

文章编号:1673-5005(2010)01-0037-04

转换横波合成记录制作方法

罗焕章¹, 季玉新², 王秀玲³, 王修敏³

(1. 中国海洋大学 地球科学学院, 山东 青岛 266003; 2. 中石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083;
3. 胜利油田 物探研究院, 山东 东营 257022)

摘要:对转换波地震剖面的解释过程中转换横波的合成记录标定问题进行研究, 提出转换横波合成记录制作方法, 即将纵横波声波测井曲线相加, 得到伪转换波声波测井, 从而得到伪转换波反射系数, 再用常规的制作合成记录的手段制作转换波合成记录, 可以得到时间准确、振幅特征近似准确的结果。该合成记录制作方法简单、快捷, 实际应用的结果证明了制作方法的有效性和良好的应用前景。

关键词:转换波; 层位对比; 合成记录; 伪反射系数

中图分类号:P 631.4 **文献标志码:**A

Making P-SV shear wave synthetic seismic record

LUO Huan-zhang¹, JI Yu-xin², WANG Xiu-ling³, WANG Xiu-min³

(1. Geosciences College of Ocean University of China, Qingdao 266003, China;
2. Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;
3. Geophysical Research Institute of Shengli Oilfield, Dongying 257022, China)

Abstract: The synthetic seismic correlation of conversion S-wave for the interpretation of P-S wave seismic data was researched, and a method of making P-SV shear wave synthetic seismic record was proposed. According to deduction and statistics, pseudo P-S wave sonic log can be gotten by the P-wave sonic plus S-wave sonic, and good pseudo reflection coefficient of P-S wave can be gotten. Then, synthetic P-S seismic record can be made by conventional ways, and a synthetic P-S seismic record with correct time and approximate amplitude can be obtained. The method is characterized by simplicity. The application results of real data proved the validity and the foreground of the method.

Key words: P-S wave; geologic horizon correlation; synthetic seismic record; pseudo reflection coefficient

在储层和流体预测过程中, 将纵波和转换横波地震资料联合应用, 可以降低只用纵波解释和储层预测的多解性, 从而提高地震解释和储层预测的精度。在纵波和转换横波联合应用的过程中, 纵横波的联合对比标定的准确性是决定应用效果的关键, 其中以转换横波的合成地震记录制作难度最大^[1-5]。纵波合成地震记录制作方法不能直接用于转换波, 转换横波反射系数与入射角有关, 不存在自激自收的转换波, 实际的转换波记录是多个入射角共转换点道集的叠加^[4-7]。即使同一口井中既有纵波声波测井资料, 又有横波测井资料, 如何得到与叠后转换波剖面直接对比的转换波合成记录, 一直缺少理论

上的支持和相应的技术手段。要得到准确的转换波合成记录, 必须利用转换波叠前合成记录, 具体方法是先计算不同炮检距上的 P-SV 波合成记录, 然后叠加产生“零炮检距”转换波合成记录。波动方程模拟和射线追踪都可以得到叠前合成记录, 其中射线追踪法应用更广, 但此种方法计算复杂, 且在实际过程中对比调整困难, 不便于实际应用^[6-9]。笔者将纵横波测井资料相加, 得到伪转换波声波测井, 从而得到伪转换波反射系数, 再用常规的制作合成记录的手段制作转换波合成记录, 从而得到时间准确、振幅特征近似准确的合成记录。

收稿日期: 2009-04-10

基金项目: 国家“973”计划项目(2005CB22104); 国家“863”计划项目(2006AA06Z203); 中石化科技开发项目(P05063)

作者简介: 罗焕章(1964-), 男(汉族), 湖南安化人, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事多波地震资料处理解释方面的研究。

1 方法原理

假设有纵波声波测井曲线 s_p (慢度)和横波测井曲线 s_s (慢度)(图1)。

对于纵波合成记录,有

$$t_p = t_{p0} + 2 \sum h_i s_{p_i}, R_{p_i} = (s_{p_i} - s_{p_{i+1}})/(s_{p_i} + s_{p_{i+1}}).$$

对于纯横波合成记录,有

$$t_s = t_{s0} + 2 \sum h_i s_{s_i}, R_{s_i} = (s_{s_i} - s_{s_{i+1}})/(s_{s_i} + s_{s_{i+1}}).$$

式中, t_p, t_s 分别为纵、横波双程旅行时; R_{p_i} 和 R_{s_i} 分别为纵波和横波反射系数; h_i 为测井曲线深度采样间隔; t_{p0} 和 t_{s0} 分别为测井起始点的纵波和横波旅行时。制作转换波人工合成地震记录,需要知道井点的横波速度。目前的 VSP 资料一般都不提供转换波平均速度标尺,因而无法获得准确的测井曲线起点在 X 分量剖面上对应的时间。此时,可以先根据视觉特征对比的 Z 分量与 X 分量剖面标志层,初步确定一个时间值,然后再上、下移动转换波人工合成地震记录,找到最佳匹配位置和准确的测井曲线起点时间。如果有井段的转换波平均速度标尺,上、下不需要移动太大的范围,就可以比较准确地确定合成地震记录在 X 分量剖面上的起点时间,并得到准确的转换波平均速度曲线^[2-9]。

$$1/2(t_{p0} + t_{s0}) + (\sum h_i s_{p_i} + \sum h_i s_{s_i}) = 1/2(t_{p0} + t_{s0}) + 2 \sum [h_i (s_{p_i} + s_{s_i})/2]. \quad (1)$$

令 $S_{ps} = (s_p + s_s)/2$, 此时得到的反射系数为

$$R_{ps} = (S_{ps_i} - S_{ps_{i+1}})/(S_{ps_i} + S_{ps_{i+1}}). \quad (2)$$

令 $\alpha = 1/(s_{p_i} + s_{s_{i+1}}), \beta = 1/(s_{p_i} + s_{p_{i+1}})$, 推导得

$$R_{ps_i} = (\alpha + \beta)/(\alpha R_{p_i} + \beta R_{s_i}). \quad (3)$$

R_{ps_i} 就是伪转换波反射系数。这样实际上就已经得到了反射系数序列 $r(t)$, 只要给定一个地震子波 $b(t)$, 就可以利用褶积模型原理^[11] 计算出合成地震记录 $s(t)$, 即

$$s(t) = b(t) * r(t) = \int b(\tau)r(t - \tau) d\tau. \quad (4)$$

写成离散的形式为

$$s(i\Delta t) = \sum_j b(j\Delta t)r(i\Delta t - j\Delta t). \quad (5)$$

$$s_i = \sum_j b_j r_{i-j}. \quad (6)$$

地震子波的选择一般有两种方式,一种是选择标准的理论子波,如雷克子波等,一种是从实际地震记录中直接提取子波^[3-6]。转换波子波的低截止频率和频带宽度等参数可以参考纵波地震子波选定,如果该区有从 VSP 地震资料处理得到的转换波子波则更好^[6]。

对由式(3) 计算得到的转换波伪反射系数能否近似代替叠前反射的叠加结果进行考察。图2 是孙鹏远等^[2] 对两个模型(参数见表1) 计算的转换波反射系数随入射角变化情况。

图1 纵横波测井示意图

Fig.1 P-wave and P-SV wave log sketch map

对于转换波,不考虑反射系数大小和极性,只考虑时深关系(图1)。

$$t_{ps} = 1/2t_{p0} + \sum h_i s_{p_i} + 1/2t_{s0} + \sum h_i s_{s_i} =$$

图2 两个模型的转换波反射系数曲线

Fig.2 P-SV wave reflection coefficient curves of two models

表1 两层模型参数

Table 1 Parameters of two formation models

模型	页岩			含油气砂岩		
	纵波速度 $v_p/(m \cdot s^{-1})$	横波速度 $v_s/(m \cdot s^{-1})$	密度 $\rho/$ $(g \cdot cm^{-3})$	纵波速度 $v_p/(m \cdot s^{-1})$	横波速度 $v_s/(m \cdot s^{-1})$	密度 $\rho/$ $(g \cdot cm^{-3})$
1	3600	1850	2.63	4910	3300	2.59
2	2310	940	1.90	3040	1920	2.09

对于模型1:油砂岩/页岩界面,入射角为 $10^\circ \sim 40^\circ$ 时由近似公式计算的反射系数均值约为0.2,

而由公式(1)计算的伪转换波反射系数为 -0.154 ;页岩/油砂岩界面,入射角为 $10^\circ \sim 40^\circ$ 时由近似公式计算的反射系数均值约为 -0.2 ,而由公式(1)计算的伪转换波反射系数为 0.154 。计算结果大小相当,符号相反。

对于模型2:油砂岩/页岩界面,入射角为 $10^\circ \sim 40^\circ$ 时由近似公式计算的反射系数均值约为 0.18 ,而由公式(3)计算的伪转换波反射系数为 -0.136 ;页岩/油砂岩界面,入射角为 $10^\circ \sim 40^\circ$ 时由近似公式计算的反射系数均值约为 -0.18 ,而由公式(3)计算的伪转换波反射系数为 0.136 。计算结果同样也是数值大小相当,符号相反。

用近似公式计算表2中4类砂岩转换波反射系数(图3),每一类在入射角为 $10^\circ \sim 40^\circ$ 时的反射系数均值和用公式(3)计算的伪转换波反射系数分别为: $-0.15, 0.12$; $-0.095, 0.07$; $-0.006, 0.018$; $0.09, -0.17$ 。结果依然是大小相当,符号相反。

图3 4类含气砂岩纵波(左)和转换横波(右)反射系数随入射角变化

Fig. 3 Reflection coefficient variation with incidence of P-wave (left) and P-SV wave (right) for types of gas sand

因此可以得出结论,用上述方法计算得到伪转换波反射系数大小与叠前计算得到的反射系数在主要入射角范围内的均值相当,符号相反。反极性后可以近似与实际的转换波叠加反射结果进行对比标

定。这为使用伪反射系数法制作转换波合成记录提供了依据。纵横波的准确联合标定为纵横波层位对比解释以及多波属性油气预测奠定了基础。

表2 4类含气砂岩速度比参数

Table 2 Velocity ratio parameters of four types of gas sand

模型	第一类	第二类	第三类	第四类
v_{p2}/v_{p1}	1.11 (2200/2000)	1.01 (2020/2000)	0.9 (1800/2000)	0.7815 (1563/2000)
v_{s2}/v_{s1}	1.384 (1384/1000)	1.2597 (1259.7/1000)	1.1225 (1122.5/1000)	0.6711 (671/1000)

这里需要强调的是,此种方法推导和统计的是某种坐标系一定的情况下,伪转换波反射系数与转换波叠加记录之间大小和极性的关系。实际进行纵横波层位对比时,一个关键也是难点问题是确定纵横波剖面的极性,考虑转换波剖面的极性时,应在一定坐标系下,从野外记录开始,分析采集多波资料野外记录时的极性,即各分量记录的初至起跳方向。这决定了纵、横波资料对比时的对应关系,就是Z分量上的波峰可能对应X分量上的波峰,也可能对应波谷^[4-9]。对此纵横波极性对比问题,笔者有专门的文章论述,这里不细谈。

2 应用效果

在东部某区的综合地球物理研究中,针对目标区采集了大量的高精度地震数据和多分量地震数据,并在其中一口关键井X井进行了全波列测井,既有纵波声波测井,也有横波测井,为此项研究提供了宝贵的数据。首先用经过环境校正的纵波声波测井曲线并结合该区的经验速度等进行了准确的纵波层位标定,以此为基础,应用本文中方法进行了转换波剖面的合成记录制作和标定。图4是X井的纵横波测井曲线。

图4 X井纵横波声波测井曲线

Fig. 4 P-wave and S-wave acoustic log of well X

由于纵横波采集处理效果差异较大,分辨率、信噪比、波组特征等差异都较大,这给层位对比和联合标定带来了很大困难,通过本方法以及结合其他层位对比方法实现了多个目的层的准确标定。

图5是采用本方法制作的纵横波合成记录标定结果。由图5看出,纵横波层位深度一致,波组关系对应较好,横向追踪结果证明标定正确,说明了该方法的有效性和正确性。

图5 纵横波合成记录

Fig. 5 Synthetic seismic record of P-wave(left)
and P-SV wave(right)

3 结束语

探索性地将纵横波测井资料相结合,得到伪转换波声波测井参数,从而得到伪转换波反射系数,再用常规的制作合成记录的手段制作转换波合成记录,得到时间准确、振幅特征近似准确的合成记录。该方法方便、简捷,是进行转换波叠后地震剖面标定的一个新思路。由于转换波的特殊性,受信噪比、各向异性、测井误差等的影响更大,该方法需要不断深入的研究和更多实际资料的证明。

参考文献:

- [1] 马劲风,傅旦丹,刘一峰,等. 转换波人工合成地震记录制作及纵、横波层位对比[J]. 石油地球物理勘探, 2004,39(1):60-67.
MA Jin-feng, FU Dan-dan, LIU Yi-feng, et al. Making C-wave synthetic seismogram and correlation of P and S-waves events[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004,39(1):60-67.
- [2] 孙鹏远,孙建国,卢秀丽. P-SV波反射系数近似及其AVO属性特征[J]. 地球学报,2006,27(1):85-89.
SUN Peng-yuan, SUN Jian-guo, LU Xiu-li. P-SV wave reflection coefficient approximations and characteristics of AVO attributes[J]. Acta Geoscientica Sinica,2006,27(1):85-89.
- [3] 黄东山,谢芳,李忠. 多波多分量技术在广安构造中的初步应用[J]. 天然气工业,2006,26(8):44-46.
HUANG Dong-shan, XIE Fang, LI Zhong. Application of multiwave multicomponent seismic technology in Guang'an structure[J]. Natur Gas Ind, 2006,26(8):44-46.
- [4] 贺振华,何樵登. 多波资料综合解释方法研究的若干进展[J]. 矿物岩石,1997,17(4):76-93.
HE Zhen-hua, HE Qiao-deng. Recent advances in integrative interpretation using seismic multiwave data[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1997,17(4):76-93.
- [5] 王永刚,朱兆林,曹丹平. 井间地震资料深度域合成记录的制作方法[J]. 石油大学学报:自然科学版,2005,29(3):27-34.
WANG Yong-gang, ZHU Zhao-lin, CAO Dan-ping. Preparative method of synthetic seismogram of crosshole seismic data in depth domain[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2005,29(3):27-34.
- [6] 黄德济,贺振华,赵宪生. 多波层位对比的原则与方法[J]. 物探化探计算技术,1996,18(3):194-205.
HUANG De-ji, HE Zhen-hua, ZHAO Xian-sheng. Principles and methods in seismic layer correlation using multiwave reflective data[J]. Computing techniques for Geophysical and Geochemical Exploration,1996,18(3):194-205.
- [7] 李绪宣,张树林,张雷. 海上多波多分量地震地质层位对比方法[J]. 中国海上油气:地质,1999,13(5):372-376.
LI Xu-xuan, ZHANG Shu-lin, ZHANG Lei. Geologic correlation method of offshore multiwave and multicomponent seismic data[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology),1999,13(5):372-376.
- [8] 胡中平. 纵横波对比方法和应用[J]. 石油物探译丛,1990(4):83-85.
HU Zhong-ping. The correlation method and application of P wave and S wave[J]. Overseas Petrogeophysics, 1990(4):83-85.
- [9] 张繁昌,印兴耀. 层状半空间叠前地震记录的波动方程正演模拟[J]. 石油大学学报:自然科学版,2004,28(3):25-29.
ZHANG Fan-chang, YIN Xing-yao. Wave equation forward modeling of prestack seismogram in a stratified half space[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science),2004,28(3):25-29.