

# 海上油田水聚同驱干扰影响机理与改善方法

李保振<sup>1,2</sup>, 康晓东<sup>1,2</sup>, 唐恩高<sup>1,2</sup>, 王旭东<sup>1,2</sup>, 杨俊茹<sup>1,2</sup>

(1. 海洋石油高效开发国家重点实验室, 北京 100028; 2. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

**摘要:**针对渤海 W 油田注聚目标区因油井转注水而引起的水井与注聚井相互干扰问题, 基于典型模型, 精细研究了水聚干扰下的驱油动态、影响因素及作用规律。测试了采用调整水聚同驱区域的注水/注聚速度比例、注水/注聚井注入介质互换和水/聚交替注入 3 种方法对改善水聚干扰驱油效果的影响。W 油田的实例应用潜力评估表明, 研究成果对于渤海油田聚合物驱方案的顺利实施与调整完善具有借鉴意义。

**关键词:**聚合物驱 水聚干扰 数值模拟 改善方法

**中图分类号:**TE357.4 **文献标志码:**A

## Influence mechanism of water and polymer interaction in simultaneous water flooding and polymer flooding in offshore oilfields and its improving methods

LI Baozhen<sup>1,2</sup>, KANG Xiaodong<sup>1,2</sup>, TANG Engao<sup>1,2</sup>,  
WANG Xudong<sup>1,2</sup>, YANG Junru<sup>1,2</sup>

(1. State Key Lab of Offshore Oil Exploitation, Beijing 100028, China; 2. CNOOC Research Institute CO., Ltd., Beijing 100028, China)

**Abstract:** The water and polymer interaction problem in W Oilfield was obvious due to the water injectors converted from producers and new infilling ones in previous polymer injection well pattern. According to a typical reservoir model, it was carried out studies on dynamic production indexes under water and polymer interaction such as swept area, water cut, oil producing rate, etc., and it was analyzed the influence mechanism of these indexes on oil displacement efficiency. And then it was tested the three improving methods: properly reducing water injection rate in water and polymer interaction area, injected water and polymer interchanging in injectors, and water alternating polymer. A pilot was conducted in W Oilfield for application evaluation. This study results provide critical insights for understanding the polymer and water interaction mechanism and optimization strategies for offshore polymer flooding projects in Bohai Bay.

**Key words:** polymer flooding; water and polymer interaction; numerical simulation; improvement method

聚合物驱目前已成为海上油田高效开发的一项重要支撑技术<sup>[1-3]</sup>。渤海 W 油田聚驱开发过程中出现原注聚区的油井(Z55/Z75/Z77/Z95/)转注水情况(见图 1)。因原注聚井排间出现了注水井,造成水/聚驱干扰问题,调整后没有达到预期的生产开发效果。目前对于聚驱油田水聚干扰对注聚效果的影响认识尚不统一,大庆油田萨北开发区研究认为水聚同驱可取,在保证压力平衡的前提下水聚同驱不会影响聚驱效果<sup>[4-8]</sup>。其研究的前提是针对二类低渗油层难以聚驱动用的问题,实施注水开发,实现有效动用。其研究对象与渤海目前开展注聚的油田

存在较大差别<sup>[9-10]</sup>。因此,有必要开展水聚同驱干扰问题研究,为现有开发区块及其他海上油田聚驱后期开发方案调整提供技术支撑。本研究基于渤海注聚油田储层、流体、聚合物等特征,采用油藏工程、动态分析和数值模拟等手段对聚驱过程中的水聚干扰机理、因素进行分析,并提出了控制水聚干扰程度

收稿日期:2019-03-28; 改回日期:2019-06-10。

第一作者简介:李保振(1979—),博士,高级工程师,从事油气田开发、提高采收率工作。E-mail:baozhen\_li@126.com。

基金项目:十三五“重大专项课题”(编号 2016ZX05025-003)。

的方法和措施,为渤海注聚方案的顺利实施和增油上产效果的保障提供技术支持。

## 1 W 油田聚驱现状与问题

W 油田储层埋深约 1 700 m,平均孔隙度约 26%,平均渗透率约  $1\,200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,原油地下黏度约  $20 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。油田纵向上油层组多,渗透率级差大,非均质性严重,层间层内矛盾突出。该油田 1999 年投产,2000 年转注水,2007 年逐步实施井组注聚方案,并显现较明显的降水增油见效特征,取得了较理想的矿场应用效果。截至 2016 年底,提高采收率约 6%。

W 油田原井网为反九点井网,基础井网有 8 口注水井,分别于 2008 年前后陆续转注聚,注聚量达 0.3 PV 后于 2011 年前后陆续转注二元。2015—2016 年期间对该区块井网进行调整,先后打了 12 口加密水井,井网由反九点布井方式调整为排状井网。调整后,没有达到预期的生产开发效果,之前的受效井产液和产油明显下降,表现出明显的水聚干扰现象,因此有必要开展水聚同驱干扰问题研究(见图 1)。

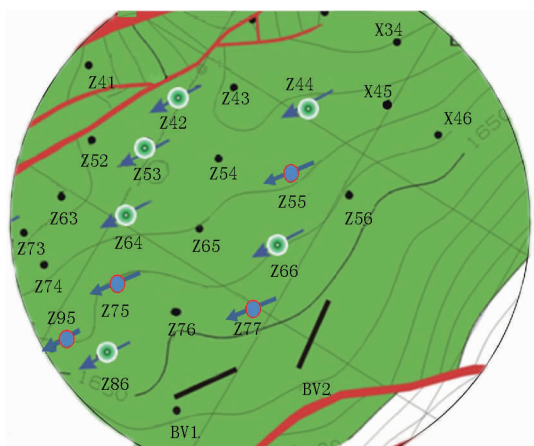


图 1 W 油田注聚井组

## 2 水聚干扰机理模拟研究

### 2.1 基本油藏模型

基于 W 油田油藏地质、流体、相渗及动态资料,采用 Eclipse 软件聚驱模块建立了 2 注 3 采典型井组聚驱油藏模型,以直观模拟分析聚驱过程中水聚干扰现象。模型网格划分: X/Y/Z 方向分别为 31/31/3 个;网格步长:  $D_x = 20 \text{ m}$ ,  $D_y = 20 \text{ m}$ ,  $D_z = 5 \text{ m}$ , 三层渗透率分别为 0.3, 0.9,  $3 \mu\text{m}^2$ 。模型初始端和末端分别有 2 口注入井和 3 口生产井(见图 2)。模

型聚合物特征参数见表 1,之后引入聚合物驱试验的驱替动态参数,包括注采制度和含水率、压力等监测指标。在该基础上开展水驱、聚驱数值模拟研究工作。油藏先水驱至含水达 60%,然后注聚 0.3PV,最后转水驱至含水 98% 结束。

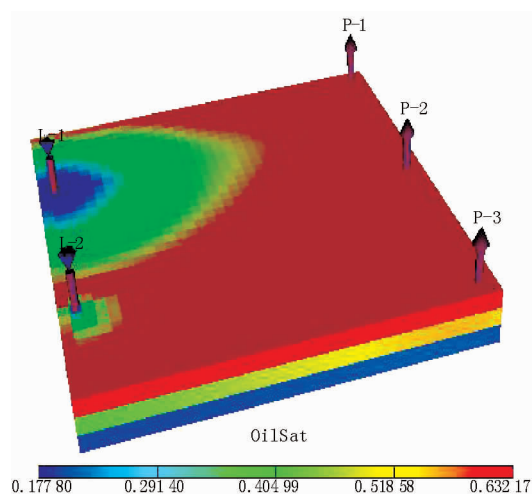


图 2 典型聚驱油藏模型

表 1 聚合物溶液黏浓关系

聚合物溶液浓度/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	数模黏度/( $\text{mPa} \cdot \text{s}$ )
500	1.75
800	4.20
1 200	8.40
1 500	13.80
2 000	22.30
2 500	31.10

### 2.2 水聚干扰机理分析

基于上述 3 层非均质油藏模型,分析聚合物与水同步驱替时的水聚接触带分布、含油饱和度分布、阶段采出程度以及不同位置生产井的含水率变化特征,以详细剖析水驱干扰下的驱替与生产动态。研究制定了 3 个方案:① $I_1$ 、 $I_2$  两井一直水驱,至综合含水 98%;② $I_1$ 、 $I_2$  两井水驱至含水 60% 后  $I_1$  转注聚驱 0.3 PV,直至综合含水 98%;③ $I_1$ 、 $I_2$  两井水驱至含水 60% 后同时转注聚各 0.15 PV(保证与方案②注聚量相同),后续转水驱至综合含水 98%。

图 3 给出了两井并排注聚和 1 聚 + 1 水同时注入情况下的聚驱波及效果对比。可以看出:在水聚干扰下,聚驱前缘不稳定,波及面积偏小,聚合物窜进到生产井较早,降低了聚驱增油的效果。

图 4 给出了以上方案产油速度与累产油指标对比,3 个方案生产统计指标见表 2。可以看出:

(1) 方案②和方案③两个注聚方案采收率均较

水驱方案①有所提高,分别提高了 9.7% 和 12.2%。

(2)同聚合物用量下并排注聚方案③较 1 水 + 1 聚方案②可提高采收率约 2.5%。

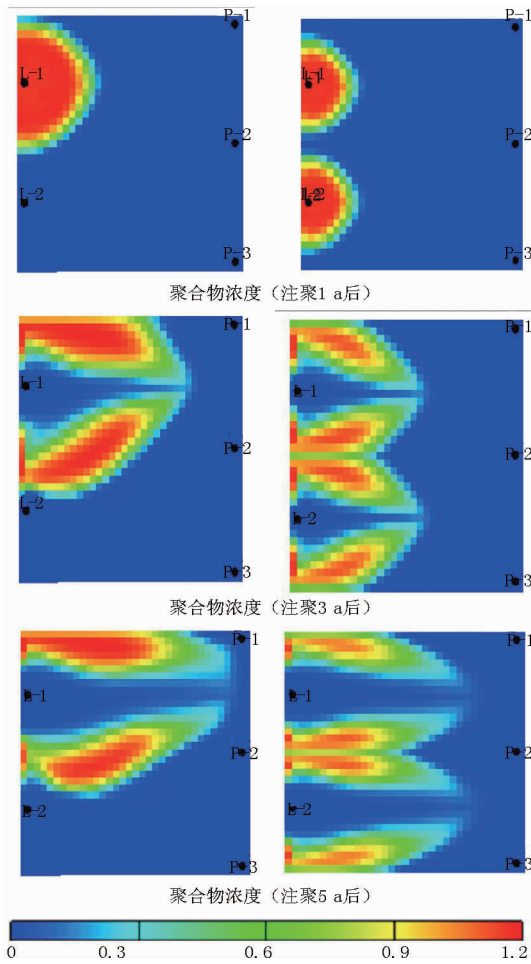


图 3 水聚干扰(左)与排状注聚(右)波及对比

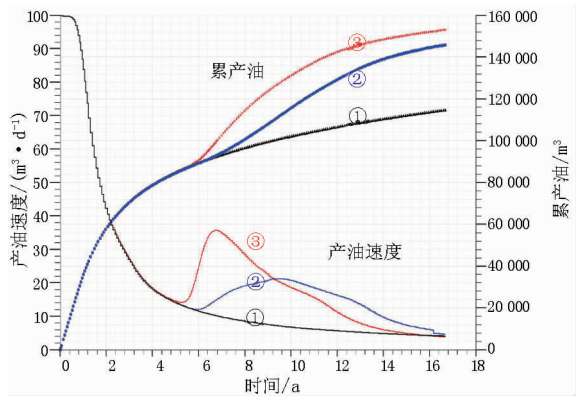


图 4 方案①、②、③产油指标对比

表 2 水驱、排状聚驱、水聚干扰方案产油指标对比

方案	累产油/ $\text{m}^3$	采出程度/%	采收率增幅/%
①水驱(2 水)	114 580	35.7	—
②聚驱(1 聚 + 1 水)	152 985	45.4	9.7
③聚驱(2 聚)	145 792	47.6	12.2

### 3 水聚干扰改善技术研究

针对 W 目标油田聚驱现状,结合前面的基础认识,对改善水聚干扰影响的聚合物调整方案进行研究,主要包括注水/注聚速度、注水/注聚方式等内容,以对油田现场减弱水聚干扰影响和提升聚驱效果提供技术支持。

#### 3.1 注聚/注水速度调整

在水聚干扰已经存在的情况下,影响水驱聚驱的主要因素是注聚/注水的速度<sup>[1-5]</sup>。采用上述 1 聚 + 1 水 + 2 采油井油藏模型分析水聚干扰情况下,通过调整注水/注聚速度对聚驱效果的影响。分别设计了方案②:注水速度与注聚速度比例 1:1;方案④:注水速度与注聚速度比例 1.2:0.8;方案⑤:注水速度与注聚速度比例 0.8:1.2。

图 5 给出了以上 3 种方案中的产油指标。可以看出:水聚干扰时,在相同注聚量前提下,方案⑤通过适度增加注聚速度,降低注水速度,可以提高聚驱波及体积,增加聚驱效果,提高油藏采收率。

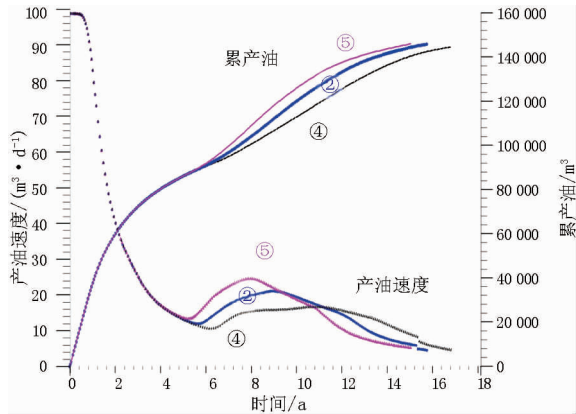


图 5 水聚干扰下注水/聚速度影响对比

#### 3.2 注聚井/注水井注入介质转换

图 3 展示了因方案②的 1 聚 + 1 水方案两种注入介质显著差异,注聚/注水前缘存在明显的差异,造成注水受效井过早水淹,甚至关井停产,影响了聚驱区块整体的波及和聚驱效果。针对以上情况,测试了在注水井/注聚井注入 0.15 PV 后,将二者的注入介质进行转换(方案⑥),测试这种调整对聚驱效果的影响<sup>[7-10]</sup>。图 6 给出了 1 聚 + 1 水后期互换方案⑥与原来的 1 聚 + 1 水方案②的产油指标对比。可看出:水聚干扰时,方案⑥在注水与注聚相邻区域通过转换注聚和注水井的注入介质,在相同注聚量下,能够扩大注聚波及面积与体积,改善聚驱效果,较水聚干扰方案②提高油藏采收率约 1.3%。

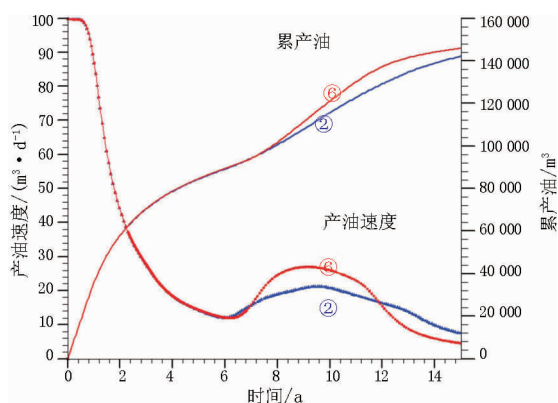


图6 注聚/水井介质互换下产油指标

### 3.3 水聚井互换交替注入

3.2 小节在水/聚干扰情况下,通过对注聚井/注水井进行注入介质互换,减弱了水聚干扰下的驱替前缘突破影响。参考以上成果,对注聚井和注水井转换组合进行了进一步研究。将注聚井和注水井调整为2口( $I_1$ 、 $I_2$ )水聚交替注入井, $I_1$ 注聚的时候 $I_2$ 注水,而 $I_1$ 注水的时候 $I_2$ 注聚,如此交替循环(周期1a)开展,总注聚量保持0.3 PV不变。

在对上述注水井/注聚井交替注水/注聚情况下,分别设置交替周期1a(方案⑦)和0.5a(方案⑧)进行模拟对比研究。

由图7看出,通过注聚/注水井交替注水/注聚,可减弱水聚干扰影响,改善聚驱波及效率,提高油田聚驱采收率;通过缩短交替注入轮换周期(方案⑧),可以在相同注聚量下获得较好的聚驱效果。

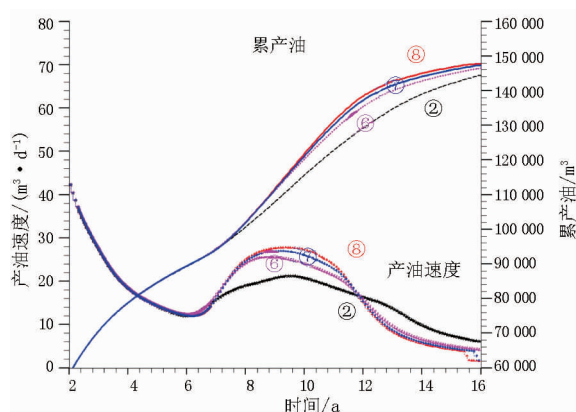


图7 注聚/水井交替注入时产油指标

## 4 渤海W油田实例研究

W油田注聚井区X55/X75/X95/X86于2015年前后由油井转注水(见图1蓝标井),在原注聚区造成水聚交错同注的现状,影响了聚驱增油降水效果。结合前面的认识,对其目标区注聚方案调整与

完善进行研究。分别模拟预测将上述4口井立即转注聚(方案①)和保持目前水聚交错注入(方案②)的驱油效果。为保证注聚量相同,将2个方案的停注聚时间分别设置为2019年6月30日和2018年9月30日。对2个聚驱方案的增油效果进行模拟对比。图8给出了目前井网条件下和注聚核心区排状注聚与水聚交错情况下产油指标对比。

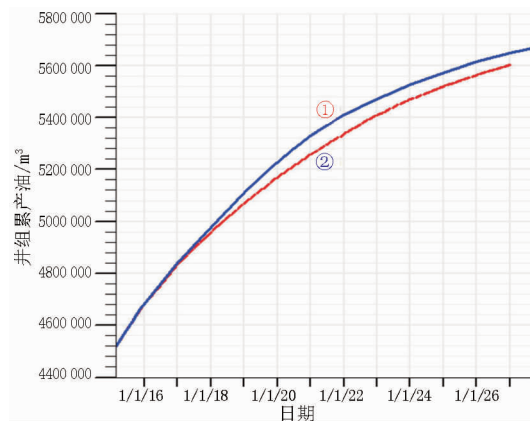


图8 水聚交错与整体排状累产油

由图8可以看出:通过方案①实施在注聚区实施排状连片注聚,可以减少水聚干扰影响,提高采收速度,控制含水水平,可以在平台有效生产周期内提高目标井区的采收率约1.1%。

## 5 结论

(1)通过目标油田典型井组聚驱模型,明确了相比并排注聚,水聚干扰情况下聚合物驱前缘窜进突破较快,波及效率偏低,采收率下降2%。

(2)通过降低水/聚注入速度比、注水井/注聚井转换注入介质、注入井轮换交替注水/聚3种调整方法,可以减弱水聚干扰影响,提升注聚效果。

(3)实际模拟结果表明:原注聚驱出现油井转注时,实施排状注聚较水聚井交错可减弱干扰,提高聚驱波及与驱替效率,提高井组采收率1.1%。

### 参考文献:

- [1] 关文婷. 大庆油田二类油层聚水同驱可行性研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(4): 106-108.
- [2] 张居和, 冯子辉, 方伟, 等. 水驱和聚合物驱油藏地球化学特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2012, 31(4): 50-56.
- [3] 王德, 张智春, 高小鹏, 等. 孤岛油田中一区馆3聚合物驱试验区转后续水驱开采特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(4): 61-62.
- [4] 赵春森, 袁友为, 崔国强, 等. 水聚同驱区块注入参数方案的优化[J]. 低渗透油气田, 2009(1): 69-71.

(下转至第63页)



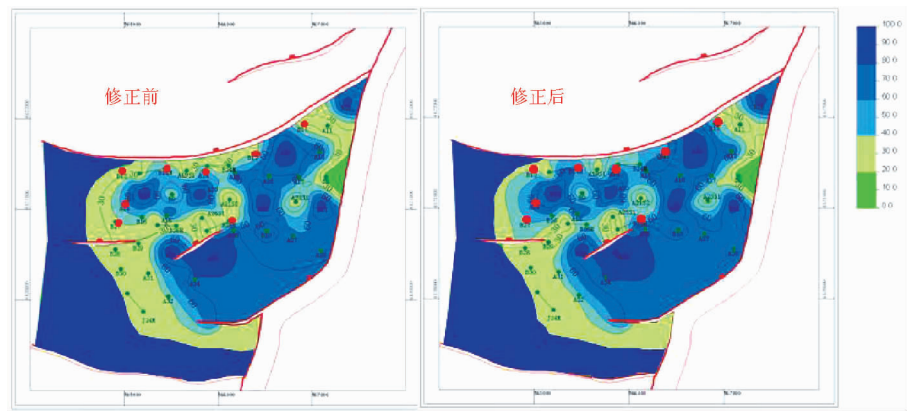


图 8 N 油田东二上段Ⅲ油组 2 小层修正前后水淹图对比

表 3 含水率与注水倍数曲线修正前后水淹对比分析

井号	B13	A24	B14M	B12	A14	B27	B17	B25H
修正前水淹/%	20 ~ 40	20 ~ 40	40 ~ 60	20 ~ 40	40 ~ 60	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40
修正后水淹/%	40 ~ 60	40 ~ 60	60 ~ 80	40 ~ 60	60 ~ 80	40 ~ 60	40 ~ 60	40 ~ 60
井口含水/%	7	60	86	50	78	64	22	90
备注	产出少			出砂降频				

5 结论及建议

(1)开展岩心级别精细数值模拟研究,补全了物理模拟过程中含水率与注水倍数早、中期缺失实验数据点。

(2)将数值模拟结果应用于水淹规律认识,指导了 4 口调整井的挖潜方案,预计增油  $23 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,提高区域采收率 0.4%。

(3)虽然目前实验方法得到了改进,但仍然存在前期数据点缺失的现象。因此,建议继续改进实验方法和设备,提高实验精度,为油田生产提供更准确的参考数据。

参考文献:

[1] 王飞,张军,梁绍洪. 小层水淹图的绘制及在中原油田文 10 块的应用[J]. 内江科技,2014,35(7):34,26.

[2] 乔霞,刘卫丽,聂延波,等. 块状边底水油藏水淹规律研究

(上接第 40 页)

[5] 冯程程. 二类油层聚合物驱开发动态特征[J]. 科学技术与工程,2011,11(31):7782-7784.

[6] 肖龙,周宏伟,李丽娟,等. 二类油层聚合物驱上下返注工艺实践与认识[J]. 油气田地面工程,2003,22(2):12-14.

[7] 宋洪才,史春华,康少东. 模糊数学方法在大庆油田北一、二排西部注聚层系优化组合中的应用[J]. 东北石油大学学报,1998(4):27-29.

[8] 庞晓慧. 大庆油田杏十二区块水聚同驱优化研究[D]. 东北

[J]. 长江大学学报(自科版),2014,11(32):83-86.

[3] 孟雅杰,李和全. 微机绘制水淹状况图的方法[J]. 大庆石油地质与开发,1995,13(1):70-74,79.

[4] 陈萍. 计算机快速绘制水淹图技术研究[J]. 化工管理,2014,18(5):93.

[5] 于春生,李闽,乔国安,等. 纵向非均质油藏水驱油实验研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2009,11(1):84-86.

[6] 苏娜,黄健全,韩国辉,等. 微观水驱油实验及剩余油形成机理研究[J]. 断块油气田,2007,13(6):50-51.

[7] 高旺来,沈德煌,李芳芳. 稠油相对渗透率实验过程出口端管线的驱油特征[J]. 特种油气藏,2013,20(1):115-117,157.

[8] 李功,杨小婕,耿娜,等. 渤海油田油水相对渗透率和水驱油效率研究[J]. 长江大学学报(自科版),2015,12(14):61-65,7.

[9] 刘斌,杨静,张瑞,等. 海上注水油田水淹规律分析软件在渤海某油田中的应用[J]. 石油化工应用,2017,36(1):106-110.

(编辑 谢 葵)

石油大学,2016.

[9] 何春百,冯国智,谢晓庆,等. 多层非均质油藏聚水同驱物理模拟实验研究[J]. 科学技术与工程,2014,14(7):160-163.

[10] 张玮,张宁,王成胜,等. 平面非均质性对渤海 B 油田注聚效果的影响实验研究[J]. 科学技术与工程,2017,17(10):182-187.

(编辑 谢 葵)