

喇嘛甸油田葡 11-2 油层水淹演变规律研究

聂春林^{1,2}, 马世忠¹

1. 东北石油大学地球科学学院, 黑龙江大庆 163318
2. 大庆油田有限责任公司第六采油厂地质大队, 黑龙江大庆 163114

摘要 大庆喇嘛甸油田存在基础井网、层系调整、注采调整、二次加密、厚油层聚驱及聚驱上返等多套井网。截至 2010 年, 葡 11-2 油层已经全面转入聚驱后水驱。随着油田的开发, 油层水淹厚度加大, 水淹级别升高, 水淹情况越来越复杂。通过分析取心井在不同开发阶段的物性、水洗情况变化, 并结合测井曲线变化特征及其水淹解释情况, 总结了油层水淹过程中岩性、物性、电性含油性等指标变化规律。在此基础上, 总结厚油层的水淹变化规律, 确定低中水淹(水洗)分布特征, 为葡 11-2 油层进一步挖潜奠定基础; 分析厚油层水淹的主控因素, 为二类油层聚驱开发提供指导。

关键词 水淹规律; 葡 11-2 厚油层; 聚驱后挖潜; 二类油层聚驱

中图分类号 TE321

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.h1.006

Waterflooding Evolution Rule of PI 1-2 Oil Layer in the Lamadian Oil Field

NIE Chunlin^{1,2}, MA Shizhong¹

1. The Earth Sciences College, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, Heilongjiang Province, China
2. No. 6 Oil Production Company, Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163114, Heilongjiang Province, China

Abstract The Daqing Lamadian oil field has developed by basic well pattern, layer system adjustment pattern, producer injector adjustment pattern, secondary infilled well pattern, thick oil layer polymer flooding pattern, and polymer flooding upward pattern. Up to 2010, the PI1-2 layer has completely shifted to polymer waterflood in Daqing Lamadian oil field. With oil field developing, the oil layer waterflooding thickness and hierarchy increase. The water flooding situation becomes more and more complex. Through the analysis on coring well data change of property, water washing combining well logging curve characteristics and waterflooding explanation in different development stages, the evolution rules of lithologic character, petrophysical property, electrical property, and oil-bearing property are summed up in the process of water flooded reservoir. Based on the above results, thick oil reservoir water flooding regularity is summed up. The distribution of low waterflooding (washing) thickness is determined. It lays the foundation for further discovering potentials of PI1-2 oil layer; the anatomy of waterflooding main controlling factors provides the guidance for polymer flooding development in the sub-main layers.

Keywords rule of waterflooding; PI1-2 thick oil reservoir; tapping the latent power after polymer flooding; polymer flooding in the sub-main layer

0 引言

大庆喇嘛甸油田是以厚油层发育为主的多油层砂岩油

田, 位于大庆长垣的最北端, 是一个受构造控制的层状砂岩气顶油藏。自上而下共发育萨尔图、葡萄花和高台子 3 套油

收稿日期: 2012-06-14; 修回日期: 2012-07-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41172135)

作者简介: 聂春林, 助理工程师, 研究方向为储层沉积学与开发地质学, 电子信箱: niec0@163.com

层,可划分为8个油层组,37个砂岩组,97个小层,115个沉积单元。按照喇嘛甸油田油层性质、发育及沉积特点,将全部油层划分为3种类型。其中,一类油层以泛滥平原相辫状河、曲流河沉积为主,河道砂钻遇率 $\geq 70\%$,单层碾平有效厚度 $\geq 4.0\text{m}$,有效渗透率 $\geq 0.400\mu\text{m}^2$,如葡I1-2油层。二类油层(分为IIA、IIB)中,IIA以分流平原相高、低弯分流河道沉积为主,河道砂钻遇率 $>42\%$,单层碾平有效厚度 $\geq 1.5\text{m}$,有效渗透率 $\geq 0.300\mu\text{m}^2$,如萨III1-3油层、萨III4-7油层;IIB以分流平原相顺直型分流河道沉积为主,河道砂钻遇率 $\geq 25\%$,单层碾平有效厚度 $\geq 0.7\text{m}$,有效渗透率 $\geq 0.100\mu\text{m}^2$,如萨II4-16油层、葡II组油层。三类油层属于三角洲前缘相沉积,以席状砂体和表外储层为主(砂体钻遇率 $\geq 60\%$),部分发育水下分流河道砂和砂坝砂体(钻遇率 $<25\%$),单层碾平有效厚度 $<1.0\text{m}$,有效渗透率 $<0.150\mu\text{m}^2$,如高I6-9油层。经过近38年的开发调整,全油田综合含水达94%,平面和纵向上非均质性严重,经过水驱和聚驱开发,葡I1-2主力油层高渗透部位剩余油得到较好驱替,剩余油分布高度零散。受到油层纵向非均质性、注采关系不完善、驱替剂注入孔隙体积倍数不够等因素影响,形成宏观和微观上的剩余油^[1-3]。前人研究了不同水淹阶段测井曲线特征演变特征^[4],从部分取心井资料统计,研究了油层的动用状况^[4-5]。本研究综合运用测井及其水淹解释成果和岩心及取样分析数据,以取心资料为基础,全面分析了不同开发阶段水淹变化特征,阐明了水淹演化规律,指出了控制因素及挖潜方向,为进一步开发指明了方向。

本文应用喇嘛甸油田不同开发阶段的15口密闭取心检查井资料及部分测井水淹解释资料,对厚油层不同开发时期水洗(水淹)状况进行系统评价,认清厚油层水淹规律,对进一步挖潜厚油层和指导二类油层聚驱具有重要意义。

1 油层岩性、物性及含油性演变特征

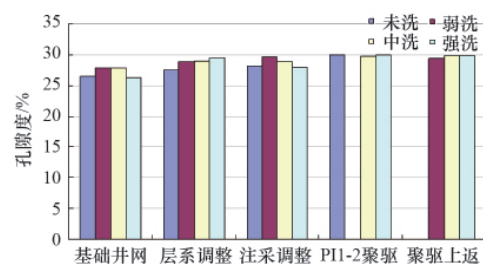
喇嘛甸油田葡I1-2厚油层属于河流相沉积,储层主要矿物类型为石英、长石及岩屑,以泥质胶结为主。由于注入剂对油层的不断冲刷,油层岩性、物性及含油性等参数发生了一系列变化。

1.1 岩性变化特征

油层水淹后,岩石矿物及组分都发生了变化。经浸泡和冲刷,油层黏土矿物大量减少,泥质含量降低。

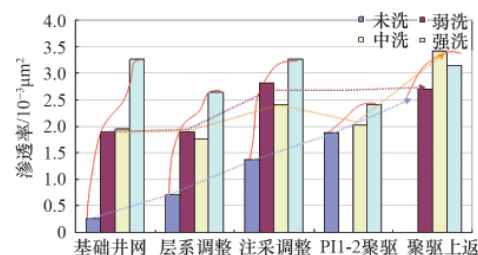
1.2 物性变化特征

储层由于水洗孔隙度稍有增大,变化并不明显,而渗透率明显增大。孔隙度分布在25%—30%之间,不同开发阶段不同水洗级别,对孔隙度的影响较小。渗透率则表现为渗透率级别控制了水洗情况,而随着水洗程度的加强,由于注入剂对储层的冲刷,储层孔隙结构发生变化,孔喉增大,导致渗透率分布向增大方向偏移,渗透率极大值增大。但在聚驱阶段,由于聚合物吸附滞留以及对小孔喉的堵塞,渗透率有所下降(图1)。



(a) 孔隙度

(a) Porosity



(b) 渗透率

(b) Permeability

图1 油层不同开发阶段物性演变规律
Fig. 1 Evolution rule of reservoir property in different development stages

1.3 含油性(水洗)特征

通过对取芯井驱油效率的统计分析,计算各开发阶段驱油指数(驱油指数 $=\sum(\text{弱、中及强水洗})\text{平均驱油效率}\times\text{水洗厚度比例}$),从基础井网到聚驱之前,驱油指数逐渐增大,达到35%左右;经过聚驱到聚驱上返阶段井的驱油指数明显增大,达到50%以上,表明聚驱阶段驱油效果明显。

2 测井演变特征

由于油层长期开发,水淹程度增强,厚度增大,引起测井曲线呈阶段性演变。

2.1 开发初期

油层的水淹特征是基于和未淹油层的比较而言的,表现为电阻率曲线中电阻值下降,密度值增大、R0.45曲线极大值上抬、声波曲线升高、井径增大、自然电位下降及自然伽马的升降等。

2.2 开发中后期

由于油层长期水淹及水淹厚度增大,油层水淹后的电测特征逐渐成为其主体特征,与未淹油层的区别减少,水淹层的辨别难度加大。由于电测曲线上的水淹特征减少,深三侧向显示的含油性和微电极与密度显示的岩性之间的比较成为主要的水淹层判断方法。二者匹配性愈差,水淹的可能性就愈高。

2.3 注聚开发阶段

由于驱替剂的改变,油层水淹在曲线上的反映有了新特

点。聚合物受效层的曲线变得光滑,电阻高于水驱电阻率,且深、浅电阻率幅度差增大,自然电位幅度减小,含聚合物高水淹层表现弱、未水淹特征,易造成误判。研究测井曲线匹配关系(高分辨率三侧向、微电极幅度差、微球及自然电位)可有效识别由聚合物残留造成的异常层,提高聚驱后油层的水淹解释精度。

3 厚层不同开发时期水淹级别水淹厚度演变特征及规律

油层水淹状况反映了油藏的开发动用状况,随着油田开发的深入,水洗程度加重,高级别水洗厚度比例增加。通过统计分析取心井各开发阶段不同水洗级别厚度比例,和对部分测井解释不同水淹级别在各开发阶段的厚度比例,对随油田各开发阶段各水洗(水淹)级别厚度比例演变规律进行研究。

3.1 各开发阶段不同水洗级别厚度演变规律

对取心井不同水洗级别厚度的统计分析表明,总体上各级别水洗厚度比例由开发低级别水洗厚度向高级别水洗厚度转化,各开发阶段间水洗特征反映了各阶段的开发状况(图2)。基础井网开发末期,未、弱水洗占很大比例,强水洗厚度比例较小,仅占14.3%;经过层系调整,在注采开发阶段未水洗厚度比例减小,弱水洗厚度增加,部分中水洗向高水洗转化;聚驱开发阶段,中强水洗显著增加,中水洗厚度比例达到49%,强水洗达到44.4%;从聚驱到聚驱上返阶段,未水洗部分向弱水洗转化说明聚驱提高了波及体积,中水洗大比例向强水洗转化说明聚驱提高了驱油效率,强水洗厚度比例占整个厚油层的51.8%。

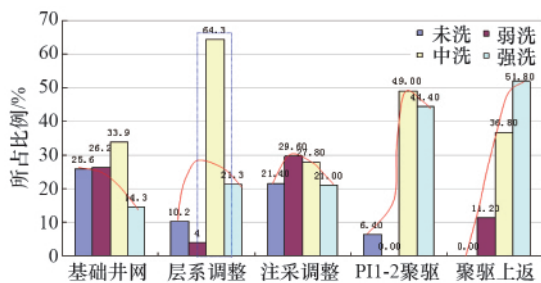


图2 PI1-2厚油层不同水洗级别厚度比例分布

Fig. 2 Distribution of different water washing degree thickness proportion for PI1-2 thick oil layer

总体来看,各开发阶段间,未水洗—强水洗厚度比例呈规律性演变。基础井网阶段,未水洗—强水洗厚度比例分布总体呈递减趋势;层系调整、注采调整阶段呈偏中水洗的正态分布;聚驱阶段为偏中水洗的正态分布;聚驱上返阶段则表现为由弱水洗到强水洗递增趋势。不同水洗级别厚度比例在不同阶段的演变规律反映了不同时期的油层开发状况。

3.2 不同水淹级别厚度在各开发阶段演变规律

不同水淹级别在各开发阶段的厚度比例演变规律(图3)与取心井水洗状况相似。未水淹层厚度在基础井网开发阶段占油层厚度的71.3%;一次加密后,未水淹层厚度急剧减少,降到19.28%;二次加密进一步动用了未水淹厚度,降到11.05%;进入聚驱开发,在聚驱上返井中,未水淹厚度仅占1%,表明聚驱有效提高了波及体积。低水淹层经过一次加密开发在二次加密井达到最大比例,在聚驱上返井低水淹厚度比例仅占6.22%,表明低水淹厚度得到有效动用,向高级别水淹转化。中水淹层厚度比例从一次加密井到聚驱井,比例逐步增加,经过聚驱后中水淹厚度比例降低,说明聚驱使部分中水淹层向高水淹转化,提高了驱油效率。高水淹厚度比例从二次加密井到聚驱上返井,比例呈增大趋势,特别是在聚驱上返井,高水淹层厚度比例急剧增加,聚驱开发收到了很好的效果。

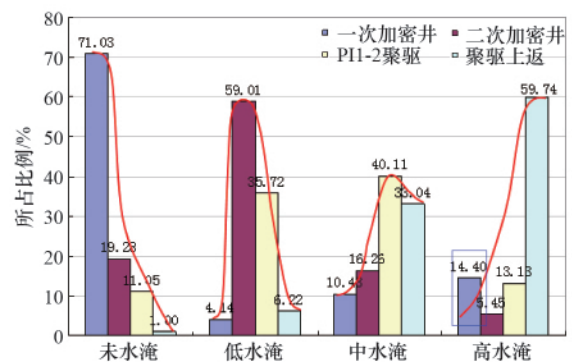


图3 PI1-2厚油层不同水淹级别厚度比例分布

Fig. 3 Distribution of different waterflooding degree thickness proportion for PI1-2 thick oil layer

可见,从一次加密井到聚驱上返井的不同开发阶段,未水淹层厚度比例呈递减趋势,低水淹层厚度比例为偏二次加密的正态分布,中水淹厚度比例为极偏聚驱井阶段的正态分布,高水淹厚度比例呈递增趋势。各开发阶段不同水淹级别厚度比例的分布很好地反映了不同开发时期的油层水淹状况。

3.3 不同开发阶段各级水淹分布演变规律

随开发调整的深入,低级别水洗(水淹)厚度向高级别水洗(水淹)厚度转化,需要找出不同开发阶段水洗部位和各级水淹分布演变规律。

基础井网开发阶段主要是厚油层底部动用较好,而中上部动用差、驱油效率低;层系调整及注采调整井不仅是在油层底部,在有夹层分隔的夹层上部驱油效率也较高,达到中强水洗;聚驱井表现为油层底部及靠近夹层上部强水洗,韵律段的中下部也达到中水洗级别;经过聚驱,聚驱上返井油层呈现多段中强水洗,但在韵律段上部、夹层下部及厚油层顶部仍存在着弱中水洗层,是今后挖潜的潜力层(图4)。

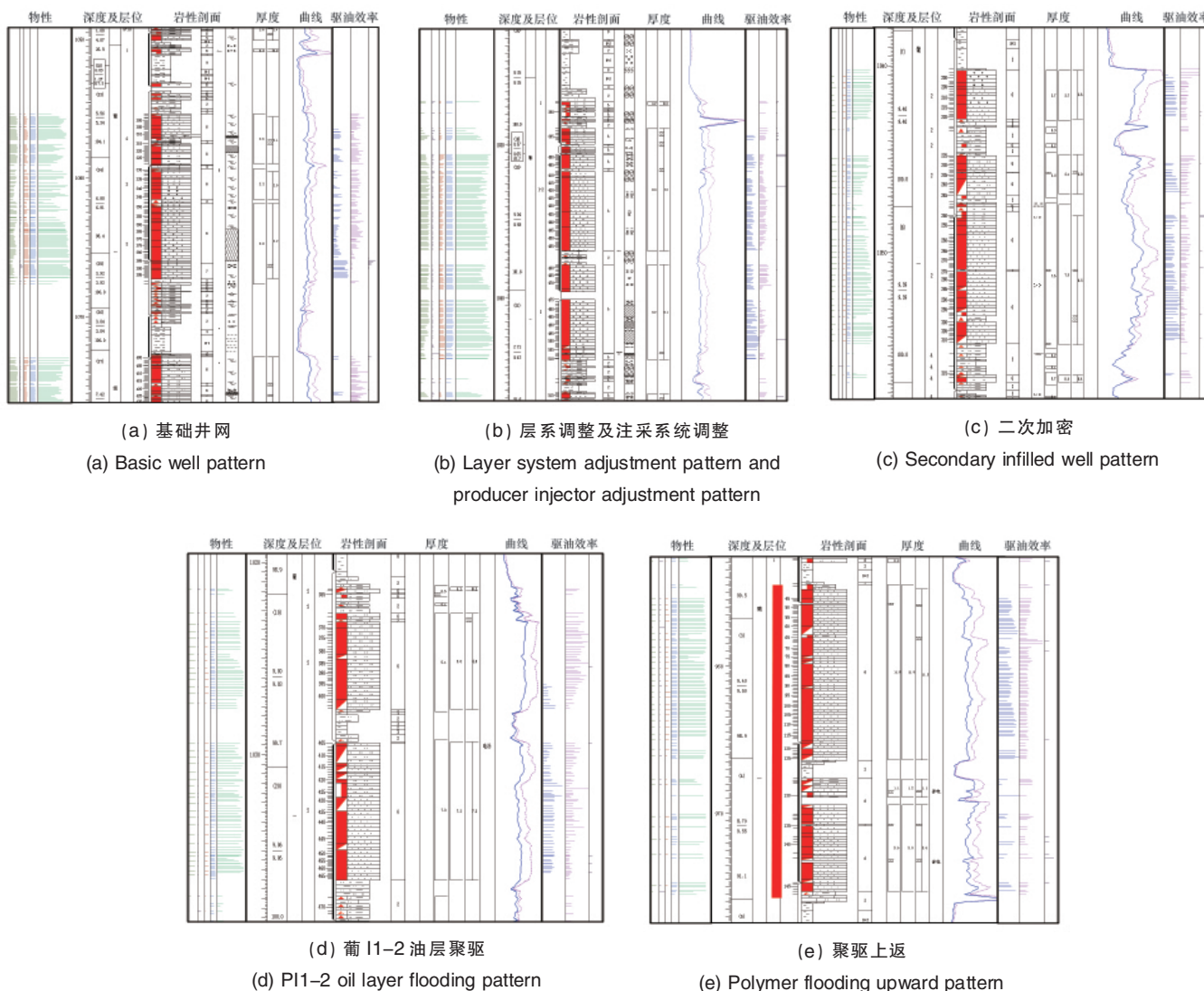


图 4 各开发阶段水洗特征
Fig. 4 Water washing features at different development stages

4 厚油层水淹控制因素及聚驱后续挖潜潜力

4.1 水淹程度及厚度主控因素

油层的水洗(水淹)强度受多因素的综合影响,既有来自开发条件的人为因素,又受到储层客观的非均质控制,通过主控因素分析,找出油层水洗(厚度和级别)分布规律,可为进一步挖潜寻找潜力层提供有力支撑。

4.1.1 开发条件

开发条件是影响油层动用的重要因素,井网密度的大小以及注采状况完善与否直接影响了油层的开发情况。井网密度越小,注采越完善,则油层水洗越严重。驱油剂的不同对油层的水洗级别和水洗厚度有很大的影响,聚合物驱油后,由于驱油剂黏弹性的增大,流度比降低,增加了波及体积,提高了驱油效率,促进了未水洗厚度的动用,加快了低级别水洗厚度向高级别厚度的转化。

4.1.2 储层非均质性

除开发条件外,储层非均质性直接决定了油层水洗程度及厚度的分布。对最近的聚驱上返检查井葡 II-2 油层的水洗特征分布规律的研究表明,微相单砂体、夹层及其空间分布(即砂体内部构型)和储层韵律(岩相)特征决定了不同级别水洗层的分布。

葡 II-2 油层属于河流相沉积,油层呈现正韵律特征,顶部物性较差和注入剂的重力作用向下运动,决定了微相单砂体顶部动用差,存在弱、中水洗厚度。

夹层在砂体内的分布起到了遮挡作用,控制了注入剂的运动规律,造成了夹层下部存在弱、中水洗层。

由于厚油层具有多段多韵律特征,油层单一韵律(岩相)也控制着水洗特征的分布,正韵律顶部波及较差,弱、中水洗一般分布在油层正韵律的上部(图 5)。

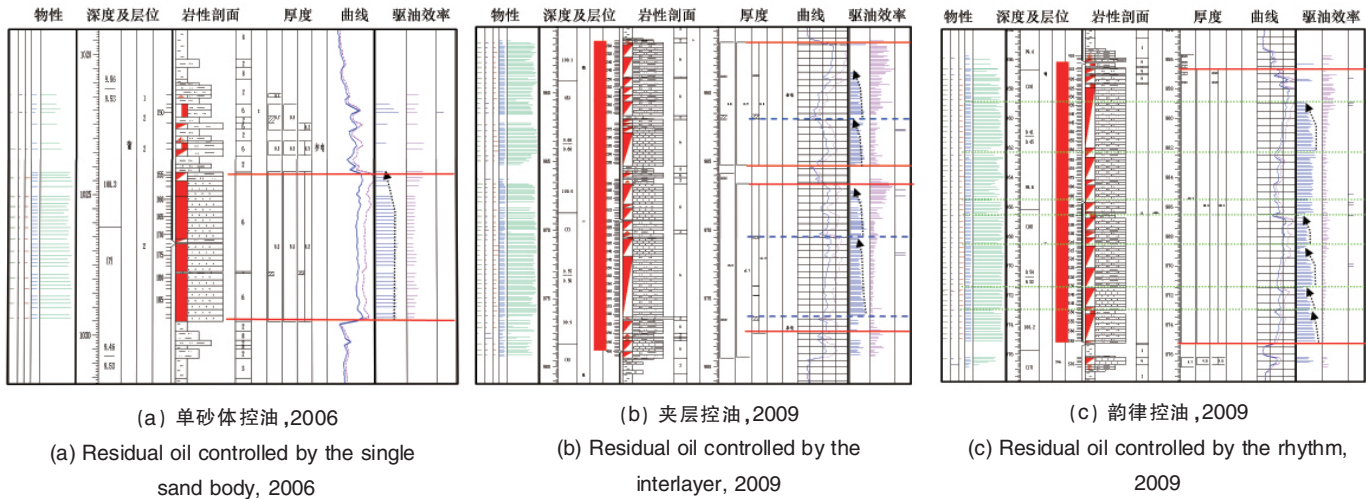


图5 不同控因类型潜力层分布规律

Fig. 5 Distribution rules of potential layers for different control factor types

4.2 葡 I1-2 油层聚驱后挖潜潜力

研究表明,经过聚驱开发后,仍有 11.2% 的厚度弱水洗, 36.8% 的厚度中水洗,这是后续开发挖潜的潜力层。这些潜力层主要分布在厚油层顶部、夹层下部和正韵律上部。

4.3 葡 I1-2 油层水淹规律对二类油层聚驱的指导意义

对葡 I1-2 油层水洗演变规律的研究表明,微相单砂体顶部、夹层下部及正韵律上部水洗程度较低,在二类油层聚驱开发过程中,应通过精细地质研究,分清储层非均质特征;应用水平井技术、周期注入等新技术加强这部分厚度动用。

5 结论

(1) 随着油田开发的深入以及注入剂对储层的不断冲刷,葡 I1-2 油层泥质含量减少,孔隙度变化不大,渗透率增大,但在聚驱阶段由于聚合物堵塞小孔喉,造成渗透率下降,驱油指数增大。

(2) 随油田开发深入,葡 I1-2 油层水洗程度由未、低水洗向中、高水洗转变,但仍有 11.2% 的弱水洗厚度。

(3) 由于单砂体、夹层及其空间展布(砂体内部构型)和储层韵律特征控制了弱、中水洗厚度的分布,弱、中水洗主要

分布在厚油层顶部、夹层下部和正韵律上部。

参考文献 (References)

- 计秉玉, 李彦兴. 喇萨杏油田高含水期提高采收率的主要技术对策[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(5): 47-53.
Ji Bingyu, Li Yanxing. *Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing*, 2004, 23(5): 47-53.
- 李洁, 隋新光. 大庆油田葡一组油层聚驱后剩余油微观分布规律研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(2): 26-28.
Li Jie, Sui Xinguang. *Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing*, 2005, 24(2): 26-28.
- 贾春雨, 杨军. 喇嘛甸油田水淹层解释方法改进[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(3): 47-48.
Jia Chunyu, Yang Jun. *Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing*, 2002, 21(3): 47-48.
- 赵云飞, 胡广斌. 喇嘛甸油田不同时期油层动用状况评价[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(3): 54-55.
Zhao Yunfei, Hu Guangbin. *Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing*, 2006, 25(3): 54-55.
- 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. *Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing*, 2002, 21(6): 40-43.

(责任编辑 孙秀云, 马骁骁)