

# Evaluation and Application of Polymer in 95°C Reservoir in Henan Oilfield

Yan Guo<sup>1</sup>, Mingyao Hao<sup>1</sup>, Erxiao Li<sup>1</sup>, Shubin Li<sup>2</sup>, Lintao Sun<sup>1</sup>, Peiyun Li<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Petroleum Exploration and Development Research Institute, Henan Oilfield Branch Company, Sinopec, Nanyang Henan

<sup>2</sup>Petroleum Engineering Technology Research Institute, Henan Oilfield Branch Company, Sinopec, Nanyang Henan

<sup>3</sup>School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei  
Email: guotianshu163@163.com

Received: Nov. 6<sup>th</sup>, 2016; accepted: Nov. 26<sup>th</sup>, 2016; published: Nov. 29<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

In order to ensure the success of polymer flooding pilot test in Henan oilfield VII1-3 formation high temperature reservoir, a lot of tests are researched about the performances of the polymer and its compatibility with the reservoir in the laboratory. These factors influence on the viscosity of polymer solution including water quality, dissolved oxygen content in waste water, shearing, high temperature aging, etc. Especially the dissolved oxygen content in the solution has a great effect on the long-term thermal stability of polymer viscosity. Oxygen content has a little effect on the degree of hydrolysis of polymer. When the dissolved oxygen content is less than 0.5 mg/L, the structure, tensile rheological and shear rheological performance has certain stability in 95°C high temperature aging 90 days. Aging viscosity retention rate can reach more than 80% after 180 days. It has a good injection within the range 1000 - 2000 mg/L of polymer concentration, when the permeability is 0.587  $\mu\text{m}^2$  of the reservoir. After entering the field application, the polymer injection is good. It has obvious effect of enhanced production of oil and water cut.

## Keywords

Heat-Resistant Polymer, Performance Evaluation, Dissolved Oxygen, Long Thermal Stability, Injection Performance, Field Application

# 河南油田95°C油藏用聚合物评价与应用

郭艳<sup>1</sup>, 郝明耀<sup>1</sup>, 李二晓<sup>1</sup>, 李树斌<sup>2</sup>, 孙林涛<sup>1</sup>, 李佩云<sup>3</sup>

<sup>1</sup>中国石化股份有限公司河南油田分公司石油勘探开发研究院, 河南 南阳

<sup>2</sup>中国石油化工股份有限公司河南油田分公司石油工程技术研究院, 河南 南阳

<sup>3</sup>华中科技大学材料科学与工程学院, 湖北 武汉

Email: guotianshu163@163.com

收稿日期: 2016年11月6日; 录用日期: 2016年11月26日; 发布日期: 2016年11月29日

## 摘要

为保证河南油田VIII-3层系高温油藏聚合物驱先导试验的成功, 项目在室内系统评价了聚合物性能及聚合物与油藏配伍性能。配制水质、溶液中溶解氧含量、剪切、高温老化等都影响高温聚合物溶液粘度。特别是溶液中溶解氧含量对聚合物粘度长期热稳定性影响显著。氧含量对水解度影响不大。溶解氧含量小于0.5 mg/L条件下, 聚合物在95℃高温下老化90天后, 结构具有一定的稳定性, 拉伸流变稳定性和剪切流变稳定性, 老化180 d后粘度保留率可达到80%以上。渗透率为油藏渗透率0.587  $\mu\text{m}^2$ , 聚合物浓度在1000 - 2000 mg/L范围内, 具有较好的注入性。进入矿场应用后, 聚合物现场注入性良好, 已取得明显的增油降水效果。

## 关键词

耐温聚合物, 性能评价, 溶解氧, 长期热稳定性, 注入性能, 矿场应用

## 1. 引言

虽然聚合物驱技术已经成功应用于河南油田 I 类、II 类油藏, 但III类油藏由于温度高, 普通聚合物高温下增粘性、稳定性急剧变差, 目前适用的聚合物工业产品少, 因此还没有实行聚合物驱技术。为保证河南油田“十二五”期间三次采油持续发展, 并为其它同类油田提供经验借鉴和技术支撑, 河南油田决定在双河 VIII-3 层系开展高温油藏聚合物驱技术先导试验, 双河油田 VIII-3 层系含油面积 9.15  $\text{km}^2$ , 地质储量 862.6  $\times 10^4$  t, 油藏温度为 93.7℃, 平均空气渗透率 0.587  $\mu\text{m}^2$ , 地下原油粘度 2.3 mPa·s, 地层水矿化度 13,087 mg/L [1]。为保证先导试验的成功实施, 室内系统评价了耐高温聚合物与油藏的配伍性能。

## 2. 实验材料和仪器

### 2.1. 实验仪器及设备

DV-III 型 Brooker 粘度计, 美国 Brooker 公司; 高温烘箱, 日本三洋公司制造; 微观驱替物理模拟装置, 江苏省海安石油科研仪器有限公司; 鼓风干燥箱, 北京恒泰丰科试验设备有限公司; AJ-IIIa 原子力显微镜(AFM), 上海爱建纳米科技发展有限公司。美国哈克流变仪; 美国 HAAKE CaBER1; FIRR-1500 红外光谱仪。

### 2.2. 实验材料

人造岩心: 柱状岩心( $\phi 2.5 \times 8$  cm), 方岩心( $2.5 \times 2.5 \times 30$  cm); 聚合物: 耐温聚合物, 基本性能指标如表 1 所示; 实验用油: 双河油田 VIII-3 层单元脱水原油; 实验用岩心: 双河油田 VIII-3 层单元天然砂; 实验用水: 双河清水、双河江河陈化污水, 实验用水离子组成如表 2 所示。

**Table 1.** The basic parameters of the polymer  
**表 1.** 聚合物基本参数性能评价

项目	测定结果	技术指标
固含量/%	91.31	≥89
残余丙烯酰胺含量/%	0.02	≤0.1
不溶物/%	0.06	≤0.20
特性粘数/(mL/g)	2670.2	
分子量/10 <sup>4</sup>	2265.0	
溶解速度/min	≤120	≤120
过滤因子	1.08	≤1.5
水解度/%	20.58	
复合粘弹模量/(mN/m)	50.67	≥40
弹性模量/(mN/m)	49.92	≥38

**Table 2.** The ion composition of experimental water  
**表 2.** 实验用水的离子组成

离子	Na <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TDS
江河污水 mg/L	2485	41	7	3114	1798	1285	8730
双河污水 mg/L	1601	14	7.5	1172	391.5	1819	5002

## 2.3. 名词解释

### 2.3.1. 粘均相对分子量

$$M = 802[\eta]^{1.25} \quad (1-1)$$

式中:

$M$ -分子量;

$[\eta]$ -特性粘数, mL/g;

802-经验常数。

### 2.3.2. 聚丙烯酰胺的水解度

聚丙烯酰胺的水解度取决于盐酸的浓度, 称取的配置好聚合物溶液的质量和聚合物的固含量, 滴定终点时消耗盐酸的体积, :

$$HD = \frac{C(\text{HCl}) \times V \times 71 \times 100}{1000 \times m \times s - 23 \times C(\text{HCl}) \times V} \quad (1-2)$$

式中:

$HD$ —水解度, %;

$C$ —盐酸标准溶液的浓度, mol/L;

$V$ —试样溶液消耗标准盐酸溶液的体积, ml;

$m$ —试样的质量, g;

$s$ —试样的固含量, %;

23—丙烯酸钠与丙烯酰胺链节质量的差值;

71—与 1.00 ml 盐酸标准溶液( $C_{\text{HCl}} = 1.000 \text{ mol/L}$ )相当的丙烯酰胺链节的质量。

### 2.3.3. 粘度保留率

$$N = \frac{\eta_f}{\eta_i} \times 100 \quad (1-3)$$

式中:  $N$ —粘度保留率, %;

$\eta_i$ —热老化前的粘度,  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ;

$\eta_f$ —热老化后的粘度,  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

## 3. 结果和讨论

### 3.1. 聚合物与现场污水的配伍性[2] [3]

用双河河陈化污水配制 4500 mg/L 的聚合物母液, 用抽空装置将氧含量控制在 0.5 mg/L 以下(根据前期的研究成果), 再用江河新鲜污水稀释至需要浓度, 将样品转至安瓿瓶中, 然后将样品放置在 95℃ 烘箱中老化, 不同时间拿出来测试, 测试温度为 30℃, Brookfield DVIII+粘度计, 0#转子, 6 r/min 测试。实验结果见表 3。由结果可以看出, 该聚合物与双河新鲜污水具有较好的配伍性。

### 3.2. 岩心剪切对聚合物溶液粘度的影响[4]

分别以 100、200、300、400、500、600、700 mL/h 流速分别注入浓度为 1800 的聚合物溶液, 在每个流速下, 待流速和压力稳定后, 取样 50 mL~100 mL, 密封, 在 30℃ 和 6 rpm 条件下测定剪切降解前、后的粘度, 计算聚合物溶液粘度保留率和分子量的变化, 结果如图 1 所示。随着注入速度的增加, 聚合物粘度损失率逐渐增大, 同一注入速度下, 聚合物的浓度越高, 粘度损失率越低。聚合物经过剪切后, 分子量变小, 随着注入速度的增加, 分子量保留率呈现减小趋势。

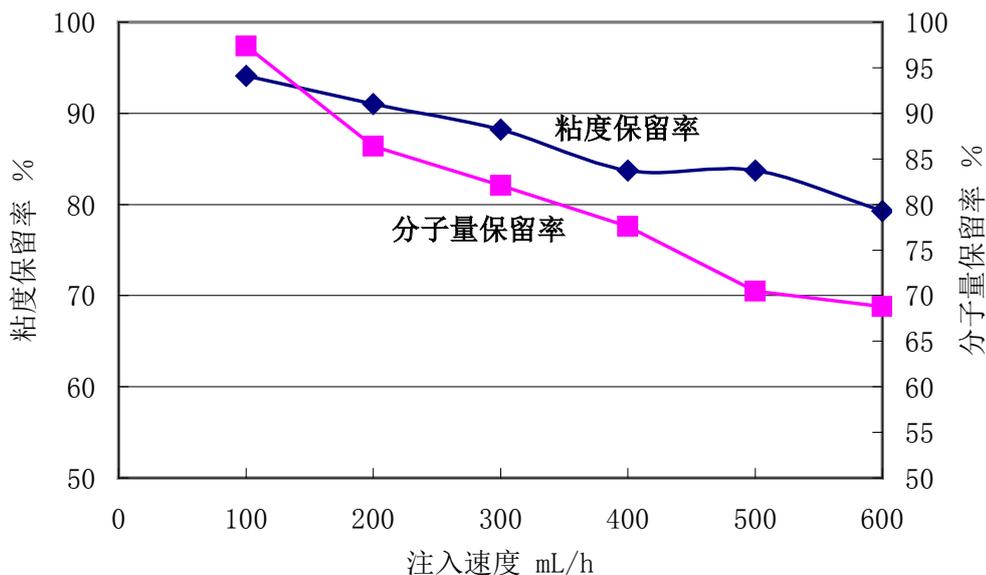


Figure 1. The change of molecular weight and viscosity retention rate with the injection rate  
图 1. 分子量和粘度保留率随注入速度的变化

**Table 3.** Effect of Shuanghe fresh sewage on the long-term thermal stability of the polymer (Viscosity in mPa·s)  
**表 3.** 双河新鲜污水对聚合物长期热稳定性影响(粘度 mPa·s)

聚合物浓度 mg/L	0 d	1 d	7 d	15 d	30 d	60 d	90 d	120 d	180 d
1500	60.8	59.7	67.2	65.1	62.9	58.7	56.2	53.1	51.3
1800	85.3	88.7	79.5	88.5	78.9	77.9	76.5	77.1	73.5
2000	98.1	90.4	91.7	93.5	103.5	108	101	96.3	93.1

### 3.3. 高温老化对耐温聚合物溶液水解度的影响[5]

聚合物溶液在地层中进行驱替的过程其实是一个高温老化的过程。聚合物溶液经过高温老化后水解度增加, 聚合物粘度一般会呈现降低的趋势。而高温老化引起溶液粘度降低的影响因素很多, 本研究主要考察了解氧对高温聚合物溶液长期稳定性的影响。

#### 3.3.1. 不同氧含量对聚合物水解度的影响

用双河陈化污水配制 4500 mg/L 的聚合物溶液, 再用双河陈化污水稀释至 1800 mg/L, 老化温度 95℃, 采用淀粉碘化镉法考察不同氧含量下, 对聚合物水解度的影响。实验结果见表 4。由表可以看出, 氧含量对聚合物的最终水解度影响不大。

#### 3.3.2. AMPS 基团的水解度变化

通过对耐高温型聚合物老化前后溶液进行红外表征, 查看聚合物中 AMPS 官能团的变化情况, 进而研究其水解情况。有两种机理来解释 AMPS 的水解机理: 第一种机理是 C-S 键断裂后形成异丙基丙烯酸盐; 另一种机理是 C-N 键断裂后形成丙烯酸盐。

图 2 和图 3 为耐高温型聚合物老化前后红外谱图。由红外谱图分析得知, 老化前后-NH<sub>2</sub> 的吸收峰分别为 3421 cm<sup>-1</sup>、3460 cm<sup>-1</sup>, 老化前后 C-S 的伸缩振动峰分别为 675 cm<sup>-1</sup>、638 cm<sup>-1</sup>。老化 60 d 后的谱图中并未出现异丙基丙烯酸盐和丙烯酸盐的特征吸收峰, 说明 C-S 键并未发生变化断裂, 因此, AMPS 并没有发生水解, 说明在上述水解条件下聚合物中的 AMPS 基团是稳定的, 水解主要发生在丙烯酰胺基团上。

### 3.4. 聚合物流变研究

双河陈化污水配制聚合物母液 4500 mg/L, 再用双河陈化污水稀释至目标浓度。

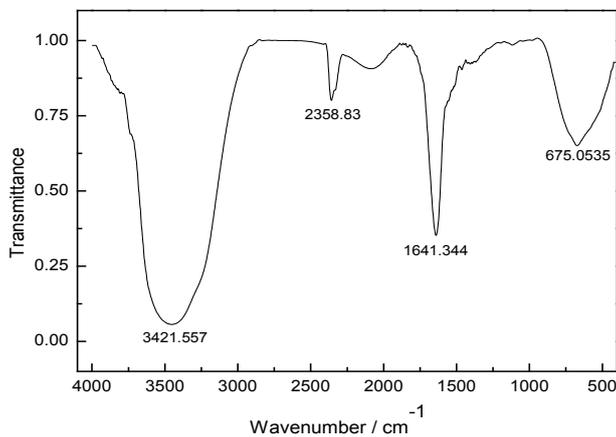
#### 3.4.1. 聚合物的拉伸流变性

##### 1) 浓度对聚合物拉伸流变特性的影响

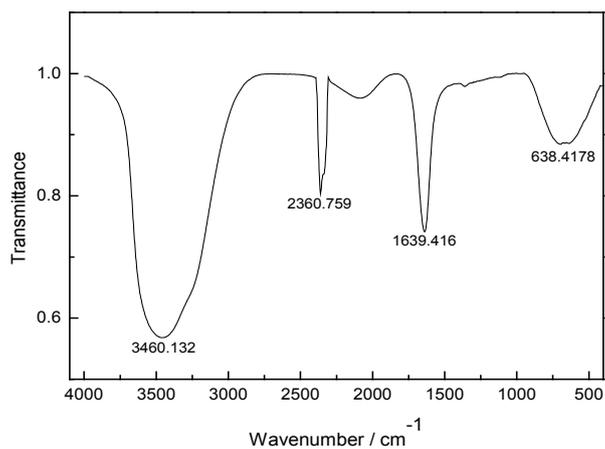
实验结果如图 4 所示, 随着浓度的增加, 耐高温聚合物溶液的拉伸流变特性越来越强。低浓度条件下, 在拉伸应力作用下聚合物溶液丝线在短时间内发生断裂, 随着浓度的增加, 聚合物溶液的丝线直径越来越粗, 发生断裂的时间也越来越长, 这说明随着聚合物浓度的增加, 溶液的弹性增强。

##### 2) 老化时间对聚合物拉伸流变性的影响

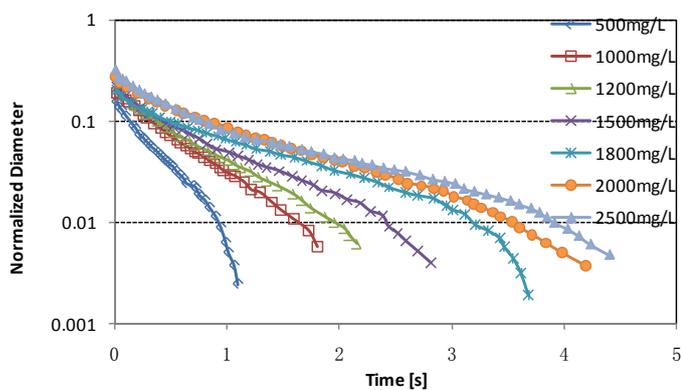
室内研究了聚合物浓度为 1500 mg/L 时 0、30、60、90、120、180 d 不同老化时间的拉断时间和拉伸粘度的变化规律, 实验结果见图 5, 从实验结果可以看出, 在控制含氧小于 0.3 mg/L 以下时, 老化温度为 95℃时老化 30 d 和 60 d 后, 聚合物的拉断时间和拉伸粘度有所增加, 老化 90 d 后, 拉伸粘度和拉断时间变化不大, 说明该聚合物 95℃氧含量小于 0.3 mg/L 以下时具有一定的拉伸稳定性。



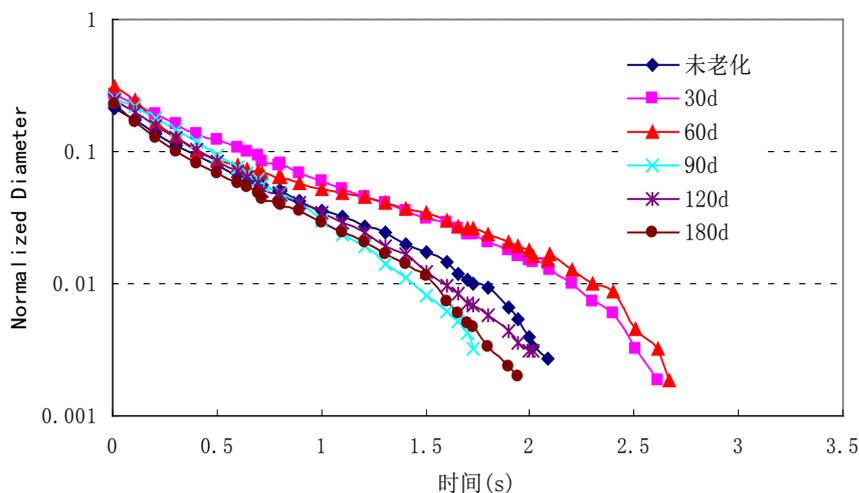
**Figure 2.** Infrared spectrum of high temperature resistant polymer before aging  
**图 2.** 耐高温型聚合物老化前红外谱图



**Figure 3.** Infrared spectrum of high temperature resistant polymer of aging 60 days  
**图 3.** 耐高温型聚合物老化 60 d 后红外谱图



**Figure 4.** The effect of polymer concentration on tensile Diameter  
**图 4.** 聚合物浓度对溶液拉伸 Diameter 的影响



**Figure 5.** Influence of aging time on polymer solution (1500 mg/L) breaking time (95°C)  
**图 5.** 老化时间对聚合物溶液(1500 mg/L)拉断时间的影响(95°C)

**Table 4.** Variation of hydrolysis degree of polymer with aging time

**表 4.** 聚合物水解度随老化时间变化规律

氧含量/(mg/L)	0 d	1 d	7 d	15 d	30 d	60 d	90 d	120 d	180 d
≤0.5	23.69	31.39	46.78	59.86	64.73	77.88	82.66	84.85	87.38
0.5 < O <sub>2</sub> < 1.0	24.17	27.18	50.45	47.48	59.24	74.05	78.64	80.98	83.47
1.0	23.95	34.53	47.95	63.54	68.43	79.80	82.25	82.95	84.67
1.5	23.83	29.82	50.22	50.52	60.51	73.41	82.06	84.93	87.31
饱和氧	23.85	34.27	45.41	51.49	62.28	76.21	78.09	85.23	87.69

### 3.4.2. 聚合物的剪切流变性

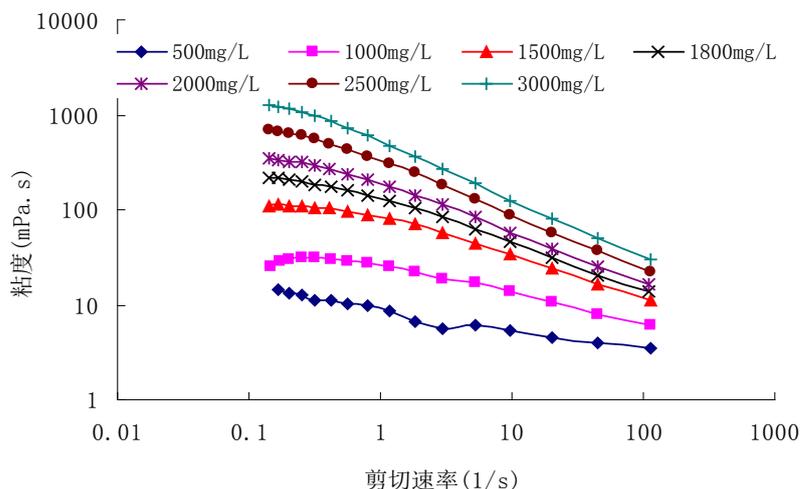
#### 1) 浓度对聚合物的剪切流变性的影响

聚合物溶液的剪切流变曲线，显现了相同类聚合物不同浓度的聚合物溶液黏度与剪切速率的关系。

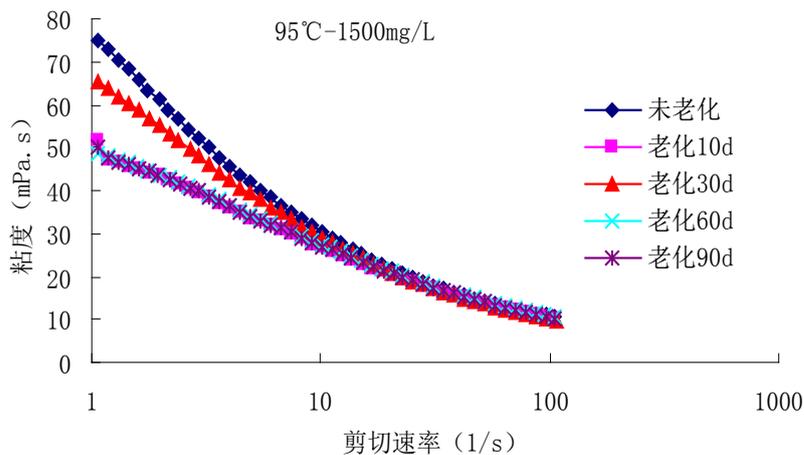
图 6 为 95°C 下耐温聚合物不同浓度的粘度随剪切速率变化曲线。聚合物溶液是一种假塑性流体，呈现出剪切降解的特性，即其粘度随剪切速率增大而降低。这是因为在低剪切速率下，分子间依靠范德华力或氢键形成了相互作用，同时分子链间形成缠结网络，使粘度增加，浓度越高，单位体积内的聚集的分子数越多，分子之间的相互作用力及缠结作用越强，所以粘度越大。随着剪切速率的增大，溶液所受的剪切应力增加，聚合物分子间的网状结构被破坏(或部分破坏)，导致分子之间的吸引力和柔性分子之间相互缠结的能力减小，溶液的粘度降低。

#### 2) 老化对聚合物剪切流变性的影响

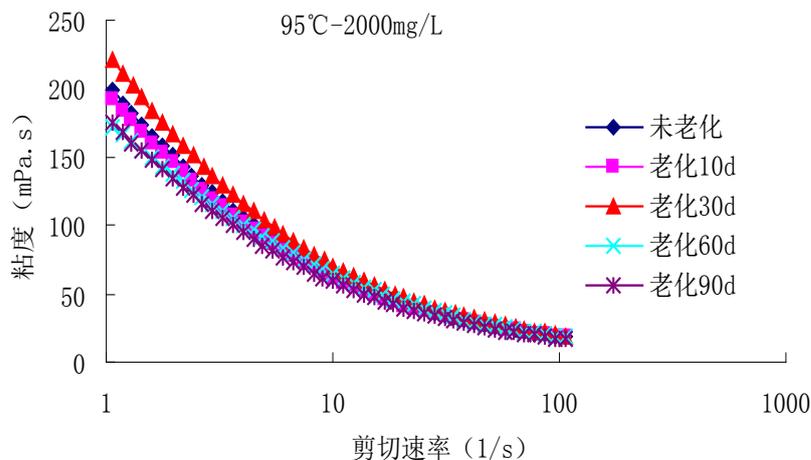
浓度为 1500、2000 mg/L 的耐温聚合物溶液在 95°C，抽空脱氧条件下经过 0 d，10 d，30 d，60 d，90 d 老化后，剪切速率曲线如图 7 和图 8 所示，其粘度经历下降、上升和缓慢下降三个过程，即粘度在 0 d~10 d 之间粘度下降，10 d~30 d 之间粘度上升，30 d~90 d 之间粘度缓慢下降。这种现象表明，在 10 d 内粘度下降，有可能是因为溶液中还含有微量氧，与聚合物作用发生降解时粘度下降，温度越高，粘度下降越大；10 d~30 d 之间，氧耗尽后，随水解度的增加，粘度增加；30 d~90 d 之间，随着时间的增加，BHY 聚合物的水解度增加变缓慢，温度等对溶液仍有一定降解作用，使溶液粘度缓慢下降。95°C 下经过 90 d 老化后的粘度保留率仍在 84%~90% 之间。



**Figure 6.** Shear rheological curves of polymer at different concentrations  
**图 6.** 聚合物的不同浓度下的剪切流变曲线



**Figure 7.** The change of viscosity of polymer solution (1500 mg/L) with shear rate under different aging time  
**图 7.** 不同老化时间条件下聚合物溶液(1500 mg/L)粘度随剪切速率的变化



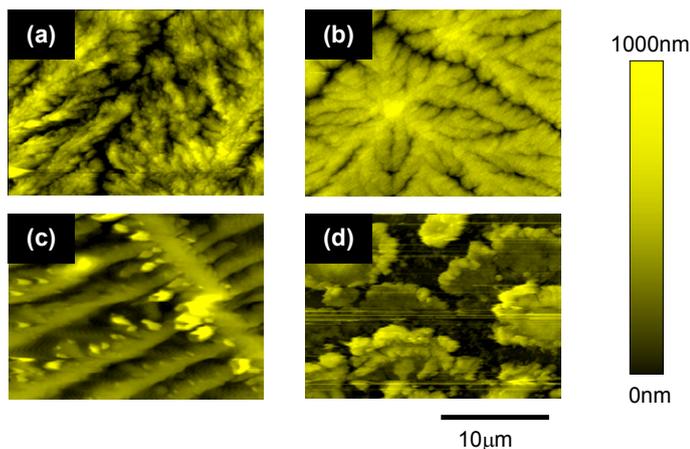
**Figure 8.** The change of viscosity of polymer solution (2000 mg/L) with shear rate under different aging time  
**图 8.** 不同老化时间条件下聚合物溶液(2000 mg/L)粘度随剪切速率的变化

### 3.5. 聚合物结构稳定性研究[6]

采用原子力显微镜, 进行聚合物老化前后结构稳定性分析研究, 为耐温聚合物老化过程原子力显微镜表征典型图样, 样品浓度为 1500 mg/L。空间尺度为  $40\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$ , 图中从黑到黄代表样品在盖玻片上凝结的真实高度从 0 nm 到 1000 nm。由图 7 中可以看出, 老化前(图 9(a)), 聚合物有很大程度的聚集, 聚合物形态呈松散树枝状分布, 但是每个分叉内部聚集较为致密, 分叉长度在几  $\mu\text{m}$  到几十  $\mu\text{m}$  左右, 仔细观察可以看出每一短粗树枝状形态由若干颗粒组成, 颗粒尺度在 1  $\mu\text{m}$  左右, 与耐温聚合物大分子团尺度相对应。老化 30 d 后(图 9(b)), 其聚集程度较老化前有所下降。具体体现为树枝状长度变短, 分子聚集程度没有老化前致密, 聚集团间有明显界限, 这说明聚合物变得不易聚集。老化 60 d 后(图 9(c)), 聚集状态发生较大变化, 呈“非”字形梳状分布, 每个非字形分叉相距约 10  $\mu\text{m}$ , 近平行分布, 长度在几十  $\mu\text{m}$  左右, 这样的结构变化必将对聚合物聚合性质和粘性产生影响。老化 90 d 后(图 9(d)), 聚合物形成直径为 10  $\mu\text{m}$  左右的短粗圆片状聚集, 不易展开, 说明其物理化学性质发生较大变化, 比较而言其粘弹性应该有一定变化。综合比较, 此聚合物在老化 60 d 左右时应该有较多物理化学性质改变, 具体情况可根据其它性质分析实验综合得到。

### 3.6. 耐温聚合物的注入性研究

岩心基本参数见表 5, 实验结果如图 10 所示, 由图可以看出, 当渗透率为地层平均渗透率  $0.6\ \mu\text{m}^2$  时, 聚合物浓度为 1000 mg/L~2000 mg/L 范围内, 聚合物都具有较好的注入性。聚合物的阻力系数随着注入浓度的增加而增加, 聚合物较好的扩大波及体积能力。



**Figure 9.** Atomic force microscope typical pattern of polymer solution under different aging time. (a) Before aging; (b) Aging 30 days; (c) Aging 60 days; (d) Aging 90 days

**图 9.** 不同老化时间条件下聚合物溶液(1500 mg/L)的原子力显微镜典型图样。(a)老化前; (b)老化 30 d; (c)老化 60 d; (d)老化 90 d

**Table 5.** Basic parameter table of core

**表 5.** 岩心基本参数表

编号	聚合物浓度/(mg/L)	岩心渗透率/ $\mu\text{m}^2$	岩心长度/cm	孔隙体积/mL	RF
1	1000	0.565	8.16	7.35	50
2	1500	0.578	8.16	7.44	66
3	1800	0.620	8.16	7.45	87
4	2000	0.578	8.16	7.33	107

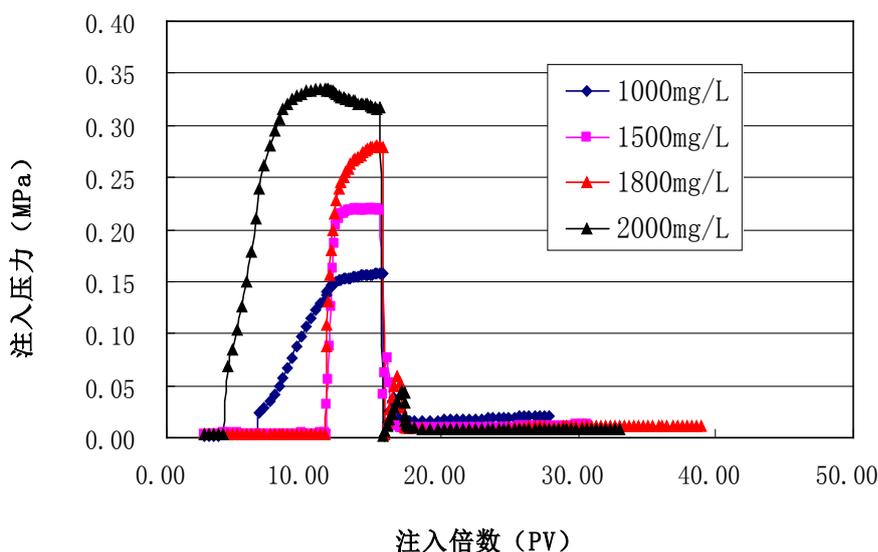


Figure 10. Injection curve of polymer solution with different concentration  
图 10. 不同浓度聚合物溶液的注入性曲线

#### 4. 现场应用

根据油藏精细描述和剩余油饱和度分布的研究结果，方案进行了聚合物驱合理井网井距的研究，把不规则的水驱井网调整为适合聚合物驱的合理井网，最大限度改变液流方向，提高油井的多向受效率和聚驱井网的储量控制程度。试验区井网调整后总井数为 26 口，其中注入井 10 口，聚驱对应采油井 16 口，油水井数比为 1.6，平均注采井距为 270 m，试验区井位图如图 11 所示。根据数模优化结果，注入分为两级段塞式，前置段塞和主段塞，前置段塞：2500 mg/L  $\times$  0.08 PV；主体段塞：1600 mg/L  $\times$  0.52 PV，保持年注入速度为 0.11 PV/a，注采比为 1.05，VII<sub>1,3</sub> 层系聚合物驱注入时间为 1990 天，总段塞尺寸为 0.6 PV，聚合物干粉商品用量为 4460 t。双河油田 VII<sub>1,3</sub> 层系高温聚合物驱先导试验区控制储量为  $220.0 \times 10^4$  t。预计聚合物驱含水 98% 时，井网调整后聚驱比原井网水驱增产原油  $20.50 \times 10^4$  t，提高采收率 9.32 个百分点，增油高峰期含水降低 4.3 个百分点。

2014 年 3 月在 94℃ 高温油藏 VII-3 层系矿场实施，现场采用无氧配制聚合物母液，氧含量控制在 0.3 mg/L 以下。现场注入 0.16 PV，注入压力上升 3.8 MPa，动液面由 190 m 下降到 670 m，现场 10 口井见效，见效率 62.5%，日产油由 22.7 t/d 上升到 40.3 t/d，含水由 97.6% 下降到 95.7%，聚合物驱动态特征明显，已取得明显的增油降水效果。

#### 5. 结论与认识

1、浓度、温度、剪切、高温老化都对耐温聚合物溶液粘度有着明显的影响作用，特别是溶液中溶解氧含量对耐温聚合物溶液高温老化后的粘度影响显著。

2、通过对耐温聚合物溶液进行长期稳定性评价，研究表明聚合物溶液在含氧量小于 0.5 mg/L 条件下，在 95℃ 下老化 180 d 后粘度保留率都能达到 80% 以上。

3、耐温聚合物老化前后原子力显微镜表征结果表明：耐温聚合物在 95℃ 下经过 0 d，30 d，60 d，90d 老化后，其聚集程度不同，老化前有很大程度的聚集，呈松散树枝状分布；老化 30 d 后聚集程度下降，树枝状长度变短；老化 60 d 后聚集状态发生较大变化，呈“非”字形梳状分布；老化 90d 后聚合物形成直径为 10  $\mu$ m 左右的短粗圆片状聚集，不易展开。

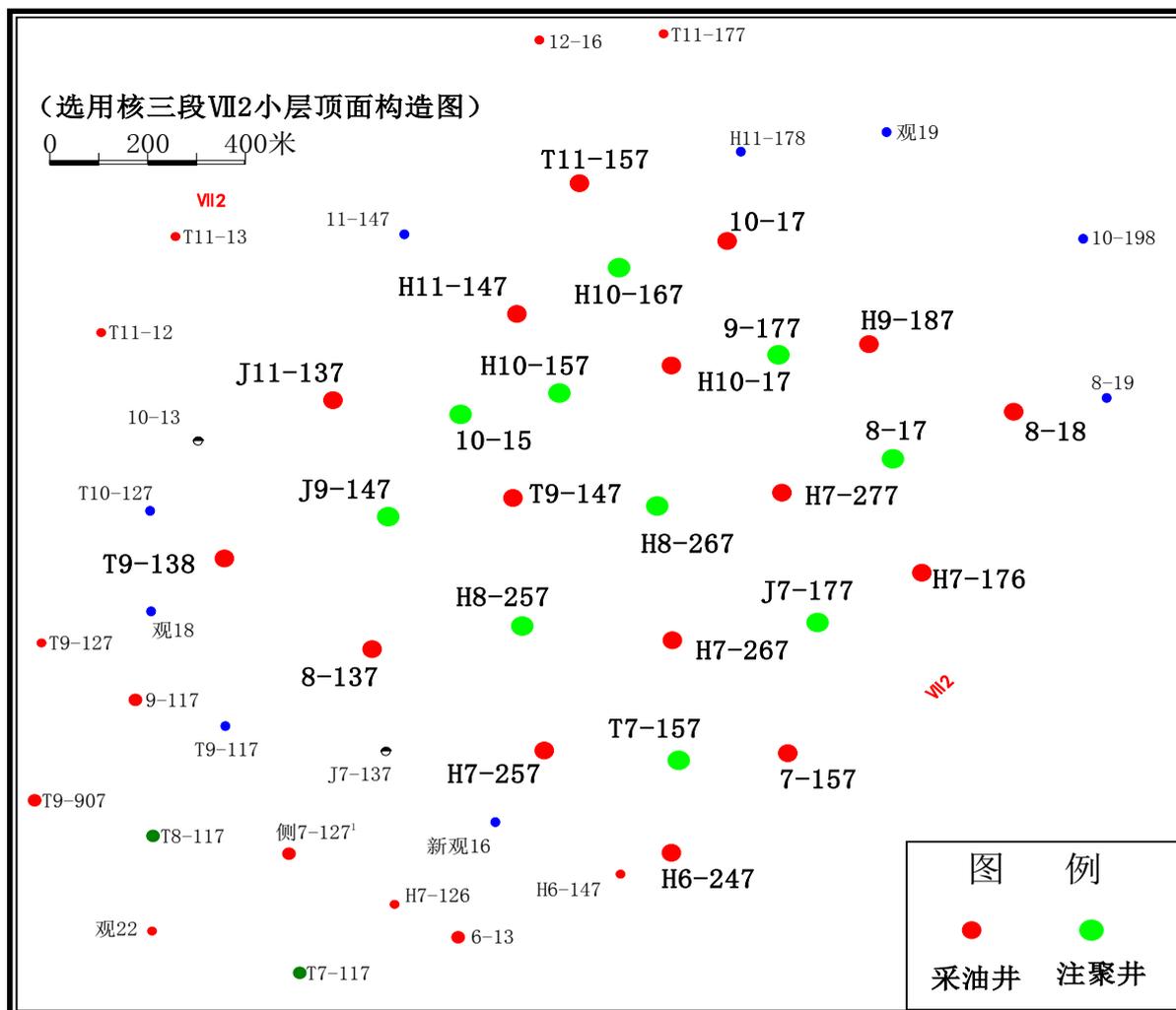


Figure 11. Schematic diagram of well pattern in high temperature polymer flooding test area  
图 11. 高温聚合物驱试验区井网示意图

4、目前现场注入 0.16 PV，已取得了一些效果，日产油由 22.7 t/d 上升到 40.3 t/d，含水由 97.6% 下降到 95.7%。

### 参考文献 (References)

- [1] 郝明耀, 郭艳, 王熙, 等. 双河油田VII1-3 单元高温聚合物性能实验与评价[J]. 石油地质与工程, 2015, 29(1): 133-136.
- [2] 岗秦麟, 主编. 化学驱油论文集[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 1-28.
- [3] 赵福麟. 采油化学[M]. 青岛: 石油大学出版社, 1989: 1-33.
- [4] 周恩乐, 李虹. 聚丙烯酰胺的形态结构研究[J]. 高分子学报, 1991, 12(1): 51-56.
- [5] Ryles, R.G. (1988) Chemical Stability Limits of Water Soluble Polymer Used in Oil Recovery Process. *SPE*, 23-25.
- [6] 徐婷, 李秀生, 莫文丽, 等. 聚合物不可及孔隙体积影响因素研究[J]. 石油大学学报, 2004, 28(3): 55-59.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjctet@hanspub.org](mailto:hjctet@hanspub.org)