertiary recovery in Shengli Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 262-266.
- [4] 任亭亭,宫厚健,桑茜,等.聚驱后B-PPG与HPAM非均相复合驱提高采收率技术[J].西安石油大学学报(自然科学版),2015,30(5):54-58.
REN T T, GONG H J, SANG Q, et al. Enhanced oil recovery by HPAM/B-PPG heterogeneous composite flooding after polymer flooding[J]. Journal of Xi'an Shiyu University (Natural Science Edition), 2015, 30(5): 54-58.
- [5] 侯健,吴德君,韦贝,等.非均相复合驱非连续相渗流特征及提高驱油效率机制[J].中国石油大学学报(自然科学版),2019,43(5):128-135.
HOU J, WU D J, WEI B, et al. Percolation characteristics of discontinuous phase and mechanisms of improving oil displacement efficiency in heterogeneous composite flooding[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2019, 43(5): 128-135.
- [6] 崔晓红.新型非均相复合驱油方法[J].石油学报,2011,32(1):122-126.
CUI X H. A study on the heterogeneous combination flooding system[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1): 122-126.
- [7] 陈晓彦.非均相驱油剂应用方法研究[J].石油钻采工艺,2009,31(5):85-88.
CHEN X Y. Method study for application of heterogeneous oil

- displacement agent[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2009, 31(5): 85-88.
- [8] 陈晓彦.非均相复合驱油体系驱替特征研究[J]. *精细石油化工进展*, 2009, 10(11): 1-4.
CHEN X Y. Study on displacement characteristics of new immiscible flooding system[J]. *Advances in Fine Petrochemicals*, 2009, 10(11): 1-4.
- [9] 刘煜.黏弹性颗粒驱油剂调驱性能的室内研究[J]. *承德石油高等专科学校学报*, 2013, 15(3): 5-9.
LIU Y. Flooding property of preformed particle gel[J]. *Journal of Chengde Petroleum College*, 2013, 15(3): 5-9.
- [10] 王健.化学驱物理化学渗流理论与应用[M].北京:石油工业出版社, 2008.
WANG J. Theory and application of physicochemical percolation in chemical flooding[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.
- [11] 李宗阳,王业飞,曹绪龙,等.新型耐温抗盐聚合物驱油体系设计评价及应用[J]. *油气地质与采收率*, 2019, 26(2): 106-112.
LI Z Y, WANG Y F, CAO X L, et al. Design evaluation and application of a novel temperature-resistant and salt-tolerant polymer flooding system[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2019, 26(2): 106-112.
- [12] 吴亚红,姜祖明,李振泉,等.黏弹性颗粒驱油剂的流变特性[J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(4): 87-92.
WU Y H, JIANG Z M, LI Z Q, et al. Rheological properties of branched-preformed particle gel[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(4): 87-92.
- [13] 孙焕泉,王涛,肖建洪,等.新型聚合物微球逐级深部调剖技术[J]. *油气地质与采收率*, 2006, 13(4): 77-79.
SUN H Q, WANG T, XIAO J H, et al. Novel technique of in-depth profile control step by step by polymer microspheres[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(4): 77-79.
- [14] 许洪星,蒲春生,许耀波.预交联凝胶颗粒调驱研究[J]. *科学技术与工程*, 2013, 13(1): 160-165.
XU H X, PU C S, XU Y B. Study on preformed particle gel for profile control and flooding[J]. *Science Technology and Engineering*, 2013, 13(1): 160-165.
- [15] 袁士义.聚合物地下交联调剖数学模型[J]. *石油学报*, 1991, 12(1): 49-59.
YUAN S Y. A mathematical model of high permeability channel blockage in a heterogeneous reservoir by in-situ polymer gelation process[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1991, 12(1): 49-59.
- [16] 曹伟东,戴涛,于金彪,等.非均相复合驱数值模拟方法研究与应用[J]. *石油与天然气地质*, 2016, 37(4): 606-611.
CAO W D, DAI T, YU J B, et al. A numerical simulation method of heterogeneous combination flooding[J]. *Oil & Gas Geology*, 2016, 37(4): 606-611.
- [17] 孙焕泉.聚合物驱后井网调整与非均相复合驱先导试验方案及矿场应用:以孤岛油田中一区Ng3单元为例[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(2): 1-4.
SUN H Q. Application of pilot test for well pattern adjusting heterogeneous combination flooding after polymer flooding-case of Zhongyiqu Ng3 block, Gudao oilfield[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(2): 1-4.
- [18] 张贤松,郭兰磊,屈智坚,等.孤岛油田中一区聚合物驱先导试验效果评价及驱油特征[J]. *石油勘探与开发*, 1996, 23(6): 54-57.
ZHANG X S, GUO L L, QU Z J, et al. The effectiveness evaluation and displacement characteristics analysis of polymer flooding pilot test in Zhong-1 unit of Gudao oil field[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1996, 23(6): 54-57.
- [19] 姜颜波.聚合物驱后油藏井网重组与化学驱复合增效技术[J]. *石油地质与工程*, 2014, 28(1): 91-93.
JIANG Y B. Compound efficiency enhancement technology of well pattern reorganization and chemical flooding after polymer flooding[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2014, 28(1): 91-93.
- [20] 隋军,廖广志,牛金刚.大庆油田聚合物驱油动态特征及驱油效果影响因素分析[J]. *大庆石油地质与开发*, 1999, 18(5): 17-20.
SUI J, LIAO G Z, NIU J G. Dynamic performance and interference factor analysis of oil displacement result in polymer flooding of Daqing Oilfield[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 1999, 18(5): 17-20.

(编辑 王隽)