

L油田古近系油藏含水率计算方法及其应用

张伟¹, 冯进¹, 胡文亮², 夏瑜²

(1. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东广州 510240; 2. 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335)

摘要:珠江口盆地L油田古近系油藏储层非均质性强、油水关系复杂,常规流体性质识别方法难以满足测井评价需求。利用多相共渗分流量原理定量计算储层的含水率,判断储层的产液性质;在含油饱和度下限研究中引入含水率,并结合油层含水率的上限标准,利用解析法得到含水率、孔隙度与含油饱和度的关系,确定不同类型储层对应的含油饱和度下限。在L油田含水率定量识别储层流体性质的应用中,定量计算结果与测试、生产结果相符;确定了L油田Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类储层对应的含油饱和度下限分别为59%、48%和35%;同时,拟合得到含油饱和度和下限与孔隙度之间的关系式,Ⅲ类储层对应的含油饱和度下限为35%。应用结果表明,根据含水率能够定量判断储层的产液性质;不同类型储层含油饱和度下限与孔隙度呈指数函数递增关系,可定量确定不同类型储层含油饱和度下限。

关键词:测井;含水率;相对渗透率;流体性质识别;含油饱和度

中图分类号:TE32⁺7 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2016)01-0105-06

Calculation Method and Application for Water Content of Paleogene Reservoirs in L Oilfield

ZHANG Wei¹, FENG Jin¹, HU Wenliang², XIA Yu²

(1. Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Shenzhen, 510240, China; 2. Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai, 200335, China)

Abstract: Paleogene reservoirs in the L Oilfield have strong heterogeneity and complex oil and water layers, so the conventional techniques for identification of fluid properties can hardly meet the demands of logging evaluation. By using the multiphase permeability flow distribution theory, the water contents of reservoirs can be calculated quantitatively to determine properties of produced fluids accurately. The water content was applied to study the lower limit of oil saturation, combined with upper limit of water content in oil reservoirs, the relationship among water contents, porosity and oil saturation can be determined by using analytical method to obtain the lower limit of oil saturations in different types of reservoirs. The quantitative calculating results for identifying reservoir fluid properties in the L Oilfield have coincidence rates above 90% with that of testing and actual production. The lower limits of oil saturation were determined as follows: 59% for class one reservoir, 48% for class two reservoir, and 35% for class three reservoir. In addition, the functional equation of oil saturation lower limit and porosity has been obtained by fitting method, the lower limit of oil saturation was 35% corresponding to the class three reservoir. The application result showed that water content could be used to quantitatively determine the properties of the produced fluids. The lower limit of oil saturation increased at an exponential function with porosity in different types of reservoirs, which could be quantitatively determine the lower limit of oil saturation in different types of reservoirs.

Key words: well logging; water cut; relative permeability; fluid property identification; oil saturation

珠江口盆地东部L油田新近系油藏的储层为中浅层中高渗砂岩储层,对于该类储层经过多年研究和实践,已建立了比较成熟的测井评价体系。但随着勘探开发的不断深入,L油田陆续发现了一些埋藏深度普遍超过3 000 m的古近系油藏,油藏埋

收稿日期:2015-06-24;**改回日期:**2015-12-16。

作者简介:张伟(1973—),男,四川成都人,1995年毕业于西南石油学院石油工程专业,2008年获英国赫里欧·瓦特大学石油工程专业硕士学位,高级工程师,主要从事油气田开发和开采方面的研究工作。E-mail:zhangwei1@cnooc.com.cn。

藏深且跨度大,成岩演化复杂,岩性、物性变化明显,纵横向非均质性较强,油水关系复杂^[1-7]。与新近系中浅层油藏相比,古近系油藏储层的四性关系、毛细管压力曲线特征、流体性质和有效厚度下限等要复杂得多,应用常规交会图法和含水饱和度一个参数很难确定储层的产液性质以及含油饱和度下限标准,给测井评价以及储层有效厚度计算带来了很大困难。

储层含水率(以下简称含水率)是描述储层产液性质的最直接参数,根据常规测井资料定量计算含水率,可以准确判断储层的产液性质^[8]。笔者利用测井资料计算含水率,并应用于L油田古近系油藏,取得了很好的流体性质识别以及评价应用效果;在交会图法研究含油饱和度下限的基础上引入含水率这一参数,利用解析法建立含油饱和度下限与孔隙度的函数关系,提出了利用含水率来确定储层含油饱和度下限的方法,与常规交会图法相比,可定量确定不同类型储层的含油饱和度下限。

1 含水率计算方法

当储层仅含有油、水两相流体时,可利用多相共渗分流量原理建立油、水两相储层含水率计算模型,其关系式为^[9]:

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{K_{ro}\mu_w}{K_{rw}\mu_o}} \quad (1)$$

式中: f_w 为含水率; K_{ro} 为油相相对渗透率; K_{rw} 为水相相对渗透率; μ_o 为地层条件下油的黏度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$; μ_w 为地层条件下水的黏度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 。

由式(1)可知,计算含水率的关键在于求取准确的油水相对渗透率及地层条件下的水油黏度比。

1.1 油水相对渗透率计算模型

油水相对渗透率是判断储层产液性质最直接的参数,也是求取含水率的必要参数^[8]。目前,确定油水相对渗透率模型的常用方法有室内岩心试验分析法、经验公式法和油田开发数据估算法等3种方法,其中岩心试验分析法精度最高^[10]。试验研究表明,油水相对渗透率与岩石及孔隙流体特性有关,与含水饱和度及束缚水饱和度关系密切,通常具有函数关系^[11-14]。

L-10a井23块岩心样品的油水相对渗透率试验结果如图1所示,对图1中的数据进行多元非线性回归,得到油水相对渗透率与含水饱和度的关系式为:

$$\begin{cases} K_{rw} = 0.29 \left(\frac{S_w - S_{wi}}{1 - S_{wi}} \right)^{1.314} & R^2 = 0.862 \\ K_{ro} = \left(1 - \frac{S_w - S_{wi}}{1 - S_{wi}} \right)^{10.784 - 6.744 S_w} & R^2 = 0.977 \end{cases} \quad (2)$$

式中: S_w 为含水饱和度; S_{wi} 为束缚水饱和度。

分析式(2)可知,计算油水相对渗透率的关键在于准确求取束缚水饱和度和含水饱和度。

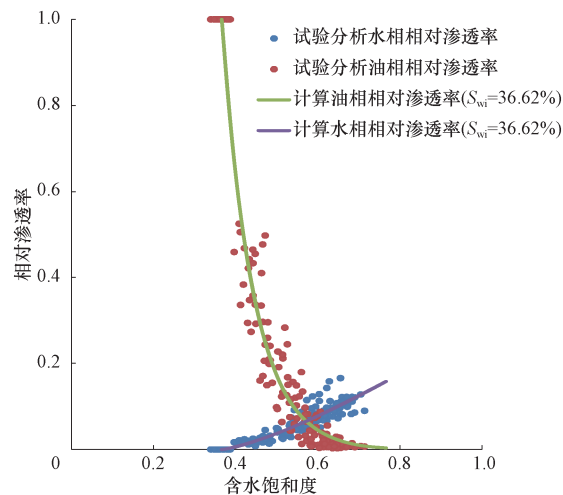


图1 L-10a井岩心油水相对渗透率与含水饱和度关系曲线
Fig. 1 Correlation between oil-water relative permeability and water saturation of core in Well L-10a

1.1.1 束缚水饱和度计算模型

束缚水是指滞留于微小毛细管及孔壁表面而不能流出的地层水,主要取决于岩石的润湿性及孔隙毛细管力的大小。束缚水分为毛细管束缚水和薄膜束缚水两部分^[12],束缚水饱和度受泥质含量、孔隙度、渗透率、分选系数、粒度、孔喉结构和油气柱高度等因素的共同影响。

毛细管压力试验是求取束缚水饱和度的最有效方法之一。岩心试验数据分析表明,束缚水饱和度与 $\frac{K}{\phi}$ 有较好的相关性。利用L-10a井岩心进行毛细管压力试验,结果如图2所示;根据试验结果建立的束缚水饱和度与 $\frac{K}{\phi}$ 的关系式为:

$$S_{wi} = \frac{66.27}{\left(\sqrt{\frac{K}{\phi}} \right)^{0.331}} \quad (3)$$

式中: K 为渗透率, mD ; ϕ 为孔隙度。

利用L-10a井岩心孔隙度、渗透率试验数据建立L-10a井储层渗透率计算模型,其关系式为:

$$K = 0.0028 e^{0.6276\phi} \quad (4)$$

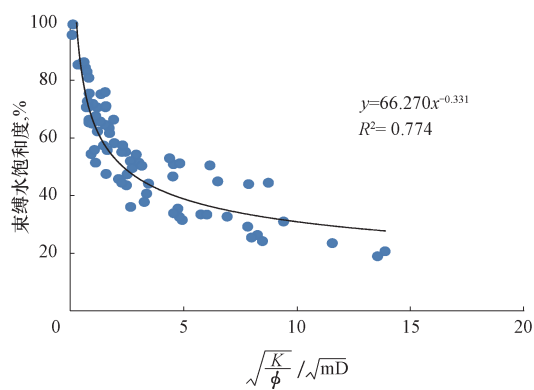


图 2 L-10a 井岩心束缚水饱和度与 $\sqrt{\frac{K}{\phi}}$ 的关系曲线

Fig. 2 Correlation between irreducible water saturation and $\frac{K}{\phi}$ of core in Well L-10a

1.1.2 含水饱和度计算模型

利用高温高压条件下的岩电参数(模拟实际储层条件测得),采用印度尼西亚模型计算含水饱和度^[15],并利用非电法饱和度计算模型(J 函数模型)^[16]和双水模型^[17]对其进行验证。印度尼西亚计算公式为:

$$S_w = \frac{b}{\sqrt{\left(\frac{V_{sh}^c}{\sqrt{R_{sh}}} + \frac{\phi^{0.5m}}{\sqrt{aR_w}}\right)^2 R_t}} \quad (5)$$

其中 $c = 1 - 0.5V_{sh}$ (6)

式中: a, b, m, n 为岩电参数; R_{sh} 为泥岩电阻率, $\Omega \cdot m$; R_t 为地层电阻率, $\Omega \cdot m$; V_{sh} 为泥质含量。

1.2 水油黏度比

根据地层条件下原油分析资料获取油相黏度,

查询水黏度图版^[9]获取水黏度。由原油试验分析报告可知,L 油田地层温度 115 ℃,地下原油平均黏度约为 3.71 mPa · s,对应地层温度下水的平均黏度约为 0.26 mPa · s,可得地层条件下水油黏度比为 0.07。

2 含水率定量识别储层流体性质

L 油田油水关系复杂,很难用含水饱和度一个参数确定储层的产液性质。基于上文中油水相对渗透率和水油黏度比计算公式,利用式(1)计算含水率并结合含水率定量识别流体性质标准来定量判断储层的产液性质^[15]。

2.1 储层流体性质定量识别标准

根据中国海洋石油有限公司 2006 年出版的《勘探监督手册(测井分册)》(修订版)可知,利用含水率定量判断储层产液性质的标准定义为 5 级:含水率小于或等于 5%为油层;含水率大于 5%且小于或等于 30%为含水油层;含水率大于 30%且小于或等于 70%为油水同层;含水率大于 70%且小于或等于 90%为含油水层;含水率大于 90%为水层。

2.2 含水率定量识别流体性质应用效果分析

图 3 和图 4 分别为基于上文方法计算得到的 L-10a 井和 L-14 井常规测井解释成果。图中,孔隙度利用三孔隙度曲线基于体积模型进行计算;利用计算的孔隙度采用式(4)计算渗透率;利用计算的孔隙度和渗透率采用式(3)计算束缚水饱和度;根据高

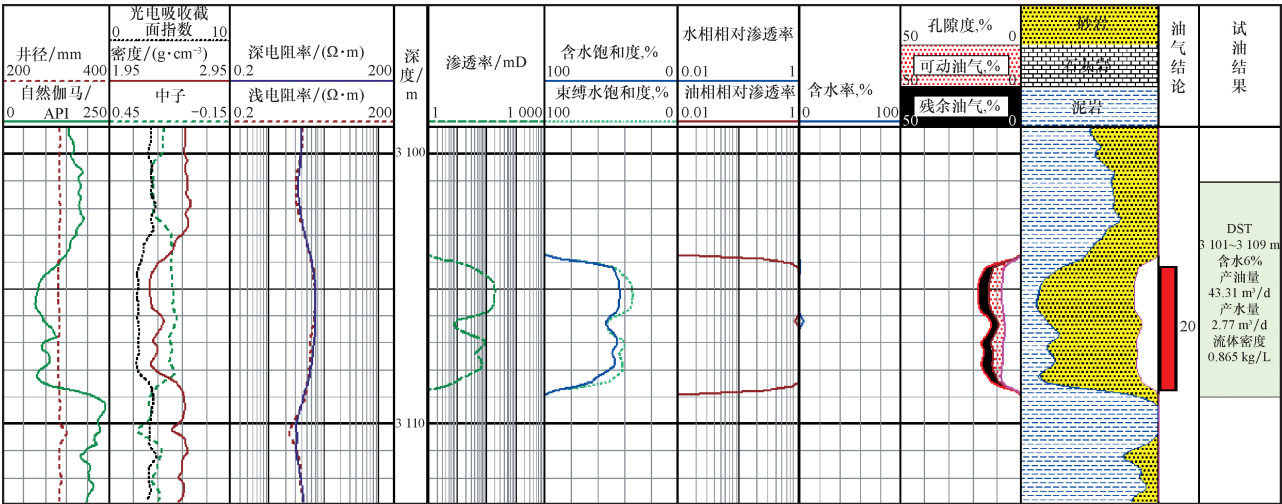


图 3 L-10a 井常规测井解释成果

Fig. 3 Conventional logging interpretation results of Well L-10a

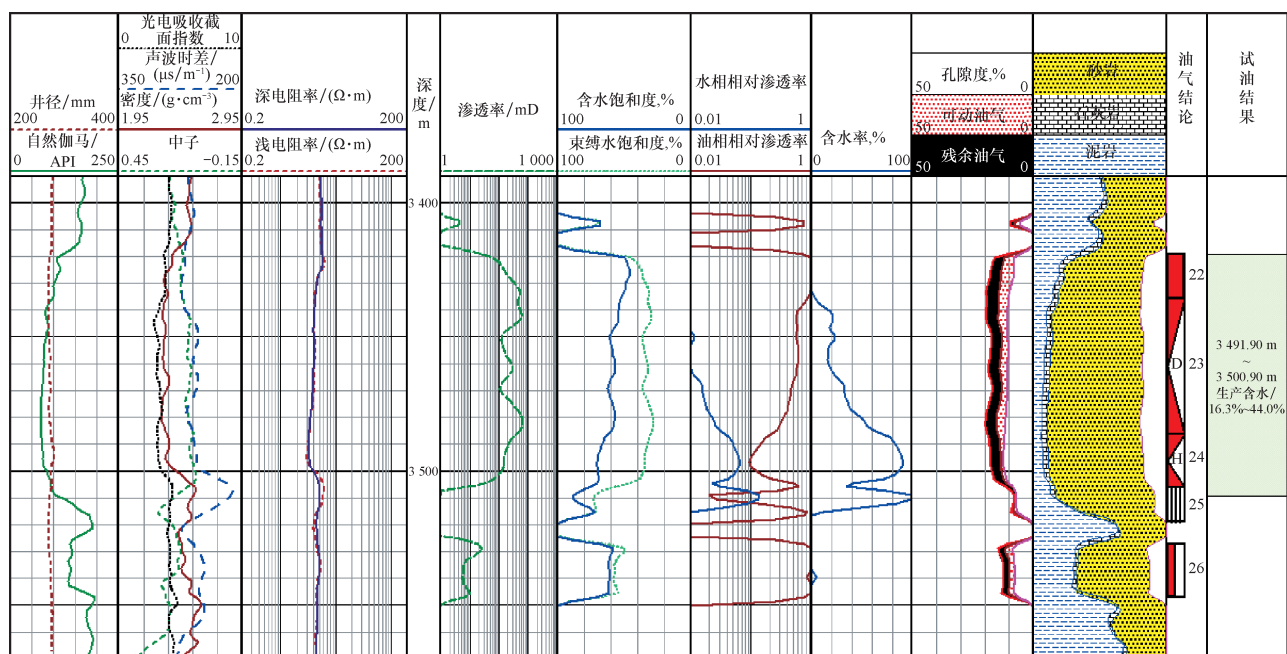


图4 L-14井常规测井解释成果

Fig. 4 Conventional logging interpretation results of Well L-14

温高压条件下的岩电参数采用式(5)计算含水饱和度;利用计算的含水饱和度和束缚水饱和度采用式(2)计算油水相对渗透率;利用计算的油水相对渗透率和油水黏度比采用式(1)计算含水率。

从图3可以看出,3 104.20~3 108.80 m井段测井计算的含水率约为0,结合含水率识别流体性质标准综合解释为油层。3 104.00~3 109.00 m井段气测录井有油气显示,总烃含量约为1.8%;3 101.00~3 109.00 m井段DST测试产油量43.31 m³/d,产水量2.77 m³/d,含水率6.0%,测试结果为油层。解释结论与测试结果相符。

从图4可以看出:22号层(3 491.90~3 493.60 m井段)测井计算的含水率约为1.08%,结合含水率识别流体性质标准综合解释为油层;23号层(3 493.60~3 498.60 m井段)测井计算的含水率约为28.92%,结合含水率识别流体性质标准综合解释为弱水淹层;24号层(3 498.60~3 500.60 m井段)测井计算的含水率约为76.91%,结合含水率识别流体性质标准综合解释为强水淹层;26号层(3 502.70~3 504.70 m井段)测井计算的含水率约为0.71%,该层孔隙度和渗透率略低于储层有效厚度下限,综合解释为差油层。3 492.00~3 505.00 m井段气测录井有油气显示,总烃含量约为2.0%;结合本区生产开发资料得知,该储层已开发,经证实为水淹层;3 491.9~3 500.90 m井段产出液含水率由16.3%上升至44.0%。解释结论与生产结果相符,

说明根据测井计算的含水率能够定量判断储层的产液性质。

3 含水率在含油饱和度下限研究中的应用

含油饱和度下限是评价储层流体性质和含油性的重要指标,是储量计算和开发方案编制的重要参数之一^[18]。研究表明,不同类型储层的油层含油饱和度和下限有明显差异。优质储层的物性较好,孔隙储集空间与喉道半径较大,在油气藏形成过程中,储集空间更容易填充储集油气,形成高含烃饱和度、低束缚水饱和度的油气层,储层含油饱和度下限值高;反之,劣质储层的物性较差,孔隙储集空间与喉道半径较小,孔隙结构复杂,油气充填需要较大的驱替压力,易形成低含烃饱和度、高束缚水饱和度的油气层,储层含油饱和度下限值较低。

目前,主要采用半定量的交会图法评价含油饱和度和下限^[19-22]。研究认为,该方法受测井解释结果和测试取样点资料的限制,且不能针对不同类型储层研究对应的含油饱和度下限,受人为因素的影响较大。因此,在含油饱和度下限研究中引入含水率,提出利用含水率确定储层含油饱和度下限的方法,针对不同类型储层定量研究油层含油饱和度下限。

孔隙度基本能够直接反映储层物性的好坏,利用L油田所有储层测井解释的孔隙度绘制孔隙度

频率分布直方图(见图5)。从图5可以看出,孔隙度分布明显符合正态分布规律,据此可将L油田储层分为3类,其中Ⅰ类、Ⅲ类储层各占25%,Ⅱ类占50%(可根据地区特点调整分类标准),Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类储层对应的测井解释平均孔隙度分别为20.3%,17.2%和14.4%。

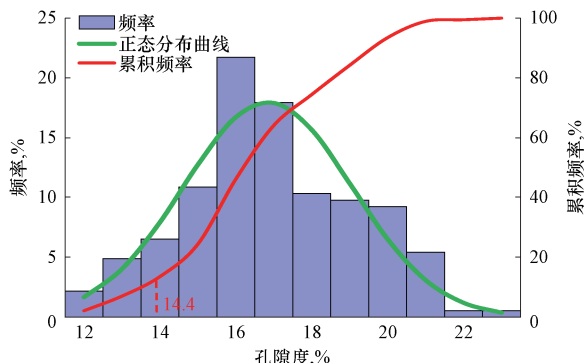


图5 L油田测井解释孔隙度分布直方图

Fig. 5 Histogram of logging interpretation porosity in the L Oilfield

基于各类储层对应的平均孔隙度,根据式(1)~式(4)利用消元法解析得到各类储层含油饱和度与含水率的关系曲线(见图6)。已知油层(包括含水油层)对应的含水率上限为30%,由图6可知,L油田Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类储层对应的含油饱和度下限分别为59%,48%和35%,对应的含水饱和度上限分别为41%,52%和65%。

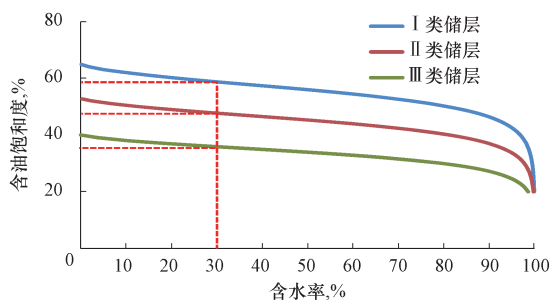


图6 L油田含油饱和度与含水率关系曲线

Fig. 6 The relationship between oil saturation and water content in the L Oilfield

当含水率为30%时,根据式(1)~式(4)利用消元法解析得到含油饱和度下限与孔隙度的关系曲线,见图7。

从图7可以看出,含油饱和度下限随孔隙度增大而增大,体现出优质储层含油饱和度下限值高的特点;当孔隙度为Ⅲ类储层平均孔隙度14.4%时,该类储层含油饱和度下限为35%,与图6中Ⅲ类储层含油饱和度下限一致,说明该方法计算的结果是

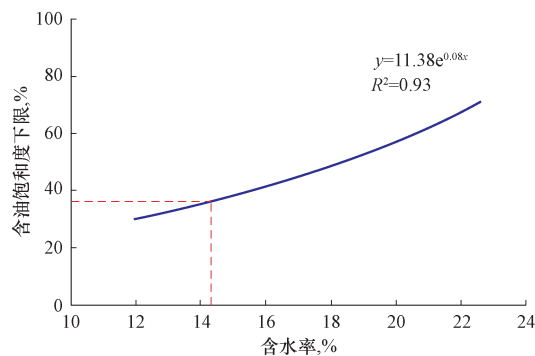


图7 L油田含油饱和度下限与孔隙度的关系曲线

Fig. 7 The relationship between lower limit of oil saturation and porosity in the L Oilfield

合理的。对于Ⅰ类和Ⅱ类储层,该含油饱和度下限偏低。若不考虑储层物性因素,含油饱和度下限可定为35%;若考虑储层物性因素,含油饱和度下限应基于图7中的孔隙度大小来确定,其关系式为:

$$S_{oc} = 11.38e^{0.08\phi} \quad (6)$$

式中: S_{oc} 为含油饱和度下限。

4 结 论

1) 依据测井计算的含水率可以定量识别储层的流体性质,其结果与DST测试结果、生产数据相符合,能够较好地定量判断储层的产液性质。

2) 在油层含油饱和度下限研究中引入含水率,利用解析法可得到含油饱和度与含水率的关系,结合油层(包括含水油层)含水率上限标准,可以确定油层对应的含油饱和度下限。

3) 利用解析法可得到含油饱和度下限与孔隙度的关系,依此可以确定不同孔隙度储层对应的含油饱和度下限。应用结果表明,不同类型储层的含油饱和度下限有明显差异,孔隙度越高,对应的含油饱和度下限越高,可根据孔隙度定量确定不同类型储层的含油饱和度下限。

参 考 文 献

References

- [1] 葛家旺,秦成岗,朱筱敏,等.惠州凹陷HZ25-7构造带文昌组低孔低渗砂岩储层特征和成因机理[J].岩性油气藏,2014,26(4):36-42.
GE Jiawang, QIN Chenggang, ZHU Xiaomin, et al. Characteristics and origin of low porosity and low permeability sandstone reservoir of Wenchang Formation in HZ25-7 Structural Belt of Huizhou Depression[J]. Lithologic Reservoirs, 2014, 26(4): 36-42.
- [2] 陈淑慧,张晓宇.惠州凹陷西江-惠州转换带文昌组储层特征及控制因素研究[J].岩性油气藏,2013,25(6):8-13.

- CHEN Shuhui, ZHANG Xiaoyu. Reservoir characteristics and controlling factors of Wenchang Formation in Xijiang-Huizhou Transform Zone, Huizhou Sag[J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 25(6): 8-13.
- [3] 施和生, 雷永昌, 吴梦霜, 等. 珠—坳陷深层砂岩储层孔隙演化研究[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 169-175.
- SHI Hesheng, LEI Yongchang, WU Mengshuang, et al. Research on the evolution of pores in deep sandstone reservoir in Zhu 1 Depression[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 169-175.
- [4] 龙更生, 施和生, 郑荣才, 等. 珠江口盆地惠州凹陷深部储层成岩作用与孔隙演化[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(4): 665-673.
- LONG Gengsheng, SHI Hesheng, ZHENG Rongcai, et al. Diagenesis and porosity evolution of deep reservoirs in Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 2011, 30(4): 665-673.
- [5] 龙更生, 施和生, 郑荣才, 等. 珠江口盆地惠州凹陷深部古近系储层特征及发育控制因素[J]. 海相油气地质, 2011, 16(3): 71-78.
- LONG Gengsheng, SHI Hesheng, ZHENG Rongcai, et al. Characteristics and development controlling factors of Paleogene deep reservoirs in Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2011, 16(3): 71-78.
- [6] 胡作维, 李云, 黄思静, 等. 砂岩储层中原生孔隙的破坏与保存机制研究进展[J]. 地球科学进展, 2012, 27(1): 14-25.
- HU Zuowei, LI Yun, HUANG Sijing, et al. Reviews of the destruction and preservation of primary porosity in the sandstone reservoirs[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(1): 14-25.
- [7] 鲁新川, 史基安, 葛冰, 等. 准噶尔盆地西北缘中拐—五八区二叠系上乌尔禾组砂砾岩储层特征[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(6): 54-59.
- LU Xinchuan, SHI Ji'an, GE Bing, et al. Characteristics of glutenite reservoir of Permian Upper Wuerhe Formation in Zhongguai-Wuba Area in the northwestern margin of Junggar Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(6): 54-59.
- [8] 高楚桥, 张超谟, 肖承文, 等. L油田含水率计算及水淹等级划分[J]. 测井技术, 2004, 28(1): 75-77.
- GAO Chuqiao, ZHANG Chaomo, XIAO Chengwen, et al. Watercut calculation and classification of waterflooded grades in L Oilfield[J]. Well Logging Technology, 2004, 28(1): 75-77.
- [9] 高楚桥. 复杂储层测井评价方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 134-140.
- GAO Chuqiao. Well logging evaluation of complex reservoirs[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 134-140.
- [10] 谢进庄, 吴锡令. 利用生产测井资料估算油水相对渗透率曲线[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 64-66.
- XIE Jinzhuang, WU Xiling. Estimation of oil water relative permeability curves from production logging data[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 64-66.
- [11] 桑丹, 姚约东, 周练武, 等. 利用压汞资料计算复杂断块油藏油水相对渗透率曲线[J]. 断块油气田, 2015, 22(5): 606-609.
- SANG Dan, YAO Yuedong, ZHOU Lianwu, et al. Determination of oil-water relative permeability curves by using mercury injection data for complex fault block reservoir[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2015, 22(5): 606-609.
- [12] 隋祥军, 金云智, 卫金平. 基于压汞和相渗实验确定束缚水饱和度[J]. 国外测井技术, 2009(1): 51-52.
- SUI Xiangjun, JIN Yunzhi, WEI Jinping. Determination of the bound water saturation based on the mercury penetration and phase permeability experiments[J]. World Well Logging Technology, 2009(1): 51-52.
- [13] 戚涛, 吕栋梁, 李标, 等. 四点井网含水率与采出程度关系的确定[J]. 断块油气田, 2014, 21(2): 208-212.
- QI Tao, LYU Dongliang, LI Biao, et al. Determination of relationship between water cut and recovery percent of four-spot pattern[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2014, 21(2): 208-212.
- [14] 马明学, 鞠斌山, 王书峰. 注水开发油藏润湿性变化及其对渗流的影响[J]. 石油勘探技术, 2013, 41(2): 82-86.
- MA Mingxue, JU Binshan, WANG Shufeng. Wettability change and its effect on flow in waterflooding reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(2): 82-86.
- [15] 胡文亮, 冯进, 高楚桥, 等. 利用测井资料计算的含水率识别恩平凹陷低阻油层[J]. 海洋石油, 2013, 33(3): 65-69.
- HU Wenliang, FENG Jin, GAO Chuqiao, et al. Identification of the low resistivity reservoirs by water cut calculated from well-logging data in Enping Sag[J]. Offshore Oil, 2013, 33(3): 65-69.
- [16] 管耀. 利用毛管压力资料求原始含油饱和度方法探讨: 以绥中36-1油田23井为例[J]. 勘探地球物理进展, 2009, 32(5): 365-369.
- GUAN Yao. Computing oil saturation using capillary pressure data case study of Well 23 in Suizhong 36-1 Oilfield[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2009, 32(5): 365-369.
- [17] 雍世和, 张超模. 测井数据处理与综合解释[M]. 东营: 石油大学出版社, 2002: 168-169.
- YONG Shihe, ZHANG Chaomo. Logging data processing and comprehensive interpretation[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2002: 168-169.
- [18] 李喜莲, 万永红, 吴美娥, 等. 多方法综合确定西峡沟区块含油饱和度下限研究[J]. 吐哈油气, 2010, 15(4): 333-334.
- LI Xilian, WAN Yonghong, WU Meie, et al. Determination of lower limit of oil saturation by a variety of ways in Block Xixiagou[J]. Tuha Oil & Gas, 2010, 15(4): 333-334.
- [19] 王洪亮, 王军, 杨英波, 等. 测井技术在X气田油藏描述中的应用[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(3): 76-81.
- WANG Hongliang, WANG Jun, YANG Yingbo, et al. Application of logging technology to reservoir description in X Gas-field[J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(3): 76-81.
- [20] 赵思远, 武富礼, 袁伟, 等. 鄂尔多斯盆地B区延长组长8储层四性关系及有效厚度下限研究[J]. 辽宁化工, 2014, 43(3): 321-323.
- ZHAO Siyuan, WU Fuli, YUAN Wei, et al. Research on four-property relationship and net pay cut-off thickness of Chang 8 Reservoir in Yanchang Formation of B Area, Ordos Basin[J]. Liaoning Chemical Industry, 2014, 43(3): 321-323.
- [21] 胡向阳, 吴洪深, 高华, 等. 珠江口盆地油气田测井区域储层参数研究[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(5): 16-20.
- HU Xiangyang, WU Hongshen, GAO Hua, et al. Study of reservoir parameters in logging area of oil and gas field in Pearl River Mouth Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(5): 16-20.
- [22] 方翔, 尚希涛, 王潇, 等. YD油田碳酸盐岩储层测井评价方法[J]. 石油勘探技术, 2015, 43(3): 29-34.
- FANG Xiang, SHANG Xitao, WANG Xiao, et al. The logging evaluation method of carbonate reservoir in the YD Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(3): 29-34.