

频谱代换无拉伸动校正方法研究

崔宝文^{1,2}, 王维红³

(1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061; 2. 大庆油田有限责任公司油藏评价部, 大庆 163453;
3. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要 动校正拉伸是地震资料处理的一个基本问题, 解决拉伸问题的处理方法是切除. 现代地震数据大多为长排列采集, 动校正拉伸更为严重. 依据褶积模型和 Fourier 变换的基本性质, 本文给出频谱代换无拉伸动校正方法. 算法实现就是将 CMP 道集变换到频率域, 取参考道的相位谱替换其它偏移距道的相位, 同时保持其振幅谱不变, 再做 Fourier 反变换就得到动校正后的地震剖面. 通过其实现过程可知该方法不需要地下介质的速度信息, 算法可完全自动实现, 且具有较高的计算效率. 频谱代换无拉伸动校正可适用于任何偏移距的地震资料, 而且还可有效保持地震资料的 AVO 效应. 理论模拟数据及其叠加结果显示频谱代换法的有效性和实用性, 同时该方法具有较强的抗随机噪音能力.

关键词 动校正, 频谱代换, 无拉伸, 随机噪音, 叠加

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2007)03-0960-06

Spectral borrowing stretch-free normal moveout correction

CUI Bao-wen^{1,2}, WANG Wei-hong³

(Jilin University, Changchun 100029, China;

2. Department of Reservoir Evaluation of Daqing Oilfield Corp. Ltd., Daqing, 163712, China;

3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract Normal moveout(NMO)stretch is a fundamental problem in seismic data processing, muting is one of attempts to solve NMO stretch. The long offset is adopted in modern seismic acquisition, therefore NMO stretch is more severe in seismic processing. The spectral borrowing stretch-free NMO approach is proposed in this paper based on convolutional model and the properties of Fourier transform. Transform the CMP to temporal frequency domain, take the minimum-offset-trace as reference trace, and borrows that phase spectrum to substitute the original traces in CMP gather. The proposed technique need no stack velocity data of formation under investigation, the given method can finish NMO processing automatically, and has high efficiency in calculation. The spectral borrowing stretch-free approach can keep the AVO effect unaffected during the course of NMO processing, and also process whatever long offset seismic data easily. Theoretical model seismic data NMO and the stack result demonstrate that the proposed technique is validity and applicable, and the spectral borrowing stretch-free NMO approach can process noisy seismic data.

Keywords Normal moveout(NMO), spectral borrowing, stretch-free, random noise, stack

0 引言

地震资料动校正拉伸是一个基本的而又长期受重视的研究课题^[1], 切除是处理动校正拉伸的主要方法, 浅层地震资料因拉伸严重几乎完全或大部分

被切除掉^[2]. 对于长偏移距的地震资料, 动校正拉伸的切除方法使得浅层的覆盖次数少而不能通过叠加很好地压制噪音^[3-5], 同时也影响多次波的压制效果. 需要指出的是远偏移距地震资料的切除势必影响地震资料的 AVO 分析^[6-8], 地震资料的切除对

收稿日期 2006-09-01; 修回日期 2006-11-01.

基金项目 中国博士后科学基金项目(20060400229)资助.

作者简介 崔宝文, 男, 1963 年生, 汉族, 黑龙江双城人, 高级工程师, 现为吉林大学在读博士研究生, 主要从事开发地质研究. (E-mail: cuibaowen@petrochina.com.cn)

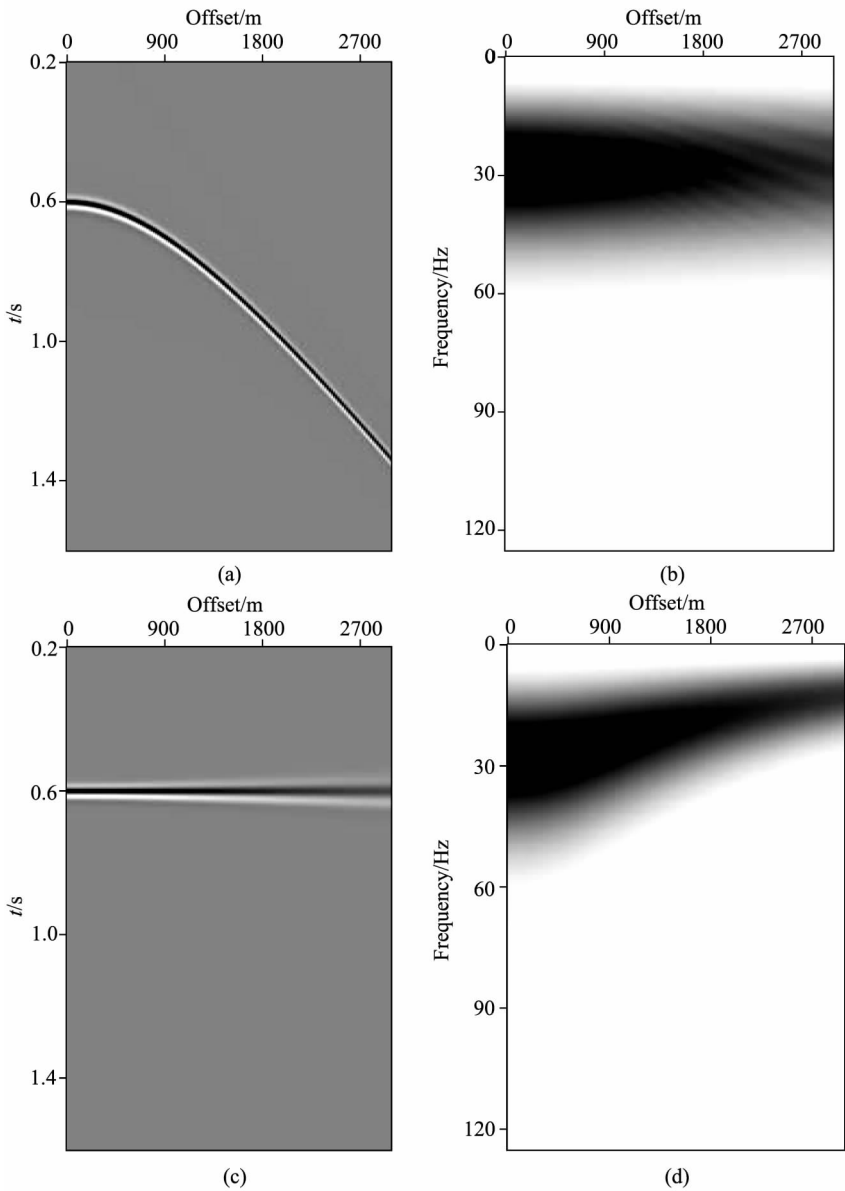


图 1 单一同相轴理论模拟数据和传统动校正方法及其频谱

(a)合成炮记录 (b)合成炮记录的频谱(c)传统动校正后的剖面(d)传统 NMO 后的频谱

Fig. 1 The synthetic and the traditional NMO seismic profile and their spectrum

各向异性介质的反演研究也有一定的影响^[9]. 另外对于结合 NMO 的插值方法^[10], 应用常规动校正法插值的精度降低(特别是远偏移距资料).

确定切除区域是比较困难的, 同时进行切除计算也使地震资料的处理效率降低, 所以诸多地球物理工作者研究无拉伸的动校正方法. Rupert^[11] 首次给出无拉伸动校正的块移动法, Shatilo^[12] 对该方法进行了完善, 但是该类方法无法处理同相轴重叠的情况. Hicks^[13] 给出应用抛物 Radon 变换在叠加过程中消除动校正拉伸现象的方法, 该方法在存在噪

音时稳定性差, 另外对于振幅很弱的同相轴不能有效进行处理.

高精度动校正就是高分辨率地震资料处理的基础^[14,15], 一些学者提出应用非常规双曲线法来进行动校正, 主要包括高阶拟合法和平移双曲线法^[16], 高阶拟合法有 6 阶^[17,18] 和 8 阶 NMO 方法^[19,20], 该类方法计算精度较高, 但是并不能有效消除动校正拉伸现象, 而且存在截断误差^[21], 另外数值计算实现比较烦琐. Al-Moughraby^[22] 给出应用振幅谱刻度法来增强动校正拉伸道的高频成分, 为高分辨率

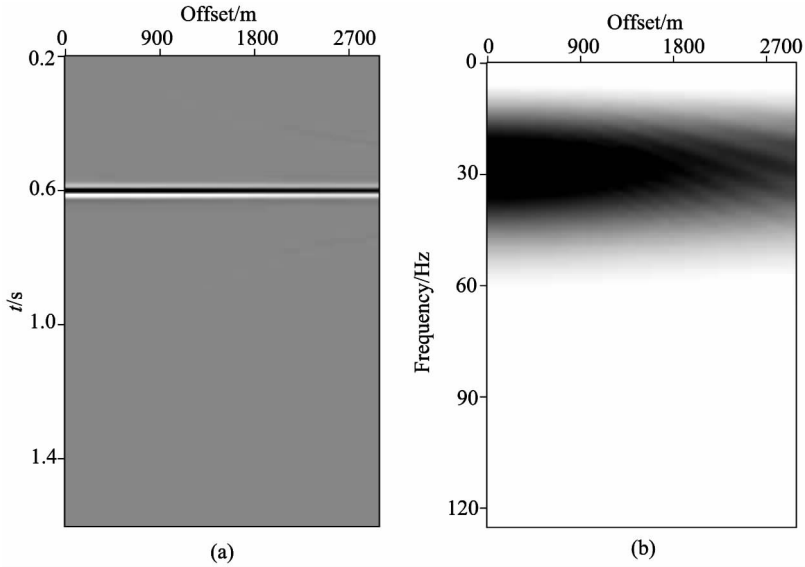


图 2 频谱代换动校正法及其频谱

(a) 频谱代换 NMO 法得到的地震剖面 (b) 频谱代换 NMO 后的频谱

Fig. 2 The seismic profile after spectral borrowing NMO and its spectrum

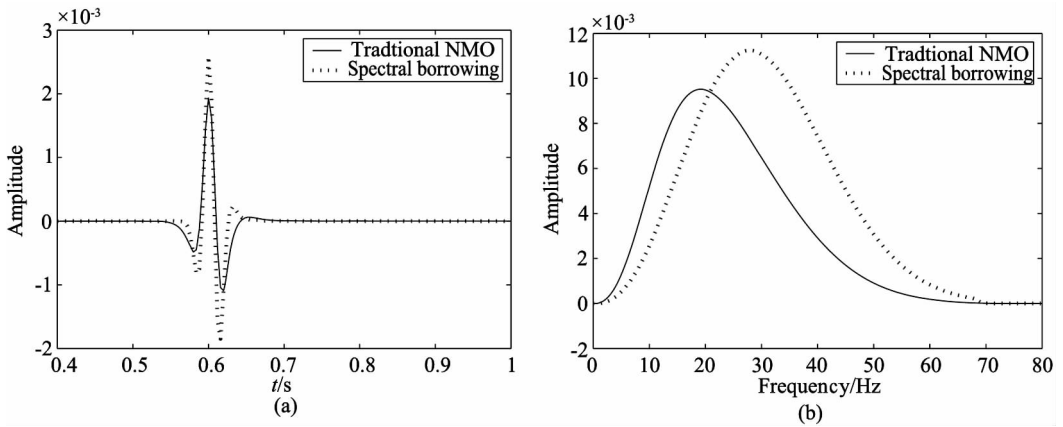


图 3 传统和频谱代换 NMO 方法得到的叠加道和频谱对比

(a) 不同动校正方法得到的叠加道 (b) 叠加道的频谱

Fig. 3 Comparison of the stack trace and their spectrum using traditional and spectral borrowing NMO respectively

地震资料处理探索了新的思路,但其刻度因子比较难以确定.

本文在 CMP 道集上直接进行无拉伸动校正.对于 NMO 拉伸来说,CMP 道集中零偏移距道具有最高的频率成分,本文借用零偏移距道的相位谱,保持其它道的振幅谱不变进行动校正计算.由于每道振幅谱得以保持,其高频成分没有损失,所以该方法能有效保持地震资料的分辨率.

1 频谱代换法无拉伸动校正

褶积模型表述了地震道是由震源子波和反射系

数褶积的结果.对于不含随机噪音的地震数据,褶积模型表述如下:

$$x(t) = w(t) * r(t), \tag{1}$$

式中, $x(t)$ 为地震道, $w(t)$ 为地震子波, $r(t)$ 为反射系数.

对上式进行 Fourier 变换后,在频率域(1)式可表示为地震子波和反射系数的乘积

$$X(f) = W(f)R(f), \tag{2}$$

上述复函数的乘积可写为地震子波和反射系数振幅和相位的形式

$$X(f) = A_w(f)e^{i\phi_w(f)} A_r(f)e^{i\phi_r(f)}, \tag{3}$$

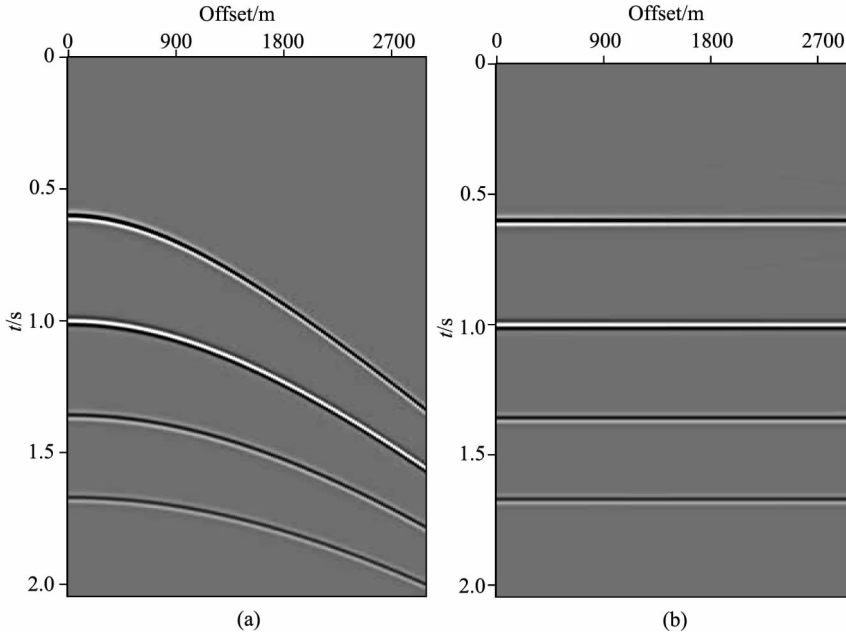


图 4 多个同相轴数据及频谱代换 NMO 法得到的剖面
(a)多层介质模拟的理论数据 (b)频谱代换 NMO 后的地震剖面

Fig. 4 Multi-event seismic data and its spectral borrowing NMO profile

$$X(f) = A_w(f)A_r(f)e^{i(\phi_w(f)+\phi_r(f))}, \quad (4)$$

其中, $A_w(f)$ 和 $A_r(f)$ 分别表示子波和反射系数振幅谱, $\phi_w(f)$ 和 $\phi_r(f)$ 分别表示其相位谱.

(4)式表明,地震道的相位是子波相位和反射系数相位之和.子波相位决定地震子波时间域波形,反射系数相位包含反射同相轴的位置信息.对于零相位的地震子波来说,借用零偏移距道的相位谱进行动校正就可以将整个 CMP 道集校正为自激自收剖面.

动校正拉伸也可理解为地震子波的拉伸,所以这里选择无拉伸的零偏移距道作为参考道.依据 Fourier 变换的基本性质进行频谱代换,就是将 CMP 道集变换到频率域,取零偏移距道的相位谱替换其它偏移距道的相位谱,同时保持其振幅谱不变,再做 Fourier 反变换就得到动校正后的地震剖面.

2 理论地震资料频谱代换动校正实例

2.1 单一同相轴算例

图 1a 为单一水平层介质模拟得到的炮记录,模拟用子波为主频为 25 Hz 的 Ricker 子波,时间方向采样间隔为 4 ms,道间距 20 m,共 150 道接收.图 1b 为理论模拟数据的频谱,从图中可以看出不同偏移距的频带宽度是一样的.图 1c 为传统方法进行动校正后的结果,从图中可知,偏移距越大,子波拉伸

越严重.图 1d 给出的频谱图显示随偏移距增大,各道的主频向低频方向移动,偏移距为 1 000 m 时就存在明显的频率降低现象.

图 2a 为本文频谱代换法得到的无拉伸动校正剖面,从图中可知不存在动校正拉伸现象,而且每道的子波波形得到很好地保持.图 2b 给出的是动校正后剖面的频谱.对于图 1b 可知,频谱代换动校正法得到的频带宽度和初始地震剖面一样.

为便于在时间域进行对比,对上述两种动校正结果分别进行了叠加,其叠加道如图 3a 所示,其中虚线为频谱代换法 NMO 后叠加结果,实线显示的是传统方法的叠加道.显然,频谱代换动校正的叠加波形比传统方法得到的波形窄、幅值大.这一特点叠加道的振幅谱也有清楚显示,传统方法的叠加道频谱主频明显向低频方向移动.也就是说频谱代换动校正法得到的叠加结果分辨率高,同时具有振幅保真的特点.这里需要说明的是对于传统的动校正拉伸可以进行切除处理,前已述及,切除后叠加的覆盖次数降低,同时不利于地震资料的 AVO 分析.

2.2 多个同相轴算例

应用图 1a 同样的模拟参数,图 4a 为模拟得到的含四个同相轴的单炮记录.保持每道振幅谱不变,用参考道(零偏移距道)的相位谱替换所有道相位后得到的动校正剖面如图 4b 所示,显然动校正后没有

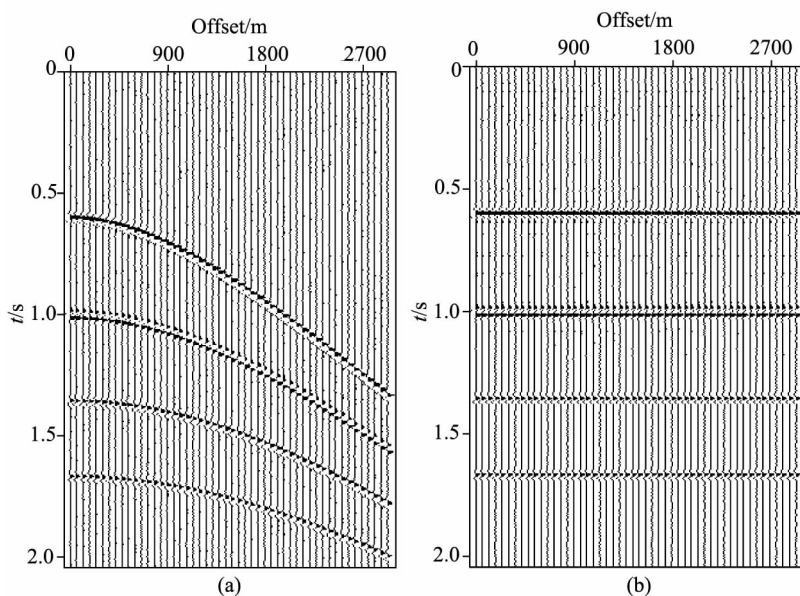


图5 含随机噪声地震数据及其频谱代换 NMO 剖面

(a) 模拟的含随机噪声数据 (b) 频谱代换动校正的地震剖面

Fig. 5 Noisy multi-event seismic data and its spectral borrowing NMO profile

拉伸现象。

图 4a 加随机噪声后的剖面如图 5a 所示,图 5b 为本文频谱代换法得到无拉伸动校正剖面,可以看出随机噪声对本文方法的影响很小,同样可以给出分辨率很高的动校正剖面。多个同相轴含随机噪声数值算例表明频谱代换法抗随机噪声能力较强。

上述单一和多个同相轴的地震数据动校正结果表明本文算法的可行性。需要指出的是,对于不含零偏移距道的地震数据,可用动校正后的最小偏移距道作为参考道,进而对整个 CMP 道集进行动校正计算。因为最小偏移距道距震源很近,其动校正拉伸可忽略不计,所以以此为参考道动校正后仍可得到分辨率很高的叠加剖面。

3 结论和建议

传统动校正方法存在动校正拉伸现象,需进行切除处理,本文给出的频谱代换 NMO 法为无拉伸动校正方法,不用进行切除处理,可适用于任何偏移距的地震资料,而且还可有效保持地震资料的 AVO 效应。传统动校正方法的叠加道频谱主频向低频方向移动,频谱代换法因每道振幅谱得到保持,其高频成分没有损失,所以动校正后地震资料的叠加效果较好,能有效保持地震资料的分辨率,还有振幅保真的特点。该方法有很大的应用价值。

频谱代换动校正的参考道选为零偏移距道,对

于实际地震资料可选经传统方法动校正后的最小偏移距道作为参考道,进而进行无拉伸动校正的计算。频谱代换动校正方法不需要速度剖面,也就是说不用进行叠加速度分析,而且该方法是自动进行动校正计算的,不需要人为的参与。频谱代换动校正的计算只涉及正反 Fourier 变换,计算效率较高。文中给出的多个同相轴含随机噪声的算例子表明频谱代换 NMO 法抗随机噪声能力较强。

致谢 衷心感谢大庆油田勘探开发研究院的渠永宏博士对本文的帮助,同时感谢大庆油田博士后科研工作站的王英老师和万金荣老师对本文的帮助。

参 考 文 献 (References):

- [1] Branes A E. Another look at NMO stretch[J]. *Geophysics*, 1992, 57: 749~751.
- [2] Miller R D. Normal moveout stretch mute on shallow reflection data[J]. *Geophysics*, 1992, 57: 1502~1507.
- [3] 曹文俊,李振春,王小六. 广角地震处理方法研究进展[J]. *地球物理学进展*, 2004, 19(2): 296~299.
- [4] 张军华,吕宁,田连玉,等. 地震资料去噪方法技术综合评述[J]. *地球物理学进展*, 2006, 21(2): 546~553.
- [5] 田文辉,李振春,孙小东. 对共反射面叠加的进一步探讨[J]. *地球物理学进展*, 2006, 21(3): 932~937.
- [6] Castoro A, White R E, Thomas R. Thin-bed AVO: compensating for the effects of NMO on reflectivity sequences[J]. *Geophysics*, 2001, 66: 1712~1720.

- [7] Trickett S R. Stretch-free stacking[J]. 73rd Ann. Internat. Mtg., Soc. of Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 2003, 2008~2011.
- [8] 王云专,杨立伟,李素华. 剩余时差校正及泊松比反演[J]. 地球物理学进展,2006,21(1):214~218.
- [9] 苑书金,于常青. 各向异性介质中的弹性阻抗及其反演[J]. 地球物理学进展,2006,21(2):520~523.
- [10] 李冰,刘洪,李幼铭. 三维地震数据离散光滑插值的共轭梯度法[J]. 地球物理学报,2002,45(5):691~699.
- [11] Rupert G B, Chun J H. The block move sum normal move-out correction[J]. Geophysics, 1975, 40: 17~24.
- [12] Shatilo A, Aminzadeh F. Constant normal-moveout(CNMO) correction: A technique and test results [J]. Geophysical Prospecting, 2000, 48: 473~488.
- [13] Hicks G J. Removing NMO stretch using the Radon and Fourier-Radon transforms[J]. 63rd Mtg; Eur, Assn. of Expl. Geophys., 2001, Session: A-18.
- [14] 李文莲,邓辉,闫立志. 鄂尔多斯盆地北部低信噪比资料的高分辨率处理[J]. 地球物理学进展,2005,20(4):1059~1066.
- [15] 蒋鸿亮,陈湛文,陈小宏. 高分辨率 AVO 反演技术研究[J]. 地球物理学进展,2006,21(2):478~482.
- [16] 薛冈,王良书,胡中平. 大炮检距地震资料动校正方法比较[J]. 石油地球物理勘探,2003,38(2):151~155.
- [17] 张栋,杜清怀,许孝坤. 大炮检距优化 6 次 NMO 校正[J]. 西北地质,2004,37(4):117~120.
- [18] Shurtleff R N, Schneider W A, Mackie D A, *et al.* A high order correction to NMO for improved AVO and imaging[J]. 66th Ann. Internat. Mtg., Soc. of Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1996, 1715~1717.
- [19] 庄道川,曾庆才,张亚斌,等. 超大偏移距地震资料处理方法[J]. 西南石油学院学报. 2003, 25(2): 11~14.
- [20] Wombell R, Jones E, Priestly D, *et al.* Long offset acquisition and processing for sub-basalt Imaging [J]. 69th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys. Expanded Abstracts, 1999, 1429~1432.
- [21] 夏洪瑞,葛川庆,邹少峰. 具有截断误差校正的广角反射 NMO 方法[J]. 石油物探,2005,44(2):154~157.
- [22] Al-Moughraby B M. Seismic frequency enhancement through spectral borrowing[J]. 73rd Ann. Internat. Mtg., Soc. of Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 2003, 2016~2019.