

宋子齐,李伟峰,唐长久,等.利用自然电位与自然伽马测井曲线划分沉积相带及储层分布.地球物理学进展,2009,24(2):651~656,DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2009.02.038.

Song Z Q, Li W F, Tang C J. Dividing sedimentary facies and reservoir distributions by using natural potential and natural gamma ray logging curves. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2009, 24(2):651~656, DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2009.02.038.

利用自然电位与自然伽马测井曲线 划分沉积相带及储层分布

宋子齐, 李伟峰, 唐长久, 李文芳, 庞振宇, 王艳

(西安石油大学, 西安 710065)

摘要 自然电位、自然伽马测井曲线形态和特征与沉积相带及其储集砂体关系密切,它们对不同岩性地层特征响应十分敏感.利用自然伽马、自然电位同步减小的较大幅度评价识别渗砂层,指示划分水下分流河道主体沉积微相带;利用自然伽马、自然电位减小的幅度差评价识别低渗砂、致密砂层,指示划分水下分流河道堤泛(侧翼)沉积微相带;并以自然电位比自然伽马减小幅度的相对细小差异识别油水层.在安塞油田沿河湾地区长6自然伽马、自然电位曲线划分沉积相带及储层的应用中,建立了自然伽马、自然电位划分储层的下限标准,有效地评价了特低渗透储层沉积微相带及储层类型,提高和扩大了测井曲线的应用及效果.

关键词 自然电位,自然伽马,曲线形态、特征,河道主体微相带,河道堤泛微相带

DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2009.02.038

中图分类号 P631

文献标识码 A

Dividing sedimentary facies and reservoir distributions by using natural potential and natural gamma ray logging curves

SONG Zi-qi, LI Wei-feng, TANG Chang-jiu, LI Wen-fang, PANG Zhen-yu, WANG Yan
(Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract The curve shapes, characteristics of self-potential logging curves and natural gamma ray logging curves are related with sedimentary facies and reservoir rocks. They are sensitive to different lithology formation characteristics. Penetrative sandstone is valued by using highly reduced amplitudes from self-potential and natural gamma ray borehole logging. They indicate and divide underwater channel deposits of body sedimentary micro-facies. Low and tight penetrative sandstone is valued by using reductive amplitude deviation of self-potential and natural gamma ray. They indicate and divide underwater channel flank sedimentary micro-facies. We have identified water/oil beds using small amplitude differences of self-potential and natural gamma ray. Bottom criterion of self-potential and natural gamma ray is established to divide reservoirs by means of the application of the Chang6 reservoir in the Yanhewan area in Ansai oilfield. The evaluation of low-permibility reservoirs in this area has enhanced and broadened application and effect of logging curves.

Keywords natural-potential, natural gamma ray, curve shape & characteristic, host micro-phase in river course, back land micro-phase in river course

收稿日期 2008-08-12; 修回日期 2008-11-22.

基金项目 基于核向量机的油藏历史拟合代理模型研究(40872087)资助.

作者简介 宋子齐,男,教授,享受国务院特殊津贴科技专家.1968年毕业于成都地质学院应用地球物理专业,现从事油气储层研究、测井解释及油藏剩余油分布的教学和科研工作.(E-mail:songziqu0827@126.com)

0 引言

在鉴别和识别沉积相时,岩性、粒度、分选性、泥质含量、垂向序列、砂体的形态及分布等都是重要的成因标志.这些成因标志是各种沉积环境中水动力因素作用的结果,同时水动力条件控制着岩石物理性质的变化,如地层自然电位、自然伽马等.测井曲线正是各种物理性质沿井孔深度变化的物理响应,以此建立起取心井准确的岩电关系,进而推广至非取心井,反推出非取心井储层特征^[1~5].从而,可以利用测井曲线形态有效地反馈上述成因标志在纵、横方向上的变化,为识别沉积相提供有价值的资料,并成为一种有效识别沉积相的途径.

不同水动力条件造成了不同环境下的沉积层序在粒度、分选、泥质含量等方面的特征,因而具有不同的测井曲线形态^[6~10].它集中反映出的基本形态和特征包括:

幅度的大小反映粒度、分选性及泥质含量等沉积特征的变化,如自然电位的异常幅度变化、自然伽马幅值高低可以反映地层粒度中值的大小,并能反映泥质含量的高低.

能量厚度反映单砂层水动力较强渗砂体沉积时间(厚度).

形状指单砂体曲线形态,有箱形、钟形、漏斗形、菱形、指形等,反映沉积物沉积时的能量变化或相对稳定的情况,如钟形表示沉积能量由强到弱的变化.

接触关系指砂岩的顶、底界的曲线形态,反映砂岩沉积初期及末期的沉积相变化.

次级形态主要包括曲线的光滑、包络线形态及齿中线的形态,它们帮助提供沉积信息,如齿中线成水平表明每个薄砂层粒度均匀、沉积能量均匀周期性变化.

自然电位、自然伽马测井曲线形态和特征与沉积相带及储集层之间有密切的关系,它们在不同沉积微相带和不同储集层带有明显异常显示.特别是它们在井内测量岩层中自然存在,测量和获取测井曲线的方法技术简单,成本低廉.因而,在划分和研究沉积相带及储层分布中广泛使用^[11~14].

1 自然电位与自然伽马测井曲线反映沉积相变特征

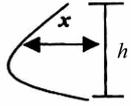
自然电位(SP曲线)在不含泥页岩的多孔隙地层中,SP曲线偏离泥页岩基线的幅度大小与地层水含盐量和井中流体含盐量之差有关.对于淡水泥浆,

对着含盐水地层的位置,SP曲线向左偏移,即负方向偏移.在其他条件相同的情况下,纯砂岩的负方向偏移幅度最大,当砂岩中含泥质时,SP幅度减小,减小的幅度大体上与泥质含量成正比,直至泥质含量为100%时,SP曲线完全和基线一致.而当采用盐水泥浆时,含盐水地层的SP曲线很少或没有偏移,甚至可以出现反转,即方向向正方向偏移.

砂泥岩沉积以及砂岩中泥质含量的多少与沉积环境密切相关.高能环境水流强烈跌簸筛选,形成相对粒度较粗的纯净砂岩,其SP曲线幅度高.低能环境水流停滞,微细泥质得以沉积,形成粒度细微的泥页岩,其SP曲线与基线趋于一致.因此,SP曲线幅度的相对高低,可以判断砂岩中泥质含量的多少和沉积环境能量的强弱.利用SP曲线形态识别沉积相类型,常见的典型曲线形态有四种(表1).

表1 自然电位(含自然伽马)识别沉积相类型的曲线形态、特征表(曲线斜率及幅厚比变化)

Table 1 Curve shape and characteristics (slope and amplitude ratio of a curve) of using natural-potential (natural gamma) to identify the category of sedimentary facies

曲线形态	曲线特征描述
钟形	 曲线元分为两段,上段较陡,斜率大于0;下段较平缓,斜率小于0,因为开口太大,幅厚比一般较小.
漏斗形	 其形态与钟形基本相反,呈上缓下陡形,上段斜率大于0,下段小于0;幅厚比与钟形近似.
箱形	 曲线可以分为三段,上下两段平缓,斜率的绝对值近似相等,中间段较厚,且起伏不大,幅厚比一般较小.
对称齿形	 曲线元纵向近似对称,上下两段的都比较陡,斜率较大,且绝对值近似相等,幅厚比一般较大.
反向齿形	 曲线元可以分为两段,上段较平缓,下段较陡,幅厚比一般较大.
正向齿形	 曲线元可以分为两段,上段较陡,下段较平缓,幅厚比较大.

(1)钟形曲线,底部突变接触,反映河道侧向迁移的正粒序结构,代表三角洲水下分流河道微相.

(2)漏斗形曲线,顶部突变接触,反映前积砂体的反粒序结构,代表三角洲前缘河口坝等微相.

(3)箱形曲线,顶底界面均为突变接触,反映沉

积过程中物源供给丰富和水动力条件稳定,代表潮汐砂体或废弃水下分流河道微相。

(4)齿形曲线,反映沉积过程中能量的快速变化,它既可以是正齿形,也可以是反齿形或对称齿形,为河道侧翼、席状砂、分流间湾等微相。

上述曲线均为理想条件下的曲线形态,而当钻井位置靠近砂体边部时,其测井曲线与典型响应曲线相对形态会有相当大的变化,不过对经验丰富的解释人员来说,它们仍然可提供很有价值的资料^[15~19]。

自然伽马(GR曲线)测井响应主要是地层的天然放射性,如钾、钍、铀同位素所引起。它们在粘土矿物中最常见,因而,泥页岩层具有明显放射性,而砂岩倘若基本上是石英质的,则放射性要小得多。自然伽马曲线如同自然电位曲线一样,都反映垂向层序中砂岩和泥页岩的相对含量。GR曲线随砂质的增多向左偏移表现为放射性降低,反映砂岩变粗,因为粒度变粗常伴随泥质含量减少。由于上述缘故,自然伽马曲线可以用于沉积分析,它的曲线形态所反映的沉积相类型和自然电位曲线大体趋于一致(表1)。

在沉积相研究中,自然电位和自然伽马测井二者都是重要的,它们对砂泥岩都比较敏感^[20~22]。但是,还必须认识到这两种记录之间的差别。自然电位曲线的幅度与地层水和泥浆滤液的盐度差及泥质含量有关外,集中反映储集砂体类型,且地层中流体类型和地层厚度也都有影响。自然电位曲线幅度在含盐水砂岩部位最高,而当地层含有烃类电阻率较高时,自然电位幅度降低。层厚影响也很明显,当厚度为2 m薄层或更薄时,其界面幅度明显降低。此外,在粉砂和粘土的比值近于1/2或更高的地层中,自然电位曲线幅度趋近于零(基线)。自然伽马曲线幅度与岩性和泥质含量有关,它与储集砂体类别、间隙流体类型关系不大,虽也受层厚影响,只是在厚度小于0.4 m时,其影响才较大。

2 自然伽马、自然电位测井曲线划分相变及储层分布

在油田沉积相研究及储层评价中,自然伽马、自然电位测井曲线都是不可缺少的,利用自然伽马、自然电位曲线同步减小幅度评价渗砂层,指示划分水下分流河道主体微相带;利用自然伽马、自然电位减小幅度差评价低渗砂、致密砂层,指示划分水下分流河道堤泛(侧翼)微相带。

表2是安塞油田沿河湾地区长6自然伽马、自然电位曲线划分储层下限标准。长6储层自然伽马

减小幅度下限0.58~0.54,它几乎不受储集砂体类别、孔隙流体类型及测井环境限制,可以探测划分0.4 m的储集砂体。自然电位减小幅度首先随储集砂体类别变差减小;其次受储层流体含烃类及变薄而降低。它的减小幅度下限在渗砂层0.55,低渗砂层0.30,致密砂层0.15,其中渗砂油层下限0.50,低渗砂油层下限0.25,它们可以探测划分1.0 m储集砂体^[23,24]。

表2 安塞油田沿河湾地区长6自然伽马、自然电位划分储层下限标准

Table 2 Bottom criteria of blocking reservoirs using natural-potential and natural gamma of the Yanhewan area in the Ansai oilfield

参数类别	渗砂层		低渗砂层		致密砂层	储层厚度下限(m)
	油层	水层	油层	水层		
自然伽马减小系数	≥0.58	≥0.58	≥0.54	≥0.54	≥0.54	0.4
自然电位减小系数	≥0.50	≥0.55	≤0.50 ≥0.25	<0.50 ≥0.30	<0.30~0.25 ≥0.15	1.0

利用上述自然伽马、自然电位划分储层下限及其标准相配合,可以有效划分0.4 m以上厚度的沉积相带和储集砂体分布^[25,26]。图1是安塞油田沿河湾地区桥12井长6₁¹⁻²层测井曲线划分相变及储层分布图,图中1190.0~1201 m深度段,利用自然伽马、自然电位同步减小的较大幅度评价出渗砂层,指示划分出水下分流河道主体沉积微相带;再利用自然电位比自然伽马减小幅度的相对细小差异,评价储层为油水层。通过该层段在1192.0~1194.0 m试油,日产油5.13 t/d,日出水24.87 m³/d,证实了自然伽马、自然电位评价划分特低渗透储集相带的有效性及其可靠性(图1)。

图2是安塞油田沿河湾地区沿6井长6₃层测井曲线划分相变及储层分布图,图中上部1017.0~1030.0 m深度段,利用自然伽马、自然电位同步减小较大幅度评价出渗砂层,指示划分出水下分流河道主体沉积微相带;图中下部1035.5~1041.5 m深度段,利用自然伽马与自然电位减小的明显幅度差评价出致密砂层,指示划分出水下分流河道堤泛(侧翼)沉积微相带。它们分别利用了自然伽马、自然电位曲线形态、特征及其下限标准,有效指示划分出不同类别沉积微相及储层分布(图2)。

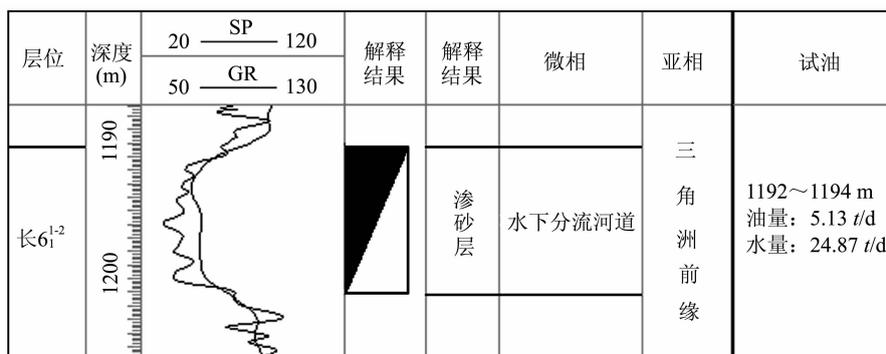


图1 桥12井长 6_1^{1-2} 层自然伽马和自然电位曲线划分相变及储层分布图

Fig.1 Chang 6_1^{1-2} layer distribution graph by using natural-potential and natural gamma to identify sedimentary facies and reservoir of well Qiao12

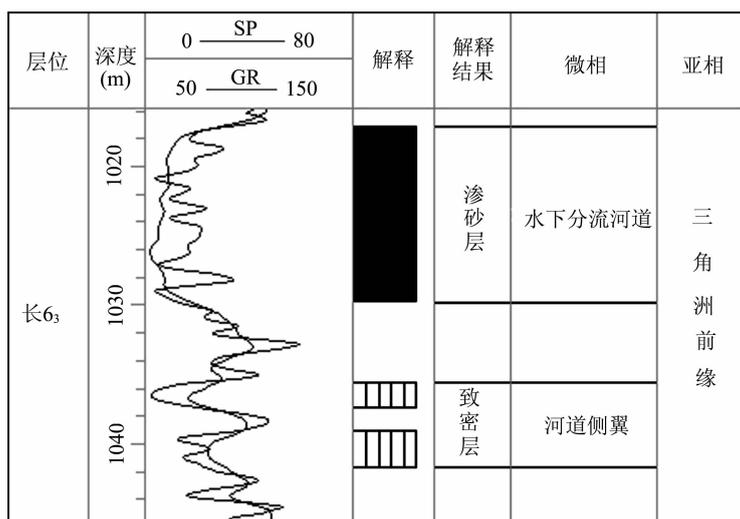


图2 沿6井长 6_3 层自然伽马和自然电位曲线划分相变及储层分布图

Fig.2 Chang 6_3 layer distribution graph of using natural-potential and natural gamma to identify sedimentary facies and reservoir of well Yan6

3 结 论

(1)自然电位、自然伽马测井曲线形态和特征与沉积相带及其储集砂体之间有密切的关系,它们在不同储集相带都有明显的异常显示.特别是它们在不同储集相带都有明显的异常显示.特别是在井内测量岩层中自然存在,测量和获取测井曲线的方法技术简单,成本低廉.因而,在划分和研究沉积相带及储层分布中广泛使用.

(2)在油田沉积相带及储层评价中,自然伽马、自然电位测井曲线都是不可缺少的,利用自然伽马、自然电位曲线同步减小幅度评价渗砂层,指示划分水下分流河道主体微相带;利用自然伽马、自然电位减小幅度差评价低渗砂、致密砂层,指示划分水下分流河道堤泛(侧翼)微相带;并以自然电位比自然伽

马减小幅度的相对细小差异识别油水层;形成一种有效地识别划分沉积相带和储层的方法.

(3)通过安塞油田沿河湾地区长6自然伽马、自然电位曲线划分相变及储层应用,建立了自然伽马、自然电位划分储层下限标准,分别利用自然伽马、自然电位曲线形态、特征及其下限,有效地评价划分特低渗透储层沉积微相带及储层类型,提高和扩大了测井曲线的应用及效果.

参 考 文 献 (References):

- [1] 宋子齐,王桂成,赵宏宇,等.利用单渗砂能量厚度研究有利沉积微相及其含油有利区的方法[J].沉积学报,26(3):452~458.
Song Z Q, Wang G C, Zhao H Y. Reserch methods of advantaged precipitation sub-facies and petroliferous range of

- profitability using single infiltration sand bed thickness of energy[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*. (in Chinese), 26(3): 452~458.
- [2] 李斌凯,马海州,谭红兵. 测井技术的应用及其在科学钻探研究中的意义[J]. *地球物理学进展*, 2007, 22(5): 1493~1501.
Li B K, Ma H Z, Tan H B. Application of the welllogging technology and the significance in the scientific drilling[J]. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2007, 22(5): 1493~1501.
- [3] 朱家俊. 济阳拗陷低电阻率油层的微观机理及地质成因[J]. *石油学报*, 2006, 27(6): 103~106.
Zhu J J. Geologic origin and microcosmic mechanism of low-resistivity layers in Jiyang depression[J]. *Acta Petrolei Sinica* [J]. (in Chinese), 2006, 27(6): 103~106.
- [4] 宋子齐,白振强,陈荣环,等. 陕北斜坡东部低渗透储集层有利沉积相带[J]. *新疆石油地质*, 2004, 25(6): 588~591.
Song Z Q, Bai Z Q, Chen R H. Favorable depositional facies of low permeability reservoir in eastern Shaanbei slope[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*. (in Chinese), 2004, 25(6): 588~591.
- [5] 汤井田,张继锋,冯兵,等. 井地电阻率法歧离率确定高阻油气藏边界[J]. *地球物理学报*, 2007, 50(3): 926~931.
Tang J T, Zhang J F, Feng B, *et al.* Determination of borders for resistive oil and gas reservoirs by deviation rate using the holeter surface resistivity method. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2007, 50(3): 926~931.
- [6] 范军侠,梁锋,田永. 海南地区东三段水下分河道砂体的识别与预测[J]. *地球物理学进展*, 2007, 22(1): 142~146.
Fan J X, Liang F, Tian Y. Identify and predication of distributary channel sand body under water in Dong-3 section of Hainan area [J]. *Progress in Geophysics*. (in Chinese), 2007, 22(1): 142~146.
- [7] 宋子齐,潘艇,程英,等. 利用测井曲线研究沉积微相及其含油有利区展布[J]. *中国石油勘探*, 2007, 12(4): 37~41.
Song Z Q, Pan T, Cheng Y. Reserch on sedimentary microfacies and distribution of favorable petroliferous area using logging curves [J]. *China petroleum exploration*. (in Chinese), 2007, 12(4): 37~41.
- [8] 宋子齐,李亚玲,潘玲黎,等. 测井资料在小洼油田盖层评价中的应用[J]. *油气地质与采收率*, 2005, 12(4): 4~6.
Song Z Q, Li Y L, Pan L L. Application of well-log information to caprock evaluation in Xiaowa oilfield [J]. *Petroleum geology and recovery efficiency*. (in Chinese), 2005, 12(4): 4~6.
- [9] 宋子齐. 测井多参数的地质应用[M]. 西安:西北工业大学出版社, 1993: 110~140.
Song Z Q. Geologic application of log parameter [M]. Northwestern Polytechnical University Press in Xi'an, 1993: 110~140.
- [10] 谭茂金,张庚骥,运华云,等. 非轴对称条件下用三维模式匹配法计算电阻率测井响应[J]. *地球物理学报*, 2007, 50(3): 939~945.
Tan M J, Zhang G J, Yun H Y, *et al.* 3-D numerical mode-matching (NMM) method for resistivity logging responses in nonsymmetric conditions. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2007, 50(3): 939~945.
- [11] 宋子齐,程国建,杨立雷,等. 利用测井资料精细评价特低渗透储层的方法[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(6): 595~599.
Song Z Q, Cheng G J, Yang L L. A method for fine evaluation in extra-low permeability reservoirs using logging data[J]. *Petroleum Geology & Experiment*. (in Chinese), 2006, 28(6): 595~599.
- [12] 孙建孟. 低电阻率油气层评价技术[J]. *石油学报*, 1998, 19(3): 83~88.
Sun J M. Evaluation technique of low resistivity hydrocarbon reservoir[J]. *Acta Petrolei Sinica*[J]. (in Chinese), 1998, 19(3): 83~88.
- [13] 李浩,刘双莲. 浅论海外测井技术评价方法[J]. *地球物理学进展*, 2008, (1): 206~209.
Li H, Liu S L. The means of oversea well logging study Chinese J. *Progress in Geophysics*. (in Chinese), 2008, (1): 206~209.
- [14] 吴子泉,尹成. 电阻率横向剖面法及其在隐伏断层探测中的应用研究[J]. *地球物理学报*, 2007, 50(2): 625~631.
Wu Z Q, Yin C. Application of Schlumberger transverse profiling method to detecting buried faults. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2007, 50(2): 625~631.
- [15] 刘爱群,盖永浩. 测井约束反演过程中测井资料统计分析研究[J]. *地球物理学进展*, 2007, (5): 1487~1492.
Liu A Q, Gai Y H. Analysis and research of log information in the process of oil well logging restraint inversion [J]. *Chinese J. Progress in Geophysics*. (in Chinese), 2007, (5): 1487~1492.
- [16] 张福明,查明,邵才瑞,印兴耀. 天然气的测井勘探与评价技术[J]. *地球物理学进展*, 2007, 22(1): 179~185.
Zhang F M, Zha M, Shao C R, Yin X Y. Technology of natural gas exploration and evaluation based on well-logging data[J]. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2007, 22(1): 179~185.
- [17] 赵培华. 油田开发水淹层测井技术[M]. 北京:石油工业出版社, 2003: 106~185.
Zhao P H. Logging technology of oilfield development swept layer[M]. Petroleum Industry Press in Beijing. 2003: 106~185.
- [18] 宋子齐,程国建,王静,等. 特低渗透油层有效厚度确定方法研究[J]. *石油学报*, 2006, 27(6): 103~106.
Song Z Q, Cheng G J, Wang J. Determination of effective thickness for oil reservoirs with extra-low permibility [J]. *Acta petrolei sinica*(in Chinese), 2006, 27(6): 103~106.
- [19] 高增文,郑西来,徐芹选,等. 应用电阻率法确定浅水砂质沉积物中的扩散系数[J]. *地球物理学进展*, 2008, (1): 276~279.
Gao Z W, Zheng X L, Xu Q X, *et al.* Estimation of bulk diffusion coefficients in nearshore sandy sediments by

- resistivity method. Chinese J. Progress in Geophysics . (in Chinese), 2008,(1):276~279.
- [20] 曾大乾,李淑贞. 中国低渗透砂岩储层类型及地质特征[J]. 石油学报,1994,15(1):38~45.
Zeng D Q, Li S Z. Low permibility sandstone reservoir category & geologic characteristic in China. Acta Petrolei Sinica[J]. (in Chinese),1994,15(1):38~45.
- [21] 高兴军,宋子齐,程仲平,等. 影响砂岩油藏水驱开发效果的综合评价方法[J]. 石油勘探与开发,2003,30(2):68~69.
Gao X J, Song Z Q, Cheng Z P, *et al.* Comprehensive evaluation method of affectting sandstone reservoir waterflood development effect[J]. Petroleum Exploration And Development (in Chinese),2003,30(2):68~69.
- [22] 宋子齐,刘青莲,陈荣环,等. 灰色系统评价特低渗油藏的方法研究及应用[J]. 油气地质与采收率,2004,11(1):1~3.
Song Z Q, Liu Q L, Chen R H, *et al.* Method reserch and application of gray system in evaluating extra-low permeability oil reserviors [J]. Petroleum Geology And Recovery Efficiency. (in Chinese), 2004,11(1):1~3.
- [23] 宋子齐,杨立雷,程英,等. 非均质砾岩储层综合评价方法[J]. 石油实验地质,2007,29(4):415~419.
Song Z Q, Yang L L, Cheng Y. Composite evaluation method of aeolotropic conglomerate reservoir[J]. Petroleum Geology & Experiment. (in Chinese), 2007, 29(4): 415 ~ 419.
- [24] 蒋凌志,顾家裕,郭斌程. 中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理[J]. 沉积学报,2004,22(1):13~18.
Jiang L Z, Gu J Y, Guo B C. Clastic rock low permeability reservoir characteristic & diagenetic mechanism of petroliferous basin in China[J]. Acta Sedimentologica Sinica. (in Chinese),2004,22(1):13~18.
- [25] 李茂榕,王宏亮. 博兴洼陷西部沙三段有利储集砂体分布探讨[J]. 地球物理学进展,2007,22(5):1527~1532.
Li M R, Wang H L. Profitable reservoir sand body distribution research of Sha-3 section in western of Bo-xing bottomland[J]. Progress in Geophysics. (in Chinese), 2007, 22(5):1527~1532.
- [26] 李云,李鹏,颜虹. 莫西庄地区三工河组二段储层特征评价[J]. 地球物理学进展,2007,22(1):227~233.
Li Y, Li P, Yan H. Reservoir characteristic evaluation of 2 section 3 Gonghe group in Moxizhuang area[J]. Progress in Geophysics. (in Chinese),2007,22(1):227~233.