

文章编号:0253-9985(2010)02-0225-07

辫状河流相薄砂体地震子波效应和识别方法

黄军斌¹,高利军²,高勇³,王德发¹

(1. 中国地质大学,北京 100083; 2. 哈里伯顿公司,北京 100004;

3. 中国石油天然气股份有限公司 大港油田公司石油研究院,天津 300280)

摘要:在地震资料频率一定的情况下,地震子波旁瓣效应会增加薄砂岩识别和解释的难度。为了研究子波旁瓣的影响程度,设计系列正演模型,利用不同频率的零相位雷克子波合成人工地震剖面,确定砂体位置、频率与地震子波旁瓣效应的关系,研究振幅类属性与薄砂体描述的关系。结果表明,综合利用多频带地震剖面和振幅类属性,可以可靠地解释和描述厚度大于1/8波长的辫状河流相薄砂岩储层。

关键词:雷克子波;振幅属性;子波旁瓣;旁瓣效应;薄砂体

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Wavelet effect and recognition methods of thin sand bodies in braided river facies

Huang Junbin¹, Gao Lijun², Gao Yong³, and Wang Defa¹

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Halliburton Digital and Consulting Solutions, Beijing 100004, China;

3. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China)

Abstract: Under a fixed seismic frequency, wavelet side lobes may increase the difficulty of interpreting and recognizing thin sand bodies. To investigate the impacts of wavelet side lobe effects, we design a series of forward models and produce synthetic seismic profiles using zero phase Ricker wavelets of different frequencies. The purpose is to identify the relationship of sand body location and frequency with side lobe effects. This study also aims at exploring the relationship between amplitude attributes and the description of thin sand bodies. The results show that, an integrated use of multi-frequency profile and amplitude attributes can reliably interpret and describe thin sand bodies of braided river facies which are thicker than 1/8 wavelength.

Key words: Ricker wavelet, amplitude attribute, side lobe of wavelet, side lobe effect, thin sand body

随着勘探开发的深入,越来越多的难题摆在了勘探者面前,薄砂体描述就是其中之一。如何解决此类问题,一直是值得探讨的课题。很多勘探工作者对此进行了研究,提出接近或大于分辨率(1/4波长)的砂体,可以通过反射特征和属性参数来解释和描述^[1-3];而小于分辨率的砂体,集中讨论砂体自身顶底面调谐效应的影响,指出调谐振幅可以用来预测砂体厚度^[3-5]。这些成果适用于砂体顶面可清晰识别的情况^[6-13],而当砂体顶面与其他反射相互影响而不易识别时,又如何来进行薄砂体描述呢?毫无疑问,提高地震分辨

率,让薄砂体顶面反射变得清晰,是根本的解决之道。但是,由于技术、资金等条件限制,很难在短时期内从采集和处理方面入手而提高分辨率。而在解释阶段,又需要识别薄砂体,并且描述其分布范围和空间展布特征。在这种情况下,如何立足当前分辨率有限的地震资料,确定影响薄砂体描述的因素,找出一条可行之路呢?

近几年,在研究中国西部某盆地一些气田时,发现辫状河流相薄砂岩的识别和解释与地震子波关系甚大,其中子波旁瓣是影响砂体描述的关键因素,在很大程度上影响着储层的识别和解释。

收稿日期:2009-03-04。

第一作者简介:黄军斌(1970—),男,博士生,能源地质工程。

该区目的层段为古生界 H 段地层,由辫状河流相薄砂岩储层和低速湖相泥岩组成,总地层厚度 60 m 左右,砂岩厚度小于 40 m。整个 H 段被较高速的三角洲前缘相致密粉砂质泥岩和泥质粉砂岩覆盖,在 H 段顶面形成了一个稳定的负反射系数界面。其二维地震资料主频为 20 ~ 35 Hz,波长大于 160 m。在地震资料上,H 段顶面为强反射波谷,紧随其后的旁瓣波峰与砂岩顶面反射波峰相互干涉,掩盖了砂岩反射,极大增加了识别和解释的难度。为解决此问题,设计了一套正演模型,来确定砂体位置、频率与地震子波旁瓣效应的关系,研究振幅类属性的地质含义,发现了区分子波旁瓣效应和砂体反射的方法,从而建立一套适用该区的综合识别研究方法。

1 褶积模型原理和子波旁瓣效应

地震波从激发、传播到接收的过程中,来自不同地质界面的反射子波相互叠加,再加上噪声,就形成了一个地震记录道,这在数学上可以表示为褶积模型:

$$X(t) = W(t)R(t) + N(t) \tag{1}$$

其中: $X(t)$ 为地震记录; $W(t)$ 为地震子波; $R(t)$ 为反射系数; $N(t)$ 为噪声。噪声影响地震资料品质,是一个在采集和处理中无法完全消除的部分,但

通常可以压制到不影响地震解释的水平。反射系数 $R(t)$ 是地层声波阻抗的函数,是一个不能人为控制的客观量。而地震子波 $W(t)$ 受震源类型、激发条件、地层吸收、接收条件、处理流程等多种因素影响,是一个能人为控制和改造的参量,它的合适与否直接关系到地震地质解释的精度和准确度。

通常,地震(子波)频率是“明星”,受到了极大关注,其频率高低、频带宽度等造成的影响,在众多同行研究下变得越来越清晰了。而地震子波的其它属性,特别是旁瓣,对地震资料的影响,就很少有人关注和研究了。而处理公司通常提供零相位子波地震资料,这样做的好处就是,子波能量主要集中于主瓣上,使得强振幅同相轴直接与地质反射界面对应,易于识别和解释。但是,在当前地震资料频带范围内,子波旁瓣也占据部分能量(图 1a),因此实际地震记录上,既有与地质界面相对应的来自于子波主瓣的反射轴,又有与地质界面无关的来自于子波旁瓣的反射轴。为了研究旁瓣反射轴的影响程度,采用正演模型和只带一个旁瓣的雷克子波(图 1b),合成模拟地震剖面进行研究。当相邻的负反射系数界面和正反射系数界面足够远时(图 2 左),在合成记录上会出现 3 个波谷和 3 个波峰,只有来自于子波主瓣的一个强波谷和一个强波峰与地质界面对应,其余来自于旁瓣的两个弱波谷和两个弱波峰是“无中生有”

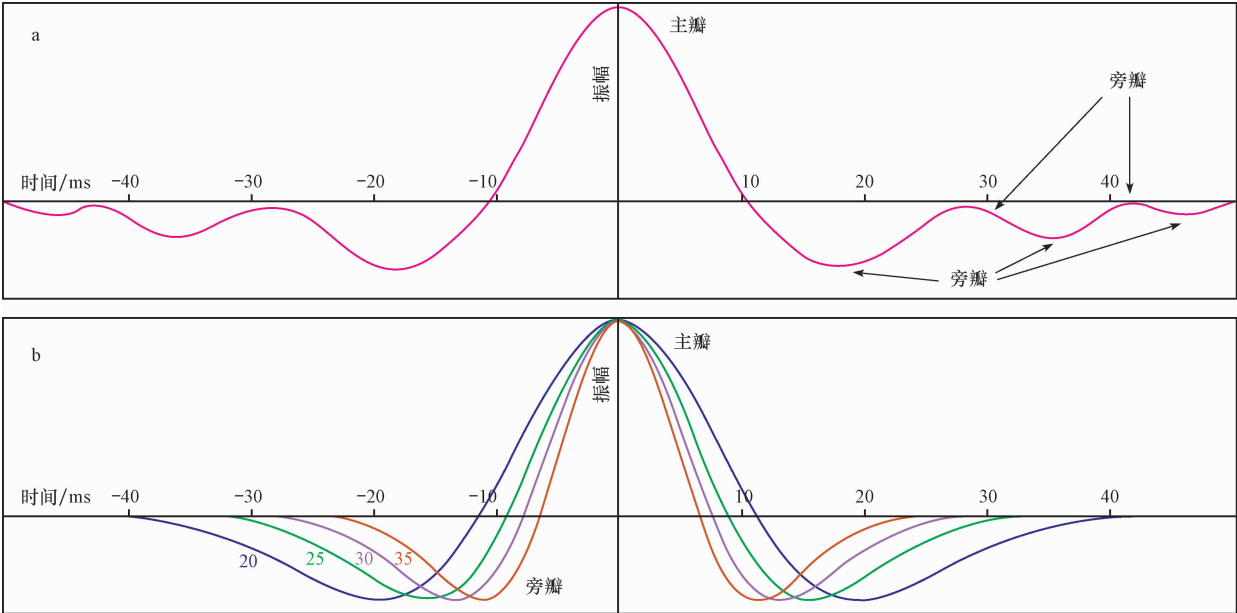


图 1 常见零相位子波(a)和不同频率的零相位雷克子波(b)

Fig. 1 A typical zero phase wavelet (upper) and zero phase Ricker wavelets of different frequencies (lower)

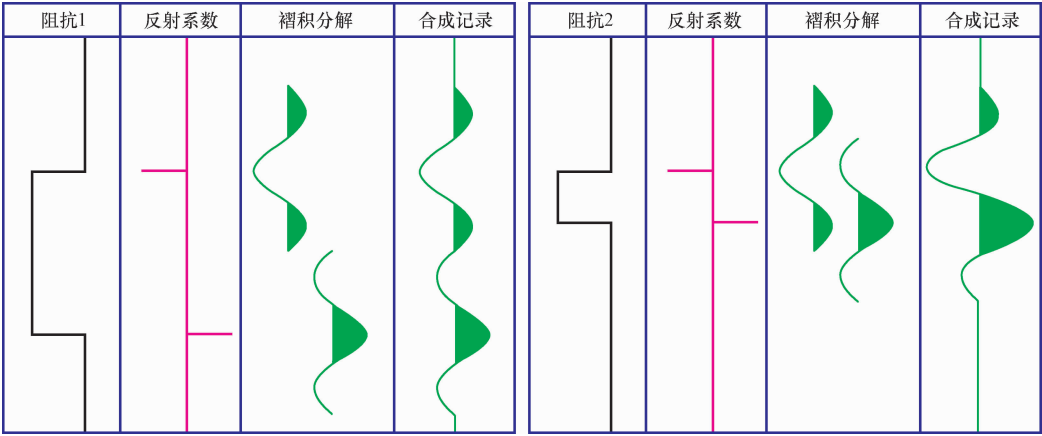


图 2 子波旁瓣影响
Fig. 2 The impacts of wavelet side lobe

的,无地质意义。当相邻的负反射系数界面和正反射系数界面相近时(图 2 右),在合成记录上出现两个波谷和两个波峰:第一个强波谷来自于第一反射界面的子波主瓣波谷和第二个界面的旁瓣波谷的叠加体;紧邻的强波峰来自于第一反射界面的子波旁瓣波峰和第二个界面的主瓣波峰的叠加体;最上边的弱波峰和最下边的弱波谷,均来自于旁瓣而无地质意义。这些来自于地震子波旁瓣的反射轴不仅没有地质意义,而且还会影响地震解释准确度和可靠度,这一影响称之为子波旁瓣效应。

2 建立适当的正演模型

地震子波旁瓣的这种效应,对不同的地层组合会产生不同的影响。在解释之前应根据实际情况,建立适当正演模型,找出合适的解决方法,从而提高地震解释精度。在研究西部某气田时,该气田储层段为 H 段,主要由辫状河流相砂岩和湖相泥岩组成。数十口井统计数据表明,总地层厚度稳定,但砂岩厚度变化很大,最厚可达 38 m,最薄仅为几米。综合分析声波测井资料,H 段上覆岩层和下伏岩层的中值速度分别为 4 600 m/s 和 4 350 m/s,砂岩中值速度为 4 850 m/s,泥岩中值速度为 3 850 m/s。在地震资料上,H 段顶面和底面分别为强波谷和强波峰,内部砂岩顶面为不连续的弱波峰(图 3)。为了研究和确定此类砂体的地震响应特征和解释方法,选择声波速度接近多井平均值的井作为典型井(图 3),建立具有代表性的基本地质模型,即保持 H 段地层厚度不变为 57 m,内嵌透镜状砂体,中间厚 38 m,向两边逐渐

变薄,其上覆泥岩厚度恒定为 19 m(图 4 上)。这个正演模型清晰显示出,地质界面 1,3 产生了稳定的地震反射轴,中间的砂岩体顶面产生了一个弱波峰反射轴,但与界面 1 的旁瓣掺和在一起,并且该砂岩越薄反射越弱,直到被界面 1 的旁瓣完全掩盖(图 4 下)。利用此模型作为基本模型,调整砂体厚度、位置和子波频率等参数,研究相应的地震响应特征变化。

3 砂体位置与旁瓣效应

同样的砂体,在 H 段中垂向位置相对改变时,子波旁瓣的影响程度会如何变化呢?为了研究这一影响,同时设计了两组模型。第一组是较厚的砂岩模型,最厚为 38 m,向两侧逐渐变薄至零。然后,保持砂体特征不变,其位置由 H 段底部向顶部移动,使得砂体顶面与 H 段顶面距离由 19 m 变为 13,7 m。相应地砂体底面与 H 段底面最近距离由 0 m 变为 6,12 m。另一组是较薄的砂岩模型,最厚为 20 m,向两侧渐渐变薄至零。同样,保持砂体特征不变,其位置由 H 段底部向顶部移动,使得砂体顶面与 H 段顶面距离,由 19 m 变为 13,7 m,相应地砂体底面与 H 段底面最近距离由 18 m 变为 24,30 m。由于二维地震资料主频为 20 ~ 35 Hz,故选择主频 30 Hz 的雷克子波,模拟自激自收,合成人工地震剖面(图 5,图 6)。

从人工合成剖面可看出,无论是厚砂体还是薄砂体,当砂体靠近 H 段底面,即位置较低时,砂岩顶面反射回来的主瓣波峰,与 H 段顶面反射的旁瓣波峰,几乎处于同一时间,互相叠合而形成了较强的

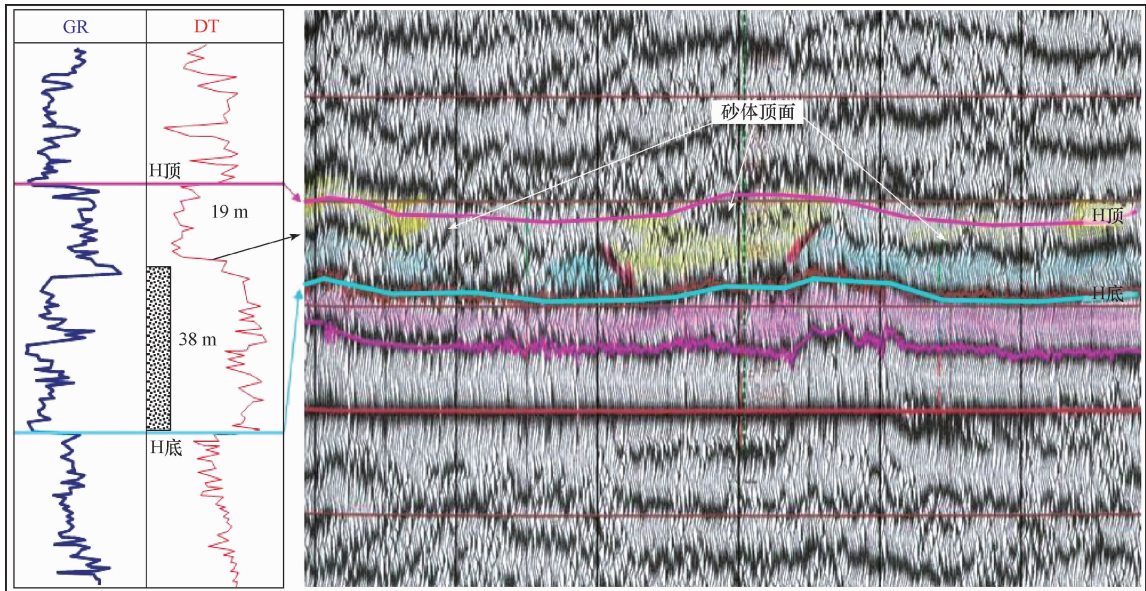


图 3 典型 GR,DT 曲线和典型的地震剖面
Fig. 3 Typical GR/DT logs and seismic section

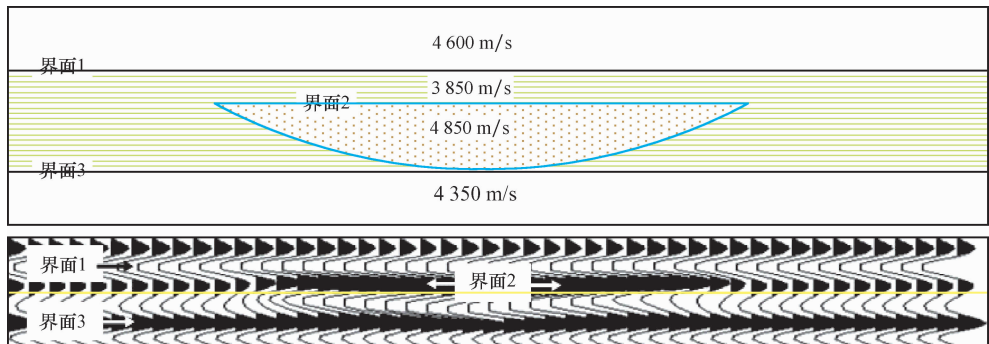


图 4 子波旁瓣效应增加薄砂体识别解释难度

Fig. 4 The effect of wavelet side lobe increases the difficulty of interpreting and recognizing thin sand bodies

反射轴,砂体反射不明显。当砂体越靠近 H 段顶面,即位置越高时,其顶面反射时间缩短,逐渐拉开了与 H 段顶面旁瓣波峰的距离,砂岩形态变得明显而容易识别。这就表明,高位置砂体,其顶面反射与 H 段顶面旁瓣反射有一定距离,砂体形态清晰,易于识别;低位置砂体,其顶面反射与 H 段顶面旁瓣互相叠合,砂体形态不明显,难以解释(图 5,图 6)。

4 利用频率识别旁瓣效应

在实际地质环境中,砂体沉积有早有晚,造成垂向相对位置有高有低。那么,如何分辨哪些反射轴是源于 H 段顶面的旁瓣,哪些是来自砂岩顶面呢? 仔细对比主频为 20,25,30 和 35 Hz 的雷克子波(图 1b),就会发现不同频率的子波,旁瓣与

主瓣的时间距离是不同的,频率越高距离越近,频率越低距离越远。这就表明,来自于旁瓣的同相轴反射时间,会随着地震频率的不同而变化,而砂体顶面的反射时间是稳定的,这就为识别旁瓣效应提供了一种途径。

为此,利用基本模型,与上述 4 种不同频率的雷克子波,合成四张地震记录剖面(图 7)。当主频从 35 Hz 降低到 30 Hz 时,H 段顶面旁瓣向下移动,但仍在 1 800 ms 以上,依然与砂体顶面反射叠合,难以识别;降低到 25 Hz 时,H 段顶面旁瓣向下移动到 1 800 ms,与 H 段底面旁瓣干涉而变弱,但和砂体顶面反射轴拉开距离,砂体形态显现;降低到 20 Hz 时,H 段顶面旁瓣被 H 段底面主瓣淹没,只留下砂体顶面反射轴,但分辨率下降,只能识别出砂体较厚部分形态。可见,不同频率地震子波,会突

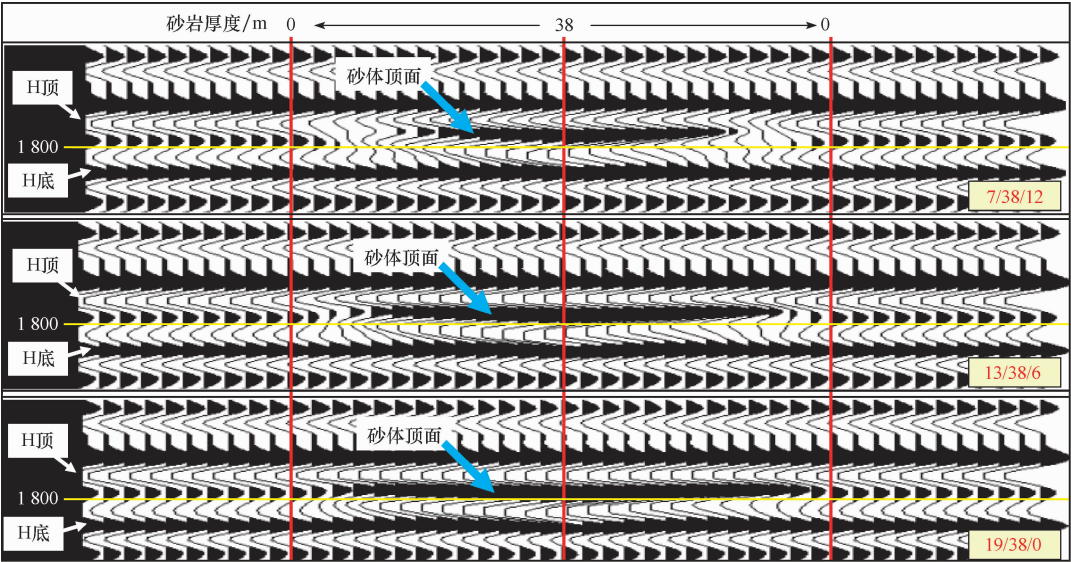


图5 模型一不同位置砂体地震反射特征(7/38/12 含义为砂体最厚 38 m, 顶面距 H 段顶面 7 m,距 H 段底面 12 m)

Fig. 5 Seismic reflection features of sand bodies in different locations in Model 1 (7/38/12 means the sand is 38 m thick with its top is 7 m below H top and its base is 12 m above H base)

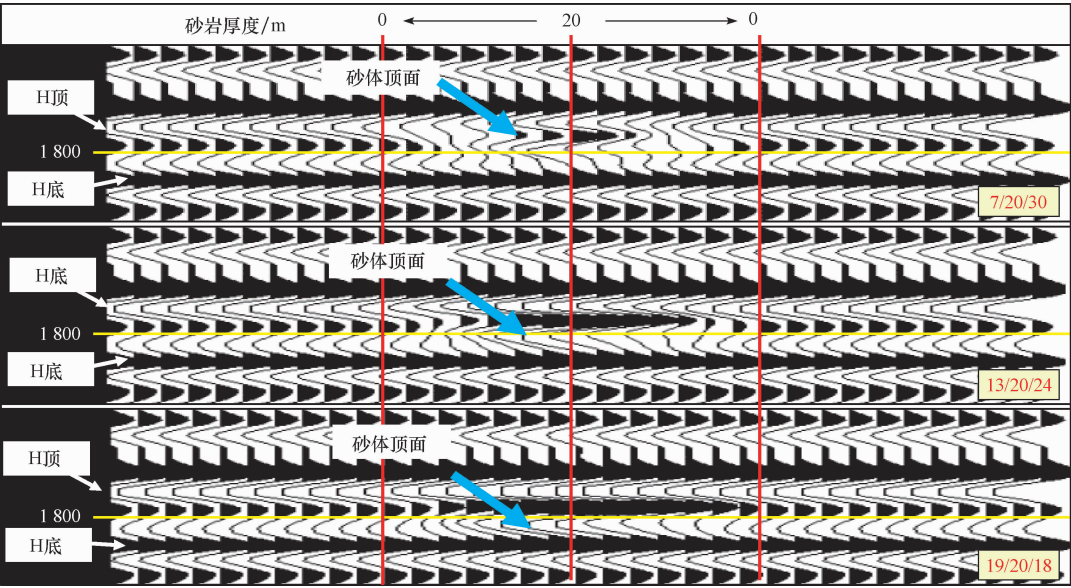


图6 模型二不同位置砂体地震反射特征(7/20/30 含义为砂体最厚 20 m, 顶面距 H 段顶面 7 m,距 H 段底面 30 m)

Fig. 6 Seismic reflection features of sand bodies in different locations in Model 2 (7/20/30 means the sand is 20 m thick with its top is 7 m below H top and its base is 30 m above H base)

出显示不同特征的砂体,对比不同频率地震资料,就可以辨别什么是旁瓣效应,什么是砂体反射了。

5 利用振幅类属性识别旁瓣效应

在以上模型研究中,发现砂体存在的地方,振

幅会增强。这为区分旁瓣效应和砂体反射提供了另一种途径。利用位置最低的最厚为 38 m 的透镜状模型,和 30 Hz 雷克子波,合成二维人工地震记录,其砂体顶面反射与 H 段顶面旁瓣互相叠合,是最不易识别解释的剖面。在 H 段顶、底面间,提取平均峰值、最大振幅、均方根振幅等振幅类属性

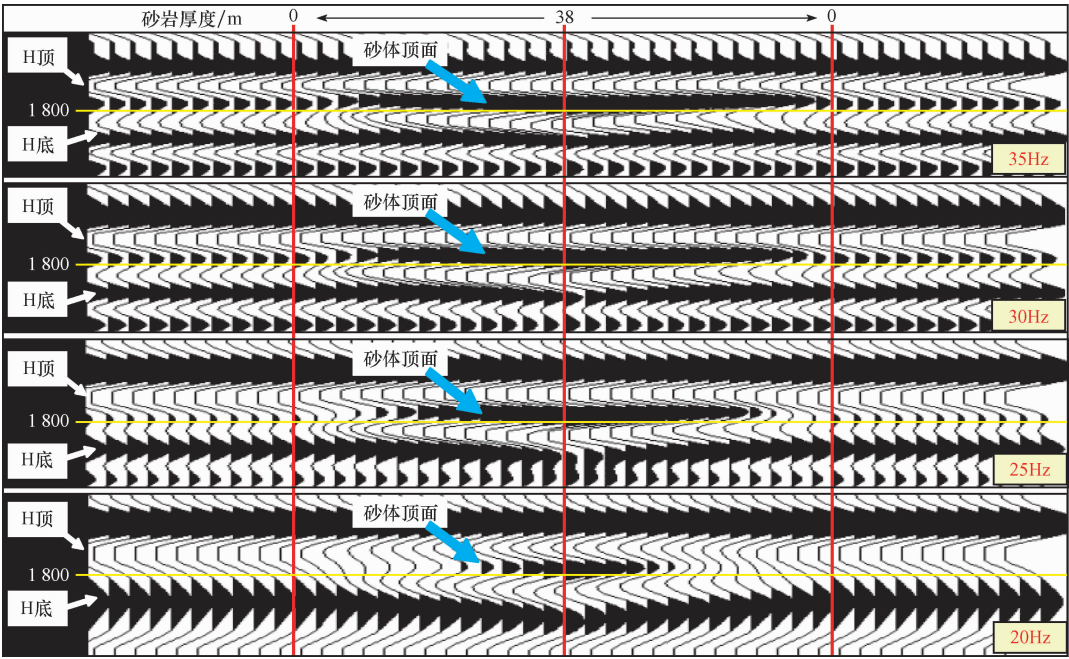


图 7 不同频率处理剖面有助于识别旁瓣效应和砂体反射

Fig. 7 Frequency window is helpful to identify sand reflections from side lobe effects

(图 8)。这几种属性在砂体 0 m 后第三道,即砂体 9 m 时(约 1/16 波长)就有反映,随着砂体增厚,振幅也在增强。至最厚 38 m 时振幅依然未到平稳状态,说明整个砂体厚度都小于 1/4 波长,其反射不单纯来自于顶面,而且也受到砂体底面反射的干涉。其它几种合成地震记录上统计这些属性,均得到相同结果,表明振幅类属性是一种有效识别薄砂体的方法,而且分辨率突破传统的 1/4

波长,可达到 1/16 波长。

除了上面提到的单一砂体模型外,我们设计了许多复杂的互层状砂泥岩模型,限于篇幅原因不再一一阐述,但基本结论是一致的。在不考虑噪声情况下,单一砂体模型,分辨率可达 1/16 波长;互层状砂泥岩模型,分辨率可达 1/10 波长。如果在合成记录中添加 5% ~ 10% 以下的随机噪声,利用振幅类属性,可以描述厚度大于 1/8 波长的砂体。

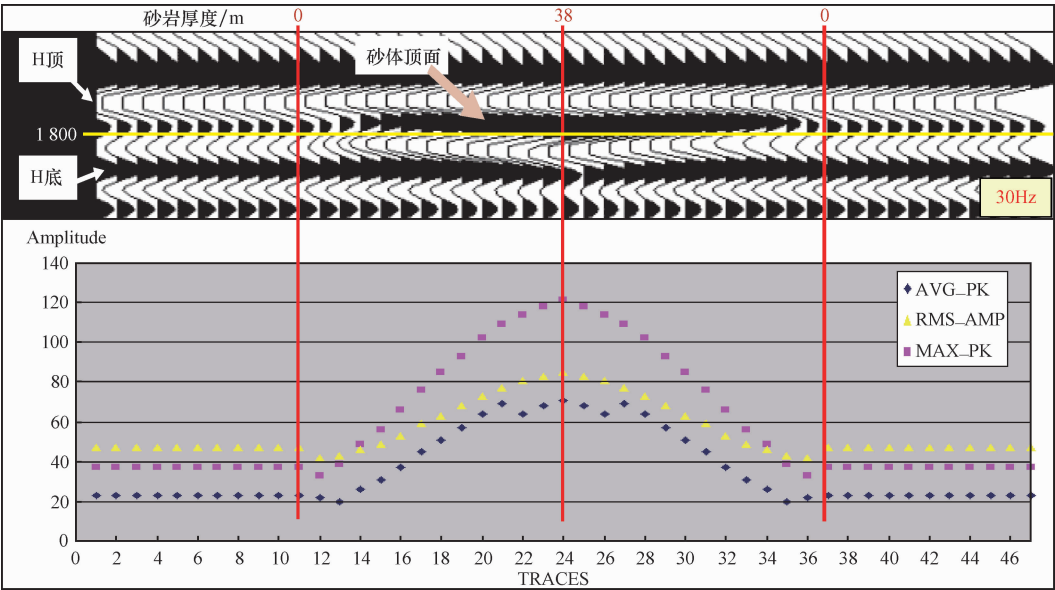


图 8 振幅类属性是薄砂体识别的又一重要有效参数

Fig. 8 Amplitude is an indicator to describe thin sand

6 结论

总之,砂岩薄是一个客观事实,再加上子波旁瓣在数学方法上不能完全压制,旁瓣效应与薄砂体反射并存是无法回避的现实。因此,立足当前分辨率有限的地震资料,利用不同频率地震剖面识别旁瓣效应,并结合振幅类属性研究薄砂体厚度变化,进而描述砂体平面展布规律,是一条可行有效的途径。在实际工作中,利用解释工作站中叠后处理模块,设计适当的带通滤波器,改造地震资料子波,可以有效地识别薄砂体。同时,利用解释工作站中地震参数提取模块,选择适当时间窗口,提取多种振幅类属性,绘制振幅变化曲线或者平面图,就可描述砂体分布范围。在实际研究西部某盆地气田时,应用上述方法,成功解释了大于15 m的辫状河流相薄砂体,并编制出准确度很高的平面分布图。

参 考 文 献

1 李坦,殷小舟. 地震属性的地质意义分析[J]. 复杂油气藏, 2009, (9): 25 ~ 36

2 徐怀民,蔡忠,侯加根. 地震信息对薄砂岩储层特性的描述[J]. 地质论评, 1998, 39 (5): 433 ~ 441

(上接 224 页)

2) 砂岩透镜体在单次连续充注下含油饱和度大于多期充注下含油饱和度;砂岩透镜体内物性变化控制其内含油饱和度的分布,在砂岩透镜体中心部位具有较高的含油饱和度;构造-岩性油气藏中油气分布受构造位置控制,油气具有近源性成藏的特点,断层上盘砂体含油饱和度大于断层下盘砂体含油饱和度;

3) 砂岩透镜体中心部位及构造-岩性油气藏断层上盘砂体为该区下一步的勘探目标。

4) 实验结果能够反映油源充足、断层开启条件下砂岩透镜体及构造-岩性油气藏成藏特点,对于较复杂的地质环境则可能存在一定偏差,需要综合考虑各方面地质条件具体分析。

参 考 文 献

1 张善文. 济阳坳陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27 (6): 722 ~ 740, 761

2 陈章明,张云峰,韩有信,等. 凸镜状砂体聚油模拟实验及其机理分析[J]. 石油实验地质, 1998, 20 (2): 166 ~ 170

3 张军华,陆文志,王月英. 薄层地球物理特征再认识[J]. 石油物探, 2004, 43 (6): 541 ~ 546

4 凌云研究组. 地震分辨率极限问题的研究[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39 (1): 436 ~ 442

5 袁红军. 东营凹陷博兴洼陷滨浅湖相滩坝砂岩储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28 (4): 497 ~ 503

6 王洪艳,夏连军,胡云. 复杂地区薄互储层属性应用技术研究[J]. 石油物探, 2004, 43 (增刊): 51 ~ 52

7 于建国,姜秀清. 地震属性优化在储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24 (3): 291 ~ 295

8 杜劲松,韩福民,陈发亮,等. 薄互层正演模拟分析及其应用[J]. 断块油气田, 2004, 11 (6): 4 ~ 6

9 石世革. 黄骅凹陷板桥凹陷古近系沙一段中部层序地层学研究与岩性油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29 (3): 320 ~ 325

10 崔永谦,冯小英,李贤平,等. 饶阳凹陷马西地区砂、泥岩薄互层高精度储层预测的实践[J]. 勘探技术, 2008, (2): 67 ~ 70

11 石玉,李宗杰. 塔河油田三叠系非构造圈闭识别与评价技术[J]. 石油与天然气评价, 2008, 29 (1): 53 ~ 60

12 陈君,陈发亮,郑玲,等. 砂泥岩薄互层预测技术在东濮凹陷的应用[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31 (增刊): 44 ~ 47

13 崔永谦,秦凤启,卢永和,等. 河流相沉积储层地震精细预测方法研究与应用——以渤海湾盆地冀中坳陷古近系河道砂为例[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30 (5): 668 ~ 672

(编辑 张亚雄)

3 曾溅辉,金之钧. 油气二次运移和聚集物理模拟[M]. 北京:石油工业出版社, 2000. 207 ~ 210

4 姜振学,陈冬霞,苗胜,等. 济阳坳陷透镜状砂岩成藏模拟实验[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24 (3): 223 ~ 227

5 陈冬霞,庞雄奇,姜振学,等. 利用核磁共振物理模拟实验研究岩性油气藏成藏机理[J]. 地质学报, 2006, 80 (3): 432 ~ 438

6 侯平,罗晓蓉,樊长江,等. 石油二次运移不同模式下含油饱和度测量[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29 (4): 533 ~ 536

7 孙梦茹,周建林. 胜坨油田精细地质研究[M]. 北京:中国石化出版社, 2004

8 吕慧. 复杂油气藏油气运移的地球化学特征[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26 (4): 433 ~ 440

9 李春华,祝传林,王风华. 东营凹陷胜坨地区沙三—沙四段扇体特征与岩性油气藏[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2003, 27 (3): 14 ~ 16

10 张林晔,刘庆,张春荣,等. 陆相断陷盆地成烃与成藏组合关系研究[J]. 沉积学报, 2004, 22 (增刊): 8 ~ 14

11 朱光有,金强,周建林,等. 济阳坳陷胜坨油田原油物性及其成因探讨[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25 (1): 9 ~ 13

12 朱强,庞瑞峰. 东营凹陷胜坨地区早期油藏描述及其应用效果[J]. 油田地质与采收率, 2001, 8 (5): 43 ~ 45

(编辑 张亚雄)