

◀油气开发▶

doi:10.11911/syztjs.2019127

古城油田 B125 区块稠油油藏 超高分子量聚合物驱技术

陶光辉¹, 束华东², 刘 斌²

(1. 中国石化河南油田分公司, 河南南阳 473132; 2. 中国石化河南油田分公司勘探开发研究院, 河南南阳 473132)

摘 要: 古城油田 B125 区块普通稠油油藏储层非均质性严重, 原油平均黏度达 1 000 mPa·s 以上, 进一步提高采收率难度大。为此, 通过增黏性、流变性和驱油试验, 评价了超高分子量聚合物提高普通稠油采收率的技术优势, 考察了含硫污水对聚合物溶液性能的影响。试验表明, 超高分子量聚合物增黏性优越, 相同质量浓度下较常规聚合物溶液黏度高 40% 以上; 黏弹性强, 相同黏度下较常规聚合物采收率提高 3.4 个百分点以上; 含硫污水会造成聚合物溶液黏度降低 10% 以上、弹性明显减弱和采收率提高幅度降低 3.0 百分点。B125 区块部署注聚井 22 口, 截至 2018 年底, 累计注入 0.22 倍孔隙体积的聚合物溶液, 注入压力上升 3.5 MPa, 日产油量增加 45.0 t, 含水率降低 9.0 百分点, 累计增产油量 1.84×10^4 t, 阶段采收率提高 1.19 百分点。研究与应用表明, 超高分子量聚合物驱技术可以大幅提高较高黏度普通稠油油藏的采收率。

关键词: 聚合物驱; 提高采收率; 超高分子量; 普通稠油; 古城油田

中图分类号: TE357.46⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2020)01-0066-06

Ultra-High Molecular Weight Polymer Flooding Technology for Heavy Oil Reservoirs in Block B125 of the Gucheng Oilfield

TAO Guanghui¹, SHU Huadong², LIU Bin²

(1. Sinopec Henan Oilfield Company, Nanyang, Henan, 473132, China; 2. Exploration and Development Research Institute, Sinopec Henan Oilfield Company, Nanyang, Henan, 473132, China)

Abstract: Common heavy oil reservoir in Block B125 of the Gucheng Oilfield shows strong heterogeneity, and the average crude oil viscosity is above 1 000 mPa·s, which makes it more difficult to further improve oil recovery rate. Technical advantages of ultra-high molecular weight polymer in enhancing the recovery factor of common heavy oil were evaluated through viscosity, rheology and oil displacement tests. The effect of sulfur-containing sewage on the performance of polymer solution was investigated. The tests show that ultra-high molecular weight polymer has a superior viscosity increasing property, and the viscosity is more than 40% higher than that of conventional polymers at the same mass concentration, and its recovery factor is 3.4 percentage points higher than that of the conventional polymers with the same viscosity. Sulphur-containing sewage will reduce the viscosity of polymer solution over 10%, the recovery factor can be decreased by 3.0 percentage points, and elasticity will be significantly weakened. A total of 22 polymer injection wells were deployed in Block B125. By the end of 2018, a total of 0.22 PV of polymer solution was injected, and the injection pressure increased 3.5 MPa. The daily oil production rate increment was 45.0 tons and the cumulative oil production increment reached 1.84×10^4 t, while water cut was decreased by 9.0 percentage points and EOR was increased by 1.19 percentage points in this stage. The research demonstrates that the ultra-high molecular weight polymer flooding technology can bring a largely increased EOR of high viscosity common heavy oil reservoirs, and it can provide a new technical route and on-site basis for enhancing oil recovery in this type of reservoirs.

Key words: polymer flooding; enhanced oil recovery; ultra-high molecular weight; common heavy oil; Gucheng Oilfield

古城油田 B125 区块属于特薄互层普通稠油油藏, 油藏温度 41 ℃, 平均原油黏度达 1 000 mPa·s 以上, 已经历了天然能量开发、井组蒸汽吞吐和水驱开发等阶段。由于地下原油黏度高、储层渗透率级差大和物性非均质严重, 水驱开发效果差, 目前综

收稿日期: 2019-03-14; 改回日期: 2019-10-15。

作者简介: 陶光辉(1963—), 男, 河南滑县人, 1981 年毕业于重庆石油学校石油工程专业, 高级工程师, 主要从事油田开发管理工作。E-mail: taogh_hn@163.com。

基金项目: 中国石化“十条龙”科技攻关项目“三次采油耐温聚合物工业应用试验”资助。

合含水率达到 89.3%。

近些年, 化学驱提高普通稠油采收率技术得到广泛关注^[1-3], 但根据以往的研究, 聚合物驱技术不适用于原油黏度大于 200 mPa·s 的稠油油藏。胜坨油田普通稠油油藏聚合物驱先导试验证明, 原油黏度为 50~2 000 mPa·s 的稠油油藏进行聚合物驱, 可以取得良好的增油效果和经济效益^[4]。由于普通稠油黏度较高, 需要提高聚合物溶液质量浓度, 才能有效改善流度比, 实现采收率的大幅度提高。但受目前低油价和生产成本的影响, 如聚合物溶液中聚合物的质量浓度过高难以实现经济开发, 从而限制了聚合物驱技术在普通稠油油藏的应用。因此, 选择增黏性强、性能优越的聚合物, 获得聚合物质量浓度低、黏度高的聚合物溶液, 是普通稠油油藏应用聚合物驱技术的关键^[5-7]。

笔者研究了聚合物的增黏性、聚合物溶液的流变性及其驱油效率, 分析了超高分子量聚合物的技术优势和油田污水对聚合物溶液黏度和弹性的影响, 评价了超高分子量聚合物的实际应用性能, 形成了适用于提高普通稠油油藏采收率的超高分子量聚合物驱技术, 现场应用取得了良好的降水增油效果。

1 超高分子量聚合物驱技术思路

聚合物驱技术主要依靠增大驱替相黏度、降低原油与驱替相的流度比, 来扩大波及体积, 从而提高原油采收率。采用古城油田 B125 区块原油和黏度不同的驱油体系, 进行了系列驱油试验, 得到了不同黏度驱油体系的采收率提高幅度, 并据此绘制

了流度比与采收率提高幅度的关系曲线, 如图 1 所示。从图 1 可以看出, 对于黏度为 1 000 mPa·s 的 B125 区块普通稠油, 要大幅度提高采收率, 需要控制原油与驱替相的流度比小于 8.0, 即驱替相黏度需要大于 130 mPa·s。

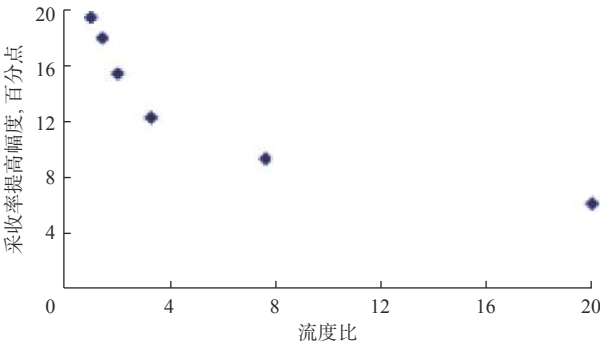


图 1 原油和驱替相流度比与提高采收率的关系

Fig.1 Relationship between fluidity ratio and EOR

对于驱油用聚合物, 在配制用水和油藏温度相同的条件下, 聚合物溶液的黏度是由聚合物自身相对分子质量决定的, 聚合物的相对分子质量越高, 其水溶液黏度越大。选择高相对分子质量的聚合物, 可以在聚合物质量浓度较低的情况下获得更高黏度的驱油体系, 从而降低聚合物用量、提高驱油效率。

2 聚合物优选

2.1 试验材料及仪器设备

试验用聚合物为超高分子量聚合物 CG-II、常规聚合物 P-I 和 Z-I, 基本性能参数见表 1。

表 1 聚合物的基本性能参数

Table 1 Basic performance parameters of polymer products

聚合物	类型	固相含量, %	相对分子质量/ 10^4	水解度, %	溶解时间/min	不溶物含量, %	过滤因子
CG-II	超高分子量	89.03	3 370	29.5	≤ 120	0.01	1.12
P-I	常规	90.40	2 200	24.6	≤ 120	0.10	1.10
Z-I	常规	90.82	2 067	24.5	≤ 120	0.12	1.06

试验用水为古城油田注入污水, 其中除硫污水为注入水经过曝氧处理后采用双层滤纸过滤, 总矿化度 4 312.5 mg/L, $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ 含量 39.9 mg/L; 含硫污水为新鲜污水, 为避免空气渗入, 选择在密闭状态下取用, 含硫量 12.0 mg/L。试验用油为该区块多口油井等比例混合原油, 41 ℃ 下的黏度为 1 300 mPa·s; 柱状人造岩心的长度 10.0 cm, 直径 2.5 cm, 渗透率 1 600 mD; 测试温度为 41 ℃。

使用 Brookfield 黏度计, 选择 0 号转子, 在 6 r/min 转速下测试聚合物溶液的黏度; 使用 HAAKE MARS III 流变仪检测聚合物溶液的流变性; 使用 PET-1/2 多功能聚合物检测系统测试聚合物的相对分子质量。利用 OW-III 型全自动岩心驱替装置进行驱油试验。

2.2 技术优势

由表 1 可见, 聚合物 CG-II 最显著的特点是平均相对分子质量较高, 达 3 300 万以上, 其他参数与

常规聚合物相似。聚合物溶液的黏度-质量浓度关系曲线如图2所示,由图2可以看出,超高分子量聚合物CG-II的增黏性好,在质量浓度相同的情况下,其溶液的黏度比常规聚合物溶液高40%以上。

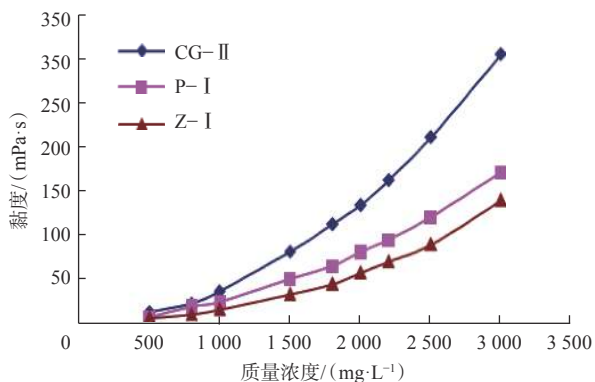


图2 聚合物溶液黏度-质量浓度关系

Fig.2 The relationship between polymer solution viscosity-mass concentration

超高分子量聚合物质量浓度为2 000 mg/L时的黏度为135.5 mPa·s,可以满足原油与驱替相流度比小于8.0的要求,而其他2种聚合物质量浓度达到2 500 mg/L以上才能满足该要求。由此可见,超高分子量聚合物用量比常规聚合物低20%以上。

聚合物溶液的黏弹性高,可以提高驱油效率^[8-9],第一法向应力差和储能模量是表征聚合物溶液弹性性能的重要参数,通过试验考察了超高分子量聚合物和常规聚合物的弹性性能。上述3种聚合物在2 000 mg/L质量浓度下的第一法向应力差和储能模量测试结果如图3、图4所示。从图3、图4可以看出,在质量浓度相同的情况下,超高分子量聚合物的第一法向应力差和储能模量均比常规聚合物高,表明其在地下渗流过程中可以对原油产生更高的驱动力,驱油效率更高。

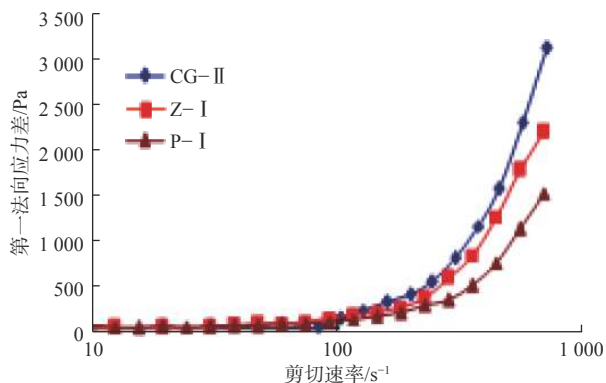


图3 不同聚合物溶液的第一法向应力差

Fig.3 First normal stress difference of polymer solution

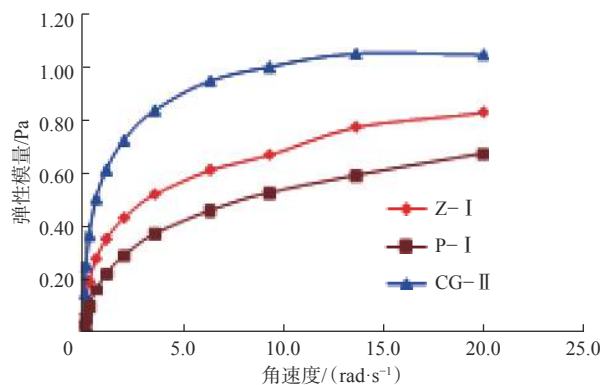


图4 不同聚合物溶液的储能模量

Fig.4 Storage modulus of polymer solution

以上试验表明,超高分子量聚合物与常规聚合物相比具备较大的技术优势,在相同试验条件下,超高分子量聚合物黏度更高,弹性更好。徐辉等人^[10-11]分析了聚合物溶液的微观结构,结果表明,聚合物相对分子质量越高,其在水溶液中分子间形成的网络结构越致密,增黏性越好,黏弹性越高,驱油效率也越高。

3 聚合物应用性能评价

现场实际应用聚合物驱油时,配制聚合物溶液用水中的离子会对聚合物溶液性能的影响较大。为此,考察了不同配液用水对聚合物溶液性能的影响,同时通过驱油试验评价了不同聚合物溶液的驱油性能和不同水配制聚合物溶液的驱油性能,分析了超高分子量聚合物的实际应用性能。

3.1 现场污水对聚合物性能的影响

基于保护水资源和环境的要求,油田开发产生的污水要回注。使用回注污水配制聚合物溶液,可以有效节约生产用水,降低生产成本。而油田污水中的硫离子会对聚合物溶液性能产生较大影响。B125区块新鲜污水硫含量较高(12.0 mg/L),通过试验考察了含硫污水对聚合物溶液性能的影响。为了保证聚合物基液黏度的稳定性,先采用除硫污水配制聚合物基液,再分别使用除硫污水和含硫污水进行稀释,使其质量浓度满足要求。

使用含硫污水和除硫污水配制的聚合物溶液的黏度-质量浓度关系曲线如图5所示。从图5可以看出,使用含硫污水配制聚合物溶液,会造成聚合物的增黏性能大幅下降。相同质量浓度下,含硫污水配制的聚合物溶液,其黏度比除硫污水配制的聚合物溶液低10%以上。

除硫污水和含硫污水配制的聚合物溶液的第一

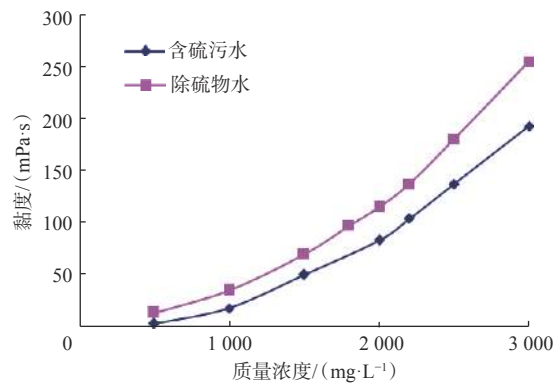


图 5 不同水配制的聚合物溶液的黏度-质量浓度关系曲线
Fig. 5 Viscosity-mass concentration relationship of polymer solution under different water-configured conditions

法向应力差如图 6 所示。从图 6 可以看出,含硫污水配制的聚合物溶液的第一法向应力差与除硫污水配制的聚合物溶液相比降低幅度较大,含硫污水配制的质量浓度为 2 500 mg/L 的聚合物溶液,其第一法向应力差低于除硫污水配制的质量浓度为 2 000 mg/L 的聚合物溶液。

上述试验证明,含硫污水不仅使聚合物溶液黏度降低,同时会对聚合物溶液的弹性产生较大影响^[12],从而会导致聚合物溶液驱油效率降低。因此,应用聚合物驱技术时,为保证驱油效果,应对配制聚合物溶液的污水进行脱硫处理。

3.2 驱油试验

使用人造均质岩心进行驱油试验,分别考察了超高分子量聚合物、常规聚合物的驱油效率,以及使用含硫污水配制的超高分子量聚合溶液的驱油效率。

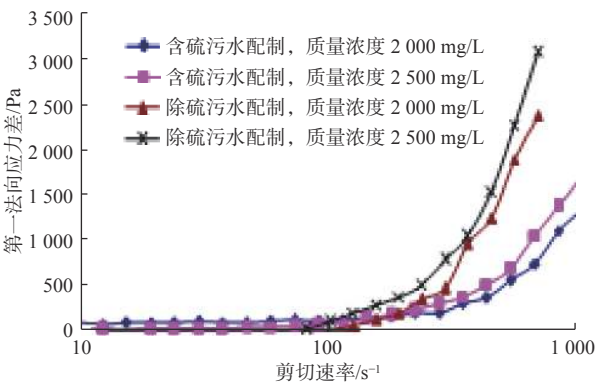


图 6 不同水配制的聚合物溶液的第一法向应力差
Fig. 6 First normal stress difference of polymer solution under different water-configured conditions

试验步骤为:1)岩心两端及侧面磨平,测量岩心长度、直径,烘干、冷却,室温下饱和水,测定孔隙体积及孔隙度;2)在 41 ℃ 温度下用 B125 区块采出的原油饱和岩心,控制原始含油饱和度在 70% 左右;3)以 30 mL/h 的流速注入过滤的 B125 区块污水进行驱油,记录压力、产油量及产水量,驱至无油产出为止;4)以 30 mL/h 的流速注入聚合物段塞,记录压力、产油量及产水量;以 30 mL/h 的流速注入 B125 区块污水进行驱油,记录压力、产油量及产水量,后续水驱至无油产出后结束。不同聚合物、不同配制水、不同注入量下的驱油试验结果见表 2。

从表 2 可以看出,超高分子量聚合物 CG-Ⅱ 的驱油效率较高,水驱后采收率提高幅度较大。聚合物质量浓度为 2 500 mg/L、注入量为 0.6 倍孔隙体积时,采收率提高幅度可达 20.0 个百分点以上。

注入聚合物质量浓度均为 2 200 mg/L 时,CG-Ⅱ 聚合物注入量为 0.5 倍孔隙体积,采收率提高 15.44

表 2 岩心驱油试验结果
Table 2 Results of a core flooding test

聚合物	配制水	质量浓度/(mg·L ⁻¹)	黏度/(mPa·s)	注入量/倍孔隙体积	水驱采收率, %	最终采收率, %	采收率提高幅度, 百分点
CG-Ⅱ	除硫污水	2 000	135.0	0.5	41.66	52.80	11.14
CG-Ⅱ	除硫污水	2 200	167.0	0.5	41.39	56.83	15.44
CG-Ⅱ	除硫污水	2 500	213.0	0.5	40.00	56.67	16.67
CG-Ⅱ	除硫污水	2 000	135.0	0.6	41.59	59.29	17.70
CG-Ⅱ	除硫污水	2 500	213.0	0.6	37.78	58.89	21.11
P-I	除硫污水	2 200	94.0	0.6	36.61	45.81	9.20
P-I	除硫污水	3 000	169.0	0.6	35.61	47.68	12.07
CG-Ⅱ	含硫污水	2 200	118.2	0.5	41.25	54.20	12.95
CG-Ⅱ	含硫污水	2 500	130.4	0.5	39.72	53.45	13.73

百分点; P-I 注入量为 0.6 倍孔隙体积, 采收率提高 9.2 百分点。在超高分子量聚合物段塞量较小的情况下, 其采收率提高幅度仍比常规聚合物高 6.0 百分点以上, 体现了超高分子量聚合物在增黏方面的优势。

另外, 质量浓度 3 000 mg/L 的聚合物 P-I 溶液的黏度为 169.0 mPa·s, 质量浓度 2 200 mg/L 的超高分子量聚合物 CG-II 溶液的黏度为 167.0 mPa·s, 二者黏度相当, 前者注入量为 0.6 倍孔隙体积时采收率提高 12.07 百分点, 后者在注入量为 0.5 倍孔隙体积时采收率提高 15.44 百分点, 二者相差 3.37 百分点。试验结果表明, 在相同黏度条件下, 超高分子量聚合物 CG-II 具有更强的黏弹性, 因而驱油效率更高^[13-15]。

含硫污水配制的超高分子量聚合物溶液由于黏度、弹性均较除硫污水配制条件下有所降低, 所以其采收率提高幅度也有一定程度降低。在相同注入量和质量浓度下, 采用含硫污水配制超高分子量聚合物溶液比采用除硫污水配制, 其采收率提高幅度要低 3.0 个百分点左右。

4 现场应用

古城油田 B125 区块主力层为 V_{2-5} 层, 含油面积 1.12 km², 地质储量 221.0×10⁴ t; 储层平均孔隙度为 28.5%, 平均渗透率为 1 606 mD, 平均原油黏度为 1 000 mPa·s。该区块剩余油饱和度 56.1%, 区块采出程度仅为 17.87%, 剩余储量丰富, 聚合物驱前综合含水率为 94.0%。

该区块于 2015 年 8 月选取 4 口注入井试注超高分子量聚合物 CG-II, 结果表明超高分子量聚合物注入性良好, 试注单元取得良好的降水增油效果。2017 年 4 月 B125 区块 V_{2-5} 层系开始注聚合物, 部署注聚合物井 22 口, 对应采油井 41 口, 平均注采井距 136 m, 控制地质储量 155.2×10⁴ t; 注入速度为 0.12 倍孔隙体积/年, 注采比 1.05, 注入质量浓度 2 500 mg/L、0.05 倍孔隙体积聚合物溶液作为前缘聚合物段塞, 注入质量浓度 2 200 mg/L、0.55 倍孔隙体积聚合物溶液作为主体聚合物段塞, 使用除硫污水配制聚合物溶液。

从注入井动态上看, 聚合物溶液注入量不足 0.01 倍孔隙体积时, 注入压力快速上升; 然后进入注入压力缓慢上升期, 单元平均注入压力由注水时期的 5.1 MPa 上升至 8.6 MPa, 压力增大 3.5 MPa, 超高分子量聚合物注入性良好^[16]。

截至 2018 年底, B125 区块油井开井 35 口, 见效井 27 口, 油井见效率 65.9%; 综合含水率下降 9.0 百分点, 单元日产油量上升 45.0 t (见图 7)。该区块累计聚合物驱增油量 1.84×10⁴ t, 单位质量聚合物增油量 14.4 t/t, 阶段采收率提高 1.19 百分点。其中, 中心井 G44051 井日产油量由注聚合物前的 1.8 t 提高至 11.0 t, 日增油 9.2 t, 含水率由 94.0% 降至 58.0%, 降低 36.0 百分点; 中心井 G4605 井日产油量由 2.1 t 上升至 12.0 t, 日增油 9.3 t, 含水率由 86.8% 降至 32.0%, 降低 54.8 百分点。

综合分析现场应用情况, 超高分子量聚合物注入性良好, 注入压力平稳上升, 单元日产油量上升,

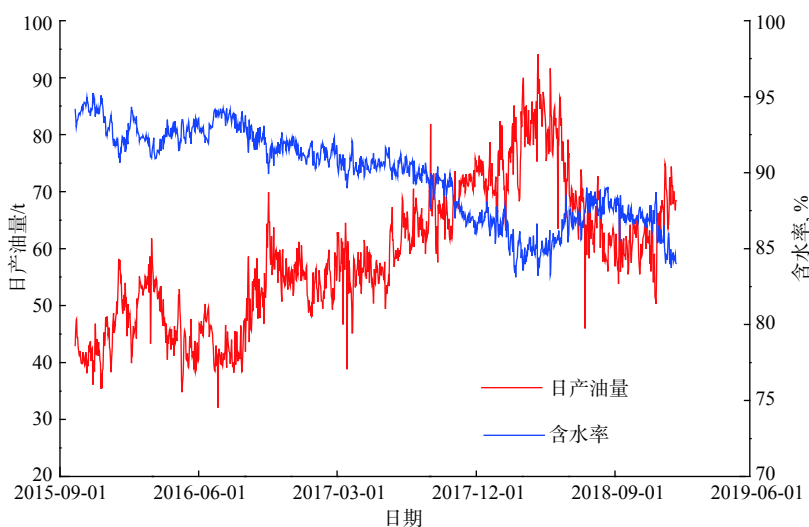


图 7 B125 区块超高分子量聚合物驱生产曲线

Fig.7 Ultra-high molecular weight polymer flooding production curves in Block B125

含水率降低, 驱油效果良好。

5 结论与建议

1) 超高分子量聚合物与常规聚合物相比, 具有相同质量浓度下黏度更高、弹性更强和相同黏度下驱油效率更高的优势, 可以减小聚合物用量、降低聚合物驱成本。

2) 含硫污水配制聚合物溶液会造成聚合物溶液黏度降低、弹性性能变差, 降低聚合物溶液的驱油效率和采收率提高幅度。应用聚合物驱技术时, 建议使用除硫污水配制聚合物溶液, 以保证聚合物驱油效果。

3) 超高分子量聚合物驱在古城油田B125区块应用效果良好, 为超高分子量聚合物驱提高普通稠油采收率提供了成功的经验, 建议在类似区块推广应用。

参考文献

References

- [1] 丁保东, 张贵才, 葛际江, 等. 普通稠油化学驱的研究进展[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2011, 26(3): 52-58.
DING Baodong, ZHANG Guicai, GE Jijiang, et al. Research progress in the chemical flooding of conventional heavy oil[J]. Journal of Xi'an Shiyu University(Natural Science Edition), 2011, 26(3): 52-58.
- [2] 裴海华, 张贵才, 葛际江, 等. 化学驱提高普通稠油采收率的研究进展[J]. 油田化学, 2010, 27(3): 350-356.
PEI Haihua, ZHANG Guicai, GE Jijiang, et al. Advance in enhanced ordinary heavy oil recovery by chemical flooding[J]. Oil-field Chemistry, 2010, 27(3): 350-356.
- [3] 蒋平, 葛际江, 张贵才, 等. 稠油油藏化学驱采收率的影响因素[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2011, 35(2): 166-171.
JIANG Ping, GE Jijiang, ZHANG Guicai, et al. Influence factor on oil recovery efficiency for chemical flooding of heavy oil reservoir[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2011, 35(2): 166-171.
- [4] 周远彬, 卢建平, 李勇强, 等. 胜坨油田普通稠油油藏聚合物驱试验效果评价[J]. 河南石油, 2004, 18(2): 29-31.
ZHOU Yuanbin, LU Jianping, LI Yongqiang, et al. Evaluation of polymer flooding pilot in ordinary heavy oil reservoirs in Shengtu Oilfield[J]. Henan Petroleum, 2004, 18(2): 29-31.
- [5] 石静, 曹绪龙, 王红艳, 等. 胜利油田高温高盐稠油油藏复合驱技术[J]. 特种油气藏, 2018, 25(4): 129-133.
SHI Jing, CAO Xulong, WANG Hongyan, et al. Combination flooding technology used in high-temperature, high-salinity heavy oil reservoirs of Shengli Oilfield[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2018, 25(4): 129-133.
- [6] 刘东, 胡廷惠, 潘广明, 等. 稠油油藏弱凝胶调驱增油预测模型研究[J]. 特种油气藏, 2018, 25(4): 103-108.
LIU Dong, HU Tinghui, PAN Guangming, et al. Forecasting model for profile control and eor in heavy oil reservoirs by using weak gel[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2018, 25(4): 103-108.
- [7] 刘义坤, 王福林, 隋新光. 高浓度聚合物驱提高采收率方法理论研究[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(6): 67-70.
LIU Yikun, WANG Fulin, SUI Xinguang. Theory research on EOR method of high concentration polymer flooding[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(6): 67-70.
- [8] 王德民, 程杰成, 杨清彦. 粘弹性聚合物溶液能够提高岩心的微观驱油效率[J]. 石油学报, 2000, 21(5): 45-51.
WANG Demin, CHENG Jiecheng, YANG Qingyan. Viscous-elastic polymer can increase micro-scale displacement efficiency in cores[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(5): 45-51.
- [9] 夏惠芬, 孔凡顺, 吴军政, 等. 聚合物溶液的粘弹效应对驱油效率的作用[J]. 大庆石油学院学报, 2004, 28(6): 29-31.
XIA Huifen, KONG Fanshun, WU Junzheng, et al. The effect of elastic behavior of HPAM solution on displacement efficiency[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2004, 28(6): 29-31.
- [10] 徐辉, 孙秀芝, 韩玉贵, 等. 超高分子量聚合物性能评价及微观结构研究[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(3): 114-118.
XU Hui, SUN Xiuzhi, HAN Yugui, et al. Performance evaluation and microstructure study of ultra high molecular weight polymer[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(3): 114-118.
- [11] 徐辉. 超高分子量聚合物溶液特性及驱油效果研究[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(2): 78-83.
XU Hui. Solution characteristics and oil displacement efficiency of an ultrahigh molecular weight association polymer[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(2): 78-83.
- [12] 袁敏, 贾忠伟, 袁纯玉. 聚合物溶液粘弹性影响因素研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(5): 74-76.
YUAN Min, JIA Zhongwei, YUAN Chunyu. Research on influential factors to viscoelasticity of polymer solution[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(5): 74-76.
- [13] 宋考平, 杨二龙, 王锦梅, 等. 聚合物驱提高驱油效率机理及驱油效果分析[J]. 石油学报, 2004, 25(3): 71-74.
SONG Kaoping, YANG Erlong, WANG Jinmei, et al. Mechanism of enhancing oil displacement efficiency by polymer flooding and driving effectiveness analysis[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 71-74.
- [14] 王雨, 宋考平, 唐放. 预测聚合物驱油田产量的两种方法的对比[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(2): 70-73.
WANG Yu, SONG Kaoping, TANG Fang. The comparison between two methods of predicting oil production in polymer-flooding oilfields[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(2): 70-73.
- [15] 刘洪兵, 周正祥, 廖广志. 高相对分子量聚合物驱油效果影响因素分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(6): 48-50.
LIU Hongbing, ZHOU Zhengxiang, LIAO Guangzhi. Affecting factors of displacement effects of high molecular weight polymer[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2002, 21(6): 48-50.
- [16] 王旭东, 张健, 康晓东, 等. 稠油油藏水平井聚合物驱注入能力影响因素[J]. 断块油气田, 2017, 24(1): 87-90.
WANG Xudong, ZHANG Jian, KANG Xiaodong, et al. Influence factors on horizontal well injectivity of polymer flooding in heavy oil reservoir[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(1): 87-90.

[编辑 滕春鸣]