

doi: 10.11720/wtyht.2018.1091
国春香,郭淑文,朱伟峰,等.河流相砂泥岩薄互层预测方法研究与应用[J].物探与化探,2018,42(3):594–599.http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1091
Guo C X,Guo S W,Zhu W F,et al.Research and application of fluvial sand-shale thin interbedding prediction method[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2018,42(3):594–599.http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1091

河流相砂泥岩薄互层预测方法研究与应用

国春香¹,郭淑文¹,朱伟峰¹,袁雪花¹,彭雪梅²,邢兴¹,陈明旭¹

(1.中国石 油大港油田勘探开发研究院,天津 300280;2.中国石 油大港油田勘探事业部,天津 300280)

摘 要: 由于河道变迁频繁,河流相储层单砂体厚度薄、横向变化快,利用井网预测砂体分布的方法无法满足老油田中后期剩余油挖潜的需要。针对大港港东油田河流相储层发育的特点,建立三维地质模型进行储层预测方法实验,探索预测单期河道砂体空间展布的方法,实验表明:通过离散合成地震记录的方式,分别分析每套砂体地震反射对地震记录能量的贡献,发现在其中一套砂体地震反射能量的零点提取的振幅切片能够反映另一套单砂体的空间展布形态,利用此方法可达到预测单砂体的目的。零值法提取振幅切片能够有效地刻画井间砂体的横向变化特征,为厘定港东油田的油水关系,调整井网部署提供有力的依据。

关键词: 河流相;薄互层;零值法;三维模型;储层预测

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2018)03-0594-06

0 引言

随着勘探程度不断的提高,大多数东部油田已进入了油气勘探开发的中后期,勘探的目标已经从原来的构造油气藏进入了岩性地层油气藏勘探阶段,河流相储层作为已发现油田主要的储层类型之一,占据岩性油气藏勘探的重要领域。地震资料包含十分丰富的储层物性信息、岩性信息,且在横向上具有钻井资料无可比拟的连续性,利用地震资料进行储层预测在油气藏勘探中占有重要的地位,其作用无法替代,是岩性识别等必不可少的技术手段^[1]。

地震属性是从地震数据体或是由地震数据体产生的其他数据体中提取的属性,在经历了几个阶段的发展后得到了广泛的应用^[2]。应用地震资料提取地震属性是预测薄互层储层的重要手段。Widess 提出单个小于调谐厚度的薄层可以用厚度和振幅之间的线性关系来描述^[3-4]。Partyka 等提出了谱分解方法预测薄层厚度^[5]。Zeng 等提出地震沉积学的

概念,强调分辨和识别薄层,而不是区分薄层界面,地震切片技术作为地震沉积学的关键技术之一成为薄储层预测的重要工具^[6-7]。凌云等提出了利用地震属性切片在时序上的变化研究储层演化过程的理念,取得显著的效果^[8-10]。李国发等通过理论模型研究,认为利用地震属性切片进行储层预测的关键在于建立地震属性切片与单砂体之间准确的映射关系^[11-14]。对于河流相砂泥岩储层而言,由于河道不断迁移、频繁改道,使得储层具有厚度薄、砂体窄、横向稳定性差的特征,在地震剖面上难以实现对单期河道砂体的追踪,由于它的宽度远远大于厚度,利用地震属性切片的方式可实现对此类沉积体的检测^[15-16]。在实际生产过程中,往往利用在砂体标定位置提取的地震属性进行单砂体的预测,然而这种方法提取的地震属性反映的是附近多套砂体的叠合信息,无法对单砂体进行刻画。能否实现对单砂体分布范围的准确预测是老油田剩余油挖潜主要制约因素之一。

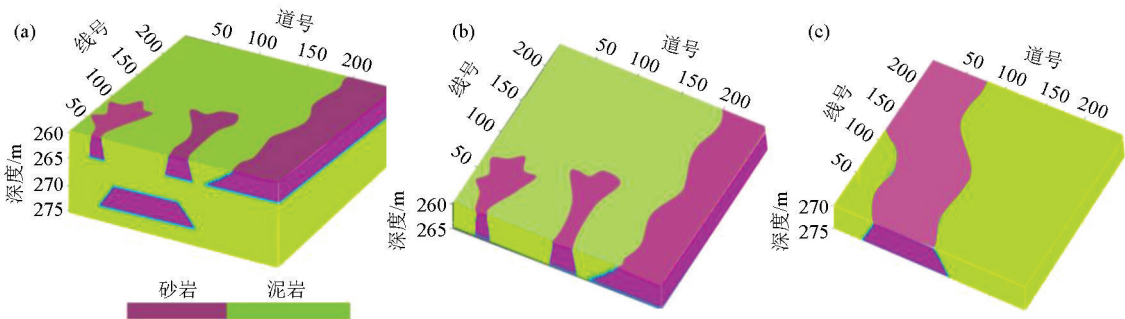
笔者通过建立三维河流相砂泥岩薄互层地质模型进行正演,利用正演数据体进行实验,分析考证地

震切片与薄互砂体之间的对应关系,形成一套单砂体预测的方法,并在港东油田进行实际应用。

1 理论模型实验

根据大港港东油田河流相砂泥岩储层发育的特点,设计如下砂泥岩薄互模型,如图 1 所示,此三维模型有两套砂体组成,每套砂体的顶底界面均为水平界面,砂体的厚度均为 5 m,两套砂体间泥岩间距

为 5 m,泥岩速度为 4 000 m/s,砂岩的速度为 4 400 m/s。第一套砂体由两短一长三个河道砂体组成,第二套砂体刻画了一个曲流河形态的砂体。用 30 Hz 主频零相位雷克子波与该三维模型的反射系数褶积,生成一个三维地震数据体。根据瑞利准则^[17],就此三维模型的速度而言,30 Hz 主频的雷克子波无法分辨厚度小于 35 m 的地层,因此,两套砂体反射的地震子波相互干涉形成一个复合波,在三维正演数据体上无法分辨单套砂体。

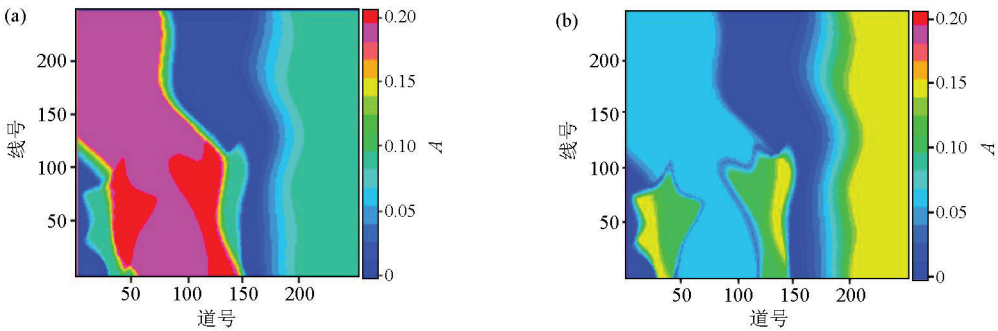


a—模型立体图;b—第一套砂体;c—第二套砂体

图 1 三维地质模型

首先,采用常规提取属性的方法对正演数据体进行分析。在实际生产过程中,对于地震资料无法分辨的储层,往往是在精细的井震标定之后,以单砂体砂体的顶底界面开窗提取均方根振幅来反映此砂体的空间展布形态,对正演数据体也采用此方法,

分别以每套砂体的顶底界面开窗提取均方根振幅,结果如图 2 所示,从图上可以看出这种方式提取的地震属性并不能单独反映本砂体的空间分布,而是两套砂体的叠合信息。

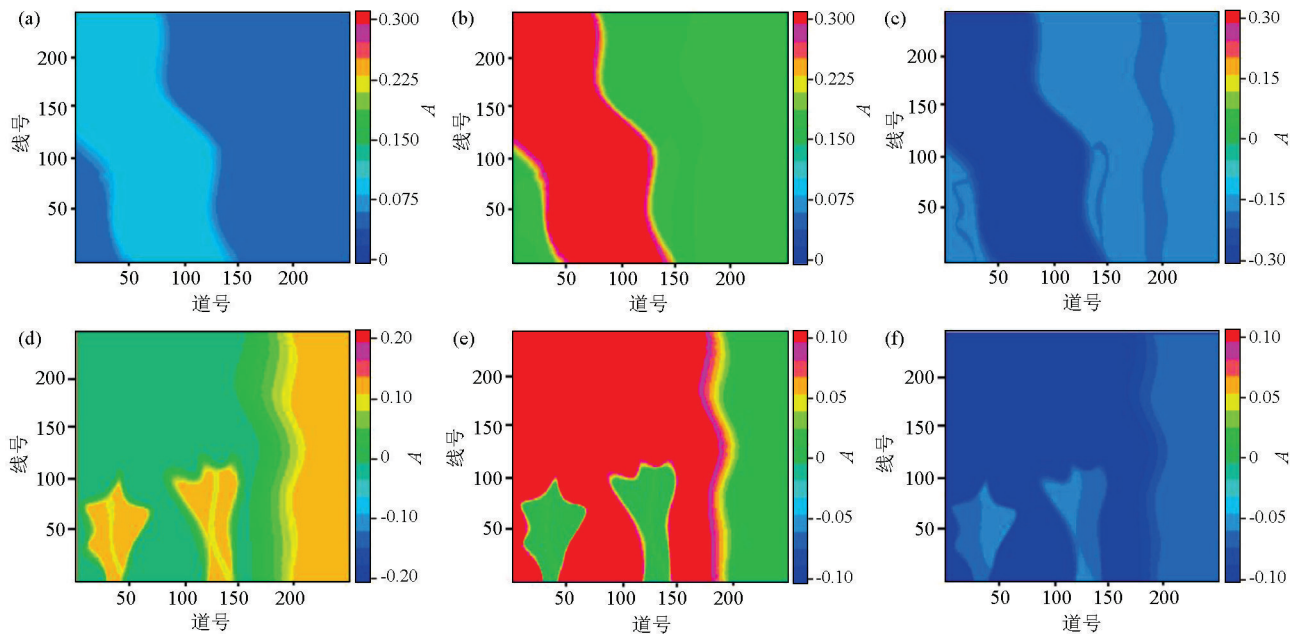


a—一砂体位置振幅;b—二砂体位置振幅

图 2 砂体实际位置地震属性

为考证地震切片反映薄互砂体的能力,对正演数据体按照时间顺序自上而下提取了一系列的切片,所提取的切片中大部分都包含了两套砂体的叠合信息,只有在 114、131、148 ms 提取的切片反映第二套砂体的分布特征,在 119、136、153 ms 提取的切片反映第一套砂体的空间展布形态,如图 3 所示。为分析产生这种现象的原因,对地震记录的形成过程进行分步分解,结果如图 4 所示:每个砂体的顶界面都产生类似波峰的反射,底面对应一类似

波谷的反射,将单砂体顶底界面的反射进行叠加,则得到相应单砂体反射的复合波,两单砂体的复合波再叠加即为最终的地震记录,从图 4 上可以看出每个单砂体的复合波都有 3 个振幅为零的时间点,第一套砂体复合波的零点位置为:114、131、148 ms,恰好是反映二砂体分布特征的 3 个切片的时间位置,第二套砂体的零点位置为:119、136、153 ms,也正是反映第一套砂体展布形态的 3 个切片的时间位置。



a—114 ms 振幅切片;b—131 ms 振幅切片;c—148 ms 振幅切片;d—119 ms 振幅切片;e—136 ms 振幅切片;f—153 ms 振幅切片

图 3 反映单砂体分布形态的振幅切片

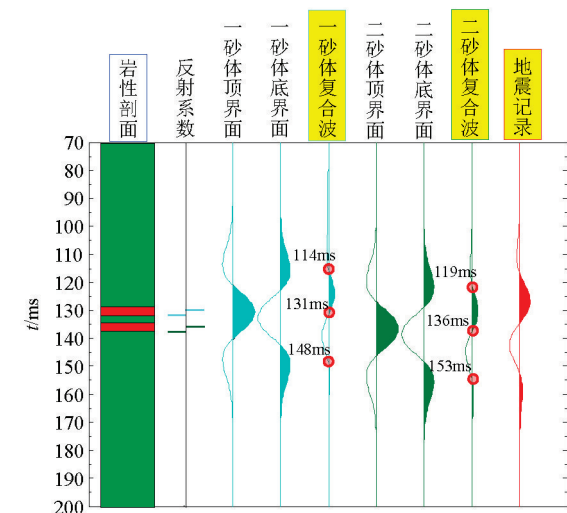


图 4 离散地震记录

分析两单砂体的复合波与地震将记录的关系可知上述现象产生的原因:在第一套砂体复合波的振幅零点,第一套砂体对地震记录的能量贡献为零,地震记录的能量全部来自于第二套砂体,因此,在第一套砂体反射零点位置提取的振幅切片,反映第二套砂体的分布特征;同样的,在第二套砂体复合波振幅零点,第二套砂体对地震记录的能量贡献为零,地震记录的能量全部来自于第一套砂体,所以在第二套砂体地震反射零点位置处提取的振幅切片反映第一套砂体的展布。将这种利用其中一套砂体地震反射振幅零点提取切片来反映另外一套砂体分布特征的方法称之为零值法。

万方数据

通过三维模型试验分析可知零值法砂体逐层剥离预测技术的可行性,结果表明:不同时间的振幅切片具有周期性,时序的振幅切片不能反映砂体的沉积演化过程;根据零值法提取的振幅切片能够反映单砂体的空间展布。在地震数据采样间隔足够小的条件下,理论上两套砂体的地震响应干涉为一个复合波时均适用本方法。对于实际地震数据体而言,两套砂体间的泥岩夹层厚度应大于地震数据的两个采样间隔,单砂体的厚度应大于一个采样间隔,以确保每套单砂体反射的零点存在且相互不重合。

2 实例应用

2.1 区域概况

大港港东油田位于渤海湾盆地黄骅拗陷北大港潜山构造,紧邻歧口有利生油凹陷,油气资源丰富,是大港油田早期投入开发的油田之一。精细刻画河道砂体、加强河流相储层非均质性认识研究,对老油田保持稳产、延长寿命具有重要意义。

港东油田明化镇组属于曲流河沉积,其中研究区二区六断块位于港东油田马棚口断层上升盘的一个单斜构造带上,为东西走向的低幅度背斜构造,此区断层不发育,明化镇组在该区域钻遇两个含油气层段,NmIII5 是主力开发层位,油藏以构造背景上的河道砂岩油气藏为主,油水关系复杂是该区目前生产上面临的主要难题之一。

2.2 应用效果分析

图 5 为港东油田二区六 G1 井、G2 井明化镇段的对比图,其中构造高部位 G1 井在 NmIII5 段自喷出水,低部位 G2 井在 NmIII5 段高产工业油流,两口井井距仅为 179 m;NmIII5 砂体厚度约 4 m,通过精细的井震标定发现 NmIII5 这套砂体和其上部一套含水砂体干涉为一个地震同相轴,如图 6 所示,含水砂体厚度约 12 m,沉积较为稳定。从地震上来看两口井在明三段的地震反射特征并没有发生明显的变化,均表现为一个强轴。造成此地区高部位出水、低部出油的原因是由于两口井同一河道砂体非均值性导致的,还是分属于两个不同的河道砂体,常规的储层预测方法无法回答这一问题。尝试应用零值法进行本研究区单期河道的预测。

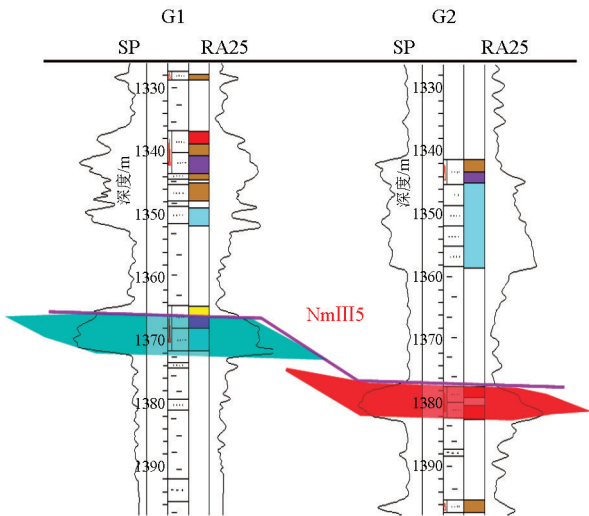


图 5 G1-G2 井 NmIII5 段地层对比

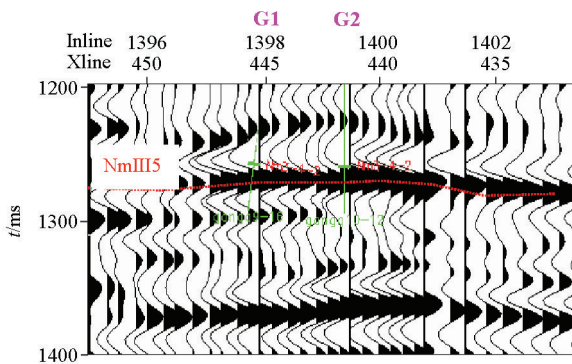


图 6 G1-G2 连井地震剖面

根据地震资料储层预测的需求,优选出一套频带相对较宽且低频信息丰富的保真性强的叠前深度偏移地震数据体,此地震数据体在明化镇段主频约 35 Hz。利用优选出的地震数据体进行精准的井震标定和精细的构造解释,在此基础上对 G1、G2 井分别生成离散合成地震记录。由于目标砂层组的上、

下部均为稳定沉积的大套泥岩,所以笔者采取简化的方式生成离散合成地震记录,首先在标定之后利用声波时差曲线和密度曲线计算时间域波阻抗,然后利用波阻抗分别计算水层、油层顶底界面反射系数,最后利用井旁提取的子波和此 4 个反射系数分别进行褶积,水层顶底界面的反射按照时间顺序叠加即为水层的反射,油层顶底界面的反射叠加即为油层的反射,水层和油层反射的叠加即为最终的合成地震记录,结果如图 7 所示。从图 7 上可以看出,含水砂岩的反射为强振幅,含油砂岩的反射振幅相对较弱,两者叠合之后为一个强波峰强波谷的复合波,生产中经常使用的砂体标定位置提取属性方法只能反映两套砂体叠合信息,无法单独刻画含油砂岩的分布范围。通过离散合成记录计算出上部含水砂体复合波的零点位置,根据各井含水砂体的零点位置需内插出零值面,沿此零值面提取切片,结果如图 8 所示。从图上可以看出,两口井处于两个不同的边滩砂体上,中间有一废弃河道将两者分割开来,很好地解释了高部位井位出水、低部位井位出油的原因。图 9 为依据零值法储层预测的结果进行井网部署调整后所绘制的 NmIII5 段沉积微相图,与零值法提取振幅切片对比可以看出,两者吻合程度较高,验证了零值法提取地震切片进行储层预测的有效性。

通过运用零值法提取振幅切片进行单期河道砂体精细预测解决了 G1 井与 G2 井间的油水关系矛盾,有效地刻画了 NmIII5 主力油层,确定了其平面展布规律,为井网部署调整,剩余油挖潜提供了有利依据。

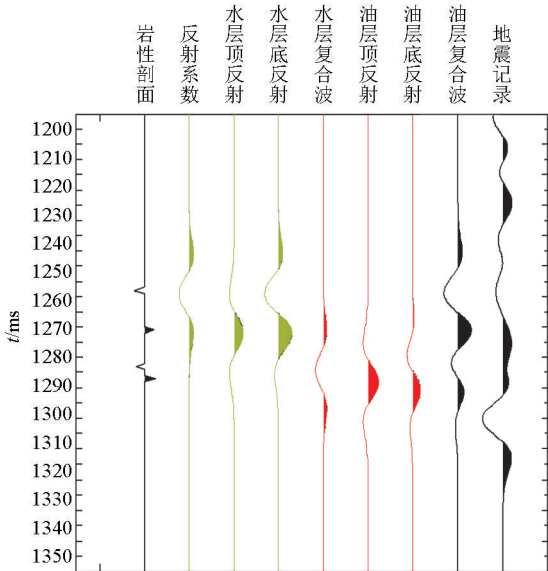


图 7 G2 井离散合成地震记录

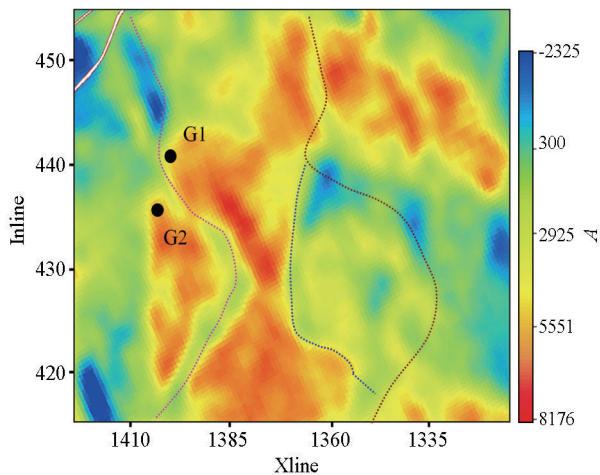


图 8 零值点振幅切片

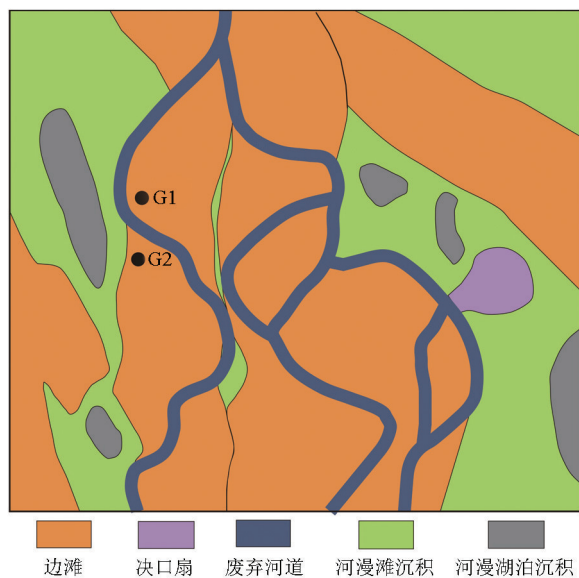


图 9 NmIII5 沉积微相图

3 结论与认识

通过三维理论模型实验以及零值法在港东油田实际应用得到以下几点认识:

- 1) 对于薄互储层而言,地震属性切片相比地震剖面砂体追踪可以更好地检测和识别单砂体。
- 2) 当两套砂体干涉为一个复合波时,不同位置的切片特征各不相同,砂体实际位置处提取的切片并不反映对应单砂体的分布形态,而是两套砂体叠合的特征。通过离散合成记录,计算单砂体反射的零点,利用在其中一套砂体反射零点提取的地震切

片可以实现对另外一套砂体的刻画。

3) 对于河流相砂泥岩薄互层储层,零值法提取地震振幅切片可以剥离掉其他期次河道砂体的能量贡献,突出反应目标单期河道砂体空间展布形态,在一定条件下可以达到预测单砂体的目的,单期河道砂体的有效刻画为老油田厘定油水关系、调整井网部署提供有效的依据,具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 赵政璋,赵贤正,王英民,等.储层地震预测理论与实践[M].北京:科学出版社,2005.
- [2] 张延玲,杨长春,贾曙光.地震属性技术的研究和应用[J].地球物理学进展,2005,20(4):1129-1133.
- [3] Widess M B.How thin is a thin bed? [J].Geophysics,1973,38(6):1176-1180.
- [4] Widess M B.Quantifying resolving power of seismic systems[J].Geophysics,1982,47(8):1160-1173.
- [5] Partyka G,Gridley J,Lopez J.Interpretational application of spectral decomposition in reservoir characterization[J].The Leading Edge,1999,18:353-360.
- [6] Zeng H.From seismic stratigraphy to seismic sedimentology:a sensible transition[J].Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions,2001,LI:413-420.
- [7] Zeng H L,Milo M B,Kenneth T B, et al. Strata slicing, part I: Realistic 3-D seismic model[J]. Geophysics, 1998,63(2):502-513.
- [8] 凌云研究组.应用振幅调谐探测小于 1/4 波长地质目标[J].石油地球物理勘探,2003,38(3):268-274.
- [9] 凌云研究组.基本地震属性在沉积环境解释中的应用[J].石油地球物理勘探,2003,38(6):642-653.
- [10] 凌云研究组.储层演化地震分析[J].石油地球物理勘探,2004,39(6):672-678.
- [11] Li G F,Xiong J L,Zhou H, et al. Seismic reflection characteristics of fluvial sand and shale interbedded layers[J].Applied Geophysics,2008(3):219-229.
- [12] 李国发,岳英,熊金良,等.基于三维模型的薄互层振幅属性实验研究[J].石油地球物理探,2011,46(1):115-120.
- [13] 李国发,王亚静,熊金良,等.薄互层地震切片解释几个问题的讨论——以一个三维地质模型为例[J].石油地球物理勘探,2014,49(2):388-393.
- [14] Li G,Sacchi M D,Wang Y, et al.Characterization of interbedded thin beds using zero-crossing-time amplitude stratal slices[J].Geophysics,2015,80(5):23-25.
- [15] 崔永谦,邵龙义,谢建荣,等.河流砂岩地震储层预测中的几个问题[J].物探与化探,2010,34(1):54-58.
- [16] 张军华,周振晓,谭明友,等.地震切片解释中的几个理论问题[J].石油地球物理探勘,2007,42(3):348-361.
- [17] Kallweit R S,Wood L C.The limits of resolution of zero-phase wavelets[J].Geophysics,1982,47:1035-1046.

Research and application of fluvial sand-shale thin interbedding prediction method

GUO Chun-Xiang¹, GUO Shu-Wen¹, ZHU Wei-Feng¹, YUAN Xue-Hua¹,
PENG Xue-Mei², XING Xing¹, CHEN Ming-Xu¹

(1. Research Institute of Exploration and Development, Dagang Oilfield, PetroChina, Tianjin 300280, China; 2. Exploration Enterprise of Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China)

Abstract: The distribution of sand bodies detected by the well pattern can not meet the needs of the remaining oil tapping potential in the middle and late stages of the old oilfields, because the fluvial reservoirs frequently cause the thinning of the thickness of the single sand bodies and the quick lateral change. According to the characteristics of fluvial facies reservoir in the Gangdong oilfield, Dagang, a three-dimensional model was established for the reservoir prediction method experiment, and the method of spatial distribution of single-stage channel sand body was explored. The results show that the contribution of seismic reflection to the seismic record energy of each set of sand bodies is analyzed by means of discrete synthetic seismic records. It is found that the amplitude slices extracted from the zero reflection energy of one set of seismic reflection energies of sand bodies can reflect the other set of single sand bodies' spatial distribution, and the single sand body can be predicted by this method. The zero-value method can effectively depict the lateral variation characteristics of the cross-well sand body and provide a strong basis for determining the oil-water relationship and adjusting the well pattern deployment in the Gangdong oilfield.

Key words: fluvial facies; thin interbedding; zero value method; three-dimensional model; reservoir prediction

(本文编辑:叶佩)