

致密油藏储层驱替特征及开发效果 ——以鄂尔多斯盆地上里塬地区延长组长7油层组为例

韩永林,刘军锋,余永进,王胜华,沈 强

(中国石油长庆油田分公司第二采油厂,甘肃庆阳745100)

摘要:为了研究致密油藏储层驱替特征及其开发效果,以鄂尔多斯盆地上里塬地区上三叠统延长组长7油层组为例,通过测试分析及模拟实验对致密油藏储层的敏感性、渗流特征及水驱油特征进行了分析。结果表明,研究区储层为弱速敏、弱酸敏性,无水敏、盐敏性。致密油藏单相渗流启动压力梯度达2.0 MPa/cm,与渗透率呈负相关;束缚水饱和度和残余油饱和度偏高,共渗区较窄,等渗点较低,含水饱和度增大会导致油相渗透率快速下降。根据其不同驱油阶段含水率和驱油效率的变化,将长7储层的水驱油开发大致划分为无水期、含水快速上升期及高含水期等3不同的开采阶段。无水期驱油效率为18.1%,最终驱油效率较低,仅为31.7%。同时,研究区储层润湿相为弱亲油,对后期的注水开发会产生深远影响。

关键词:储层敏感性;渗流特征;水驱油特征;致密油藏;延长组;上里塬地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Displacement characteristics and development effect of tight oil reservoir: a case from Chang 7 oil layer of the Yanchang Formation in Shangliyuan area, Ordos Basin

Han Yonglin, Liu Junfeng, Yu Yongjin, Wang Shenghua, Shen Qiang

(No. 2 Production Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Qingyang, Gansu 745100, China)

Abstract: In order to study displacement characteristics and development effect of tight oil reservoir, this paper analyzed the sensitivity, fluid percolation and water-driving displacement characteristics of Chang7 oil layer of the Triassic Yanchang Formation in Shangliyuan area, Ordos Basin. The results show that Chang7 oil layer has weak velocity sensitivity, weak acid sensitivity, no water sensitivity and no salt sensitivity. The starting pressure gradient of single-phase flow is up to 2.0 MPa/cm, and negatively correlates with permeability. The saturation of irreducible water and residual oil is high, the oil-water simultaneous vadose region is narrow, and the isoperm point is low, thus the increasing of water saturation can cause the rapidly decreasing of oil phase permeability. According to the changes of WC (water cut) and oil displacement efficiency in different displacement period, the water-driving in the Chang 7 oil layer can be divided into three different periods including no water period, WC-increasing-rapidly period, and high WC period. The oil displacement efficiency in no water period is 18.1%, and the final oil displacement efficiency is as low as 31.7%. In addition, the weak oil wettability of the oil layer will have a profound impact on later waterflooding.

Key words: reservoir sensitivity, percolation characteristics, water-driving characteristics, tight oil reservoir, Yanchang Formation, Shangliyuan area, Ordos Basin

位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡西南段的上里塬地区上三叠统延长组长7油层组致密油资源量巨大(图1),是中国石油长庆油田分公司开发的重点地区和层位之一。但随着探索开发的不断深入,油田开发方面的一些瓶颈问题逐渐显露出来。主要表现为常规直井产能低,注水压力高,低含水期较短,油井含水上升快等特征^[1-5]。为此,笔者在众多研究成果

的基础上,从储层敏感性研究、渗流特征研究及开发效果出发,探讨了驱替特征对常规直井水驱油情况下开发效果的影响。

1 长7油层组储层特征

研究区长7油层组可进一步划分为长7³、长7²和

收稿日期:2013-11-30;修订日期:2014-02-30。

第一作者简介:韩永林(1964—),男,高级工程师,石油地质与油藏评价。E-mail: hyl_cq@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05007-004)。

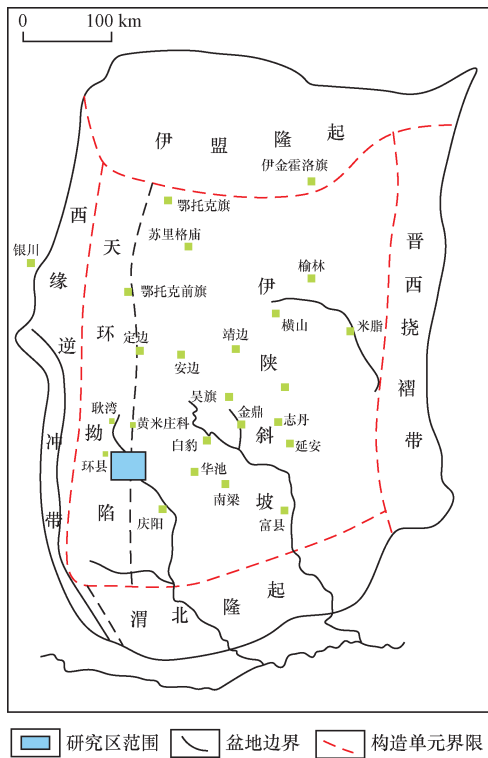


图 1 研究区区域位置
Fig. 1 Location of the study area

长 7¹三个油层,本次研究以长 7²、长 7¹为主。区内长 7 油层组储集砂岩类型为长石砂岩和岩屑长石砂岩,为深湖浊积扇沉积。储集砂岩多发育中-小孔微细喉型孔隙结构,属于典型的致密油藏。粘土矿物的类型以伊利石为主,相对含量为 62%~65%;绿泥石次之,介于 20%~30%;伊/蒙混层的含量变化较大。

2 储层的敏感性

为定量分析长 7 油层组中储层敏感性,参照行业标准 SY/T 5385—2002^[6-15],利用研究区储层岩心样品,分别完成了速敏、水敏、酸敏、碱敏及盐敏等五敏室内评价实验。

2.1 速敏性实验

研究区 A3 井和 A20 井长 7 油层组中储层粘土矿物组分含量大体一致,但两口井的速敏实验的结果差异较大(图 2)。A3 井随着驱替速率的增加,岩样渗透

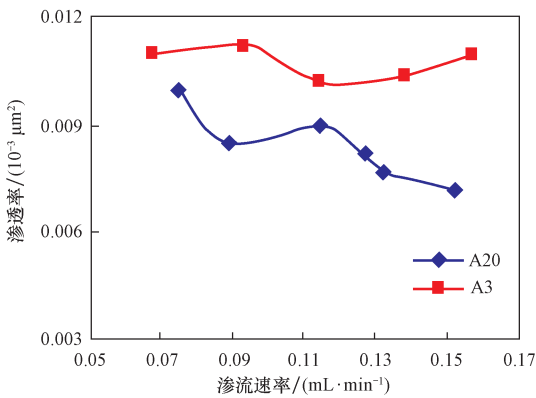


图 2 上里塬长 7 油层组储层速敏曲线
Fig. 2 Velocity sensitivity curve for Chang 7 oil layer in Shangliyu area

率未见明显下降,无速敏伤害;A20 井注入速度的增加,岩样渗透率下降明显,弱速敏伤害。分析认为,两口井速敏曲线的差别源于储层物性不同,由于该区孔隙结构为中-小孔微细喉,岩样中参与流动的毛细管数随着流速的增加而增加。具体表现为:若微粒半径小于孔喉半径,微粒将被流体冲刷出来;若微粒半径大于孔喉半径,微粒会在喉道处堆积堵塞,形成“桥堵”^[8],致使储集物性变差。由此可见该区储层为弱速敏。因此在开发注水工程中,保持储层中流体略低于临界流速即可。

2.2 水敏、盐敏性实验

从研究区 A3 井和 A20 井岩样水敏、盐敏性实验结果(表 1)可以看出,当注入水分别为地层水、50%地层水、25%地层水及无离子水时,岩样渗透率变化不明显,同时水敏指数分别为 -0.01 和 -0.02,总体说明储层无水敏、盐敏性。

2.3 酸敏性实验

研究区储层粘土矿物绿泥石含量高达 24%,遇酸后膨胀运移,生成的氢氧化铁胶体沉淀会堵塞孔喉,降低储层渗透率。向研究区储层岩样注入 15%的 HCl,注酸前和注酸后渗透率有所下降,样品酸敏指数分别为 0.08 和 0.21,基本呈现弱酸敏性(表 2)。

2.4 碱敏性实验

本次实验分别用地层水和 pH 值为 11 的 KOH 溶液

表 1 上里塬长 7 油层组储层水敏、盐敏性实验结果
Table 1 Water and salt sensitivity experiment results for Chang 7 oil layer in Shangliyu area

井号	井深/m	气体渗透率/ (10 ⁻³ μm ²)	孔隙度/ %	地层水渗透率/ (10 ⁻³ μm ²)	50%地层水渗透 率/(10 ⁻³ μm ²)	25%地层水渗透 率/(10 ⁻³ μm ²)	无离子水渗透 率/(10 ⁻³ μm ²)	水敏指数	水敏程度	盐敏程度
A3	2 080.51	0.097	11.8	0.012 5	0.012 9	0.013 3	0.012 6	-0.01	无水敏	无盐敏
A20	2 286.95	0.085	10.4	0.005 5	0.006 1	0.005 9	0.005 6	-0.02	无水敏	无盐敏

表 2 上里塬长 7 油层组储层酸敏性实验结果

Table 2 Acid sensitivity experiment results for Chang 7 oil layer in Shangliyuan area

井号	井深/m	气体渗透率/ (10 ⁻³ μm ²)	孔隙度/ %	地层水渗透 率/(10 ⁻³ μm ²)	酸液名称	酸液浓度/ %	酸液用量/ PV	酸后地层水渗透 率/(10 ⁻³ μm ²)	酸敏指数	酸敏程度评价
A3	2 083.41	0.108	11.5	0.016	HCl	15	1.01	0.015	0.08	弱酸敏
A20	2 287.07	0.102	10.0	0.006	HCl	15	1.02	0.005	0.21	弱酸敏

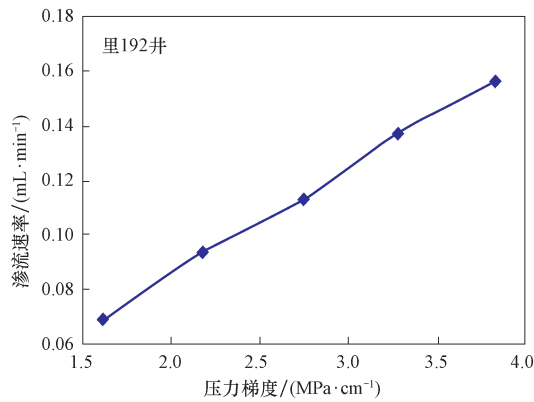


图 3 上里塬长 7 油层组储层单相渗流特征曲线

Fig. 3 Single-phase flow curve of Chang 7 oil layer in Shangliyuan area

测试了不同岩样渗透率的响应,结果表明,两块样品的碱敏指数分别为 0.15 和 0.04,认为研究区储层基本为弱-无碱敏性。

综上,研究区储层基本为弱速敏、无水敏、无盐敏、弱酸敏、弱碱敏。

3 储层渗流特征

3.1 单相渗流特征

单相渗流实验结果表明,压力梯度不仅影响储层的流速,而且影响储层的渗透率;随着压力梯度的增大,单相液体流速随之增大,二者呈正相关(图 3);超临界流速对渗透率具有一定的影响。

3.2 油水两相渗流特征

实验岩心取自上里塬 A20 区块长 7 油层组储层。分析 4 块岩心的油水两相相对渗透率曲线,具有以下特征(图 4):①储层油水两相共渗区狭窄,变化为 23.5%~28.6%,平均只有 26.3%;②随着含水饱和度增大,油相渗透率急速下降,水相渗透率快速上升,最大可上升至 0.589;③束缚水饱和度相对较低,变化为 14.9%~20.2%,平均为 17.1%;残余油饱和度较高,变化为 54.73%~59.56%,平均为 56.63%。等渗点低,其含水饱和度变化为 20.3%~26.4%,平均为 24.2%。等渗点低预示着油井见水后产液量和产油量均有较大幅度降低。

3.3 润湿性

根据等渗点处含水饱和度大小,可以定性分析岩石润湿性情况。测试结果表明,研究区 4 块样品相渗曲线的共渗点含水饱和度皆小于 50%,说明长 7 油层组储层润湿性主要表现为亲油。同时也呈现出随含水饱和度的增大亲油岩石水相渗透率迅速增大/亲水岩石水相渗透率增长缓慢的特征。说明亲油储层与亲水储层相比,注水开发效果差,采油率低。

3.4 水驱油特征

根据上里塬长 7 油层组储层的 4 块岩样的水驱油实验结果(图 5),结合不同驱油阶段含水率和驱油效率的变化,将长 7 油层组储层水驱油开发划分为 3 个不同的开采阶段:

① 无水期。在水驱油的初期,持续短暂;当注水倍数在 0.09~0.19 倍时,岩心中的水通常处于束缚水状态下,油相是流动相,水相是不流动相,岩心出口产出液是纯油,不含水,采收率平均为 18.1%。

② 含水快速上升期。当驱油见水后含水率迅速上升,从 0 急剧上升至 90%以上,到达 95%左右才开始变缓,由此驱油进入高含水期。该阶段注水量不大,但含水率急剧上升;采收率提高了约 3.3%,增幅较小。

③ 高含水期。当含水率达到 95%以后,驱油效率曲线上升速度急剧变缓,进入高含水采油期。此驱油阶段注水量需求很大,但原油产量低,驱油效率增长缓慢;含水率达到 98%时,驱油效率平均为 24.73%,增加了约 3.3%。直到驱油结束油田废弃,最终驱油效率平均可达到 31.72%,远低于西峰油田的 45%^[3]。

4 开发效果初探

上里塬 A20 区共完钻井 18 口,平均单井钻遇油层 25.6 m,电测孔隙度为 10.8%,渗透率为 0.29×10⁻³ μm²;完试 17 口,试油日产油平均为 3.8 t,日产水 1.5 m³。投产 13 口,初期日产油 1.5 t,综合含水

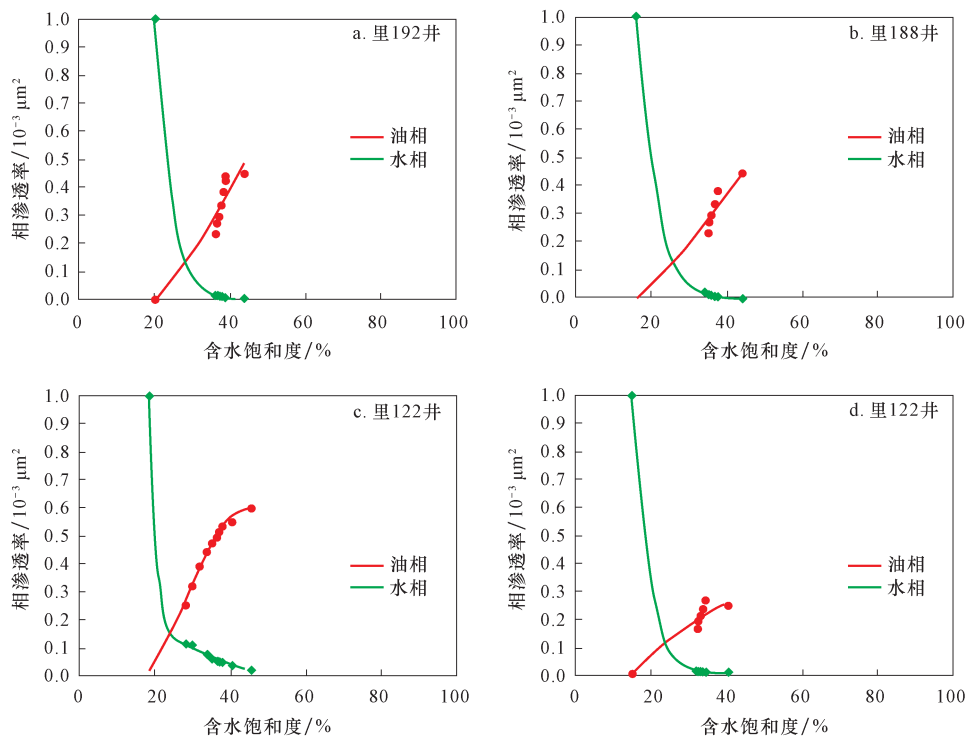


图4 上里塬长7油气组储层油、水两相渗流曲线
Fig. 4 Oil-water two-phase flow curve of Chang 7 oil layer in Shangliyuan area

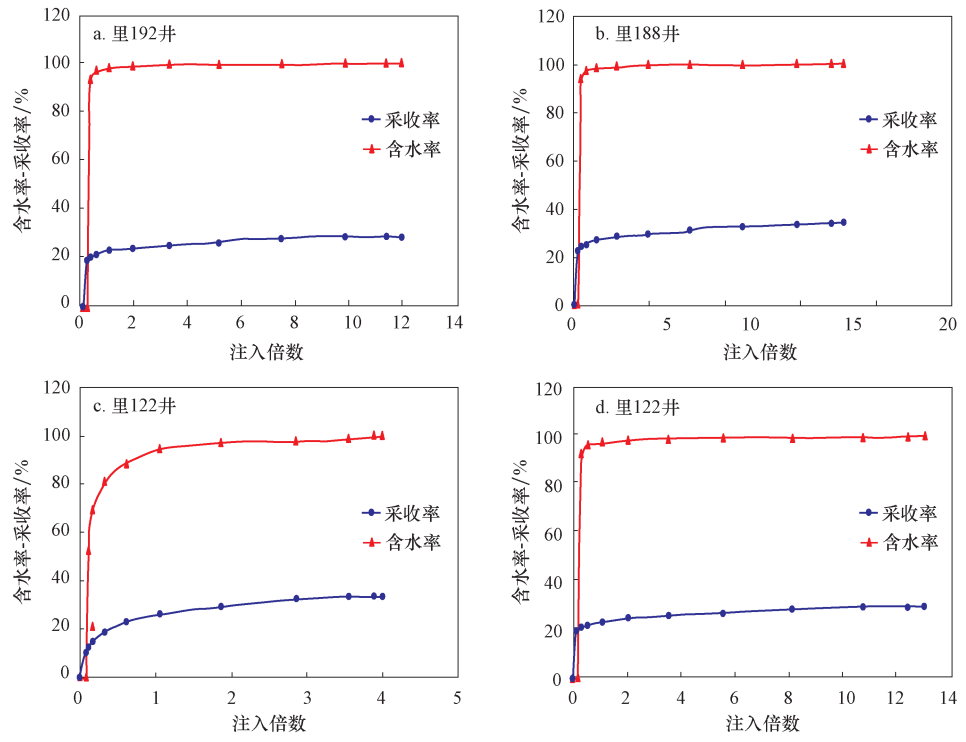


图5 上里塬长7油层组储层水驱油曲线
Fig. 5 Water displacing oil curve of Chang 7 oil layer in Shangliyuan area

18.6%,目前日产油0.5 t,综合含水82.2%,投注4口,日注水140 m³。从目前情况分析,该区水井配注过高,结合该区相渗特点及储层亲油特性,注水开发对提高单井产量效果不明显。

5 结论

1) 对研究区储层开展五敏实验,显示储层敏感性

不强,对生产影响较小。

2) 相渗实验结果表明,储层单相液体流速与压力梯度呈正相关;油水两相渗流表明束缚水含水饱和度和为17.1%,残余油含水饱和度为43.4%;共渗区狭窄,平均只有26.3%;长7油层组储层润湿性属于亲油。

3) 根据不同驱油阶段含水率和驱油效率的变化,可将长7油层组储层水驱油开发划分为无水期、含水快速上升期及高含水期等3个开采阶段;无水期驱油效率为18.1%,最终驱油效率为31.7%。根据储层微观特征,结合研究区开发效果,认为该区注水开发还需谨慎。

参 考 文 献

- [1] 邓杰,王震亮,高潮,等.定边张韩地区长2低渗储层敏感性分析[J].西北大学学报(自然科学版),2011,41(2):285-290.
Deng Jie, Wang Zhenliang, Gao Chao, et al. Estimation of sensitivity of Chang 2 reservoir in Zhanghan area[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2011, 41(2): 285-290.
- [2] 何文祥,马清,马超亚.特低渗透储层渗流特征和影响因素[J].科技导报,2011,29(1):36-39.
He Wenxiang, Ma Qing, Ma Chaoya. Seepage characteristics and influencing factors in ultra-low permeability reservoirs[J]. Science & Technology Review, 2011, 29(1): 36-39.
- [3] 赵景辉.鄂尔多斯白豹油田非均质储层流体驱替特征[J].内蒙古石油化工,2009,19(3):97-99.
Zhao Jinghui. The heterogeneous reservoir of displacement typicality of fluid in Baibao oil field in Ordos basin[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2009, 19(3): 97-99.
- [4] 王瑞飞,吕新华,国殿斌.高压低渗砂岩油藏储层驱替特征及影响因素[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(3):1072-1079.
Wang Ruifei, Lv Xinhua, Guo Dianbin. Displacement characteristics and influencing factors in deep section high pressure and low-permeability sandstone reservoir[J]. Journal of Central South University, 2012, 43(3): 1072-1079.
- [5] 王启蒙,汪强,诸葛镇,等.低渗储层渗流规律及水驱油机理的试验研究[J].江汉石油学院学报,2003,25(2):102-102,126.
Wang Qimeng, Wang Qiang, Zhu Gezhen, et al. Low permeability reservoir percolation rules and waterflooding mechanism testing[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2003, 25(2): 102-102, 126.
- [6] 油气田开发专业标准委员会. SY/T5385-2002 储层敏感性流动试验评价方法[S].//中华人民共和国试油天然气行业标准.北京:石油工业出版社,2002.
Professional Standards Committee of Oil and Gas development. SY/T 5385-2002 evaluation method of reservoir sensitivity flow test[S].// The oil and gas industry standard of the People's Republic of China. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [7] 李芳芳,高旺来,杨胜来,等.安塞油田高52区低渗油藏储层敏感性研究[J].特种油气藏,2012,8(4):126-129.
Li Fangfang, Gao Wanglai, Yang Shenglai, et al. The sensitivity study of low permeability reservoir in Gao⁵² of Ansai oilfield[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2012, 8(4): 126-129.
- [8] 杨胜来,魏俊之.油层物理学[M].北京:石油工业出版社,2006:166-170.
Yang Shenglai, Wei Junzhi. Fundamental of petrophysics[M]. Beijing: Petroleum Engineering Press, 2006: 166-170.
- [9] 赵军龙,闫博,赵靖舟,等.陇东环县油区M井区长8储集层特征及单井产能预测[J].石油与天然气地质,2013,34(5):694-699.
Zhao Junlong, Yan Bo, Zhao Jingzhou, et al. Reservoir characteristics of Chang 8 and single-well productivity prediction of M wellblock in Huanxian oil district, Longdong area[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(5): 694-699.
- [10] 计秉玉.国内外油田提高采收率技术进展与展望[J].石油与天然气地质,2012,33(1):111-117.
Ji Bingyu. Progress and prospects of enhanced oil recovery technologies at home and abroad[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 111-117.
- [11] 陈朝兵,朱玉双,陈新晶,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长8²储层沉积成岩作用[J].石油与天然气地质,2013,34(5):685-693.
Chen Zhaobing, Zhu Yushuang, Chen Xinjing, et al. Sedimentation and diagenesis of Chang 8² reservoir in the Yanchang Formation in Jiyuan region, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(5): 685-693.
- [12] 廖纪佳,唐洪明,朱筱敏,等.特低渗透砂岩储层水敏实验及损害机理研究-以鄂尔多斯盆地西峰油田延长组第8油层为例[J].石油与天然气地质,2012,33(2):321-328.
Liao Jijia, Tang Hongming, Zhu Xiaomin, et al. Water sensitivity experiment and damage mechanism of sandstone reservoirs with ultra-low permeability: a case study of the eighth oil layer in the Yanchang Formation of Xifeng oilfield, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 321-328.
- [13] 侯瑞云,刘忠群.鄂尔多斯盆地大牛地气田致密低渗储层评价与开发对策[J].石油与天然气地质,2012,33(1):118-128.
Hou Ruiyun, Liu Zhongqun. Reservoir evaluation and development strategies of Daniudi tight sand gas field in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 118-128.
- [14] 闫庆来,何秋轩,尉立岗,等.低渗透油层中单相液体渗流特征的实验研究[J].西安石油学院学报,1990,5(2):1-6.
Yan Qinglai, He Qiuxuan, Wei Ligang, et al. A laboratory study on percolation characteristics of single phase flow in low-permeability reservoirs[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 1990, 5(2): 1-6.
- [15] 李阳.陆相高含水油藏提高水驱采收率实践[J].石油学报,2009,30(3):396-399.
Li Yang. Study on enhancing oil recovery of continental reservoir by water drive technology[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 396-399.

(编辑 张亚雄)