

# 大庆油区聚合物驱矿场合理停注聚时机及实施方法

张晓芹<sup>1</sup>,关文婷<sup>1</sup>,李霞<sup>1</sup>,谢蕊泽<sup>2</sup>

(1.中国石油大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院,黑龙江 大庆 163712;

2.中国石油大庆油田有限责任公司 第一采油厂,黑龙江 大庆 163461)

**摘要:**为避免矿场聚合物溶液低效、无效循环,合理优化油田化学剂用量,提高吨聚产油量、吨聚增油量等指标值,对大庆油区矿场注聚后期各井组间聚合物用量、综合含水率、采聚质量浓度、增油倍数等开采指标变化规律进行了深入分析。考虑经济效益和地质条件的差异性,确定区块综合含水率为92%时应着手编制停注聚方案,单井综合含水率为94%是合理停注聚时机;对于综合含水率为92%~94%的生产井,可应用采收率提高值和聚合物用量导数曲线与经济界限曲线的交点判定停注聚时机;建立了停层不停井、停井不停站、停站不停区的停注聚实施方法,及时实施停注聚,提高聚合物利用率,改善聚合物驱开发效果。

**关键词:**聚合物驱 综合含水率 停注聚时机 聚合物驱控制程度 采收率 大庆油区

中图分类号:TE357.431

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)01-0088-05

## Reasonable polymer injection stopping-time and methods for polymer flooding in the field of Daqing oilfield

Zhang Xiaoqin<sup>1</sup>, Guan Wenting<sup>1</sup>, Li Xia<sup>1</sup>, Xie Ruize<sup>2</sup>

(1. *Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing City, Heilongjiang Province, 163712, China*; 2. *No.1 Oil Production Plant of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing City, Heilongjiang Province, 163114, China*)

**Abstract:** In order to avoid the inefficient or invalid polymer solution cycle, optimize oilfield chemical dosage reasonably, improve oil production and increase oil production per ton of polymer and other parameter values, the change rule of development indexes, including polymer volume, composite water cut, polymer concentration of production and increased multiple of oil, were analyzed thoroughly among each well groups in later polymer injection period in Daqing oilfield. Considering economical benefit and geological condition differences between wells and between layers, the plan of polymer injection should be stopped when the composite water cut of the block is 92%. Polymer injection should be stopped when the composite water cut of single well is 94%. For the producers with composite water cut of 92%~94%, the time of polymer injection stopping can be determined from the intersection point of the three curves: the recovery increment curve, the derivative curve of polymer consumption and the economic limit curve. Polymer injection implementation method was established as "oil layers stop while wells keeping, and wells stop while stations working, and stations stop while blocks working". On this basis, the utilization rate of polymer and the effect of polymer flooding development will be improved.

**Key words:** polymer flooding; composite water cut; time of polymer injection stopping; controlling degree by polymer flooding; recovery efficiency; Daqing oilfield

大庆油区聚合物驱工业化区块已陆续进入注聚后期含水回升阶段或后续水驱阶段,由于油层平面、纵向上的非均质性,连通状况差及存在复合韵

律性等问题,使注聚后期各井组间见效状况存在较大差异。近1/5的注入井油层动用部位集中在高渗透层,动用比例低于50%,聚合物低效无效循环严

收稿日期:2014-11-03。

作者简介:张晓芹(1973—),女,四川成都人,高级工程师,硕士,从事三次采油工作。联系电话:(0459) 5508109, E-mail: zhangxiaoqin@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”之“松辽盆地喇、萨、杏高含水率油田提高采收率示范工程”(2008ZX05052),中国石油天然气股份有限公司科技重大专项“大庆油田原油4000万吨持续稳产关键技术研究”(2011E-1207)。

重,油田化学剂用量逐年增加,吨聚产油量、吨聚增油量等指标逐年下降,仅为高峰期的1/2,不能满足低成本、高效益开采的需求<sup>[1-10]</sup>。因此,有必要研究合理有效的停注聚时机和方法,提高聚合物利用率,建立停注聚实施流程,以提高聚合物驱效果,确保油田高效开发。

## 1 矿场停注聚现状

历经数10 a开发,大庆油区一类油层已有29个聚合物驱工业化区块进入后续水驱阶段,作为重要产量接替的二类油层,北一二排东部和西部区块进行了后续水驱,其余部分注聚区块也相继进入含水回升阶段。矿场资料分析表明,注聚后期各井组间具有单井聚合物用量差异大、高含水井比例高、单井采聚质量浓度差异大、单井增油水平差别大、部分井组聚合物利用率低等开采动态特征,为判定停注聚时机及制定合理停注聚方法提供依据。

### 1.1 单井聚合物用量差异大

以北一二排东部区块二类油层为研究对象,在区块停注聚时,单井聚合物用量为190~2 400 mg/L·PV,用量小于500 mg/L·PV的单井井数比例为9.3%,用量大于1 500 mg/L·PV的单井井数比例为18.7%,单井聚合物用量差异明显。

### 1.2 高含水井比例高

在北一二排东部区块二类油层停注聚时,区块整体综合含水率为94.2%,单井综合含水率从85%

到98%均有分布,其中高含水井比例较高,单井综合含水率大于95%的井占总井数的50.5%。

### 1.3 单井采聚质量浓度差异大

北一二排东部区块二类油层停注聚时,区块整体平均采聚质量浓度为542 mg/L,但单井采聚质量浓度分布范围广,从180 mg/L到9 730 mg/L均有分布,井间差异性大(图1)。

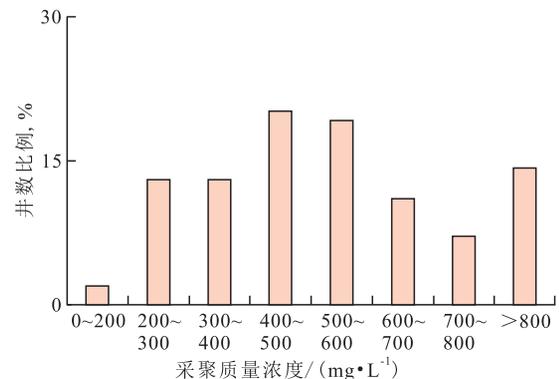


图1 北一二排东部区块二类油层停注聚时单井采聚质量浓度分布

Fig.1 Distribution of polymer mass concentration in single producer at the end of polymer flooding for secondary oil layers in Bei1-2Pai east block of Daqing oilfield

### 1.4 单井增油水平差别大

停注聚时同一区块各井组间增油水平差异比较明显,北一二排东部区块二类油层除6口井未见效外,采收率提高值小于5%的井数占总井数的37.6%,采收率提高值大于12%的井数占总井数的26.9%<sup>[11]</sup>(表1)。

表1 北一二排东部区块二类油层聚合物驱采收率提高值分类

Table1 Enhanced recovery factors for polymer flooding in secondary oil layers of the Bei1-2Pai east block

采收率提高值, %	井数/口	井数比例, %	见 效 前			高 峰 期			增油倍数	含水率下降幅度, %
			产液量/(t·d <sup>-1</sup> )	产油量/(t·d <sup>-1</sup> )	含水率, %	产液量/(t·d <sup>-1</sup> )	产油量/(t·d <sup>-1</sup> )	含水率, %		
<5	35	37.6	72.7	4.8	93.4	68.5	9.1	86.8	0.9	6.6
5~8	18	19.4	102.2	3.4	96.7	85.8	9.9	88.4	1.9	8.3
8~10	6	6.5	66.2	4.4	93.3	62.5	14.6	76.6	2.3	16.8
10~12	9	9.7	49.7	1.0	98.0	82.3	14.7	82.2	13.7	15.8
>12	25	26.9	96.7	4.4	95.4	77.5	18.9	75.6	3.3	19.8
合计	93	100	83.2	4.3	94.9	74.0	12.8	82.7	2.0	12.2

### 1.5 部分井组聚合物利用率低

对已停注聚的北一二排东部和西部区块85个中心完善井组开发效果进行分析,结果表明,有18.8%的井组注聚后期采收率提高值不再增加但仍在继续注聚,有12.9%的井组停注聚时还可提高采收率却停止注聚。合理停注聚井组比例仅为68.2%,聚合物有效利用率低,影响聚合物驱总体开发效果。

## 2 合理停注聚时机

### 2.1 区块停注聚时机

分析大庆油区已停注聚工业化区块综合含水率变化规律可见,当区块综合含水率大于92%时,停注聚后综合含水率月上升速度变化明显减缓,停注聚前6个月与停注聚后6个月综合含水率月上升

速度最大仅相差0.02%；在区块综合含水率小于92%时，停注聚前6个月与停注聚后6个月综合含水率月上升速度相差0.07%（表2）。

分析大庆油区已停注聚工业化区块产油量变

表2 大庆油区已停注聚工业化区块停注聚前后综合含水率变化

Table2 Composite water-cuts before and after shutoff of polymer flooding in the industrialized flooded blocks in Daqing oilfield

停注聚时综合含水率,%	区块数/个	停注聚时平均含水率,%	聚合物用量/(mg·L <sup>-1</sup> ·PV)	综合含水率月上升速度,%			
				停注聚前6个月	停注聚后6个月	停注聚后7~12个月	停注聚后12~18个月
90~92	4	91.1	671	0.25	0.32	0.21	0.17
92~94	11	92.9	815	0.15	0.17	0.12	0.08
94~96	11	95.1	991	0.11	0.13	0.09	0.05
96~98	1	96.7	1 368	0.02	0.03	0.02	0.01

表3 大庆油区单井停注聚前后开采指标变化

Table3 Production indexes for single well before and after shutoff of polymer flooding in Daqing oilfield %

停注聚时综合含水率	综合含水率月上升速度			日 产 液 量 递 减 率				日 产 油 量 递 减 率			
	停注聚前6个月	停注聚后6个月	停注聚后7~12个月	停注聚前6个月	停注聚后6个月	停注聚后7~12个月	停注聚后12~18个月	停注聚前6个月	停注聚后6个月	停注聚后7~12个月	停注聚后12~18个月
<92	0.35	0.41	0.23	1.31	2.16	1.96	1.25	2.85	3.68	1.96	1.47
92~94	0.24	0.27	0.17	1.16	1.21	1.35	-1.14	2.45	3.01	1.67	1.27
94~96	0.10	0.11	0.09	0.94	0.88	1.11	-0.76	1.72	1.85	1.26	1.14
>96	0.07	0.07	0.03	0.68	0.65	0.73	-1.02	0.91	1.00	0.91	0.74

统计一类油层已停注聚的北三西区块注入剖面结果可以看出，注聚后期聚合物溶液扩大波及体积的作用减弱，不同渗透率油层吸液厚度比例均降低，注采井间形成优势通道，注入液沿高渗透层突进，高渗透层吸液量远大于中、低渗透层，综合含水率高于94%时聚合物利用率显著降低<sup>[12-14]</sup>（图2）。

综上所述，判定单井合理停注聚时机是综合含水率为94%。但同时分析注聚后期开发规律发现，聚合物驱终止的判别条件不仅与综合含水率相关，而且与地质条件密切相关，油层条件不同的井组合理的聚合物用量不同<sup>[15-16]</sup>，聚合物驱控制程度越高，油层发育和连通状况越好，聚合物用量越高。当聚合物驱控制程度小于65%时，合理聚合物用量为900 mg/L·PV；当聚合物驱控制程度为65%~75%时，合理聚合物用量为1 050 mg/L·PV；当聚合物驱控制程度为75%~85%时，合理聚合物用量为1 200 mg/L·PV；当聚合物驱控制程度大于85%时，合理聚合物用量为1 400 mg/L·PV，因此合理聚合物用量范围为900~1 400 mg/L·PV。

对于综合含水率为92%~94%的生产井，可以应用采收率提高值与聚合物用量导数曲线与停注聚

化规律可见，区块综合含水率小于92%时，停注聚前后产油量递减速率分别为0.37和0.47；区块综合含水率为92%~94%时，停注聚前后产油量递减速率减缓，分别为0.15和0.13，而且随着综合含水率的增加，产油量递减速率减缓趋势更加明显。综合分析认为，区块合理停注聚时机为综合含水率为92%~94%，矿场应在区块综合含水率大于92%时着手编制停注聚方案。

2.2 单井停注聚时机

分析大庆油区单井开采指标变化规律可知，当单井综合含水率大于94%时，实施停注聚前后综合含水率月上升速度和日产油量递减率变化幅度减小，日产液量变化不大（表3），综合含水率为94%以后聚合物驱阶段采出程度和提高采收率幅度均减缓，聚合物驱开发效果变差。

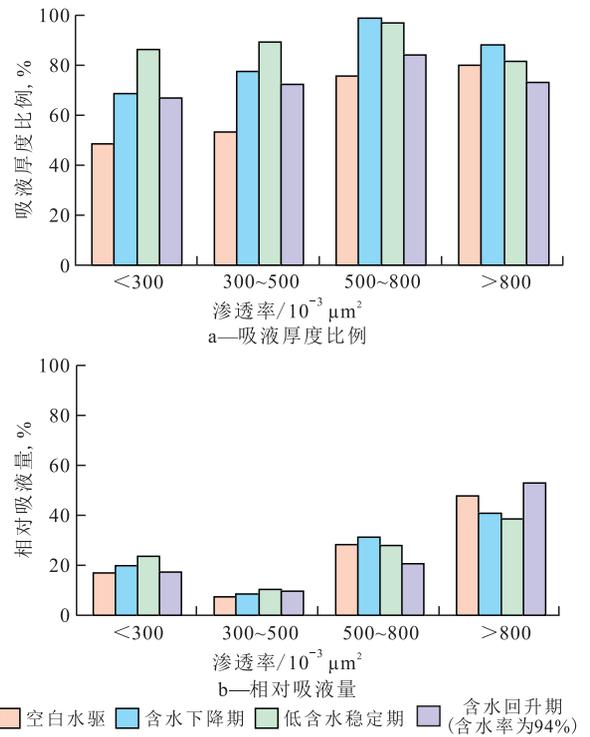


图2 一类油层北三西区块不同聚合物驱阶段注入剖面对比

Fig.2 Injection profiles at different stages of polymer flooding in primary oil layers of Bei3 west block

经济界限曲线的交点作为停注聚时机的判别方法(图3)。具体做法是:首先绘制出聚合物用量与采收率提高值关系曲线;然后对该曲线求导绘制出采收率提高值变化率曲线;再依据井网利用情况、聚合物驱注聚参数、注聚时间等指标对区块进行经济评价,求得极限经济条件下的采收率提高值变化率,该值与采收率提高值变化率曲线的交点即为该聚合物驱控制程度区块的合理聚合物用量。该方法不仅考虑了含水率、地质条件,而且考虑了不同油价下的聚合物驱经济界限,因此,这种多因素的停注聚判别方法更为客观合理。

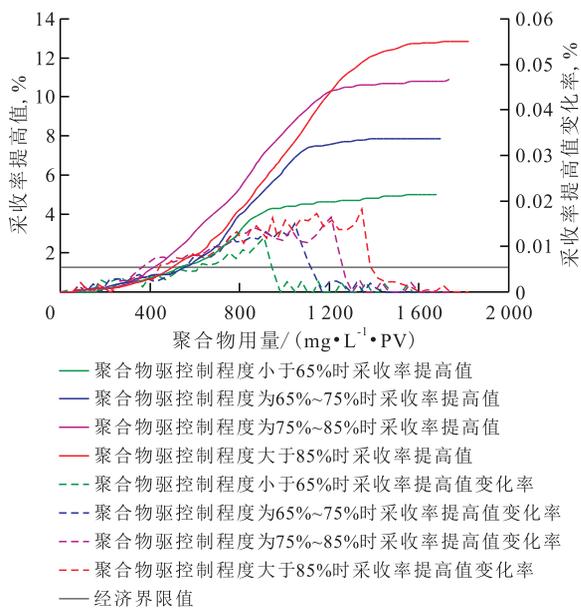


图3 聚合物用量与采收率提高值变化率的关系

Fig.3 Relation between enhanced oil recovery factor and polymer consumption

### 3 停注聚实施方法

为确保低成本、高效益开发,依据油田实际情况,制定了停层不停井、停井不停站、停站不停区的停注聚实施方法。

单井组停注聚实施方法(停层不停井) 依据单井停注聚时机判别方法,当单井组有2口以上生产井满足停注聚条件并且井组平均综合含水率大于92%时,注入井即可停止注入聚合物。当仅有1口生产井或井组平均综合含水率小于92%时,注入井继续注聚,但若满足停层不停井技术界限,可实施停层不停井,优化聚合物驱开发效果。停层不停井技术界限确定主要考虑2点:①选择剖面动用不均匀、单层突进严重的分层井,封堵发育好、动用好的层段,其他动用差的层段继续注聚;②选择部分沉积单元剩余油富集的分层井,封堵剩余油少的层

段,在剩余油较多的层段继续注聚。

停井不停站方法 区块内满足停注聚条件的井组停止注入聚合物,但只要剩余注聚井组的注入量能够满足配制站外输母液管线正常运行量,即超过极限排液量(150~200 m<sup>3</sup>/d),配制站应继续工作,保证供应。

停站不停区方法 对于整个区块而言,只要逐次关闭满足停止运转条件的配制站,不需要整个区块同时停止注聚,尽可能地保证全区聚合物驱的开发效果和效益。

### 4 结束语

通过大庆油区矿场实际资料分析,明确了在区块综合含水率为92%以后开始编制停注聚方案,注聚后期在单井组综合含水率为92%~94%时,考虑地质条件差异和经济效益,可应用采收率提高值和聚合物用量导数曲线与停注聚经济界限曲线的交点判别停注聚时机;应用制定的停层不停井、停井不停站、停站不停区的停注聚实施方法,能够避免矿场聚合物溶液低效、无效循环,合理优化油田化学剂用量,提高聚合物驱效益。大庆油区如果应用新建立的停注聚方法,指导25个注聚中后期区块合理停注聚,按节省用量50 mg/L·PV计算,可节省干粉3.28×10<sup>4</sup> t,创经济效益4.59×10<sup>8</sup>元。

#### 参考文献:

- [1] 王启民,冀宝发,隋军,等.大庆油田三次采油技术的实践与认识[J].大庆石油地质与开发,2001,20(2):1-8.  
Wang Qimin, Ji Baofa, Sui Jun, et al. Practice and knowledge of tertiary recovery technique in Daqing oilfield[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2001, 20(2): 1-8.
- [2] 刘吉余,刘曼玉,徐浩.高含水期采出程度影响因素分析及定量计算——以大庆油田萨中开发区为例[J].油气地质与采收率,2010,17(1):62-63,67.  
Liu Jiyu, Liu Manyu, Xu Hao. Analysis and quantitative calculation on influencing factors of recovery percent at the high water cut stage—a case study of Sazhong Development Area, Daqing Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(1): 62-63, 67.
- [3] 廖广志,牛金刚,邵振波,等.大庆油田工业化聚合物驱效果及主要做法[J].大庆石油地质与开发,2004,23(1):48-50.  
Liao Guangzhi, Niu Jingang, Shao Zhenbo, et al. Application and experience of industrialized polymer flooding in Daqing oilfield [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2004, 23(1): 48-50.
- [4] 刘朝霞,王强,孙盈盈,等.聚合物驱矿场应用新技术界限研究与应用[J].油气地质与采收率,2014,21(2):22-24,31.

- Liu Zhaoxia, Wang Qiang, Sun Yingying, et al. Study and application of new technological limit for polymer flooding in field application [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(2): 22-24, 31.
- [5] 李林祥. 孤东油田小油砂体提高采收率技术[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(2): 67-70, 73.  
Li Linxiang. Improved recovery method on small oil sandbody in Gudong oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(2): 67-70, 73.
- [6] 赵翰卿. 大庆油田河流-三角洲沉积的油层对比方法[J]. *大庆石油地质与开发*, 1988, 7(4): 25-31.  
Zhao Hanqing. Formation correlation of fluvial-deltaic deposition in Daqing oil field [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 1988, 7(4): 25-31.
- [7] 赵翰卿. 对储层流动单元研究的认识与建议[J]. *大庆石油地质与开发*, 2001, 20(3): 8-10.  
Zhao Hanqing. Recognition and advice on the study of reservoir flow unit [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2001, 20(3): 8-10.
- [8] 闫百泉, 张树林, 卢柏庆, 等. 大庆油田北二西二类油层非均质性特征研究[J]. *新疆石油学院学报*, 2004, 16(1): 27-30.  
Yan Baiquan, Zhang Shulin, Lu Baiqing, et al. The heterogeneities speciality of better thick oil reservoir in the western area of Beier of Daqing oil field [J]. *Journal of Xinjiang Petroleum Institute*, 2004, 16(1): 27-30.
- [9] 闫亚茹, 李瑞升, 吴蔚. 萨中地区二类油层聚合物驱油试验的几点认识[J]. *大庆石油地质与开发*, 2004, 23(4): 87-88.  
Yan Yaru, Li Ruisheng, Wu Wei. Some understandings of polymer flooding test of the second type of reservoirs in Sazhong area [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2004, 23(4): 87-88.
- [10] 韩培慧, 赵群, 穆爽书, 等. 聚合物驱后进一步提高采收率途径的研究[J]. *大庆石油地质与开发*, 2006, 25(5): 81-84.  
Han Peihui, Zhao Qun, Mu Shuangshu, et al. Study on further EOR after polymer flooding [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2006, 25(5): 81-84.
- [11] 刘广为, 姜汉桥, 王敏, 等. 聚合物驱增油量评价方法及应用[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(2): 29-31.  
Liu Guangwei, Jiang Hanqiao, Wang Min, et al. Study on calculation for polymer flooding incremental oil [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(2): 29-31.
- [12] 余传谋, 王羽君. 吸水剖面预测模型在层系优化组合中的应用——以濮城油田文51块沙二段下亚段油藏为例[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(3): 102-104.  
Yu Chuanmou, Wang Yujun. Application of injection profile date in layer optimized combination at late high water-cut stage of lower Es<sub>2</sub> reservoir in Wen51 block of Pucheng oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(3): 102-104.
- [13] 付天郁, 邵振波, 毕艳昌. 注入速度对聚合物驱油效果的影响[J]. *大庆石油地质与开发*, 2001, 20(2): 63-65.  
Fu Tianyu, Shao Zhenbo, Bi Yanchang. Effect of injection rate on the displacement efficiency of polymer flooding [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2001, 20(2): 63-65.
- [14] 肖书慧, 刘启, 刘士芹. 二类油层注聚对象的确定与层系间隔层处理方法[J]. *大庆石油地质与开发*, 2004, 23(4): 68-69.  
Xiao Shuhui, Liu Qi, Liu Shiqin. Determining of the second type reservoir for polymer flooding and processing method of intervals between zones [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2004, 23(4): 68-69.
- [15] 冯其红, 王相, 王波, 等. 非均质水驱油藏开发指标预测方法[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(1): 36-39.  
Feng Qihong, Wang Xiang, Wang Bo, et al. A new method for prediction of heterogeneous reservoir development index by water-flooding [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(1): 36-39.
- [16] 邵振波, 张晓芹. 大庆油田二类油层聚合物驱实践与认识[J]. *大庆石油地质与开发*, 2009, 28(5): 163-168.  
Shao Zhenbo, Zhang Xiaoqin. Practice and recognition of polymer flooding in class II reservoir of Daqing oilfield [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2009, 28(5): 163-168.

编辑 刘北羿

(上接第87页)

- [10] Cao M, Gu Y. Oil recovery mechanisms and asphaltene precipitation phenomenon in immiscible and miscible CO<sub>2</sub> flooding processes [J]. *Fuel*, 2013, 109: 157-166.
- [11] 管焕铮, 薄艳红. GB/T 1884—2000 原油和液体石油产品密度实验室测定法(密度计法)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.  
Guan Huanzheng, Bo Yanhong. GB/T 1884—2000 Crude petroleum and liquid petroleum products—laboratory determination of density—hydrometer method [S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2000.
- [12] 刘学, 陈红, 郑玉泉, 等. SY/T 0520—2008 原油粘度测定 旋转粘度计平衡法[S]. 北京: 石油工业出版社, 2008.  
Liu Xue, Chen Hong, Zheng Yuquan, et al. SY/T 0520—2008 Viscosity determination of crude petroleum: Equilibrium method by rotational viscometer [S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.
- [13] Wang X, Zhang S, Gu Y. Four important onset pressures for mutual interactions between each of three crude oil and CO<sub>2</sub> [J]. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 2010, 55(10): 4390-4398.

编辑 王星