

深水地震资料速度分析方法与应用

刘金朋^{1,2}, 刘明珠¹, 赵明¹, 李添才¹, 侯志平¹, 吴耀乐¹

(1 中海油能源发展工程技术物探技术研究所, 广东湛江 524057;

2 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 武汉 430074)

摘要:深水地震资料受水深、海况、地貌、地质情况以及采集等因素的影响,速度分析同时也受各向异性、水深变化、噪音干扰严重、照明分布不均等特征的影响,因此,常规速度分析方法不能满足深水地震资料速度分析的需要。针对这些问题,采取运用高密各向异性双谱速度的分析方法拾取高密度速度和各向异性参数。该方法应用于南海多个深水地震资料速度分析,取得了良好的应用效果。

关键词:深水;速度分析;各向异性;双谱分析

中图分类号:P631.443;P315.63

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.03010

近年来,深水区因不断发现大油气田和蕴含的巨大潜力成为全球勘探的重要战场;然而复杂的地质情况、高昂的勘探成本使深水区勘探充满机遇与风险。地震资料作为深水勘探最重要、最具优势的资料依然面临着中深层成像品质较差、多次波干扰严重、构造畸变等问题^[1],准确的速度分析是解决这些问题的关键技术之一,但深水速度分析本身也面临亟待解决的问题。

速度分析是贯穿深水地震资料处理、解释全过程的关键技术,直接影响着地震成像资料和 AVO 分析的质量。因长电缆采集引起的各向异性、崎岖海底引起的速度横向变化、地质情况复杂引起的拾取不准等一系列问题制约着深水速度分析的准确性。本文从深水地震资料速度特征出发,总结深水速度分析的难点、比较各种速度分析方法的优劣、运用高密各向异性双谱速度分析方法,完成了南海某深水地震资料速度分析工区,取得了良好的应用效果。

1 深水速度特征与速度分析难点

深水地震资料受水深、海况、地貌、地质情况以及采集等因素的影响,速度特征与浅水资料相比差别显著^[2]。深水地震资料主要有各向异性明显、速度变化敏感、噪音干扰严重、照明分布不均等特征,尤其受各向异性、敏感性的影响,常规分析方法存在困难。

1.1 长电缆各向异性

深水资料通常采用长电缆采集,当电缆长度 >3 km 或最大偏移距与探测深度比值超过 1 时,地震资料各向异性特征明显(图 1),地震波走时曲线为非双曲线形态。常规的动校正方法是基于水平层状介质的二阶动校正方法,无法将各向异性特征明显的深水地震资料同相轴校平,影响偏移成像^[3,4]、叠加成像效果和 AVO 分析资料质量。

1.2 速度敏感

深水地震资料海底崎岖、地质情况复杂多变,但垂向变化小,通常海底下 1 s 内的速度变化不过 500 m/s,甚至整个采集长度内的变化不过

收稿日期:2014-08-06

基金项目:国家重大科技专项子专题“莺琼盆地高温高压区高精度地震资料采集处理技术”(2011ZX05000023004001)

作者简介:刘金朋(1983—),男,在读硕士,工程师,主要从事地震资料处理方法的研究与应用工作。E-mail:261954451@qq.com

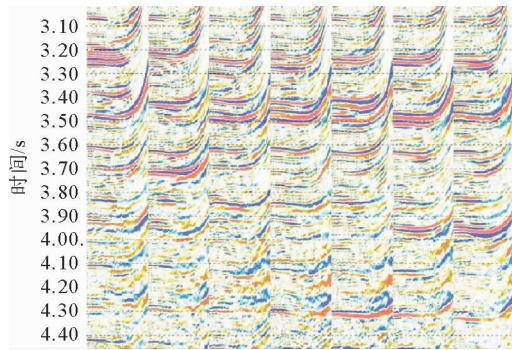


图 1 深水地震资料各向异性明显

Fig. 1 Significant anisotropy in deepwater seismic data

1 000 m/s;然而垂向速度变化小并不意味着速度不敏感,十几米每秒的变化会使得同相轴形态严重变形。如图 2 所示,在 5 000 ms 深度处,速度仅仅以 17 m/s 变化,道集校正效果差异明显。

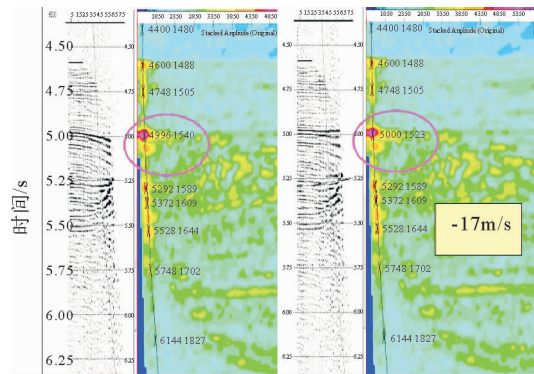


图 2 深水地震资料速度敏感

Fig. 2 Sensitive speed changes in deepwater seismic data

1.3 噪音干扰严重

深水地震资料噪音独特,这些噪音的衰减程度直接影响着道集质量和速度分析精度。深水区往往海底崎岖,侧面干扰严重(图3);部分基地较

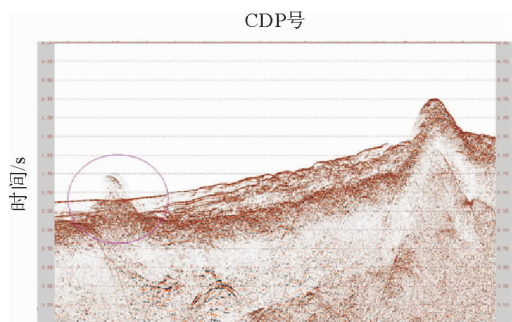


图 3 深水地震资料侧面反射严重

Fig. 3 Serious side reflection in deepwater seismic data

浅区域,绕射波干扰严重;外源干扰从上至下,尤其对中深层影响较大;这些噪音均为顽固噪音,衰减难度大,衰减效果不够理想;深水地震资料速度分析受噪音影响,分析难度增大(图 3)。

1.4 照明不均匀

长电缆采集地震资料,通常因洋流、波浪等原因使得长电缆羽角大(图 4),后部反射点不在炮线上,有的反射点偏离测线达 2 km,因此实际覆盖次数与理论设计的覆盖次数相差很远;海底崎岖,地震波速度横向变化剧烈,地震波传播路径更加复杂,部分位置很难接收到有效反射,照明不均匀(图 5)。在使用覆盖不均匀的道集做速度分析中增加了速度分析误差(图 4、5)。

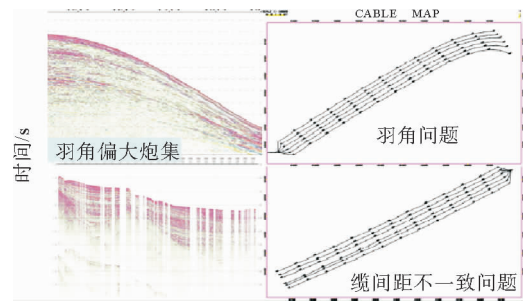


图 4 深水地震资料羽角较大

Fig. 4 Large feather angle in deepwater seismic data

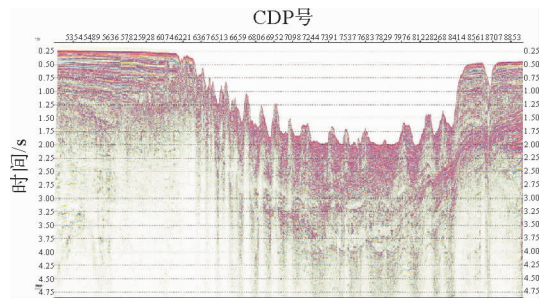


图 5 海底崎岖加重了照明不均

Fig. 5 Uneven lighting caused by rugged seabed

2 深水速度分析方法

2.1 常规速度分析方法及缺点

常规速度分析建立在近偏移距各向同性水平层状介质假设之上,双程旅行时方程为:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V_{\text{NMO}}^2} \quad (1)$$

式中: t 为双程旅行时间, s;

t_0 为零偏移距的双程旅行时, s;

V_{NMO} 为 NMO 速度, m/s;

x 为偏移距, m。

由文中深水地震资料特征分析可知, 常规速度分析方法已不符合深水地震资料特征。

深水地震资料强烈的各向异性特征要求速度分析必须应用非双程时差分析解决各向异性问题^[5,6]; 深水勘探资料的稀缺性要求地震资料高分辨率、高保真、高信噪比, 人工拾取的稀疏地震速度场不能满足深水勘探要求, 高密度连续速度分析成为深水速度分析的趋势。

2.2 双谱速度分析原理

各向异性速度分析方法运用双参数分析, 常规速度参数和各向异性参数, 任意各向异性双曲线时差方程可表示为各向异性参数 η 和 NMO 速度 V_{NMO} 的函数^[3]:

$$t^2 = t_{p0}^2 + \frac{x^2}{V_{\text{NMO}}^2(0)} - \frac{2\eta x^4}{V_{\text{NMO}}^2(0)[t_{p0}^2 V_{\text{NMO}}^2(0) + (1+2\eta)x^2]} \quad (2)$$

式中: t_{p0} 为零偏移距的双程旅行时, s;

η 为各项异性参数, 无量纲;

其他参数物理意义同式(1)。

对于 VTI 介质, 根据速度、梯度、各向异性参数等 5 个参数之间的换算关系以及各向异性性的远偏移距效应, Dix 公式表示为速度 v 和各向异性参数 η 的函数, 即为 6 阶旅行时方程:

$$t(v, \eta) = \frac{8\eta}{1+8\eta} t_0 + \sqrt{\left(\frac{t_0}{1+8\eta}\right)^2 + \frac{x^2}{(1+8\eta)v^2}} \quad (3)$$

引入最大偏移距处剩余时差 d_m 和零偏移距走时 τ_0 , 旅行时可改写为

$$t = t_0 - \tau_0 + \sqrt{\tau_0^2 + \frac{d_m(d_m + 2\tau_0)}{X_{\text{max}}^2} X^2} \quad (4)$$

式中: t 为双程旅行时间, s;

t_0 为零偏移距的双程旅行时, s;

V_{NMO} 为 NMO 速度, m/s;

x 为偏移距, m;

η 为各项异性参数, 无量纲;

v 为速度, m/s;

d_m 为最大偏移距出剩余时差, s;

τ_0 为零偏移距走时, s。

该公式即为 Siliqi 和 Bousqui 推导的双谱分析公式^[7], 由公式可得, 各向异性效应在零偏移距时不受影响, 随着偏移距的增大, 各向异性效应增强, 最远偏移距时最强; 各向异性效应可用最大偏移距处剩余时差 d_m 和零偏移距走时 τ_0 表征, 这 2 个参数可以逐点扫描获得, 为各向异性高密双谱速度分析提供了基础(图 6)。

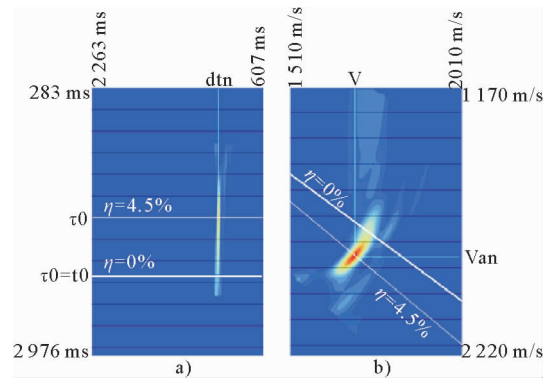


图 6 双谱参数与各向异性参数关系

Fig. 6 Relationship between anisotropic parameters and bispectrum parameters

2.3 各向异性双谱速度分析流程

基于上述原理, Siliqi^[8] 提出了各向异性双谱高密速度分析方法^[9-11], 运用至深水地震资料, 其流程为:

第 1 步, 拾取、估算 d_m 和 τ_0 。输入 CMP 道集数据或 CRP 道集数据以及初始速度场, 设定速度扫描范围和各向异性参数扫描范围, 对拾取的 d_m 和 τ_0 值分别进行分解, 分解成对应的低频分量(场的倾向)和高频分量(剩余量);

第 2 步, 对 d_m 和 τ_0 的高频分量分别进行基于地学统计法的滤波, 旨在消除一些高频分量的噪音和突变点, 增加连续性;

第 3 步, 将 d_m 和 τ_0 的低频分量和高频分量合并生成 d_m 和 τ_0 骨架;

第 4 步, 将 d_m 和 τ_0 转换为速度和各向异性参数;

第 5 步, 将速度和各向异性参数分别进行内插和外推, 从而得到高精度三维工区的速度和各

向异性参数值。

高密度速度分析进行逐点速度分析,拥有高密度和精度,解决了常规速度分析样点不足的问题;高密度速度分析考虑了各向异性问题,解决了深水长电缆道集校正问题,为各向异性偏移和精细叠加提供了精确的速度(图 6)。

3 深水速度分析应用

将该方法应用于多个南海深水地震资料速度分析,取得了较好的应用效果。以南海某区地震资料为例,该区跨越浅水、坡折带、深水等不同水深海域,最大偏移距达 6 000 m,各项异性明显,常规速度分析方法困难。

图 7 为常规速度分析速度场与双谱高密度速度

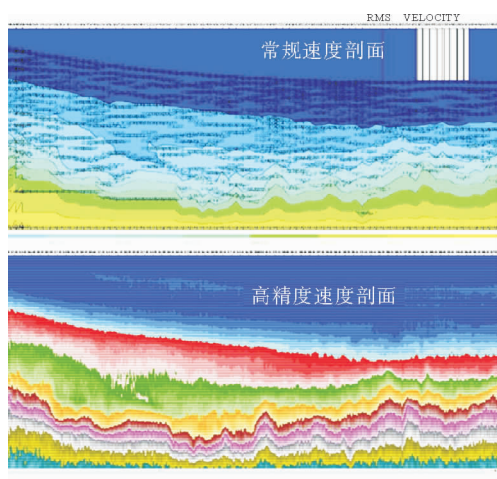


图 7 人工拾取速度场与高精度速度场比较

Fig. 7 Comparison of manual picked velocity field and the velocity field picked up by high-density bispectrum method

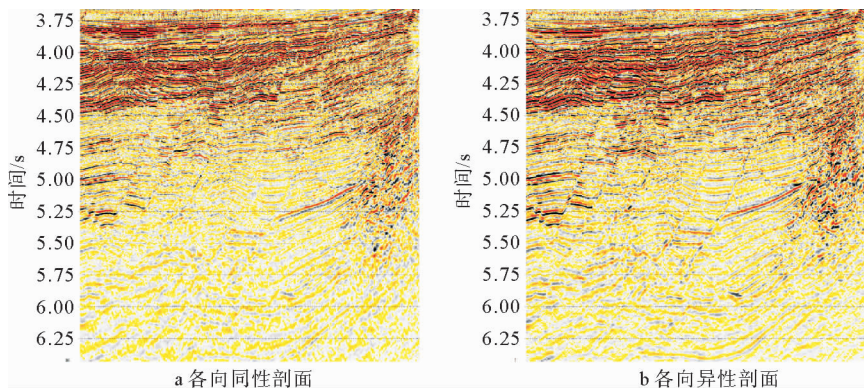


图 10 各向同性与各向异性偏移剖面对比

Fig. 10 Isotropic and anisotropic migration profiles

分析速度场。由图 7 看出,双谱高密速度场趋势更加合理,细节精确,分辨率更高。

常规动校正因各向异性影响,道集远偏移距处难以校平;高密双谱速度拾取动校正解决了各向异性问题,校平了同相轴,道集可用信息增加,为叠加、AVO 等工作提供了高质量道集(图 8、9)。

比较常规速度分析与双谱高密速度分析的叠加剖面,如图 10,叠加效果得到改善,反射波同相轴更清晰和连续,信噪比、分辨率有较明显的提高,提高深水复杂地质构造区的成像精度(图 9、10)。

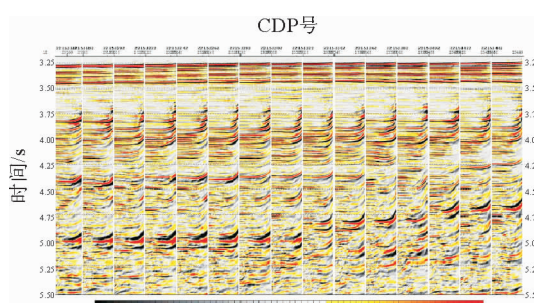


图 8 常规速度分析方法动校正道集

Fig. 8 Conventional velocity analysis method for dynamic correct gathers

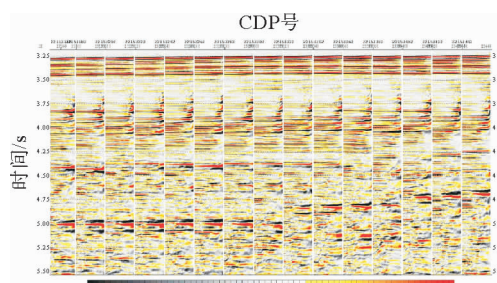


图 9 双谱高密方法动校正道集

Fig. 9 High-density bispectrum for dynamic correction of gathers

4 总结

深水地震资料速度分析受水深、海况、地貌、地质情况及采集因素的影响,表现出各向异性明显、速度变化敏感、噪音干扰严重、照明分布不均等特征,速度分析存在难度。

高密双谱速度分析技术拾取速度参数和各向异性参数,作为叠前偏移的各向异性场输入,实现各向异性偏移,提高了偏移质量,不但解决了深水地震资料各向异性严重问题,而且还解决了道集校平问题,增加了道集可用范围;高密速度、各向异性参数相比人工拾取,解决了样点不足的问题,提高了成像效果和低幅构造解释精度;该方法实现了自动拾取,提高效率,减少了人工解释误差。

高密双谱速度分析技术对道集资料要求较高,深水地震资料噪音残留容易引起分析误差甚至错误;初始速度场的精确程度影响着分析精度和效率;因此,初始道集、初始速度场、分析参数等影响着高密双谱速度分析技术的应用。

参考文献:

[1] 朱伟林. 南海北部深水油气勘探关键地质问题[J]. 地质学报, 2009, 83(8): 1 059-1 064.

- [2] 陈礼, 李列, 刘金朋, 等. 深水地震资料特征分析与处理关键技术[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(7): 58-65.
- [3] Hall M. Some issues related to seismic imaging in deep-water basins[J]. CSEG Recorder, 2003(12): 36-40.
- [4] 万志超, 滕吉文, 张秉明. 各项异性介质中地震波速度分析的研究现状[J]. 地球物理学进展, 1997, 12(3): 35-44.
- [5] 卢明辉, 唐建候, 胡彬, 等. VTI介质P波非双曲时差分析[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 61-64.
- [6] Alkhalifah T, Tsvanjin I. Velocity analysis for transversely isotropic media[J]. Geophysics, 1995, 60(5): 1 550-1 566.
- [7] Siliqi R, Bousquie N. An elliptic time processing based on a shifted hyperbola approach[C]// 70th Ann. Internat. Mtg. Soc. of Expl. Geophys. 2000; 2 245-2 248.
- [8] Siliqi R. Technological leap in time processing focuses the data throughout anisotropic media[J]. First Break, 2001, 19(11): 612-618.
- [9] Toure J P, Herrman P. High-density moveout parameter fields V and η . Part one: Simultaneous automatic picking [C]// 73rd Ann. Internat. Mtg., SEG Expanded Abstracts, 2003.
- [10] Le Meur D, Siliqi R, Gamar F, et al. High-density moveout parameter fields V and η Part two: Simultaneous geostatistical. [C]// 73rd Ann. Internat. Mtg., SEG Expanded Abstracts, 2003.
- [11] 徐翠娥, 郝晓红, 王影, 等. 高密度双谱分析法在各向异性介质速度分析中的初步应用[J]. 海洋石油, 2008, 289(1): 1-5.

DEEPWATER SEISMIC VELOCITY ANALYSIS AND APPLICATION

LIU Jinpeng^{1,2}, LIU Mingzhu¹, ZHAO Ming¹, LI Tiancai¹, HOU Zhiping¹, WU Yaole¹

(1 CNOOC Energy Technology-Drilling and Production Company, Development and Prospecting Geophysical Institute, Zhanjiang 524057, Guangdong, China; 2 Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: Deepwater seismic survey is influenced by water depth, sea conditions, topography, geological conditions, acquisition method and other factors. As known, the velocity analysis is interfered by such features as anisotropy, sensitive speed changes, serious noise interference and uneven distribution of lighting. Conventional method of velocity analysis is not sufficient to meet the requirement of deepwater seismic data velocity analysis. To solve these problems, the authors adopted the method of high-density anisotropic bispectrum velocity analysis to pick up the high-density speed and the anisotropic parameters. This method has been applied to the South China Sea for deepwater seismic data velocity analysis, and proven to be effective.

Key words: deepwater; velocity analysis; anisotropy; bispectrum velocity analysis