

# 倾斜地层的 VSP 时深标定研究

姜本厚\* 沈章洪 张平平 蔡越轩

(中海石油(中国)有限公司天津分公司勘探开发研究院,天津塘沽 300452)

姜本厚,沈章洪,张平平,蔡越轩. 倾斜地层的 VSP 时深标定研究. 石油地球物理勘探, 2012, 47(4): 598~604

**摘要** 针对 VSP 时深关系与偏移剖面对比时经常需要进行调整的情况,本文以理论时深关系为标准,通过 VSP 时深关系、偏移剖面与理论时深关系的对比研究,分析了 VSP、偏移剖面与理论时深关系的差别所在。以渤海油田 CYQ 构造已钻井实测 VSP 数据和 VSP 正演结果为实例对比分析了倾斜地层 VSP 和偏移剖面对时深标定的影响。

**关键词** 时深关系 VSP 偏移剖面 正演模型 时深标定 倾斜地层

**中图分类号**: P631 **文献标识码**: A

## 1 引言

近年来,非构造油气藏探明储量已经占到整个探明储量的一半以上<sup>[1]</sup>。非构造油气藏已经成为当今中国油气勘探的重要领域。由于非构造油气藏研究对时深关系精度要求比构造油气藏高得多,所以为了得到精细时深关系,分析 VSP 时深关系和偏移剖面与理论时深关系的差别显得十分必要。本文通过对 VSP 和偏移剖面的分析,讨论了 VSP 时深关系和偏移剖面与理论时深关系的差异原因,可为精细时深标定提供可靠依据,进一步提高非构造油气藏储层预测的精度。

## 2 理论时深关系

将地震波在地下介质中垂直传播的双程时间与对应垂直深度的关系定义为理论时深关系。理论时深关系包括理论深度和理论时间两部分,理论深度为钻井海拔深度,理论时间为垂直传播的双程时间。理论时深关系应该满足同一基准面和相同测量路径的要求。同一基准面是指:深度和时间的起算点必须从同一个基准面(一般以海拔零米起算)开始。相同测量路径是指:任何测量位置的深度测量路径和时间测量路径必须在同一垂线上。

如图 1 所示,假设模型中多层均匀介质的速度分别为  $v_i (i=1, 2, \dots, n)$ 。对于在模型中任意一个位置钻井(直井),如果各层介质的厚度分别为  $h_i$ ,那么在井中深度为  $Z$  处,地震波传播的理论时间可以表示为

$$T_T = 2 \left[ \frac{h_1}{v_1} + \frac{h_2}{v_2} + \dots + \frac{Z - h_1 - h_2 - \dots - h_{i-1}}{v_i} \right] \quad (1)$$

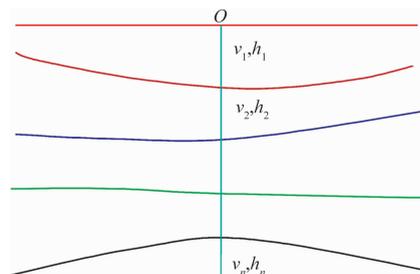


图 1 理论时深关系示意图

## 2 倾斜地层的 VSP 时深关系及时差

### 2.1 VSP 时深关系与理论时深关系的差异

图 2 是海上 VSP 资料采集示意图,震源采用的是空气枪震源,平面上,震源放置于离井口几十米远处;纵向上,震源放置在海平面以下几米的位置。检波器放置在井中,检波器的深度间隔一般为 25m,而在浅层一般为 100m。采用这样的观测方式采集的

\* 天津市塘沽区中海石油(中国)有限公司天津分公司勘探开发研究院,300452。Email:jiangbenhou@sina.com.cn

本文于 2010 年 10 月 25 日收到,最终修改稿于 2012 年 5 月 29 日收到。

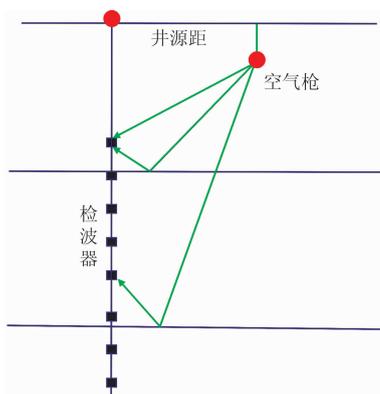


图 2 海上 VSP 采集示意图

VSP 资料经过处理可以提供精确的 VSP 时深关系。

对于直井的 VSP 时深关系,可以认为 VSP 海拔深度近似等于理论深度。VSP 时间(双程时间)是 VSP 拾取的初至时间再经过枪深及井源距校正后乘 2 得到的<sup>[2]</sup>。

如今工业界常用的 VSP 旅行时计算以水平层状介质假设为前提。实际上,由于地震波从震源到检波器的传播遵循费马定理的最短走时原则,所以地层的倾斜会给 VSP 时间的测量带来很大误差,本文将 VSP 测量时间与理论时间的差值定义为 VSP 时差。

当地层为水平层状均匀介质时,VSP 时间的传播路径跟 VSP 深度路径是一致的,且 VSP 时间等同于理论时间,此时的 VSP 时深关系等同于理论时深关系,不存在 VSP 时差。

当地层为倾斜层状均匀介质时,VSP 时间不再沿电缆测量的深度路径从震源传到检波器,而是沿用时最短的折线路径传播,VSP 时间不再等同于理论时间,如图 3 所示。假设倾斜地层的倾角分别为  $\theta_i (i=1, 2, \dots, n)$ ,入射波与地层法向的夹角为  $\alpha_i$ ,入射波到达每个倾斜界面的偏移距为  $x_i$ ,地层的速度为  $v_i$ ,井点处的地层厚度为  $h_i$ 。则在井中海拔深度为  $Z$  处,VSP 时间(详细推导过程见附录)为

$$T_{\text{VSP}} = \frac{\cos\theta_1}{\cos\alpha_1} \frac{h_1}{v_1} + \frac{h_2 \cos\theta_1 - \sin(\theta_2 - \theta_1)x_2}{\cos(\alpha_2 - \theta_2 + \theta_1)v_2} + \dots + \frac{h_{i-1} \cos\theta_{i-2} - \sin(\theta_{i-1} - \theta_{i-2})x_{i-1}}{\cos(\alpha_{i-1} - \theta_{i-1} + \theta_{i-2})v_{i-1}} + \frac{\cos\theta_{i-1}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_i}{v_{i-1}} \sin\alpha_{i-1}\right)^2}} \frac{Z - h_1 - \dots - h_{i-1}}{v_i}$$

(2)

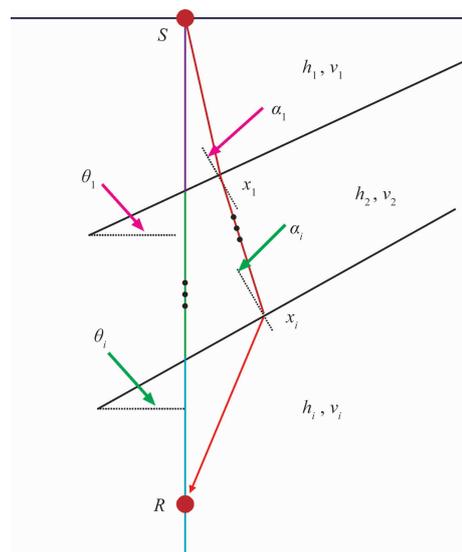


图 3 倾斜地层 VSP 测量地震波传播路径

将式(1)减去式(2),得到的就是 VSP 时差。如果在  $v_i$  和  $h_i$  已知的情况下, $\alpha_i$  和  $x_i$  也为已知量,VSP 时差就只是地层倾角  $\theta_i$  的函数。一般 VSP 时差随地层倾角的增大而显著增大。

此外,在实际的 VSP 处理过程中,以下因素也会造成 VSP 时间测量的时差:

(1)未作潮差校正。以渤海为例,高低潮的潮差可能会相差 4~5m,由此引起的双程旅行时时差可能会达到 5~6ms;

(2)VSP 初至拾取不准。由于检波器与井壁耦合不好、电缆波、井筒波、背景噪声以及人为因素等影响,造成 VSP 初至拾取不准<sup>[3]</sup>,由此引起的时差可能也会有几毫秒;

(3)枪深、偏移距校正时的人为失误。这种情况较少发生,但的确也有此类情况发生过;

(4)地层非均匀性的影响。当地层不是均匀介质时,无论是水平地层还是倾斜地层,地震波不再沿直线路径传播,VSP 时间都不再等同于理论时间,此时地层的非均匀也会造成一定的时差,但这种时差通常较小。

综上所述,在所有引起 VSP 时差的因素中,因地层倾斜引起的 VSP 时差无疑是最主要的。由于未作潮差校正和 VSP 初至拾取不准以及地层非均匀造成的时差一般较小,可以作为 VSP 系统误差,通过平移 VSP 时深关系进行校正。

## 2.2 VSP 正演结果分析

为了验证倾斜地层情况下的 VSP 时差大小,可

以借助 VSP 正演模拟进行研究。为了更好地与地下地层情况进行类比,共设计了四组模型,分别是:速度单调增加的 2 层模型( $h_1=2000\text{m}, v_1=2000\text{m/s}; h_2=2000\text{m}, v_2=4000\text{m/s}$ )、速度单调增加的 4 层模型( $h_1=1000\text{m}, v_1=2000\text{m/s}; h_2=1000\text{m}, v_2=2700\text{m/s}; h_3=1000\text{m}, v_3=3400\text{m/s}; h_4=1000\text{m}, v_4=4000\text{m/s}$ )、速度单调增加的 8 层模型( $h_1=500\text{m}, v_1=2000\text{m/s}; h_2=500\text{m}, v_2=2300\text{m/s}; h_3=500\text{m}, v_3=2600\text{m/s}; h_4=500\text{m}, v_4=2900\text{m/s}; h_5=$

$500\text{m}, v_5=3200\text{m/s}; h_6=500\text{m}, v_6=3500\text{m/s}; h_7=500\text{m}, v_7=3800\text{m/s}; h_8=500\text{m}, v_8=4000\text{m/s}$ )和速度交替增加的 8 层模型(图 4,砂、泥岩互层模型)。每一组模型又包括 5 种不同的倾角,分别为  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 。井放置在模型的中间位置,井深为 4000m。井中共放置 201 个检波点,检波点间隔为 20m,均匀分布在 0~4000m 的范围内。震源为单炮点震源,在井口激发。正演方法采用的是有限差分波动方程正演模拟方法。

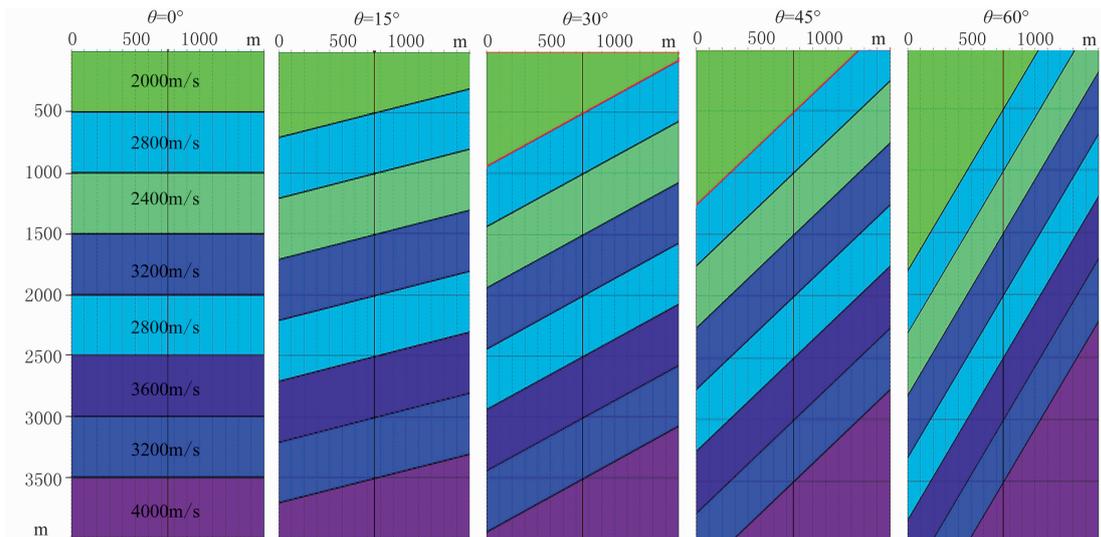


图 4 不同倾角、速度交替增加的 8 层砂、泥岩互层模型

将不同角度、不同层数、不同速度的模型进行 VSP 正演,拾取它们的初至时间。每组模型中  $0^\circ$  模型初至时间可以作为理论时间。将每一组模型的理论时间减掉其他模型拾取的初至时间就得到每组模型的 VSP 时差。放置在深度为 3700m 处检波点的 VSP 时差对比图见图 5。从对比结果来看,可以得到如下结论:

- (1) 倾斜地层的埋深对 VSP 时差影响不大;
- (2) 地层倾角越大, VSP 时差越大;
- (3) 地层层数越多, VSP 时差越小;
- (4) 速度交替增加的地层与速度单调增加的地层相比, VSP 时差变小;
- (5) VSP 时差的大小与相邻地层间的速度值有关。

地下地层的一般情况是:一千多米以上的地层近似水平,而倾斜地层的倾角一般小于  $30^\circ$ ,角度超过  $60^\circ$  的地层很少见;地层多为砂泥岩交互层,且地层速度是交替增加的;地层单层厚度较薄,在 2000m

的深度范围内,地层层数可达到几十甚至几百,地层间的速度差一般较小。

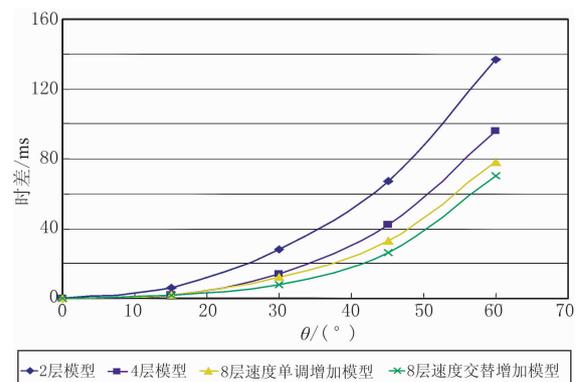


图 5 4 组模型 3700m 处的 VSP 时差对比

### 3 偏移剖面与理论时间的关系

#### 3.1 偏移剖面与理论时间的差异

根据叠前时间偏移原理<sup>[4]</sup>,在理论情况下,经过

了叠前时间偏移的剖面应该归位到正确的位置。此时,其垂向时间(剖面时间)与理论时深关系中的理论时间基本一致,可以将偏移剖面时间等同于理论时间。正确归位的偏移剖面可以与直井及其 VSP 时深关系进行对比。

理论上,对于地下某一深度的分界面,其地震反射波在偏移剖面上出现的时间也应该是唯一的。但实际的偏移归位剖面时间,由于地震处理过程的影响,往往与理论时间有差别。本文把偏移剖面时间与理论时间的差值称为偏移剖面时差,这些时差的起因可能有以下几个方面,如:①两次资料处理过程的差异引起的时差;②速度梯度变化引起的时差<sup>[5,6]</sup>;③各向异性引起的时差<sup>[7]</sup>。

总之,与理论时间相比,偏移剖面也存在较大的时差,是不能被忽视的。

### 3.2 偏移剖面时差与时深标定的关系

时深标定是建立深度域的地层界面与时间域的地震反射同相轴间的对应关系<sup>[8]</sup>,且合成记录的时深标定是以实际偏移剖面为标准的。在偏移剖面不存在时差的情况下,时深标定的结果与理论时深关

系是一致的;当偏移剖面存在时差时,时深标定的结果就不同于理论时深关系,时深标定结果偏离理论时深关系的大小是由偏移剖面时差所决定的。

## 4 实例分析

渤海油田 CYQ 构造位于渤海北部海域,为了证实 VSP、偏移剖面与理论时深关系的差异,对该区的 CYQ-1、CYQ-2 和 CYQ-3 井 VSP 资料进行了分析。如图 6 所示,CYQ-1 和 CYQ-3 井钻遇的地层近似为水平,而 CYQ-2 井钻遇的下部地层倾角大于  $20^\circ$ 。

该区地震资料在 1998 年进行第一次处理,2005 年进行了重新处理。两次处理资料存在时差,在目的层段(1.3~2s),将老资料上移 10ms 并反转极性可与新资料较好的对应(图 7)。但此时,新、老资料在浅、深层却不能较好对应,要使浅、深层也能较好对应,如果以 2005 年资料为准,在浅层 0.5s 处,老资料大致需要向上局部拉伸 6ms;在深层 2.8s 处,老资料需要向下局部拉伸 16ms。

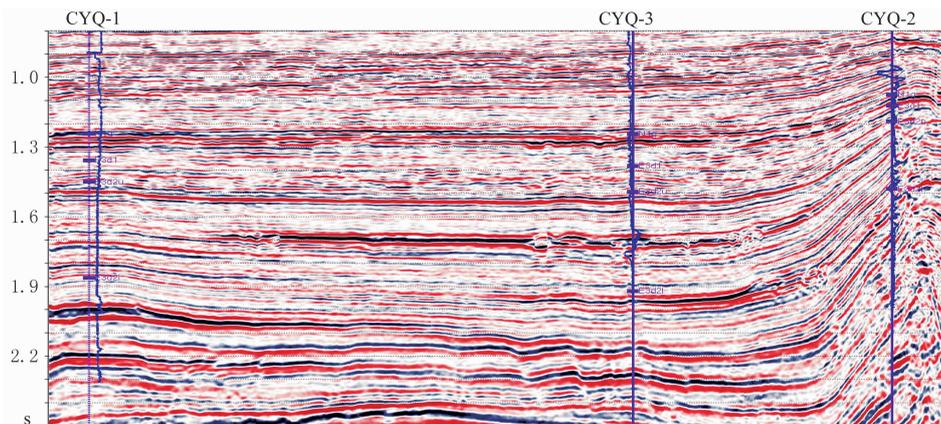


图 6 CYQ 构造连井剖面

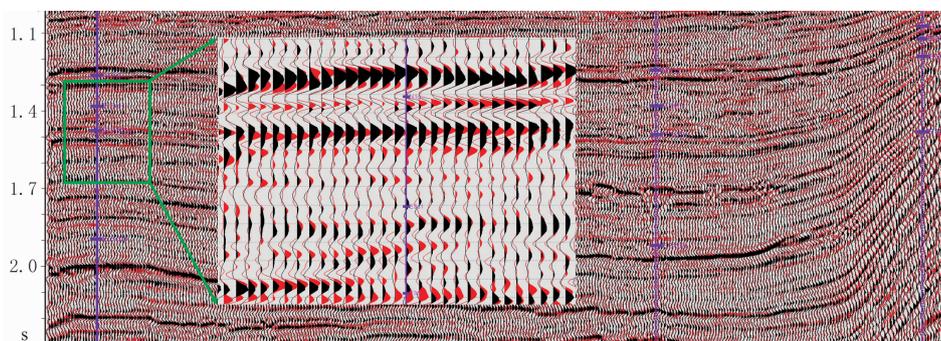


图 7 1998 年处理剖面(黑)反极性并上移 10ms 后与 2005 年处理剖面的叠合(红)(中间为局部放大)

该区时深标定是在2005年重新处理的资料上进行的。为了使合成记录与偏移剖面有较好的对应关系,CYQ-1井VSP实测时深关系先向下平移18ms,再向下局部拉伸14ms;CYQ-3井实测VSP时深关系先向下平移18ms,再向下局部拉伸15ms(图8);CYQ-2井VSP实测时深关系先向下平移18ms,再向下局部拉伸65ms(图9)。三口井原始VSP与调整后时深关系的对比见图10。三口井时

深调整完成后,都在实测VSP时深关系的基础上向下平移了18ms。钻穿近水平地层的CYQ-1和CYQ-3井还分别有15ms和14ms的局部拉伸,而钻穿倾斜地层的CYQ-2井的局部拉伸量为65ms。分析认为,水平地层的拉伸量主要是由于资料处理过程以及VSP系统误差造成的。除掉15ms由于资料处理产生的时差,CYQ-2井的局部拉伸量大致还有50ms。

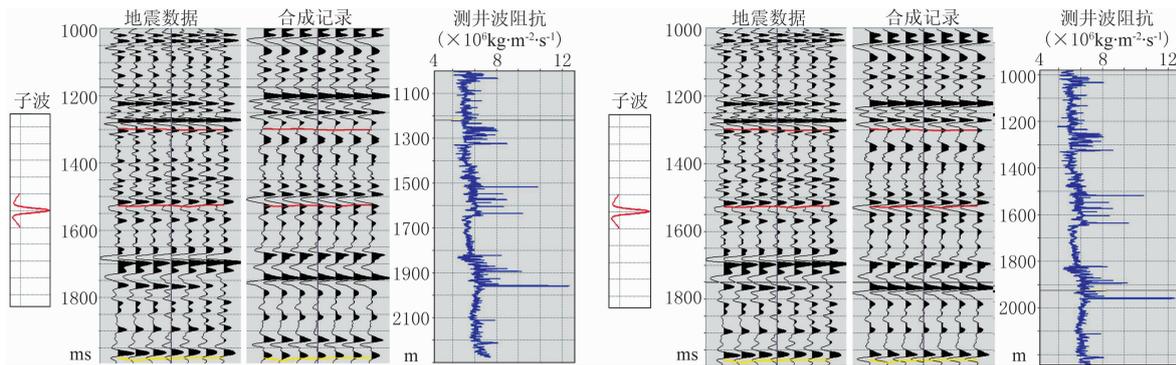


图8 CYQ3井调整前(左)、后(右)的合成记录与地震数据的对比

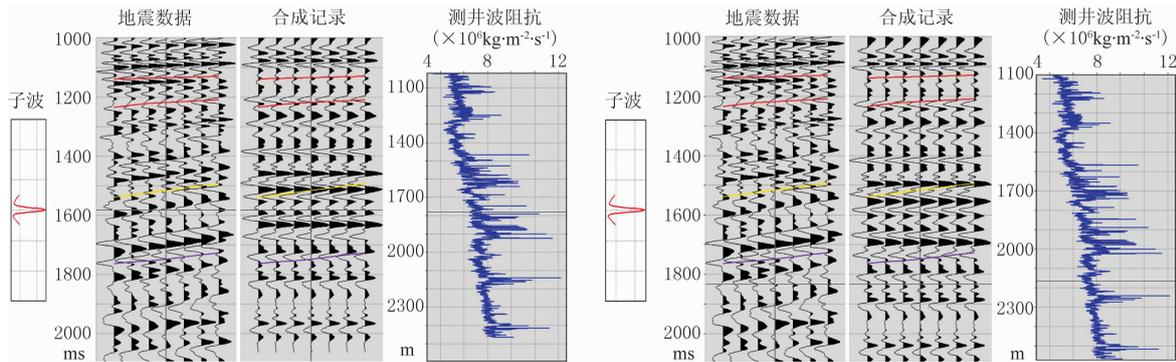


图9 CYQ2井调整前(左)、后(右)的合成记录与地震数据的对比

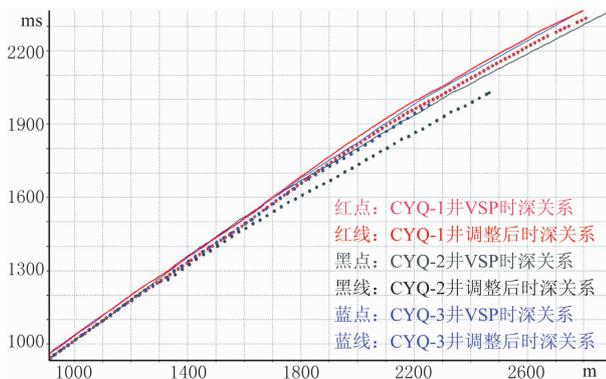


图10 VSP调整前、后时深关系对比

分别用CYQ-2井和CYQ-3井的实测声波和密度曲线来近似模拟真实地层情况。两口井的VSP

正演模型都采用水平地层形式,因为水平地层模型在VSP正演时,深度路径和时间路径是一致的,满足理论时深关系的要求,此时VSP正演拾取的初至时间就可以近似看作是理论时间。将VSP正演的初至时间和VSP实测数据进行对比,就可以知道每口井VSP时差的大小。VSP正演和实测结果对比表明,CYQ-3井VSP正演的初至时间与VSP实测结果有较好的一致性。一方面说明VSP正演的初至时间在水平地层基本等同于理论时间,因为它与VSP实测结果基本不存在VSP时差;另一方面也说明利用实测井数据进行的VSP正演是可靠的,在此基础上进行倾斜地层的VSP正演也是可信的。CYQ-2井VSP正演的初至时间(水平层状模型)和

实测数据对比如图 11 所示,从图中可以看出,VSP 正演的初至时间要比 VSP 实测结果大,且随着深度的不断加大,VSP 时差也在逐渐增大,这与 VSP 原理相符。在井深 2480m 处,VSP 正演的初至时间和 VSP 实测结果存在约 35ms 时差。该井时深标定的局部拉伸量大致为 50ms,除去由于地层倾斜引起的 35ms 的 VSP 时差,大致还有 15ms 的时差,根据偏移剖面时差及其与时深标定的关系,认为这部分时差是由偏移剖面时差引起的。

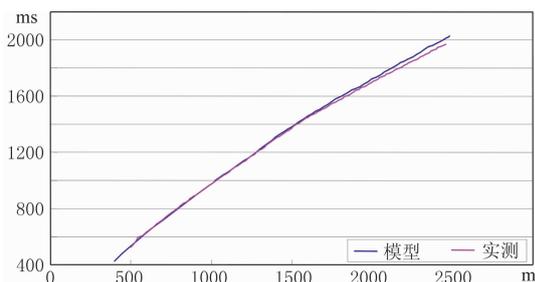


图 11 CYQ-2 井 VSP 正演初至时间与 VSP 实测数据对比

通过以上的实例分析认为,VSP 时深关系的调整量是 VSP 和偏移剖面时差共同作用的结果。在地层水平时,VSP 时深关系接近于理论时深关系,此时时深标定的调整量主要是由于偏移剖面时差引起的。在地层倾斜时,地层倾斜引起的 VSP 时差是时深标定时调整量的重要因素,但不是唯一因素,偏移剖面时差对调整量也有着不可忽视的影响。

## 5 结论

(1)理论时深关系是地震波在地下介质中垂直传播的双程时间与对应垂直深度的关系。引入理论时深关系的概念是为了便于 VSP 和偏移剖面关系的分析和研究。

(2)在水平层状均匀地层,经过系统校正的 VSP 时深关系可以等同于理论时深关系,基本不存在 VSP 时差;在倾斜层状均匀地层,由于 VSP 深度路径与时间路径不一致,VSP 时间不等同于理论时间,存在 VSP 时差,时差大小跟倾斜地层的角度有关。地层倾角越大,造成的 VSP 时差越大。

(3)根据叠前时间偏移原理,正确偏移归位的偏移剖面时间可以等同于理论时间。但由于处理过程、速度梯度变化、各向异性等因素的影响,实际偏移剖面时间与理论时间之间也存在时差,而且这个

时差是不可忽视的。

(4)制作合成记录时,由于时深标定是以实际偏移剖面为标准进行的,所以时深标定的调整量往往是 VSP 时差和偏移剖面时差共同作用的结果。

## 参考文献

- [1] 陈启林,杨占龙. 岩性油气藏勘探方法和技术. 天然气地球科学,2006,17(5):622~626  
Chen Qilin, Yang Zhanlong. Exploration techniques in lithologic reservoirs, *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(5):622~626
- [2] 朱光明. 垂直地震剖面方法. 北京:石油工业出版社,1992
- [3] 刘海河. 准确求取 VSP 时间—深度关系的探讨. 测井技术,2004,28(4):289~291,295  
Liu Haihe. On accurately acquiring time-depth relationship using VSP data. *Well Logging Technology*, 2004, 28(4):289~291,295
- [4] 渥·伊尔马滋. 地震资料分析——地震资料处理、反演和解释. 北京:石油工业出版社,2006
- [5] 张兵,方伍宝,孔祥宁等. 近地表速度变化对地震波传播的影响. 勘探地球物理进展,2008,31(5):357~362  
Zhang Bing, Fang Wubao, Kong Xiangning et al. Effect of velocity variation on seismic wave propagation in near surface. *Progress in Exploration Geophysics*, 2008, 31(5):357~362
- [6] 郝守玲,赵群. 横向速度变化对构造成像影响的物理模拟研究. 石油物探,2008,47(1):49~54  
Hao Shouling, Zhao Qun. Physical modeling research for the effect of lateral velocity on structural imaging. *GPP*, 2008, 47(1):49~54
- [7] 黄中玉,曲寿利,王于静等. 层状各向异性介质转换波克希霍夫叠前时间偏移. 地球物理学报,2008,52(12):3109~3115  
Huang Zhongyu, Qu Shouli, Wang Yujing et al. Kirchhoff prestack time migration of PS-wave data for the layered anisotropic medium. *Chinese Journal of Geophysics*, 2008, 52(12):3109~3115
- [8] 张永华,陈萍,赵雨晴等. 基于合成记录的综合层位标定技术. 石油地球物理勘探,2004,39(1):92~96  
Zhang Yonghua, Chen Ping, Zhao Yuqing et al. Integrated layer-labeling technique based on synthetic seismogram. *OGP*, 2004, 39(1):92~96

## 附录 A

正文式(2)的详细推导过程如下:

假设倾斜地层的倾角为  $\theta_i (i=1, 2, \dots, n)$ , 入射波与界面法向的夹角为  $\alpha_i$ , 透射波与界面法向的夹角为  $\beta_i$ , 入射波到达每个倾斜界面的偏移距为  $x_i$ , 地层的速度为  $v_i$ , 井点处的地层厚度为  $h_i$ 。

(1)对于两层的倾斜地层(图 A1)

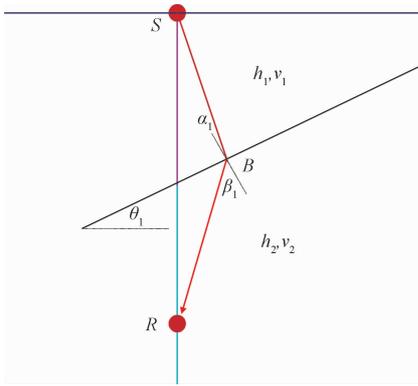


图 A1 两层的倾斜地层地震波传播路径示意图

地震波沿着路径  $\overline{SBR}$  传播时间

$$T_{\text{VSP}} = \frac{l_{SB}}{v_1} + \frac{l_{BR}}{v_2} \quad (\text{A-1})$$

根据正弦定理

$$l_{SB} = \frac{\sin(90^\circ - \theta_1)}{\sin(90^\circ + \alpha_1)} h_1 \quad (\text{A-2})$$

$$\begin{aligned} l_{BR} &= \frac{\sin(90^\circ + \theta_1)}{\sin(90^\circ - \beta_1)} (Z - h_1) \\ &= \frac{\sin(90^\circ + \theta_1)}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \sin \alpha_1\right)^2}} (Z - h_1) \end{aligned} \quad (\text{A-3})$$

因此

$$T_{\text{VSP}} = \frac{\cos \theta_1}{\cos \alpha_1} \frac{h_1}{v_1} + \frac{\cos \theta_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \sin \alpha_1\right)^2}} \frac{Z - h_1}{v_2} \quad (\text{A-4})$$

(2) 对于三层的倾斜地层(图 A2)

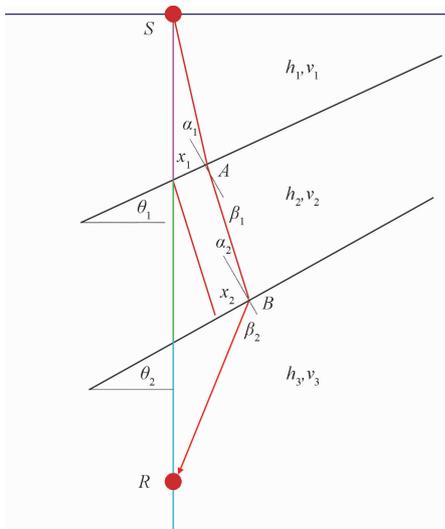


图 A2 三层的倾斜地层地震波传播路径示意图

地震波沿着路径  $\overline{SABR}$  传播时间

$$T_{\text{VSP}} = \frac{l_{SA}}{v_1} + \frac{l_{AB}}{v_2} + \frac{l_{BR}}{v_3} \quad (\text{A-5})$$

根据正弦定理,有

$$l_{SA} = \frac{\sin(90^\circ - \theta_1)}{\sin(90^\circ + \alpha_1)} h_1 = \frac{\cos \theta_1 h_1}{\cos \alpha_1} \quad (\text{A-6})$$

$$l_{AB} = \frac{h_2 \cos \theta_1 - \sin(\theta_2 - \theta_1) x_2}{\cos(\alpha_2 - \theta_2 + \theta_1)}$$

$$\begin{aligned} l_{BR} &= \frac{\sin(90^\circ + \theta_2)}{\sin(90^\circ - \beta_2)} (Z - h_1 - h_2) \\ &= \frac{\cos \theta_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_3}{v_2} \sin \alpha_2\right)^2}} (Z - h_1 - h_2) \end{aligned} \quad (\text{A-7})$$

所以

$$\begin{aligned} T_{\text{VSP}} &= \frac{\cos \theta_1}{\cos \alpha_1} \frac{h_1}{v_1} + \frac{h_2 \cos \theta_1 - \sin(\theta_2 - \theta_1) x_2}{\cos(\alpha_2 - \theta_2 + \theta_1) v_2} + \\ &\quad \frac{\cos \theta_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_3}{v_2} \sin \alpha_2\right)^2}} \frac{(Z - h_1 - h_2)}{v_3} \end{aligned} \quad (\text{A-8})$$

由于

$$\frac{\sin(\theta_2 - \theta_1)}{x_1} = \frac{\sin(90^\circ + \theta_1)}{x_2} \quad (\text{A-9})$$

因此

$$x_1 = \frac{x_2 \sin(\theta_2 - \theta_1)}{\cos \theta_1} \quad (\text{A-10})$$

又由于

$$\frac{\sin(90^\circ - \theta_1)}{l_{AB}} = \frac{\sin(90^\circ + \alpha_2 - \theta_2 + \theta_1)}{h_2 - x_1} \quad (\text{A-11})$$

所以

$$\begin{aligned} l_{AB} &= \frac{\cos \theta_1 \left[ h_2 - \frac{x_2 \sin(\theta_2 - \theta_1)}{\cos \theta_1} \right]}{\sin(90^\circ + \alpha_2 - \theta_2 + \theta_1)} \\ &= \frac{h_2 \cos \theta_1 - x_2 \sin(\theta_2 - \theta_1)}{\cos(\alpha_2 - \theta_2 + \theta_1)} \end{aligned} \quad (\text{A-12})$$

(3) 对于多层的倾斜地层

根据二层和三层倾斜地层的 VSP 传播时间的表达式进行递推,可以得到  $i$  层的倾斜地层的 VSP 传播时间的表达式

$$\begin{aligned} T_{\text{VSP}} &= \frac{\cos \theta_1}{\cos \alpha_1} \frac{h_1}{v_1} + \frac{h_2 \cos \theta_1 - \sin(\theta_2 - \theta_1) x_2}{\cos(\alpha_2 - \theta_2 + \theta_1) v_2} + \dots + \\ &\quad \frac{h_{i-1} \cos \theta_{i-2} - \sin(\theta_{i-1} - \theta_{i-2}) x_{i-1}}{\cos(\alpha_{i-1} - \theta_{i-1} + \theta_{i-2}) v_{i-1}} + \\ &\quad \frac{\cos \theta_{i-1}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_i}{v_{i-1}} \sin \alpha_{i-1}\right)^2}} \frac{Z - h_1 - \dots - h_{i-1}}{v_i} \end{aligned} \quad (\text{A-13})$$

(本文编辑:宜明理)