

引用格式:申乃敏,张连锋,李俊杰,等.泌238断块凝胶与聚合物多轮次交替注入参数优化研究[J].油气藏评价与开发,2021,11(6):878-883.

SHEN Naimin, ZHANG Lianfeng, LI Junjie, et al. Optimization of alternating injection with multiple rounds of gel and polymer in B238 Block[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(6): 878-883.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2021.06.012

泌238断块凝胶与聚合物多轮次交替注入参数优化研究

申乃敏^{1,2},张连锋^{1,2},李俊杰^{1,2},卢俊^{1,2},龙卫江^{1,2},胡书奎^{1,2}

(1.中国石化河南油田分公司勘探开发研究院,河南南阳473132;2.河南省提高石油采收率重点实验室,河南南阳473132)

摘要:为改善下二门油田泌238断块水驱开发过程中窜流严重,开发效果变差的现状,实现进一步提高原油采收率的目的,在室内实验的基础上,运用数值模拟方法,系统地开展了水驱后凝胶体系与聚合物多级段塞交替注入参数优化及聚合物注入质量浓度差异化调整研究。研究表明,多轮次小段塞组合方式提高采收率效果优于低轮次大段塞组合方式,主体段塞为:0.08 PV(聚合物)+0.02 PV(凝胶)+0.06 PV(聚合物)+0.02 PV(凝胶)+0.06 PV(聚合物)+0.02 PV(凝胶)+0.06 PV(聚合物)+0.02 PV(凝胶)+0.06 PV(聚合物)+0.02 PV(凝胶)+0.06 PV(聚合物)的组合方式提高采收率值最高,提高采收率值为7.92%;注入井聚合物质量浓度差异化调整幅度为20%,即质量浓度值调整420 mg/L时,提高采收率出现拐点,随聚合物质量浓度调整幅度的继续增加,采收率增幅呈下降趋势。说明凝胶体系与聚合物交替注入驱油方法具备进一步开发剩余油的潜力,为同类油藏开发提供一定的技术参考。

关键词:数值模拟;注入参数优化;质量浓度差异化调整;采收率;泌238断块

中图分类号:TE357

文献标识码:A

Optimization of alternating injection with multiple rounds of gel and polymer in B238 Block

SHEN Naimin^{1,2}, ZHANG Lianfeng^{1,2}, LI Junjie^{1,2}, LU Jun^{1,2}, LONG Weijiang^{1,2}, HU Shukui^{1,2}

(1. Exploration and Development Research Institute, Sinopec Henan Oilfield, Nanyang, Henan 473132, China;

2. Henan EOR Key Laboratory, Nanyang, Henan 473132, China)

Abstract: In order to improve the current situation of serious water channeling and the poor development effect during the water flooding development of B238 Block in Xiaermen Oilfield, and further to enhance the oil recovery efficiency, the numerical simulation method has been carried out to systematically study the parameters optimization of the multi-stage slug injection system after polymer flooding and the differential adjustment of polymer injection concentration based on laboratory experiments. It is found that the combined small slug with multiple rounds is more effective than the large slug with less rounds. The main slug which increases EOR most is composed of 0.08 PV (polymer)+0.02 PV(gel)+0.06 PV(polymer)+0.02 PV(gel)+0.06 PV(polymer)+0.02 PV(gel)+0.06 PV(polymer)+0.02 PV(gel)+0.06 PV(polymer) and the EOR value is 7.92%. When the polymer concentration adjustment range of injection wells is 20%, that is, the concentration is adjusted to 420 mg/L, EOR reaches the inflection point. And with the continuous increase of polymer concentration adjustment range, the increase of oil recovery shows a downward trend. It shows that the gel system and polymer alternating injection method have the potential to further develop remaining oil, and provide some technical reference for the development of similar reservoirs.

Keywords: numerical simulation; injection parameters optimization; concentration differentiation adjustment; recovery ratio; B238 Block

聚合物驱技术具有降低驱替液与被驱替液的流度比、扩大波及体积、提高微观洗油效率的特征,该技术从20世纪90年代进入现场试验以来,已经成为

大庆、胜利、河南等油田原油增产和稳产的重要措施^[1-3]。凝胶驱技术具有改善油水流度比和油藏非均质性的双重特征,近些年在各大油田也得到广泛应

收稿日期:2020-08-14。

第一作者简介:申乃敏(1985—),女,硕士,副研究员,从事提高采收率及油藏开发方案编制工作。地址:河南省郑州市郑东新区正光北街33号,邮政编码:450000。E-mail:shennaimin_2008@163.com

用^[4-6]。然而关于水驱后凝胶体系与聚合物多级段塞交替注入参数优化及聚合物注入质量浓度差异化调整等方面的研究却鲜有报道。针对长期注水开发后地下形成大孔道,平面窜流严重的油藏,开展了凝胶体系与聚合物多级段塞交替注入参数优化及聚合物注入质量浓度差异化调整研究,旨在分析化学驱段塞组合方式及差异化调整聚合物注入质量浓度对开发效果的影响。

1 地质开发简况

1.1 地质特征

下二门油田泌238区块油藏类型为构造—岩性油藏,沉积类型为扇三角洲相沉积。岩性以含砾细砂岩为主,主要矿物成分为石英、长石、岩屑,胶结物主要为泥质胶结物,胶结类型主要为孔隙型胶结类型,岩石颗粒主要为次圆颗粒。储层物性中等,孔隙度介于10.1%~30%,平均孔隙度为17%~18%;渗透率介于0.03~0.9 μm^2 ,平均渗透率为0.21 μm^2 。平面上由北向南顺物源方向物性呈变差趋势,主体区孔隙度、渗透率较高,东南部砂体逐渐尖灭,物性相对较差。油层原油性质属普通稠油,70℃时原油黏度为115~130 $\text{mPa}\cdot\text{s}$,计算地层温度下脱气原油黏度为223.3 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。油层温度为58.1℃,原始油层压力为11.96 MPa,地面原油密度为0.900 2~0.915 4 g/cm^3 。

1.2 开发特征

下二门油田泌238断块自1981年底开始投产,先后经历了天然能量开发及注水开发两个阶段,目前处于注水开发中后期。截止到2019年底,区块综合含水率为97.14%,采出程度为25.14%。

自投产以来,主体区2口中心油井的累产液量一直占层系总产液量的40%~60%,中心区域开采强度较大;示踪剂检测结果证明下22井、T7-237井和T7-225井向中心井的窜流速度最高达到222 m/d ,注水优势方向窜流明显;2003年后共进行了5次整体调剖,调剖初期增油降水效果显著,但有效作用时间短,含水回返快,产油量下降。以中心油井T7-233井为例,第一次调剖初期日产油由3.3 t上升至9.4 t,含水率由89.9%下降至68.7%,但5~6个月之后,日产油重新下降至3.4 t,含水率上升至87.4%,进一步表明油藏地下优势通道发育,进行调剖可有效扩大波

及体积,但单次调剖有效作用时间短,需要采用针对性强的注入方式开展化学驱,改善开发效果。

2 油藏地质模型的建立

依据区块的实际情况,流体性质及参数均采用油田实际数据,应用Petrel建模软件建立3D(三维)地质模型,模拟区共有18口井,包括5口水井和13口油井。网格节点划分为 $74\times 44\times 21=68\ 376$ 个,选用近五点法井网部署,注采井距150~220 m。该地质模型纵向上划分为20个单层,其中油砂层10个(包括主力层5个),非渗透层10个。

采用Eclipse黑油模拟器E100笛卡尔坐标系统和角点网格,初始状态为油水两相,拟合时间为1982—2019年,储量拟合相对误差为0.29%。模拟时,油井的工作制度采用定液生产,水井采用定注入量,产油、产水拟合度较高,模拟计算出累计产油 $16.01\times 10^4\text{t}$,与实际累产油相比绝对误差为 $0.16\times 10^4\text{t}$,相对误差为0.9%,拟合率较高。

3 注入参数优化研究

3.1 凝胶与聚合物交替注入机理研究

聚合物溶液具有黏弹性,在驱油过程中,依靠其黏性能够改善油水流度比、扩大宏观波及效率;同时依靠其弹性能够携带水驱无法驱动的残余油,降低残余油饱和度,提高微观驱油效率^[7]。凝胶是由聚合物和交联剂形成的弱交联体系,其体系具有一定黏度,三维网状结构以分子间交联为主,分子内交联为辅。当凝胶被注入到非均质地层后,会优先进入渗流阻力较小的高渗透地层,使高渗层主流通道的渗流阻力逐渐增大,可以暂时封堵高渗透层,使后续注入的流体进入到波及较少甚至是未波及到的中、低渗透层,从而提高了宏观波及效率^[8]。泌238断块长期注水开发过程中,形成的注采大孔道比较发育,窜流严重。为了抑制窜流,目标单元历史上进行过物理和化学调剖,窜流层得到了有效封堵,中低渗透层得到了有效波及,但因单次调剖的剂量小、次数少,调剖作用的有效期短,驱替前缘过早突破。为延长调剖的作用时间,发挥聚合物驱油的作用,采用凝胶与聚合物交替注入的方式开展化学驱,可以充分发挥凝胶调剖和聚合物驱油两项技术的协同效应,改善开发效果。

3.2 注入参数优化设计

3.2.1 数值模型参数设计

数值模型参数直接引用室内物理模拟实验研究结果,聚合物质量浓度为2 100 mg/L,段塞尺寸为0.6 PV。在室内实验研究的基础上,采用下二门油田泌238块实际油藏模型,将Eclipse水驱历史拟合末期场作为计算的初始场,开展凝胶与聚合物交替注入参数优化研究。因凝胶驱提高采收率的机理认识比较复杂,目前对凝胶驱的数值模拟研究缺乏成熟的数学模型和求解方法,为了研究方便,在黑油模型基础上,凝胶采用高质量浓度聚合物驱代替,相对渗透率曲线统一采用室内测定的聚合物驱相对渗透率曲线。数值模型井网为近五点法面积井网,平均注采井距为191 m,总井数为18口,采油井为12口,注聚井为6口,油水井数比为2:1。

3.2.2 注入速度优化

为确定合理注入速度,设计注聚合物质量浓度为2 100 mg/L,注入0.6 PV,设计注入速度分别为0.08, 0.09, 0.1, 0.11, 0.12, 0.13, 0.14 PV/a的7个水平进行数模预测。结果表明注入速度为0.1 PV时,采收率增幅最大(图1),因此,确定泌238块选取0.1 PV/a的注入速度。

3.2.3 段塞结构优化

前人的研究表明,段塞结构对驱油效果有显著的影响,对于同一个油层或油田来说,通过段塞结构最优化设计,可以实现在相同的化学剂用量的情况下采收率更高,或在相同采收率情况下化学剂用量最低^[9-10]。本次研究在确定总段塞量为0.6 PV、聚合物溶液质量浓度为2 100 mg/L、注入速度为0.1 PV/a

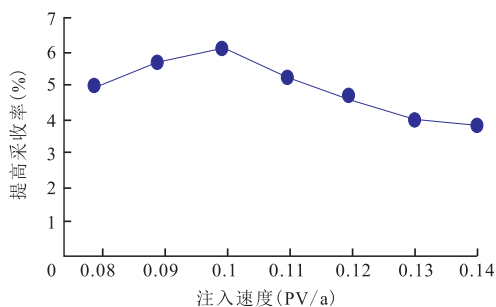


图1 注入速度对驱油效果的影响

Fig. 1 Influence of injection rate on oil displacement effect

的条件下,主要开展段塞结构组合对化学驱驱油效果的影响。

首先,注入不同段塞量的凝胶体系进行驱油(聚合物相对分子质量为1 800万、聚合物溶液质量浓度为1 500 mg/L、聚交比为15:1的铬离子凝胶体系);然后,进行聚合物溶液主体段塞驱油(聚合物相对分子质量为1 800万、聚合物溶液质量浓度为2 100mg/L、黏度为90 mPa·s、拟定注入速度为0.1 PV/a、油井定液生产);最后,再注入不同段塞量的凝胶体系进行驱油(聚合物相对分子质量为1800万、聚合物溶液质量浓度为1 500 mg/L、聚交比为15:1的铬离子凝胶体系),用Eclipse模拟器开展水驱后凝胶与聚合物交替注入参数优化研究。

优化结果表明:前置和后置段塞对化学驱驱油效果有明显影响,随着前置和后置段塞量的增大,提高采收率是逐渐上升的,但当段塞量达到0.06 PV时,提高采收率值开始变缓,出现拐点。此时的提高采收率值为6.86%,比没有前置和后置段塞时的6.45%高0.41个百分点(图2、图3),而且此时增加的聚合物量非常少,大大提高了聚合物驱的技术经济效果^[11-15]。

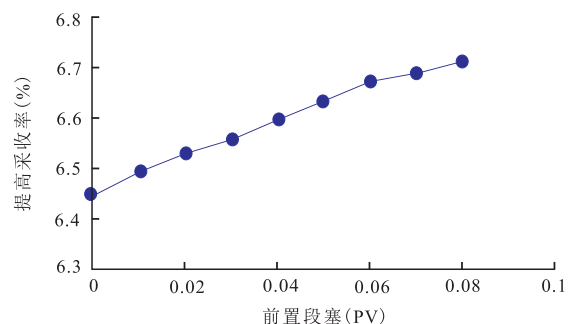


图2 前置段塞大小对驱油效果的影响

Fig. 2 Effect of pre-slug size on oil displacement

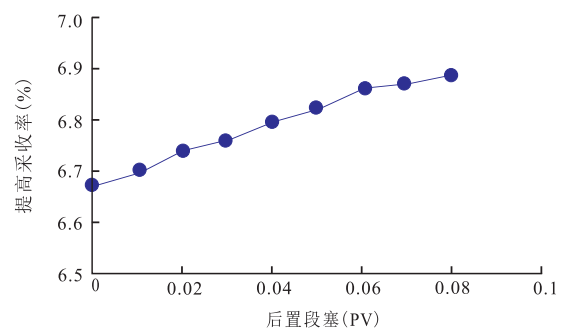


图3 后置段塞大小对驱油效果的影响

Fig. 3 Effect of post slug size on oil displacement

趋势。当注入井平均聚合物质量浓度调整幅度为20%时,提高采收率值开始变缓并出现拐点,之后随质量浓度调整幅度的继续增加,采收率增幅呈下降趋势(图6)。分析其原因:由于地层存在非均质性,每口井每个层因物性差异必然会导致井一井、层一层之间也存在吸水能力的不同,物性好或者存在大孔道的地层吸水能力强,物性差或者靠近尖灭区的位置则吸水能力弱,个性化调整每口井的注聚质量浓度可以保证现场平稳有效均衡驱替,避免了高渗层堵不住、低渗层注不进的问题^[19-20]。因此,在现场实际注入过程中,建议聚合物质量浓度调整幅度控制在20%左右。

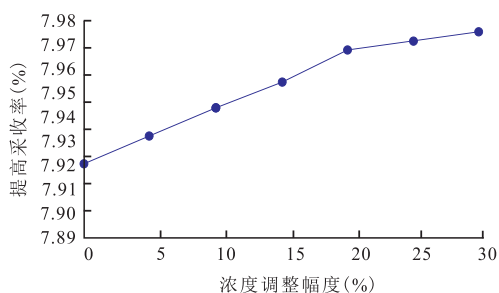


图6 不同个性化设计方案提高采收率对比

Fig. 6 Comparison of EOR with different personalized design schemes

4 结论

1) 利用数值模拟方法对下二门泌238块化学驱段塞结构优化,优化结果采用三级段塞注入,即前置段塞为0.06 PV凝胶体系,主体段塞量2 100 mg/L×0.48 PV,后置段塞为0.06 PV凝胶体系。

2) 利用Eclipse数值模拟软件设计预测方案研究不同凝胶和聚合物段塞组合对采收率的影响,结果表明,主体段塞为多轮次小段塞交替注入的提高采收率值效果优于低轮次大段塞交替注入。

3) 为解决平面非均质性导致的不同注入井吸水能力不同的问题,开展了聚合物注入质量浓度差异化调整研究。结果表明,当注入井聚合物质量浓度调整幅度为20%时,提高采收率出现拐点,随质量浓度调整幅度的继续增加,采收率增幅呈下降趋势。

参考文献

[1] 丁保东,张贵才,葛际江,等.普通稠油化学驱的研究进展[J].西安石油大学学报(自然科学版),2011,26(3):52-58.
DING Baodong, ZHANG Guicai, GE Jijiang, et al. Research

progress in the chemical flooding of conventional heavy oil[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2011, 26(3): 52-58.

- [2] 郭文敏,刘同敬,秦积舜,等.大庆油田聚合物驱后周期分质注聚合物技术[J].石油学报,2010,31(3):449-451.
GUO Wenmin, LIU Tongjing, QIN Jishun, et al. Cyclic injection technology of different polymer after polymer flooding in Daqing Oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(3): 449-451.
- [3] 裴海华,张贵才,葛际江,等.化学驱提高普通稠油采收率的研究进展[J].油田化学,2010,27(3):350-356.
PEI Haihua, ZHANG Guicai, GE Jijiang, et al. Advance in enhanced ordinary heavy oil recovery by chemical flooding[J]. Oilfield chemistry, 2010, 27(3): 350-356.
- [4] 巩同宇,刘军,江汇,等.交联聚合物调驱技术研究及矿场应用[J].精细石油化工进展,2011,12(11):1-4.
GONG Tongyu, LIU Jun, JIANG Hui, et al. Study and field application of crosslinked polymer profile-control flooding technology[J]. Advances in fine petrochemicals, 2011, 12(11): 1-4.
- [5] 张宏.普通稠油弱凝胶调驱动态调控技术研究[J].特种油气藏,2018,25(1):125-128.
ZHANG Hong. Study on dynamic regulation and control of weak gelflooding in ordinary heavy oil[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2018, 25(1): 125-128.
- [6] 蒋平,葛际江,张贵才,等.稠油油藏化学驱采收率的影响因素[J].中国石油大学学报(自然科学版),2011,35(2):166-171.
JIANG Ping, Ge Jijiang, ZHANG Guicai, et al. Influence factor on oil recovery efficiency for chemical flooding of heavy oil reservoir[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2011, 35(2): 166-171.
- [7] 方文超.陆上稠油油田多轮次聚合物驱提高采收率方法[J].断块油气田,2015,22(5):619-622
FANG Wenchao. Enhancing oil recovery by multi-cycle polymer flooding for onshore heavy oilfields[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2015, 22(5): 619-622
- [8] 刘东,胡廷惠,潘广明,等.稠油油藏弱凝胶调驱增油预测模型研究[J].特种油气藏,2018,25(4):103-108.
LIU Dong, HU Tinghui, PAN Guangming et al. Forecasting model for profile control and EOR in heavy oil reservoirs by using weak gel[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2018, 25(4): 103-108.
- [9] 刘露,李华斌.渗透率变异系数对聚合物驱油影响的数值模拟研究[J].油田化学,2011,28(4):414-418.
LIU Lu, LI Huabin. Numerical simulation of the permeability variation coefficient effect on polymer flooding[J]. Oilfield Chemistry, 2011, 28(4): 414-418.
- [10] 未志杰,康晓东,何春百,等.海上稠油聚合物驱交替注入参数优化研究[J].特种油气藏,2018,25(1):78-84.
WEI Zhijie, KANG Xiaodong, HE Chunbai, et al. Alternating injection parameter optimization of polymer flooding in offshore heavy-oil reservoir[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2018, 25(1): 78-84.
- [11] GILBERT L, LOISEL V, SAVARY G, et al. Stretching properties of xanthan, carob, modified guar and celluloses in cosmetic

- emulsions[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 93(2): 644-650.
- [12] HIREMATH J N, VISHALAKSHI B. Evaluation of a pH-responsive guar gum-based hydrogel as adsorbent for cationic dyes: Kinetic and modelling study[J]. Polymer Bulletin, 2015, 72(12): 3063-3081.
- [13] RISICA D, BARBETTA A, VISCHETTI L, et al. Rheological properties of guar and its methyl, hydroxypropyl and hydroxypropyl-methyl derivatives in semidilute and concentrated aqueous solutions[J]. Polymer, 2010, 51(9): 1972-1982.
- [14] 梁丹,康晓东,唐恩高,等.聚合物驱注聚参数分阶段优化决策方法[J].断块油气田,2018,25(2):213-217.
LIANG Dan, KANG Xiaodong, TANG Engao, et al. Phased optimization method of injection parameters for polymer flooding [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2018, 25(2): 213-217.
- [15] 侯健,杜庆军,束青林,等.聚合物驱宏观剩余油受效机制及分布规律[J].石油学报,2010,31(1):96-99.
HOU Jian, DU Qingjun, SHU Qinglin, et al. Macroscopic response mechanism and distribution rules of remaining oil in polymer flooding[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(1): 96-99.
- [16] 江汇.胜坨油田高温油藏深部调剖体系研究及矿场应用[J].精细石油化工进展,2012,13(11):12-16.
JIANG Hui. Study and field application of deep profile control system for high temperature reservoir in Shengtuo oilfield[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2012, 13(11): 12-16.
- [17] SUBBU C, RAJENDRAN S, KESAVAN K, et al. The physical and electrochemical properties of poly(vinylidene chloride-co-acrylonitrile)-based polymer electrolytes prepared with different plasticizers[J]. Ionics, 2016, 22(2): 229-240.
- [18] KESAVAN K, RAJENDRAN S, MATHEW C M. Studies on poly(vinyl pyrrolidone) based solid polymer blend electrolytes complexed with various lithium salts[J]. Polymer Science Series, 2014, 56(4): 520-529.
- [19] 王楠,刘春杰,于晴晴.埕岛油田深部调剖体系研究及适应性评价[J].石油天然气学报,2011,33(8):147-150.
WANG Nan, LIU Chunjie, YU Qingqing. Study on indepth profile control and evaluation on adaptability of Chengdao Oilfield[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(8): 147-150.
- [20] 张洪,郑继龙,宋志学,等.弱凝胶深部调剖剂的研制及性能评价[J].精细石油化工进展,2014,15(1):25-28.
ZHANG Hong, ZHENG Jilong, SONG Zhixue, et al. Development and evaluation of weak gel used as deep profile control agent[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2014, 15(1): 25-28.
- (编辑 柳超超)

(上接第877页)

- [15] 郑太毅,杨正明,王志远,等.致密油藏分段压裂水平井二氧化碳蓄能吞吐方式[J].科学技术与工程,2019,19(4):99-104.
ZHENG Taiyi, YANG Zhengming, WANG Zhiyuan, et al. Carbon Dioxide Energy Storage Huff and Puff for Staged Fracturing Horizontal Wells in Tight Reservoirs[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(4): 99-104.
- [16] 王志兴,赵凤兰,冯海如,等.边水断块油藏水平井组CO₂协同吞吐注入量优化实验研究[J].油气地质与采收率,2020,27(1):75-80.
WANG Zhixing, ZHAO Fenglan, FENG Hailu, et al. Experimental research on injection volumes optimization of CO₂ huff and puff in horizontal well group in fault block reservoirs with edge water[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(1): 75-80.
- [17] 张忠林,王伟,赵习森,等.注CO₂对延长化子坪原油物性的影响[J].油田化学,2019,36(4):646-650.
ZHANG Zhonglin, WANG Wei, ZHAO Xisen, et al. Effect of CO₂ Injection on Physical Properties of Huaziping Crude Oil in Yanchang Oilfield[J]. Oilfield Chemistry, 2019, 36(4): 646-650.
- [18] 邹建栋,廖新维,张可,等.不同油藏压力下CO₂驱最小混相压力实验研究[J].油气地质与采收率,2020,27(1):36-44.
ZOU Jiandong, LIAO Xinwei, ZHANG Ke, et al. Study on minimum miscibility pressure of CO₂ flooding at different reservoir pressures[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(1): 36-44.
- [19] 唐梅荣,张同伍,白晓虎,等.孔喉结构对CO₂驱储层伤害程度的影响[J].岩性油气藏,2019,31(3):113-119.
TANG Meirong, ZHANG Tongwu, BAI Xiaohu, et al. Influence of pore throat structure on reservoir damage with CO₂ flooding [J]. Lithologic Reservoirs, 2019, 31(3): 113-119.
- [20] 施雷庭,户海胜,张玉龙,等.致密砂砾岩矿物与超临界CO₂和地层水相互作用[J].油田化学,2019,36(4):640-645.
SHI Leiting, HU Haisheng, ZHANG Yulong, et al. Interaction of Tight Glutenite Mineral with Supercritical CO₂ and Formation Water[J]. Oilfield Chemistry, 2019, 36(4): 640-645.
- [21] 华文静,李治平.致密储层二氧化碳吞吐工作参数优化设计[J].科学技术与工程,2020,20(14):5598-5602.
HUA Wenjing, LI Zhiping. Optimization Design of CO₂ Huff and Puff Working Parameters in Tight Oil Reservoir[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(14): 5598-5602.
- [22] 何应付,赵淑霞,刘学伟.致密油藏多级压裂水平井CO₂吞吐机理[J].断块油气田,2018,25(6):752-756.
HE Yingfu, ZHAO Shuxia, LIU Xuewei. Mechanism of CO₂ huff & puff of multi-stage fractured horizontal well in tight oil reservoir[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2018, 25(6): 752-756.
- (编辑 徐佩)