

油藏非均质性对聚合物驱开发效果的影响

徐洪玲

(中国海洋石油国际有限公司,北京 100010)

摘要: 聚合物驱是水驱后进一步提高原油采收率的三次采油技术,在不同类型油藏中均取得了较好的应用效果。聚合物驱开发过程中,油藏非均质性对聚合物驱的驱替效果有较大影响。基于油藏沉积微相展布形态,归纳出储层渗透率平面非均质性、厚度平面非均质性和几何形态非均质性等3类油藏非均质性。应用油藏数值模拟方法建立3类多个理论地质油藏模型,并且在每一类模型具有相同的生产约束条件下,研究了油藏非均质性对聚合物驱不同注采井网驱替效果的影响。研究表明,同一模型在相同工作制度 and 不同注采方式下,初期产油量和累积产油量存在较大差别。对于储层厚度平面非均质性油藏,厚注薄采的聚合物驱开发效果优于厚采薄注;对于渗透率平面非均质性油藏,高注低采的聚合物驱开发效果优于高采低注;对于几何形态的非均质性油藏,宽采窄注的聚合物驱开发效果优于宽注窄采。因此,合理地部署注采井网能有效地提高油藏聚合物驱的开发效果。

关键词: 油藏非均质性 聚合物驱 沉积微相 油藏数值模拟 注采井网

中图分类号:TE357.431

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)05-0099-04

Impact of plane heterogeneity of oil reservoir on development effect of polymer flooding

Xu Hongling

(CNOOC International Co., Ltd., Beijing City, 100010, China)

Abstract: Polymer flooding is a tertiary oil recovery technique for EOR after water flooding, which has been applied in different types of oil reservoirs achieving good results. The polymer flooding effect would be affected a lot due to plane heterogeneity in the development. Three kinds of heterogeneous models including permeability, thickness and geometry form were proposed based on the distribution characteristics of the sedimentary micro-facies of certain reservoir. Three types of theoretical reservoir simulation models were built by applying the method of reservoir numerical simulation. The polymer flooding effect of different injection-production patterns was studied under the production conditions of each model. The research result shows that cumulative oil production and initial daily oil production were different at distinct injection-production pattern at the same working system. For the thickness heterogeneity reservoir, the reservoir with injector located in thicker layer and producer located in thinner layer has a better development effect than the contrary pattern. For the permeability heterogeneity reservoir, the reservoir with injector located in higher permeability and producer located in lower permeability has a better development effect than the contrary pattern. For the geometry form heterogeneity reservoir, the reservoir with injector located in narrow zone and producer located in wide zone has a better development effect than the contrary pattern. Injection-production pattern should be optimized to improve development effect of the polymer flooding.

Key words: reservoir heterogeneity; polymer flooding; sedimentary micro-facies; reservoir numerical simulation; injection-production pattern

聚合物驱是水驱后进一步提高原油采收率的三次采油技术,在不同类型的油藏中均取得了较好的应用效果^[1-4]。前人主要进行了聚合物驱提高原

油采收率机理^[5-6]、聚合物驱合理注入参数^[7-8]、聚合物驱影响因素^[9-10]、聚合物驱相对渗透率^[11]以及聚合物驱开发指标变化规律等方面的研究^[12-13]。这些

收稿日期:2015-07-03。

作者简介:徐洪玲(1964—),女,山东威海人,高级工程师,从事油田地质和开发生产方面的研究。联系电话:13911169281, E-mail: xuhl12@cnooc.com.cn。

研究内容不够系统,只是初步探讨了油藏非均质性对聚合物驱开发效果的影响。为此,笔者基于油藏沉积微相展布形态,归纳出储层渗透率平面非均质性、厚度平面非均质性和几何形态非均质性等3类油藏非均质性,并应用油藏数值模拟方法建立3类多个理论地质油藏模型,研究油藏非均质性对聚合物驱开发效果的影响,以期油田提高聚合物驱开发效果提供理论依据。

1 聚合物驱理论地质油藏模型

渤海某油田主要目的层为沙河街组沙三段2亚段,为一套灰色、浅灰色含砾砂岩、粗砂岩、细砂岩、粉砂岩及泥质砂岩夹灰绿、褐灰色泥岩沉积物,属于近源、搬运距离短、快速堆积的湖岸沉积体系,充填形式为冲积扇—扇三角洲—浅湖,储层沉积相主要为扇三角洲前缘亚相,储层沉积微相主要有水下分流河道、扇三角洲前缘和席状砂。

由于沉积环境和沉积条件不同,砂体的发育程度、空间分布和内部结构差异较大,不同沉积环境中形成的砂体具有不同的储集特征,从而表现出不同的油藏非均质性,沉积微相接触关系变化的复杂程度将决定油藏非均质程度。研究区的油藏非均质性主要表现为渗透率平面非均质性、厚度分布平面非均质性和几何形态非均质性3种类型。根据其油藏沉积微相分布特征,建立理论地质油藏模型,建模时所应用的流体高压物性参数、相渗曲线、储层参数以及油水井生产约束条件等均为矿场实际数据。

所建立的理论地质油藏模型的原始地层压力为22 MPa,地层温度为60 ℃,地层原油粘度为40 mPa·s,不同沉积微相中水下分流河道、扇三角洲前缘和远端席状砂油层厚度分别为15,9和3 m,渗透率分别为 $3\ 000\times 10^{-3}$, $1\ 800\times 10^{-3}$, $600\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$,垂向与水平渗透率比值为0.1。因为不同沉积微相中的储层物性条件差别较大,所以沉积微相间的平面组合分布将控制形成不同的油藏非均质性特征,对聚合物驱开发效果影响较大。

2 储层厚度平面非均质性的影响程度

研究区油藏的沉积微相接触关系可分为水下分流河道和远端席状砂接触、扇三角洲前缘和远端席状砂接触以及水下分流河道和扇三角洲前缘接

触。因为不同沉积微相的储层厚度差异较大,当其相互接触时,储层厚度在平面上将会产生较大变化,若注聚井部署于不同沉积微相时,将会对聚合物驱开发效果产生较大的影响。因此,所建立的3类多个理论地质油藏模型中储层的渗透率参数和形态特征完全一致,仅改变模型中储层厚度的参数,设计出2种不同的注采井网。以水下分流河道和远端席状砂接触为例设计的2套模拟对比方案为:①厚注薄采,注聚井部署在水下分流河道(储层相对厚的区域),采油井部署在远端席状砂(储层相对薄的区域);②厚采薄注,注聚井部署在远端席状砂,采油井部署在水下分流河道(储层相对厚的区域)。

按照油藏的沉积微相接触关系,设计3组对比实验方案,其中储层厚度级差分别为1.67,3和5,依据构建的理论地质油藏模型建立了3组6个油藏数值模拟模型。所有模型具有相同的生产约束条件,注聚井注入压力和采油井井底流压为一定值,分别为23和18 MPa。

通过油藏数值模拟计算得到不同驱替方式下的储层厚度级差与油藏初期产油量和累积产油量的关系(图1)。从图1可以看出,在相同生产约束条件下,厚采薄注的累积产油量均低于厚注薄采。当储层厚度级差为5时,厚注薄采的累积产油量为 $6.28\times 10^4\ \text{m}^3$,而厚采薄注的累积产油量为 $3.48\times 10^4\ \text{m}^3$;在生产初期10 d时,厚采薄注和厚注薄采的产油量分别为66.1和37.5 m^3/d ,厚采薄注初期产油量高于厚注薄采,主要是由于采油井部署在水下分流河道,储层厚度相对较大,而初期注聚效果还未见效,储层厚的区域采油井供液能力相对较强。储层厚度级差为1.67和3时的累积产油量差值和初期产油量差值变化较小。

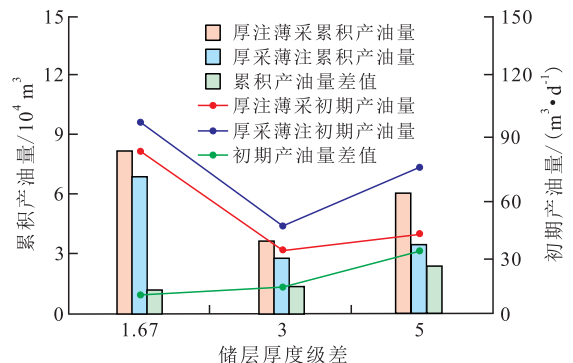


图1 不同驱替方式下储层厚度级差与初期产油量和累积产油量的关系

Fig.1 Initial daily oil production and cumulative oil production at three kinds of reservoir thickness with different displacement ways

通过油藏数值模拟的三维显示功能可以得到地层压力分布状况。厚采薄注时地层压力偏低,地层能量补充不及时,导致地层泄油效果差。对比2种不同注采井网条件下的注入量可知,厚注薄采时的注入量约是厚采薄注的3倍,由于聚合物相对分子质量很大,碳链很长,聚合物溶液粘度一般较高,当地层较薄时,聚合物的渗流空间小,渗流阻力大,导致注聚井井底附近压力传播速度慢,注入井井底压力高,注入效率低,而采油井附近地层压力偏低,在相同的井底流压条件下,产油量也就相对偏低。分析可知,对于注聚合物提高油藏非均质性驱替效果,厚注薄采优于厚采薄注。

3 储层渗透率非均质性的影响程度

在保证所有地质油藏模型储层形态和厚度分布相同的前提下,左右2个砂体的渗透率不同,通过改变注聚井和采油井的相对位置建立2类对比模拟方案:①注聚井部署在渗透率高的沉积微相中,采油井部署在渗透率相对低的沉积微相中;②注聚井部署在渗透率相对低的沉积微相中,采油井部署在渗透率高的沉积微相中。

根据研究区储层沉积微相的渗透率分布特征可知,水下分流河道的渗透率高于远端席状砂,为此设计高注低采和高采低注2个方案,并同储层厚度平面非均质性油藏一样建立3组6个不同渗透率级差条件下的油藏数值模型,储层渗透率级差分别为1.67,3和5。所有模型同样具有相同的生产约束条件,注聚井注入压力和采油井井底流压分别为23和18 MPa。

通过油藏数值模拟计算得到不同驱替方式下的渗透率级差与油藏初期产油量和累积产油量的关系(图2)。从图2可以看出,在相同生产约束条件

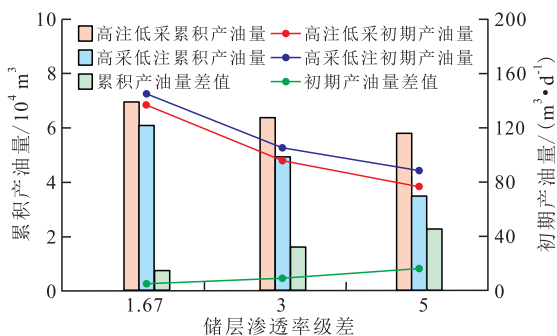


图2 不同驱替方式下储层渗透率级差与初期产油量和累积产油量的关系

Fig.2 Initial daily oil production and cumulative oil production at three kinds of reservoir permeability with different displacement ways

下,高注低采的累积产油量均高于高采低注,高采低注的初期产油量略高于高注低采。当渗透率级差为5时,累积产油量差值为 $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,且渗透率级差与累积产油量差值呈线性关系,渗透率级差越大,差值也越大。在渗透率级差较小时,不同驱替方式的初期产油量差值变化较小,而渗透率级差较大时,变化较大。

4 储层几何形态非均质性的影响程度

油藏储层几何形态的非均质性主要是通过2个砂体的宽度来表征,宽度级差决定几何形态非均质程度,比值越大,表示几何形态非均质性越强。建立模型时,所有模型储层的平面渗透率分布和厚度分布特征完全相同,仅储层形态变化,由此设计2种驱替方式:①宽注窄采,注聚井部署在储层宽的区域,采油井部署在储层窄的区域;②宽采窄注,采油井部署在储层宽的区域,注聚井部署在储层窄的区域。同样建立3组6个不同宽度级差下的油藏数值模拟模型,储层宽度级差分别为1.67,3和5。所有模型生产约束条件相同,注聚井注入压力定为24 MPa,油井井底流压定为20 MPa。

通过油藏数值模拟计算得到的不同驱替方式下储层宽度级差与累积产油量和初期产油量的关系(图3)。从图3可以看出,储层宽度级差为3时,在相同生产约束条件下宽采窄注和宽注窄采的初期产油量分别为67.4和57.7 m³/d,宽采窄注初期产油量略高,主要是由于宽采窄注时油井供液能力强;在相同生产约束条件下宽注窄采累积产油量高于宽采窄注;储层宽度级差与累积产油量差值也呈线性关系,表明几何形态非均质性越强,累积产油

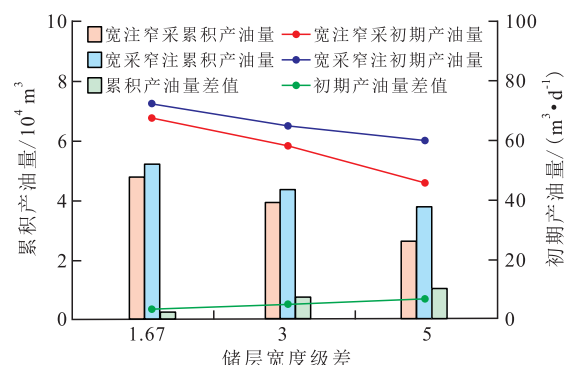


图3 不同驱替方式下储层宽度级差对初期产油量和累积产油量的影响

Fig.3 Initial daily oil production and cumulative oil production at three kinds of reservoir width with different displacement ways

量差值也越大。

储层形态几何非均质性对聚合物驱开发效果的影响机理与储层厚度平面非均质性相似,主要是不同驱替方式下注入流体从一种沉积微相流动到另一种沉积微相中渗流阻力不同,压力波在传播过程中速度存在一定的差异,不同储层泄压效果不同,从而会影响不同驱替方式的开发效果。

5 结论

聚合物驱油藏数值模拟方法研究表明,油藏3类非均质性对不同注采井网的聚合物驱开发效果均有较大的影响,厚注薄采的聚合物驱开发效果优于厚采薄注;高注低采的聚合物驱开发效果优于高采低注;宽采窄注的聚合物驱开发效果优于宽注窄采。通过研究提出了提高聚合物驱开发效果的注采方式,为非均质性油藏聚合物驱开发方案的编制提供了有力的指导。

参考文献:

- [1] 陆雪皎,王友启,魏翠华,等.聚合物驱后二元复合驱油藏的层系调整——以孤东油田七区西为例[J].油气地质与采收率,2014,21(2):25-28.
Lu Xuejiao, Wang Youqi, Wei Cuihua, et al. Study on layer adjustment for surfactant-polymer flooding reservoirs after polymer flooding—case of Gudong west7 area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2): 25-28.
- [2] 梁丹,冯国智,谢晓庆,等.聚合物驱阶段注采动态特征及影响因素分析[J].特种油气藏,2014,21(5):75-78.
Liang Dan, Feng Guozhi, Xie Xiaoqing, et al. Analysis on features and influencing factors of injection-production performance during polymer flooding [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(5): 75-78.
- [3] 杨晓培.二次聚合物驱后剩余油分布及挖潜措施——以河南油区下二门油田H2II油组为例[J].油气地质与采收率,2011,18(4):61-64.
Yang Xiaopei. Distribution of remaining oil after secondary polymer flooding and potential enhancement treatment—case study of H2II oil group, Xia'ermen oilfield, Henan petroliferous area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(4): 61-64.
- [4] 杨帅,戴彩丽,张健,等.海上油田聚合物驱后残留聚合物性质对再利用效果的影响[J].油气地质与采收率,2012,19(5):65-68.
Yang Shuai, Dai Caili, Zhang Jian, et al. Influence of polymer residue property on EOR after polymer injection for offshore oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(5): 65-68.
- [5] 宋新旺,李哲.缔合聚合物在多孔介质中的渗流运移特征[J].油气地质与采收率,2012,19(4):50-52.
Song Xinwang, Li Zhe. Study on seepage characteristics of hydrophobic associated polymer in porous media [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(4): 50-52.
- [6] 宋考平,杨二龙,王锦梅,等.聚合物驱提高驱油效率机理及驱油效果分析[J].石油学报,2004,25(3):71-74.
Song Kaoping, Yang Erlong, Wang Jinmei, et al. Mechanism of enhancing oil displacement efficiency by polymer flooding and driving effectiveness analysis [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 71-74.
- [7] 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.
- [8] 曹瑞波,王晓玲,韩培慧,等.聚合物驱多段塞交替注入方式及现场应用[J].油气地质与采收率,2012,19(3):71-73.
Cao Ruibo, Wang Xiaoling, Han Peihui, et al. Multi-slug alternative injection method and field application of polymer flooding [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(3): 71-73.
- [9] 王正波,叶银珠,王强,等.面积劈分—叠加法预测聚合物驱后剩余油分布[J].油气地质与采收率,2012,19(5):57-60.
Wang Zhengbo, Ye Yinzhu, Wang Qiang, et al. Forecast of remaining oil distribution after polymer flooding by area-split and superposition method [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(5): 57-60.
- [10] 元福卿,李振泉.不同因素对聚合物驱效果的影响程度研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2008,30(4):98-100.
Yuan Fuqing, Li Zhenquan. The influence degree of different factors on the effectiveness of polymer flooding [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2008, 30(4): 98-100.
- [11] 李俊键,姜汉桥,陈民锋,等.聚合物驱相对渗透率曲线及影响因素微观模拟[J].西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(4):122-126.
Li Junjian, Jiang Hanqiao, Chen Minfeng, et al. Microscopic modelling of polymer flooding relative permeability curve and its influence factors [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2009, 31(4): 122-126.
- [12] 赵辉,李阳,曹琳.聚合物驱含水率变化定量表征模型[J].石油勘探与开发,2010,37(6):737-741.
Zhao Hui, Li Yang, Cao Lin. A quantitative mathematic model for polymer flooding water-cut variation [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(6): 737-741.
- [13] 侯健,郭兰磊,元福卿,等.胜利油田不同类型油藏聚合物驱生产动态的定量表征[J].石油学报,2008,29(4):577-581.
Hou Jian, Guo Lanlei, Yuan Fuqing, et al. Quantitative characterization of polymer flooding production performance in different reservoirs of Shengli Oilfield [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(4): 577-581.