

文章编号: 0253-9985(2009)02-0230-06

测井参数定量化技术在榆树林油田 葡萄花储层物性解释中的应用

王文明^{1,2}

(1 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2 大庆榆树林油田开发有限责任公司, 黑龙江 大庆 163453)

摘要: 通过测井数据标准化, 岩心资料的选取与处理, 计算出流体流动单元指标 *FZI*。将研究区内的储层划分成 3 类流动单元, 并建立了孔隙度、渗透率等测井解释模型。采用分流动单元进行储层渗透率解释方法, 渗透率的解释精度明显得到了提高。通过建立反映测井信息与流动单元内在联系的样本集, 实现了储层参数由取心井到非取心井的最佳定量求取, 根据不同的流动单元, 应用不同的解释模型, 较精确地计算出渗透率值。从该技术在研究区内 77 口井的应用效果看, 能够正确揭示储层参数的平面变化规律, 指导剩余油研究及开发调整方案编制。

关键词: 测井参数; 流动单元; 测井解释模型; 葡萄花储层; 榆树林油田; 松辽盆地

中图分类号: TE 15 文献标识码: A

Application of log parameter quantification technology to interpretation of the physical properties of the Putaohua reservoir in the Yushulin oilfield

Wang Weming^{1,2}

(1 College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin 130061, China;

2 Daqing Yushulin Oilfield Development Company Ltd., Daqing, Heilongjiang 163453, China)

Abstract Three types of flow units are recognized in the reservoirs of Yushulin oilfield and log interpretation models are built for porosity and permeability through standardization of log data selection and processing of core data and calculation of flow unit index (*FZI*). Accuracy of permeability interpretation is greatly improved when calculating reservoir permeability according to the flow units. Sample collection that reflects the internal relationship between log data and flow units is also obtained, realizing the extrapolation of optimal quantitative reservoir parameters from the cored wells to non-cored wells. Relatively accurate calculation of permeability is realized by applying different interpretation models to different flow units. The application of the method in 77 wells in the study area shows that it can reflect honestly the lateral changing pattern of reservoir parameters and offers guidance for determining residual oil distribution and adjusting development programs.

Key words log parameter; flow unit; log interpretation model; Yushulin oilfield; Putaohua reservoir; Songliao Basin

榆树林油田葡萄花油层主要分布在北区和西區, 油藏受岩性、断层和构造控制分布零散, 埋藏深度约为 1 300~1 650 m。储层以三角洲分流河道和席状砂为主, 砂体规模小, 储层非均质性较强, 油水分布较为复杂。投产井产量递减幅度大,

导致开发效果较差, 开采难度大^[1]。急需加强储层流动单元研究, 提高储层物性解释精度, 为编制油田开发调整方案提供可靠的依据^[2]。因此, 开展测井参数定量化描述, 准确合理地建立储层参数测井解释模型, 分流动单元进行储层渗透率解

收稿日期: 2008-07-15。

作者简介: 王文明(1970—), 男, 高级工程师、博士研究生, 油田开发地质。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2001GB209104)。

释,提高储层物性解释精度,为研究储层剩余油形成与分布提供依据。

文中测井解释研究的基本思路是在测井资料预处理的前提下通过取心关键井 4 性关系(岩性、储集性、含油性及测井物性)研究,采用岩心资料刻度测井的方法,建立适合该油田的储层属性参数的测井解释数学模型,通过测井资料二次数字处理,实现储层参数由取心井到非取心井的最佳定量求取。储层参数测井解释是油藏精细描述的关键和重要基础,目前国内储层参数测井解释采用的方法,通常是从关键井研究出发,分析储层岩性、储集性、含油性及测井物性 4 者之间的关系,并以此为基础建立物性参数测井解释模型^[3]。

1 测井数据标准化

测井原始数据的误差除环境因素的影响外,还主要来自仪器刻度的不精确性。因此,在对测井原始数据进行环境校正之后,需要对数据进行标准化处理^[4-5]。它的实质是利用同一油田或地区的同一层段往往具有相似的地质-地球物理特性,也就是“标准层”的测井数据具有相似的频率分布。本次研究选用的是青山口组一段底部标准层,采用趋势面分析法对声波时差进行了处理。

趋势面分析法的基本出发点是认为在油田范围内,标准层的测井响应值遵循某种变化规律。先做出每口井标准层的各类测井曲线值的频率直方图,并确定其分布频率及峰值,将峰值作为标准层的特征峰值,用趋势面分析方法处理这些数据,得出一组趋势值和残差值,从而得出校正量^[4]。

标准化校正量的计算方法为:

$$Z_c = Z + \Delta Z \quad (1)$$

式中: Z_c 为标准化后的测井响应值; Z 为原始测井响应值; ΔZ 为井点趋势面分析的残差值。

在趋势面分析中,合理地确定趋势函数的次数,关系到趋势面分析方法进行测井数据标准化的合理性。经对比分析,此次研究趋势函数的次数选 2 次。利用趋势面分析的程序,对声波曲线(AC)进行标准化处理。由图 1 可见,工区 AC 自东向西降低,符合区域地质特点,此次趋势面分析是可靠的。

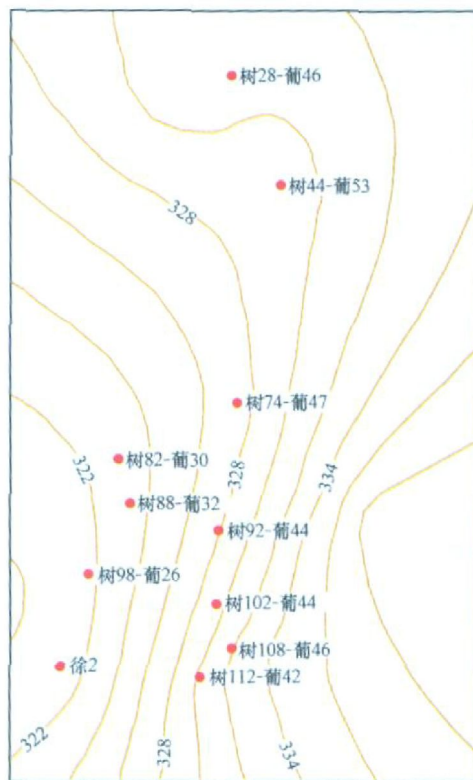


图 1 研究区青一段标准层声波时差 ($\mu s/m$) 趋势面

Fig. 1 Interval transit time trend surface of the Q ing-1 member in the study area

2 关键井的选取及岩心资料整理

2.1 关键井和岩心数据的选取

一般在油田选取符合下述条件的井作为全面研究的关键井。

- 1) 位于构造的主要部位, 近于垂直的井。
- 2) 取心井有系统的岩心分析和录井资料, 地质情况比较清楚。
- 3) 井眼好, 钻井液性能好, 具有最有利的测井条件和测井深度。

4) 有项目齐全的裸眼井测井资料, 包括最新测井方法的资料。

5) 有生产测试、生产测井和重复式地层测试的资料, 有齐全准确的油、气、水产量压力和渗透率资料。

考虑到关键井的选择标准, 选择树 121、树 124、升 17、升 40、升 46 和徐 2 这 6 口井作为本次研究的关键井。

通常岩心取样不象测井数据那样进行等间距采样, 并且由于受取心过程中岩心破碎、取心收获

率等因素的影响,在选用岩心分析数据时,应严格按照岩心选取标准进行选取。岩心分析数据通常都是离散的、非等间距的,需要把它们变成等间距的数据曲线以便与测井曲线作相关对比及深度归位。对于非等间距数据进行插值,效果较好的有五点三次样条函数插值法和三点抛物线插值法。

2.2 岩心分析数据的滤波处理

岩心分析数据(如物性分析数据)通常仅反应当前点处直径和长度均为几厘米的岩心柱体的物性参数,而当前点测井值则是测井仪器探测范围内(至少是几十厘米)的测井物理量平均值。由于受地层非均质性等因素的影响,致使两类数据存在一定差异,其外在表现是测井曲线比物性分析样品曲线平滑得多。为使这两类数据匹配,可对岩心物性分析数据作平滑滤波处理,这相当于降低物性分析数据的分辨率来与测井数据匹配^[6-7]。具体对岩心分析物性数据作滤波处理时要考虑测井仪器的探测范围、岩心分析数据的取样密度及滤波方法等因素。

3 取心井中流动单元的划分

考虑到测井信息的精确定量表示,取心井中的流动单元划分方法应与之相匹配,因此选用岩石物性参数交绘图法。该方法利用流动单元指标 FZI 来划分流动单元^[8]。 FZI 是把结构和矿物地质特征、孔喉特征结合起来判定孔隙几何相的一个参数,因此,可以准确地描述油藏的非均质特征。

FZI 的计算公式如式(2)~式(4):

$$RQI = 10^2 \pi \sqrt{\frac{K}{\Phi}} \quad (2)$$

$$\Phi_z = \frac{\Phi}{1 - \Phi} \quad (3)$$

$$FZI = RQI / \Phi_z \quad (4)$$

式中: RQI 为储层品质指数; K 为渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; Φ 为孔隙度, %; Φ_z 为孔隙体积与颗粒体积比值。

在计算 FZI 之前,先对岩心分析资料中的各个岩性段求孔隙度和渗透率的平均值,这相当于将许多离散点归结到各个岩性单元,依次求出所有岩性段的 FZI 值。然后应用系统聚类法的思想对得到的所有数据点进行聚类分析。根据岩心分

析孔渗资料,分不同的岩性段求出孔隙度、渗透率的平均值,然后计算出流体流动单元指标 FZI 。根据 FZI 值的大小,可将工区内的储层划分成 3 类流动单元(表 1)。

4 建立测井解释模型

通过研究储层的岩性、物性、电性之间的关系,应用取心井数据,建立了粒度中值、孔隙度、渗透率等测井解释模型。

4.1 泥质含量测井解释模型

该区自然伽马曲线是岩性响应的最好曲线,文中储层岩性解释主要根据泥质含量与自然伽马曲线的响应关系,建立泥质含量 (V_{sh}) 的解释模型^[9-10]。

$$V_{sh} = 34.53Igr + 4.3601 \quad (5)$$

$$Igr = \frac{GR - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad (6)$$

式中: GR , GR_{min} , GR_{max} 分别为解释层段、纯砂岩和纯泥岩的自然伽马测井响应值; Igr 为解释层段自然伽马相对值(也称泥质指数); V_{sh} 为解释层段泥质含量值, %。

4.2 粒度中值测井解释模型

与泥质含量一样,粒度中值 (M_d) 也是储层岩性粗细的一个指示参数,文中通过泥质含量建立粒度中值模型。

$$M_d = 0.2164e^{0.0501V_{sh}} \quad (7)$$

式中: M_d 为解释的粒度中值, mm。

4.3 孔隙度测井解释模型

储层孔隙度是油藏描述和储量计算中重要的储层物性参数,可以通过声波时差、中子、密度等多种测井曲线来计算。由于研究区内声波测井很普及,主要通过建立声波时差与岩心分析孔隙度

表 1 流动单元特征数据表

Table 1 Statistics of flow unit features

流动单元	FZI	孔隙度, %	渗透率 $/ (10^{-3} \mu\text{m}^2)$
I	> 3.45	8~26	20~750
II	1.24~3.45	11~26	6~360
III	< 1.24	8~23	0.03~35

单相关关系式来研究油层孔隙度^[11], 得到孔隙度解释模型 (图 2)。

$$\Phi = 97.399 \ln(AC) - 527.96 (R^2 = 0.8327) \quad (8)$$
式中: AC 为声波时差, $\mu s/m$ 。

4.4 渗透率测井解释模型

渗透率与孔隙度、泥质含量、粒度中值等参数均有一定的相关性, 渗透率可由孔隙度间接求得, 渗透率的对数值与孔隙度呈线性关系^[11]。文中通过流动单元划分, 三类流动单元中, 渗透率对数值与孔隙度的相关系数都高于不分流动单元时的情况, 渗透率与孔隙度之间的相关性明显提高 (图 3 图 4)。

流动单元 I :

$$K = 6.1431e^{0.1742\Phi} (R^2 = 0.9017) \quad (9)$$

流动单元 II:

$$K = 0.7992e^{0.2089\Phi} (R^2 = 0.6328) \quad (10)$$

流动单元 III

$$K = 0.0002e^{0.518\Phi} (R^2 = 0.6889) \quad (11)$$

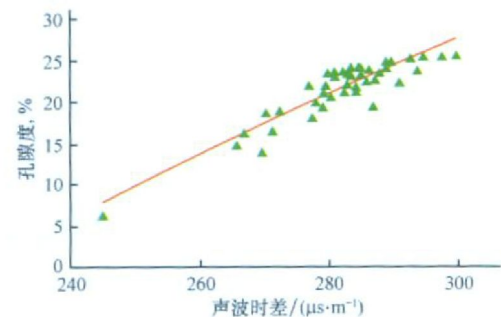


图 2 孔隙度解释图版
Fig. 2 Porosity interpretation chart

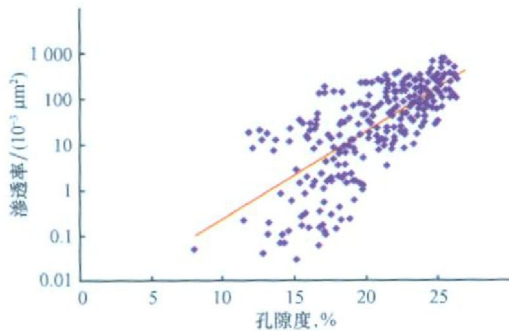


图 3 渗透率解释图版(不分流动单元)
Fig. 3 Permeability interpretation chart
(with no flow unit divided)

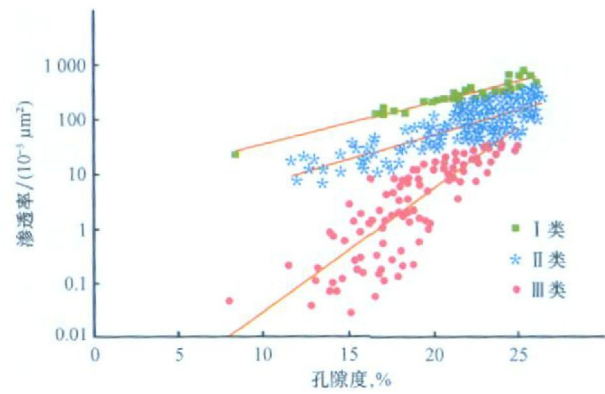


图 4 渗透率解释图版(分流动单元)
Fig. 4 Permeability interpretation chart
(with flow unit divided)

4.5 测井解释模型的检验

把测井解释计算出的数据和岩心分析数据分别作为一个点的 X 和 Y 坐标, 做出散点图。该数据点沿着 $y = x$ 直线分布。解释值越接近于真实值, 数据点越接近该直线。孔隙度的解释误差范围较小, 解释值和岩心分析值的交会点分布在 $y = x$ 附近。划分流动单元后, 渗透率的解释精度明显得到了提高 (图 5)。

5 流动单元识别及测井数据处理

同划分流动单元一样, 流动单元的识别用流体流动单元指标 (FZI)。由于没有一条测井曲线来直接反映渗透率的大小^[12], 所以用不分流动

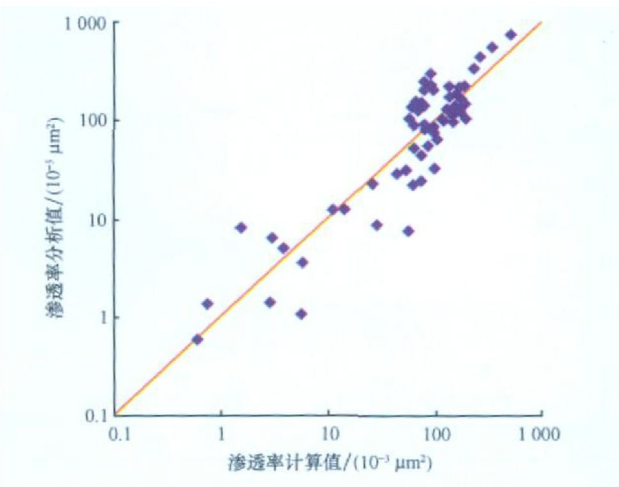


图 5 分流动单元渗透率检验图版
Fig. 5 Chart for permeability inspection
according to flow units

单元时的求解渗透率的公式来近似地求出渗透率,从而算出 FZI 值。可选取与 FZI 具有密切关系的测井变量,通过对比每一岩心解释流动单元类别与所选参数之间的关系,可以得到反映测井信息与流动单元内在联系的样本集。在任一非取心井或层段中的每一深度点上,通过前述方法得到岩心分析流动单元类属,就可将各参数指定于相应深度的流动单元中。在本区,经过分析后得到 FZI 、 Φ 、 V_{sh} 、 M_d 4 个指标作为样本集的指标。不同流动单元具有不同范围的 FZI 值以及不同范围的测井变量值。利用贝叶斯判别分析技术判断取心井流动单元回判符合率是否满足要求^[13~15]。若满足,则可利用该样本集在非取心井中首先判别流动单元类型,再用相应解释模型进行储层参数解释。根据不同的流动单元,应用不同的解释模型,从而较精确地计算出渗透率值。

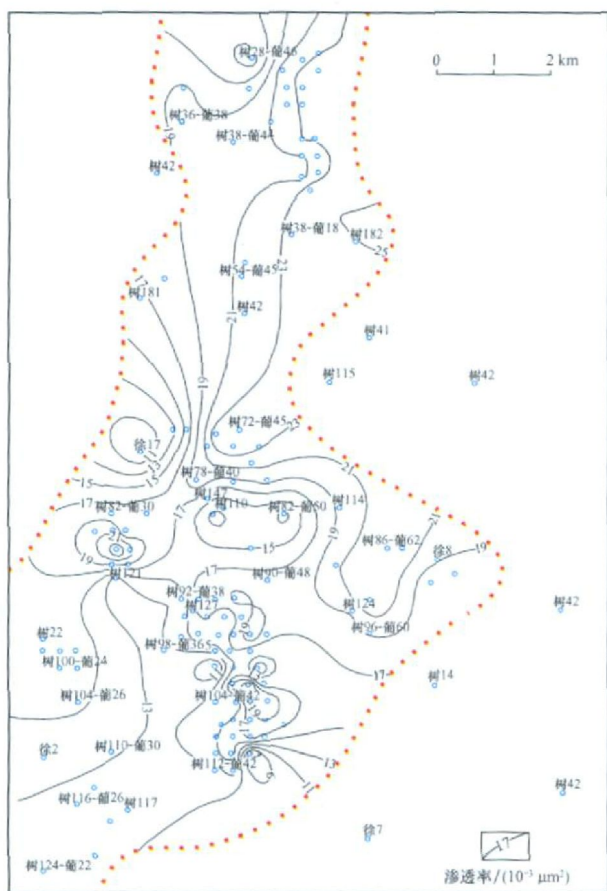


图 6 葡萄花油层 PI6 小层孔隙度平面分布

Fig. 6 Map showing porosity distribution of porosity of the PI6 interval in the Putaohua reservoir

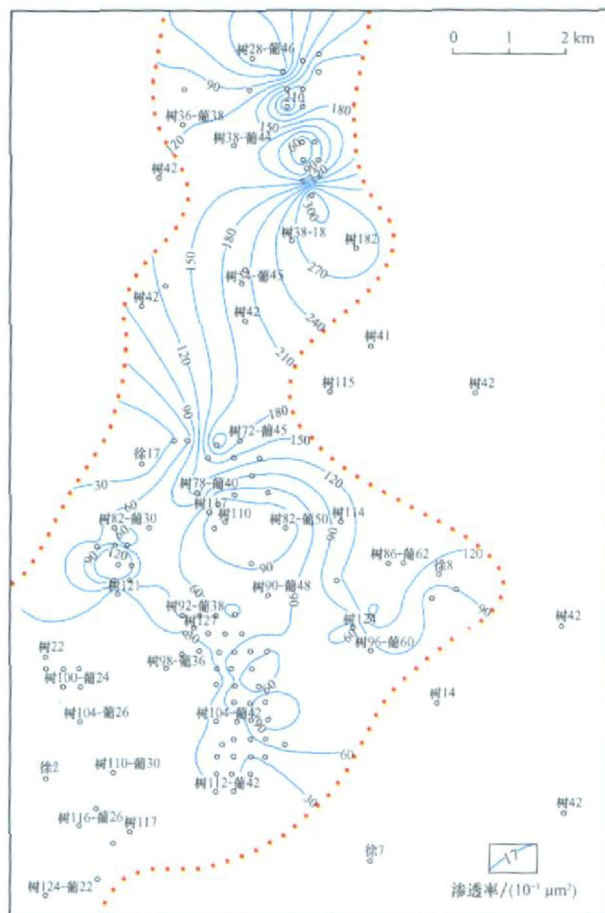


图 7 葡萄花油层 PI6 小层渗透率平面分布

Fig. 7 Map showing permeability distribution of the PI6 interval in the Putaohua reservoir

根据该区建立的测井解释模型,对工区内 77 口井进行了处理,求取孔隙度、渗透率、泥质含量、粒度中值等储层参数。对求得的储层物性参数进行分小层集总并平面成图,揭示了各小层储层参数的平面变化规律。例如 PI6 小层的北部自北向南物性变好,孔隙度、渗透率均变大;南部自西南向东北孔隙度、渗透率有变大的趋势,物性明显变好,在树 86-葡 30 井、树 102-葡 46 井附近孔隙度、渗透率值明显较高,物性较好(图 6 图 7)。

6 结论

1) 测井参数定量化技术首先要求测井原始数据的精确,必须对数据进行标准化处理。本次研究采用趋势面分析法对声波时差进行了标准化处理,结果更符合区域地质特点。

2) 选用岩石物性参数交绘图法,利用取心井根据岩心分析孔、渗资料,对不同的岩性段求出孔

隙度、渗透率的平均值, 计算出流体流动单元指标 FZI 。根据 FZI 值的大小, 可将工区内的储层划分成 3 类流动单元。

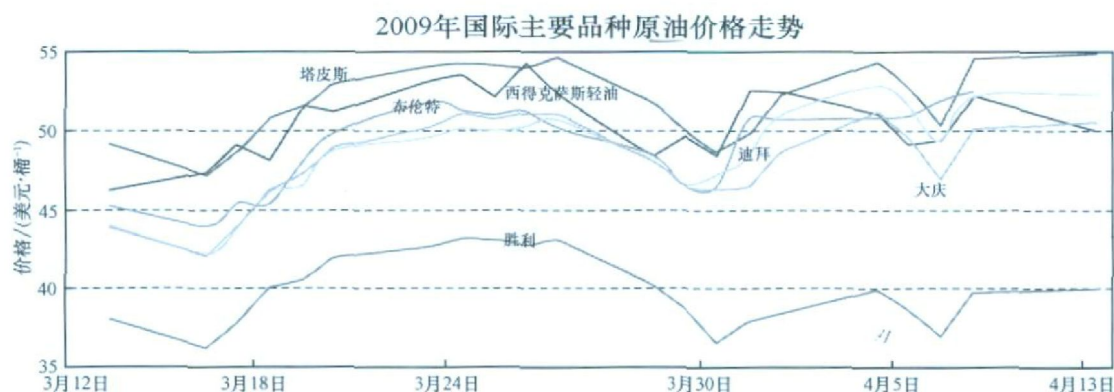
3) 应用取心井数据, 建立了泥质含量、粒度中值、孔隙度、渗透率等测井解释模型。孔隙度的解释误差范围较小, 解释值和岩心分析值的交会点分布在 $y=x$ 附近。划分流动单元后, 渗透率的解释精度明显得到了提高。

4) 通过对比每一岩心解释流动单元类别与所选参数之间的关系, 可以得到反映测井信息与流动单元内在联系的样本集。 FZI , Φ , V_{sh} , M_d 等 4 个指标作为样本集的指标。不同流动单元具有不同范围的 FZI 值以及不同范围的测井变量值。实现了储层参数由取心井到非取心井的最佳定量求取, 根据不同的流动单元, 应用不同的解释模型, 从而较精确地计算出渗透率值。

参 考 文 献

- 1 王俊玲, 叶连俊, 李伯虎, 等. 松辽盆地三肇地区榆树林油田葡萄花油层储层沉积模式 [J]. 沉积学报, 1997, 15(3): 37~42
- 2 刘泽容, 信荃麟. 油藏描述原理与方法技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993 56~62
- 3 陈新平, 史淑芳. 油藏描述中储层参数测井解释模型的建立 [J]. 内蒙古石油化工, 2003 29(2): 139~140
- 4 张启锐. 地质趋势面分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1990 26~28
- 5 王志高, 靳彦欣. 动态法划分流动单元——以现河庄油田为例 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 125~129
- 6 张一伟, 熊琦华, 王志章, 等. 陆相油藏描述 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 329~336
- 7 吴胜和, 熊琦华, 彭仕宓, 等. 油气储层地质学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999 113~123
- 8 尹太举, 张昌民, 陈程. 建立储层流动单元模型的新方法 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 170~175
- 9 Guangning T, Ogburn D O, Hatzignatiou D C. Use of flow units as a tool for reservoir description: a case study [M]. SPE Formation Evaluation, 1995
- 10 赵亮, 吴锡令. 非均质油层分形模型与测井描述研究 [J]. 测井技术, 2001, 25(3): 195~198
- 11 窦松江, 于兴河, 李才雄. 流动单元研究在北大港油田中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 26~30
- 12 李舟波. 利用测井方法识别复杂油气储层的流体性质 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 356~362
- 13 Lin Chengyan, Dong Chunmei, Chen Li. The distribution law of remaining oil in the fluvial sandstone reservoir with high water-cut: an example from the Zhong-1 district in Gudao oil field [J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 7(3): 395~401
- 14 Liu Wei, Zhou Liqin, Wang Shen, et al. The comprehensive determination technique and application of remaining oil in complex miniature fault block reservoir [J]. SPE 64 649 1~8
- 15 Van de Graaff W J E, Bentley M R, Kortekas T F M. Shell exploration (Aberdeen): Quantification of macro to mesoscale reservoir heterogeneity: a practical approach based on computer mapping techniques [J]. SPE 25 001 1992 391~398

(编辑 高 岩)



(高岩 摘自《石油商报》)