

地震道集优化方法及应用

周 鹏* 张益明 刘志斌 刘春成

(中海油研究总院,北京 100028)

周鹏,张益明,刘志斌,刘春成.地震道集优化方法及应用.石油地球物理勘探,2016,51(2):232-237.

摘要 文中提出了一种与剩余时差无关的绝对值互相关道集拉平方法。将地震道与参考道进行绝对值互相关,得到初步时移量,利用相关系数、时移量的阈值值进行控制和优化,得到最终时移量,进而拉平道集,能适应道集不平的各种异常情况;采用谱均衡技术消除波形畸变,引入简化的子波压缩因子,计算不同角度子波振幅谱,并与参考道子波振幅谱进行对比,得到拉伸因子,可以解决动校拉伸引起的远道频率降低问题。在多个地区的应用结果表明,该方法能较好地校平叠前地震道集和去除远道波形畸变,改善道集的品质。

关键词 剩余时差 互相关 道集拉平 谱均衡 动校拉伸

中图分类号:P631 文献标识码:A doi: 10.13810/j.cnki.issn.1000-7210.2016.02.004

1 引言

随着勘探精度的不断提高,对地震道集的品质要求也越来越高。但在勘探开发的实际应用中部分叠前地震道集质量较差,动校正道集不平和远道波形畸变是两个重要的原因。

常规采集中由于地层构造复杂^[1],CMP道集往往不满足正常双曲线时距方程^[2],常规速度分析与动校正存在剩余时差。而对于CRP道集,受介质各向异性的影响,叠前偏移后的道集往往也存在剩余时差;各向异性动校正是解决CRP道集剩余时差和动校拉伸的有效方法,但是各向异性参数动校正的效果依赖于各向异性参数的准确求取,这也是各向异性处理的一个难题。并且地震数据受采集、噪声干扰、数据处理等因素的影响^[3],叠前道集动校正后同相轴不平。道集校平的方法很多,如精细速度分析和叠加^[4,5],道集相干技术^[6],相位匹配技术^[7-9]等。上述方法对道集拉平各有效果,但也有各自的应用前提。如:要求道集信噪比较高,多次波被很好地压制,相邻同相轴的剩余时差较小,没有极性反转的现象。但实际道集情况复杂,有多次波残留,或者有I类或

IV类AVO异常^[10-12],地震同相轴发生极性反转,所以上述方法各自具有一定的局限性。

动校拉伸和远道复合波叠加造成远道地震波波形畸变。常规地震资料处理中采用的动校方法是传统的逐点搬家法,这种方法在近炮检距效果明显。随着炮检距不断增大,地震波高频信息衰减,而且相邻反射同相轴产生交叉,出现复合波,如果忽略这种变化,强行拉平道集,会造成远炮检距子波被拉伸,频率降低。这些现象在常规处理的叠前道集中普遍存在,降低了道集品质,影响叠加成像效果,并且导致后续的叠前反演、AVO属性分析、构造解释等效果欠佳。Dunkin等^[13]分析了动校正、速度和炮检距引起的频谱变化;Rupert等^[14]提出了整体搬家动校正方法,通过同相轴数据块的静态平移和合并消除远道数据同相轴的畸变;Shatilo等^[15]对整体搬家法进行了改进;Bazelaire^[16]提出时移双曲线法,使同一反射界面宽度内反射波旅行时双曲线相互平行;赵波等^[17]、夏洪瑞等^[18]提出了消除动校正拉伸的方法。

针对上述问题,本文在常规速度分析动校正的基础上,利用绝对值互相关道集拉平方法,选取合适的参考道,利用时窗、时移量、平滑参数、相似系数的

* 北京市朝阳区太阳宫南街6号院中海油大厦A座1003室,100028。Email:zhoupeng@cnooc.com.cn

本文于2014年10月23日收到,最终修改稿于2015年12月23日收到。

控制,在振幅保真的前提下拉平地震道集;在道集拉平后,通过谱均衡进一步优化道集,在保持振幅随炮检距变化关系的同时,解决动校拉伸引起的远道数据频率降低的问题。

2 方法原理及实现步骤

2.1 绝对互相关方法原理

地震共反射点道集中一个同相轴的数据代表来自同一反射点不同炮检距的地震反射波,沿着炮检距方向,同一反射点的地震反射波在相邻道之间具有最大的相似性,因此同一时窗内不同炮检距的各界面反射波在相邻道之间具有最大相似系数。绝对值互相关方法主要包括:①应用绝对值互相关方法计算初始时移量场;②对时移量场进行校正及平滑;③利用时移量将地震道集校平。具体实现步骤如下。

(1) 每个地震道为 $f(t)$, 选择信噪比较高的一定炮检距范围内的一组道进行部分叠加形成参考道 $R(t)$; 一般选择小炮检距范围内的地震道, 如果近道品质差, 可以选择稍远炮检距范围内信噪比高的地震道叠加生成。

(2) 选择一个包含所有炮检距范围至少包含一个波组的时窗, 起点和终点时间分别为 t_1 、 t_2 。

(3) 将该时窗内的所有地震道集与参考道进行绝对值互相关, 互相关系数为 $\text{Coe}f(\tau)$, 计算每个地震道与参考道在该时窗内的最大绝对值互相关系数 $\text{Coe}f_{\max}(\tau_{\text{shift}})$ 及所对应的初步时移量 τ_{shift}

$$\text{Coe}f(\tau) = \int_{t_1}^{t_2} |R(t)| \otimes |f(t + \tau)| dt$$

式中 \otimes 为互相关。将时窗逐步移动至道尾, 完成一个地震道集的时移量计算; 逐道计算得到整个地震数据的初始校正时移量; 使用绝对值计算互相关系数, 保证相位反转的地震道集与低信噪比区域道集处理前、后的相位一致。

(4) 依据各地震道集的情况, 设立最大校正时移量和最小绝对值相关系数门槛值, 剔除异常时移量; 并检查整个地震数据的校正时移量场, 进行适当平滑。

(5) 将得到的整个工区的校正时移量场应用于整个工区进行道集拉平。

实际应用中不同时间采集的地震资料的信噪

比、连续性、分辨率都不相同, 计算出的互相关系数不同。可以选择不同的参数加以控制, 具有较好的适应性; 对于极性反转资料, 绝对互相关方法可以消除极性反转产生的波形畸变; 对于低信噪比资料, 可设置合适的相关系数门槛值, 剔除低相关系数所对应的时移量。为了取得较好的效果, 通常先应用大时窗进行初步拉平, 再应用小时窗进行精细处理。

2.2 谱均衡动校拉伸校正方法

谱均衡动校拉伸校正方法如下。

(1) 选取信噪比较高的近道部分叠加形成参考道。

(2) 提取参考道子波并计算子波振幅谱 $W_0(f)$ 。

(3) 正常速度场中远道地震子波在时间上是近道(参考道)子波的压缩, 定义时间压缩系数为 K ;

$K = \frac{\Delta T}{T_0}$, 其中 ΔT 为远炮检距子波的延续时间, T_0

为近道子波(参考道)的延续时间; 如果地震同相轴符合正常的反射时距曲线规律, 可以将 K 近似成

$K = \frac{\Delta T}{T_0} \approx \cos\beta$, β 为远炮检距的入射角。

(4) 利用 $W_\beta(f) = \frac{1}{\cos\beta} W_0 \left[\frac{f}{\cos\beta} \right]$ 计算角度 β 对

应道子波的振幅谱。

(5) 求取角度 β 对应子波的拉伸校正因子

$$C_\beta(f) = \frac{W_0(f)}{W_\beta(f)}。$$

(6) 将拉伸校正因子进行傅里叶反变换 $C_\beta(t) = \text{FFT}^{-1}[C_\beta(f)]$ 。

(7) 每个角度为 β 的道与拉伸校正因子 $C_\beta(t)$ 进行褶积, 得到动校拉伸校正后的角道集。

从第(3)、第(4)步可以看出, 角度越大压缩畸变越严重。利用计算出的拉伸因子进行补偿, 可在一定程度上消除相位合并产生复合波的现象, 提高道集的分辨率, 改善叠加效果。

3 数据处理

3.1 模型数据处理

图 1b 是一个未校平的地震道集模型, 该道集的同相轴发生了极性反转, 并且该地震道集近道已经被拉平, 远道未拉平, 不符合反射波时距曲线规律, 模型噪声较强, 极性反转处反射同相轴与噪声基本

相当。显然常规处理中的速度分析和动校正已经不适用,不能拉平道集,而采用绝对值互相关方法可拉平该道集。选择前10道平均作为参考道(图1a),绝对值互相关系数的门槛值为0.7,系数低于0.7的不做拉平处理,窗长为60ms,包含了整个未校平的波组,最大时移量为29ms,图1c为校平后的结果。可以看出,地震同相轴被拉平,极性反转处没有出现波形畸变,同相轴形态得到了很好的保持。

图2a为一个动校拉伸处理前的模型数据,从图

中的红线可以看到两个同相轴在近道是分开的,随着炮检距的增加,高频信息衰减,两个同相轴越来越接近,出现了复合波。如果强行进行拉平校正,会造成远炮检距处子波被拉长,频率降低。采用谱均衡技术,提取了模型前3道的子波振幅谱,并计算出各个角度(炮检距)的子波振幅谱,求取拉伸校正因子,最后得到了动校拉伸校正后的道集(图2b)。可以看出,两个同相轴基本平行,远道的复合波被分开,达到了处理要求。

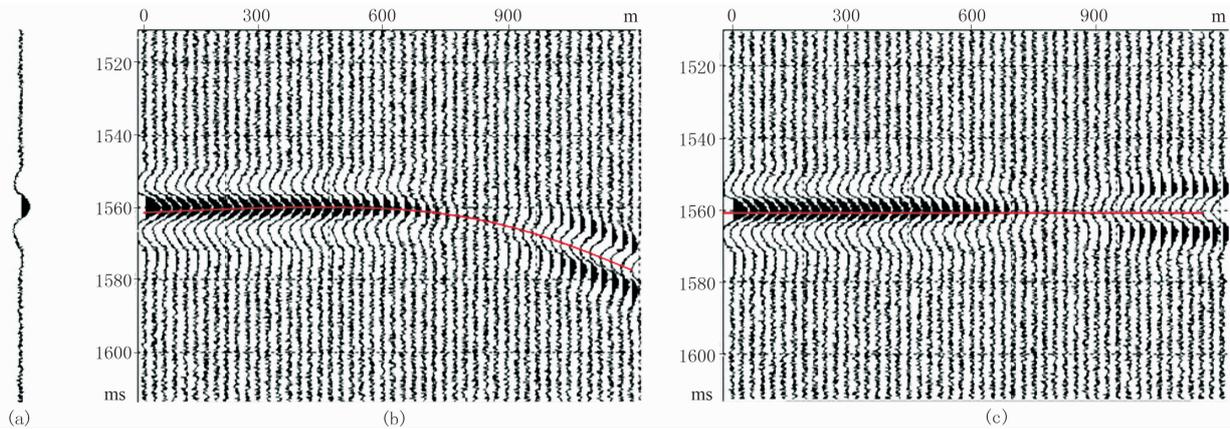


图1 模型数据道集拉平前、后对比

(a)参考道;(b)未拉平道集;(c)拉平后道集

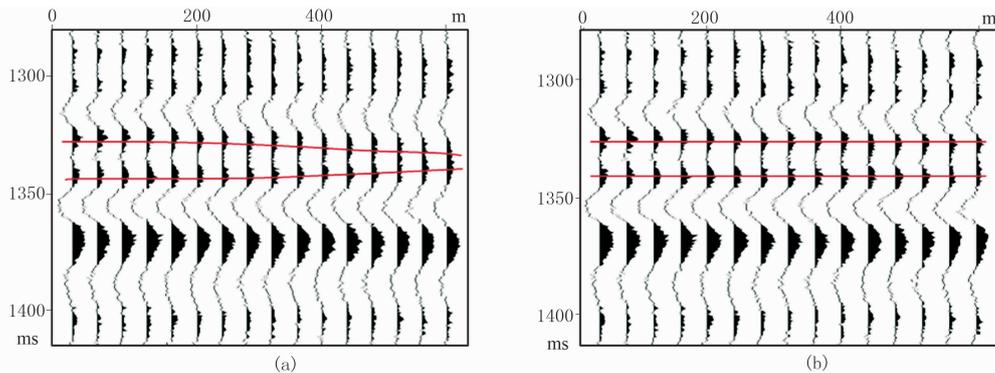


图2 模型数据动校拉伸校正前(a)、后(b)结果对比

3.2 实际数据处理

图3a为A区实际资料道集不同方法处理结果对比。可以看出,道集动校正后仍然存在剩余时差,同相轴没有完全被拉平,远道频率降低且有复合波。图3a红线标示处标明校正过量;有些同相轴没有规律性(图3a绿线和蓝线标示处)。显然常规的速度分析、动校正已经不能将该道集拉平,而且远道复合波也不能消除。采用绝对值互相关拉平技术进行处理,选取前5道进行加权平均产生参考道,其互相关系数大于85%以上,窗长为80ms,可以包含其中任

何波组,最大时移量为21ms。图3b为道集拉平处理后的结果。可以看出,地震同相轴被拉平,基本消除了同相轴的错位现象,提高了道集同相叠加精度。利用拉平后的地震道集进行谱均衡处理,主要是消除一些复合波,提取模型前5道的子波振幅谱,并计算出各个炮检距的子波振幅谱,求取各炮检距的拉伸校正因子进行校正,得到动校拉伸后的道集(图3c)。可以看出,道集连续性进一步增强,远道的复合波得到了一定的消除。

对比图3中沿同一道集同相轴提取的振幅随炮

检距变化曲线(沿图 3 红线同相轴提取),原始道集、绝对值互相关拉平处理和动校拉伸处理的振幅随炮检距变化曲线特征基本相同,说明地震振幅得到了很好的保持(图 3b 下图)。

对优化前后的地震道集进行叠加。从优化前的剖面可以看出(图 4a),能量较强的同相轴连续性较差

好,剖面中段(黑框处)断层发育,沉积复杂,信噪比、分辨率都较低,而且同相轴的连续性较差,构造解释困难,容易产生多解性。从优化处理后的剖面(图 4b)可以看出,剖面的强同相轴更加光滑,中间区域(图 4b 黑色框内)的信噪比、分辨率明显提高,同相轴连续性显著增强。

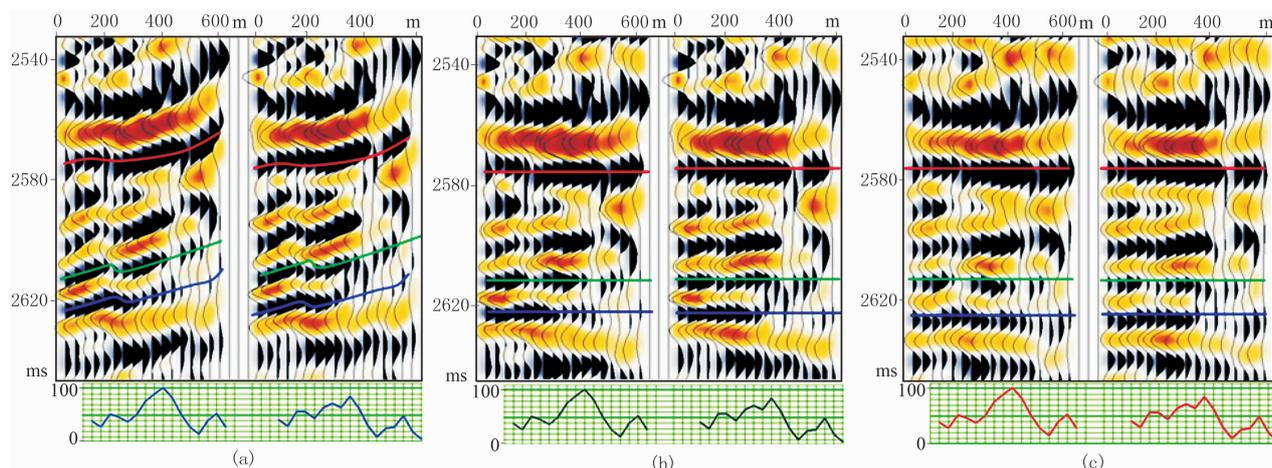


图 3 A 区实际资料道集不同方法处理结果对比
(a)常规动校正道集;(b)绝对值互相关拉平;(c)图 b 谱均衡动校拉伸

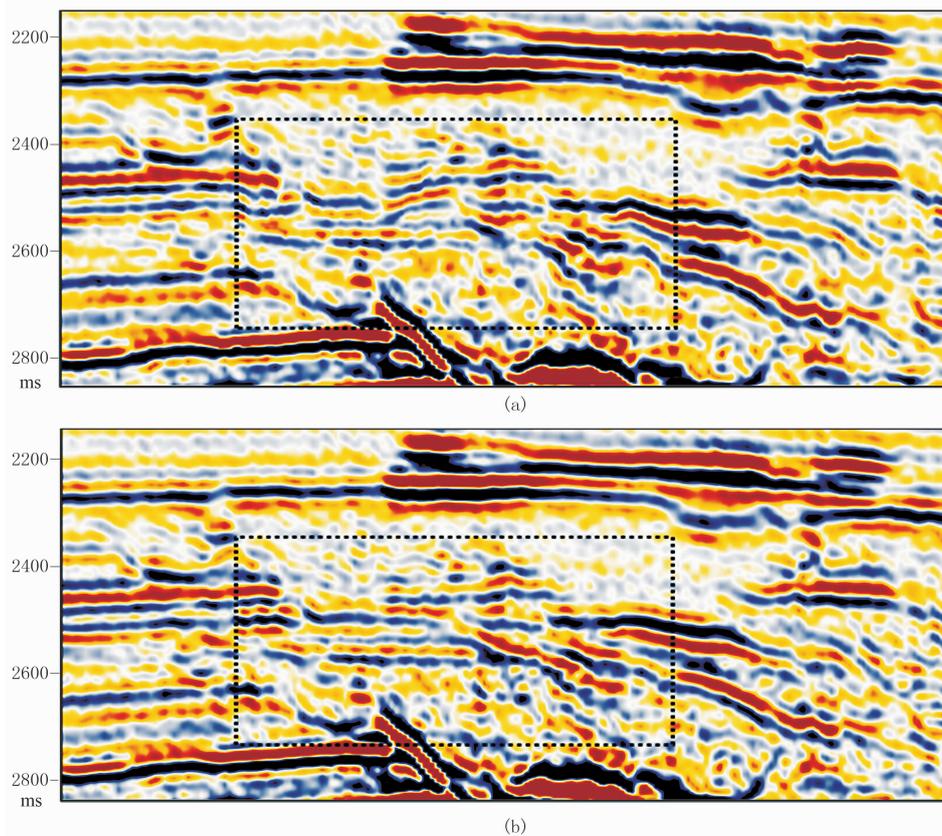


图 4 A 区实际资料叠加剖面
(a)优化处理前;(b)优化处理后

图5为图4黑色框对应区域的放大图。对比优化前后箭头1~箭头4所处位置,可以看出优化前(图5a)由于同相轴的错位和远道的复合波,导致同相轴在该区连续性较差,使得地层接触关系不清,层序界面解释难度大;优化处理后(图5b),同相轴连续性增强,地层接触关系清晰,明显降低了层序界面

解释的多解性。优化前箭头1~箭头2位置处可能会被解释成河道或者是地质异常体,优化后剖面内异常体消失,主要是完整的削截关系;优化后箭头3~箭头4位置处可以明显看出层序界面之上的上超接触关系和界面之下的削截。优化后的剖面中具有更明显的前积地震反射特征,前积反射的边界更

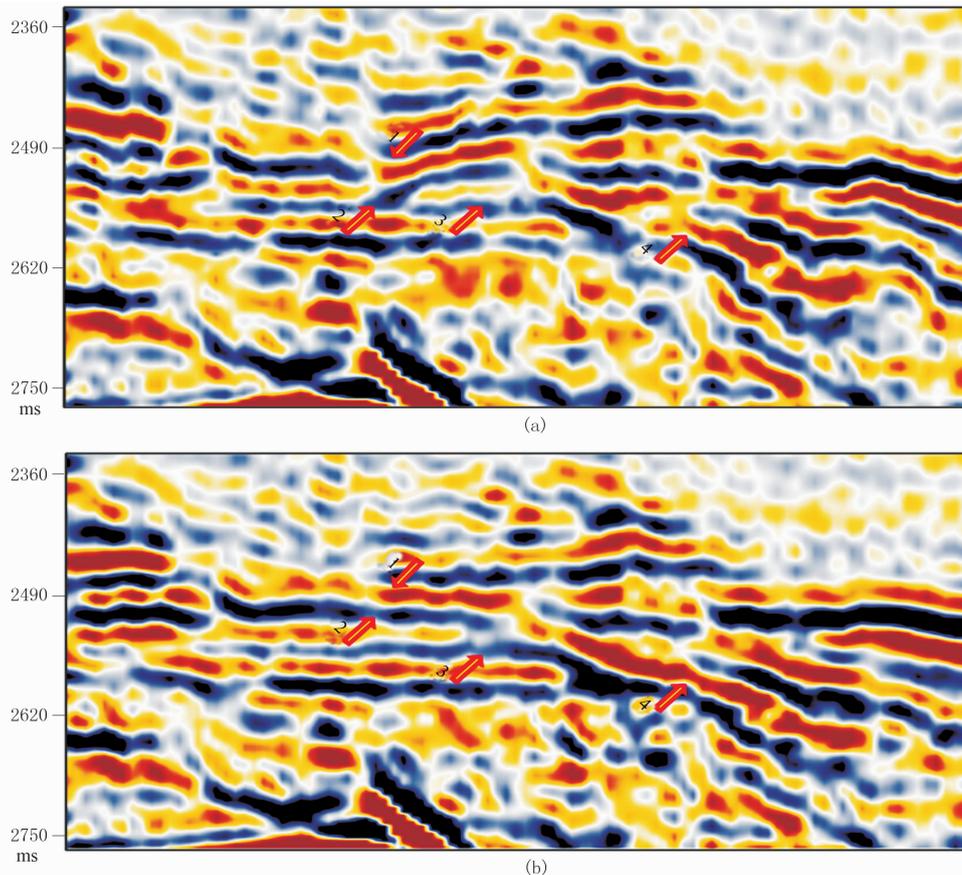


图5 图4的局部放大
(a)优化处理前;(b)优化处理后

加清楚,为后续的沉积相及储层预测研究提供更清晰的地震数据。

4 结论

(1)本文方法是一种与剩余时差无关的绝对值互相关道集拉平方法,通过相关系数、时移量阈值等参数的控制与调整,平滑优化得到剩余时差,能适应道集不平的各种情况;

(2)采用谱均衡技术可以解决动校拉伸引起的远道频率降低现象;

(3)通过道集优化,地震道集能实现同相叠加,

改善叠加效果,提高地震剖面信噪比、分辨率和连续性,为构造解释、沉积相研究及储层研究提供合格资料。模型和实际资料的处理结果表明,本文方法是简单、有效、实用的地震道集优化方法。

参考文献

- [1] 熊翥. 21世纪初中期油气地球物理技术展望. 北京:石油工业出版社,2006
- [2] 韩文功,印兴耀,王兴谋等. 地震技术新进展. 山东东营:中国石油大学出版社,2006
- [3] 蔡希玲,刁文川,周兴元等. 薄层反射波非零炮检距的属性特征. 石油地球物理勘探,2007,42(3):277-280. Cai Xiling, Diao Wenchuan, Zhou Xingyuan et al. Attribute features of reflection on non-zero offsets in

- thin layers. OGP, 2007, 42(3): 277-280.
- [4] 崔宝文, 王维红. 叠前时间偏移技术在深层断陷区地震成像中的应用. 地球物理学进展, 2010, 25(5): 1703-1708.
Cui Baowen, Wang Weihong. Application of prestack time migration to seismic imaging of deep fault depression areas. Progress in Geophysics, 2010, 25(5): 1703-1708.
- [5] 李宏兵. 高精度速度分析. 石油地球物理勘探, 1994, 29(4): 474-480.
Li Hongbing. Accurate velocity analysis. OGP, 1994, 29(4): 474-480.
- [6] 夏忠谋, 邹振, 刘洪. 提高地震分辨率和信噪比的叠前 T_0 校正方法. 石油地球物理勘探, 2010, 45(3): 355-359.
Xia Zhongmou, Zou Zhen, Liu Hong. Introducing pre-stack T_0 correction method—a new approach to raise resolution and S/N ratio. OGP, 2010, 45(3): 355-359.
- [7] 苑春方, 余钦范, 王彦春等. 动校正剩余时差的估计与校正. 石油物探, 2002, 41(3): 317-320.
Yuan Chunfang, Yu Qinfan, Wang Yanchun et al. Estimation and removal of residual normal moveout. GPP, 2002, 41(3): 317-320.
- [8] 林伯香, 孙建国. 相位替换法剩余时差校正. 石油物探, 2001, 40(3): 15-22.
Lin Boxiang, Sun Jianguo. Residual moveout correction by using phase replacement. GPP, 2001, 40(3): 15-22.
- [9] 单联瑜, 王希萍, 李振春等. 相位校正判别准则的改进及应用效果分析. 石油物探, 2008, 47(3): 219-224.
Shan Lianyu, Wang Xiping, Li Zhenchun et al. Improvement of discriminant criteria for phase correction and its application effect. GPP, 2008, 47(3): 219-224.
- [10] 刘洪林, 朱秋影. 基于叠前深度偏移的 AVO 反演及解释. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 905-912.
Liu Honglin, Zhu Qiuying. AVO inversion and interpretation based on prestack depth migration. Progress in Geophysics, 2007, 22(3): 905-912.
- [11] 王云专, 杨立伟, 李素华. 剩余时差校正及泊松比反演. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 214-218.
Wang Yunzuan, Yang Liwei, Li Suhua. Residual moveout correction and Poisson's ratio inversion. Progress in Geophysics, 2006, 21(1): 214-218.
- [12] 张津海, 张远银, 孙赞东. 道集品质对叠前 AVO/AVA 同时反演的影响. 石油地球物理勘探, 2012, 47(1): 68-73.
Zhang Jinhai, Zhang Yuanyin, Sun Zandong. The effects of seismic data conditioning on pre-stack AVO/AVA simultaneous inversion. OGP, 2012, 47(1): 68-73.
- [13] Dunkin J W and Levin F K. The effect of normal moveout on a seismic pulse. Geophysics, 1973, 38(4): 635-642
- [14] Rupert G B, Chun J H. The block move sum normal moveout correction. Geophysics, 1975, 40(1): 17-24.
- [15] Shatilo A, Aminzadeh F. Constant normal-moveout (CNMO) correction; A technique and test results. Geophysics, 2001, 48(3): 473-488.
- [16] Bazelaire E. Normal moveout revisited—inhomogeneous media and curved interfaces. Geophysics, 1992, 57(5): 749-751.
- [17] 赵波, 史政军. 消除动校正拉伸影响的方法. 石油地球物理勘探, 1995, 30(3): 417-421.
Zhao Bo, Shi Zhengjun. A method for removing NMO correction lengthening. OGP, 1995, 30(3): 417-421.
- [18] 夏洪瑞, 葛川庆, 邹少峰. 动校拉伸现象分析及消除. 石油物探, 2005, 44(3): 220-224.
Xia Hongrui, Ge Chuanqing, Zou Shaofeng. Stretching phenomena and its elimination. GPP, 2005, 44(3): 220-224.

(本文编辑:金文昱)

作者简介



周鹏 工程师, 1978 年生; 2002 年毕业于中国石油大学(华东)地球物理专业获学士学位, 2005 年毕业于中国石油大学(北京)地球探测与信息技术专业获硕士学位; 现在中海油研究总院从事地震资料处理及储层预测研究。