

文章编号:0253-9985(2010)02-0232-08

砾岩油藏水淹层定量识别方法

——以新疆克拉玛依油田六中区克下组为例

谭锋奇^{1,2},李洪奇^{1,2},武鑫³,范小秦⁴,于红岩^{1,2}

(1. 中国石油大学 资源与信息学院,北京 102249;

2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249;

3. 中国石油天然气股份有限公司 新疆油田分公司 采油二厂 地质所,新疆 克拉玛依 834000;

4. 中国石油天然气股份有限公司 新疆油田分公司 石油勘探开发研究院,新疆 克拉玛依 834000)

摘要:新疆克拉玛依油田砾岩油藏经过40年的注水开发,目前已进入高含水开发阶段,准确识别水淹层、定量划分水淹级别已经成为老区油藏开发调整的重点和难点。以克拉玛依油田六中区克下组砾岩油藏为研究对象,利用2006年重点调整的3口密闭取心井的岩心资料,结合砾岩油藏的实际地质特点,分析了砾岩油藏各种储层参数的影响因素。选择符合砾岩油藏地质特征和开发规律的测井曲线,基于交会图和多元线性回归的方法,建立了六中区克下组物性、岩性、产水率以及水驱指数等各种解释模型,并从中提取出产水率、含油饱和度和水驱指数3个水淹特征参数。以3个参数为定量判断水淹级别的主要依据,结合水淹层电阻率的定性识别图版,制定了砾岩油藏水淹层定量识别的规则和方法。以上技术应用到六中区克下组实际的水淹层解释中,综合解释符合率为84.36%,达到了实际解释的精度,最终形成了一套砾岩油藏水淹层定量识别的评价技术,提高了水淹层的解释精度和符合率。

关键词:水淹特征参数;水驱指数;定量识别;水淹层;六中区克下组;砾岩油藏;克拉玛依油田

中图分类号:TE341

文献标识码:A

Quantitative identification of water-flooded zones in conglomerate reservoirs

—an example from the Kexia Formation in the Liuzhong block of Karamay oilfield

Tan Fengqi^{1,2}, Li Hongqi^{1,2}, Wu Xin³, Fan Xiaoqin⁴, and Yu Hongyan^{1,2}

(1. Faculty of Natural Resource and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Geological Offices of the No. 2 Oil Production Company, PetroChina Xinjiang Oilfield Company,

Karamay, Xinjiang 834000, China; 4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development,

PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: The conglomerate reservoirs in Karamay Oilfield have entered the development phase of high water-cut after forty years of waterflooding. An accurate identification of water-flooded zones as well as a quantitative classification of watering-out level is the key and difficult issue to be considered in the adjustment of development strategy in this maturing oilfield. This paper documents a study that takes the conglomerate reservoirs in the Kexia Formation of the Liuzhong block as an example. It analyzes factors that affect the reservoir parameters by using the pressure coring data of three wells that were the focus of development adjustment in 2006 and by combining

收稿日期:2009-04-20;修订日期:2010-02-26。

第一作者简介:谭锋奇(1984—),男,博士研究生,测井资料处理与解释。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2007CB209600)。

the actual geological characteristics of conglomerate reservoirs. It also selects logs that match well with the geological characteristics and production pattern of the conglomerate reservoirs. Models for the interpretation of physical properties, lithology, water production rate, and water drive index of the Kexia Formation are established based on methods like cross plotting and multivariate linear regression. Three parameters, namely the water production rate, the oil saturation, and the water drive index, are chosen to be the main factors for quantitative determination of watered-out level. Combining these factors with qualitative resistivity-identification chart for watered-out zones, the study offers rules and methods for qualitative identification of watered-out zones in this kind of reservoirs. The application of the method to the Kexia Formation yielded a coincidence rate of as high as 84.36%, well beyond the required accuracy. A set of technologies for quantitative identification of watered-out zones in conglomerate reservoirs is finally developed to improve the accuracy of watered-out zone identification.

Key words: water-flooded characteristic parameter, water drive index, quantitative identification, watered-out zone, Kexia Formation in the Liuzhong block, conglomerate reservoir, Karamay oilfield

新疆克拉玛依油田砾岩油藏目前已进入高含水开发阶段,原有的针对中、低含水期油藏特点建立起来的解释模型和方法已不再适用于高含水期测井资料的解释和评价^[1~5]。因此,要提高高含水期砾岩油藏水淹层测井的解释精度和符合率,就必须以最近几年的密闭取心井岩心资料为基础,重新建立一套适合高含水期砾岩油藏水淹层评价的解释模型,提供准确的孔隙度、渗透率和饱和度等地质参数,并提取能够准确反映砾岩油藏水淹级别的特征参数,结合水淹级别的电阻率识别图版,总结出砾岩油藏水淹层定量评价的方法,为高含水期砾岩油藏增储挖潜和控水稳油提供技术支持,为老区二次开发井网的调整和方案的编制提供地质依据。

1 区域概况

六中区克下组油藏位于克拉玛依白碱滩地区,在克拉玛依市以东约30 km处。该区四周被断裂切割成似三角形的封闭断块,北以白碱滩北断裂为界,南部以克-乌断裂为界,底部构造为断裂夹持的背斜形态,以J152隆起为顶点向四周倾伏,倾角3°左右。

六中区克下组储层属一套正旋回的山麓洪积扇沉积^[1],沉积厚度45~77 m,分别发育有扇顶的主槽、侧缘槽、槽滩、漫洪带,扇中的辫流线、辫流砂岛、漫流带,及扇缘的分支河道、心滩、湿地等。克下组分为 S_6 和 S_7 两个砂层组,进一步又可细分

为 $S_6^1, S_6^2, S_6^3, S_7^1, S_7^2, S_7^3, S_7^4$ 7个砂层。其中的 $S_7^4 - S_7^3$ 位于扇顶亚相, S_7^2 位于扇中亚相, S_7^1 和 S_6^3 位于扇缘及泛滥平原亚相。岩性从底部到顶部由砂、泥质不等粒砾岩到扇中的含砾不等粒砂岩,最后过渡到扇缘、泛滥平原的含砾、泥质细、粉砂岩。其中的砂砾岩比从 S_7^4 到 S_6^3 由89.4%下降到32.5%,泥质含量从油层中部 S_7^{3-1} 的5%向上至 S_6^3 、向下至 S_7^4 逐渐增加到20%,形成该套油层在中部孔隙度和渗透率高、向上和向下油层逐渐变差。克下组在纵向上表现为下部粒度粗,向上粒度变细。小层内部单砂体具有反韵律、正韵律、复合韵律等类型,正韵律层底部常发育规模不等的冲刷面,冲刷面上充填有冲刷下伏地层形成的泥砾,反映该区水道水流速度快,具有较强的冲刷能力。

2 储层参数模型的建立

2.1 岩性参数

2.1.1 泥质含量(V_{sh})

泥质含量是指砂砾岩骨架中粒径小于0.063 mm的细粉砂及粘土占岩石总体积的百分比^[6]。泥质含量反映了岩性信息,对推断沉积环境有着重要的作用。砂岩储层一般用自然伽马和自然电位曲线计算泥质含量,但是砾岩储层由于快速的沉积环境,沉积物没有经过长距离的搬运、磨圆和分选,岩屑和长石的含量都比较高。受长

石及岩屑中放射性矿物的影响,砾岩中大于泥质颗粒的沉积物放射性比较强,因此自然伽马曲线不能完全反映储层的泥质含量。在研究区,泥浆滤液矿化度比地层水矿化度稍微大点,两者相差不多,因此自然电位曲线起伏平缓,与泥质含量的相关性不好。所以,在砾岩储层中求取泥质含量时不采用自然伽马和自然电位曲线。

采用电阻率曲线计算储层泥质含量不仅要考虑曲线在纵向上的分辨能力,而且还要考虑油气对计算结果的影响^[7,8]。通过对六中区克下组砾岩油藏地质特点、储层孔隙结构、岩心数据以及水化验分析等资料的研究发现,研究区泥质含量的求取采用过渡带电阻率曲线(R_i)计算效果最好,主要有以下两个原因:一方面,冲洗带由于泥浆滤液的侵入冲刷,一部分泥质被冲走,利用其计算的泥质含量不能反映真实地层的情况;另一方面,原状地层电阻率虽然纵向分辨率强,电阻率曲线与原始地层的岩性、物性基本一致,但是由于受油气的影响,油层电阻率要远大于水层电阻率,若直接用深电阻率曲线求取泥质含量,油层泥质含量数值将比水层泥质含量数值小得多。过渡带电阻率曲线既考虑了纵向分辨率和油气的影响,又考虑了保持原始地层状态,在砾岩油藏的应用中取得了很好的效果。其计算公式为

$$V_{sh} = \frac{2^{GCUR \cdot SH} - 1}{2^{GCUR} - 1} \tag{1}$$

$$SH = \frac{SHLG - R_{i\min}}{R_{i\max} - R_{i\min}} \tag{2}$$

式中: V_{sh} 为泥质含量,小数; $SHLG$ 为测井值, $\Omega \cdot m$; $R_{i\min}$ 和 $R_{i\max}$ 分别为纯泥岩、纯砂砾岩的过渡带电阻率测井响应值, $\Omega \cdot m$; $GCUR$ 为区域经验系数,取 3.74。

2.1.2 砾岩含量(V_{gr})

砾岩含量是指砂砾岩骨架中粒径大于 2 mm 的颗粒占岩石总体积的百分比^[6]。砾岩含量也反映了岩性信息,特别是砾岩油藏中,砾岩含量直接影响储层的特性。砾岩含量是受多因素影响十分严重的参数之一。根据六中区克下组 3 口密闭取心井(J555,J556,J557)的岩心资料分析,得出砾岩含量的解释模型如下:

$$V_{gr} = 12.39M_d - 1.63V_{sh} + 35.12 \tag{3}$$

($R^2 = 0.89$)

式中: V_{gr} 为砾岩含量,%; V_{sh} 为泥质含量,%; M_d 为粒度中值,mm。

2.2 物性参数

2.2.1 孔隙度(ϕ)

对六中区密闭取心井的孔-渗、孔-饱资料的研究发现,克拉玛依砾岩油藏测井密度值与储层有效孔隙度之间有着很好的关系(图 1)。

建立六中区克下组砾岩油藏孔隙度解释模型如下:

$$\phi = -50.883\rho_b + 136.890 \tag{4}$$

($R^2 = 0.806$)

式中: ϕ 为储层有效孔隙度,%; ρ_b 为测井密度, g/cm^3 。

2.2.2 渗透率(K)

通过对六中区密闭取心井岩心样品孔-渗资料的研究,发现储层渗透率与有效孔隙度有很好的相关关系(图 2)。

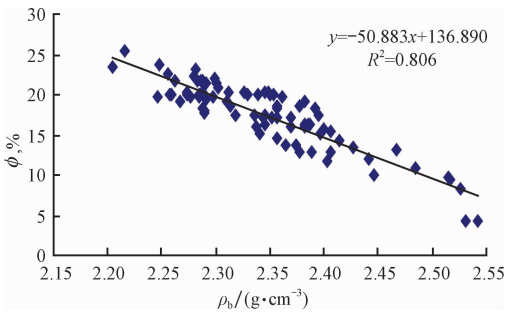


图 1 测井密度与岩心有效孔隙度交会图
Fig. 1 Crossplot of well log density and core effective porosity

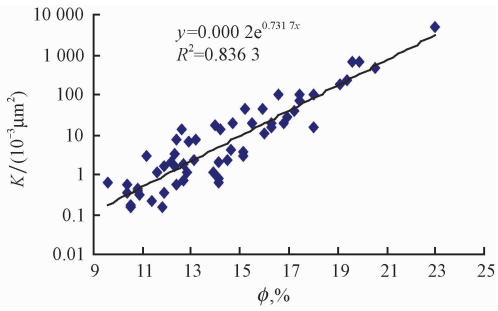


图 2 有效孔隙度与储层渗透率交会图
Fig. 2 Crossplot of effective porosity and reservoir permeability

建立砾岩油藏储层渗透率测井解释模型如下:

$$K = 0.000\ 2e^{0.731\ 7\phi}$$

$(R^2 = 0.836\ 3)$

(5)

式中: K 为储层渗透率, $10^{-3}\ \mu\text{m}^2$; ϕ 为储层有效孔隙度,%。

2.2.3 含油饱和度(S_o')

针对砾岩油藏非均质性严重的特点,对各种含油饱和度模型(Archie公式、校正 Archie 公式、西门杜公式、多元线性回归公式等)中参数的含义和参数值的确定进行了认真分析,最后根据密闭取心井的岩心资料确定了各个参数的值。把各个模型的计算值和岩心分析值进行对比(图3)。可以看出,利用多元线性回归模型计算的结果准确性最好,适合研究区砾岩油藏含油饱和度的求取。

含水饱和度多元线性回归模型是基于 Archie 公式的变形,用原状地层电阻率、地层有效孔隙度和地层深度3个变量参数回归拟合含水饱和度的计算公式。目前,所有的含水饱和度公式都是在

Archie 公式的基础上根据储层本身的特点进行补充和完善,因此饱和度模型都涉及到求取地层水电阻率的问题;而地层水电阻率的影响因素比较多、也比较复杂,求取的难度比较大。六中区克下组砾岩油藏由于经过了“注淡水—注地层水—污水回注”3个阶段的开发,地层孔隙流体的性质发生了很大的变化,自然电位的幅度受注入水矿化度影响很大,而且注入水的矿化度很多时候是未知的,因此不能利用自然电位曲线求取地层水电阻率。通过对克下组几口水井的水化验资料分析发现,研究区地层水水型以重碳酸钠型为主,矿化度为1.34~10.63 g/L。研究发现,克下组油藏地层水矿化度与地层深度有着很好的相关性(图4),而地层水电阻率可以根据地温梯度和已知的地层水矿化度计算得出。因此,含水饱和度多元线性回归公式选择用地层深度代替地层水电阻率,避免了由于注入水性质变化大而无法准确求取地层水电阻率的问题,在实际解释中取得了很好的应用效果。

利用多元线性回归方法建立六中区克下组砾岩油藏含水饱和度测井解释模型如下:

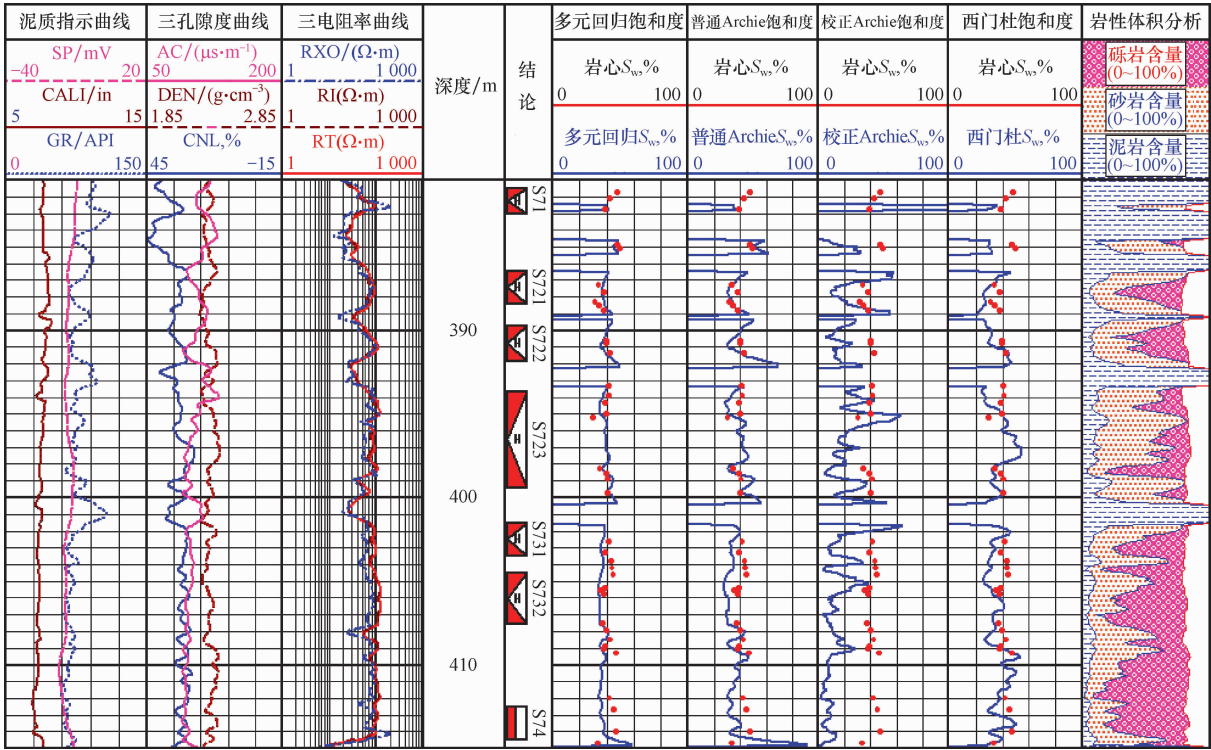


图3 不同饱和度模型计算结果对比

Fig. 3 Comparison of the calculation results from different saturation models
(图中红色点为校正后岩心分析的含水饱和度值;蓝色线为模型计算值。)

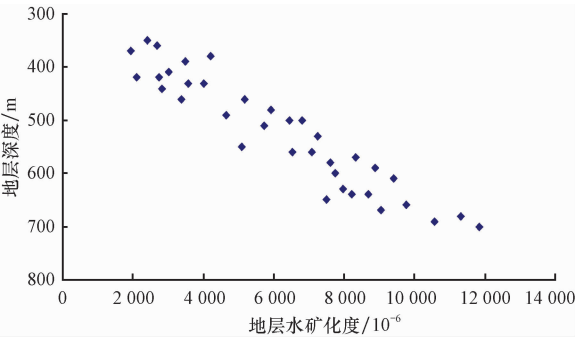


图 4 六中区克下组地层水矿化度与地层深度交会图
Fig. 4 Crossplot of formation water salinity and depth in the Kexia Formation of Liuzhone block

$$\lg S_w = -0.221\,9\lg R_l - 0.199\,0\lg \phi - 0.007\,9\lg D + 2.251\,6 \quad (6)$$

$(R^2 = 0.822\,7)$

储层含油饱和度

$$S'_o = 100 - S_w \quad (7)$$

式中: S_w 为地层含水饱和度,%; S'_o 为地层含油饱和度,%; R_l 为原状地层电阻率, $\Omega \cdot m$; ϕ 为地层有效孔隙度,%; D 为地层深度,m。

2.2.4 产水率(F_w)

根据六中区克下组砾岩油藏密闭取心井的岩心油、水相对渗透率与含水饱和度的关系,分析油、水相对渗透率比值与含水饱和度的相关性,制作交会图(图 5)。将 K_{ro}/K_{rw} 表示为 S_w 的函数:

$$\frac{K_{ro}}{K_{rw}} = ae^{-bS_w} \quad (8)$$

式中: K_{ro} 和 K_{rw} 分别为油、水的相对渗透率, $10^{-3} \mu m^2$; S_w 为含水饱和度,小数;系数 a 和 b 由岩石和流体的性质决定,岩石的渗透率、孔隙大小

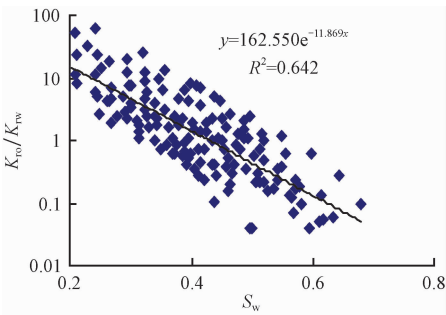


图 5 密闭取心井油、水相对渗透率与含水饱和度交会图
Fig. 5 Crossplot of oil/water relative permeability and water saturation calculated with sealed coring data

分布、流体粘度、界面张力和润湿性等不同, a 和 b 的值也就不同^[9]。

a 和 b 可用上面图解法求出: $a = 162.55$, $b = 11.87$ 。

按照流体力学的渗流原理^[10,11],产水率公式如下:

$$F_w = \frac{Q_w}{Q_o + Q_w} = \frac{1}{1 + B \frac{K_{ro}\mu_w}{K_{rw}\mu_o}} \quad (9)$$

式中: Q_o 和 Q_w 分别为油、水的分流量, t/d ; K_{ro} 和 K_{rw} 分别为油、水相对渗透率, $10^{-3} \mu m^2$; B 为与岩性、物性有关的参数,岩性和物性越好, B 值越小; μ_o 和 μ_w 分别为油、水的粘度, $mPa \cdot s$ 。

根据六中区密闭取心井 19 块岩心样品的相对渗透率资料分析结果, μ_o 和 μ_w 分别取 26.52 和 0.97 $mPa \cdot s$, $\mu_w/\mu_o = 0.04$,岩性参数 $B = 5.20$ 。

2.3 水驱指数

储层原始含油饱和度是在油藏原始状态下储层中原油体积占有效孔隙体积的百分数^[12~14]。六中区克下组砾岩油藏经过 50 多年的开发,油藏原始状态早已被破坏;而且从 1974 年开始采用注水驱油的方法进行开采,注入水已经影响到六中区克下组的所有储集层。由于注入水的不断驱替,储层目前的含油饱和度已经不是原始含油饱和度;也就是说,建立模型所用的岩心含油饱和度是目前储层的含油饱和度;已经被注入水水淹过。定义原始含油饱和度和目前含油饱和度的差值与原始含油饱和度的比值为目前水驱指数 $[(S_o - S'_o)/S_o]$ 。水驱指数的值可以很好地反映储层的水淹情况,特别是在岩性复杂的砾岩油藏,是水淹层定量评价的一个重要参数。因此,储层原始含油饱和度的求取就非常重要。

由于六中区克上组油层开发程度比较低,没有经过大规模的注水开采,含油饱和度可以反应储层原始的含油饱和度。对比白 601 井(克上组密闭取心井)克上组和克下组岩性参数以及压汞曲线, a, b, m, n 值变化比较小(a 为岩性系数; m 为孔隙度指数,反映的是储层的孔隙结构; b 为饱和度系数,大多数储层接近于 1; n 为饱和度指数),在岩性相同、孔隙度基本相近的情况下压汞曲线也基本保持一致,说明白 601 井克下组和克上组储层孔隙结构和孔喉分布相近,可以把两个层组

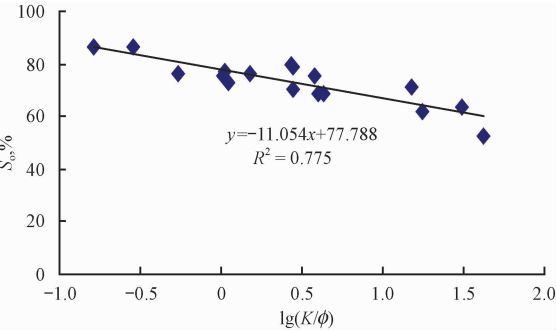


图6 白601井克上组孔隙结构参数与含油饱和度交会图
Fig. 6 Crossplot of pore structure parameters and oil saturation in the Keshang Formation in Well Bai-601

看作一套沉积体系,用克上组岩心数据拟合的含油饱和度公式作为计算克下组储层原始含油饱和度的依据,进行水驱指数的计算以及水淹级别的定量评价。

分析白601井克上组岩心孔-渗、孔-饱资料,制作含油饱和度(S_o)与渗透率和孔隙度比值(K/ϕ)的交会图(图6)。

建立原始含油饱和度计算公式:

$$S_o = -11.054 \lg(K/\phi) + 77.788 \quad (10)$$

$(R^2 = 0.775)$

式中: S_o 为原始含油饱和度,%; K 为储层渗透率, $10^{-3} \mu m^2$; ϕ 为储层有效孔隙度,%。

把克上组含油饱和度公式应用到克下组储层,用模型计算的含油饱和度作为克下组油藏的原始含油饱和度,定义水驱指数如下:

$$F_{ow} = \frac{(S_o - S'_o)}{S_o} \quad (11)$$

式中: F_{ow} 为水驱指数,无量纲; S_o 为原始含油饱和度,%; S'_o 为油藏目前含油饱和度,%。

由于六中区克下组油藏已经注水开发50多年,几乎所有的储层都受到注入水的影响。水驱指数表征的是油层动态水淹的一个参数,可以反映目前油层的水淹程度。水驱指数越大,说明储层水淹越厉害,水淹程度强;水驱指数越小,说明储层受注入水的影响小,水淹程度弱。水驱指数可以定量地评价水淹级别。

3 图版法识别水淹级别

统计分析六中区90年代以后30口井和2006年3口密闭取心井S74,S73,S72,S71和S63等5

个层位的水淹级别,制作不同水淹级别 $R_l - (R_l - R_i)$ 和 $R_l - (R_l - R_{xo})$ (R_l 为储层原状地层电阻率, $\Omega \cdot m$; R_i 为储层过渡带电阻率, $\Omega \cdot m$; R_{xo} 为储层冲洗带电阻率, $\Omega \cdot m$)交会图(图7,图8)。图7和图8图版的水淹级别解释符合率分别为76.7%和73.1%。

从图7中可以看出,原状地层电阻率可以很好地把强水淹、中水淹和弱水淹层区分开,但是不能把油层和弱水淹层有效地识别出来;而深、中电阻率的差值($R_l - R_i$)能很好地区分油层和弱水淹层。从强水淹层的交会点上可以看出,深、中电阻率差值出现负值,地层的增阻侵入很明显,但不是所有的强水淹层都是增阻侵入。部分强水淹、中水淹和弱水淹层的深、中电阻率曲线基本上都重合在一起,没有径向上的侵入特征,这种现象是由于砾岩特殊的岩性和非均质严重造成的。

图8中原状地层电阻率能很好地区分强水淹、中水淹和弱水淹层,但不能把油层和弱水淹层有效地识别出来。由于冲洗带受泥浆滤液的影响比较大,基本上孔隙流体以泥浆滤液为主,深、浅

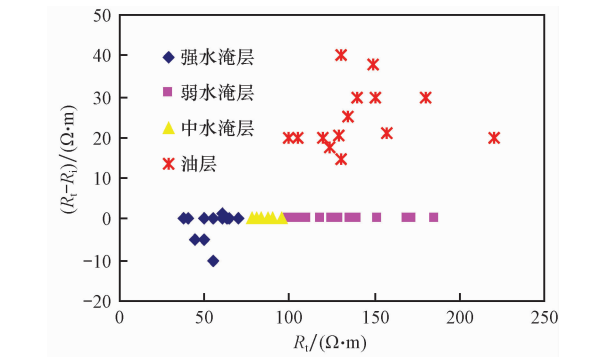


图7 六中区 $R_l - (R_l - R_i)$ 交会图版
Fig. 7 Cross plot of $R_l - (R_l - R_i)$ in Liuzhong block

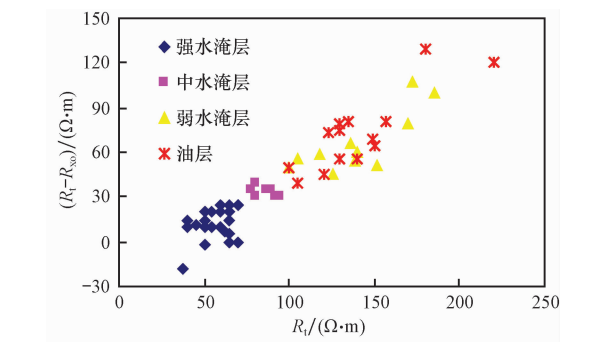


图8 六中区 $R_l - (R_l - R_{xo})$ 交会图版
Fig. 8 Cross plot of $R_l - (R_l - R_{xo})$ in Liuzhong block

电阻率差值比较明显。深、浅电阻率差值可以把强、中、弱水淹层区分开,但是油层和弱水淹层的差值不明显,不能有效地识别。

电阻率图版法可以定性地识别水淹级别;但作为定量识别的标准,它的精度还不够,仅可以作为砾岩油藏水淹级别定量识别的辅助方法。

4 水淹层特征参数的提取

把六中区克下组砾岩油藏密闭取心井岩心分析的油水相对渗透率、含水饱和度和产水率制作交会图(图 9)。制作密闭取心井岩心水驱指数和产水率交会图(图 10)。以产水率为基础,按照中国石油天然气总公司水淹级别 5 级划分标准,确定水淹级别和含油饱和度、水驱指数的对应关系,定量划分水淹级别,各参数标准见表 1。

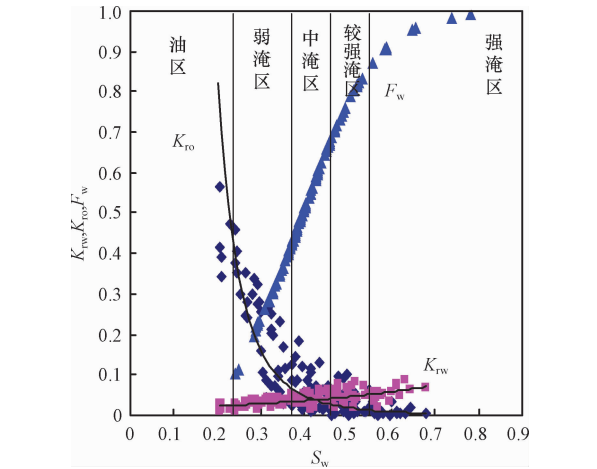


图 9 六中区含水饱和度、相对渗透率、产水率交会图
Fig. 9 Crossplot of water saturation, relative permeability and water production rate in Liuzhong block

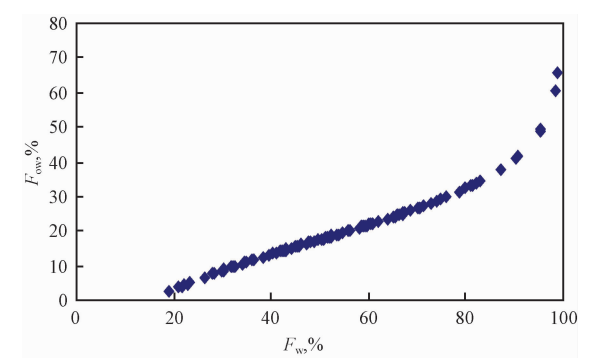


图 10 六中区产水率与水驱指数交会图
Fig. 10 Crossplot of water production rate and water drive index in Liuzhong block

表 1 六中区克下组砾岩油藏水淹级别定量划分标准
Table 1 Quantitative identification standards for conglomerate reservoir watering-out level in the Kexia Formation in Liuzhong block

区块	层位	水淹级别	产水率 $F_w, \%$	含油饱和度 $S_o, \%$	水驱指数 $F_{ow}, \%$
六中区	克下组	油层	≤ 10	≥ 73	≤ 3
		弱水淹	10 ~ 40	73 ~ 65	3 ~ 14
		中水淹	40 ~ 60	65 ~ 57	14 ~ 20
		中-强水淹	60 ~ 80	57 ~ 48	20 ~ 30
		强水淹	≥ 80	≤ 48	≥ 30

从表 1 中可以看出,随着水淹程度的增强,含油饱和度降低,产水率和水驱指数升高。根据 3 个参数的综合判断可以定量识别和评价储层的水淹级别。

5 水淹级别定量识别方法和应用效果

前面通过密闭取心井岩心资料分析确定了定量划分水淹级别的特征参数:产水率、含油饱和度和水驱指数,并且确定了特征参数与水淹级别的关系。应用 3 个特征参数进行砾岩油藏水淹级别的判断,识别方法如下:

- 1) 以 3 个特征参数为主要判别依据,辅助图版法进行验证和进一步提高符合率。如果 3 个参数的计算结果都在同一个水淹级别区间内,则判断该层为此区间的水淹级别。
- 2) 如果 3 个参数中有一个参数的计算结果与另外两个参数的计算结果相矛盾,则根据相同计算结果的参数值进行水淹级别的判断,并用电阻率图版法进行验证。如果和判断结果相吻合,则确定该层的水淹级别;如果出现矛盾,要分析是由于参数的误判造成的误差还是电阻率图版的精度问题。
- 3) 如果 3 个参数的计算结果都不相同,则用电阻率图版法进行判断。如果图版法判断的结果都相同,就确定该层的水淹级别;如果图版法结果出现矛盾,则对比特征参数再进行判断,按照相同结果最多的那个水淹级别确定该层水淹情况。

选取六中区 170 口井中有试油结论和产液剖面的井 61 口,共计层位 262 层,利用建立的模型计算各个小层的水淹特征参数,然后用砾岩油藏水淹级别的定量识别方法进行判断;把解释结果和试油结论进行对比,分析方法的精度和解释符合率(表 2)。

表2 水淹级别定量解释结果分析

Table 2 Analysis of quantitative interpretation results of watering-out level

井数	层位	含油饱和度	水驱指数	产水率	判断层位/层	正判层位/层	误判层位/层	符合率, %
61	262	√	√	√	116	116	0	44. 28
		√	√		24	22	2	8. 40
			√	√	48	43	5	16. 41
		√		√	34	30	4	11. 45
		三参数判断			222	211	11	80. 54
		R_1	$R_1 - R_i$	$R_1 - R_{xo}$				
		√	√	√	10	10	0	3. 82
		三参数与图版综合判断			232	221	11	84. 36

从表2中可以看出,利用3个水淹特征参数来判断,至少符合两个参数标准的层位有211层,符合率为80.54%;3个特征参数不能识别的水淹层共计40层。用电阻率图版法判断,在40个层位中3个电阻率值都满足的层位有10层,依此来确定储层的水淹级别,可以把识别的符合率提高3.82%。综合分析,六中区克下组砾岩油藏水淹层定量识别方法的符合率为84.36%,达到了实际解释和评价的精度。

6 结论

1) 克拉玛依油田砾岩油藏属于山麓洪积扇沉积,快速堆积的沉积环境导致储层内高渗层段的发育,注入水沿着高渗段舌进;砾岩油藏特殊的岩性以及储层非均质严重导致注入水乱窜,水驱油效果差,油层水淹情况复杂。以上因素增加了砾岩油藏水淹层解释和评价的难度,特别是水淹级别的定量识别。

2) 砾岩油藏水淹层定量识别不能单独根据某一个参数来判断,因为每个水淹特征参数的影响因素都不相同,不同储层类型的水淹可能对一个参数或者两个参数比较敏感,另外的参数不能有效地识别水淹级别,甚至会出现判断错误。因此,结合产水率、含油饱和度和水驱指数3个水淹特征参数以及电阻率图版法综合识别砾岩油藏水淹级别,识别精度和符合率有了很大的提高,达到了实际解释的要求,为砾岩油藏水淹级别的定量评价提供了一套有效的方法。

水淹层评价中的应用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1998,22(2):21~25

2 姜炳祥,张平,王辉,等. 克拉玛依油田砾岩油藏水淹层研究[J]. 天然气勘探与开发,2005,28(3):56~75

3 向瑜章. 克拉玛依油田530区P₂w¹砾岩油藏储层随机模拟[J]. 石油与天然气地质,2002,23(3):279~284

4 隋风贵. 断陷湖盆陡坡带砂砾岩扇体成藏动力学特征——以东营凹陷为例[J]. 石油与天然气地质,2003,24(4):335~340

5 Yang Ruiqi, Yang Shengzhen, Zhou Zhengyin, et al. Tests of conversion into steam stimulation following water flooding in Karamay conglomerate oilfield[Z]. SPE International Oil and Gas Conference and Exhibition, China, 1998. 118~125

6 赵澄林,朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社, 2006. 48~60, 117~119

7 赵辉,司马立强,吴学刚. 北16井区砂泥岩地层测井精细解释模型研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009, 31(1):33~36

8 汪爱云,刘江,张军龙. 储集层泥质含量普适性算法探讨[J]. 测井技术,2000,24(增):502~504

9 胡俊,杨旭明,陈燕章,等. 水淹层测井评价之产水率方法研究[J]. 新疆石油学院学报,2004,16(4):25~28

10 张烈辉,李成勇,刘启国,等. 边界元理论在缝洞型非均质油藏渗流研究中的应用[J]. 石油与天然气地质,2007,28(4):528~534

11 周志军,李菁,刘永建,等. 低渗透油藏渗流场与应力场耦合规律研究[J]. 石油与天然气地质,2008,29(3):391~404

12 Hamouda A A, Karoussi O, Chukwudeme E A. Relative permeability as a function of temperature, initial water saturation and flooding fluid compositions for modified oil-wet chalk[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2008, 63(1~4):61~72

13 潘和平,王兴. 储层原始含油饱和度计算方法研究[J]. 现代地质,2000,14(4):452~453

14 闫伟林,李郑辰,殷树军,等. 确定油水同层原始含油饱和度的新方法[J]. 测井技术,2009,33(5):440~443