

张旭东. 基于高密度速度分析的天然气水合物地震资料各向异性参数分析[J]. 华南地震, 2016, 36 (2): 1-5. [ZHANG Xudong. Anisotropy Parameters Analysis of Gas Hydrate Seismic Data Based on High Density Velocity Analysis[J]. South china journal of seismology, 2016, 36(2): 1-5.]

基于高密度速度分析的天然气水合物地震资料 各向异性参数分析

张旭东^{1, 2}

(1. 国土资源部海底矿产资源重点实验室广州海洋地质调查局, 广州 510075; 2. 广州海洋地质调查局, 广州 510760)

摘要: 在天然气水合物地震资料处理中, 经过基于双曲线的高密度速度分析后, 远炮检距数据仍然存在较大的剩余动校正量, 分析认为: 火成岩各向异性和垂向速度变化引起非双曲线时差, 利用近炮检距地震数据得到均方根动校正速度, 同时采用扫描法和旅行时法分别得到可以相互验证的各向异性参数, 用提取的各向异性参数进行各向异性速度分析, 剩余动校正得到消除, 成像效果有显著改善。

关键词: 各向异性; 天然气水合物; 高密度速度分析; 剩余时差

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2016) 02-0001-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.02.001

Anisotropy Parameters Analysis of Gas Hydrate Seismic Data Based on High Density Velocity Analysis

ZHANG Xudong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China; 2. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract: During gas hydrate seismic data processing, there are still large amount of residual moveout in far offset data after high density velocity analysis based on hyperbola. It is considered by analysis that nonhyperbolic time difference is caused by anisotropic of igneous rock and transformation of vertical velocity. The paper can get rms nmo velocity by near offset seismic data, and obtain anisotropic parameters from scanning method and traveling time method. Then the paper applies it into anisotropy velocity analysis. The remaining NMO is eliminated, and imaging results have been improved significantly.

Keywords: Anisotropy; Gas hydrate; High density velocity analysis; The remaining difference

收稿日期: 2015-07-15

基金项目: 国土资源部海底矿产资源重点实验室开放基金(GZH201200307 KLMMR-2013-A-28)

作者简介: 张旭东(1980-), 男, 高级工程师, 主要从事地质矿产找矿勘查与土工环境地质调查研究工作。

E-mail: zhangxd_911@126.com.

0 前言

常规的双曲时差速度分析是基于各向同性假设的。当偏移距较小时,这种假设引起的误差很小,但随着偏移距增大,误差也会相应增大。这就需要一种更精确的动校方法来解决,在常规速度分析的基础上进行剩余时差分析获得各向异性参数,然后进行相应的非双曲时差校正,可以较好地解决这个问题。

Thomsen^[1-2]提出了具有明确物理意义的各向异性参数 ε 、 γ 、 δ ,使得各向异性研究进入了地震成像的研究领域。在各向异性地区采集的数据仅仅用各向同性速度场进行处理,会产生成像位置误差^[3-4],因此考虑各向异性影响就变得非常重要。人们发表了许多从地震资料中提取各向异性参数的文章,Alkhalifah T^[5]、Tsvankin I 分别利用纵波非双曲线时差进行各向异性速度分析;Grechka V^[6-7]、Le Stunff Y^[8]则给出了用旅行时反演得到各向异性参数的方法;Grechka V^[9]、Theophan S 给出了结合纵波与转换波得到各向异性参数的方法。

1 理论基础

1.1 Thomsen 各向异性参数

Thomsen 在分析 VTI 介质时^[2],给出了 Thomsen 参数与弹性矩阵系数的关系:

$$\begin{cases} \nu_{p0} = \sqrt{\frac{c_{33}}{\rho}} \\ \nu_{s0} = \sqrt{\frac{c_{55}}{\rho}} \\ \varepsilon = \frac{c_{11} - c_{33}}{2c_{33}} \\ \gamma = \frac{c_{66} - c_{55}}{2c_{55}} \\ \delta = \frac{(c_{13} + c_{55})^2 - (c_{33} - c_{55})^2}{2c_{33}(c_{33} - c_{55})} \end{cases} \quad (1)$$

式中 ρ 为介质密度, ν_{p0} 、 ν_{s0} 分别为 P 波和 S 波垂直方向传播速度。 ε 、 γ 、 δ 均为与介质各向异性有关的 Thomsen 系数^[10-11]。

1.2 VTI 介质时距曲线公式

在单层 VTI 介质中,当炮检距小于地质体埋深时,时距曲线可以近似为双曲线^[12-13],如式(2):

$$t_h^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{\nu_{nm0}^2} \quad (2)$$

式(2)中 t_h 为任意偏移距的双程旅行时, t_0 为自激自收双程旅行时, x 为偏移距, ν_{nm0} 为动校正速度。Alkhalifah 等引入了各向异性参数 η ,将单层水平 VTI 介质中双曲时距曲线公式改造为非双曲的时距曲线公式^[14-15]:

$$t(x)^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{\nu_{nm0}^2} - \frac{2\eta x^4}{\nu_{nm0}^2 [t_0^2 \nu_{nm0}^2 + (1+2\eta)x^2]} \quad (3)$$

式(3)中 P 波远炮检距时差由垂直旅行时 t_0 、动校正速度 ν_{nm0} 、各向异性参数 η 决定。在多层 VTI 介质中不仅需要考虑到各层各向异性对时差曲线的影响,而且要考虑垂向速度变化对时差曲线的影响^[16],以 η_{eff} 代替 η 得到:

$$t(x)^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{\nu_{nm0}^2} - \frac{2\eta_{eff}(t_0)x^4}{\nu_{nm0}^2 [t_0^2 \nu_{nm0}^2 + (1+2\eta_{eff}(t_0))x^2]} \quad (4)$$

其中,

$$\eta_{eff}(t_0) = \frac{1}{8} \left\{ \frac{1}{t_0^4 \nu_{nm0}^4(t_0)} \int_0^{t_0} \nu_{nm0}(\tau) (1+8\eta(\tau)d\tau - 1) \right\} \quad (5)$$

$\eta(\tau)$ 为层状 VTI 介质各层的各向异性参数 η 的瞬时值,它是垂直反射时间的函数。

2 各向异性参数的提取

从各向同性动校正后的 CDP 道集(见图 1)可以看出,在 1~1.3 s 附近,只有近炮检距数据完全被校平,而远炮检距数据则存在较大的剩余动校正量。考虑本区地层倾角、方位角、速度变化不是造成此影响根本原因,认为造成远炮检距存在剩余动校正量的原因是火成岩的各向异性^[17-18]。

2.1 扫描法

拾取近炮检距的均方根速度场作为动校正速度,火成岩的顶、底部的均方根速度分别为 2 480、2 560 m/s,火成岩的顶、底部零炮检距双程旅行时分别为 1 027、1 088 ms,进行火成岩顶、底部各向异性参数 η_{eff} 、 η_{effb} 扫描(见图 2),最后确定 $\eta_{eff}=0.11$, $\eta_{effb}=0.082$ 。火成岩顶部的 η_{eff} 是由于火成岩上覆地层速度变化引起,火成岩底部 η_{effb} 是火成岩本身的各向异性及火成岩上覆地层速度变化引起^[19]。

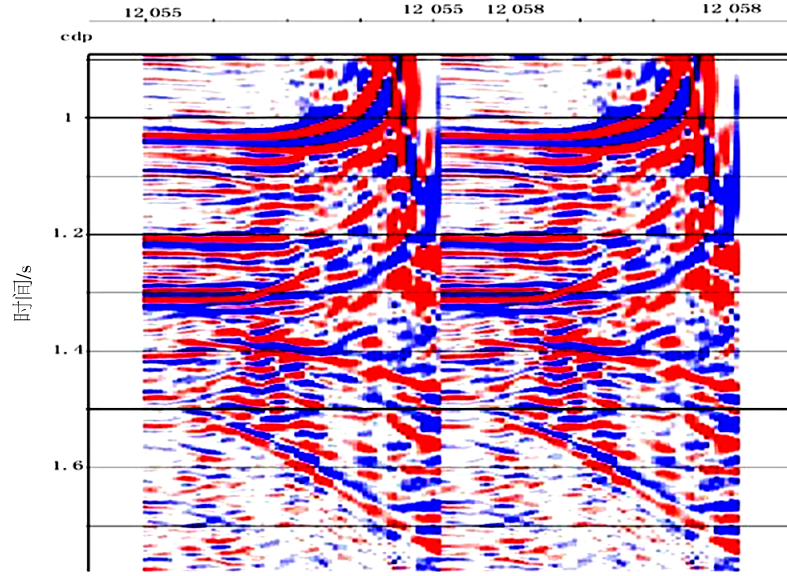


图1 各向同性动校正后道集

Fig.1 Gathers after isotropic nmo

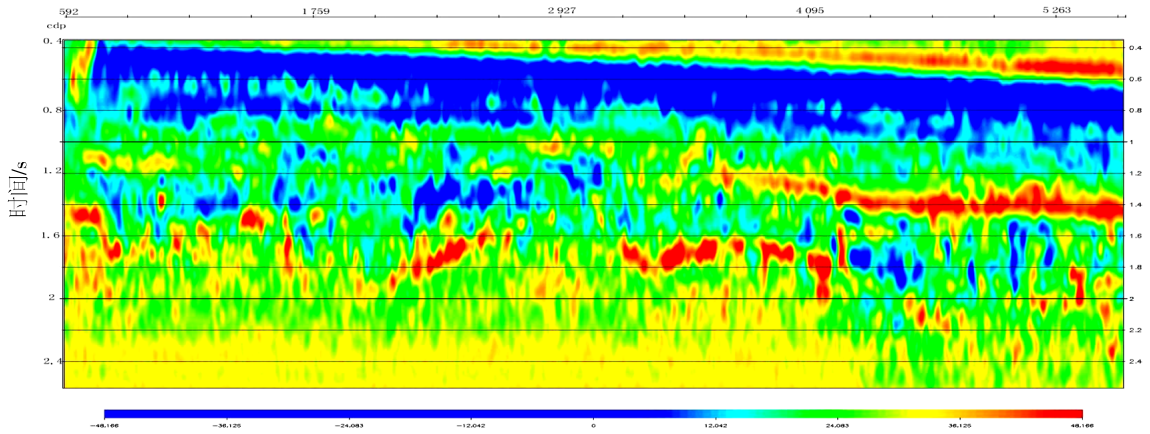


图2 高密度速度分析后的各向异性场

Fig.2 Anisotropy field after high density velocity analysis

2.2 旅行时差法

将式(2)与式(4)相减,得到:

$$\Delta t^2 = t_h^2 - t^2 = \frac{2\eta_{eff} x^4}{\nu_{nm0}^2 [t_0^2 \nu_{nm0}^2 + (1+2\eta_{eff})x^2]} \quad (6)$$

则可得旅行时差法 η_{eff} 提取公式:

$$\eta_{eff} = \frac{\Delta t^2 \nu_{nm0}^2 (t^2 \nu_{nm0}^2 + x^4)}{2x^2 (x^2 - \Delta t^2 \nu_{nm0}^2)} \quad (7)$$

式(6)、(7)中 x 为炮检距,当炮检距越大,其动校正拉伸效应也越严重,旅行时拾取精度受影响也越严重^[20]。求取式(7)中 Δt^2 方法就是 $\Delta t^2 = t_0^2 - t_{cor}^2$, t_{cor} 为各向同性动校正后的旅行时,如果时差曲线

为双曲线,则 $t_0 = t_{cor}$ 。应用所求得动校正速度对 CDP 道集进行各向同性动校正,在各向同性动校正后的道集上分别拾取火成岩顶、底部水平反射层旅行时 t_{cor} ,而火成岩顶、底部零炮检距双程旅行时 t_0 分别为 2 988 ms, 2 996 ms,从而得到 Δt^2 ,带入式(7),得到火成岩顶、底部各向异性参数,再对不同炮检距各向异性参数求平均得到 η_{eff} 、 η_{effb} 分别为 0.086 和 0.15,火成岩顶部平均各向异性参数与扫描法基本吻合,说明近炮检距均方根速度场与火成岩顶部旅行时拾取都比较精确,而火成岩底部平均各向异性参数与扫描法有一定差别,分析后认为在炮检距大于 4 000 m 时,由于动校正

拉伸及信噪比降低,火成岩底部旅行时拾取精度较差,若只将近炮检距高信噪比范围内各向异性参数取平均,则 $\eta_{eff}=0.112$,这样与扫描法得到结果就基本一致。

3 各向异性参数的应用

将所求得各向异性参数应用在速度分析和成像当中,图3是考虑各向异性动校正后的道集,可以看到图1中存在剩余动校正量的远炮检距被拉平。图4是考虑各向异性前后的叠前时间偏移

剖面,可以看到经过各向异性动校正后,由于考虑了剩余动校正量,成像质量改善明显。

4 结语

通过各向同性速度分析,明确存在各向异性现象及原因。分别采用扫描法和旅行时法得到各向异性参数,采用考虑各向异性参数的非双曲时差校正方法进行了速度分析。采用各向异性动校正后的道集消除了剩余动校正量,成果剖面效果改善明显。

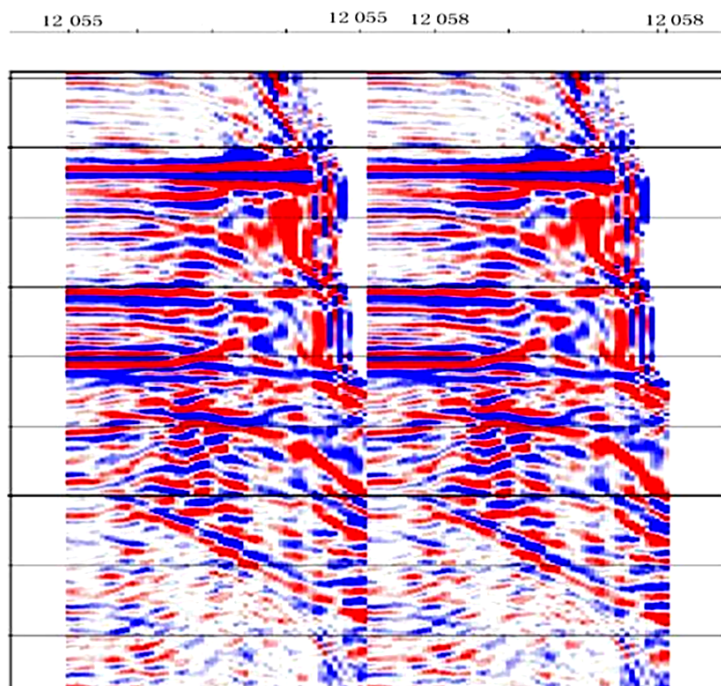


图3 各向异性动校正后道集

Fig.3 Gathers after anisotropic nmo

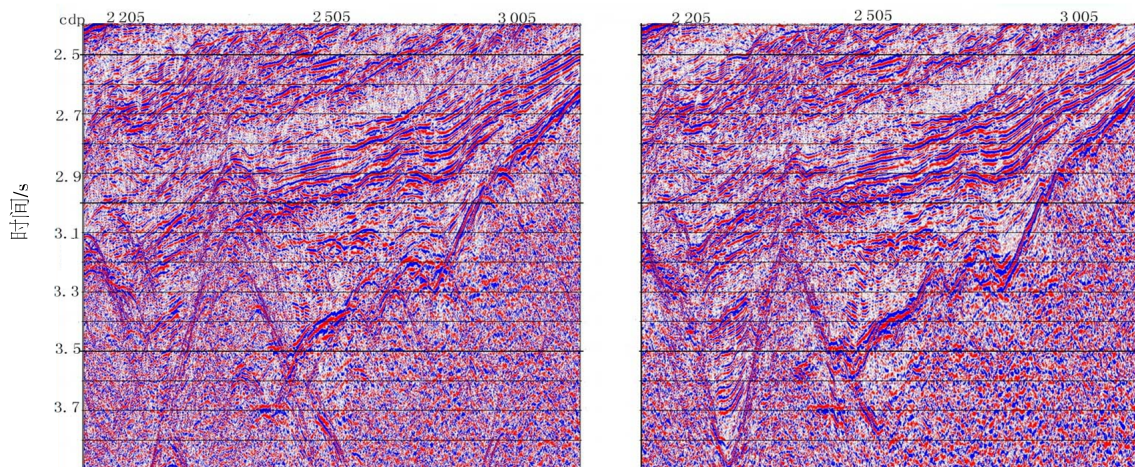


图4 各向同性速度分析(左)和各向异性速度分析(右)叠前时间偏移剖面

Fig.4 PSTM section of isotropic velocity analysis (left) and anisotropic velocity analysis (right)

参考文献:

- [1] Thomsen L. Understanding seismic anisotropy in exploration and exploitation [M]. USA: Society of Exploration Geophysicists, 2002.
- [2] Thomsen L. Weak elastic anisotropy[J]. Geophysics, 1986 (51): 1 954-1 966.
- [3] Wright J. The effects of transverse isotropy on reflection amplitude versus offset [J]. Geophysics, 1987 (52): 566-567.
- [4] Lamer K. Dip-move error in transversely isotropic media with linear velocity variation in depth [J]. Geophysics, 1993 (58): 1 442-1 453.
- [5] Alkhalifah T, Tsvankin I. Velocity analysis in transversely isotropic media [J]. Geophysics, 1995 (60): 1 550-1 552.
- [6] Grechka V, Tsvankin I. Feasibility of nonhyperbolic move-out inversion in transversely isotropic media [J]. Geophysics, 1998 (63): 957-960.
- [7] Grechka V, Pech A, Tsvankin I, et al. Velocity analysis for tilted transversely isotropic media: a physical modelling example [J]. Geophysics, 2001 (66): 904-905.
- [8] Le Stunff Y, Grechka V, Tsvankin I. Depthdominant velocity analysis in VTI media using surface P-wave data, is it feasible [J]. Geophysics, 2001 (66): 897-899.
- [9] Grechka V, Theophan S, Tsvankin I. Joint inversion of P and PS waves in orthorhombic media [J]. Geophysics, 1994 (64): 146-148.
- [10] 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.
- [11] 何樵登, 张中杰. 横向各向同性介质中地震波及其数值模拟 [M]. 长春: 吉林大学出版社, 1996.
- [12] 万志超, 腾吉文, 张秉明. 各向异性介质中地震波速度分析的研究现状 [J]. 石油地球物理进展, 1997 (12): 35-44.
- [13] 罗小明, 凌云, 牛滨华, 等. 井地联合提取 VTI 介质各向异性参数 [J]. 地学前缘, 2005, 12 (4): 576-579.
- [14] 刘彦强, 董敏煜. 对从各向同性到各向异性带来的几个问题初探 [J]. 石油地球物理勘探, 1992, 27 (1): 30-43.
- [15] 张秉铭, 腾吉文, 万志超. 横向各向同性介质中地震波速度分析及其意义 [J]. 地球物理学进展, 1997, 12 (1): 53-60.
- [16] 王德利, 何樵登, 韩立国. 裂隙各向异性介质中的 NMO 速度 [J]. 地球物理学进展, 2007, 22 (6): 1 698-1 705.
- [17] 王光杰, 张中杰, 腾吉文. TI 介质双参数速度分析 [J]. 地球物理学进展, 2004, 19 (1): 113-118.
- [18] 卢明辉, 唐建侯, 杨慧珠, 等. 正交各向异性介质 P 波走时分析及 Thomsen 参数反演 [J]. 地球物理学报, 2005, 48 (5): 1 157-1 171.
- [19] 邓继新, 史谔, 刘瑞珣, 等. 泥岩、页岩声速各向异性及其影响因素分析 [J]. 地球物理学报, 2004, 47 (5): 862-868.
- [20] 刘彦, 陈贇, 王者顺. TI 介质各向异性速度多参数分析 [J]. 地球物理学进展, 2005, 20 (2): 540-544.