

文章编号:1673-5005(2007)06-0034-06

四参数速度分析法及其在垦 71 区 三维转换波处理中的应用

毕丽飞^{1,2}, 刘江平¹, 周永红³, 王延光², 王 慧², 石建新², 李向阳⁴

(1. 中国地质大学(武汉) 地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中石化 胜利油田物探院, 山东 东营 257001;
3. 中石化 胜利油田职工大学, 山东东营 257000; 4. 英国地质调查局, 英国爱丁堡 EH93LA)

摘要: 胜利油田垦 71 地区多分量地震数据采用微型机电系统(MEMS)数字检波器采集,受转换波的非对称路径和各向异性的影响,剖面中非双曲同相轴广泛存在。传统的速度分析法基于各向同性理论,动校正时无法把同相轴拉平。为了实现同相轴的同相叠加,利用不同偏移距的动校正信息估算不同的参数,提出了一种新的四参数速度分析法。四参数指转换波叠加速度 v_{co} 、垂直速度比 γ_0 、等效速度比 γ_{eff} 和转换波各向异性系数 χ_{eff} 。应用该方法对胜利油田垦 71 地区三维多波资料进行了处理。结果表明,该方法处理效果较好,且对该地区多分量资料的成像质量及 PP 波与 PS 波同相轴的相关性也有很大的改进。

关键词: 地震资料处理; 转换波; 四参数理论; 速度分析; 动校正信息; 参数估算

中图分类号: P 3 **文献标识码:** A

Four-parameter velocity analysis and its application to seismic data of Ken-71 area in Shengli Oilfield

BI Li-fei^{1,2}, LIU Jiang-ping¹, ZHOU Yong-hong³, WANG Yan-guang²,
WANG Hui², SHI Jian-xin², LI Xiang-yang⁴

(1. Institute of Geophysics Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
2. Geophysical Research Institute of Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257001, Shandong Province, China;
3. Staff University of Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257000, China;
4. British Geological Survey, Edinburgh EH93LA, UK)

Abstract: The multi-component seismic data were acquired by digital micro-electro-mechanical system (MEMS) sensors of Ken-71 area in Shengli Oilfield. Both the asymmetry ray path and the anisotropic effects result in the serious non-hyperbolic move-out effects in the converted-wave data. Conventional velocity analysis based on isotropic theory can no longer flatten the move-out. Four-parameter theory was used to evaluate these effects and process the data. These four parameters include the PS converted wave stacking velocity (v_{co}), the vertical velocity ratio (γ_0), the effective velocity ratio (γ_{eff}) and the anisotropy parameter (χ_{eff}). The method utilizes the move-out information at different offsets to estimate the different parameters, and ensures that the events are properly aligned for stacking. As a result, this four-parameter theory leads to an improvement in imaging quality and correlation between the P-waves and converted-waves.

Key words: seismic data processing; converted-wave; four-parameter theory; velocity analysis; move-out information; estimation of parameter

转换波勘探经过广大科技人员三十多年的研究与探索,在理论、方法及实际资料应用方面都取得了长足的发展,Helbig 等综述了转换波技术的发展过

程^[1-3]。然而,除了双曲近似之外,转换波处理仍没有公认的标准流程,这主要是传统的基于各向同性介质的波动传播理论不能很好地处理由于非对称射线路

收稿日期:2007-04-20

基金项目:国家自然科学基金项目(2003BA613A)

作者简介:毕丽飞(1976-),男(汉族),安徽怀宁人,工程师,博士研究生,主要从事油藏综合地球物理技术研究及地震资料处理工作。

径和对各向异性的敏感造成的非双曲动校正问题^[4-5]。“地下普遍存在各向异性”已越来越成为人们的共识。上覆地层中广泛存在的页岩和薄互层会产生具有垂直对称轴的极性各向异性(VTI,横向各向同性)^[5]。在多分量地震数据处理过程中,一个关键步骤是估算和消除VTI的影响。许多人已对此做过广泛的研究。笔者采用四参数理论^[6-7]对胜利油田垦71地区三维多分量地震数据进行分析与处理。

1 VTI介质的四参数理论

1.1 动校正常方程和速度分析

水平层状VTI介质中转换波动校正常方程^[6]为

$$t_c^2 = t_{c0}^2 + \frac{x^2}{v_{c2}^2} + \frac{A_4 x^4}{1 + A_5 x^2}, \quad (1)$$

其中

$$A_4 = -\frac{(\gamma_0 \gamma_{\text{eff}} - 1)^2 + 8(1 + \gamma_0) \chi_{\text{eff}}}{4 t_{c0}^2 v_{c2}^2 \gamma_0 (1 + \gamma_{\text{eff}})^2},$$

$$A_5 = \frac{A_4 v_{c2}^2 (1 + \gamma_0) \gamma_{\text{eff}} [(\gamma_0 - 1) \gamma_{\text{eff}}^2 + 2 \chi_{\text{eff}}]}{(\gamma_0 - 1) \gamma_{\text{eff}}^2 (1 - \gamma_0 \gamma_{\text{eff}}) - 2(1 + \gamma_0) \gamma_{\text{eff}} \chi_{\text{eff}}}.$$

式中, t_c 为转换波双程时间; t_{c0} 为垂向双程时间; v_{c2} 为转换波叠加速度; γ_0 和 γ_{eff} 分别为垂直和等效速度比; χ_{eff} 为转换波各向异性系数。方程(1)在偏移距和深度比为2时计算较准确^[6],并控制着转换波的叠加处理。 v_{c2} , γ_0 , γ_{eff} 和 χ_{eff} 被称为转换波的叠加速度参数。

1.2 散射方程和叠前时间偏移

在VTI介质中,单点转换波散射可表示为^[3,7]

$$t_c = \sqrt{\left(\frac{t_{c0}}{1 + \gamma_0}\right)^2 + \frac{(x+h)^2}{v_{p2}^2}} - 2\eta_{\text{eff}} \Delta t_p^2 + \sqrt{\left(\frac{\gamma_0 t_{c0}}{1 + \gamma_0}\right)^2 + \frac{(x-h)^2}{v_{s2}^2}} + 2\zeta_{\text{eff}} \Delta t_s^2, \quad (2)$$

其中

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{1}{8 t_{p0}^4 v_{p2}^4} \left[\sum_{i=1}^n v_{p2i}^4 \Delta t_{p0i} (1 + 8\eta_i) - t_{p0}^4 v_{p2}^4 \right],$$

$$\zeta_{\text{eff}} = \frac{-1}{8 t_{s0}^4 v_{s2}^4} \left[\sum_{i=1}^n v_{s2i}^4 \Delta t_{s0i} (1 - 8\zeta_i) - t_{s0}^4 v_{s2}^4 \right],$$

$$\Delta t_p^2 = \frac{(x+h)^4}{v_{p2}^2 [t_{c0}^2 v_{p2}^2 / (1 + \gamma_0)^2 + (1 + 2\eta_{\text{eff}})(x+h)^2]},$$

$$\Delta t_s^2 = \frac{(x-h)^4}{v_{s2}^2 [t_{c0}^2 v_{s2}^2 \gamma_0^2 / (1 + \gamma_0)^2 + (x-h)^2]}.$$

式中, t_p 为纵波单程反射时间; t_s 为横波单程发射时间; 下标 i 为层间号; v_{p2} 和 v_{s2} 为垂向的纵波和横波速度; h 为半偏移距; η 为纵波各向异性参数; ζ 为横波各向异性参数^[3,8], $\zeta = \gamma_{\text{eff}}^2 \eta$ 。方程(2)在偏移距

与深度比达到2.5时计算都较准确^[6]。散射曲线(2)的5个参数(γ_0 , v_{p2} , v_{s2} , η_{eff} 和 ζ_{eff})控制着转换波叠前时间偏移(PSTM)过程。其中 v_{p2} , v_{s2} , η_{eff} 和 ζ_{eff} 被称为转换波叠前时间偏移速度参数。

1.3 关系方程

叠加和叠前时间速度参数间存在如下对应关系:

$$v_{p2}^2 = v_{c2}^2 \frac{\gamma_{\text{eff}} (1 + \gamma_0)}{1 + \gamma_{\text{eff}}}, \quad (3)$$

$$v_{s2}^2 = v_{c2}^2 \frac{(1 + \gamma_0)}{\gamma_0 (1 + \gamma_{\text{eff}})}, \quad (4)$$

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{\chi_{\text{eff}}}{(\gamma_0 - 1) \gamma_{\text{eff}}^2}, \quad (5)$$

$$\zeta_{\text{eff}} = \frac{\chi_{\text{eff}}}{\gamma_0 - 1}. \quad (6)$$

方程(4), (5)来自单层VTI介质,但是对于时间处理来说,它们是多介质的一个很好近似。如果叠加速度参数(v_{c2} , γ_0 , γ_{eff} 和 χ_{eff})已知,方程(3)~(6)可用来建立叠前时间偏移模型。 v_{c2} , γ_0 和 γ_{eff} 满足下方程:

$$\gamma_0 = \frac{v_{p0}}{v_{s0}}, \quad \gamma_{\text{eff}} = \frac{\gamma_0^2}{\gamma_0}, \quad \gamma_2 = \frac{v_{p2}^2}{v_{s2}^2},$$

$$v_{c2}^2 = \frac{1}{1 + \gamma_0} v_{p2}^2 + \frac{\gamma_0}{1 + \gamma_0} v_{s2}^2.$$

式中, γ_2 为纵横波叠加速度比。

2 叠加速度参数估算

首先,通过初始处理确定 γ_0 。转换波动校正对 γ_0 的变化不敏感^[6],因此 γ_0 不能从动校正分析中得到。 γ_0 的求取需要进行纵波和转换波叠加剖面对比分析。这通常需要使用双曲方法处理纵波和转换波数据获得两个叠加剖面, γ_0 从这两个剖面的对比中相关求得。图1为确定 γ_0 进行的纵波和转换波剖面的相关对比结果。通过对比,确定一些初始 γ_0 (图1(b)),然后把转换波叠加剖面压缩到纵波时间,检查纵波和转换波剖面匹配情况。若匹配不太好,修改 γ_0 ,直到实现了纵波和转换波剖面很好的匹配为止(图1(d))。

一旦 γ_0 被确定, v_{c2} , γ_{eff} 和 χ_{eff} 均可通过交互分析从转换波动校正信号中获取^[3,9]。这是因为每一个参数都控制一个特有的偏移距区段,该区段动校正特征主要受如下因素影响: v_{c2} 在近偏移距 ($x/z < 1.0$) 控制着双曲动校正; γ_{eff} 在中偏移距 ($x/z < 1.5$) 控制着因非对称射线路径造成的非双曲动校正; χ_{eff} 在远偏移距 ($x/z < 2.0$) 控制着各向异性动校正^[6-7]。

因此,通过校正近、中和远偏移距道数据来确定 v_{c2} , γ_{eff} 和 χ_{eff} 。估算叠加速度参数的流程如图 2 所示。

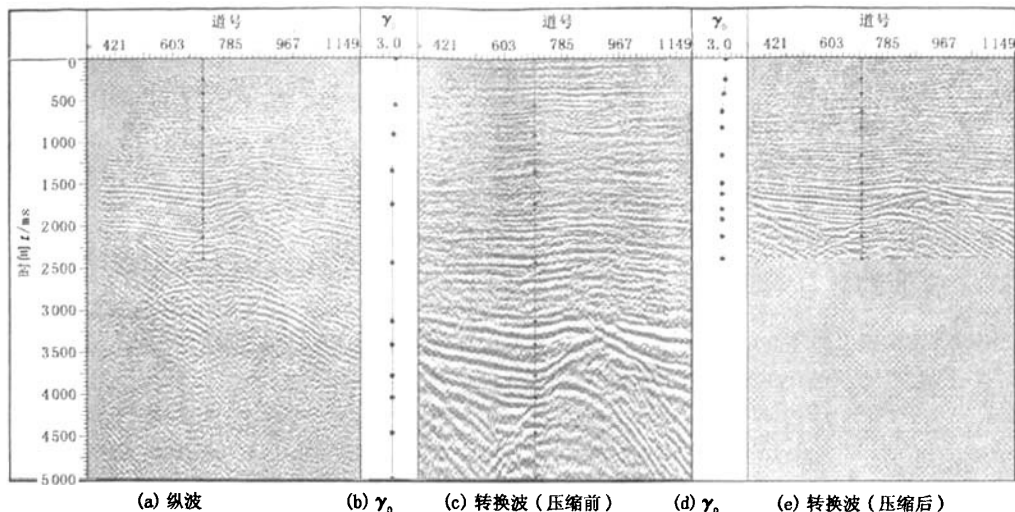


图 1 纵波、转换波叠加剖面 and 估算的 γ_0

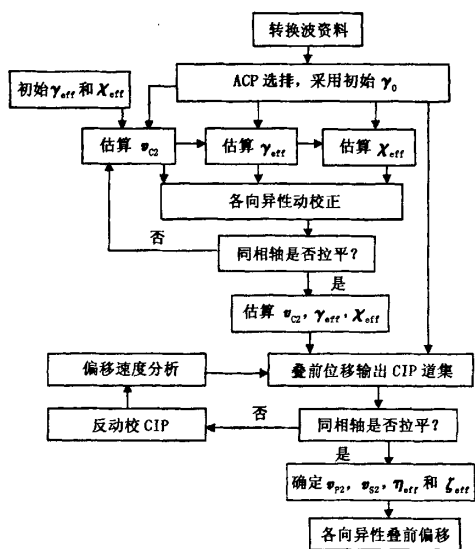


图 2 确定叠加、偏移速度参数流程

3 偏移速度参数确定

叠加速度参数确定后,可利用方程(3)~(6)来求取初始偏移速度参数(v_{p2} , v_{s2} , η_{eff} 和 ζ_{eff})^[7,10],再用这些初始参数进行第一次叠前偏移,获取共成像点(CIP)道集,然后通过分析 CIP 道集中的剩余时差更新参数^[11]。此时输入的是 CIP 道集而不是 ACP 道集,更新的参数主要是 v_{c2} 与 χ_{eff} 。这个过程如图 3 所示。首先进行交互速度分析,在 ACP (asymptotic converted point, 渐近转换点) 道集中确立

叠加速度模型参数 v_{c2} , γ_{eff} 与 χ_{eff} (图 3(a)),图 1 中的对比分析得到 γ_0 ;第 1 次叠前时间偏移得到的 CIP 道集(图 3(b))若同相轴不平,可以更新 v_{c2} 和 χ_{eff} ,直到同相轴拉平为止(图 3(c))。这一过程须进行 1 次动校正和 2 次叠前时间偏移。确定偏移速度参数流程如图 2 所示。

4 垦 71 区三维多波资料应用效果

4.1 叠加速度分析

开发的基于四参数理论的实用交互速度分析工具可用于多参数交互解释。图 4 是利用该工具解释胜利油田垦 71 区块的多分量地震资料的结果。由图看出,利用该方法可以进行精细的速度分析,实现精确的动校正和叠加。

4.2 偏移速度分析

图 5 是偏移速度分析图。偏移速度参数迭代的输入数据是用 PSTM 产生的 CIP 道集交互解释的结果。偏移速度分析所用工具与叠加速度分析的工具相同,只是输入道集不同,偏移速度分析使 CIP 道集中的同相轴拉平,这样就获得了正确的偏移速度模型。

4.3 处理结果

图 6 为垦 71 井区某剖面段 PP 波与 PS 波的最终处理结果。两种剖面中区域标准反射层都能清楚地显示,而且具有较高的相关性。由图看出,偏移后转换波剖面的信噪比明显提高,而且断层也很清晰。

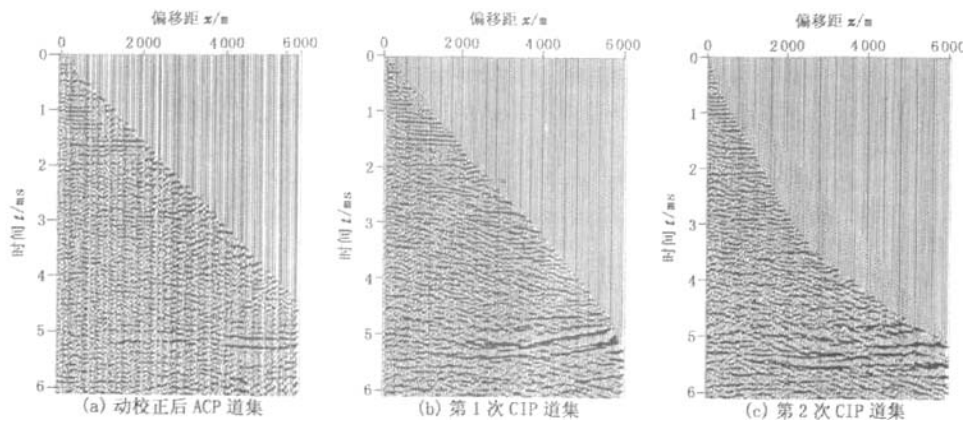


图 3 利用 CIP 道集建立偏移速度模型

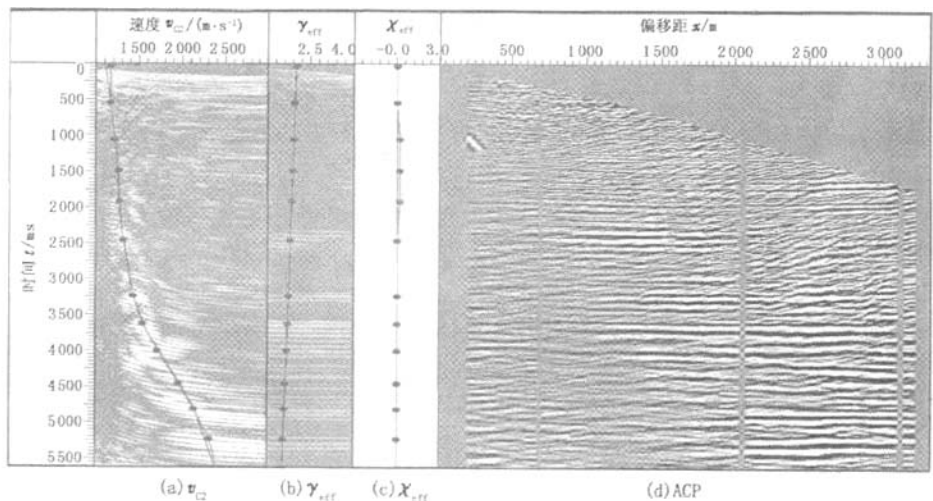


图 4 叠加速度分析

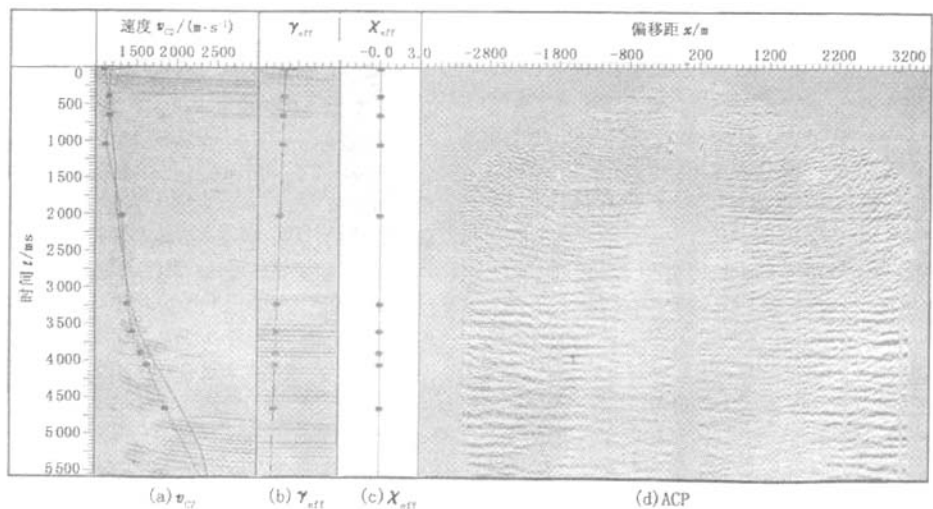


图 5 偏移速度分析

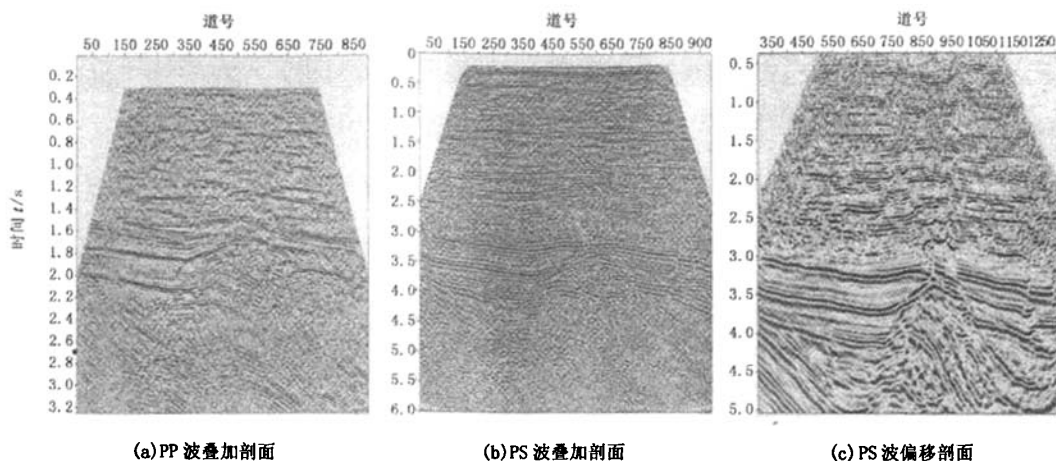


图 6 最终处理结果

5 结束语

用四参数速度分析理论对垦 71 多分量资料进行了处理。对于中远炮检距,这个新理论借助于 4 个可测量的动校时差参数(叠加速度参数) V_{c2} , γ_0 , γ_{eff} 和 χ_{eff} 及 4 个介质参数(叠前时间偏移速度参数) V_{P2} , V_{S2} , η_{eff} 和 ζ_{eff} 准确地描述了纵波和转换波在 VTI 介质中的运动学特征。这 4 个动校时差参数可从反射波动校时差分析中得到,并可用来建立叠前时间偏移所需的各向异性速度参数。利用四参数理论,各向异性介质中转换波非双曲时差可以得到很好地补偿。垦 71 地区多分量资料的成像质量及 PP 波与 PS 波同相轴的相关性很好地证明了这一点。

参考文献:

- [1] HELBIG K, THOMSEN L. 75-plus years of anisotropy in exploration and reservoir seismics: a historical review of concepts and methods[J]. *Geophysics*, 2005, 70: 9-23.
- [2] 杜启振, 杨慧珠. 方位各向异性介质的裂缝预测方法研究[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2003, 27(4): 32-36.
DU Qi-zhen, YANG Hui-zhu. Detection method for fractures in azimuthally anisotropic media[J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2003, 27(4): 32-36.
- [3] STEWART R R, GAISER J E, BROWN R J, et al. Converted-wave seismic exploration: methods[J]. *Geophysics*, 2002, 67: 1345-1363.
- [4] 张永刚, 王赞, 王妙月. 目前多分量地震勘探中的几个关键问题[J]. *地球物理学报*, 2004, 47(1): 151-155.
ZHANG Yong-gang, WANG Zan, WANG Miao-yue. Some key problems in the multi-component seismic exploration[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2004, 47(1): 151-155.
- [5] 石建新, 王延光, 毕丽飞, 等. 多分量地震资料处理解释技术研究[J]. *地球物理学进展*, 2006, 21(2): 505-511.
SHI Jian-xin, WANG Yan-guang, BI Li-fei, et al. The process-interpretation technique of multi-component seismic data[J]. *Progress in Geophysics*, 2006, 21(2): 505-511.
- [6] 裴正林. 三维各向异性介质中弹性波方程交错网格高阶有限差分法数值模拟[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2004, 28(5): 23-29.
PEI Zheng-lin. Three-dimensional numerical simulation of elastic wave propagation in 3-D anisotropic media with staggered-grid high-order difference method[J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2004, 28(5): 23-29.
- [7] LI X Y, YUAN J. Converted-wave moveout and conversion-point equations in layered VTI media: theory and application[J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2003, 54: 297-318.
- [8] YUAN J. Analysis of four-component sea-floor seismic data for seismic anisotropy[D]. Edinburgh: University of Edinburgh, 2001.
- [9] 杜启振, 董渊, 杨慧珠. HTI 介质横波正常时差速度反演[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2002, 26(2): 26-30.
DU Qi-zhen, DONG Yuan, YANG Hui-zhu. Estimation of normal moveout velocity of S-wave in horizontal transverse isotropic (HTI) media[J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2002, 26(2): 26-30.

- [10] 毕丽飞,李振春,王延光,等. 转换波处理中共转换点的定位[J]. 勘探地球物理进展,2005,28(5):353-356.
BI Li-fei, LI Zhen-chun, WANG Yan-guang, et al. Positioning of common converted point in the processing of converted-wave data[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2005,28(5):353-356.
- [11] DAI H, LI X. Anisotropic migration and model building for 4-C seismic data: a case study from Alba[C]//Soc Expl Geophys 71st Ann Int Mtg, c2001:795-798.
(编辑 修荣荣)
-
- (上接第33页)
- [18] IPEREN V J, HELDER W A. Method for the determination of organic carbon in calcareous marine sediments [J]. Marine Geology, 1985,64(4):179-187.
- [19] MORSE J W, LUTHER G W. Chemical influences on trace metalsulfide interactions in anoxic sediments [J]. Geochemica et Cosmochemica Acta, 1999,62(19):3373-3378.
- [20] 刘福寿,王揆洋. 胶州湾沿岸河流及其地质作用 [J]. 海洋科学,1992(1):25-28.
LIU Fu-shou, WANG Kui-yang. The geologic function and rivers of the coast near the Jiaozhou Bay [J]. Marine Science, 1992(1):25-28.
- [21] 于雯泉. 胶州湾李村河口区沉积物有机碳、酸可挥发硫化物及重金属的环境响应[D]. 青岛:中国科学院海洋研究所,2006.
- [22] 李学刚,宋金明,李宁,等. 胶州湾沉积物中氮与磷的来源及其生物地球化学特征[J]. 海洋与湖沼,2005,36(6):562-571.
LI Xue-gang, SONG Jin-ming, LI Ning, et al. Source and biogeochemical characteristics of nitrogen and phosphorus in Jiaozhou Bay sediments [J]. Oceanology and Limnolgy Sinica, 2005,36(6):562-571.
- [23] 李广玉,叶思源,高宗军,等. 胶州湾底层水营养盐的分布特征及有机污染状况分析[J]. 世界地质,2005,24(2):194-199.
LI Guang-yu, YE Si-yuan, GAO Zong-jun, et al. Nutrient distributional characteristics and organic pollution analysis in bottom water in Jiaozhou Bay [J]. World Geology, 2005,24(2):194-199.
- [24] HOWARD D E, EVANS R D. Acid-volatile sulfide(AVS) in a seasonally anoxic mesotrophic lake: seasonal and spatial change in sediment AVS [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1993,12(6):1051-1057.
- [25] JEROEN W M, JACK J M, PETER M J, et al. Sulfur and iron speciation in surface sediments along the north-western margin of the Black Sea[J]. Marine Chemistry, 2001,74(4):261-278.
- [26] MIDDELBURG J J. Organic carbon, sulphur, and iron in recent semi-euxinic sediments of Kau Bay, Indonesia [J]. Geochemica et Cosmochemica Acta, 1991,55(3):815-828.
- [27] MACKEY A P, MACKAY S. Spatial distribution of acid-volatile sulphide concentration and metal bioavailability in mangrove sediments from the Brisbane River, Australia [J]. Environmental Pollution, 1996,93(2):205-209.
- [28] 贾振邦,梁涛,林健枝,等. 酸可挥发硫对香港河流沉积物中重金属的毒性作用[J]. 北京大学学报:自然科学版,1998,34(2/3):379-385.
JIA Zhen-bang, LIANG Tao, LIN Jian-zhi, et al. The role of acid-volatile sulfide for Toxicity of heavy metals in sediment of rivers in Hong Kong [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 1998,34(2/3):379-385.
- [29] MEYEM P A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter [J]. Chemical Geology, 1994,144(3/4):289-302.
(编辑 刘艳荣)