

地层切片技术在复杂勘探区储层预测与地质体识别中的应用

王江^{1,2}, 张宏², 杨微², 李鹏²

(1 中国地质大学(北京)能源学院; 2 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院)

摘要 研究并讨论地层切片技术在复杂断陷盆地岩相识别中的应用及对策,以准确反映盆地中沉积体系的展布,精细刻画振幅型和结构异常型沉积体系。应用地层切片技术,结合三维精细解释结果及三维可视化方法,在海拉尔盆地贝西次凹霍1井区识别了小白垩统大磨拐河组河道的展布并刻画了小白垩统南屯组扇体发育的特征。

关键词 地震资料解释; 地层切片技术; 岩相识别

中图分类号: TE111.3, P631.445 **文献标识码**: A

1 地层切片技术分析

地震切片和属性分析技术在构造解释、沉积相划分、储层预测以及岩性识别等领域的应用越来越广泛。但这些技术在实际应用中逐渐暴露出了一些问题,主要可归结为两个方面,一为切片的等时问题与其地质意义;二为地震属性的地质内涵与提取方法^[1-3]。这两个问题是断陷型盆地储层预测和属性分析中必须解决的问题。多年来地球物理专家们一直对切片技术的等时性和地震属性的地质意义进行探讨,认为不恰当的切片方法会产生时间穿时现象,根据这样的等时界面提取的地震属性解释岩性等,将会导致错误的结论^[4-6]。

地震资料解释中常用到的切片技术主要有水平切片和层切片两种^[7-9],两种切片信息在不同的地层产状中所起的作用不相同。

水平(时间)切片适应于席状且平卧的地层。它能反映同一时间域的地质特征,可以展示地震属性异常的空间展布,确定沉积体系的延展方向,但它只适合同水平基准面平行的沉积体系,这样才能保证提取的地震属性信息是等时的,而对于同水平基准面不平行的沉积层系则会存在穿时现象,提取的地震属性信息也不能反映等时的岩性变化信息。

层切片是沿着或平行于构造解释层,也就是沿着目的层面的切片,亦称作沿层地震切片。与水平切片相比,层切片不但适应席状的但并非平卧的地层,而且还能适应地层的起伏变化,可以比较准确地反映倾斜地层的地质特征和沉积储层变化特点,可以展示沿倾斜地层地震属性异常的空间展布,确定沉积体系的延展方向,但只有当它用于同倾斜基准面平行的沉积体系时,才能保证提取的地震属性信息是等时的,而与同倾斜基准面不平行的沉积层系,它同时间切片一样也存在穿时现象,提取的地震属性信息也不能反映等时的岩性变化信息。

由于断陷型盆地断裂破碎,构造复杂,物源近,致使沉积地层厚度横向变化快,地震反射特征在横向上变化较大,地震同向轴间的相互关系也比较复杂,有的几乎相互平行于某一基准面,有的则同基准面斜交,与地层之间存在明显的剥蚀和超覆。对断陷盆地这种沉积和构造,地震水平切片和层切片技术提取的地震属性仍然无法反映沉积的等时性。为了适应这种地质特点,保证地震属性提取的等时性,客观反映沉积体系变化的特征,可以在地质时间相等的地震参考基准面之间按线性比例做切片(即用地层切片)来适应倾斜且地层厚度横向变化的地层内部地震属性提取的等时性,从而使沉积面上所提取

收稿日期: 2010-01-23; 改回日期: 2010-10-02

王江: 1966年生,高级工程师。从事勘探部署、三维地震解释与方法研究,现为在职中国地质大学(北京)博士研究生。通讯地址: 163712 大庆市让湖路; 电话: (0459)5508415

的地震振幅能够表示整个地震探区中某沉积体系的总体延伸。地层切片可以在非席状、非平卧状的不规则地层中使用,它继承了水平切片和层切片技术的优点,又克服了它们的不足。地层切片技术就是在两个连续性好而不受频率变化影响的参照地震相同相轴之间非等间距内插而形成的一种新的三维地震切片,它保证了层间地震信息提取的等时性,从而使沉积体系识别和储层刻画更加合理。

2 地层切片的实现

在三维地震精细解释中,首先追踪不随频率而变化的相当于地质时间界面的参照地震同相轴,建立标准基准面,然后在两个参照基准面之间根据线性内插建立地层时间模型(图1)。其中每一个插值线都是一个地层切片,这个新的地层切片数据体的X、Y轴与原坐标系的一致,而Z轴则为相对地质时代。具体制作过程如下:

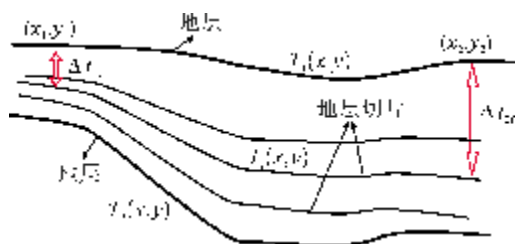


图1 地层切片模型

变量说明: (x,y) 为大地坐标; $T_1(x,y)$ 和 $T_2(x,y)$ 分别为在坐标 (x,y) 处地震基准反射界面的时间; Δt_1 和 Δt_2 分别为 (x_1,y_1) 和 (x_2,y_2) 处生成第 i 个地层切片距离地震基准反射界面 $T_1(x,y)$ 的时间间隔; $T_i(x,y)$ 代表生成的第 i 个地层切片的时间函数

(1) 应用空间普通克里金插值方法,假设区域化变量 Z 服从二阶平稳(或本征)假设,利用变异函数和克里金方程组给出估计值 $T_0 = \sum \lambda_i \cdot T_i$ (T_i 为插值点附近空间样点数据, λ_i 为加权因子)的最佳、线性、无偏估计的权系数。利用变异函数求解权系数的普通克里金方程组如下:

$$\begin{cases} \sum \lambda_i \cdot \gamma_{i,j} + u = \gamma_{i,0} \\ \sum \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

式中: $\gamma_{i,j} = \gamma(u_i, u_j) = \gamma(u_i - u_j) = C(0) - C(u_i - u_j)$, u 为空间位置 (x,y) , 0 为原点。

由此可以插值出上下层位任意空间位置处的时间数值。

(2) 设由上述克里金算法得到的上参考同相轴基准面的空间函数位置为 $T_1(x,y)$, 下参考同相轴基准面的空间函数位置为 $T_2(x,y)$, 其中空间函数位置可通过三维测网的地震解释得到。假设需要计算的参考同相轴间等时地层数为 N 个, 第 i 个相对等时地层空间函数为 $T_i(x,y)$, 任意位置处的 $\Delta t(x,y)$ 为:

$$\Delta t(x,y) = i \cdot (T_2(x,y) - T_1(x,y)) / N \quad (2)$$

Δt 是空间位置的函数, 如在 (x_1, y_1) 位置处为:

$$\Delta t_1(x_1, y_1) = i \cdot (T_2(x_1, y_1) - T_1(x_1, y_1)) / N,$$

如在 (x_2, y_2) 位置处为:

$$\Delta t_2(x_2, y_2) = i \cdot (T_2(x_2, y_2) - T_1(x_2, y_2)) / N.$$

根据线性内插原理, 有如下关系式:

$$T_i(x,y) = T_1(x,y) + i \cdot (T_2(x,y) - T_1(x,y)) / N \quad (3)$$

式中: $T_i(x,y)$ 即为本法所求的等时地层界面。

(3) 在原始三维数据体中, 沿等时地层界面 $T_i(x,y)$ 提取地震振幅便形成了振幅地层切片数据体, 这一新的三维地震数据体中的 x, y 坐标都同原始三维数据体的相同, 而 z 轴却是相对地质时间。因此这个数据体中的任何一个切片都代表这一地层相应地质时间界面的地震属性特征。

3 应用实例

霍1井区位于海拉尔盆地贝尔断陷贝西次凹东部, 面积 300 km^2 , 目前已有探井 17 口, 有 5 口井获工业性油流。探井揭示地层比较齐全, 从上到下揭示第四系、第三系呼查山组、上白垩统青元岗组、下白垩统伊敏组、大磨拐河组、南屯组、铜钵庙组及布达特群组等。目的层主要为大磨拐河组和南屯组^[10]。大磨拐河组沉积时期以湖盆长轴方向远源河控三角洲沉积为主, 储层是河道砂, 三角洲前缘的河道砂、前积砂体和前三三角洲席状砂体; 南屯组沉积时期以湖盆短轴方向近源扇三角洲沉积和陡坡水下扇沉积为主, 储层是扇三角洲水下河道砂、前缘砂体和陡坡水下扇体。由于区域地质条件复杂, 主要目的层段横向厚度变化大, 要识别这些砂体, 利用常规的技术和手段很难保证地层的等时性, 必须借助于三维可视化技术, 结合多种地震信息, 进行综合解释和判断, 对河道和扇体进行识别、追踪及刻画。针对大磨拐河组、南屯组地质特征, 利用地层切片技术结合谱分解和三维可视化处理, 在大磨拐河组识别出两条河道, 在控陷断层下降盘的南屯组发现一套扇体。

3.1 实例1——河道的形态识别

图2是海拉尔盆地贝西次凹过霍1井的三维地震测线,其主频为30 Hz,整体位于贝西次凹的中部,地层埋深1300~2500 m,其中霍1井在大磨拐河组

二段1017~1036 m处获得工业油流。

储层以河流相为主,岩性为灰色粉砂岩。岩心分析,孔隙度为7%~29%,一般为21%~27%,渗透率为 $(0.07\sim616)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,一般为 $(2.54\sim114)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,储层物性好。

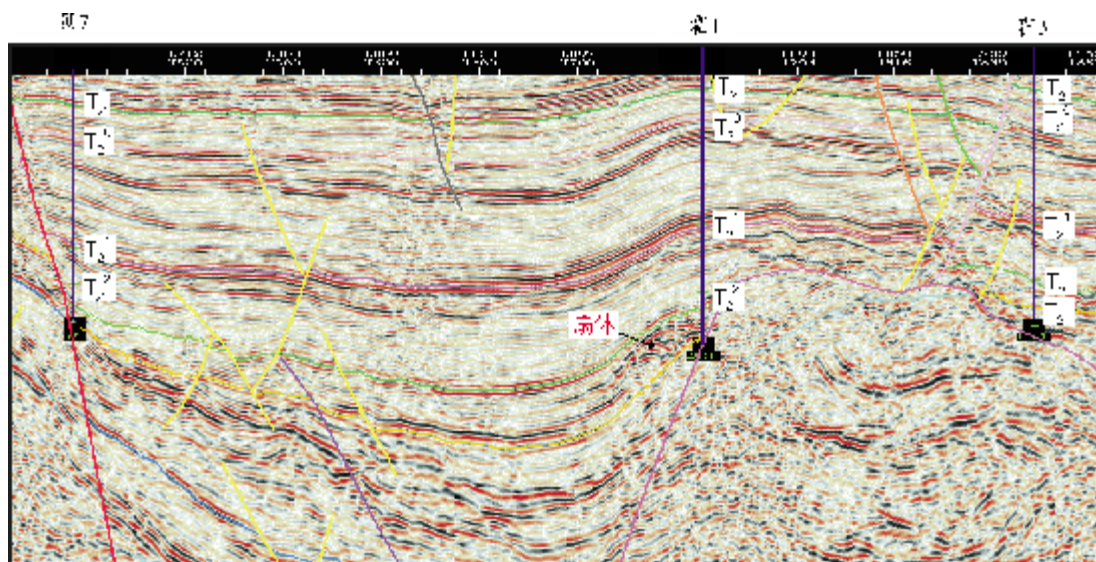


图2 连井地震剖面

油层段地震波组呈弱振幅、低连续的特征,波形横向变化较快,同时该地区地层厚度横向变化又较大,地震资料上河道所具有的下切特点也不明显。因此利用地震剖面采用常规的手段来识别河道的规模也很难,应用沿层切片和时间切片又无法保证地层沉积的等时性,识别的河道也只是河道的局部,无法反映河道的整体规模(图3)。在岩性解释之前,为了使地震反射的波峰(或波谷)对应于地层,并使地震同相轴与地质上限定的砂岩层一致,将地震相位旋转 90° ,使反射波主瓣提到薄层中心,使砂岩层对应于地震波峰地震道,这样砂层与反射同相轴具有更好的对应关系,即地震解释追踪的反射同相轴就是所要追踪的砂体,从而赋予了地震反射同相轴更强的地质意义。然后应用地层切片技术,以标准反射界面 T_2 和 T_2^1 、 T_2^1 和 T_2^2 为边界,在 T_2 和 T_2^1 、 T_2^1 和 T_2^2 之间内插非等间距时间层面,沿层提取地震属性特征生成地层切片(图4)。图4即为约在 T_2 以下100 ms左右的地层切片,从中可以清楚地看出河道的整体面貌,在研究区自北东向南西可以清楚地追踪出一条完整的河道形态,局部可见废弃河道和决口扇。

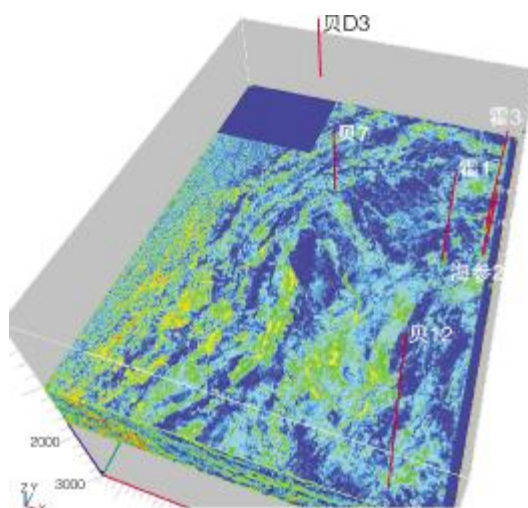


图3 时间切片

3.2 实例2——河道、扇体分布的刻画

以往在做三维可视化选择地震时窗时,一般是等时、等厚时窗,这对席状且平卧的地层是适用的。但是海拉尔断陷盆地地质复杂,席状且平卧的地层在盆地内并不多见,而且地层横向变化较快,相变也比较复杂,这样在三维可视化时选用等时时窗就

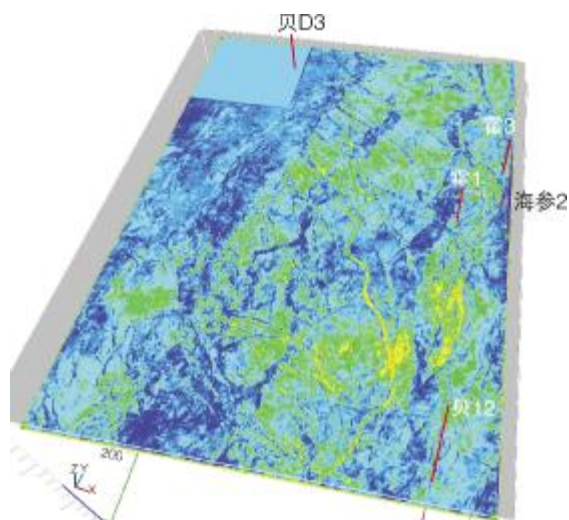


图4 地层切片

存在明显的地层穿时现象,无法精确地刻画有利储层分布。而等时代的地层切片也就是某一时代的界面,可以反映时代的沉积特点,限定地质沉积单元。以相邻地层切片为时窗界限开展三维可视化分析,不但解决了时窗穿时问题,而且也充分考虑了有利储层厚度的横向变化,使刻画的地质体具有同时代的地质内涵。 T_2^1 和 T_2^2 标准基准面之间的地震相呈变振幅、低连续的特点,从地震剖面反映的地震结构来看,除上、下部有几个连续性较好的强反射之外,充填的都是杂乱反射,尤其是南屯组地层这种特征更明显,这充分反映了盆地内充填物是高能的浊积成分,广泛地发育各种扇体,而且是多期的特征。为了防止等时时窗在扇体刻画中的穿时现象,精细刻画扇体以及河道等有利砂层的分布,应用不等时间间隔的地层切片作为扇体刻画的时窗范围进行三维可视化分析。具体做法是,对目的层上下切片做逐层演化分析,确定最佳成像范围,确定目的层顶、底地层切片位置。通过地震属性对比优选,进一步突出地震属性特征变化,优选最佳的地震属性(均方根振幅/频率)来刻画扇体或河道边界,最后应用三维可视化技术对顶、底地层切片之间的层段进行扇体、河道应用种子点追踪雕刻,确定目标刻画地质体的立体展布,以地震剖面中 T_2 和 T_2^1 两个标准基准面建立地层切片约束下的地震时变时窗,应用三维可视化刻画大磨拐河组扇体和河道的分布(图5)。从图5可见,在贝西次凹大磨拐河组发育两条河道,一条来自于北部(时窗中心在 T_2 以下 100 ms 左右),一条

来自于北东方向(时窗中心在 T_2 以下 200 ms 左右),局部可见已经废弃的河道和决口扇,在主河道的末端发育一个比较完整的扇体,而且扇体边界清晰。以地震剖面中 T_2^2 和 T_2^3 两个标准基准面建立地层切片约束下的地震时变时窗,应用三维可视化刻画南屯组扇体的分布,在霍3—海参2—霍1井左侧发现一个比较大的扇体。该扇体在地震剖面上内部结构特征比较明显,表现为强振幅杂乱反射,该扇体经后钻的霍12、霍9井得到进一步的证实。

在贝西地区东部陡坡带,应用地层切片、三维可视化技术和精细三维地震资料解释,识别出不同时期的河道和多个多期扇体,认为物源方向主要来自于北东方向,预测结果与实际钻探的霍12、霍9、贝7等探井的沉积相带完全符合。发现并落实了有利构造和岩性圈闭15个,圈闭面积总计达 90.5 km²。该区油气藏类型以构造-岩性及岩性油气藏为主,受沉积条件和储层条件控制,识别出的霍12、霍9等勘探目标实现了贝西地区南屯组岩性油藏勘探新突破。

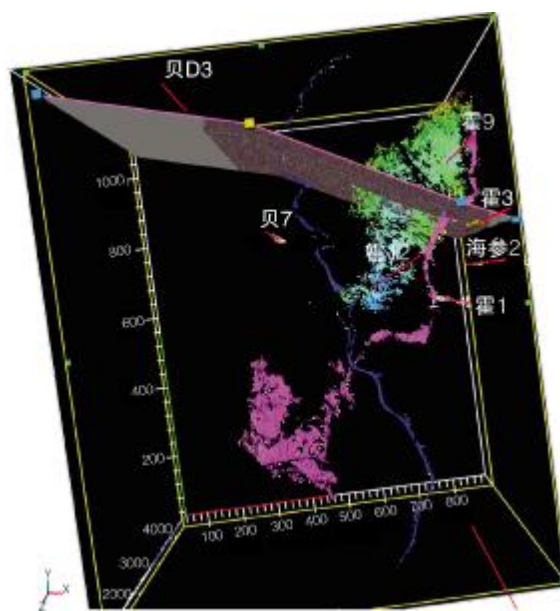


图5 河道、扇体三维可视化

4 结 论

(1)地层切片是盆地分析和储层描述中的一项有用的新办法,它使沉积相成图工作变得比较简单,特别适合于楔状沉积层序的分析。在层序地层解释格架的基础上,应用地层切片技术开展地震属性分

析,提取反映岩性变化的等时地震信息,有效地反映了断裂破碎及复杂勘探目标区的沉积特征。它可以使河道、扇体和岩性体等沉积体系在横向分辨率较高的三维地震资料中显示出来,能很容易地拾取振幅型或结构型异常沉积体系,同时减小了追踪层间构造的工作量。

(2)地层切片比层切片或时间切片更接近于地质时间界面。在不随频率而变化的等时地震轴之间线性内插作图,比沿层切片或时间切片更接近于地质时间界面。对于一个不随频率改变而变化并相当于地质时间界面的同相轴来说,拾取这样的层仍然是恢复该沉积界面的最好办法。地层切片适应于倾斜非水平且横向厚度变化大的地层,它继承了时间切片和层切片技术的优点,又克服了它们的不足之处,很好地解决了沉积等时性的问题,保证了层间地震信息提取的等时性,使沉积体系识别和储层刻画更加合理,对于平卧地层及席状地层来说,沿层切片就是地层切片。

参考文献

- [1] Chopra S, Marfurt K J. Emerging and future trends in seismic attributes[J]. The Leading Edge, 2008, 27(3): 298-318.
- [2] Hart D B. Stratigraphically significant attributes[J]. The Leading Edge, 2008, 27(3): 320-324.
- [3] Chopra S, Marfurt K J. Introduction to this special section: Seismic attributes[J]. The Leading Edge, 2008, 27(3): 296-297.
- [4] Zeng Hongliu, Milo M B, Kenneth T, et al. Stratal slicing, part I: Realistic 3-D seismic model[J]. Geophysics, 1998, 63(2): 502-513.
- [5] Zeng Hongliu, Stephen C H, John P R, et al. Stratal slicing, part II: Realistic 3-D seismic model[J]. Geophysics, 1998, 63(2): 514-522.
- [6] 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].石油地球物理勘探, 2007, 42(3): 348-361.
- [7] 钱荣钧.对地震切片解释中一些问题的分析[J].石油地球物理勘探, 2007, 42(4): 482-487.
- [8] Zeng Hongliu, Hentz T F, 黄忠范,等.地震岩性学在弗里恩50区块中新统高频层序地层学研究中的应用[M]//夏义平,袁秉衡,徐孔贵,等,译.石油地质与地球物理译文集.北京:石油工业出版社, 2005.
- [9] Hongliu Zeng, Backus M M, Barrow K T,等.地层切片:实际三维地震资料[M]//夏义平,袁秉衡,徐孔贵,等,译.石油地质与地球物理译文集.北京:石油工业出版社, 2005.
- [10] 李文学,李建民,谢朝阳.海拉尔复杂断陷盆地油气勘探与开发[M].北京:石油工业出版社, 2006.

编辑:金顺爱

Application of Stratal Slicing in Reservoir Predication and Geological Body Identification in Complicated Exploration Area

Wang Jiang, Zhang Hong, Yang Wei, Li Peng

Abstract: The application of stratal slicing in lithofacies identification in a complex fault basin can accurately reflect and finely depict the distribution of depositional systems with amplitudes and abnormal structures in prospecting areas. Combining with results of detailed 3-D interpretation and 3-D visual technology, this stratal slicing technique was successfully used to identify the configuration of the lower Cretaceous Damoguaihe channel sands and develop characteristics of the lower Cretaceous Nantun depositional fan in Well Huo-1 area of northwest Beier Depression, Hialaer Basin.

Key words: Stratal slicing; Interpretation of seismic data; Lithologic identification

Wang Jiang: male, Senior Engineer, Doctor's degree in progress at China Geology University(Beijing).

Add: Ranghu Rd., Daqing, Helongjiang, 163712 China