

文章编号:1009-9603(2022)06-0039-10

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.202104033

面向开发的河流相储层沉积微相精细描述技术

——以林樊家油田 LZ9 块馆陶组为例

朱孟高¹, 杨兆刚², 陈雷², 吕维刚², 钱水华², 焦海燕², 冷彦云³

(1. 中国石化胜利油田分公司, 山东 东营 257000; 2. 中国石化胜利油田分公司 滨南采油厂, 山东 滨州 256600; 3. 胜利油田盛光科技发展有限责任公司, 山东 东营 257000)

摘要:利用测井相定量识别技术,在快速、高效识别单井沉积微相的基础上,对林樊家油田 LZ9 块馆陶组进行覆盖全区的连井沉积微相对比,结合古地貌、地震属性以及油水关系平面分布特征,多参数耦合分析,精细刻画馆陶组 4 砂组 6(Ng⁴)小层沉积微相砂体边界。结果表明:LZ9 块馆陶组为河流相沉积,主要发育河道、天然堤、决口扇和泛滥平原沉积微相。Ng⁴小层发育 NW—SE 向河道,河道砂体全区广泛发育,呈条带状展布,延伸远(3~5 km),宽度大(>600 m);天然堤呈窄条带状或豆荚状发育于河道两侧,呈断续分布,宽度一般小于 100 m;河道砂体连通性较好,注采收效大;天然堤储层横向连通性差,注采收效低。

关键词:面向开发;高密度井网;河流相;测井相定量识别技术;平面相识别技术;林樊家油田

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Development-oriented fine description technology of sedimentary microfacies in fluvial reservoir: A case study of Ng in block LZ9 of Linfanjia Oilfield

ZHU Menggao¹, YANG Zhaogang², CHEN Lei², LÜ Weigang², QIAN Shuihua², JIAO Haiyan², LENG Yanyun³

(1. SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying City, Shandong Province, 257000, China; 2. Binnan Oil Production Plant, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Binzhou City, Shandong Province, 256600, China; 3. Shengli Oilfield Grand Sunshine Technology Development Co., Ltd., Dongying City, Shandong Province, 257000, China)

Abstract: By quantitative identification technology of well logging facies, this paper rapidly and efficiently identified sedimentary microfacies of a single well and fully compared the sedimentary micro-facies of Neogene Guantao Formation (Ng) in block LZ9 of Linfanjia Oilfield. Furthermore, the boundary of each sand body in the 6th Submember of the 4th Member of Neogene Guantao Formation (Ng⁴) was finely described through multi-parameter coupling analysis in terms of paleogeomorphology, seismic attributes, and plane distribution characteristics of oil and water. According to the fine description, Ng in block LZ9 belongs to fluvial facies sediments which mainly develop sedimentary microfacies of the channel, natural levee, crevasse splay, and flood plain. The course of the channel in Ng⁴ is NW-SE, and the sand bodies are widely developed in the channel. These sand bodies have a banding distribution and extend as far as 3-5 km, with a width of more than 600 m. The natural levee is intermittently distributed in a narrow band or pod structure on both sides of the channel, with a width of less than 100 m. The connectivity of sand bodies in the channel is positive, and the injection-production efficiency is high. However, the lateral connectivity of the natural levee reservoir is poor, and the injection-production efficiency is low.

Key words: development-oriented; high density well pattern; fluvial facies; quantitative identification technology of well logging facies; identification technology of plane sedimentary facies; Linfanjia Oilfield

林樊家油田 LZ9 块于 1988 年投入开发,目前已 有 313 口开发井,为高密度井网开发区块。其中,馆

收稿日期:2021-04-30。

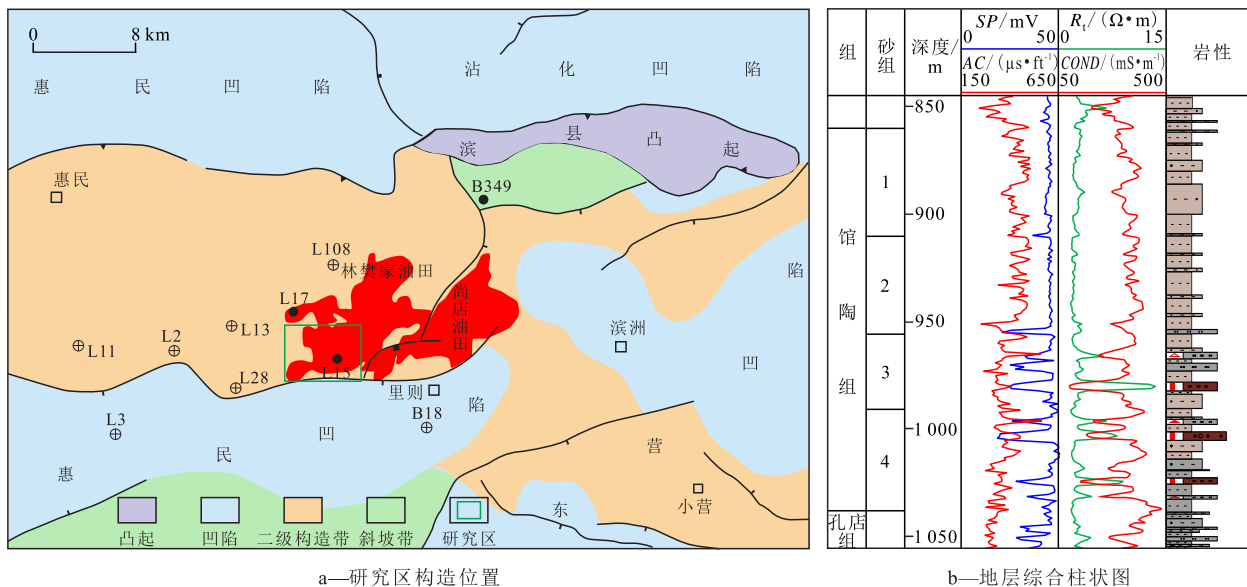
作者简介:朱孟高(1969—),男,山东聊城人,高级工程师,硕士,从事油气田开发工作。E-mail:zhumenggao.slyt@sinopec.com。

陶组4砂组(Ng4)为主力油层,发育河流相沉积,储层纵、横向变化快,平面非均质性强,注采矛盾突出。以往对高密度井网沉积微相的识别往往局限于测井微相识别,利用自然电位、自然伽马曲线的形态及韵律定性地测井相识别,按照井间1/2确定相边界。据此编绘的沉积相图在实际开发中有很多注采矛盾难以合理解释,且研究区岩心、录井资料少,不足20口井;为此,以测井、地震资料相结合,对比分析Ng4岩心、测井、油藏,以已钻井测井相识别及地震辅助相边界刻画为手段,建立以自然电位(SP)、声波时差(AC)、泥质含量(V_{sh})、孔隙度(POR)、砂体厚度(h)等为主要参数的河流相储层沉积微相精细描述技术,形成以测井相识别为主,以古地貌定趋势,多参数耦合定边界技术,实现了研究区Ng4主力油层的沉积微相测井相定量识别及平

面精细刻画。研究成果可以明确各沉积微相成藏差异及注采特征,对研究区精细注采挖潜具有重要意义。

1 区域地质概况

林樊家油田位于东营凹陷与惠民凹陷之间,林樊家凸起以西,整体为一大型披覆构造。LZ9块位于林樊家油田西南部,南靠林南大断层(图1)。研究区构造简单,馆陶组从下至上分为4个砂组,分别为Ng4—Ng1,各砂组发育NE倾向的宽缓大型鼻状构造,幅度小,倾角为 $0.3^{\circ} \sim 0.8^{\circ}$,无明显断层。孔店组沉积后上升隆起,经历长期风化剥蚀,至馆陶组再次接受沉积。缺失沙河街组和东营组,馆陶组直接超覆披覆在孔店组之上,呈角度不整合^[1]。Ng4



a—研究区构造位置 b—地层综合柱状图

图1 LZ9块构造位置及地层综合柱状图

Fig.1 Tectonic location and comprehensive strata of block LZ9

为林樊家油田的主力砂组,划分为Ng4¹—Ng4⁷共7个小层。地层厚度多为40~60 m,储层岩性主要为细-粉细砂岩。

2 沉积特征

2.1 沉积岩石学特征

研究区馆陶组岩性以粉砂岩、细砂岩为主,薄层砂包泥互层组合,砂体单层厚度为0.4~8 m,地震剖面上呈断续透镜状,平面上砂体叠合连片。砂岩粒度累积概率曲线为两段型,缺乏滚动总体,跳跃总体与悬浮总体之间的截点为 $2.8 \sim 3.5 \phi$,C-M图呈S型,QR段基本与C=M基线平行(图2)。

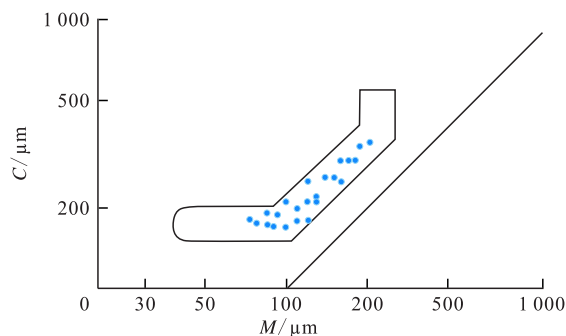


图2 LZ9块LZ2井Ng4 C-M图

Fig.2 Ng4 C-M diagram of Well LZ2 in block LZ9

2.2 沉积构造特征

LZ9块馆陶组为河流相沉积,主要发育河道、天然堤、决口扇和泛滥平原等沉积微相^[3-4]。河道微相

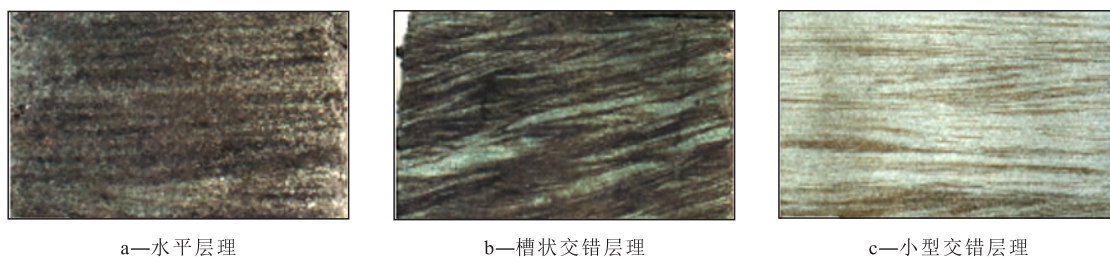


图3 LZ9块Ng4沉积构造

Fig.3 Sedimentary structure of Ng4 in block LZ9

以细砂岩、粉砂岩为主,发育水平层理(图3a)、槽状交错层理(图3b);天然堤微相以薄层粉砂岩、泥质粉砂岩为主,发育小型砂纹层理、水平层理;决口扇微相以粉砂岩为主,发育小型交错层理(图3c),常见反韵律;泛滥平原微相以泥质粉砂岩和泥岩沉积为主,具水平层理及生物扰动构造,无韵律结构^[2]。

2.3 沉积模式

LZ9块Ng河流相沉积具有粒度细(粉砂岩为主)、河道宽(宽度大于600 m)、河漫窄(宽度一般小于100 m)、弯度低(弯度指数小于1.5)、分叉少等特征,是相互连通的多河道组成的低能复合体(图4)。

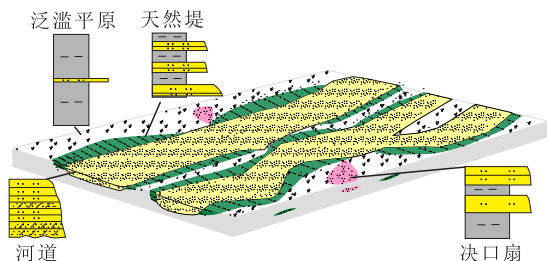


图4 LZ9块Ng河流相沉积模式

Fig.4 Sedimentary model of fluvial facies of Ng in block LZ9

3 测井相精细识别

由于研究区取心井资料有限,要达到精细刻画沉积微相的目的,需建立岩心相与测井相间的关系。主要流程包括:①根据取心井的沉积微相识别结果,选取敏感测井曲线。②进行测井曲线校正及转换。③建立测井相识别模板,将测井曲线与沉积微相进行标定。④采用神经网络模型识别沉积微相。

3.1 敏感测井曲线选取

对于高密度井网的油藏开发区,测井相识别是进行沉积微相划分的重要环节^[5-8]。自然电位、自然伽马、声波时差是用于测井相识别的主要曲线,其曲线形态、幅度是沉积微相识别的重要参数,而测井环境如井径、泥浆密度与矿化度等以及测井仪器

外径、间隙等非地层因素,不可避免地对测井曲线产生影响,致使直接用这些测井曲线难以取得较好的测井处理、解释效果。在岩心“刻度”测井过程中发现自然电位曲线井间基线、幅度均存在差异,大量井间测井相的判识标准难以统一,易造成误判。尤其是厚度小于2 m的砂体,天然堤、河道微相自然电位曲线特征比较接近,声波时差曲线特征不明显,稳定性较差,识别难度较大。而泥质含量、孔隙度曲线形态和幅度与沉积微相则具有较好的对应关系。因此,在缺少自然伽马曲线(注:原文如此)的情况下,借助泥质含量和孔隙度曲线,结合自然电位曲线形态、幅度及砂岩厚度等辅助划分测井微相,使得沉积微相判识准确度大幅提高。例如,研究区LZ3-64井Ng4的9号砂体厚度接近2 m,自然电位曲线幅度较大,表现为中幅钟型,声波时差曲线与邻近上覆8号河道砂体的曲线形态相似,易将其识别为河道微相,而借助于泥质含量、孔隙度曲线综合判识后,将其识别为天然堤微相,与研究区沉积相带的平面分布及油水关系分布规律更相符(图5)。

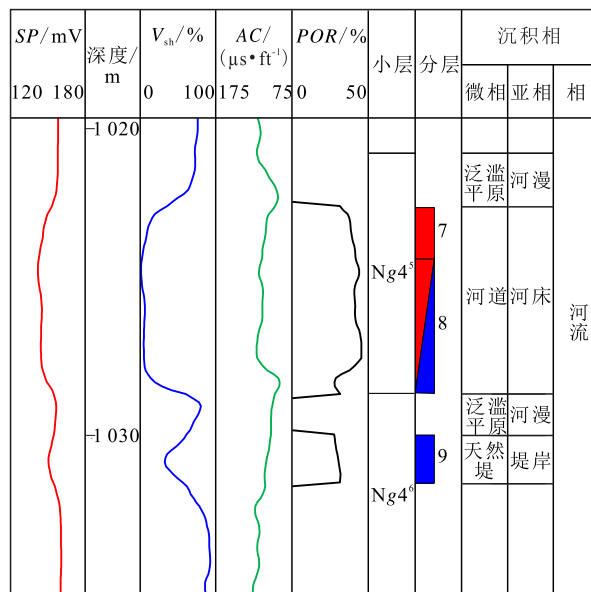


图5 LZ3-64井单井相分析图

Fig.5 Facies analysis diagram of Well LZ3-64

3.2 测井曲线校正及转换

测井曲线校正及转换的步骤包括:①对自然电位曲线进行基线漂移校正,对声波时差曲线进行系统校正及井壁垮塌造成的异常校正,消除系统误差。②对井间曲线幅度进行一致性处理^[9-10],使研究区所有同类测井数据具有统一的刻度水平,以消除非地质因素的影响,实现多井对比与综合评价。③利用测井曲线求取泥质含量曲线,通过声波时差求取孔隙度曲线。其公式分别为:

$$C = \frac{SP - SP_{min}}{SP_{max} - SP_{min}} \quad (1)$$

$$V_{sh} = \frac{2^{CUR \times C} - 1}{2^{CUR} - 1} \quad (2)$$

$$\phi_t = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \times \frac{1}{C_p} - V_{sh} \times \frac{\Delta t_{sh} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \quad (3)$$

3.3 测井相识别模板建立

基于自然电位、泥质含量、孔隙度、砂岩厚度等曲线,建立识别河流相各沉积微相的关系模板(图6)。

河道 岩性主要为粉砂岩、细砂岩,具有典型河流相正韵律垂向特征,层理较为发育。自然电位、泥质含量曲线表现为高幅箱型、钟型,对称型较少,自然伽马曲线幅度较低,自然电位曲线幅度高。泥质含量低于25%,孔隙度为25%~45%,砂岩单层

厚度大于1.5 m。

天然堤 岩石类型简单,沉积物为极细的砂岩和粉砂岩。自然电位曲线为低幅钟型、丘型、指型,其幅度低,自然伽马曲线幅度较高。泥质含量为20%~70%,孔隙度为15%~35%,砂岩单层厚度小于2 m。

决口扇 为洪水冲决天然堤在其外侧形成的扇形沉积体。沉积物以细砂、粉砂岩为主,粒度较天然堤粗。发育中小型交错层理、波状层理。自然电位曲线呈漏斗型,自然电位、自然伽马曲线幅度中等。泥质含量为20%~40%,孔隙度为15%~30%。

泛滥平原 自然电位曲线平直,泥质含量大于70%。

3.4 基于神经网络模型的沉积微相识别

据已知沉积微相模板,优选并提取能反映各种沉积微相特征的定量参数:砂岩厚度、自然电位、泥质含量、声波时差、孔隙度曲线,并将其分别赋值,运用MATLAB中的神经网络模型^[11-14],将所提取的特征参数向量作为训练样本,根据极小原则,不断调整输入向量到输出向量的权重向量,直至理论输出与实际输出误差平方和达到最小,其表达式为:

$$E = \sum_{j=1}^N (t_{ij} - o_{ij})^2 \quad (4)$$

沉积微相	测井相示例						测井相描述	泥质含量/%	孔隙度/%	砂岩厚度/m
河道	SP/mV 0 60	V _{sh} /% 0 100	深度/m 650 2000	AC/(μs·ft) 650 2000	POR/% 50	小层	高幅箱型、钟型	2.5~25	25~45	1.5~8.7
天然堤	SP/mV 20 80	V _{sh} /% 0 100	深度/m 650 2000	AC/(μs·ft) 650 2000	POR/% 50	小层	低幅钟型、丘型、指型	20~70	15~35	<2
决口扇	SP/mV 10 80	V _{sh} /% 0 100	深度/m 650 2000	AC/(μs·ft) 650 2000	POR/% 50	小层	漏斗型	20~40	15~30	2~6
泛滥平原	SP/mV -20 80	V _{sh} /% 0 100	深度/m 650 2000	AC/(μs·ft) 650 2000	POR/% 50	小层	平直型	>70	0	0

图6 LZ9块Ng4测井相特征

Fig.6 Characteristics of well logging facies of Ng4 in block LZ9

隐藏层表达式为:

$$Y = f(X, W_i) = \exp\left[-\frac{(X - W_i)^T (X - W_i)}{2\delta^2}\right] \quad (5)$$

其中:

$$\delta = t_{ij} - o_{ij} \quad (6)$$

将样本中某一类沉积微相对应的所有输出值相加得到该沉积微相的判识函数,其表达式为:

$$f(Y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \delta^n k_i} \sum_{j=1}^{k_i} \exp\left[-\frac{(Y - Y_{ij})^T (Y - Y_{ij})}{2\delta^2}\right] \quad (7)$$

最终,以概率密度函数值最高的沉积微相作为判识结果。该方法可以进行批量处理,也可以提高厚度小于2 m的薄层砂岩沉积微相的判识度,同时也消除了曲线间因幅度不同带来的误判。通过识别、调整权值,实现对未知沉积微相的自动识别。

选用30口井1 003个学习样本进行训练,经50次试验,搜索出各变量的最佳权重,建立研究区4种沉积微相类型的判别模式,最终训练误差为0.2%。表1为部分学习样本参数。根据所建沉积微相模式进行判别,该神经网络模型分析的沉积微相结果与地质专家分析结果一致性较高(表2)。通过100个样本进行验证,其准确率达98%。

4 沉积微相平面精细刻画

在测井相平面识别的基础上,结合Ng4⁶古地貌、地震属性特征分析砂体的连通性及相边界细微变化,对其沉积微相展布特征进行精细刻画,大大提高了沉积微相的平面相识别精度。

4.1 古地貌定趋势

Ng4⁶沉积时期,研究区地形平缓,发育多条沟谷并相互交织成网状。沟谷主体方向呈SE向展布(图7a);沿沟谷轴线展布的砂体自然电位曲线多为箱型,也可见钟型;沿中轴线向两侧延伸的砂体,其自然电位曲线多呈指型,偶见低幅钟型、丘型(图7b);说明沟谷中部主体主要发育河道沉积,沟谷侧翼及古梁则为天然堤及泛滥平原沉积。古地貌冲沟控制河道砂体走向,沟谷规模控制砂体发育程度。古地貌低洼的区域可容空间大,砂体厚度较大;古地貌较高的地方,砂体厚度薄。因此,将测井相与古地貌沉积厚度的对应关系结合可进行沉积微相划分。

4.2 多参数耦合定边界

由于河流相储层具有相带窄、变化快等特征,仅依据测井相分析沉积微相存在一定误差。井与井之间的空白带如何精细刻画,需借助地震资料的

表1 神经网络模型部分学习样本
Table1 Probabilistic neural network learning samples(part)

井号	深度/m	自然电位曲线形态	自然电位/mV	砂岩厚度/m	泥质含量/%	声波时差/($\mu\text{s}\cdot\text{ft}^{-1}$)	孔隙度/%	沉积微相类型
LZ3-24	1 040.6~1 043.9	高幅钟型	-17.1	3.3	12.0	380.5	31.2	河道
LZ3-34	1 031.4~1 034.5	高幅钟型	-14.4	3.1	9.4	440.1	39.5	河道
LZ3-70	1 033.3~1 035.0	高幅钟型	-11.9	1.7	14.6	374.9	30.3	河道
LZ4-22	1 027.8~1 032.5	箱型	-9.5	4.7	15.2	376.0	30.8	河道
LZ6	1 022.3~1 025.1	高幅钟型	-12.7	2.8	19.1	383.0	31.8	河道
LZ7-12	1 021.6~1 023.4	高幅钟型	-8.9	1.8	11.4	400.7	34.4	河道
LZ9-20	1 023.6~1 025.3	高幅钟型	-7.5	1.7	9.6	409.1	36.1	河道
LZ1	1 017.4~1 018.3	丘型	-5.5	0.9	30.7	462.9	24.5	天然堤
LZ3-8	1 040.3~1 041.4	丘型	-9.6	1.1	32.6	358.5	28.1	天然堤
LZ3-24	1 034.1~1 035.5	指型	-8.3	1.4	39.9	376.3	26.5	天然堤
LZ3-62	1 028.6~1 030.6	低幅钟型	-8.7	2.0	41.7	389.5	31.7	天然堤
LZ10-16	1 020.9~1 027.6	漏斗型	-9.6	6.7	27.9	361.7	28.5	决口扇
LZ14X22	1 150.0~1 154.1	漏斗型	-7.3	4.1	23.9	353.4	27.0	决口扇
LZ15X12	1 094.5~1 097.8	漏斗型	-3.7	3.3	30.7	372.8	20.9	决口扇
LZ10-4	1 005.0~1 010.0	平直型	-1.5	0	80.0	422.0	0.0	泛滥平原
LZ11-10	1 011.0~1 018.2	平直型	0.0	0	100.0	512.0	0.0	泛滥平原
LZ12-25	1 019.5~1 026.0	平直型	-1.0	0	85.0	452.8	0.0	泛滥平原

表2 神经网络模型和人工划分的沉积微相对比
 Table2 Comparison of sedimentary microfacies between probabilistic neural network and manual interpretation

井号	沉积微相深度 /m		沉积微相类型	
	地质划分	测井划分	神经网络模型划分	人工划分
LZ3-62	1 034.9 ~ 1 037.0	1 035.0 ~ 1 037.0	河道	河道
LZ3X28	1 060.6 ~ 1 065.0	1 060.6 ~ 1 063.3	河道	河道
LZ3X28	1 060.6 ~ 1 065.0	1 063.3 ~ 1 065.0	河道	河道
LZ3X30	1 081.5 ~ 1 085.8	1 081.5 ~ 1 085.8	河道	河道
LZ3-58	1 019.5 ~ 1 039.0	1 019.5 ~ 1 039.0	河道	河道
LZ4XN201	1 122.7 ~ 1 124.4	1 122.7 ~ 1 124.4	天然堤	天然堤
LZ3X74	1 087.0 ~ 1 088.3	1 087.0 ~ 1 088.3	天然堤	决口扇
LZ4C22	1 019.5 ~ 1 041.0	1 019.5 ~ 1 041.0	决口扇	决口扇
LZ15X12	1 082.0 ~ 1 091.0	1 064 ~ 1 094.5	泛滥平原	泛滥平原
LZ16-16	1 014.0 ~ 1 020.0	998.6 ~ 1 021.6	泛滥平原	泛滥平原

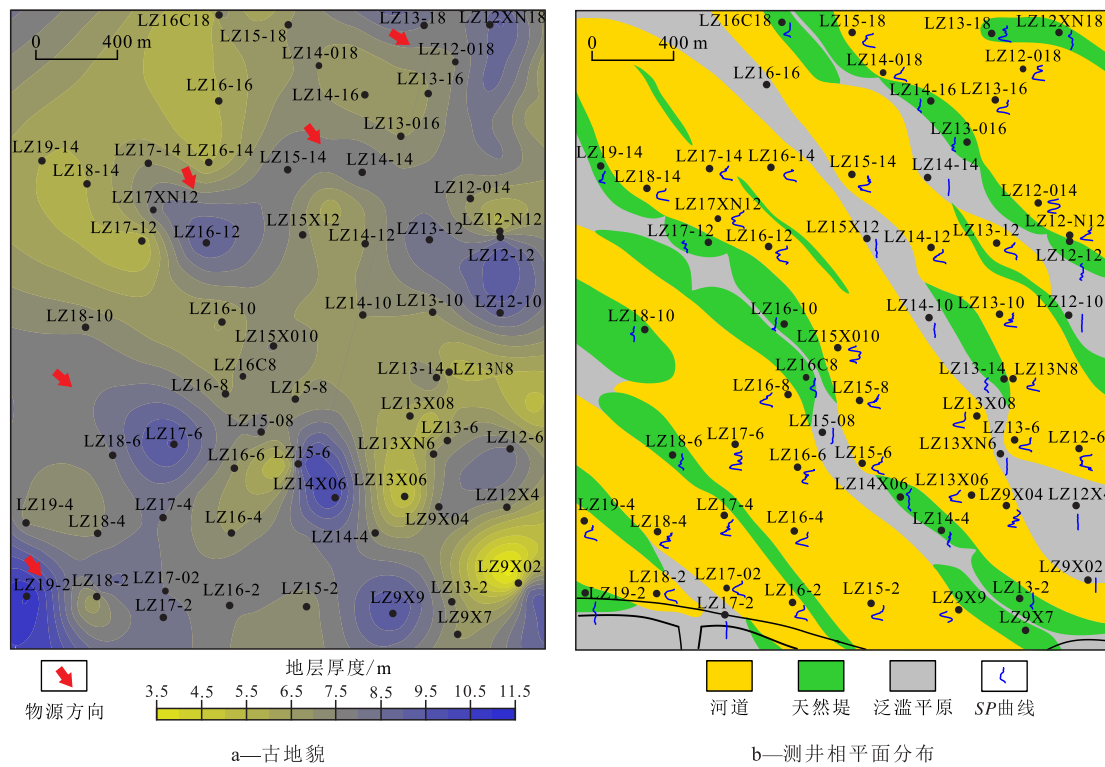


图7 LZ9块Ng⁴₆古地貌与测井相平面分布

Fig.7 Paleogeomorphology and well logging facies of Ng⁴₆ in block LZ9

连续性来填补^[15-17]。因不同河道、不同微相砂体间的岩性组合不同、厚度不同,且叠置关系存在差异,因此相带的敏感属性也有差别,基于单一地震属性完全表征研究区沉积微相符合率较低。由图8可以看出,砂体边部及相带结合部的地震反射表现为相位错动、反转或频率突变等特征,通过细分构造、沉积单元,采用相干、频率等属性可以进行相带边界检测。Ng⁴₆垂向上叠置程度低,局部以测井相识别为约束,选取相干、瞬时频率等敏感地震属性,以属

性转换边界作为相边界进行沉积微相平面精细刻画,其结果与沉积规律吻合较好。受沉积组合、地震分辨率等差异的影响,不同属性之间识别的边界局部虽存在微小差异,但总体判识结果较为一致(图9)。不同的沉积微相条带间大多存在相干(图9a)及瞬时频率(图9c)突变边界,LZ14-14井测井相为平直型,处于相干属性低值区;LZ14-12井测井相为钟型,处于相干属性高值区,二者属于不同的沉积微相,可根据相干属性图确定沉积微相边界。

LZ16-14井与LZ15-14井相邻,且均为河道微相,按照测井相可将其划分为同一河道,但地震特征表现为二者分别位于不同的相干属性条带和不同的瞬时频率条带中,应为不同的河道微相,因此根据相干属性、瞬时频率等参数确定沉积微相边界。

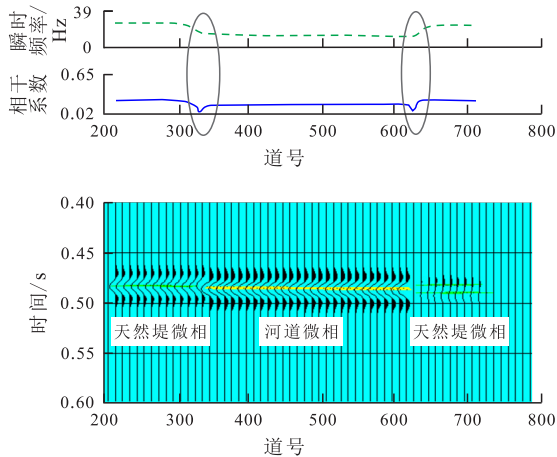


图8 LZ9块Ng4敏感属性正演分析

Fig.8 Forward modeling analysis of sensitive attributes of Ng4 in block LZ9

5 应用实例分析

基于岩心标定、测井定量识别及古地貌、多参数耦合相边界识别等方法编绘LZ9块沉积相图,提高了沉积微相判识准确度及预测精度。主要表现在以下方面:①测井相判识准确度提高。基于泥质含量、孔隙度、砂层厚度等参数的定量识别,对部分井自然电位曲线幅度在半幅左右的微相类型进行了修正,如LZ16-C8和LZ14-16等井河道微相改为天然堤微相。②沉积微相及储层厚度展布规律得到

了修正^[18]。原来认为Ng4⁶河道微相呈网状分布(图10a),新的研究表明,河道微相呈多个NW向条带状展布(图10b)。根据沉积微相展布特征,沿河道走向,砂体呈连续分布,河道中心砂岩厚度大、边缘薄;天然堤储层更薄、泛滥平原储层不发育。Ng4⁶储层比较发育,原来认为砂岩全区大面积连片分布,局部开天窗(图11a)。以相控模式为指导的砂岩分布结果显示呈NW向条带状展布,厚度变化较小,砂体边缘薄,中间厚,最小厚度为0.2 m,最大厚度为8.7 m,平均厚度仅为2.3 m(图11b)。新沉积相及砂岩展布规律与区域上馆陶组西北方向物源总体趋势一致,更符合沉积规律。③油气成藏规律认识进一步提高。原来认为LZ9块Ng4⁶砂体连通,具有统一的油水系统。在新的相控储层认识下,通过油藏解剖与沉积微相的对应关系分析,Ng4⁶主要油藏类型为岩性油藏,不同相带砂体不连通,具有不同的油水系统。河道高部位为油,低部位为水,边底水特征明显。天然堤物性控藏,由于物性差,油层、干层、水层分布复杂,充满度较低,以油水同层、水层、干层为主,油层主要分布在储层物性稍好的区带。同一河道不同部位对应的天然堤储层物性不同,成藏特征不同,具有干层、油水同层、水层、油层并存的特点,说明天然堤储层具有较强的横向非均质性(图10)。④新的沉积相带、储层、油气成藏特征很好地解释了以往注采效果不理想的原因。位于天然堤微相的注水井,注采效果基本都不理想,如LZ16-8和LZ16-C18井。LZ16-8井原来认为是河道微相,现认为是天然堤微相,储层物性差,砂体连续性差,基本上注不进水。另外,同为河道微

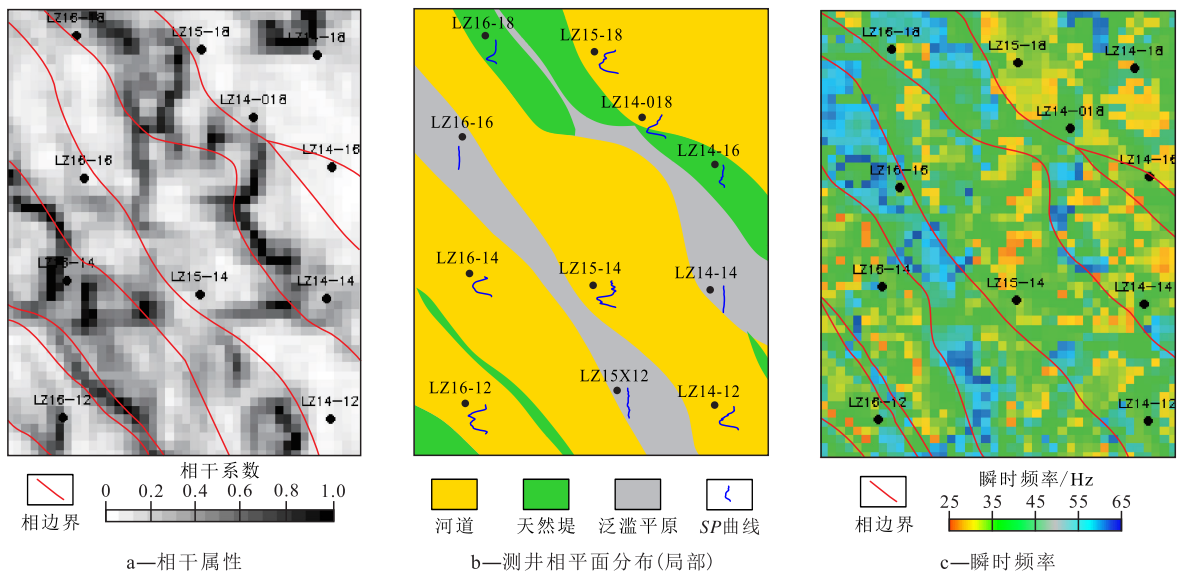


图9 LZ9块Ng4⁶地震瞬时频率分析

Fig.9 Seismic instantaneous frequency analysis of Ng4⁶ in block LZ9

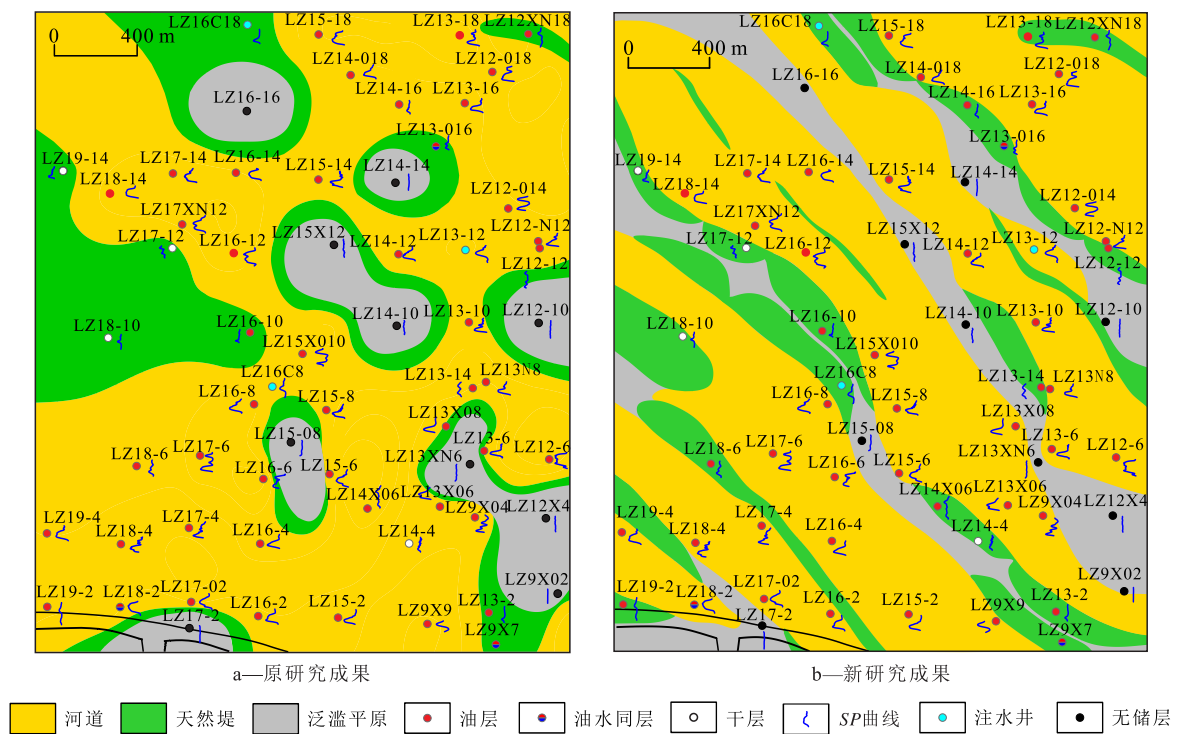


图10 LZ9块Ng4⁶沉积微相发育特征

Fig.10 Comparison between old and new sedimentary microfacies characteristics of Ng4⁶ in block LZ9

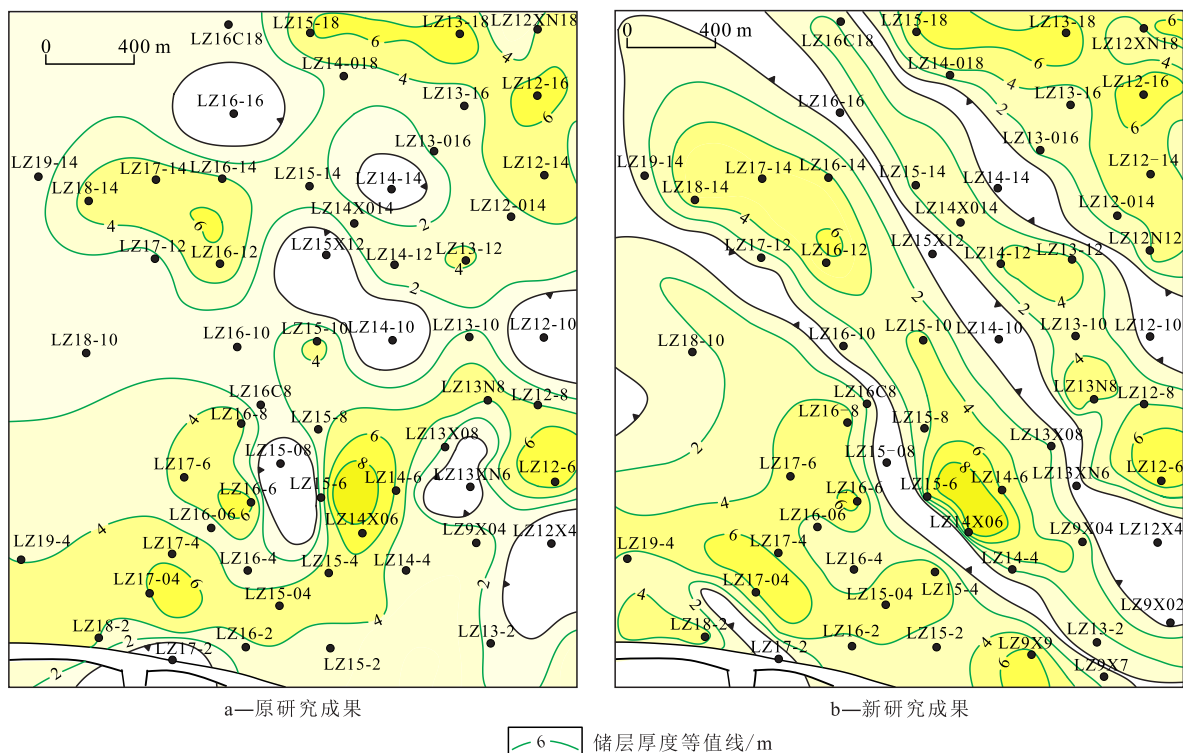


图11 LZ9块Ng4⁶储层发育特征

Fig.11 Comparison between old and new reservoir characteristics of Ng4⁶ in block LZ9

相,但处于不同的河道,注采也不见效。LZ13-12和LZ12-014井原来认为两口井是同一河道,而LZ13-12井注水,LZ12-014井不见效,这与新研究结果认为两口井属于不同河道是一致的(图10b)。

6 结论

林樊家油田 LZ9 块 Ng4⁶ 为河流相沉积,发育河

道、天然堤、决口扇、泛滥平原等沉积微相。基于自然电位、泥质含量曲线形态、幅度及孔隙度、砂岩厚度等参数,利用神经网络模型进行沉积微相定量识别,提高判识精度。以测井相分析为主,古地貌、地震属性分析为辅,结合油水关系及属性特征分析砂体的连通性及沉积微相的细微变化,细化沉积微相展布。结果表明:研究区馆陶组主要油藏类型为岩性油藏,不同相带砂体不连通,具有不同的油水系统。河道高部位为油,低部位为水,边底水特征明显。天然堤物性控藏,油层、干层、水层分布复杂,油层主要分布在储层物性稍好的区带。河道砂体注采效果较好,天然堤注采效果较差。

符号解释

C ——自然电位相对值,无量纲;
 C_p ——声波压实校正系数,无量纲;
 E ——理论输出与实际输出误差平方和,无量纲;
 $GCUR$ ——与地层有关的经验系数,无量纲;
 i ——训练样本个数;
 N, j, n ——样本的特征参数个数, $j = 1, 2, \dots, N$;
 k_i ——某沉积微相的模式样本个数;
 o_{ij} ——理论输出向量,无量纲;
 SP ——目的层自然电位, mV;
 SP_{\min} ——纯砂岩地层的自然电位, mV;
 SP_{\max} ——纯泥岩地层的自然电位, mV;
 t_{ij} ——实际输出向量,无量纲;
 V_{sh} ——泥质含量, %;
 W_i ——输入向量到输出向量的权重向量,无量纲;
 X ——输入特征参数向量,无量纲;
 Y ——某沉积微相的样本向量,无量纲;
 Y_{ij} ——某沉积微相的第 i 个样本向量,无量纲;
 Δt ——目的层声波时差, $\mu\text{s}/\text{ft}$;
 Δt_f ——地层流体声波时差, $\mu\text{s}/\text{ft}$;
 Δt_{ma} ——岩石骨架声波时差, $\mu\text{s}/\text{ft}$;
 Δt_{sh} ——泥岩声波时差, $\mu\text{s}/\text{ft}$;
 δ ——理论输出向量与实际输出向量之间的差,无量纲;
 ϕ_t ——声波时差计算孔隙度, %。

参考文献

- [1] 鲍振兴,沈国华,王小霞,等.东营凹陷林樊家地区馆陶组底部油气成藏条件[J].江汉石油学院学报,2003,25(4):24-26.
BAO Zhenxing, SHEN Guohua, WANG Xiaoxia, et al. Hydrocarbon reservoir forming conditions on the bottom of Guantao Formation in Linfanjia Area of Dongpu Depression[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2003, 25(4): 24-26.
- [2] SMITH D G, SMITH N D. Sedimentation in anastomosed river systems: Examples from alluvial valleys near Banff, Alberta [J]. Journal of Sedimentary Research, 1980, 50(1): 157-164.
- [3] 郭敬民,马佳国,孙恩慧,等.曲流河储层精细等效表征新方法及其在开发中的应用——以渤海湾盆地C油田为例[J].油气地质与采收率,2021,28(4):55-62.
GUO Jingmin, MA Jiaguo, SUN Enhui, et al. A new method for fine characterization of meandering river reservoir and its application in oilfield development: A case of C Oilfield, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2021, 28(4): 55-62.
- [4] 赵芸,张昌民,朱锐,等.分支河流体系(DFS)研究进展[J].大庆石油地质与开发,2021,40(6):1-11.
ZHAO Yun, ZHANG Changmin, ZHU Rui, et al. Research progress of the distributive fluvial system(DFS)[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2021, 40(6): 1-11.
- [5] 马世忠,黄孝特,张太斌.定量自动识别测井微相的数学方法[J].石油地球物理勘探,2000,35(5):582-589,616.
MA Shizhong, HUANG Xiaote, ZHANG Taibin. Mathematic method for quantitative automatic identification of logging microfacies [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2000, 35(5): 582-589, 616.
- [6] 孙铁军,冯庆付,刘浩,等.利用测井资料计算机自动识别沉积微相方法研究[J].西北地质,2010,43(3):132-140.
SUN Tiejun, FENG Qingfu, LIU Hao, et al. Method of automatic identification of sedimentary microfacies using well logging data [J]. Northwestern Geology, 2010, 43(3): 132-140.
- [7] 邓瑞,孟凡顺.利用测井曲线精细分层识别沉积微相的方法研究[J].测井技术,2010,34(6):554-558.
DENG Rui, MENG Fanshun. On Logging curves fine delamination to identify sedimentary microfacies [J]. Well Logging Technology, 2010, 34(6): 554-558.
- [8] 马小刚,李子峰,张春梅.测井相分析在岩性油气藏储层预测中的应用[J].勘探地球物理进展,2010,33(1):58-63,81.
MA Xiaogang, LI Zifeng, ZHANG Chunmei. Application of log facies analysis in lithologic hydrocarbon reservoir prediction [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2010, 33(1): 58-63, 81.
- [9] 宋泽章,姜振学,原园,等.“相控”测井曲线标准化及其应用——以鄂尔多斯盆地寺湾地区延长组湖相泥页岩TOC评价为例[J].中国矿业大学学报,2016,45(2):310-318.
SONG Zechang, JIANG Zhenxue, YUAN Yuan, et al. Facies-controlling log curve normalization and its application: a case study of TOC evaluation of lacustrine shale formation of Yanchang series in Xiasiwan district of Ordos basin [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2016, 45(2): 310-318.
- [10] 余秋均.多井测井资料的标准化处理方法——以M油田为例[J].石油地质与工程,2020,34(6):118-122.
YU Qiujun. Research on standardized processing method of multi-well logging data—by taking M oilfield as an example [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2020, 34(6): 118-122.
- [11] 庞国印,田兵,王琪,等.概率神经网络在丽水—椒江凹陷月桂峰组沉积微相识别中的应用[J].地球科学与环境学报,2013,35(3):75-82.
PANG Guoyin, TIAN Bing, WANG Qi, et al. Application of probabilistic neural network to sedimentary microfacies recognition of Yueguifeng Formation in Lishui-Jiaojiang Sag [J]. Journal of

- Earth Sciences and Environment, 2013, 35(3): 75-82.
- [12] 颜世翠. 基于机器学习算法和属性特征双优选的砂体岩性预测方法[J]. 油气地质与采收率, 2022, 29(1): 98-106.
YAN Shicui. Prediction method of sandstone lithology based on optimized machine learning algorithms and attribute features [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2022, 29(1): 98-106.
- [13] 李阳, 代宗仰, 黄蕾, 等. 叠合概率法在碳酸盐岩储层评价中的应用——以辽河坳陷西部凹陷高升地区沙四段为例[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(3): 361-368.
LI Yang, DAI Zongyang, HUANG Lei, et al. Application of overlapping probability method in carbonate reservoir evaluation: a case study on 4th member of Shahejie Formation in Gaosheng area of western sag, Liaohe depression [J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(3): 361-368.
- [14] 李昌, 沈安江, 常少英, 等. 机器学习法在碳酸盐岩岩相测井识别中应用及对比——以四川盆地MX地区龙王庙组地层为例[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(4): 586-596.
LI Chang, SHEN Anjiang, CHANG Shaoying, et al. Application and contrast of machine learning in carbonate lithofacies log identification: A case study of Longwangmiao Formation of MX area in Sichuan Basin [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(4): 586-596.
- [15] 段如泰. 三维地震技术在沉积学研究中的应用[J]. 地质与资源, 2017, 26(4): 397-402.
DUAN Rutai. Application of 3D seismic exploration technologies in sedimentological study [J]. Geology and Resources, 2017, 26(4): 397-402.
- [16] 杨莹莹, 程相振, 崔刚, 等. 基于地震沉积学精细分析饶阳凹陷西部沉积特征[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2019, 16(12): 1-8.
YANG Yingying, CHENG Xiangzhen, CUI Gang, et al. Fine analysis of sedimentary characteristics in the western section of Raoyang Sag based on seismic sedimentology [J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2019, 16(12): 1-8.
- [17] 郭元岭, 刘翠荣, 李红梅, 等. 渤海湾盆地济阳坳陷油藏地震描述有效性技术研究[J]. 石油实验地质, 2021, 43(1): 121-127.
GUO Yuanling, LIU Cuirong, LI Hongmei, et al. Effective techniques for seismic description of reservoirs in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(1): 121-127.
- [18] 王玲, 孙廷彬, 吉亚明, 等. 沉积相分析在岩性油气藏勘探中的应用[J]. 特种油气藏, 2020, 27(3): 21-26.
WANG Ling, SUN Tingbin, JI Yaming, et al. Application of sedimentary facies analysis in lithologic reservoir exploration [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2020, 27(3): 21-26.

编辑 单体珍