

# 山地转换波资料处理技术的进展

成都理工大学 唐建侯 四川石油地调处 李亚林 杜文军 巫芙蓉 张晓斌 唐晓雪

转换波资料的处理是转换波勘探的核心问题之一。本文所说的转换波是指向下入射纵波到达反射面后向上转换成的反射横波。因此,转换波与纵波相比,其处理的难度和复杂性就在于:向下传播的是纵波,而向上传播的是横波,造成了传播路径不对称,且上下行波速度不一致,同一共转换点 CCP 道集的道并不在同一反射点,同时介质的非均匀性和各向异性对上行横波的影响也远大于纵波。这些差异决定了转换波的独特处理方法。

转换波资料的处理除了要考虑上述的特殊性以外,还要考虑实际生产的批量处理。我们研究的无迭代速度分析,剔除 CCP 道集中的畸变道,共面元叠加,等效速度偏移等转换波处理技术,不但考虑了转换波传播的独特性,实现了转换波的精细处理,而且形成了合理的、可以进行批量处理的转换波处理流程。

## 1. 无迭代速度分析

由于转换波反射路径的不对称性,其转换点位置不仅与速度有关,而且深度和偏移距有关,它是深变的。其规律是:速度比越大,转换点偏离共中心点的距离越大。为了恰当地像,在选择和叠加时就必须考虑转换点的这种移动。因此,如果要正确地选排,不仅需要知道反射层的深度、偏移距,而且还需要知道纵横波的速度。而速度分析又是根据选排的结果进行的。因此,常规转换波速度分析是在 CCP 道集上利用公式:

$$t_{ps} = \sqrt{\left( \frac{1}{1 + \gamma} t_{0ps} \right)^2 + \left( \frac{x_p}{v_p} \right)^2} + \sqrt{\left( \frac{\gamma}{1 + \gamma} t_{0ps} \right)^2 + \left( \frac{x - x_p}{v_s} \right)^2} \quad (1)$$

对  $v_s$  进行扫描,即对转换波记录从浅到深地执行转换波动校正,以找到一个合适的速度;当同相轴被校平时,该横波速度即为所求。用所求的  $v_s$  再重新抽 CCP 道集,继续进行横波叠加速度分析,反复迭代以求得较高精度的横波叠加速度。

由于转换波速度分析是在已抽取的 CCP 道集上进行横波叠加速度扫描,只有当扫描速度与抽取 CCP 道集所用的速度一致时,速度分析扫描横波叠加速度所对应的转换波非双曲时距曲线才是来自同一个 CCP 点,而其它速度扫描时则就不是来自同一个 CCP 点。所以转换波速度分析的迭代方法

是一种近似方法。

为了克服上述缺点,避开迭代过程,对转换波速度分析方法进行了如下改进,使转换波速度分析与 CCP 道集选排同时进行:①首先在 CCP 道集上进行纵波速度分析,得到纵波叠加速度;②在给定的 CCP 点上,对于不同的  $t_{0ps}$ ,采用不同的横波叠加速度  $v_s$ (或纵波与横波速度比值)进行扫描,在用不同横波叠加速度进行扫描时,根据  $t_{0ps}$ 、 $v_p$ 、 $v_s$ ,就可以计算出来自该 CCP 位置  $t_{0ps}$  时间点不同炮检距所对应的地震道位置(炮点位置和检波点位置),然后将该地震道相应时间的地震数据以一定时窗长度取出来,得到该炮检距的矢量数据。这一系列不同炮检距的矢量数据就形成了速度分析的矩阵数据,为计算速度分析检测因子,可以采用叠加法、相关法和奇异值分解方法等。③将不同  $t_{0ps}$  和  $v_s$  所对应的速度分析检测因子以等值线方式或曲线方式进行显示,就得到转换波速度谱。在解释速度谱时,应将转换波层位和纵波层位结合起来进行分析,以得到最佳横波叠加速度。

## 2. 剔除 CCP 道集中的畸变道

转换波由于上行是横波,所以受介质,特别是浅层介质的非均匀性和各向异性的影响较为严重。图 1 是 Thomsen 和 Tsvankin 利用理论模型计算的非均匀性和各向异性对转换波的动校时差和转换点的影响,图中显示的是利用近似公式计算的结果与实际结果的误差值(左图为对动校时差的影响,右图为对转换点的影响)。说明随着目的层深度的加大,非均匀性和各向异性的影响也越严重。由于目前还没有较为成熟的方法来消除这种因素的影响,因此,采用剔除的方法来消除这些畸变道的影响。

## 3. 共面元叠加

由于转换点是时变的,叠加时必须先得到叠加速度场才能进行共转换点叠加。根据 Tessmer 和 Behle(1988)的研究结果可得到第  $n$  层的转换波叠加速度  $V_{psmo}$ :

$$V_{psmo}(n) = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_{pi}^2}{\gamma_i} \cdot t(i)}{\sum_{i=1}^n t(i)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中:  $V_{pi}$  表示第  $i$  层纵波速度;  $\gamma_i$  表示第  $i$  层的纵横波速度比;  $t(i) = h(i) \left[ \frac{1 + \gamma(i)}{V_{pi}} \right]$  表示通过第  $i$  层的 P-S 波垂直双程时间;  $h_i$  表示第  $i$  层的厚度。

作者简介:唐建侯,1966年生,高级工程师;1987年毕业于西南石油学院物探专业;一直从事多波勘探方法研究工作,发表学术论文十多篇,现在成都理工大学攻读博士学位。地址:(610212)四川省华阳镇四川石油地调处物探研究中心。电话:(028)82975296。

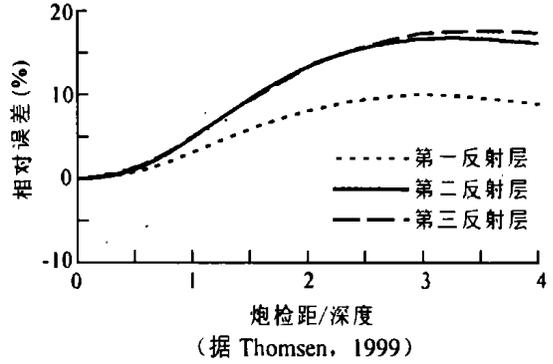
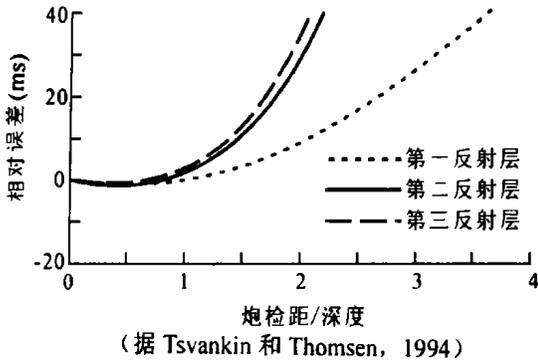


图1 非均匀性和各向异性对动校时差及转换点的影响

利用无迭代速度分析求得的转换波速度就可以建立转换波的叠加速度场。

由于转换波道集每个道的转换点分布在一个相当大的范围内,因此,叠加时必须采用共面元叠加。为了保证共转换点面元叠加的稳定性,采用两种策略:一是变面元;二是将每个样点加到相邻的两叠加面元内,根据该样点到两个面元中点的距离进行倒数加权叠加。为了保证同相叠加,叠加前还必须作最终的基准面校正处理。图2所示为常规叠加和共面元叠加效果比较,共面元叠加的信噪比得到了提高,反射成像质量得到了明显改善。

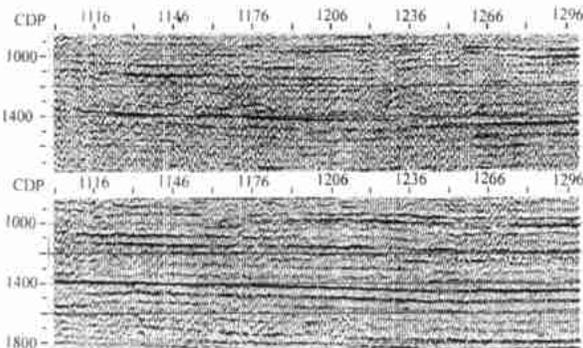


图2 所示为常规叠加和共面元叠加效果比较

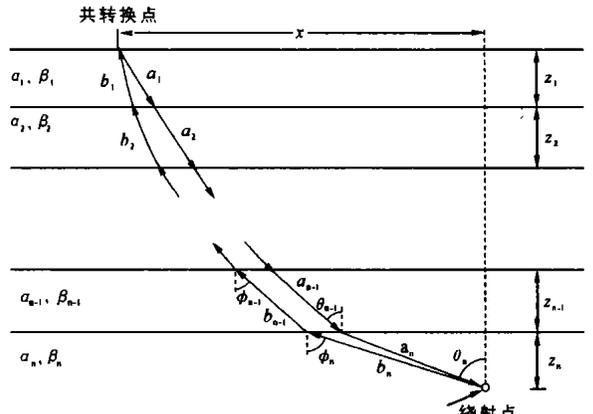


图3 由绕射点引起的P-SV波射线示意图 (据 Harrison 等, 1993)

4. 等效速度偏移

将转换波叠加剖面进行转换波的倾斜动校正(DMO),可以得到自激自收的转换波剖面。为了恰当地对倾斜反射界面归位和消除绕射,还需要对转换波进行偏移,而转换波偏移有别于纵波偏移。但是,由于偏移处理可以视为一个消除其点响应函数的2D反褶积(Brouwer等,1985),恰当地偏移一个绕射曲线等价于消除点响应函数。转换波偏移与纵波偏移相比,一个重要的区别是偏移速度函数不同,下面主要讨论偏移速度的获取,只要得到了合适的偏移速度,即可由常规的纵波偏移方法及程序对转换波进行偏移。

图3是一个点绕射的P-SV波示意图。绕射点离地面共转换点(CCP)的水平距离为X,震源和接收点均位于CCP处,能量传播从震源沿单元a<sub>i</sub>以P波速度α<sub>i</sub>传播到绕射点,再从绕射点沿单元b<sub>i</sub>以S波速度β<sub>i</sub>传回到共转换点,总的

旅行时t可由式(3)给出:

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{\beta_i} \tag{3}$$

根据射线参数,方程(3)可改写为:

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{\alpha_i \sqrt{1 - P_1^2 \alpha_i^2}} + \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{\beta_i \sqrt{1 - P_2^2 \beta_i^2}} \tag{4}$$

将式(4)作关于X的Taylor级数展开,并略去X<sup>4</sup>及其以上的项得到:

$$t^2 = t_0^2 + X^2 \left[ \frac{t_0 \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \beta_i \tau_i}{\left( \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i \beta_i}{\alpha_i \beta_i} \tau_i \right) \left( \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i \beta_i^2}{\alpha_i + \beta_i} \tau_i \right)} \right] \tag{5}$$

式中:t<sub>0</sub>为双程垂直旅行时。

将式(5)与标准的绕射双曲线对比:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{4X^2}{V_{mig}^2} \tag{6}$$

式中:V<sub>mig</sub>表示偏移速度。由此可知,对于P-SV波其偏移速度为:

$$V_{mig} = 2 \sqrt{\frac{\left( \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 \beta_i}{\alpha_i \beta_i} \tau_i \right) \left( \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i + \beta_i^2}{\alpha_i \beta_i} \tau_i \right)}{t_0 \sum_{i=1}^n \alpha_i \beta_i \tau_i}} \tag{7}$$

式(5)说明,如果偏移距X的四次及更高项被忽略,P-

## 川东北地区飞仙关组鲹滩储层地震响应特征研究

中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院 黄先平 杨天泉 梅清 张红梅

川东北地区飞仙关组鲹滩气藏是西南油气田分公司近年的勘探重点之一,在该区近 5 000 km<sup>2</sup> 的范围内,已钻有多口预探井或评价井。尽管上述井的部署,特别是单个圈闭的第一口预探井,主要依据地震“亮点”(飞仙关组内部的强反射同相轴)预测成果,但由于各过井地震剖面内飞仙关组“亮点”的表现形式以及在地层中所处的位置不同,其实钻结果或勘探效果则各有不同。钻遇优质储层的井,其测试获得高产能;当储层品质差或无储层时,测试产能低,甚至为干层。为此,开展了多方面的、多轮次的研究工作,如采用直观的地震剖面相面法,或采用先进的地震综合处理解释技术(各种反演技术,如 Strata、Jason、电阻率反演等)进行储层分布预测及流体性质判别的探索研究,并取得了丰硕的成果。笔者试图通过简单适用的相面法,就川东北地区飞仙关组鲹滩储层的地震响应特征进行分析讨论,以期对今后该区鲹滩气藏的深化勘探提供借鉴或帮助。

## 1. 鲹滩储层的地震响应特征

工区钻探实践表明,各局部构造区飞仙关组鲹滩储层由于品质和在地层中位置的不同,其地震响应特征也表现出明显的差异。D 构造飞仙关组鲹滩储层品质好,发育在 T<sub>1</sub>f 的中部(如图 1,相当于 T<sub>1</sub>f<sup>2</sup> 段),储层相对集中,其地震响应特征表现为在 T<sub>1</sub>f 内出现一组(3 个)同相轴。其中储层段对应

自 T<sub>1</sub>f 顶起向下的第三个同相轴,该同相轴距区域标志层 P<sub>1</sub> 顶对应强同相轴的时间约 210 ms。

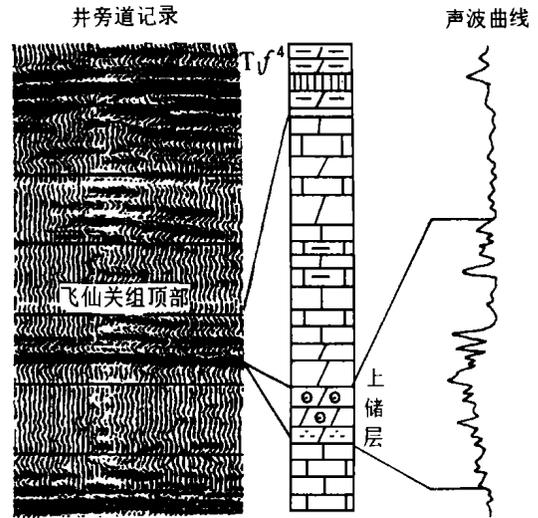


图 1 D1 井储层地震响应特征图

T 构造飞仙关组鲹滩储层同样发育,且比 D 构造的储层段更长。与 D 构造相比,储层段顶界位置相当,但 T 构造 T<sub>1</sub>f 储层底界更低,储层顶、底跨度近 200 m 的储层段被一

SV 的绕射曲线是双曲线,P-SV 叠加资料可用式(7)定义的速度函数来作偏移。 $V_{mig}$  为转换波偏移时的等效速度。从式(7)也可看出偏移速度的形式与叠加速度明显不同,对于一个不变的纵横波速度比值  $\gamma$ ,均方根速度  $V_{mig}$  与偏移速度之比可简化为:

$$\frac{V_{ms}}{V_{mig}} = \frac{\gamma + 1}{2\sqrt{\gamma}} \quad (8)$$

从式(8)知,对于所有物理意义的  $\gamma$  值,偏移速度均小于叠加速度。利用  $V_{mig}$ ,结合纵波速度场就可以得到转换波的偏移速度场。

## 5. 结论

转换波处理是一项复杂的系统工程,与单纯的纵波处理相比,既有相似之处,更有自己复杂的方面。研究表明,利用独特的处理技术处理转换波,再综合利用纵波的处理思想和手段,就能够形成合理、高效的转换波处理流程,实现转换波

的批量处理。

## 参 考 文 献

- 1 Harrison M P, Stewart R R. Poststack migration of P-SV seismic data. *geophysics*, 1993; 58(8): 1127~ 1135
- 2 Harrison M P. Dip moveout for convert-wave(P-SV) data in a constant velocity medium: 60th ann internat mtg, Soc Expl Geophys, Expanded Abstracts: 1370~ 1372
- 3 Hudson J A. Wave speeds and attenuation of elastic waves in material containing cracks. *geophys J R astr Soc*, 1981; 64: 133~ 150
- 4 李录明,罗省贤编著.多波多分量地震勘探原理及数据处理方法.成都:原成都科技大学出版社,1997
- 5 Xiang-Yang Li, Enru Liu. Practical aspects of seismic anisotropy. SEG 培训教程, 2002

(编辑 居维清)

作者简介:黄先平,1964年生,高级工程师;1984年毕业于西南石油学院勘探系地质专业;从事石油地质科研工作。地址:(610051)四川省成都市府青路一段1号。电话:(028)86015490。