

胜坨油田特高含水后期矢量开发调整模式及应用

刘丽杰

(中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院, 山东 东营 257015)

摘要:胜坨油田已整体进入特高含水后期,动态非均质性对开发的影响日趋严重,剩余油分布特征复杂多样,传统的层系井网调整已很难取得好的效果。以剩余油研究为基础,提出侧缘微相富集型、砂体边缘富集型、非主流线富集型、非主力层富集型、厚层顶部富集型和夹层控制富集型6种剩余油分布模式,平面上以侧缘微相富集型为主,纵向上多层油藏以非主力层富集型为主,厚层油藏以厚层顶部富集型为主。在矢量开发理念的基础上,结合胜坨油田开发实践,针对侧缘微相富集型分布模式的剩余油,建立了平面相控矢量开发调整模式;针对多层油藏非主力层富集型分布模式的剩余油,建立了层系重组矢量开发调整模式;针对厚层顶部富集型分布模式的剩余油,建立了厚层协同矢量开发调整模式。矿场应用效果证实,在胜坨油田特高含水后期利用矢量开发调整模式进行开发,能够提高采收率4%以上。

关键词:特高含水后期 动态非均质性 剩余油分布 矢量开发调整模式 胜坨油田

中图分类号:TE341

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2016)03-0111-05

Vector development adjustment modes and its application in late extra-high water cut stage of Shengtuo oilfield

Liu Lijie

(Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company,
SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: Shengtuo oilfield has entered the late extra-high water cut stage. Dynamic heterogeneity is becoming more and more serious, and the distribution of remaining oil is becoming more and more complex and diverse. So traditional development techniques is hard to achieve good results. Six modes of remaining oil distribution including edge micro phase enrichment, edge sand enrichment, non-main streamline enrichment, non-main layer enrichment, top thick layer enrichment and interbed control enrichment were presented based on the study of the remaining oil, and 3 main modes are edge micro phase enrichment on the plane, non-main layer enrichment in multilayer reservoir and thick layer reservoir and top thick layer enrichment on the vertical. Based on the idea of vector development, three modes were established respectively for the above three types of remaining oil distribution as follows: planar phase control vector development adjustment mode, layers recombination vector development adjustment mode and thick layer cooperation vector development adjustment mode. Field application effect proves that vector development modes in late extra-high water cut stage of Shengtuo oilfield can improve the recovery rate by more than 4%.

Key words: late extra-high water cut stage; dynamic heterogeneity; remaining oil distribution; vector development adjustment mode; Shengtuo oilfield

胜坨油田位于东营凹陷陈家庄凸起的南坡,属于中高渗透砂岩构造油藏,是胜利油区已发现的探

明地质储量最大的油田。于1964年投入开发,1990年进入特高含水期,2009年进入特高含水后期^[1],截

收稿日期:2016-01-29。

作者简介:刘丽杰(1982—),女,山东寿光人,工程师,硕士,从事中高渗透整装油田开发研究。联系电话:(0546)8716835,E-mail:liulijie990.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“胜利油田特高含水期提高采收率技术”(2011ZX05011),中国石化科技攻关项目“胜坨油田近极限含水期主导开发调整技术研究”(P12127)。

至2015年底综合含水率为96.25%。

胜坨油田进入特高含水期后,油井普遍水淹严重,油田由整体调整逐渐转向补孔改层、强化提液等局部零散挖潜,导致层系井网适应性变差、动态非均质性强、驱替不均衡,剩余油呈现普遍分布、局部富集的特点^[2-4]。为了保持层系井网完善的总体开发思路,针对地质及开发非均质性提出了矢量开发的理念^[5-8],在胜坨油田展开研究与实践。但目前系统研究矢量开发调整技术的资料不多^[9-10],为此,笔者在研究与实践相结合的基础上,建立中高渗透砂岩油藏矢量开发调整模式,以期同类油藏的开发提供参考。

1 地质及开发现状

胜坨油田主要地质特征包括:①纵向上含油层系多,油层多,井段长;②储层物性较好,属于中高渗透油藏,但非均质性较强。

胜坨油田主要开发现状为:①开发时间长,补孔改层措施频繁,注采体系整体完善性变差^[11];②层间储量动用不均衡,主力层与非主力层采出状况差异大^[12]。

上述地质及开发现状导致胜坨油田特高含水后期剩余油分布呈现复杂多样的特征。

2 剩余油分布模式

胜坨油田特高含水后期剩余油分布呈现多样性,在平面、层间和层内主要分为侧缘微相富集型、砂体边缘富集型、非主流线富集型、非主力层富集型、厚层顶部富集型和夹层控制富集型6种分布模式(图1)。

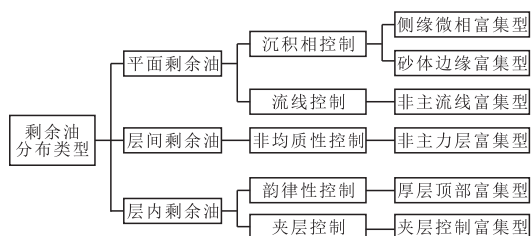


图1 胜坨油田特高含水后期剩余油分布模式

Fig.1 Remaining oil distribution pattern in extra-high water cut stage of Shengtuo oilfield

2.1 平面分布模式

受沉积相和注采流线等因素影响,平面剩余油多呈现侧缘微相富集型、砂体边缘富集型和非主流线富集型3种分布模式,以侧缘微相富集型为主。

侧缘微相富集型 受沉积环境影响,与主体相带相比,侧缘相带储层物性一般较差。注水开发时注入水首先沿物性较好的主体相带窜流,造成主体相带驱油效率高、剩余油饱和度低,而侧缘相带驱油效率低,剩余油相对富集。

砂体边缘富集型 受砂体发育程度影响,与砂体中心部位相比,砂体边缘呈现物性变差、井网控制程度低,水驱波及较差等特征,剩余油相对富集。

非主流线富集型 受井网不规则、平面注采不均衡的影响,非主流线区注水倍数低,水驱波及程度差,驱油效率低,剩余油较为富集。

2.2 层间分布模式

受储层物性及非均质性的影响,多层油藏层间干扰严重,主力层与非主力层注采状况差异较大,物性好的主力层吸水好、动用程度高,物性较差的非主力层吸水差、动用程度低,剩余油分布模式主要为非主力层富集型。

2.3 层内分布模式

受储层韵律性及夹层等控制因素的影响,层内剩余油分布模式以厚层顶部富集型为主,其次为夹层控制富集型。

厚层顶部富集型 在正韵律油层和渗透率级差较小的反韵律、复合韵律油层中,受重力作用影响,油层中、下部水洗程度和驱油效率较高,剩余油饱和度相对较低,而顶部波及程度及驱油效率较低,剩余油在油层顶部相对富集。

夹层控制富集型 夹层物性特征与展布及夹层面上、下储层物性对流体渗流的影响明显,造成夹层面上、下储层剩余油动用程度存在差异^[13],不同类型夹层对剩余油的控制程度不同,多以夹层上部剩余油富集为主。

3 矢量开发调整模式

剩余油分布特征的多样性决定了开发对策的不确定性。矢量开发调整是针对特高含水后期储层动态非均质性增强的特征,以经济有效提高储量动用率和采收率为目的,通过对层系、井网、注采结构开展不均衡的调整,改变液流方向,强化弱驱部位,实现有效均衡驱替而采取的综合调整技术。针对平面、层间、层内剩余油分布模式,分别建立了相应的矢量开发调整模式。

3.1 平面相控矢量开发调整模式

对于平面沉积相带差异大、剩余油呈侧缘微相富集型分布模式的单元,不同相带形成井距不均匀

的相控矢量井网。针对主体相带储层物性较好、水窜严重和剩余油饱和度较低的特点,采取高注采强度的大井距井网,辅以矢量注采参数调整,提高驱替压力梯度、扩大波及体积、控制含水率上升;针对侧缘相带物性相对较差、储量动用程度低和剩余油饱和度较高的特点,采取高控制强度的小井距井网,同时提高注采比,补充地层能量,进而提高采收率(图2)。

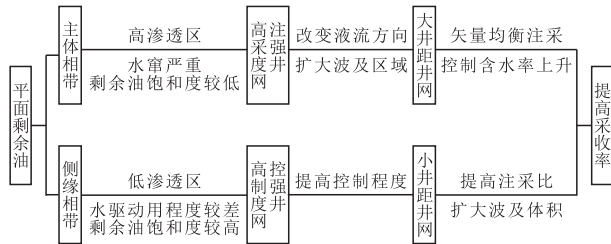


图2 平面相控矢量开发调整模式

Fig.2 Vector development adjustment modes controlled by planar phase

3.2 层系重组矢量开发调整模式

对于层间物性差异大、受非均质性控制的非主力层剩余油富集多层单元,首先考虑层系重组,特高含水后期层间动态非均质性强,依据整装油田特高含水后期层系细分重组界限^[14],拟渗流阻力级差应小于5,通过层系重组实现近阻组合。其次考虑井网,对于储层物性较好的主力层,剩余油普遍分布,通过采取抽稀井网、提高单井液量、改变流线、控制含水率上升等措施,改善开发效果;针对储层物性相对较差、剩余油相对富集的非主力层,采取加密井网和整体提液增注的措施,增大波及体积,提高单元整体采收率(图3)。

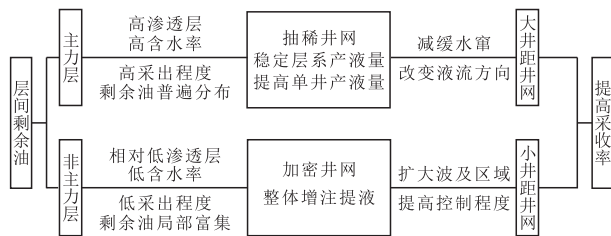


图3 层系重组矢量开发调整模式

Fig.3 Vector development adjustment modes of layer recombination

3.3 厚层协同矢量开发调整模式

对于受韵律性控制、顶部剩余油富集的厚层单元,平面上结合沉积相带部署非均质矢量井网,纵向上通过化学剂针对高渗透段进行高效堵调、低渗透段进行高效洗油,并辅以矢量注采参数调整,形成平面矢量井网、纵向堵调及均衡注采协同合作的矢量开发调整模式(图4)。

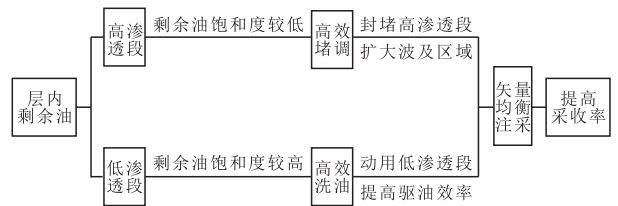


图4 厚层协同矢量开发调整模式

Fig.4 Vector development adjustment modes of thick layer cooperation

4 矿场应用效果

在胜坨油田二区(胜二区)沙二段8¹、沙二段9—10、三区(胜三区)坨21沙二段8¹分别开展平面相控矢量开发调整、层系重组矢量开发调整及厚层协同矢量开发调整试验。

胜二区沙二段8¹为三角洲相沉积单元,综合含水率为97.5%,采出程度为46.4%。平面上受沉积微相影响,南北差异大。北部主体相带,平均渗透率为 $2\ 000\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$,平均剩余油饱和度为35%;南部侧缘相带,平均渗透率为 $300\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$,平均剩余油饱和度为45%。2012年7月对胜二区沙二段8¹部署平面相控矢量开发井网,北部主体相带采用井距为450~600 m的大井距井网,南部侧缘相带采用井距为200~300 m的小井距井网(图5)。调整后,单元产油量由调整前的203.2 t/d上升到247.9 t/d,综合含水率由调整前的97.5%降至97.3%,自然递减率下降了2.8%,提高采收率4.4%。

胜二区沙二段9—10发育2个砂层组,共8个含油小层,属多层油藏,综合含水率为96.4%,采出程

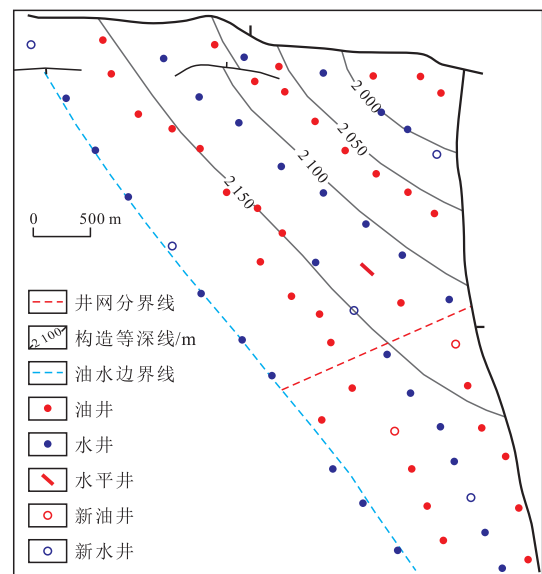


图5 胜二区沙二段8¹平面相控矢量开发井网分布

Fig.5 Well arrangement of planar phase control vector development of $E_{s_2}^{8^1}$ in Sheng2 area

度为32.2%。目前存在的主要问题为:①层间矛盾突出,物性较好的沙二段10砂层组严重干扰沙二段9砂层组;②剩余油饱和度差异大,沙二段10砂层组剩余油饱和度偏低,9砂层组剩余油饱和度偏高。针对以上矛盾,2010年9月纵向上实施层系重组,沙二段9—10分为2套层系开发,拟渗流阻力级差明显下降,调整前沙二段9—10的拟渗流阻力级差为45,调整后9和10砂层组的拟渗流阻力级差分别为2.1和3.7。数值模拟预测15 a开发效果表明,层系重组后开发效果好于层系未重组的效果(图6)。平面上,主力高渗透层沙二段10砂层组,井网由300 m×260 m抽稀为380 m×300 m,单井产液量由70 t/d提高到150 t/d;非主力低渗透层沙二段9砂层组,井网由300 m×260 m加密为200 m×250 m,单井产液量由22 t/d提高到50 t/d,同时提高注水水质,补充地层能量。调整后单元产油量由调整前的36.0 t/d上升到50.6 t/d,综合含水率由调整前的96.3%下降到94.9%,自然递减率下降了4.8%,提高采收率4.3%。

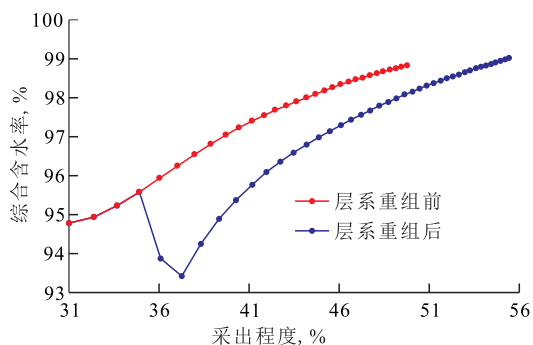


图6 胜二区沙二段9—10层系重组矢量开发预测结果

Fig.6 Prediction result of vector development of layer recombination of Es_2^{9-10} in Sheng2 area

胜三区坨21沙二段8^l为三角洲相厚层油藏,综合含水率为97.3%,采出程度为30.1%。目前存在的主要问题包括:①注采井网不完善,不同区域采出差异大;②厚油层内开发状况差异大,底部注水冲刷程度高,顶部驱替程度弱、剩余油富集。为此,2013年8月实施厚层协同矢量开发调整,平面上部署矢量井网,西部低渗透区采用300~350 m小井距井网,东部高渗透区采用500~550 m大井距井网;纵向上针对层内差异,利用其他层系老井,实现油水井间深部堵调,同时结合矢量注采参数优化,实现均衡驱替(图7)。调整后,单元产油量由70.8 t/d上升到99.8 t/d,综合含水率由97.3%降至96.9%,自然递减率下降了2.3%,提高采收率4.2%。

矢量开发调整模式目前已在胜坨油田10个单元中得到应用,动用地质储量 1.2×10^8 t,新增产能 22.4×10^4 t。如果在胜利油区同类油藏中推广应用,

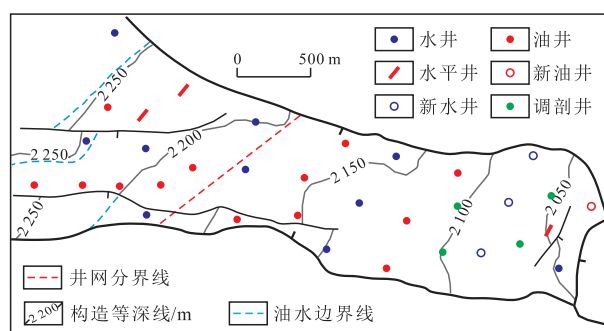


图7 胜三区坨21沙二段8^l厚层协同矢量开发井网分布

Fig.7 Well arrangement of thick layer cooperation vector development of Es_2^{8l} in fault block Tuo21 in Sheng3 area

可动用地质储量 6.6×10^8 t,预计可增加可采储量 1.300×10^4 t。

5 结论

胜坨油田作为进入特高含水后期的中高渗透油藏,剩余油分布特征复杂多样,平面上以侧缘微相富集型分布模式为主;纵向上多层油藏以非主力层富集型分布模式为主,厚层油藏以厚层顶部富集型分布模式为主。平面矛盾突出的油藏,适用平面相控矢量开发调整模式;层间矛盾突出的油藏,适用层系重组矢量开发调整模式;层内矛盾突出的油藏,适用厚层协同矢量开发调整模式。矿场应用时,根据不同单元的主要开发矛盾及剩余油分布模式,选择相应的矢量开发调整模式,同时注意多种模式的联合运用,多种模式协同作用效果更好。

参考文献:

- [1] 王端平.对胜利油区提高原油采收率潜力及转变开发方式的思考[J].油气地质与采收率,2014,21(4):1-4.
Wang Duanping. Some thoughts about potential of oil recovery efficiency and development model transition in Shengli district [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 1-4.
- [2] 孙焕泉.聚合物驱后井网调整与非均相复合驱先导试验方案及矿场应用——以孤岛油田中一区Ng3单元为例[J].油气地质与采收率,2014,21(2):1-4.
Sun Huanquan. Application of pilot test for well pattern adjusting heterogeneous combination flooding after polymer flooding—case of Zhongyiqu Ng3 block, Gudao oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2): 1-4.
- [3] 严科.三角洲前缘储层特高含水后期剩余油分布特征[J].特种油气藏,2014,21(5):20-23.
Yan Ke. Residual oil distribution features in delta front reservoir during late period of super-high water content [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(5): 20-23.
- [4] 计秉玉,赵宇,宋考平,等.低渗透油藏渗流物理特征的几点新

- 认识[J].石油实验地质,2015,37(2):129-133.
- Ji Bingyu, Zhao Yu, Song Kaoping, et al. New insights into the physical percolation features of low-permeability reservoirs [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(2): 129-133.
- [5] 田选华, 陆正元, 胡罡, 等. 水驱油田合理注采压力系统[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 142-147, 153.
- Tian Xuanhua, Lu Zhengyuan, Hu Gang, et al. Rational injection-production pressure system in water-drive oilfields [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 142-147, 153.
- [6] 刘德华, 李士伦, 吴军, 等. 矢量化井网的概念及布井方法初探[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(4): 110-111.
- Liu Dehua, Li Shilun, Wu Jun, et al. Concept of vector well pattern and method of well pattern arrangement [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2004, 26(4): 110-111.
- [7] 李阳, 王端平, 李传亮. 各向异性油藏的矢量井网[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(2): 225-227.
- Li Yang, Wang Duanping, Li Chuanliang. Vectorial well arrangement in anisotropic reservoirs [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(2): 225-227.
- [8] 周涌沂, 李阳, 王端平. 矢量井网改善平面非均质油藏水驱开发效果研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(1): 135-139.
- Zhou Yongyi, Li Yang, Wang Duanping. Research on water flooding effect improved by vectorial well arrangement for reservoirs with permeability heterogeneity in plane [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(1): 135-139.
- [9] 刘兰芹. 胜坨油田整装砂岩油藏矢量化井网调整技术[J]. 长江大学学报: 自科版, 2014, 11(13): 109-111.
- Liu Lanqin. Vectorial well arrangement adjustment technique of integrated sandstone reservoirs in Shengtuo oilfield [J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2014, 11(13): 109-111.
- [10] 王友启. 胜利油田高含水期油藏水驱精细调整技术方向[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(1): 101-104.
- Wang Youqi. Fine adjustment direction of water flooding in high-water cut oil reservoirs of Shengli Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(1): 101-104.
- [11] 罗福全, 侯健, 邴绍献, 等. 高含水期井损对高渗透油藏开发效果的影响[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(1): 106-110.
- Luo Fuquan, Hou Jian, Bing Shaoxian, et al. The influence of well loss on development effect in the high permeability reservoir at high water cut stage [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 106-110.
- [12] 冯其红, 王波, 王相, 等. 多层非均质油藏开发指标预测方法[J]. 特种油气藏, 2014, 21(4): 85-88.
- Feng Qihong, Wang Bo, Wang Xiang, et al. Prediction approach of development indices of multi-layer heterogeneous reservoir [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(4): 85-88.
- [13] 屈亚光, 丁祖鹏, 潘彩霞, 等. 厚油层层内夹层分布对水驱效果影响的物理实验研究[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(3): 105-107, 110.
- Qu Yaguang, Ding Zupeng, Pan Caixia, et al. Physical experiment on distribution of interlayers impact on water flooding recovery efficiency [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3): 105-107, 110.
- [14] 赖书敏, 魏明. 特高含水后期矢量开发调整技术研究及应用[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(7): 50-52, 58.
- Lai Shumin, Wei Ming. Research and application of vector adjustment development technology in ultra-high water cut stage reservoirs [J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(7): 50-52, 58.

编辑 常迎梅

(上接第100页)

- Liu Bixin, Hou Jirui, Li Bengao, et al. Performance evaluation of channeling blockage system for ultra-low permeability oil reservoirs with CO₂ flooding [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(3): 128-131.
- [21] 于春磊, 侯吉瑞, 赵凤兰, 等. 特低渗油藏 CO₂ 驱扩大波及体积的一种新技术[J]. 油田化学, 2009, 26(2): 165-168.
- Yu Chunlei, Hou Jirui, Zhao Fenglan, et al. A new technique for enlarging sweeping area for CO₂ drive in extra-low permeability reservoirs [J]. Oilfield Chemistry, 2009, 26(2): 165-168.
- [22] Zhao Fenglan, Zhang Lei, Hou Jirui, et al. Profile improvement during CO₂ flooding in ultra-low permeability reservoirs [J]. Petroleum Science, 2014, 11(2): 279-286.

编辑 王星