

文章编号: 0253—9985(2009)06—0797—04

高温油藏条件下聚合物驱油效率实验 ——以泌阳凹陷双河油田为例

韩 杰¹, 张丽庆², 周永强², 汤达祯¹

(1. 中国地质大学 能源学院 北京 100083

2 中国石油化工股份有限公司 河南油田分公司 勘探开发研究院 河南 南阳 473132)

摘要: 针对泌阳凹陷双河 V_F 区块高温 (84.3°C) 低渗透的油藏条件, 选取不同水解度的聚合物 1630 和 ZL— I 进行驱油效率实验。通过不同浓度聚合物对驱油效率的影响实验发现, 高浓度聚合物由于具有较高的粘弹性, 驱油效率明显高于低浓度聚合物, 但考虑到经济因素, 建议注入浓度为 $1\ 600\sim 2\ 000\ \text{mg/L}$ 。不同段塞尺寸驱替实验说明, 注入大段塞聚合物比注入低段塞驱油效率更高, 但超过 $0.5\ \text{PV}$ 时驱油效率提高缓慢, 故段塞尺寸为 $0.4\sim 0.5\ \text{PV}$ 。由聚合物老化前、后对比驱油实验得出, 低水解度聚合物 1630 更适合此高温油藏条件。

关键词: 浓度; 水解度; 段塞尺寸; 驱油效率; 高温油藏; 泌阳凹陷

中图分类号: TE357.4 **文献标识码:** A

An experimental study of displacement efficiency of polymer flooding under high temperature reservoir conditions: an example from Shuanghe oilfield in the Biyang Sag

Han Jié, Zhang Lili, Zhou Yongqiang, Tang Dazhen

(1. School of Energy Resources China University of Geology Beijing 100083, China; 2. Research Institute of
Petroleum Exploration and Development SINOPEC Henan Oilfield Company Nanyang Henan 473132, China)

Abstract: According to the characteristics of high temperature (84.3°C) and low permeability of reservoirs in the Shuanghe V_F block of the Biyang Sag, polymers 1630s and ZL— I with different degrees of hydrolysis are selected for an experiment on oil displacement efficiency. Thanks to its high viscoelasticity, displacement efficiency of high concentration polymers is obviously higher than that of low concentration polymers. However, considering the cost, polymers of $1\ 600\sim 2\ 000\ \text{mg/L}$ is proposed for use. An additional experiment on displacement efficiency of different slug sizes is conducted too. The results show that the displacement efficiency of bigger polymer slug is higher than that of smaller polymer slug. However, the incremental displacement efficiency is insignificant when the slug size exceeds $0.5\ \text{PV}$. Therefore, the suggested size of slug should be between $0.4\ \text{PV}$ and $0.5\ \text{PV}$. Comparing the experiment results before and after the maturing of the polymers, we find that polymer 1630s with low degree of hydrolysis is more favorable for this high-temperature reservoir.

Key words: concentration; degree of hydrolysis; slug size; oil displacement efficiency; high-temperature reservoir; Biyang Sag

泌阳凹陷双河油田 V_F 区块属三类储量, 油层温度 84.3°C , 非均质性严重。在双河油田 V_F 区块开展聚合物驱^[1,2], 是目前国内油层温度较高的聚合物驱区块之一, 技术难度大, 具有创新的价

值。笔者通过考查聚合物的物性参数如分子量、水解度等指标, 及通过考查聚合物的热稳定性, 选取了聚合物 1630 和 ZL— I 进行驱油效率实验^[1~11], 从而选取适合高温油藏的聚合物, 更有

收稿日期: 2009—07—13

第一作者简介: 韩杰 (1974—), 女, 博士研究生, 石油地质、油气田开发。

效、更经济地开发和利用石油矿产资源。

驱油效率试验是室内评价化学驱方法和体系性能的一个重要环节。它通过在实验室模拟地层条件(包括地层实际温度、压力、渗透率、含油饱和度等)对筛选配方进行实验,进一步优化配方,制定合适的注入方案。本次实验针对两种聚合物不同浓度、不同段塞尺寸以及老化前后对采收率的作用进行研究,从而选择出一种最适合该区块的聚合物,以及其注入参数。

1 实验方法

1.1 实验条件

岩心模型:人造均质短岩心 $\phi 2.5\text{ cm}\times 10\text{ cm}$
岩心渗透率: $500\times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$
驱替速度: 30 mL/h
实验温度: 80°C

实验用水:岩心饱和用水、水驱注入水和配制聚合物溶液的水均为矿化度为 $8\text{ }730\text{ mg/L}$ 的并用 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 滤膜过滤的江河污水(表 1)。

模拟原油:为双河油田 V₆ 区块原油和煤油混合配制, 80°C 下原油粘度 $2.6\text{ mPa}\cdot\text{s}$

1.2 主要试剂

1630,S分子量 $2\text{ }200\times 10^4$,水解度 16.7% ;
ZL-1分子量 $2\text{ }300\times 10^4$,水解度 22.8% 。

1.3 驱替装置

设备:恒速驱替泵(Quizix高精度泵、RUSKA泵)、部分液体自动收集器、油水分离器、高温岩心物模流动实验流程装置、压力表(压力传感器)、岩心夹持器、保温箱、中间容器、不锈钢管线和阀门等。

2 实验结果与讨论

2.1 不同浓度聚合物对提高采收率的作用

实验方法:岩心抽空—饱和水—饱和油—水驱至 100% ,分别转注 $400\text{ }800\text{ }1\text{ }200\text{ }1\text{ }600\text{ }2\text{ }000\text{ mg/L}$ 的聚合物 0.4 PV 水驱至含水 100% 。

图 1是两种不同浓度聚合物提高采收率值的关系曲线。从实验中可以发现,随着聚合物质量浓度的增加,提高采收率幅度也迅速增加,当聚合物浓度高于 $1\text{ }600\text{ mg/L}$ 时,采收率提高幅度是减

表 1 江河水的离子组分
Table 1 Ion composition of polluted water from rivers

组分离子	Na ⁺ + K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TDS
组分含量 / (mg·L ⁻¹)	2 485	41	7	3 114	1 798	1 285	8 730

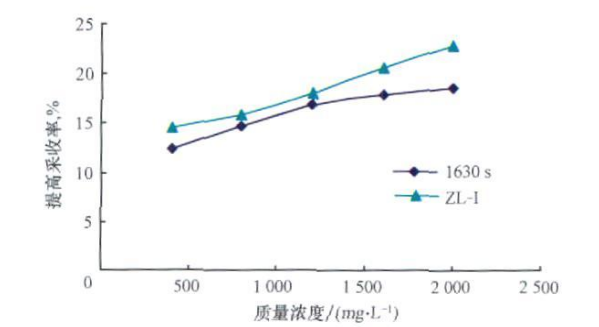


图 1 聚合物浓度与采收率的关系
Fig. 1 Concentration of two polymers vs. enhanced oil recovery

缓的,这说明浓度增加非常有利于驱油效率的提高。王德民^[1-2]等人认为,高浓度聚合物的粘弹性不仅扩大了波及体积,也提高了驱油效率,对提高采收率的影响较大。驱动水驱后残余油的力不是垂直于油水界面的推力,而是聚合物靠“拉、拽”作用从油水界面上拉出的油丝能够形成稳定的油丝流动通道,从而把油丝不断拉出。拉力的大小应与聚合物的种类、分子大小及缠绕程度有关。聚合物分子缠结越严重,它在岩心中的流动阻力越大。当聚合物浓度增加时,缠结程度也加强,因此驱油效率也得以提高。但从考虑经济效益上来说,单靠提高聚合物浓度来提高采收率是不可取的,要有一个合理的聚合物浓度范围。从图 1看出,聚合物浓度在 $1\text{ }600\sim 2\text{ }000\text{ mg/L}$ 时出现了拐点,因此建议聚合物浓度范围在 $1\text{ }600\sim 2\text{ }000\text{ mg/L}$ 。从图 1还可以看出,同等条件下 ZL-1 的驱油效率比 1630 的高,这是由于聚驱过程比较短,不足以进行充分水解,因此 ZL-1 的水解度和粘度都比 1630 高,故其驱油效率也比 1630 高。

2.2 老化前、后聚合物对驱油效率的影响

实验方法:将两种聚合物(质量浓度均为 $1\text{ }600\text{ mg/L}$)抽空除氧后放置在 85°C 烘箱中老化 90天后取出,进行驱油效率实验,并与未经过高温老化的样品进行驱油实验对比。

从图 2图 3图 4及表 2中可以看出:转注聚合物以后,含水率下降,采收率和压力都相应增大,

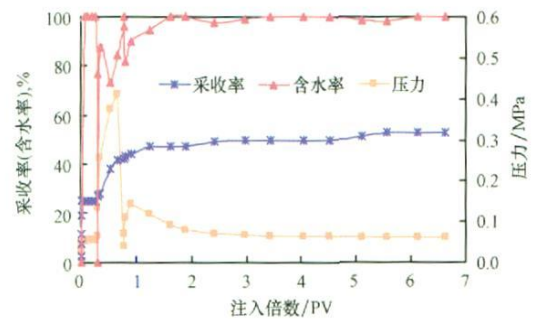


图 2 1630s 老化后的采收率-含水率-压力曲线

Fig. 2 Recovery ratio-water cut-pressure curves of mature polymer 1630s

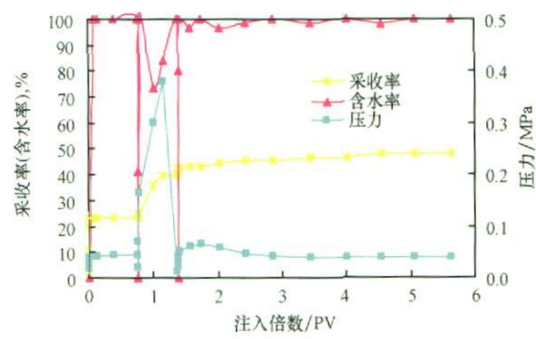


图 3 ZL-1 老化后的采收率-含水率-压力曲线

Fig. 3 Recovery ratio-water cut-pressure curves of mature polymer ZL-1

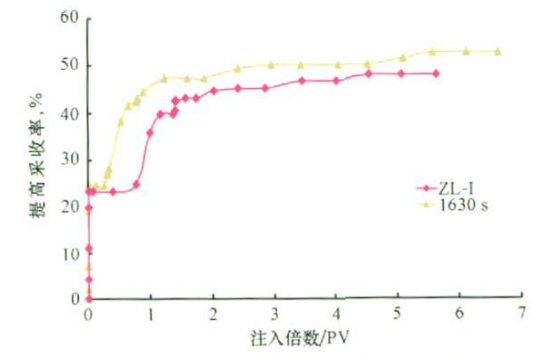


图 4 老化后两种聚合物对驱油效率的影响

Fig. 4 Influence of maturation of two mature polymers on displacement efficiency

后续水驱快速突破, 1630 提高了采收率 28.1%, ZL-1 提高采收率 24.7%, 都取得了较理想的驱油效果。1630 老化后比老化前提高了 10.2%, ZL-1 老化后比老化前提高了 4.1%。老化后的聚合物驱油效率得到明显提高。这是因为高温条件下, 聚合物要发生水解反应^[3~5], 低水解度 HPAM 的酰胺基数量多, 分子中电荷的相互排斥力小, 水解速度快。而 1630 的初始水解度比 ZL-1 低, 因此它的水解速度比 ZL-1 型更快。HPAM 溶液黏度的变化主要是 HPAM 水解度变化的结果。由此可知, 在 HPAM 相对分子质量一定的条件下, HPAM 水解度变化决定 HPAM 溶液黏度的变化。因此, 1630 的粘度也相应增加的快, 故老化后的 1630 比 ZL-1 提高采收率幅度更大。由此我们认为, 初始水解度低的聚合物由于水解速度快, 因此增粘过程迅速, 更适合高温油藏条件。

2.3 不同段塞尺寸对驱油效率的影响

实验方法: 岩心抽空—饱和水—饱和油—水驱至含水 100%, 分别转注 1 600 mg/L 聚合物 ZL-1 样品 0.2 0.4 0.5 0.6 PV 然后水驱至含水 100%。

表 3 和图 5 给出的是相同浓度 (1 600 mg/L) 不同段塞尺寸的驱油实验结果。可以看出, 随着聚合物段塞的增大, 聚驱采收率增加, 但是增大到一定值后, 采收率增加的速率开始变缓。如聚合物段塞由 0.2 PV 增加到 0.4 PV, 总采收率由 59.49% 增加到 60.72%, 聚驱采收率由 17.71% 增加到 20.57%, 增加了 2.86%, ; 而段塞尺寸由 0.4 PV 增加到 0.6 PV 总采收率由 60.72% 增加到 71.74%, 聚驱采收率由 20.57% 增加到 21.74%, 增加了 1.17%, 从图 5 中我们也可以看到, 在 0.4~0.5 PV 处出现了拐点, 考虑到经济效益的因素, 建议段塞量选择 0.4~0.5 PV。

表 2 聚合物老化前、后的驱油效率对比

Table 2 Comparison of oil displacement efficiency of polymer before and after maturation

聚合物	岩心号	粘度 / (mPa·s)	孔隙体积 / mL	饱和油量 / mL	空气渗透率 / (10 ⁻³ μm ²)	E _w / %	E _总 / %	EOR / %
1630 s	H8 (老化前)	48.5	10.55	7.60	550.4	55.1	73.0	17.9
	H35 (老化后)	77.8	10.20	7.30	502.5	24.7	52.8	28.1
ZL-1	H11 (老化前)	53.9	9.84	6.85	458.1	48.1	68.7	20.6
	H36 (老化后)	73.4	9.74	7.30	503.0	23.3	48.0	24.7

注: E_w 为水驱采收率, %; E_总 为总采收率, %; EOR 为提高采收率, %。

表 3 不同段塞尺寸对提高采收率的影响
Table 3 Influence of slug sizes on enhanced oil recovery

岩心号	ϕ , %	PV	E_w , %	$E_{总}$, %	EOR, %
H19	25.71	0.2	41.78	59.49	17.71
H20	25.24	0.4	40.15	60.72	20.57
H21	25.33	0.5	43.56	65.30	21.74
H22	25.12	0.6	44.78	67.28	22.50

注: E_w 为水驱采收率, %; $E_{总}$ 为总采收率, %; EOR 为提高采收率, %。

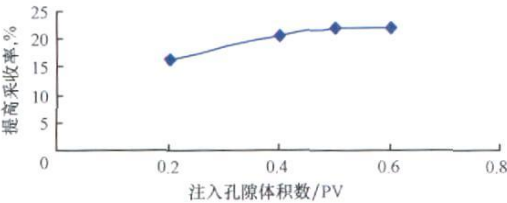


图 5 老化后聚合物对提高采收率的影响
Fig 5 Influence of maturation of polymer on enhanced oil recovery

3 结论

- 1) 针对 V_F 高温油藏条件, 聚合物宜选择初始水解度低的聚合物 1630 δ ; 高温下水解速度快, 增粘迅速, 驱油效率更高;
- 2) 高浓度聚合物具有的粘弹特性可以提高驱油效率, 但从经济等因素考虑, 认为聚合物的质量浓度范围为 1 600~2 000 mg/L;
- 3) 随着聚合物段塞尺寸的增大, 采收率增加, 但增大到一定程度后提高采收率程度减慢, 因此选择段塞尺寸为 0.4~0.5 PV。

参 考 文 献

1 杨付林, 杨希志, 王德民, 等. 高质量浓度聚合物驱油方法. 大庆石油学院学报 [J]. 2003 27(4): 24~26

2 杨付林, 王德民. 高浓度大段塞聚合物驱油效果的研究 [J]. 石油与天然气化工, 2003 32(5): 298~304
3 韩杰, 孔柏岭, 吕晓华. 不同油藏温度条件下 HPAM 水解度与黏度变化规律 [J]. 油田化学, 2006 23(3): 235~238
4 He Jinsong, Song Jienyu, Qiu Ling. High temperature polymer flooding in thick reservoir in Shuanghe oil field [J]. SPE 50 933 1998
5 孔柏岭. 聚丙烯酰胺的高温水解作用及其选型研究 [J]. 西南石油学院学报, 2000 22(1): 66~69
6 周英芳, 方艳君, 王晓冬, 等. 多层油藏非活塞式水驱驱替效率研究 [J]. 油气地质与采收率, 2009 16(1): 86~89 93
7 胡光义, 于会娟, 刘静, 等. 番禺 30—1 砂岩强水驱气藏储层非均质性研究 [J]. 油气地质与采收率, 2006 13(4): 34~35 51
8 赖南君, 叶仲斌, 陈洪, 等. 低张力体系改善低渗透油藏水驱渗流特征实验 [J]. 石油与天然气地质, 2007 28(4): 520~522
9 凡哲元, 袁向春, 廖荣凤, 等. 制作高水率与采出程度关系理论曲线常犯错误及解决办法 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(3): 384~387
10 尹志军, 鲁国永, 邹翔, 等. 陆相储层非均质性及其对油藏采收率的影响——以冀东高尚堡和胜利永安镇油藏为例 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(1): 106~110 117
11 王文环. 提高薄互层低渗透砂岩油藏采收率的有效开发技术 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(5): 660~667 674

(编辑 陈喜禄)

《石油与天然气地质》2010 年专题预告

- 2010 年第 1 期 塔里木盆地油气地质
- 2010 年第 3 期 第十二届全国有机地球化学会议论文选编
- 2010 年第 4 期 中国北方海相油气地质

欢迎踊跃投稿!