

用波形分析法预测滨浅湖滩坝砂岩储层： 以东营凹陷西部地区沙-4 上亚段为例

王金铎^{1,2}, 许淑梅^{2,3}, 于建国², 韩文功⁴, 崔红庄², 翟玉兰³

1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871

2. 中石化胜利油田物探研究院, 山东东营 257001

3. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东青岛 266100

4. 中石化胜利油田有限公司, 山东东营 257000

摘要: 滩坝砂岩具有砂泥互层、单砂层厚度薄、并含有灰质白云质等高速夹层等特点, 这些因素增大了滩坝砂岩储层的地震识别及预测难度。根据滩坝砂的实际岩性组合类型, 用波形分析法对东营凹陷西部地区沙-4 上亚段滩坝砂岩进行了储层预测。首先对滩坝砂岩常见的3类地震波形进行定义, 建立了不同类型滩坝砂岩储层地震波形特征的实际正演模型; 通过学习型地震波形预测技术, 分析了不同岩性组合的地震波形特征, 总结了波形模式与地层组合样式之间的关系; 最后利用实际井资料作为约束对研究区地震波形进行了分类区划, 明确了滩坝砂岩有利储层发育范围。

关键词: 滩坝砂岩; 波形; 地震正演模拟; 东营凹陷西部; 沙-4 上亚段。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2008)05-0627-08

收稿日期: 2008-03-28

Prediction of Beach-bar Sand Reservoirs Using Waveform Analysis: A Case Study on Es4s in the West Area of the Dongying Sag

WANG Jin-duo^{1,2}, XU Shu-mei^{2,3}, YU Jian-guo², HAN Wen-gong⁴, CUI Hong-zhuang², ZHAI Yu-lan³

1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

2. Geophysics Research Institute, Shengli Oilfield Company Ltd., Dongying 257001, China

3. College of Marine Geo-science, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

4. Shengli Oilfield Company Ltd., Dongying 257000, China

Abstract: Beach-bar reservoirs are characterized by sand-mud interlayering, thin sand strata, and high seismic velocity of carbonate interbeds, which increases the difficulty of seismic interpretation and reservoir prediction. Based on the lithologic combination of the beach-bar sand of Es4s in the western Dongying sag, seismic "waveform" analysis was applied to its reservoir prediction. Firstly, we defined three dominate types of the waveform of the beach-bar sand and established the actual seismic forward models for different lithological combinations of beach bar reservoir. Then, by studying actual seismic forward model, the waveform characters of different lithologic combinations were analyzed. Relationships between the waveform modes and the different lithologic combinations were generalized as well. In the end, the seismic waveforms were classified by restriction of logging data, and the scope of beneficial beach-bar reservoir was defined.

Key words: beach-bar sand; waveform characteristic; seismic forward modeling; west area of the Dongying Sag; Es4s.

相对于断陷湖盆的河流和三角洲相砂体, 目前对滩坝砂岩储层预测及油藏描述等方面的研究还很薄弱, 一般基于钻井统计资料了解滩坝砂岩在平面上的分布, 利用合成地震记录对滩坝砂体在地震剖面

上的反射层位进行标定,借助传统的“相面法”对滩坝砂体进行识别。由于滩坝砂岩呈砂泥岩薄互层,岩性变化都很快、埋藏较深,且局部含碳酸盐成分,地震反射为中弱振幅、连续性较差,储层隐蔽性强,导致储层识别难度大。

初步研究表明,随着砂层厚度、砂泥比和砂泥互层数等因素的不同,滩坝砂的反射波形特征不同(才巨宏,2005)。因此,可以利用波形特征研究滩坝砂储层的特征。利用地震波形变化分类描述地震信号的变化有别于传统意义上的地震属性分析法(Sheriff and Geldart, 1999; 吕景英,2004;张永升,2004;张延庆等,2007)。由波形分类得到的地震相容易与测井及地质上划分的沉积相进行对比,从而赋予地震波形以明确的地质含义。因此,本文将在滩坝砂储层正演模拟的基础上,分析不同岩性组合的波形特征,总结波形模式与地层组合样式之间的对应关系,并以东营凹陷西部博兴地区为例,利用实际测井资料对研究区沙-4 上亚段滩坝砂岩体进行地震波形分类区划及储层预测。

1 滩坝砂沉积特征

滩坝砂岩是以附近的三角洲、扇三角洲或其他类型近岸浅水砂体为物质来源,经湖浪和湖流改造和再搬运而形成的一种储层类型。先期沉积的陆源碎屑物质在波浪和沿岸流的作用下再次搬运,在滨岸区低能部位沉积形成滩坝砂。滩坝砂岩储层主要分布在陆相断陷盆地构造缓坡带的滨浅湖环境。东营凹陷在沙-4 段沉积期,湖盆不断扩张,沉积范围由小变大,近岸碎屑物在湖浪等外力作用下向湖盆方向推进,在同生断层或盆倾断层下降盘转折处、鼻状构造的侧翼、水下隆起侧翼等处受阻沉积卸载,形成广泛发育的滨浅湖滩坝砂体,成为现今重要的储层类型之一(朱筱敏等,1994;孙锡年等,2003;刘伟等,2004;王金铎,2004;张俊,2006;张永旺等,

2006;高永进等,2007)。

滩坝砂岩可分为滩砂和坝砂。滩砂在垂向上表现为砂岩与泥岩的频繁互层,砂层数多、单层厚度薄(砂层最大厚度一般不超过 2 m),粒序不明显,呈较宽的条带状或席状平行岸线展布,又称席状砂。坝砂在垂向上表现为厚层砂岩与厚层泥岩互层,砂层数少但单层厚度大(单层厚达几米甚至更厚)(燕兴荣等,2006)。在自然电位和自然伽玛曲线上,滩砂多对应异常幅度较高的尖刀状指形密集组合,整体构成向上异常幅度加大的反旋回,坝砂多对应宽幅正向指形和齿化的漏斗形。

2 不同地层岩性结构条件下滩坝砂岩的波形特征

滩坝砂岩地层结构以及不同性质岩性组合对其波形特征有何影响?不同岩性组合条件下滩坝砂岩的波形特征与砂岩发育程度有无关系以及有何关系?上述问题是开展滩坝砂岩储层地震描述工作的重要基础。本文利用正演模型研究不同厚度、不同岩性组合滩坝砂体的地震反射波形特征,建立其的地震识别模式,为滩坝砂岩储层的地震预测提供依据。

2.1 波形定义

结合研究区沙-4 上亚段滩坝砂岩不同岩性组合的地震反射样式,对常见的、具有代表性的 3 种地震波形进行如下定义(图 1):(1)将宽度小、幅度大、反射能量较强的地震波形定义为中—强幅单峰波形(图 1a),为厚层泥岩夹薄砂层常见的波形。其中当大套泥岩层夹杂薄砂体且上下速度对称时,波形为图 1a 左样式;当大套泥岩层中夹砂岩包裹体且上下速度对称时,波形为图 1a 右样式。(2)将宽度大、幅度小、反射能量中等或中等偏下的地震波形定义为中—弱幅单峰波形(图 1b),为厚层砂泥岩互层常见的波形。其中当厚层砂泥层间互、地层速度递增时,波

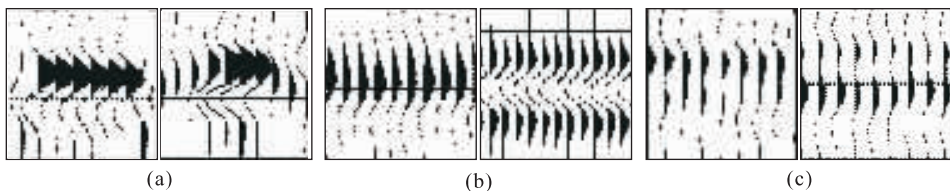


图 1 研究区沙-4 上亚段滩坝砂岩地震反射波形定义

Fig. 1 Seismic wave form definition of the beach-bar sand of Es4s in research area

形为图 1b 左样式;而当地层速度递减时,波形为图 1b 右样式,两者均为不对称波形。(3)将通常所说的“地震复波”定义为双肩波形(图 1c),为薄层砂泥岩互层常见的波形,其中当砂泥岩薄层间互、地层速度递增时,波形为图 1c 左样式;当而地层速度递减时,波形为图 1c 右样式,两者均为不对称波形。

2.2 实际地质模型的正演模拟

根据研究区滩坝砂岩发育的实际特点,将滩坝砂岩分为坝砂发育型、滩砂发育型和灰质白云质岩层发育型 3 种类型。滩砂发育区以沉积滩砂(席状砂)为主,基本不发育单层厚度较大的砂体;坝砂较为发育的区块一般位于席状滩砂大面积发育区内,砂体单层厚度较大;另外还有含灰质、白云质成分较多滩坝砂体。下面利用实际测井资料设计与上述 3 种情况对应的地质模型进行滩坝砂岩正演模拟,探讨波形特征与滩坝砂地层结构和储层发育程度之间的关系。

2.2.1 滩坝砂岩实际正演模型之 1(以发育薄层滩砂为主)

利用滩砂发育的滨东地区的实际井资料设计正演模型。本地区以滩砂为主,砂层数多、单层厚度薄,各单层厚度基本相等(一般 $<2\text{ m}$),呈砂—泥岩薄互层结构。模型右侧滨 424 井区发育多套薄层滩砂,左边为假想井,该井区岩性组合是把滨 424 井的薄层去掉一部分,使薄砂层数减少、而各单砂层厚度保持不变而得到的(图 2)。

对其正演地震响应特征进行分析可看出,滩砂层数的多少在振幅和频率属性及波形形状上均有反映。图 2 中由设计井至滨 424 井区,即薄砂层数由少变多的过渡部位,波形由中—强振幅演变为弱幅。

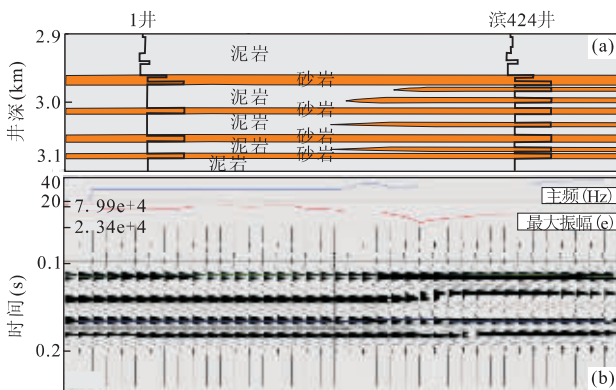


图 2 滩砂的实际地质模型(a)及波形特征(b)

Fig. 2 The actual geological model of the beach-bar sand (a) and its wave form characteristic (b)

在薄砂层数由少变多的过渡部位,波形特征也发生明显变化,由单峰波形演为双肩波形再变为单峰波形。薄砂层数的多少在频率属性上反映也比较突出,右侧薄砂层较多的部位主频率较高,而左侧薄砂层较少的部位主频率变低(图 2)。

由于滩砂单层厚度基本相等(均 $\leq 2\text{ m}$),所以砂层数增加即意味着砂岩总厚度大。滩砂的正演模拟结果表明,频率的高低反映了砂层数的多少,频率高的部位砂层数多,砂岩不发育区明显为低频特征;振幅的强弱反映了砂层总的厚薄,振幅强的部位砂层总厚度小,振幅弱的部位砂层总厚度大,在振幅由强变弱的过渡区,正是砂层由少变多、由薄变厚的过渡区;波形形状也能很好地反映砂层频率及厚度的变化,在砂层由少变多的过渡区,波形由单峰波形变为双肩波形。频率和振幅属性及波形特征均能够用来预测滩砂体储层的发育情况。

2.2.2 滩坝砂岩实际正演模型之 2(以发育厚层坝砂为主)

图 3 为纯 98 井—梁 108 井—梁 104 井实际岩性组合剖面。三口探井的沙-4 上亚段均以发育坝砂为主,坝砂单层厚度较大,砂泥比高,其中梁 108 井区坝砂砂层最厚,砂泥比值最大,纯 98 井区坝砂的砂层最薄,砂泥比值最小。基于三口井的坝砂实际岩性组合建立正演模型(图 3)。正演模拟结果表明,厚层坝砂的地震反射波形为中幅单峰波形或者拖尾较长的中幅单峰波形,而薄层坝砂的波形为中幅单峰波形(图 3)。比较滩砂和坝砂的波形特征,不难看出,坝砂的反射振幅与砂岩厚度成正相关,而滩砂的砂层总厚度越大,反射振幅强度越弱。所以,就滩坝砂岩来说,砂泥互层的砂岩厚度与地震反射振幅强度之间不总是正相关。

另外,从图 3 还可以看出,地震反射振幅和累加振幅数值在坝砂发育强的部位明显大于坝砂弱发育或不发育部位,而其频率曲线虽然也有变化,但其变化特征不足以反映坝砂的砂泥比及砂层厚度的变化。因此,可用振幅值或累加振幅属性进行坝砂储层地震预测,而频率属性对坝砂的发育程度不灵敏。

2.2.3 滩坝砂岩实际正演模型之 3(灰质白云质成分发育区)

东营凹陷沙-4 上亚段含有多层碳酸盐(陈世悦等,2000;张宇等,2005),而高速碳酸盐对滩坝砂储层的物性和含油气性有一定的影响。因此,在滩坝砂岩的正演模拟过程中应考虑到碳酸盐层的存在。图 4 是基于测井资料为研究高含量碳酸盐滩

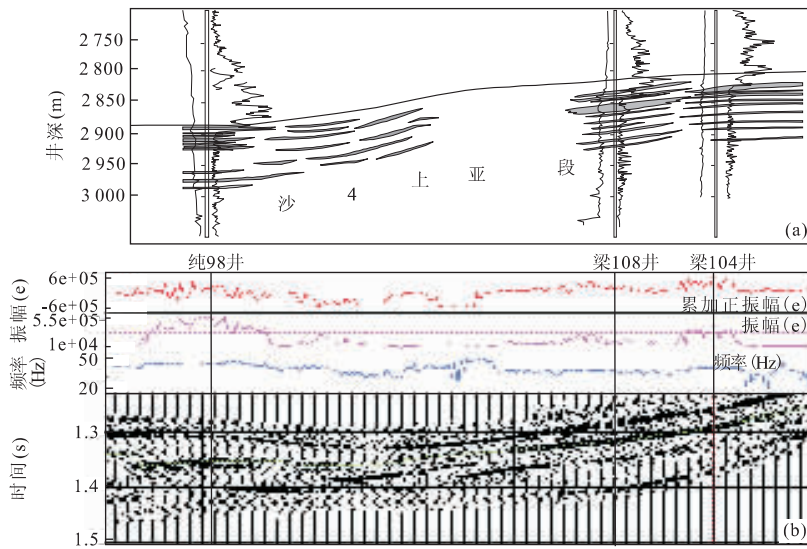


图 3 纯 98—梁 108—梁 104 井连井油藏剖面(a)及正演模拟的地震反射特征(b)

Fig. 3 Reservoir section of well chun98-liang108-liang104 (a) and seismic reflection characteristic of forward modeling (b)

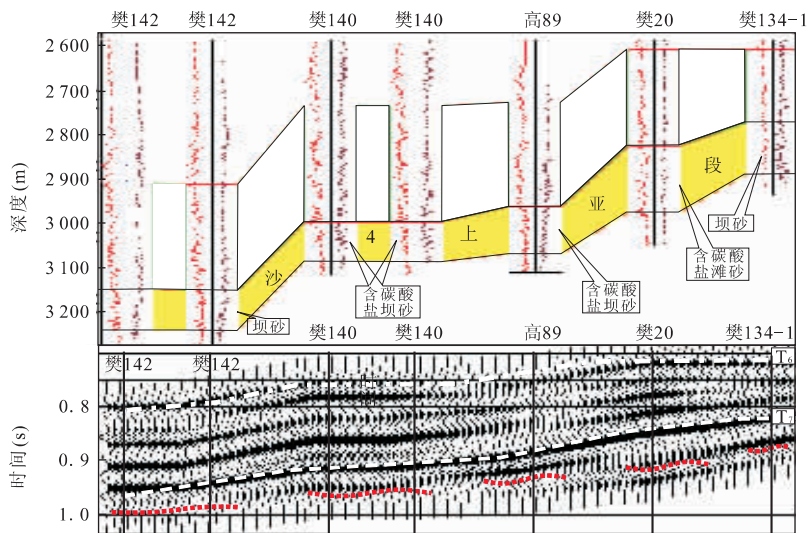


图 4 含碳酸盐组分滩坝砂岩正演模拟波形特征

Fig. 4 Forward modeling wave form characteristic of the beach-bar sand containing carbonate

坝砂的波形特征而设立的正演模型。樊 142 井沙-4 上亚段发育坝砂, 不含碳酸盐组分; 樊 140 井沙-4 上亚段厚度最薄, 发育坝砂, 含碳酸盐组分; 高 89 井沙-4 上亚段坝砂极为发育, 含碳酸盐组分; 樊 20 井沙-4 上亚段厚度最大, 发育滩砂, 含碳酸盐组分; 樊 134-1 井发育厚层坝砂, 不含碳酸盐组分。其中不含碳酸盐组分砂层的速度 $V_{\text{砂}} = 3150 \text{ m/s}$, 含碳酸盐组分较高的砂层速度增大, $V_{\text{碳酸盐质砂}} = 3300 \text{ m/s}$ 。

对不同碳酸盐含量井区的地震响应特征进行分析发现:

(1) 樊 142 井区沙-4 上亚段不含碳酸盐组分的

坝砂为弱幅双肩波形, 樊 140 井区较高碳酸盐组分坝砂为中幅双肩波形, 由不含碳酸盐组分的坝砂向含碳酸盐组分坝砂的过渡区为弱幅双肩波形或弱幅三峰波形, 增加一个波峰。可见, 坝砂含灰质、白云质成分较多时, 即使没有特别厚砂层, 也可形成较强振幅地震反射, 在过渡区增加一波峰;

(2) 高 89 井含碳酸盐分较高的厚层坝砂为中一强幅双肩波形, 与樊 140 井较高碳酸盐组分坝砂之间的过渡区为弱幅双肩波形, 局部为三峰波形, 同样说明坝砂含灰质、白云质成分较多时, 可形成较强振幅反射, 并在过渡区增加一波峰;

(3)樊20井区含碳酸盐组分的滩砂为中—强幅单峰波形,振幅中等。由高89井的高灰质含量坝砂井区至樊20井区含灰质成分滩砂过渡区地震反射波增加一个中—弱相位;

(4)樊134-1井区不含碳酸盐组分的厚层坝砂为中幅单峰波形。由樊134-1井不含碳酸盐组分的厚层坝砂至樊20井区含碳酸盐组分滩砂过渡区,地震反射波也增加一个中—弱相位,波形特征变化不明显。

由上述分析可以看出,坝砂含灰质、白云质成分较多时,即使没有特别厚的砂层,也可形成较强振幅地震反射,且增加一弱波峰;而由不含或含碳酸盐组分的坝砂向含碳酸盐组分滩砂的过渡区地震反射波均增加一个中—弱相位。

利用波形特征可以反映滩坝砂岩储层的发育程度,但值得注意的是,不同岩性组合条件下对滩坝砂岩储层敏感的地震属性组合有所不同。利用基于同相轴的波形特征及地震属性进行储层预测时,应针对不同岩性组合特点开发针对性强的储层预测技术;滩砂发育区应以波形和频率类属性为主进行储层预测;坝砂发育区以波形和振幅类属性为主进行储层预测;滩坝砂岩中灰质、白云质成分含量较高时,应综合各类属性信息进行优化预测。

3 学习型地震波形储层预测技术

学习型地震波形预测技术是在储层正演模拟的基础上,分析不同岩性组合的地震波形特征,总结波形模式与地层组合样式和储层发育特征之间的关系,利用实际的测井资料进行地震相划分及储层预测的一项技术。

3.1 学习型地震波形预测技术之波形模式

在对滩坝砂基本地震波形定义的基础上,结合

东营凹陷滩坝砂岩的实际地质特点,设置了4种基本理论模型对滩坝砂岩的地震反射波形特征进行分析研究。

(1)顶底层分别为砂岩和泥岩,砂岩层厚度61.4 m,泥岩层厚度为58.6 m,含灰质岩厚度为9.7 m,含白云岩厚度为0,石灰岩厚度0,地层为砂、泥岩间互层,砂岩层数为24层,砂泥比为1.048,最大单层砂岩厚度12.7 m,沙-4上的下亚段砂泥比小于上亚段。模拟结果表明其波形为单峰波形,振幅强度中等,波峰极大值两侧对称,地层速度交替变化(图5a)。

(2)顶底层分别为泥灰岩和泥岩,砂岩层厚度38.7 m,泥岩层厚度为60.1 m,含灰质岩厚度为15.85 m,含白云岩厚度为0,泥灰岩厚度1.2 m,地层为砂、泥岩间互层,砂岩层数为22层,砂泥比为0.644。最大单层砂岩厚度为4 m。沙-4上的下亚段砂泥比小于上亚段。模拟结果表明其波形特征为单峰波形,出现一弱复波,振幅中等,上侧波峰数值明显大于下侧波峰数值(图5b)。

(3)顶底层分别为砂岩和白云岩。砂岩厚度29.9 m,泥岩厚度为67.7 m,含灰质岩厚度为12.3 m,含白云岩厚度为15 m,石灰岩厚度0.5 m,地层为砂、泥岩间互层,砂岩层数为22层,砂泥比为0.442,最大单层砂岩厚度为2.3 m,下亚段砂泥比小于上亚段。波形为弱幅三峰波形,振幅强度中等偏下一弱,波峰较强,地层速度交替变化(图5c)。

(4)顶底层分别为灰岩和油页岩。砂岩厚度8 m,泥岩厚度为52 m,含灰质岩厚度为9.5 m,含白云岩厚度为17.5 m,石灰岩厚度0 m,地层为砂、泥、白云岩间互层,砂岩层数8层,砂泥比为0.154,最大单层砂岩厚度为1.5 m。下亚段砂泥比大于上亚段。波形为双肩波形,振幅强度中等偏下,地层速度

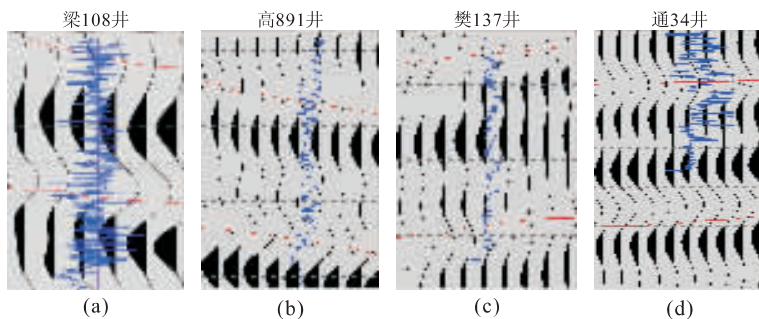


图5 研究区滩坝砂岩理论正演模拟之波形模式

Fig. 5 Forward modeling wave form pattern of the beach-bar sand of the research area

交替变化,下侧速度大于上侧速度(图 5d)。

地震波形除与讨论层段的地层岩性及其组合方式相关之外,和岩层单层厚度也有密切关系。不管是薄层砂—泥岩互层或者是较厚的砂—泥岩互层,其地震反射特征受上下背景地层差异的影响也不同。

3.2 10 种波形结构模式

在理论模型正演的指导下,分析总结了研究区 158 口井沙-4 段滩坝砂的岩性组合样式及其对应的地震反射波形特征,总结出 10 类波形结构模式(图 6),并对其相应的岩性组合样式进行统计分析(表 1)。研究发现,梁 108 井、高 891 井、高 89 井、樊 127 井 4 种波形模式中砂体发育,砂岩厚度较大,顶层和底层均不含灰质或白云质成分,内部的灰岩层和白云岩层厚度也较薄,砂泥比 >0.5 ;樊 20 井、通 34 井、樊 131 井、高 898 井、樊 137 井等 5 种波形模式中反映砂层不发育,砂体厚度薄,不但顶层和底层均

含有灰岩或白云岩,内部的灰岩层和白云岩层厚度也较厚,砂泥比一般 <0.5 ;樊 140 井的波形模式为典型的双肩模式,砂体发育,砂岩厚度较大,而且含有灰质夹层;樊 140 井、通 34 井、樊 137 井、樊 127 井 4 种模式为双肩波形,有时还增加一弱波峰并多出一个弱相位,反映灰质或白云质成分含量较高及砂层增多但砂层减薄(图 6,表 1)。

通过学习型地震波形预测技术分析认为滩坝砂体的岩性组合样式、砂岩厚度与波形、振幅及频率大小之间存在如下关系(图 6,表 1)。

(1)若砂岩总厚度大,地震波形为单峰波形,振幅大小为中等或中等偏下。频率较高时则地层组合特征为砂层单层薄,砂层数多,若频率较低,则砂层单层厚,砂层少;(2)若砂岩总厚度小,地震波形为单峰波形或双肩波形,振幅中等或中等偏强;(3)地层几乎全部由泥岩组成或砂泥互层且砂岩很薄、砂

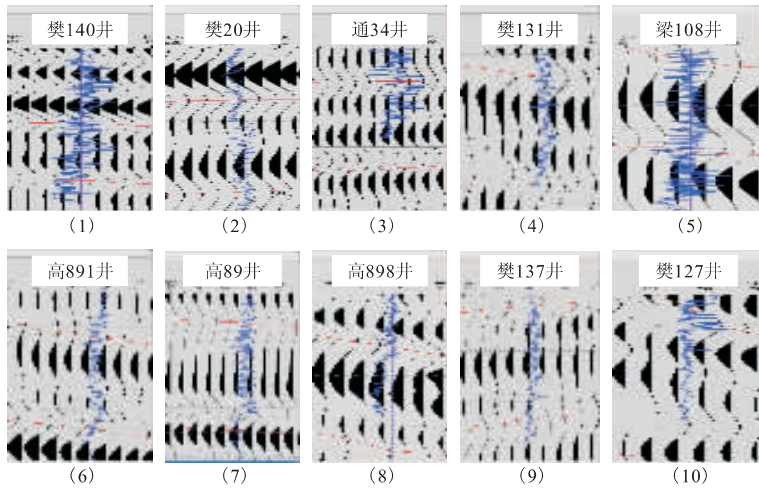


图 6 10 类波形结构模式

Fig. 6 10 kinds of wave form patterns

表 1 10 类波形结构模式对应的岩性组合模式(岩层厚度: m)

Table 1 Lithologic combination modes corresponding to 10 kinds of wave form patterns

岩性特征	顶层岩性	底层岩性	砂岩厚度	泥岩厚度	含灰质岩厚度	含云质岩厚度	灰岩厚度	最厚单砂层	砂泥比	砂层数
1(F140)	砂岩	泥岩	43.1	56.9	4.5	0	4.5	6.5	0.757	28
2(F20)	白云岩	泥岩	19.0	52.0	5.0	1.5	3.0	3.5	0.365	17
3(T34)	灰岩	油页岩	8.0	52.0	9.5	17.5	0	1.5	0.154	8
4(F131)	灰岩	泥岩	17.8	79.7	11.0	0	2.5	3.5	0.223	11
5(L108)	砂岩	泥岩	61.4	58.6	9.7	0	0	12.7	1.048	24
6(G891)	灰岩	泥岩	38.7	60.1	15.85	0	1.2	4.0	0.644	22
7(G89)	灰岩	泥岩	39.5	70.75	10.8	0	8.4	4.8	0.558	22
8(G898)	灰岩	砂岩	27.1	85.2	34.3	1.5	3.2	3.0	0.318	23
9(F137)	砂岩	白云岩	22.9	67.7	12.3	1.5	0.5	2.3	0.442	22
10(F127)	泥岩	砂岩	44.6	70.0	15.5	34.9	0	9.0	0.637	20

泥岩的速度差异较小时,地震反射振幅很弱,但前者地震波形为低频,后者为高频;(4)单层厚度较大的泥岩层中夹有砂岩或灰岩层时,可形成强幅单峰波形;(5)砂泥互层的砂岩厚度与地震反射振幅强度不总是成正相关,坝砂的反射振幅与砂岩厚度成正相关,而滩砂的砂层总厚度越大,反射振幅强度越弱;(6)除与目的层间地层岩性组合特点有关外,地震反射波形还受目的层上下地层岩性变化的影响,当滩坝砂含灰质、白云质成分较多时,即使没有特别厚的砂层,也可形成较强振幅地震反射,并增加一弱复波。

根据正演模型及波形分析研究结果,可知滩坝砂岩地震波形与储层发育特征之间是有规律可循的,因此可根据波形特征来进行地震相划分及储层描述。

4 应用效果

在对东营西部博兴地区沙-4 上纯下段进行地震波形特征分析与研究过程中,先利用地震相分析软件把目的层段地震波形自动分为 10 类,形成初始地震相图,然后将 10 种模型道替换为井旁道(本文总结的 10 种波形模式),重新计算结果,完成基于总结的 10 类波形结构模式的地震相图,划分出强幅单峰波形区块、弱幅单峰波形区块及双肩波形地震相区块,分别对应于储层中等发育区、储层良好发育区和储层弱发育区 3 类区域。经分析,预测结果与实际井的钻探情况吻合较好,明确了研究区滩坝砂岩有利储层发育范围。

5 结论

(1)利用波形特征可以反映滩坝砂岩储层的发育特征。不同岩性组合的滩坝砂岩敏感的地震属性不同。频率和振幅属性及波形特征均能够用来预测滩砂储层的特征。振幅属性可用来进行坝砂储层预测,而频率属性对坝砂发育程度不灵敏。滩坝砂岩含灰质、白云质成分较高时,应综合各类属性信息进行优化预测。

(2)滩坝砂岩性组合样式与地震波形特征之间有如下关系:①砂岩总厚度大,地震波形为中弱幅单峰波形。单层薄,层数多则频率高,单层厚,层数少

则频率;②砂岩总厚度小,地震波形为中强幅单峰波形或双肩波形;③地层几乎全部由泥岩组成或砂泥互层而砂岩薄、砂泥岩的速度差异小时,地震反射振幅很弱,但前者为低频,后者为高频;④单层厚度较大的泥岩层中夹有砂岩或灰岩层时,可形成强幅单峰波形;⑤砂泥互层的砂岩厚度与地震反射振幅强度不总是成正相关;⑥除与目的层间地层岩性组合特点有关外,地震反射波形还受目的层上下地层岩性影响。

(3)通过学习型地震波形预测技术分析不同岩性组合的地震波形特征,总结 10 种波形模式与储层发育程度和 10 类地层组合模式之间的对应关系。根据波形特征对东营凹陷博兴洼陷沙-4 上亚段滩坝砂岩进行了波形分区及储层预测,在滩坝砂岩油藏的勘探开发工作中取得了显著效益。

References

- Cai, J. H., 2005. Comprehensive application of technology with wave form analysis and seismic characteristic inversion to beach bar sandstones prediction—Taking the area of Liang 108 in Boxing subsag as an example. *Oil & Gas Recovery Technology*, 12(3): 42—44 (in Chinese with English abstract).
- Chen, S. Y., Yang, J. P., Cao, Y. C., 2000. Sedimentary characteristics of two kinds of beach-bars of Oligocene Shahejie Formation in western Huimin depression, China. *Coal Geology & Exploration*, 28(3): 1—4 (in Chinese with English abstract).
- Gao, Y. J., Tian, M. R., Jia, G. H., 2007. Physical simulation about sandbody physical property control on forming lithological reservoirs. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 250—256 (in Chinese with English abstract).
- Liu, W., Lv, Y. L., Xu, H., 2004. Sedimentary microfacies and sandbody distribution in the upper members of Es4 in the south slope of Dongying depression. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 26(2): 23—25 (in Chinese with English abstract).
- Lv, J. Y., 2004. Prediction of carbonate reservoirs using waveform analysis in Tahe oilfield. *Progress in Exploration Geophysics*, 27(2): 112—116 (in Chinese with English abstract).
- Sheriff, R. E., Geldart, L. P., 1999. *Prospecting seismology*. Translated by Chu, Y., Li, C. C., Wang, H. W., Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).

- Sun, X. N., Liu, Y., Man, Y., 2003. Hydrocarbon reservoir forming conditions of the beach-bar reservoirs on the upper members of Es₄ in western Dongying depression. *Foreign Oilfield Engineering*, 19(7): 24—25 (in Chinese).
- Wang, J. D., 2004. Identification of barrier bar sand body in Jiyang depression and its geophysical feature. *Oil Geophysical Prospecting*, 39(6): 666—671 (in Chinese with English abstract).
- Yan, X. R., Cai, X. Y., Shao, W. Z., et al., 2006. A log evaluation method for beach bar lithologic reservoir and its application. *Well Logging Technology*, 30(2): 161—163 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J., Pang, X. Q., Jiang, Z. X., et al., 2006. Main accumulation controlling factors and forecast of sand lens reservoir, Dongying depression, China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(2): 250—256 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. Q., Wu, Q. L., Wang, X., et al., 2007. Prediction of reservoir with low porosity, low permeability and high production in TBM area. *Oil Geophysical Prospecting*, 42(1): 94—97 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. S., 2004. Prediction for carbonate reservoirs by waveform analysis. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 43(2): 135—138 (in Chinese).
- Zhang, Y. W., Deng, H. W., Gao, X., et al., 2006. High-resolution sequence stratigraphy and sedimentary facies evolution of the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation on the southern slope of the Dongying depression, Shandong. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26(3): 37—44 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y., Tang, D., Zhou, J. G., 2005. Reservoir description technology of beach-bar sand in the gentle slope belt of Dongying sag. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 12(4): 14—16, i0002 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, X. M., Xin, Q. L., Zhang, J. R., 1994. Sedimentary characteristics and models of the beach-bar reservoirs in faulted down lacustrine basins. *Acta Sedimentologica Sinica*, 12(2): 20—28 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献
- 才巨宏, 2005. 综合应用波形分析及地震反射特征反演技术预测滩坝砂岩——以博兴洼陷梁 108 地区为例. *油气地质与采收率*, 12(3): 42—44.
- 陈世悦, 杨剑萍, 操应长, 2000. 惠民凹陷西部下第三系沙河街组两种滩坝沉积特征. *煤田地质与勘探*, 28(3): 1—4.
- 高跃进, 田美荣, 贾光华, 2007. 砂体物性对岩性油藏成藏控制作用物理模拟. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(2): 273—278.
- 刘伟, 吕优良, 徐徽, 等, 2004. 东营凹陷南斜坡东段沙-4 上亚段沉积相与砂体展布研究. *江汉石油学院学报*, 26(2): 23—25.
- 吕景英, 2004. 用波形分析法预测塔河油田碳酸盐岩储层. *勘探地球物理进展*, 27(2): 112—116.
- 孙锡年, 刘渝, 满燕, 2003. 东营凹陷西部沙四段滩坝砂岩油气成藏条件. *国外油田工程*, 19(7): 24—25.
- 王金铎, 2004. 济阳拗陷堡坝砂体的识别及其地球物理特征. *石油地球物理勘探*, 39(6): 666—671.
- 谢里夫, R. E., 吉尔达特, L. P., 1999. 勘探地震学. 初鹰, 李承楚, 王宏伟, 等译. 北京: 石油工业出版社.
- 燕兴荣, 柴细元, 邵维志, 等, 2006. 滩坝砂岩性油气藏测井评价方法及应用. *测井技术*, 30(2): 161—163.
- 张俊, 庞雄奇, 姜振学, 等, 2006. 东营凹陷砂岩透镜体油气成藏机理及有利区预测. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(2): 250—256.
- 张延庆, 吴清龙, 王霞, 等, 2007. TBM 地区低孔渗高产气储层预测. *石油地球物理勘探*, 42(1): 94—97.
- 张永升, 2004. 波形分析方法在碳酸盐岩储层预测中的应用. *石油物探*, 43(2): 135—138.
- 张永旺, 邓宏文, 高霞, 等, 2006. 东营凹陷南斜坡东段沙河街组四段上亚段高分辨率层序地层与沉积演化特征. *沉积与特提斯地质*, 26(3): 37—44.
- 张宇, 唐东, 周建国, 2005. 东营凹陷缓坡带滩坝砂储层描述技术. *油气地质与采收率*, 12(4): 14—16, i0002.
- 朱筱敏, 信荃麟, 张晋仁, 1994. 断陷湖盆滩坝储集体沉积特征及沉积模式. *沉积学报*, 12(2): 20—28.