

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2014.04.013

非双曲线动校正方法及应用

李添才^{1,2}, 谢玉洪³, 李 列³, 张宏兵⁴, 张兴岩²

(1. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130012;

2. 中海油能源发展股份有限公司物探技术研究所, 广东 湛江 524057;

3. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057; 4 河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对常规走时双曲线方程依据偏移距小于或等于反射界面深度的假设, 以至于不适合长电缆的大偏移距和多覆盖次数采集方式的地震资料速度分析及及时差动校正处理, 提出了长排列非双曲线反射同相轴的动校正(NMO)方法, 并且首次用于南海地震资料处理。该方法通过在常规时移双曲线方程引入 2 个 NMO 参数, 即不均匀性参数 s 和各向异性参数 η , 使走时方程满足长电缆采集数据处理要求。模型试算及实际数据处理结果显示, 大偏移距及陡倾角处的道集得到拉平, 叠加后的剖面成像更清晰、信噪比更高。

关键词: 非双曲线动校正技术; 长排列非双曲线; 同相轴; 电缆数据采集; 中深层地震数据采集
中图分类号: P315.63 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2014)04-0351-04

Non-hyperbolic NMO correction technology and its application

LI Tiancai^{1,2}, XIE Yuhong³, LI Lie³, ZHANG Hongbing⁴, ZHANG Xingyan²

(1. College of Geo-Exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130012, China;

2. Development and Prospecting Geophysical Institute, CNOOC Energy Technology and Services Ltd., Zhanjiang 524057, China;

3. Zhanjiang Branch of CNOOC Ltd., Zhanjiang 524057, China;

4. College of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The conventional hyperbolic travel time is based on the hypothesis that offset is not larger than the depth of the reflector and is not suitable for velocity analysis and normal move-out of seismic data for the long cable acquisition mode with a large degree of migration and multi-folds. Based on these facts, we propose a long-array non-hyperbolic normal move-out (NMO) method and used it for the first time to process seismic data from the South China Sea. We introduced two parameters into this method, which are non-uniformity s and anisotropy η , in order to meet the requirements of seismic data processing with long cable acquisition. The results of both synthetic and field data for the non-hyperbolic NMO show that the seismic traces of a large offset and a steep dip angle are approximately aligned and the profiles have clear images and a high signal-to-noise ratio.

Key words: non-hyperbolic NMO correction technology; long-array non-hyperbolic; event; cable data acquisition; middle-and deep-layer seismic data acquisition

南海西部海域的莺歌海盆地和琼东南盆地是油气富集区, 迄今已发现多个大中型天然气田, 勘探前景广阔。在近 40 多年内, 经历了由浅海到深海的多层次、多目标勘探, 浅层已成为天然气采集的高开发、高成熟区。相对而言, 中深层勘探程度较低, 由于一些地区地质条件复杂, 巨厚的沉积以及高温、超压、底辟等导致中深层存在多套超低速层, 上部地层垂向裂隙发育且充气, 使中深层地震资料信噪比很低, 进而影响后续反演及解释研究工作^[1-2]。

收稿日期: 2013-03-11

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05000023004001)

作者简介: 李添才(1976—), 男, 广东赤壁人, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事地震数据采集与处理研究。E-mail: litc@cnooc.com.cn

近年来,针对中深层的新一轮地震数据采集和处理,部分采集的最大偏移距甚至超过 10 000 m,覆盖次数达到 100 次以上。常规的速度分析方法以双曲线同相轴为基础,但双曲线走时有 2 个假设前提:(a)各向同性层状介质;(b)中、近炮检距检波排列^[3-4]。针对第 1 个假设条件,罗省贤等^[5]提出了 VTI 介质中长偏移距下反射同向轴的时距关系,尤建军等^[6]研究了多波速度与地层各向异性系数之间的联系;针对第 2 个假设条件,本文引入了非双曲线动校正技术。

非双曲线技术从 1978 年 Nalovichko 导出具有时移双曲线性质的四阶非双曲线方程开始,目前理论上已经日趋成熟^[7-9],国际上已有少数商业软件具有非双曲线方程动校正模块。此类技术目前国内也是研究热点^[10-11]。笔者从非双曲线动校正技术的理论出发进行技术开发,建立模型数据并进行验证,最后在应用中取得了较好的效果。

1 非双曲线反射同相轴的动校正方法

1.1 长排列的时移双曲线

常规的正常时差双曲线方程为

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V_{rms}^2}$$

(1)

式中: t ——反射波传播时间; t_0 ——垂直入射时的反射波传播时间; x ——震源与接收器之间的距离; V_{rms} ——均方根速度。

如果存在偏移距过大,并且陡倾角或者地层存在各向异性时,双曲线时差方程的假设条件就不成立,需要用更高阶的非双曲线方程来描述反射波的传播时间。

1978 年 Nalovichko 导出了精确到偏移距四阶的非双曲线方程:

$$t = \tau_s + \sqrt{\tau_0^2 + \frac{x^2}{V^2}}$$

(2)

其中 $\tau_s = \tau_0(s - 1)$ $\tau_0 = \frac{t_0}{s}$ $V^2 = sV_{rms}^2$

式中: V ——介质传播速度; s ——介质不均匀程度的参数。

式(2)具有时移双曲线的性质,描述了在时间上移动 τ_s 的 Dix 正常时差曲线。Alkhalifah^[8]证明了在各向异性介质中传播的反射波走时也具有非双曲线形式:

$$t(V, \eta) = \frac{8\eta}{1 + 8\eta}t_0 + \sqrt{\left(\frac{t_0}{1 + 8\eta}\right)^2 + \frac{x^2}{(1 + 8\eta)V^2}}$$

(3)

式中: η ——各向异性参数,称为非椭圆率。

式(3)与时移双曲线方程比较可知它们是等价的,且 $s = 1 + 8\eta$ 。由此可见,在长排列非双曲线走时方程的条件下,正常时差的参数场已从 1 个 NMO 速度参数增至 2 个参数,即还要提取不均匀性参数 s 或者各向异性参数 η 。近几年来已发展了双参数分析提取 NMO 速度和 η 的方法。

1.2 与速度无关的非双曲线走时方程

将时移双曲线方程(式(2))对 x 微分 2 次,消去 V 和 s ,就能得到与速度无关的非双曲线走时方程:

$$t = t_0 + \frac{px}{1 + \sqrt{\frac{qx}{p}}}$$

(4)

其中 $p(t, x) = \frac{dt}{dx}$ $q = \frac{dp}{dx} = \frac{d^2t}{dx^2}$

式中: p ——走时曲线的斜率。

可以看出,使用式(4)完成动校正无需事先已知地下介质的速度模型,且 p 可以通过优化方法获得(这里不予讨论)。

2 合成数据测试

首先使用大偏移距非双曲线同相轴理论合成地震数据,然后对其进行处理,较好地解决了远偏移距的动

校正问题。

图1为与速度无关的非双曲线动校正方法与传统速度扫描方法的对比。从图1可以看出,与速度无关的非双曲线动校正方法求出的均方根速度能够将剖面中的能量映射成一个个收敛的能量团。相比之下,对于非双曲线同相轴,偏移距越大,传统方法求出的速度误差也越大,因此其扫描得到的能量团相当发散,从而可知,新方法求出的速度比传统方法求出的精度高。

图2为大偏移距非双曲线合成数据及与速度无关的非双曲线动校正结果。从图2可以看出,对于深层的反射波同相轴,与速度无关的非双曲线动校正方法能够很好地对其进行校正拉平,并且较好地解决了双曲线动校正远偏移距的动校拉伸问题。

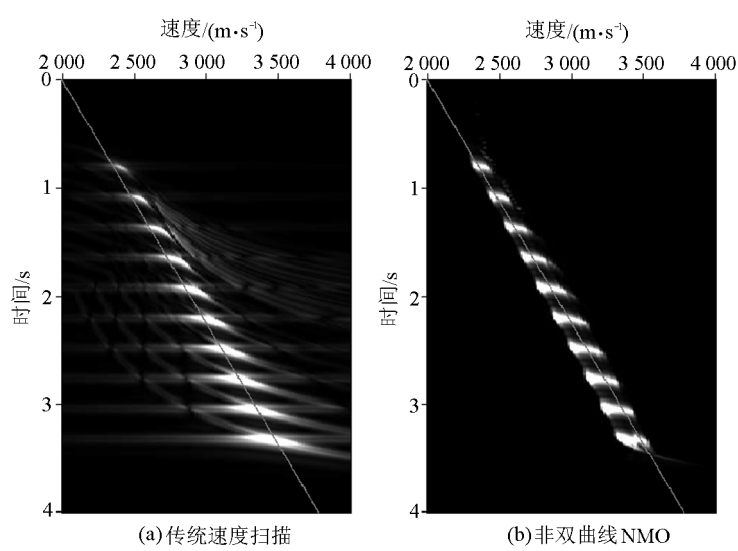


图1 传统速度扫描与非双曲线 NMO 速度分析结果对比
Fig. 1 Comparison of velocity analysis results of traditional method and non-hyperbolic NMO

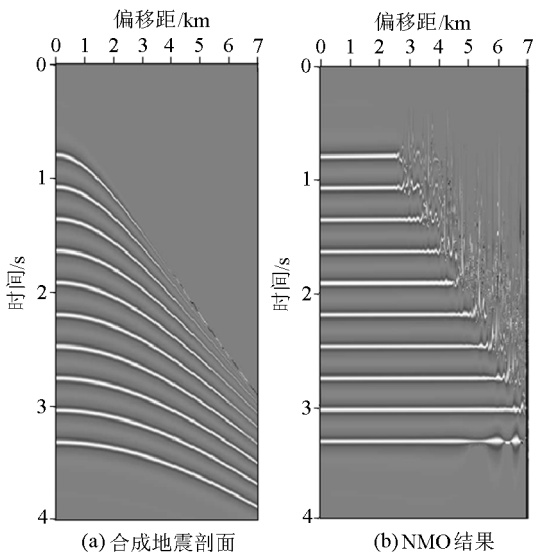


图2 与速度无关的非双曲线动校正结果
Fig. 2 Results of non-hyperbolic NMO correction with velocity independent

3 实际数据处理

选用南海某工区的长电缆实际数据对非双曲线动校正进行验证,所采用的数据最大偏移距近7000 m。图3(a)为常规动校正和与速度无关的非双曲线动校正后的道集对比,从图中可以看到常规动校正后的道集虽然近偏移距得到了较好的校正拉平,但远偏移距出现了上翘、拉伸现象。这种现象是常规动校正自身的原因,并非速度不准确所造成。

相对于常规的双曲线动校正,非双曲线动校正速度参数增至2个参数,除了动校正速度外还需各向异性参数。使用速度和各向异性参数进行非双曲线动校正,较好地解决了常规动校正远偏移距存在的问题,如图3(b)所示。与图3(a)进行对比后不难发现,非双曲线动校正大偏移距同相轴得到了拉平。

现从叠加剖面上来看非双曲线动校正与常规动校正的差别。图4(a)为常规动校正后的叠加剖面;由于在陡倾角处,双曲线时差方程失去其正

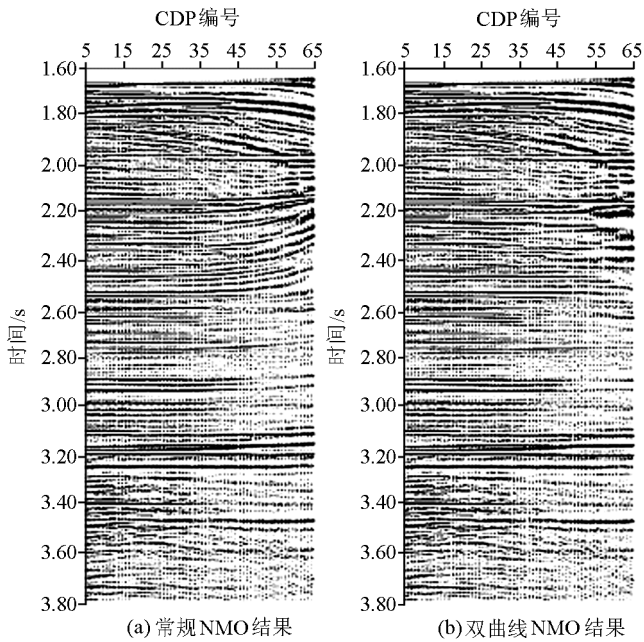


图3 非双曲线 NMO 结果与常规 NMO 结果对比
Fig. 3 Comparison of results of non-hyperbolic NMO method and conventional NMO method

确性,常规动校正的道集远偏移距的同相轴得不到拉平,所以图 4(a)显示的剖面上倾角较大处成像不清晰,信噪比低,这是因为叠加过程中常规动校正没有将道集拉平。图 4(b)为采用非双曲线动校正的叠加剖面。因为与速度无关的非双曲线动校正采用了更高阶的非双曲线方程来描述,能较好地解决远偏移距及陡倾角处的道集拉平问题,所以图 4(b)显示叠加后的剖面成像清晰,信噪比高。

4 结 语

长电缆采集目前已经成为解决中深层勘探的重要技术之一,采集方法进步的同时也给之后的地震数据处理带来一定的麻烦,常规的双曲线走时假设已经不适合如此长的电缆采集方式的处理。笔者使用与速度无关的非双曲线反射同相轴的动校正方法,有效解决了长电缆远偏移距的动校正问题,在模型数据和实际地震数据上都取得较好的效果。

合成数据测试结果显示,对于深层的反射波同相轴校正,非双曲线 NMO 方法更有优势,其校正方法获得的速度谱比传统速度扫描的结果精度高。实际资料处理结果表明,与常规校正方法相比,在非双曲线 NMO 校正后的道集中大偏移距同相轴拉平效果更好,叠加剖面也能较好地解决远偏移距及陡倾角处的道集拉平问题,使叠加剖面的信噪比得到提高。

参考文献:

[1] 刘涛,樊小意,方中于,等. 涪西南地区地震数据叠前同步反演[J]. 河海大学学报:自然科学版,2012,40(2):180-185. (LIU Tao,FANG Xiaoyi,FANG Zhongyu,et al. Pre-stack simultaneous inversion of seismic data in Weixi' nan area[J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences,2012, 40(2):180-185. (in Chinese))

[2] 但志伟,肖为,方中于,等. 碳酸盐岩生物礁地震响应特征的数值模拟[J]. 河海大学学报:自然科学版,2012,40(3):345-349. (DAN Zhiwei,XIAO Wei,FANG Zhongyu,et al. Numerical simulation of seismic response characteristics of carbonate reef [J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences,2012,40(3):345-349. (in Chinese))

[3] 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. (XUE Gang,WANG Liangshu,HU Zhongping. Comparison between normal moveout (NMO) methods for long-offset seismic data [J]. Oil Geophysical Prospecting,2003,38(2):151-155. (in Chinese))

[4] CASTLE R. A theory of normal moveout [J]. Geophysics,1994,59(6):983-999.

[5] 罗省贤,李录明,陈春继. VTI 介质多波速度与各向异性系数求取及应用[J]. 物探化探计算技术,2005,27(3):214-218. (LUO Shengxian,LI Luming,CHEN Chunji. Analysis and application of multi-wave velocity and anisotropic coefficients in VTI media[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration,2005, 27(3):214-218. (in Chinese))

[6] 尤建军,常旭,刘伊克. VTI 介质长偏移距非双曲动校正公式优化[J]. 地球物理学报,2006,49(6):1770-1778. (YOU Jianjun,CHANG Xu,LIU Yike. Optimization of nonhyperbolic moveout correction equation of long-offset seismic data in VTI media[J]. Chinese Journal of Geophysics,2006,49(6):1770-1778. (in Chinese))

[7] TSVANKIN I, THOMSEN L. Nonhyperbolic reflection moveout in anisotropic media[J]. Geophysics,1994,59(8):1290-1304.

[8] ALKHALIFAH T, TSVANKIN I. Velocity analysis for transversely isotropic media[J]. Geophysic,1995, 60(5):1550-1566.

[9] ALKHALIFAH T. Velocity analysis using nonhyperbolic moveout in transversely isotropic media[J]. Geophysics,1997,62(6):1839-1854.

[10] 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. (ZHUANG Daochuan,ZENG Qingcai,ZHANG Yabin,et al. Processing method of the ultra large offset seismic data [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute,2003,25(2):11-14. (in Chinese))

[11] 尤建军,陈强,张超谟,等. 各向同性介质长偏移距地震同相轴动校正[J]. 地球物理学进展,2008,23(4):1173-1178. (YOU Jianjun,CHEN Qiang,ZHANG Chaomo,et al. NMO correction of long-spread seismic events in homogeneous and isotropic media[J]. Progress in Geophysics,2008,23(4):1173-1178. (in Chinese))

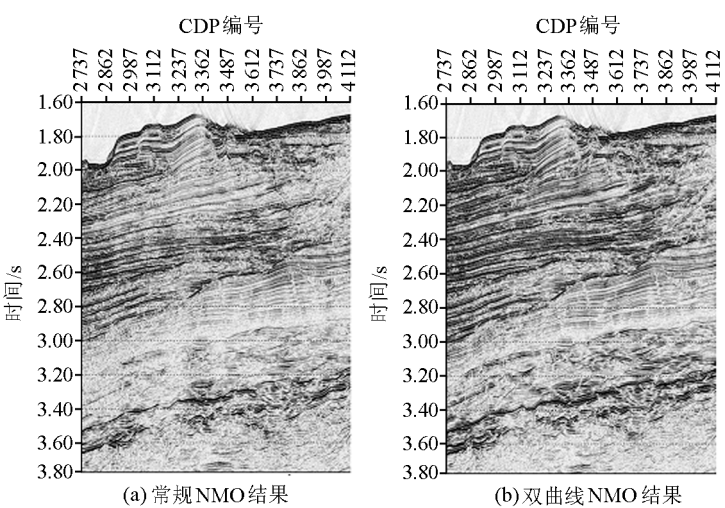


图 4 非双曲线 NMO 与常规 NMO 校正的叠加剖面对比

Fig. 4 Comparison of stack profiles of non-hyperbolic NMO method and conventional NMO method