

萨尔图油田北二西区密闭取心井水洗特征

李伟强,尹太举,邓智浩,李峰,周文,高航

(长江大学地球科学学院,湖北武汉430100)

摘要: 萨尔图油田目前处于高含水开发时期,认清剩余油分布状况是关键,而密闭取心井分析方法是认识剩余油分布的一个最直观、最可靠的方法。在储层细化的基础上,利用萨尔图油田北二西区4口密闭取心井水洗特征分析资料对主力区块总体水洗特征和不同储层水洗特征进行统计分析。结果表明,该区储层总体上处于中水洗状况,仍具有较大潜力;河道主体水洗程度较高,以中、强水洗为主,中、强水洗潜力主要分布在河道中部,弱、未水洗潜力主要分布在河道顶部;表内整体水洗程度中等,表外整体水洗程度很低,弱、未水洗潜力主要分布于薄层表内和孤立表外。分布状况表明潜力储层位于河道顶部、河道中部、薄层表内以及孤立表外,是下一步调整挖潜的对象。

关键词: 密闭取心井 水洗特征 剩余油 潜力分布 萨尔图油田

中图分类号:TE341

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2016)01-0101-06

Waterflooding characteristics of sealed coring wells in Beiexi area of Saertu oilfield

Li Weiqiang, Yin Taiju, Deng Zhihao, Li Feng, Zhou Wen, Gao Hang

(College of Geoscience, Yangtze University, Wuhan City, Hubei Province, 430100, China)

Abstract: At present, Saertu oilfield is at high water cut stage and it is necessary to identify the distribution of its remaining oil. And analytical method of sealed coring well is the most intuitive and reliable one. Based on reservoir subdivision, the overall water-flooding characteristics of the main blocks and different reservoirs were analyzed according to the water-flooding characteristics of four new sealed coring wells drilled in Beiexi area of Saertu oilfield. The results show that the overall water-flooding characteristics of the reservoirs in this area are at medium degree, which indicates a great potential of the block. The water-flooding degree of the main part of channel sand is higher; primarily medium and strong. The medium and strong waterflooding mainly distributes in the middle of channel sand and the weak and non-waterflooding is on the top of channel sand. The overall water-flooding degree of the tabulated reservoir is medium and that of the untabulated reservoir is quite low. The weak and non-waterflooding distributes in the thin-layer tabulated reservoir and isolated untabulated reservoir. It indicates that the potential reservoirs mainly locate on the top of the channel sand, the middle of the channel sand, the thin-layer tabulated reservoir and isolated untabulated reservoir, which are the targets of adjustment and potential tapping in the future.

Key words: sealed coring wells; water-flooding characteristics; remaining oil; potential distribution; Saertu oilfield

萨尔图油田是大庆油区的主力油田之一,经过40多年的勘探开发,已进入高含水开发阶段,剩余油分布状况高度零散且十分复杂^[1],该阶段油田开发与调整的关键是进一步认识、寻找和开发剩余油^[2-3]。剩余油的研究方法主要有密闭取心井分析

方法^[4-5]、开发地震方法^[6]、水淹层测井解释方法^[7]、油藏数值模拟方法^[8]和油藏工程方法^[9]等。其中,密闭取心井分析方法相比其他方法具有2个主要优势:①可以准确反映地下油藏的岩性、物性和含油性,能够直接、直观地指出剩余油的总量与分布特

收稿日期:2015-11-05。

作者简介:李伟强(1990—),男,河南柘城人,在读硕士研究生,从事油气田开发地质方面的研究。联系电话:(027)69111187,E-mail:liweiq0608@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“剩余油分布综合预测与精细注采结构调整技术”(2011ZX05010-002-005),国家自然科学基金项目“叠覆式浅水三角洲形成机理及内部结构解剖”(41172106)和“浅水湖盆三角洲沉积调查与物理模拟”(41072087)。

点;②可以得出不同类型储层剩余油的分布结果,以明确下一步挖潜剩余油的目标储层类型。目前,中外学者对于密闭取心井分析资料主要应用在2个方面:①利用物理模拟实验和数理统计方法对地层真实油水饱和度进行校正^[10-12];②有的学者利用密闭取心井资料对单井纵向上各小层水淹状况进行研究,还有一些学者通过按有效厚度对储层分级的方法对不同储层水淹特征进行研究,从这些学者的研究结果可以发现,有一些学者认为剩余油主要在厚油层中富集^[13-16],也有学者认为主要在薄油层和表外中富集^[17]。但无一不是按大段储层进行统计的,对于小段内储层的认识还不够深入,薄油层和表外处于不同位置时水淹差异也较大。

在前人研究的基础上,针对萨尔图油田北二西区目前的生产状况,结合该区4口较好的密闭取心井资料对储层进行细化,对其总体水洗特征和不同储层的水洗特征进行统计分析,发现该区整体水洗程度中等,仍具较大的剩余油潜力,中、强水洗潜力主要集中在河道中部,弱、未水洗潜力主要集中在河道顶部,薄油层潜力主要位于薄层表内和孤立表外,以期对萨尔图油田后期的生产提供指导。

1 储层细化

根据有效厚度对大庆油区沉积相进行初步区

分,将有效厚度大于1.5 m的储层划分为河道砂体,0.2~1.5 m的为表内,有效厚度为0的为表外。在此基础上再进行细化,首先,将表内中有效厚度为0.5~1.5 m的划分为厚层表内,0.2~0.5 m的为薄层表内;其次,根据河道砂体和厚层表内的驱油效率在垂向上具有分段性的差异,结合渗透率曲线的韵律变化并根据测井曲线特征,将储层分为顶部、中部和底部。河道砂体细分为河道顶部、河道中部和河道底部,分别对应图1中A、B和C段,厚层表内细分为表内顶部、表内中部和表内底部,分别对应图1中的D、E和F段;再次,根据表外在垂向上与河道砂体和厚层表内的不同位置关系细分,即连续发育在顶部的称为顶部表外,连续发育于底部的称为底部表外;最后,在表外中,上下被非储层(砂岩厚度为0)隔开而成为孤立的砂体,称为孤立表外。最终将储层细化为河道顶部、河道中部、河道底部、表内顶部、表内中部、表内底部、薄层表内、顶部表外、底部表外和孤立表外共10种类型。

基于以上储层细化的结果,以萨尔图油田北二西区主力区块4口密闭取心井的岩心、测井以及所有岩样的分析化验数据为基础,对每个样本(对应一种储层类型)的有效厚度、水洗厚度、水洗程度、原始含油饱和度、目前含油饱和度、驱油效率等参数进行整理,对该区总体水洗特征、不同储层水洗特征进行统计。

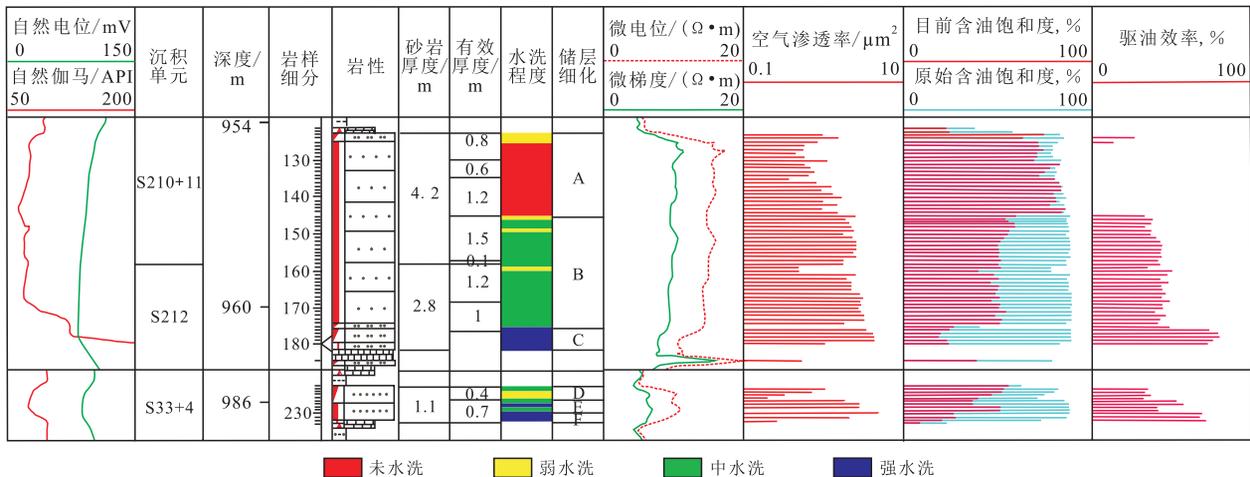


图1 河道砂体和厚层表内细分方法示例

Fig.1 Example of reservoir subdivision approach in channel sand and thick-layer tabulated reservoir

2 水洗特征

2.1 总体水洗特征

萨尔图油田北二西区主力区块4口取心井所有

样本的水洗特征统计结果(表1)显示,取心井水洗状况以中水洗为主,其水洗厚度占总水洗厚度的55.8%,其次是强水洗和未水洗,均为16%左右,弱水洗比例为11.2%,相对较低。从水洗样本的分布中发现,未水洗样本数最多,占样本总数的38.9%,

表1 密闭取心井水洗特征统计结果
Table1 Statistics on water-flooding characteristics of sealed coring wells

水洗类型	样本总数/个	样本分布,%	水洗厚度/m	厚度分布,%	样本平均水洗厚度/m	平均含油饱和度,%		饱和度差值,%	平均驱油效率,%
						原始	目前		
强水洗	55	11.4	36.59	16.9	0.67	78.4	29.6	48.8	62.6
中水洗	171	35.4	120.8	55.8	0.71	76.2	42.6	33.6	44
弱水洗	69	14.3	24.16	11.2	0.35	75.7	54.2	21.5	28.4
未水洗	188	38.9	34.95	16.1	0.19	54.8	48.8	6	
总计	483	100	216.5	100	1.92				

平均水洗厚度最小,仅为0.19 m,而中水洗样本数与其接近,但平均水洗厚度为0.71 m,近似为未水洗样本的4倍。强水洗样本虽然最少,但平均水洗厚度与中水洗接近,说明中、强水洗样本对应的储层水洗厚度较大,而未水洗样本对应的储层厚度较小,以薄层为主。

2.2 不同储层水洗特征

对研究区不同储层的水洗厚度统计(表2)发现:总体上,河道砂体水洗厚度比例最大,为72.5%,表内为19.8%,表外最少,仅为7.7%,说明水洗厚度与储层有效厚度成正相关。另外,河道砂体水洗厚度以河道中部为主,也是水洗厚度比例最高的储层类型;表内水洗厚度总体上以厚层表内为主,但细分储层后,薄层表内水洗厚度比例是表内中最高的;表外各储层差异显著,孤立表外几乎占据表外全部水洗厚度的90%。

表2 不同储层水洗厚度统计
Table2 Statistics on water-flooding thickness of different reservoirs

储层类型	总样本数/个	水洗总厚度/m	平均水洗厚度/m	厚度比例分布,%	样本比例分布,%
河道顶部	68	37.53	0.55	17.3	14.1
河道中部	64	72.74	1.14	33.6	13.3
河道底部	71	46.72	0.66	21.6	14.7
表内顶部	41	8.41	0.21	3.9	8.5
表内中部	19	7.44	0.39	3.4	3.9
表内底部	34	10.06	0.30	4.6	7.0
薄层表内	64	17.04	0.27	7.9	13.3
顶部表外	5	1.3	0.26	0.6	1.0
底部表外	6	0.72	0.12	0.4	1.2
孤立表外	111	14.54	0.13	6.7	23.0
总计	483	216.5	4.02	100	100

从不同储层水洗程度分布(图2)发现,河道砂体中各储层水洗状况差异相对较小,而表内和表外各储层水洗状况存在较大差异。

河道砂体整体水洗程度较高,以中、强水洗为主,水洗厚度比例为84%。河道中部和河道底部中、强水洗厚度之和超过其各自水洗厚度的90%,

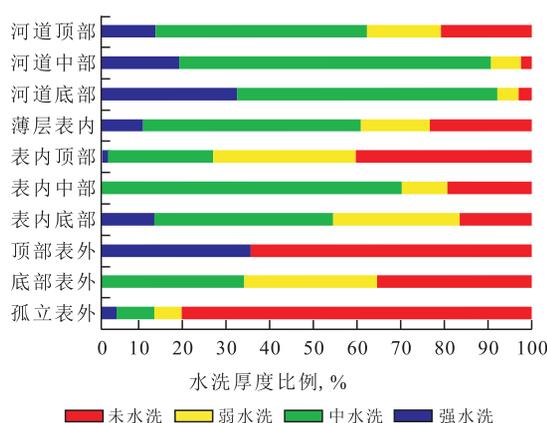


图2 不同储层水洗程度分布

Fig.2 Distribution of water-flooding conditions in different reservoirs

河道顶部该比例超过60%;河道顶部弱、未水洗比例达40%,而河道中部和河道底部该比例仅为10%左右。

表内整体水洗程度中等。薄层表内、表内中部和表内底部以中、强水洗为主,比例之和超过50%,其中表内中部水洗比例可达70%;表内顶部以弱、未水洗为主,其比例超过70%,其余3种表内储层弱、未水洗部分比例为30%~55%。

表外整体水洗程度很低。虽然顶部表外和底部表外都有30%左右的中、强水洗部分,但由于它们整体厚度比例很低,导致中、强水洗比例更低;顶部表外和底部表外弱、未水洗比例超过65%,而孤立表外则超过80%,整体水洗状况很差。

3 潜力分布

3.1 中、强水洗

根据大庆油区“十一五”的研究成果,当含水率大于98%时,对应的驱油效率为69%,基本属于无效注水阶段。从研究区中、强水洗储层驱油效率的统计(表1)中发现,仅2%的比例达到该程度,绝大部分的驱油效率仍在69%以下,因此,中、强水洗储层仍然有很大的潜力,下一步可通过提高驱油效率提

高采收率。

中、强水洗潜力(图3)主要分布在河道砂体中,并且河道中部潜力最大。表内整体还有一部分潜力,主要分布于厚层表内,但储层细化后,薄层表内是表内潜力最大的。表外潜力虽然不大,仅有一小部分达到中、强水洗,但说明表外还是具有动用的可能性,下一步可以作为调整的对象进行开发。

3.2 弱、未水洗

弱、未水洗潜力的分布相对均衡(图4),与中、

强水洗一边倒的分布样式有所不同。整体上河道砂体潜力最大,其次是表内,表外潜力最小。在河道砂体中,潜力主要分布在河道顶部,河道中部也有潜力,河道底部潜力较小。表内潜力主要分布在厚层表内,但储层细化后薄层表内是表内中潜力最大的,表内顶部与其基本相当,表内中部潜力最小。表外潜力主要集中在孤立表外,顶部表外和底部表外潜力很小。弱、未水洗的潜力,可以通过部署“聪明井”^[18]的方式进行调整挖潜。

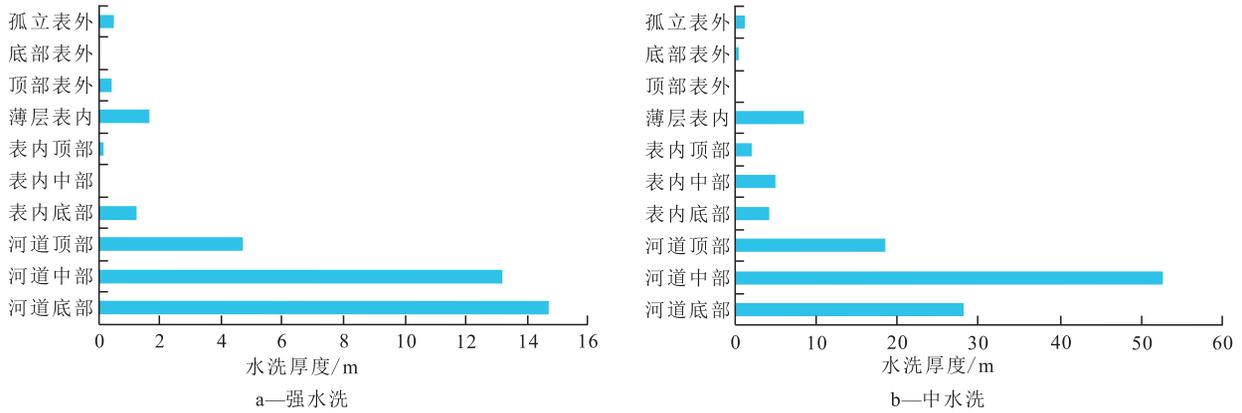


图3 中、强水洗程度在不同储层中的潜力分布

Fig.3 Potential distribution of middle and strong waterflooding in different reservoirs

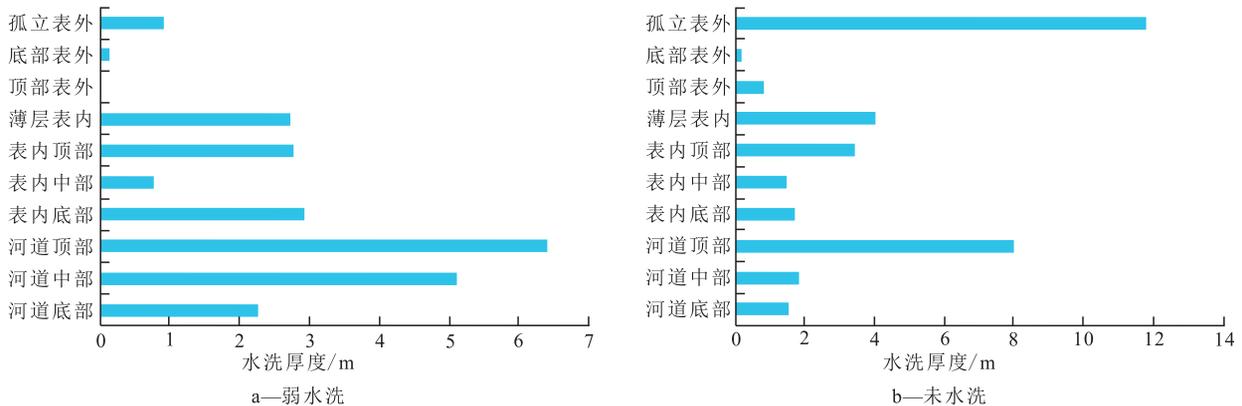


图4 弱、未水洗程度在不同储层中的潜力分布

Fig.4 Potential distribution of weak and non-waterflooding in different reservoirs

4 剩余油潜力及形成机理

利用研究区密闭取心井岩心、测井和分析化验资料对弱、未水洗潜力形成机理进行分析,认为河道砂体弱、未水洗是由于曲流河点坝内部的泥岩侧积造成的。前人研究表明,曲流河在凹岸被冲刷侵蚀,凸岸加积形成侧积体,每个期次的侧积体侧向叠置形成曲流河主体点砂坝,在洪水期发生侧

积作用形成点砂坝上部的侧积泥岩层,在枯水期点砂坝下部的侧积泥岩层被流水冲刷掉,因而点砂坝上部的侧积泥岩得以保存下来^[19],形成低渗透遮挡导致剩余油富集^[20-22],故河道顶部的弱、未水洗潜力最大。河道中部也存在较多弱、未水洗潜力,可能是由于河道多期叠置导致点砂坝顶部的侧积泥岩位于河道的中部,因而使河道中部也有部分剩余油富集。河道底部孔渗性往往较好,具备注入水在底部形成优势流动通道的条件,很容易形成大孔道^[23],使渗流能力进一步增强,过水量增加,导致驱

油效率很高,因此河道底部难有剩余油富集,剩余油多富集于河道顶部和中部,例如B2-351-JP61井S212小层中的河道底部物性好且为强水洗,河道中部和河道顶部都仍有较大潜力,也可作为底部存在大孔道现象的佐证。

表内弱、未水洗的原因可能是由于表内与河道砂体等优势储层连通性差,即当表内与河道砂体连在一起形成大的连通体时,在合适的注采关系下更容易被水洗动用,反之则较难被水洗动用。薄层表内在弱、未水洗分布中潜力最大,原因除了厚度较薄、物性较差以外,主要与河道砂体等优势储层的连通性有关系,例如B2-352-JP60井的P14小层底部的薄层表内与其下部P15+6小层强水洗程度的河道砂体连通性较好,其水洗程度为中、强水洗;而B2-352-JP59井中P21小层中的薄层表内与其上部P17小层中、强水洗程度的河道砂体连通性较差,其水洗状况为未水洗。

表外动用状况很差,水洗状况以弱、未水洗为主,潜力主要分布在孤立表外,其原因可能为:①在垂向上其上下通常被非渗透夹层隔开成为孤立砂体,导致平面上砂体分布零散,井网难以控制,水驱动用差;②自身岩性、物性和含油性较差,泥质含量较高,在多层合采时容易被高渗透层屏蔽而不被动用。

5 结论

萨尔特油田北二西区以中水洗程度为主,仍有较大的潜力,河道砂体的潜力不论在中、强水洗程度的储层中还是弱、未水洗储层中都是最大的。河道砂体整体水洗程度较高,中、强水洗潜力主要分布在河道中部,弱、未水洗潜力主要分布在河道顶部。表外整体水洗程度很低,以弱、未水洗为主,潜力主要分布在孤立表外。

参考文献:

- [1] 万新德.萨北开发区特高含水期油田开发的实践与认识[J].大庆石油地质与开发,2006,25(增刊):1-3.
Wan Xinde.Practice and knowledge of oilfield development in ultra-high water cut stage of North Saertu development area[J].Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2006, 25 (supplement): 1-3.
- [2] 俞启泰.关于剩余油研究的探讨[J].石油勘探与开发,1997,24(2):46-50.
Yu Qitai.A study on remaining oil[J].Petroleum Exploration and Development, 1997, 24(2): 46-50.
- [3] 韩大匡.关于高含水油田二次开发理念、对策和技术路线的探讨[J].石油勘探与开发,2010,37(5):583-591.
Han Dakuang.Discussions on concepts, countermeasures and technical routes for the redevelopment of high water-cut oilfields [J].Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(5): 583-591.
- [4] 杨勇,胡罡,田选华.水驱油藏剩余油再富集成藏机理[J].油气地质与采收率,2015,22(4):79-86.
Yang Yong, Hu Gang, Tian Xuanhua.Reservoir forming mechanism of remaining oil re-enrichment in water flooding reservoir [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(4): 79-86.
- [5] 高兴军,宋新民,李淑贞,等.高含水油田密闭取心检查井水淹状况及主控因素研究:以扶余油田泉四段油层为例[J].地学前沿,2012,19(2):162-170.
Gao Xingjun, Song Xinmin, Li Shuzhen, et al.Waterflooded situation and its key controlling factors in sealed coring of inspection wells at high water-cut stage: A case study of Quan-4 Formation of Fuyu Oilfield[J].Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 162-170.
- [6] 王琦,李红梅.开发地震在大庆长垣喇嘛甸油田储层预测中的应用[J].石油与天然气地质,2012,33(3):490-496.
Wang Qi, Li Hongmei.Application of development seismology to reservoir prediction of Lamadian oilfield in Daqing placanticline [J].Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 490-496.
- [7] 吴晨宇,侯吉瑞,赵凤兰,等.三元复合体系启动水驱后剩余油微观机理[J].油气地质与采收率,2015,22(5):84-88.
Wu Chenyu, Hou Jirui, Zhao Fenglan, et al.Study on the microscopic mechanism of driving remaining oil by ASP compound system after water flooding[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5): 84-88.
- [8] 黄有泉,周志军,刘志军,等.葡南三断块特高含水期油藏数值模拟精度提高方法[J].油气地质与采收率,2014,21(5):65-68.
Huang Youquan, Zhou Zhijun, Liu Zhijun, et al.Research on precision improvement of numerical simulation in extra high water cut stage, three block of P reservoir [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5): 65-68.
- [9] 冉启佑.剩余油研究现状与发展趋势[J].油气地质与采收率,2003,10(5):49-51.
Ran Qiyu.Present situation and development tendency of remaining oil research technology [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10(5): 49-51.
- [10] 谭锋奇,杨长春,李洪奇,等.密闭取心井油水饱和度校正方法[J].地球科学——中国地质大学学报,2013,38(3):592-598.
Tan Fengqi, Yang Changchun, Li Hongqi, et al.Study on oil-water saturation correction from sealed core wells [J].Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2013, 38(3): 592-598.
- [11] 黄小平,柴婧.阿尔奇公式在泥页岩地层含油饱和度计算中的应用——以沾化凹陷沙三段下亚段为例[J].油气地质与采收率,2014,21(4):58-61.
Huang Xiaoping, Chai Jing.A practical discussion on oil saturation

- tion calculation using Archie formula in shale formation: example from lower Sha3 member of Zhanhua sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(4): 58-61.
- [12] 王艺景, 黄华, 刘志远, 等. 取心分析饱和度数理统计校正方法及其应用[J]. 江汉石油学院学报, 2000, 22(4): 42-44.
Wang Yijing, Huang Hua, Liu Zhiyuan, et al. Mathematically statistical calibration for saturation analysis by coring and its application [J]. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 2000, 22(4): 42-44.
- [13] 吴逸, 万新德, 孙力红. 精细地质研究成果在油田特高含水期综合调整中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(4): 29-31.
Wu Yi, Wan Xinde, Sun Lihong. Application of detailed geological research results to comprehensive adjustment at extra high water cut stage in oilfield [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2006, 25(4): 29-31.
- [14] 张宝胜, 张淑洁, 钟玲. 喇萨杏油田各类油层水洗状况[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(6): 40-43.
Zhang Baosheng, Zhang Shujie, Zhong Ling. Water flushed conditions of various reservoirs in Lamadian-Xingshugang-Saertu oilfields [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2002, 21(6): 40-43.
- [15] 箭晓卫, 赵伟. 喇嘛甸油田特高含水期厚油层内剩余油描述及挖潜技术[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(5): 31-33.
Jian Xiaowei, Zhao Wei. Remaining oil description and potential tapping technique of thick oil zone of Lamadian Oilfield in ultra-high water cut stage [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2006, 25(5): 31-33.
- [16] 李卫彬, 王丽英, 孙庆萍. 特高含水期厚油层细分挖潜方法研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(1): 58-60.
Li Weibin, Wang Liying, Sun Qingping. Improve the development effect of the thick oil zones in Lamadian oilfield using water injection subdivision method [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2005, 24(1): 58-60.
- [17] 刘吉余, 王磊, 郭万奎, 等. 萨尔图油田北二东试验区剩余油分布特征[J]. 大庆石油学院学报, 2002, 26(4): 1-3.
Liu Jiyu, Wang Lei, Guo Wankui, et al. Distributing characteristics of residual oil in the northeast pilot area No.2 in Saertu oil field [J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2002, 26(4): 1-3.
- [18] 尹太举, 张昌民, 龚福华, 等. 利用砂体叠加部署聪明井提高勘探开发效果[J]. 现代地质, 2009, 23(5): 975-980.
Yin Taiju, Zhang Changmin, Gong Fuhua, et al. Smart well designing based on the superposed graph to decrease the petroleum exploration and exploitation risk [J]. *Geoscience*, 2009, 23(5): 975-980.
- [19] 马世忠, 杨清彦. 曲流点坝沉积模式、三维构形及其非均质模型[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 241-247.
Ma Shizhong, Yang Qingyan. The depositional model, 3-D architecture and heterogeneous model of point bar in meandering channels [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(2): 241-247.
- [20] 兰丽凤, 平晓琳, 白振强, 等. 基于小井距检查井的夹层分布特征及对剩余油分布的控制作用——以萨尔图油田北二西区为例[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(4): 83-87.
Lan Lifeng, Ping Xiaolin, Bai Zhenqiang, et al. Study on distribution characteristics of intra-formational bed based on dense inspection wells group—a case of Beiernxi district of Sartu oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(4): 83-87.
- [21] 王鸣川, 朱维耀, 董卫宏, 等. 曲流河点坝型厚油层内部构型及其对剩余油分布的影响[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(3): 14-17.
Wang Mingchuan, Zhu Weiyao, Dong Weihong, et al. Study on distribution and influence factors of remaining oil in point bar of meandering river [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(3): 14-17.
- [22] 李松泽, 胡望水. 复杂油藏高含水期流动单元研究及剩余油预测[J]. 特种油气藏, 2015, 22(3): 121-124.
Li Songze, Hu Wangshui. Research on flow unit and prediction of residual oil in complex reservoir at the high water-cut stage [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2015, 22(3): 121-124.
- [23] 钟大康, 朱筱敏, 吴胜和, 等. 注水开发油藏高含水期大孔道发育特征及控制因素——以胡状集油田胡12断块油藏为例[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 207-211.
Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Wu Shenghe, et al. Characteristics and controlling factors of high capacity channels of reservoirs at high water cut stage: A case from Block Hu12 of Huzhuangji Oilfield [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(2): 207-211.

编辑 单体珍