

同位素吸水剖面测井资料采集影响因素分析

李宁¹, 吴新伟², 万磊¹, 温柔¹, 邢帅³, 赵勃权¹

1. 中国石油集团测井有限公司生产测井中心 陕西西安 710200

2. 中国石油长庆油田分公司第三采油厂 宁夏银川 750000

3. 中国石油集团测井有限公司长庆分公司 陕西西安 710200

通讯作者: Email: lin010scej@cnpc.com.cn

项目支持: 中国石油集团测井有限公司重大科研专项“油藏扫描测井关键技术研究”(F-D60018K201001)

引用: 李宁, 吴新伟, 万磊, 等. 同位素吸水剖面测井资料采集影响因素分析[J]. 油气井测试, 2019, 28(3): 49-54.

Cite: LI Ning, WU Xinwei, WAN Lei, et al. Analysis of influencing factors on logging data acquisition of isotope water injection profile [J]. Well Testing, 2019, 28(3): 49-54.

摘要 在长期注水开发过程中,长庆油田区域地层低渗透层与大孔道地层共存,吸水剖面测井资料有效采集及解释困难,难以确定分层吸水量。从注水井井筒压力系统出发,分析水流过程中各阶段的压力损失及吸水层位的渗流特点,确定影响测井采集的敏感参数;从注水量调节和大孔道地层特点两方面对吸水剖面测井资料采集影响进行分析,选取合适粒径同位素。结果发现,注水层压差大,同位素迅速进层,造成测量失真;注水层压差小,同位素难以进入地层,造成井筒污染,使得采集到的资料与实际注水情况不符,油田水驱效果降低。合理的注水层压差可将同位素带入到储层位置,减小对储层的破坏,是成功测井与储层保护的关键。该分析能够提高吸水剖面测井解释成果的准确程度,揭示层间层内矛盾,评价水驱效果,为低渗透油田开发后期有效治理提供措施依据。

关键词 吸水剖面测井; 低渗透层; 大孔道; 井筒压力; 注水层压差; 同位素粒径; 测井解释

中图分类号: TE33

文献标识码: B

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.03.009

Analysis of influencing factors on logging data acquisition of isotope water injection profile

LI Ning¹, WU Xinwei², WAN Lei¹, WEN Rou¹, XING Shuai³, ZHAO Boquan¹

1. Production Logging Center, CNPC China National Logging Corporation, Xi'an, Shaanxi 718500, China

2. No.3 Oil Production Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Yinchuan, Ningxia 750000, China

3. Changqing Division of CNPC National Logging Corporation, Xi'an, Shaanxi 710200, China

Abstract: During the process of the long-term water injection development, there was a phenomenon of coexisting of regional low-permeability reservoirs and large-pore reservoirs in Changqing Oilfield, which made it difficult to measure and interpret the water injection profile logging data. As a result, it was difficult to determine the amount of water absorbed by each sublayer. Based on the wellbore pressure system of the injection well, the pressure loss at each stage of the water flow process and the seepage characteristics of the water absorption layer were analyzed to determine the sensitive parameters affecting the logging acquisition. In addition, the influence of water injection volume adjustment and large pore formation characteristics on water injection profile logging data acquisition was analyzed and the appropriate size of isotopes was determined. The results show that when the pressure difference of water injection layer was large, the isotope would enter the layer quickly, which would cause the distortion of measurement; when the pressure difference of water injection layer was small, the isotope was difficult to enter the formation, and it would cause wellbore pollution, which made the collected data inconsistent with the actual water injection situation and lowered the effect of water injection. Therefore, the key to successful logging and reservoir protection was to bring isotopes into the reservoir position and reduce the damage to the reservoir by reasonable pressure difference of water injection formation. This analysis can improve the accuracy of log interpretation results of water injection profile, reveal intra-layer contradictions, evaluate water injection effect, and provide measures for effective treatment of low permeability oilfields in the later stage of development.

Keywords: water injection profile logging; low permeability layer; large pore channel; wellbore pressure; pressure difference of water injection layer; isotope size; log interpretation

注水开发已经成为长庆油田稳产和提高单井产量的有效手段之一。放射性同位素示踪法是较为有效和常用的动态监测方法,其通过人为提高地层放射性来实现对注水层的动态监测。同位素吸水剖面测井理论较为成熟,国内汤宏平等^[1]、戴家才等^[2]已经做了深入研究,但是目前国内缺乏对于现场采集影响因素的总结归纳分析。

在长庆油田吸水剖面测井过程中,主要存在以下问题:一是长庆油田较其它长期开发油田单井配注量偏低,且多层段笼统注水井多,渗透性差、注入量小的低渗透层普遍存在;二是地层经过长期冲刷,油层岩石颗粒及其表面的黏土盐类、胶结物经过机械破碎作用和水解稀释化学作用,使得渗透性好、吸水性强的地层逐渐形成了大孔道。国内一些学者对长庆区域的地层特点进行了研究^[3-4],但低渗透层与大孔道地层共存给吸水剖面测井资料的有效采集及解释带来的困难缺乏系统的认识,低渗透层同位素不易进层,易产生井筒污染,大孔道地层同位素极易进层造成测量误差,这类复杂地层会造成测井作业的失败,有时甚至会导致油田低效率的注水开发^[5-9]。合理有效的解释吸水剖面测井成果^[10],可以有效的指导油田开发^[11-14]。

本文针对长庆区域吸水剖面测井采集解释中的问题,从分析注水井井筒的压力系统开始,对现场测井过程中注水量大小、地层特点对原始资料的影响进行分析,最后通过吸水剖面测井解释成果图对水驱效果进行评价并给出合理开发建议。

1 注水井压力系统分析

从井筒压力系统分析入手,重点分析了各个阶段的压力损失及吸水层位的渗流特点,分析各参数对压力损失的影响,确定影响测井采集的敏感参数。

1.1 井筒压力示意

注水井的注水过程是一个完整的压力系统。该系统包括:地面配水间出口→井口→井筒→各注水层。本文分油管下过射孔段和油管未下过射孔段两种笼统注水情况,井筒压力如图1、图2所示。注水过程包括:水平管流、垂直管流、环空管流,以及注水层中的渗流。不同环节都有一定的能量消耗和传递规律。

由示意图可直观反映出水流方向及各阶段的压力分配。

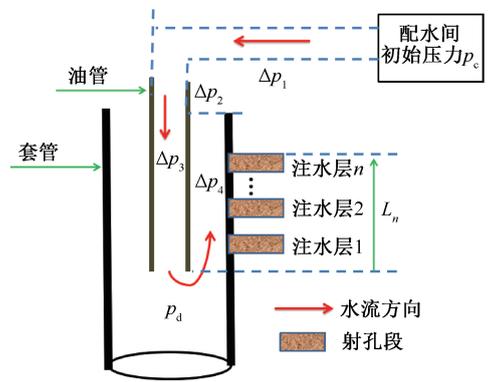


图1 油管下过射孔段笼统注水井管串压力系统示意图
Fig.1 Schematic diagram of string pressure system for general water injection wells when tubing passes through perforation section

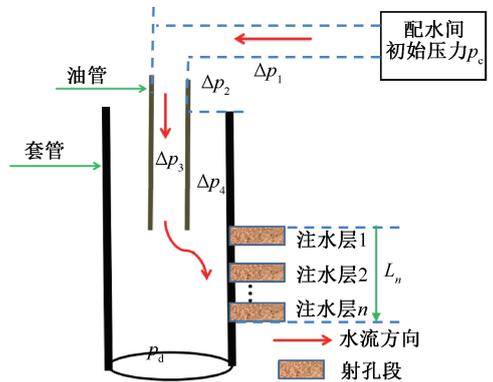


图2 油管未下过射孔段笼统注水井管串压力系统示意图
Fig.2 Schematic diagram of string pressure system for general water injection wells when tubing does not pass through perforation section

注水的初始压力沿水流方向依次减去各个阶段的压力损失,可得到注水层位的压力,即

$$\begin{aligned} p &= p_c - \Delta p_1 - \Delta p_2 - \Delta p_3 - \Delta p_4 \\ &= p_c - f(\rho_w v L) / (2D) - \Delta p_2 - \\ &\quad [f(\rho v_2 H) / (2D_2) + \rho g H] - \Delta p_4 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: p_c 为配水间的初始压力,MPa; Δp_1 为水平管线压力损失,MPa; Δp_2 为井口压力损失,MPa; Δp_3 为垂直管流摩擦和静液柱压力释放,MPa; Δp_4 为环空流摩擦和静液柱势能转化损失,MPa; f 为阻尼系数; ρ_w 为水密度, kg/m^3 ; v 为流速, m/s ; L 为水平管线长度, m ; D 为给水管内径, m ; ρ 为混合液体密度, kg/m^3 ; v_2 为液体在油管中流速, m/s ; H 为油管长度, m ; D_2 为油管内径, m ; g 为重力加速度, m/s^2 。

1.2 各阶段压力损失分析

流体流动阻力产生的原因主要是流体本身的惯性和黏性。各阶段的压力损失主要受管径、流体、地层物性三个方面的影响。

(1)水平管线的压力损失 Δp_1 。注水从配水间到井口之间的流动属于水平管流,该部分为单相水流,压力损失主要是沿程阻力摩擦损失。在长庆区域地势多山,也有因为配水间与井口地势不同而产生的压力降。该段的压力降可由配水间的压力表与井口压力表差值计算得到。

(2)井口密封装置不严的压力损失 Δp_2 。可以通过良好的高压井口和防喷管线连接来减小和控制。

(3)垂直管流摩擦和静液柱压力释放 Δp_3 。注入水从井口通过油管到达油管头属垂直管流。能量损失包括沿程压力损失和静液柱压力损失。由于水是单相垂直管流,而水的流体性质随压力、温度变化不大,主要受重力、摩擦阻力影响。

(4)由于环空特殊结构,环空流摩擦和静液柱势能转化损失 Δp_4 是一个不好计算的变量。在上返和下落两种情况下(图1、图2), Δp_4 的计算过程是不同的。在上返过程中,由于层位压差和高度不同而损失的能量 Δp_4 要大于下落的情况。无论哪种情况, Δp_4 的计算与油管头到最上(或最下)吸水层的距离 L_n 都是密切相关的。 L_n 越大会导致 Δp_4 越大,考虑到同位素密度略大于注水密度,所以要使同位素及时合理的到达吸水层,根据 L_n 的大小,合理估计 Δp_4 , 是恰当选择同位素释放深度的重要依据。通过现场施工情况看,一般 L_n 在10 m内,选择在射孔段以上50 m处释放同位素较为合理。

1.3 吸水层位的渗流分析

流体在井眼附近流动时一般呈平面径向流动形式^[15]。流线是一组由点源发散出来的直线。由达西定律和压力扩散方程,经积分推导,可得

$$Q_n = \frac{2\pi K_n h_n \Delta p_n}{\mu_w \ln(r_e/r_w)} = \frac{2\pi K_n h_n (p_d - p_n)}{\mu_w \ln(r_e/r_w)} \quad (2)$$

式中: Q_n 为第 n 层注水量, m^3/d ; K_n 为第 n 层水相渗透率, μm^2 ; h_n 为第 n 层有效厚度, m ; Δp_n 为井底到注水层压差, MPa ; p_d 为井底流压, MPa ; p_n 为第 n 层流压, MPa ; μ_w 为水相黏度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; r_e 为注水波及半径, m ; r_w 为注水井筒半径, m 。

式(2)说明,注水量 Q_n 与注水层的压差 Δp_n 呈线性正比关系。当改变注水井的总注水量时,各注水层的注水量也随之变化,对应井底到各注水层的压力也相应变化。注水层的压差 Δp_n 是提高低渗透层注入量的一个关键因素。注水进入低渗层需要启动压力,只有在 Δp_n 大于 Δp_i 的情况下,可以提高

部分低注入量层段的进水量,从而提高吸水剖面测井资料的质量。但是, Δp_n 必须控制在一定的范围内,不然可能造成区域内微裂缝的开启,引起周围油井的暴性水淹,水驱效率降低。

经过上述分析可看出,在吸水剖面测试过程中,注水层的压差 Δp_n 是一个敏感参数。注水层的压差 Δp_n 大,容易使地层冲刷形成大孔道,同位素会迅速进层,有时甚至会“丢失”,造成测量失真;注水层的压差 Δp_n 小,同位素难以进入地层。上述两种情况都会造成采集到的资料与实际注水情况不符,也会导致油田水驱效果降低。注水调节产生的压差刚好能将同位素带入到储层位置,并且将储层的破坏减到最小范围,是成功测井与储层保护的关键。

2 现场测井过程影响因素分析

针对长庆区域注水开发特点,分别从注水量调节、大孔道地层特点两方面对吸水剖面测井资料采集影响进行分析。

2.1 注水量对于资料采集的影响

图3为同位素释放后,同位素随水流在油套环空上返的过程。同位素释放时最大浓度为8 000 API,释放一段时间后,追踪曲线已趋于稳定。黄色矩形区域(1 418.0~1 422.0 m)是主力吸水层位。由图可以清楚的看到,由于水动力不足,同位素约5 000~6 000 API剂量未上返到吸水层位,大量同位素快速堆积以致下沉,本次测井作业未能测量出正确反映地层吸水状况的示踪曲线。

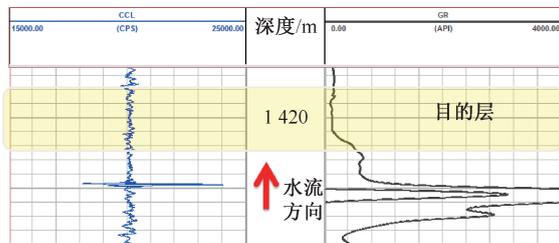


图3 注水量不足对于同位素运移的影响图
Fig.3 Effect of insufficient water injection on isotope migration

图4为同位素释放后,同位素随水流在套管内下落的过程。黄色矩形区域是主力吸水层位(1 260.0~1 264.0 m)。图中显示,水动力强、水流速度过大将同位素携带过了吸水层,未在目的层段产生同位素堆积,而在吸水层下方有明显的GR正异常(区域内GR本底约80 API左右),造成该部位吸水假象,致使采集到的示踪曲线不能真实反映吸水层段的吸水状况。

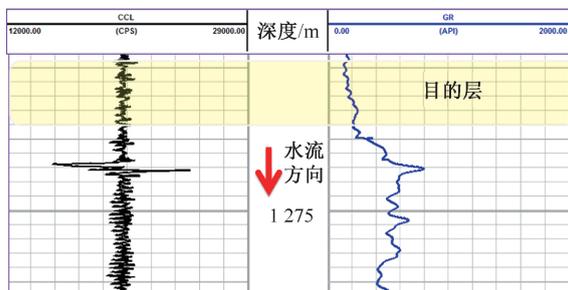


图4 注水量偏大对于同位素运移的影响图

Fig.4 Influence of large water injection on isotope migration

由上面的两个例子分析得出,在同位素运移过程中,注水量的大小对于同位素能否“准确、及时”进层至关重要。在同位素上返过程中,注水量的不足可能导致同位素载体颗粒的快速沉降,没有足够动力维持其到达层位;同位素下落过程中,注水量的偏大可能导致同位素还未来得及充分进层,而随水流下落。两种情况都会采集到失真、不合格的原形曲线。

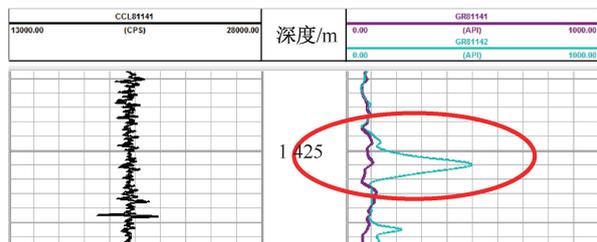
2.2 大孔道地层对于资料采集的影响

下面以某井为例,对大孔道地层情况下的吸水剖面测试存在的问题进行分析。该井射孔段在1425.0~1432.0 m、1434.0~1436.0 m,该井油管头下至射孔段以下为上返的正注笼统注水井。选用的同位素为,粒径为100~300 μm。图5是对吸水层段同位素吸入情况的追踪测量。

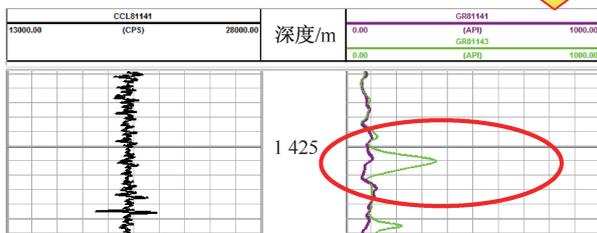
图5a为同位素上返到目的层后,目的层的吸水状态。可以看出,1425.0~1427.0 m处(红色椭圆)有个明显的尖峰,同位素最大显示为500 API;10 min后,测量该处最大为340 API(图5b),该层段吸水现象明显;20 min后,该尖峰最大值继续下降,最大值为220 API左右;40 min后吸水尖峰指示不再明显。经现场测试发现,该区域吸水层上段吸水性较强,经过长期的注水易形成大孔道,在测试过程中同位素微球颗粒在较短时间内进入了地层深处,超出仪器的探测范围,致使同位素曲线不能反映地层真实的吸水状况。本次测井作业可以采取前两次的同位素示踪曲线作为吸水曲线来进行解释。针对上述地层的测井情况,吸水曲线的选取均对现场采集人员及解释人员提出了更高要求。

通过大量现场测井施工统计,侏罗系延安组地层与三叠系延长组地层开发特点不同,应针对不同地层开展不同粒径同位素选取实验,在现场测试前

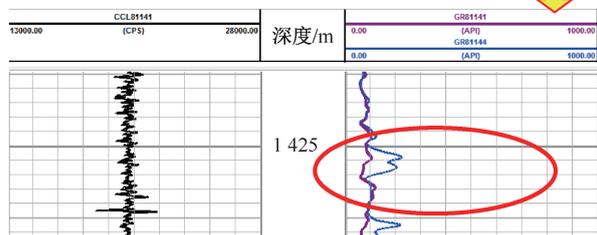
根据测井任务选取合适粒径同位素进行测井,可以有效提高测试成功率。



a. 同位素刚到目的层段时吸入状况



b. 同位素在目的层段10 min内吸入状况



c. 同位素在目的层段20 min内吸入状况



d. 同位素在目的层段40 min内吸入状况

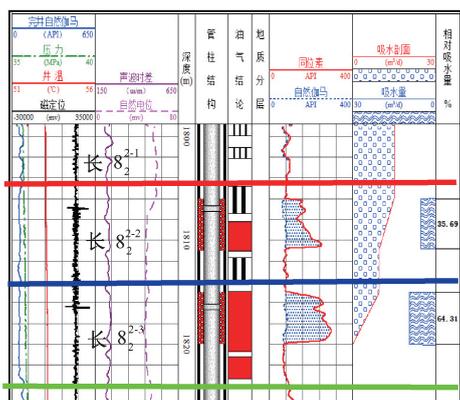
图5 同位素进入地层过程追踪图

Fig.5 Tracking map of isotope entered into formation

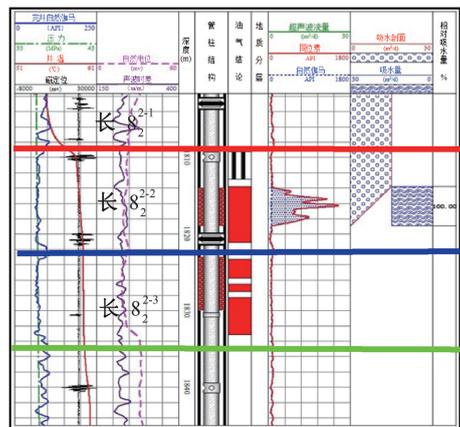
3 解释成果应用分析

吸水剖面测井处理解释的目的是确定分层吸水量。解释前,要了解本次施工的目的、注水井的人工井底、射孔深度、注水管柱结构、封隔器位置、偏心配水器位置、喇叭口深度等资料。吸水剖面测井解释成果图主要用于解决以下地质问题^[16]:(1)各注水层的自然吸水情况,分层配注后各小层的吸水情况,揭示各吸水层之间的矛盾;(2)同一注水层不同注水部位的注水情况;(3)吸水情况还能反映井筒外固井水泥环窜槽的情况;(4)与产出剖面对比进行综合分析井间区域开采状况^[17-18]。

图6为长庆油田某区域内相近两口注水井的吸水剖面测井解释成果图。两井主注水层位均为长 8_2 层。该层平均孔隙度11.23%,平均渗透率0.70 mD,属于典型的低渗透地层。为清晰了解各小层的吸水状况,分析注采关系,开展了吸水剖面测井。两井在测井过程中,日注水量均为 15 m^3 ,注水油管压力为19 MPa,同位素类型为Ba131,同位素粒径为 $100\sim 300\text{ }\mu\text{m}$ 。



a. 均匀吸水情况



b. 不均匀吸水情况

图6 吸水剖面解释成果图比较

Fig.6 Comparisons of interpretation results of water injection profile

图6a井的射孔段为 $1\ 806.0\sim 1\ 811.0\text{ m}$ 和 $1\ 815.0\sim 1\ 820.0\text{ m}$,主吸水层位为 $1\ 815.00\sim 1\ 820.03\text{ m}$ 和 $1\ 806.00\sim 1\ 810.83\text{ m}$,相对注入量为64.31%和35.69%。结合地质小层分析,长 8_2^{2-2} 、长 8_2^{2-3} 小层吸水均匀,注水驱替效果较好,无需调整措施。图6b井的射孔段为 $1\ 814.0\sim 1\ 819.0\text{ m}$ 和 $1\ 823.0\sim 1\ 830.0\text{ m}$,主吸水层位为 $1\ 813.78\sim 1\ 818.94\text{ m}$,相对注入量为100%。结合地质小层分析,长 8_2^{2-2} 小层注水突进现象明显,长 8_2^{2-3} 小层不吸水,层间矛盾大,注水驱替效果差,注水利用率低,急需开展调剖作业,改善层间矛盾,避免恶性循

环开发导致长 8_2^{2-2} 小层过早水淹。

4 结论

(1)在吸水剖面测井过程中,注水层的压差 Δp_n 是一个敏感参数, Δp_n 大容易使地层冲刷形成大孔道。在同位素上返阶段,注水量应适当加大,使其有足够动力携带同位素载体颗粒到达吸水层位;在同位素下落阶段,注水量应适当减小,使同位素载体颗粒均匀充分到达吸水层位。

(2)针对长庆区域大孔道地层,吸水剖面测井前应开展不同粒径同位素选取实验,根据孔道及微裂缝渗透率大小选取适当粒径同位素可以有效提高测试成功率。此类情况可以选取前几次先测的同位素示踪曲线作为吸水曲线来进行测井解释,消除同位素进层“不吸水”的假象。

(3)吸水剖面测井解释成果图可以直观反映各小层吸水状况,揭示层间、层内矛盾,评价水驱效果,为注水开发油田后期治理措施提供依据。针对长庆油田低渗透裂缝发育的储层,开发应实行温和注水政策,尽量减少对储层的二次破坏。对于敏感性油藏应加强动态监测,及时查找开发问题,为精确治理提供科学依据。

致谢:感谢中国石油集团测井有限公司生产测井中心同意本文公开发表;感谢郑小敏高工在项目支持、论文修改、测井解释方面做出的帮助与贡献。

参考文献

- [1] 汤宏平,段银鹿,李高仁,等.注水调节在低渗透储层吸水剖面测井中的适应性研究[J].国外测井技术,2011,31(4):53-56.
TANG Hongping, DUAN Yinlu, LI Gaoren, et al. Flexibility research of water injection regulation in water injection profile logging of low permeability reservoirs [J]. World Well Logging Technology, 2011,31(4):53-56.
- [2] 戴家才,郭海敏,彭燕明,等.注水剖面测井确定分层吸水指数方法研究[J].测井技术,2006,30(4):354-356.
DAI Jiakai, GUO Haimin, PENG Yanming, et al. On method for determining injectivity index of each zone by water injection profile logging [J]. Well Logging Technology, 2006,30(4):354-356.
- [3] 张小龙,杨志兴.启动压力梯度对低渗气藏不稳定渗流特征的影响[J].油气井测试,2018,27(3):7-13.
ZHANG Xiaolong, YANG Zhixing. Impacts of start-up pressure gradient on features of transient seepage flow in low-permeability gas reservoirs [J]. Well Testing, 2018,27(3):7-13.
- [4] 夏竹君,赵军霞,张丽萍,等.注水井吸水剖面测井技术在

- 长庆油田的应用[J].国外测井技术,2005,20(1):28-31.
- XIA Zhujun, ZHAO Junxia, ZHANG Liping, et al. Application of water injection profile logging technology in Changqing Oilfield [J]. World Well Logging Technology, 2005, 20(1):28-31.
- [5] 徐海霞,陈小凯,吕孝明,等. 动态监测技术在超深油藏调剖调驱中的应用[J]. 油气井测试, 2017, 26(6): 37-40.
- XU Haixia, CHEN Xiaokai, LYU Xiaoming, et al. Application of dynamic monitoring technology in the deep profile control process of extra-deep heavy oil reservoir [J]. Well Testing, 2017, 26(6): 37-40.
- [6] 李桂军,刘慧,闪俊梅,等. 五参数吸水剖面测井资料解释方法分析与研究[J]. 石油仪器, 2006, 20(4): 57-59.
- LI Guijun, LIU Hui, SHAN Junmei, et al. Analysis and research on interpretation method of logging data in five-parameter water absorption profile [J]. Petroleum Instruments, 2006, 20(4): 57-59.
- [7] 缪立南,邸士莹. 利用测试资料评价压裂措施效果[J]. 油气井测试, 2017, 26(4): 33-35.
- MIAO Linan, DI Shiyang. Using the data of test to evaluate fracturing effect measures [J]. Well Testing, 2017, 26(4): 33-35.
- [8] 侯连华,王京红,信荃麟,等. 吸水剖面测井资料在油田开发中的应用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1997, 21(2): 18-24.
- HOU Lianhua, WANG Jinghong, XIN Quanlin, et al. Application of water injection profile data to oilfield development [J]. Journal of The University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 1997, 21(2): 18-24.
- [9] 于洪文. 注采剖面测井资料在油田开发中的应用[J]. 测井技术, 1994, 18(4): 265-269.
- YU Hongwen. Application of injection production profile data to the oilfield development [J]. Well Logging Technology, 1994, 18(4): 265-269.
- [10] 孙玉环,周玉莲. 注水剖面多参数测井资料的应用分析[J]. 测井技术, 2002, 26(5): 414-416.
- SUN Yuhuan, ZHOU Yulian. Application and analysis of injection profile multi-parameter log data [J]. Well Logging Technology, 2002, 26(5): 414-416.
- [11] 董晓芳. 基于数值试井的聚驱前缘与大通道识别应用案例分析[J]. 油气井测试, 2018, 27(3): 66-71.
- DONG Xiaofang. Case study for identification of polymer flooding front and large channel based on numerical well testing [J]. Well Testing, 2018, 27(3): 66-71.
- [12] 郑小敏,刘东明,李震. 基于测井资料的Y油田B9断块剩余油分布规律分析[J]. 测井技术, 2017, 41(1): 92-97.
- ZHENG Xiaomin, LIU Dongming, LI Zhen. Remaining oil distribution law analysis of block B9 in oilfield Changqing based on log information [J]. Well Logging Technology, 2017, 41(1): 92-97.
- [13] 李宁,郑小敏,刘东明,等. 井震结合综合评价低渗透裂缝油藏水驱效果[J]. 测井技术, 2017, 41(6): 718-722.
- LI Ning, ZHENG Xiaomin, LIU Dongming, et al. Well seismic comprehensive assessment water injection effect for X well group [J]. Well Logging Technology, 2017, 41(6): 718-722.
- [14] 张芳,王新海. 低渗透油藏水驱开发效果综合评价方法[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2012, 14(5): 34-36.
- ZHANG Fang, WANG Xinhai. Comprehensive estimate method of water flooding effect in low-permeability reservoir [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2012, 14(5): 34-36.
- [15] 张利军,郑伟,王帅,等. 厚层强非均质油藏部分射开试井曲线特征及影响因素[J]. 油气井测试, 2018, 27(4): 1-6.
- ZHANG Lijun, ZHENG Wei, WANG Shuai, et al. Characteristics of well testing curves and influencing factors for thick and strong heterogeneous reservoirs with partial perforation [J]. Well Testing, 2018, 27(4): 1-6.
- [16] 王惠. 注入剖面测井资料在油田生产中的应用[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2014, 11(14): 33-36.
- WANG Hui. Application of injection profile logging data in oilfield production [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2014, 11(14): 33-36.
- [17] 郝英芝,蒋凯军,郭权. 利用生产资料分析水平井流动阶段[J]. 油气井测试, 2017, 26(4): 30-32.
- HAO Yingzhi, JIANG Kaijun, GUO Quan. Using production data to analyze flow stage of horizontal well [J]. Well Testing, 2017, 26(4): 30-32.
- [18] 张利军,刘新光,梁斌. 精细试井解释识别储层非均质性特征[J]. 油气井测试, 2017, 26(1): 27-29.
- ZHANG Lijun, LIU Xinguang, LIANG Bin. Detailed well testing interpretation to discern heterogeneous characterization of reservoir [J]. Well Testing, 2017, 26(1): 27-29.

编辑 王 军

第一作者简介: 李宁, 男, 1987年出生, 硕士, 工程师, 2013年毕业于中国石油大学(华东)地球探测与信息技术专业, 长期从事油气田开发动态分析、生产测井资料采集解释等方面工作。电话: 029-86024919, 15332365156; Email: lin010secj@cnpc.com.cn。通信地址: 陕西省西安市高陵区泾河工业园长庆西路方园大厦, 邮政编码: 710200。