

天然气勘探

地层(体)切片技术及其应用

孙颖¹, 卢异², 余晓宇¹, 梁斌¹, 丁小辉¹, 韩祥海³

(1. 长江大学地球物理与石油资源学院, 湖北 荆州 434023;

2. 中国石油大港油田分公司勘探开发研究院, 天津 300280;

3. 渤海钻探井下技术服务公司, 天津 300280)

摘要:地层(体)切片技术自提出后就得到了广泛的应用,不只是在地震沉积学上的应用,很多时候也应用于储层的预测方面,已成为目前全三维地震综合解释的常用手段,同时在应用过程中也出现了新的变化。将地震属性切片分为时间切片、沿层切片、地层切片和地层体切片,着重对地层切片和地层体切片进行了严格区分与详述。在对地层切片技术原理及应用条件分析基础上,结合其在大港油田滨海斜坡区的应用,指出应用地层切片技术时应注意其所适用的地震、地质条件,描述了参考等时面的提取方法及使用技巧等,为地层切片技术的应用提供借鉴。

关键词:地层切片;地层体切片;沿层切片;参考等时面

中图分类号:TE122.3⁺22

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2011)05-0884-05

引用格式:孙颖,卢异,余晓宇,等.地层(体)切片技术及其应用[J].天然气地球科学,2011,22(5): 884-888.

0 引言

1981年, Brown等^[1]在利用暹罗湾三维地震资料进行地层解释的过程中,提出了基于三维地震水平切片进行沉积相解释的理论;曾洪流等在文献[2]中指出,沿着或平行于追踪地震同相轴所得的层位进行沿层切片,更具有实际的地质意义和地球物理意义。自20世纪90年代起,大量研究证实地震地貌学是沉积成像研究的有力工具,地震地貌成像是沿沉积界面(地质时间界面)提取振幅,反映地震工区内沉积体系的展布范围^[3]。这样的地震切片称为地层切片,它主要是通过在与地质年代等价的地震参考同相轴之间按比例进行线性切片来实现的。地层切片技术是传统切片技术的一大改进,它考虑了沉积速率的平面差异性,克服了时间切片(水平切片)和沿层切片的部分缺点,比时间切片和沿层切片更加具有等时性。地层(体)切片技术自提出后就得到了广泛的应用,不只是在地震沉积学上的应用,很多时候也应用于储层的预测方面,已成为目前全三维地震综合解释

的常用手段,同时在应用过程中也出现了新的变化。从地震切片的提取和应用上来看,地震资料关注点发生了变化,分析的对象也发生了变化。目前所用的地层(体)切片技术与最初的水平切片、沿层切片已经有了本质的区别,因此分析不同类型地震切片及如何用好它们成了首要解决的问题。

1 地层体属性切片技术

1.1 地震属性切片的概念

1.1.1 时间切片

时间切片(Time Slice)是沿某一固定地震旅行时对地震数据体进行切片显示(图1a,图1d),切片方向垂直于时间轴的方向,所显示的地层具有穿时性,反映了不同地层在同一埋深(等 t_0)时的出露情况,在了解地下构造形态和查明某些特殊的地质现象等方面具有独特的优点。利用时间切片进行地质解释,可以清晰地反映地层的分布、走向和高低,为构造解释和沉积储层研究提供信息。同时结合振幅、相位、相干等数据显示,可用于处理效果检查。

收稿日期:2011-05-20;修回日期:2011-07-19.

基金项目:中国石油天然气股份公司重大专项(编号:2008E-0602)资助.

作者简介:孙颖(1986-),女,河南邓州人,硕士研究生,主要从事地震地质研究. E-mail:sunying860131@sina.com.

油气勘探开发的地震解释实践证明,地震属性的时间切片可以辅助地层岩性解释和沉积相的解释,但是存在诸多的局限性,并且应用条件十分苛刻,一般情况下,实际地震数据几乎难于满足要求^[4]。

1.1.2 沿层切片

沿层切片(Horizon Slice)是指沿某一个没有极性变化的反射界面,即沿着或平行于追踪地震同相轴所得层位进行切片(图 1b,图 1d),是为了研究振幅的平面变化而提出的,更倾向于强调地层的地球物理意义。

沿层切片强调来源于地震追踪得到的层位所提取的沿层地震属性,它的理论基础是沿波峰或波谷

作切片可以反映振幅的平面变化。可以用瞬时相位切片来验证沿层切片能否代表振幅平面变化。当瞬时相位切片数值基本不变时,证明所切位置是同相的,这时即使沿层切片位置不过峰值(过零点除外),所切数值不是真正的振幅,也能间接地反映振幅的变化,否则不能代表振幅平面变化^[5]。雷明等^[6]指出在描述厚度变化不大的层序或地层分界面附近的层序或准层序时,沿层切片是做储层预测分析的主要手段。魏嘉等^[4]提出当年代地层框架的精度(等时界面的时间跨度)不能满足生成地层切片的需要,沿层切片仍然是属性切片的主要手段。

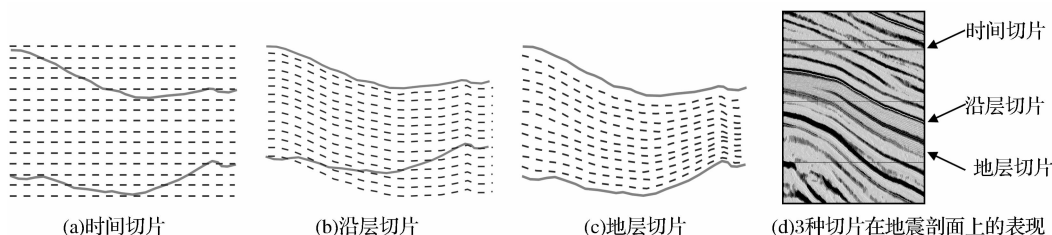


图 1 不同类型切片及其在地震剖面上的表现

1.1.3 地层(体)切片

地层(体)切片在此实际上包含 2 个概念,一是地层切片(Stratal Slice),另一个是地层体切片(Stratal Body Slice),本文对其进行了严格区分并加以论述。

魏嘉等^[4]在描述地层体的立体形态时指出,最初的地震体切片强调的是一个沉积时间段内的地层在地震属性上的综合反映,反过来利用地震属性体切片观察不同时间段的地层展布情况。应用时,首先将以地震反射时间为纵坐标的地震数据体,利用建立的 2 个(或多个)等时层位转换为以地质年代为纵坐标的三维数据体,随后根据研究需要将数据体切为等时间(地质时代)间隔的子体,观察子体的变化来研究不同地质年代沉积体变化特征,参见文献^[4]中图 4,文献^[7]中图 3。地层体切片是一个“体”的概念,揭示的是一个地质年代范围内地层集合的空间变化,切片在纵向上有厚度的概念。图 2 展现了观察地层体切片过程的 2 种方式,第一种方式是直接对一段地质时间的地震数据体按地震反射时间厚度(Δt)进行等分提取每个切片的地震属性体;第二种方式是对一段地质年代的地震数据体做层拉平处理,并将纵坐标转换为地质年代后,再进行等分提取属性切片体。不管哪种方式,都需要在三维立体显示方式下开展,对计算机设备及其 3D 图形处理能力的要求都很高。由于使用地层体切片技术要求

高,广泛应用较为困难,于是科技人员提出了用地层切片来代替地层体切片。

地层切片同样是以解释的 2 个等时沉积界面为顶底面,在地层的顶底界面间按照厚度等比例内插出无法追踪的地震同相轴的平面变化(图 1c,图 1d)。地层切片是地质发展时期的等时概念,不是地震数据体在时间域的等时概念,应用时要求选择具有地质事件界面意义的同相轴。地层切片是属于层面的概念,没有厚度,不过有对应的地质年代,它不像地层体切片具有地质年代厚度,也就是说,它反映的是固定地质年代地层的横向变化,而地层体切片反映的是一个地质年代范围内地层的整体变化。地层切片的优势在于能对目的层段进行精细的沉积研究。本文严格区分了地层切片和地层体切片,以提醒广大科研人员在应用时注意二者的区别。

1.2 地层切片技术

地层切片技术是地震沉积学研究的基本手段,它的技术要领就是在 2 个相对稳定分布的层面内,以平均等分并内插若干个小层提取沿层地震属性,通过分析数据体若干切片的平面展布特征来分析储层及其他属性信息的平面展布。地层切片可以看作是一组有关联的沿层切片的组合,通过运用多个切片属性数据分析来反映地层空间变化。开展等分切片的函数线性内插,其关键就是要建立 2 个等时的解释层面,然后在参考同相轴之间等分内插做切片,

并认为这样的切片也都是等时的,即地层切片,并认为其中任何一张地层切片都代表这一地层时间模型中相应地质时间界面的地震响应。地层切片技术的关键有以下4点^[6]:①与频率无关的同相轴是地质

上等时的或平行等时面的,并被选为参考同相轴;②同相轴之间等分内插做切片,认为这样的切片也都是等时的;③认为切片上的数值是振幅值;④任何一张时间切片都代表相应地质时间界面的地震响应。

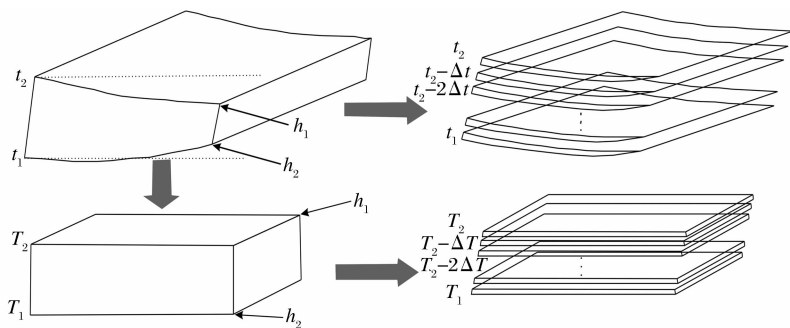


图2 地层体切片实现过程

t_1 、 t_2 为双程旅行时; Δt 为均分地层体的双程旅行时间间隔;

T_1 、 T_2 为地质年代; ΔT 为均分地层体的相对地质年代间隔; h_1 、 h_2 为选取的参考等时面

在做等时切片插值时要充分考虑断层、不整合面等对等时面的影响,也就是在具有角度不整合面甚至于一些假整合情况下的不整合面不能作为等时插值的标准层。同时用于插值的2个顶底界面应满足:①该地层体在研究区具有相同的沉积环境;②该地层体必须在一个沉积旋回内,或处在一个地震波周期内。

从地层切片的原理可以看出,它以2点假设为前提:①相邻切片间的沉积地层单元厚度要达到地震可分辨的尺度;②在平面上沉积速率与沉积厚度成正比,2个等时的沉积地层界面间的沉积速率在垂向上不随时间变化而变化^[8]。

由第一点假设可知,用地层切片研究沉积相的方法并没有解决地震纵向分辨率限制的问题。对厚度小于地震纵向分辨率的薄层来说,地层切片显示的信息并不是该地质时间单元内发育的沉积相的反映^[8]。对于薄互层地层而言,地震反射同相轴实际上是一系列薄互层的综合响应,并不是2个等时界面间的每一个等比例内插层面都对应一个等时沉积界面。但是在实际应用中,对薄互层运用地层切片技术,通过分析多个地层切片体可以很好地反映沉积体系的发育特征。

地层切片技术的第二点假设认为垂向上地层的沉积速率不随时间变化,在2个等时的沉积界面间进行垂向等厚分割是近似于沿等时沉积界面的。实际上,沉积速率受到沉积物供应速率、可容空间变化等因素的影响,具有时变性,而且这种变化的影响往往是不容忽略的^[8]。数学意义上的等分是个绝对的概念,但在具体应用时,只需要考虑切片体的大概相

对地质年代即可。

对于符合假设条件的地区,利用各类地震属性体采用地层切片技术能更好地开展厚度小于 $\lambda/4$ 的储层空间展布的描述,提高岩性和沉积环境解释的准确性,并通过与地质综合认识的相互验证及质量监控,对研究沉积体纵向、横向变化具有很好的指导和使用价值。

2 地层切片技术应用技巧及效果

2.1 等时面的求取

地层切片技术关键点的第一步就是要建立等时面,通常采取的方法是在地震剖面上找出与频率无关的同相轴,同时也需确保选用的参考等时面间层位均匀变化,无异常地质反射现象,确保沉积等时性及层间地震信息提取的等时问题,避免严重穿时现象的发生。为了确保能够选取在地震上有较好的地震响应的等时面,在进行等时面追踪时最好采用以波峰为主的自动追踪方式,来尽量保证参考等时面的地震相位基本一致。

2.2 地层切片技术的应用范围

地层切片技术是在选取的2个或多个等时面间内插做切片,如果地层厚度变化太大,随着地层的变薄和地震分辨率的限制,同相轴不断合并和减少,到薄的一端只有很少同相轴与厚地层处的多个反射同相轴对应。按地层切片的做法,通过拉伸或压缩使参考同相轴之间的时间相等,在这样的数据体中做切片,每一张切片所对应的地质年代相同,岩性也相同,但所切的数值不可能处处相同。这就要求在具

体地区应用地层切片时,地层厚度和面积范围变化都不能太大,以此来避免穿时现象,确保技术应用效果的可信度。另外在应用时还应注意复杂断裂带、逆冲构造带、火成岩等对应用效果的影响,多期断裂造成地层形态构造多变,难以保证应用效果的可靠性。

对于地层切片技术的应用,目前主要使用地震数据提取振幅信息来分析地层的变化。在实际应用地层切片技术时,我们不用拘泥于振幅信息,也可对其他类地震信息(如波阻抗反演体、频率体等)利用地层切片原理进行分析,获取地层信息,拓展地层切片技术的应用范围。

2.3 地层切片的应用及实例分析

地层切片技术受地震、地质条件限制,应用具有一定局限性。在实际应用过程中也发现,并不是每个地层切片都能反映真实的地质情况,应综合地质认识选择性地应用地层切片,优选切片以反映不同地质体的变化。现以大港油田滨海斜坡区沙一段为例说明地层切片应用。

滨海斜坡位于大港油田海陆过渡区,滨海断裂系下降盘,是受北大港潜山东翼挠曲变形向歧口凹陷延伸形成的同沉积斜坡,近南北向展布。滨海斜坡沙一段为远岸水下扇沉积体系,受北西向及北部物源共同影响,发育重力流水道砂体,多期砂体沿斜坡带叠置发育,构造主体区砂体发育,其中北部物源向斜坡高部位上超减薄尖灭,有利于岩性圈闭形成^[9]。其中沙一下亚段地层厚度为400~650 m,已钻井揭示沙一段板0油组、板1油组、板2油组砂层厚度一般都小于30 m,小于研究区地震可识别的 $\lambda/4$ 砂体厚度,应用地层切片技术开展地层及储层变化研究成为重点工作之一。精细层位标定结果显示,研究区板0油组、板1油组、板2油组底界为3个与频率无关的强反射同相轴,将其作为等时参考

面开展精细解释,并以此应用地层切片对沙一段各油组砂体的平面分布范围进行了预测,取得了良好的效果。以板1油组为例,利用板0油组和板1油组底2个等时参考面将板1油组顺层等分30个振幅属性切片,能够较好地反映多期重力流水道砂体沿斜坡带叠置。各砂组在横向上叠加连片分布,每套砂组均表现为近南北向展布,在研究区内存在几个薄值区,反映出砂体受沉积背景控制在纵向上既有继承性,又在横向上迁移的特点。滨海斜坡沙一段共做了约90层地层切片,实际能反映地层变化的不到50%,而能很好反映几套砂组变化的仅10余张。图3是其中有代表性的3张切片,图中橘黄色的区域表示振幅较强、为重力流水道砂体发育区,绿色表示泥岩低振幅区。

图3a为从上到下第2张切片,反映了该区板1油组①砂组存在2个方向的主物源和储层分布范围,发育自北东向、北西向2条重力流水道砂体。北东向砂体波及范围较大,单砂层沉积厚度较北西向砂体沉积厚度大,砂体有向两侧逐渐减薄的趋势。图3b为从上到下第16张切片,反映板1油组②砂组为一组来自北东向的主物源区。该期砂体具有分布范围广、单砂层较厚沉积特征,是板1油组主力砂体。其砂体向西减薄尖灭。钻探的滨海4井已证实,板1油组②砂组处在重力流水道主体区,砂层厚度达30 m,与属性结果有很好的 consistency。图3c为从上到下第28张切片,反映板1油组③砂组砂体的厚度与砂体分布范围。板1油组③砂组发育一组北西向物源砂体,呈条带状分布,砂体具有向两翼减薄的特征,分布较局限,较①砂组、②砂组分布的范围小。

从地层切片在滨海斜坡沙一段及其他不同地震、地质条件地区的应用来看,地层切片应用至少要注意以下3个问题:①复杂断裂区受地震资料影响,在地层切片上表现不好(图3北部地区),因此像复

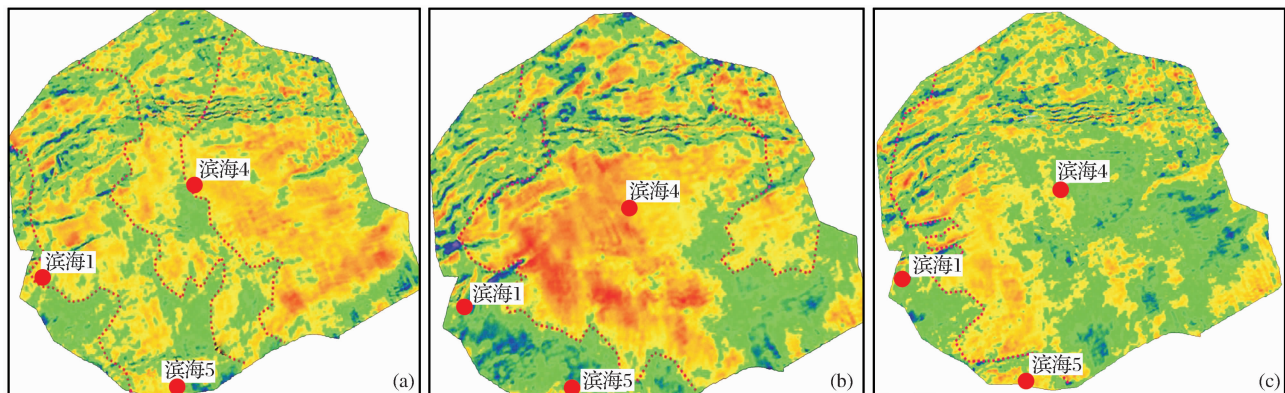


图3 滨海地区板1油组地层切片

杂断裂带、火成岩区、特殊岩体、地震异常区等都可能造成地层切片应用效果变差;②参考等时面的确定和合理追踪对地层切片的成功应用极为关键;③不是每张地层切片都具有地质意义,需要结合地质情况选择有地质意义的地层切片开展分析。

3 结论

(1)地震属性切片分为时间切片、沿层切片、地层切片、地层体切片4种;地层切片和地层体切片是2个不同的概念,地层切片是地层体切片的简化、推广和延伸,在理解和应用时要注意加以区分。

(2)在地震资料品质较好、断裂相对简单的地区,选取合适的参考等时面,并利用各类反映地层变化的三维地震属性数据体,应用地层切片技术,可较好地解决沉积及储层预测的问题。

(3)使用切片数据能够从平面上观察地震数据和各种属性的变化,但从应用效果来看,并不是每个地层切片体都能反映很好的地质现象,在应用时需根据具体地质情况选择区分。

参考文献(References):

- [1] Brown A R, Dahm C G, Graebner R J. A stratigraphic case history using three dimensional seismic data in the gulf of thailand [J]. *Geophysical Prospecting*, 1981, 29(3): 327-349.
- [2] Zeng Hongliu, Backus M M, Barrow K T, *et al.* Facies mapping from three dimensional seismic data: Potential and guidelines from a Tertiary sandstone shale sequence model, powerhorn field [J]. *AAPG Bulletin*, 1996, 80(1): 16-46.
- [3] Dong Chunmei, Zhang Xianguo, Lin Chengyan. Conception,

method and technology of the seismic sedimentology [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(5): 698-703. [董春梅, 张宪国, 林承焰. 地震沉积学的概念、方法和技术 [J]. *沉积学报*, 2006, 24(5): 698-703.]

- [4] Wei Jia, Zhu Wenbin, Zhu Hailong, *et al.* Seismic sedimentology: A new idea for seismic interpretation and new tool for sedimentological studies [J]. *Progress in Exploration Geophysics*, 2008, 31(2): 95-101. [魏嘉, 朱文斌, 朱海龙, 等. 地震沉积学—地震解释的新思路及沉积研究的新工具 [J]. *勘探地球物理进展*, 2008, 31(2): 95-101.]
- [5] Qian Rongjun. Analysis of some issues in interpretation of seismic slices [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2007, 42(4): 482-487. [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.]
- [6] Lei Ming, Wang Jiangong, Liu Caiyan, *et al.* Application of slicing technology in Anda area [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2010, 45(3): 418-422. [雷明, 王建功, 刘彩艳, 等. 地震切片技术在安达工区的应用 [J]. *石油地球物理勘探*, 2010, 45(3): 418-422.]
- [7] Lin Zhengliang, Wang Hua, Li Hongjing, *et al.* Current status and progress of seismic sedimentology [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2009, 28(5): 131-137. [林正良, 王华, 李红敬, 等. 地震沉积学研究现状及进展综述 [J]. *地质科技情报*, 2009, 28(5): 131-137.]
- [8] Lin Chengyan, Zhang Xianguo. The discussion of seismic sedimentology [J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(11): 1140-1144. [林承焰, 张宪国. 地震沉积学探讨 [J]. *地球科学进展*, 2006, 21(11): 1140-1144.]
- [9] Su Junqing, Yu Chao, Qian Maolu, *et al.* Model of sandstone body for the 1th member of Shahjie Formation and lithologic petroleum reservoir exploration in littoral slope area [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(4): 541-546. [苏俊青, 于超, 钱茂路, 等. 滨海斜坡区沙一段砂体发育模式与岩性油气藏勘探 [J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(4): 541-546.]

Stratal (Body) Slice Technology and Its Application

SUN Ying¹, LU Yi², SHE Xiao-yu¹, LIANG Bin¹, DING Xiao-hui¹, HAN Xiang-hai³

(1. *Geophysics and Oil Resource Institute of Yangtze University, Jingzhou 434023, China;*

2. *Exploration & Development Research Institute of Dagang Oilfield, PetroChina, Tianjin 300280, China;*

3. *Downhole Technplogy Service Company, BHDC, Tianjin 300280, China)*

Abstract: Stratal (body) slice technology has been widely used since it is proposed, which is used not only in seismic sedimentology but more often in reservoir prediction. At present, this technology is a common means in the full comprehensive three-dimensional seismic interpretation, meanwhile it has some new changes during applications. Seismic attributes slice are divided into time slice, horizon slice, stratal slice and stratal body slice in this article. Stratal slice and stratal body slice are distinguished in detail in this paper. Based on analysis of the principles of stratal slice technology and its application conditions, combined with the application in Binhai slope of Dagang oilfield, this paper indicates that we should pay attention to applicable seismic and geological conditions when using this technology, and describes the extraction of isochronous surface and the application skills. These can provide references for the applications of stratal slice technology.

Key words: Stratal slice; Stratal body slice; Horizon slice; Reference isochronous surface.