

多波地震地层各向异性的初步研究和探讨

张树林, 姜立红

(中国海洋石油研究中心 南海西部研究院, 广西 湛江 524057)

摘 要: 利用我国海上首次采集的多波地震资料对莺歌海盆地的 4 个构造的地下岩石介质的各向异性进行了初步研究和探讨, 提出了利用闭合差计算各向异性系数的思路和方法, 得出了很有意义的结论。

关键词: 多波地震; 转换横波; 闭合差; 各向异性

中图分类号: P631.4; 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2002)05-0384-04

上世纪 80 年代以前, 在油气勘探和开发中, 人们应用的往往是单一的纵波, 即纵波地震勘探技术。该技术在构造勘探方面发挥了极大的作用。但在地下岩石介质各向异性检测和油气直接检测方面, 往往难以凑效。为此, 人们想到了横波, 出现了横波地震勘探技术, 随之又提出了纵横波联合勘探技术(多波多分量地震技术)。国外在这方面开展了较多的理论研究和实践工作, 取得了很好的效果^[1]。

上世纪 80 年代初, 我国陆上油田做了一些多波试验。中国海洋石油南海西部公司于 1998 年进行了首次多波地震试验, 在莺歌海盆地 4 个构造(乐东 8-1、乐东 22-1、乐东 11-1 和岭头 33-1)上采集了 8 条测线共 132 km 的多波地震资料。

野外采用双船(震源船和记录船)作业, 震源放在水面下 7 m 的地方, 检波器置于海底, 水深 80 ~ 90 m。布置好海底电缆后, 震源船严格沿着电缆方向激发(基本上是直线)。主要的采集参数如下。震源: Bolt 1500 & 1900 空气枪; 震源深度: 水面下 7 m; 震源总体积: 3 397 inch³; 空气枪压力: 2 000 p. s. i; 炮间距: 25 m; 记录电缆: Nessie4 (4 分量 PXYZ 海底电缆); 电缆前进方式: 拖曳; 道间距: 25 m; 电缆长度: 2 000 m、2 500 m、3 000 m; 记录系统: TRIACQ v. 1.5; 记录长度: X、Y 分量 10 s, P、Z 分量 5 s; 采样率: 2 ms; 记录滤波低切: 3 Hz、18 dB/Oct; 记录滤波高切: 200 Hz、406 dB/Oct。

资料品质比常规资料好, 分辨率和信噪比都比常规纵波高。多波地震资料包括所有测线的 P、Z 分量(P 波)叠加剖面、X 分量(P-SV 波)叠加剖面 and 一条测线的 Y 分量(P-SH)叠加剖面。大量事实

表明, 地下介质广泛存在着各向异性^[2]。所谓各向异性, 是指介质内某点地震波的传播与方向有关。在地震勘探中, 常见的各向异性介质有横向各向同性介质(TI 介质)、张性扩容介质(EDA 介质)和其它复杂的各向异性介质。

我们知道, 横波携带着岩石内部十分丰富的信息, 尤其是裂缝信息^[3]。反之, 我们便可通过对多波多分量地震信息的深入分析和研究, 探测出裂缝方位, 精细描述储层。利用横波来开发裂缝性油气田已成为一个热门研究课题。

目前, 国外正在进行大量的多波与各向异性的理论与实验研究, 取得了一定的成果, 有的石油公司也进行了应用研究, 取得了良好的效果^[4]。国内学者也都很关注这一前沿课题。

2 Y 分量强能量反映地下介质存在各向异性

本次莺歌海盆地多波地震试验, 得到了丰富的、直接的或间接的资料。我们充分利用这些信息对乐东 22-1、乐东 8-1 和乐东 11-1 构造的各向异性进行了初步的研究和分析, 得出了初步的结论。

图 1 是乐东 8-1 构造 98S₃₅₉₄ 测线 X 分量及 Y 分量叠加剖面图。从两剖面可看出, Y 分量能量不亚于 X 分量, 而 Y 分量接收到的主要是 SH 波。野外采集时, 空气枪放在水面以下 7 m 的地方, 震源到海底还有 90 余 m 的距离。这说明, 震源激发并传入地层介质的是 P 波(水的剪切模量 $\mu = 0$, 无横波), 入射 P 波经地层波阻抗界面转换后成为转换 SH 波, 即 P-SH 波。众所周知, 在各向同性介质中, P 波一般是不可能转换成 SH 波的, 只有在各向

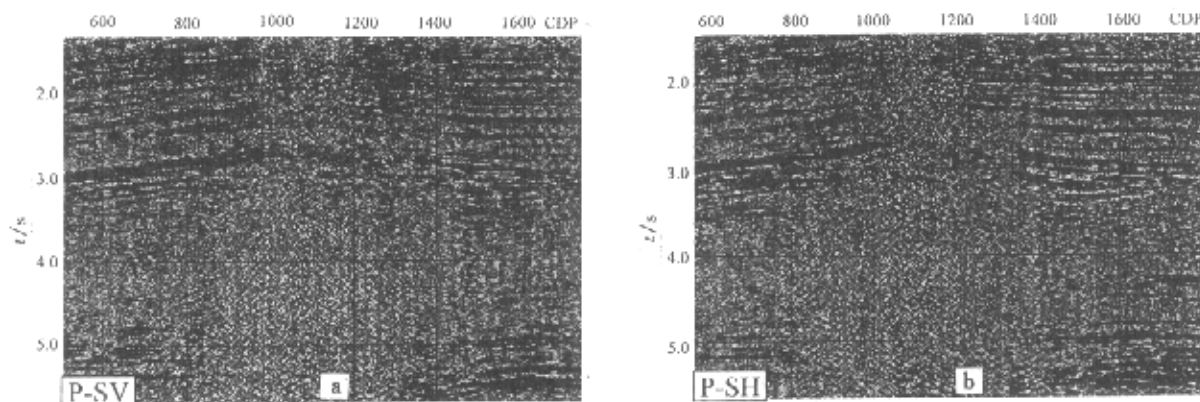


图1 乐东8-1构造98S₃₅₉₄测线X分量及Y分量叠加剖面
a—X分量叠加剖面;b—Y分量叠加剖面

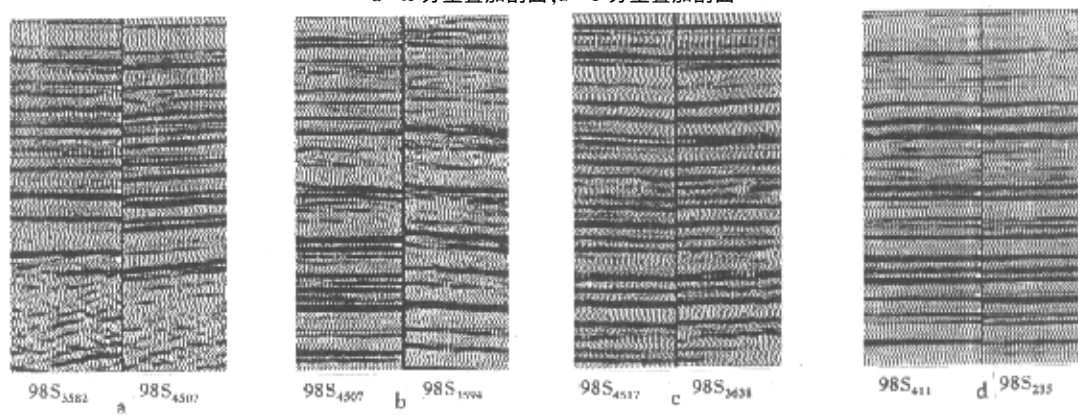


图2 多波工区4个测线交点处的转换波双向叠加剖面

异性介质中才能转换成SH波。这说明,乐东8-1构造存在严重的各向异性。

3 不同构造的主联测线交点处的转换横波的闭合差对地下介质各向异性的反映

图2是多波工区4个测线交点(98S₃₅₈₂和98S₄₅₀₇(a)、98S₃₅₉₄和98S₄₅₀₇(b)、98S₃₆₃₈和98S₄₅₁₇(c)、98S₂₃₅和98S₄₁₁(d))处的转换波双向叠加剖面。从图可看出,乐东8-1构造北端主测线和联络测线的转换波剖面存在极大的闭合差,南端闭合差有所减小。乐东22-1构造的闭合差明显小于乐东8-1构造,而乐东11-1构造主联测线的浅层闭合差又小于乐东22-1构造,此现象引起了我们高度注意并作了深入思考和分析:处理资料时,已尝试过用多种办法做多次转换横波静校正,且3个构造选用的是同样的静校正方法和处理流程,基本上排除了因静校正不够或过量而引起大的闭合差的可能性。这样,这种现象就只有从各向异性找原因了,这种大小不同的闭合差是地下介质各向异性的反映。

图2显示,乐东8-1等构造多波测线交点处的转换横波的振幅也是存在差异的,乐东11-1构造

多波测线交点处的转换横波的振幅差异相对较小。这种不同大小的振幅差异的存在反映了地层各向异性的强弱。

4 准各向异性系数的计算方法及地质含义

在进行了闭合差的直观分析后,我们拾取了各测线交点处的几乎所有层的闭合差,利用拾取的闭合差计算了准各向异性系数。在横波分裂与各向异性理论中,衡量介质各向异性严重与否的一个主要参数就是各向异性系数(K_c)^[5]。对于某一波阻抗界面,设快横波的旅行时为 $T_{s//}$,慢横波的旅行时为 $T_{s\perp}$,快慢横波旅行时之差为 $\Delta T = T_{s\perp} - T_{s//}$,则各向异性系数 K_c 为

$$K_c = \Delta T / T_{s//} \quad (1)$$

K_c 越大,各向异性越严重,当 K_c 达到5%以上时,就说明地层各向异性很重了^①。从测线交点处主联测线的旅行时来看,乐东8-1和乐东22-1构造的主联测线转换横波比联络测线走得快,而乐东11-1构

① 范伟粹. 横波地震勘探译文集. 中国石油天然气总公司情报所,1992.

造比较复杂。这样,我们近似把走得快的转换横波当成横波分裂中的快横波,走得慢的转换横波当成横波分裂中的慢横波。但应明确,上述转换横波并不是真正意义上的快横波或慢横波。

在进行各向异性系数计算时,需要进行上覆地层的剥离,我们没有条件做此步。基于上述原因,我们提出“准各向异性系数”的概念,以便与真正含义的各向异性系数相区别。准各向异性系数的计算方法如下:①拾取测线交点处主联测线转换波旅行时;②计算每一层主联测线转换波旅行时之差 ΔT ;③把走时快的转换波旅行时当成 $T_{s//}$;④利用公式(1)计算准各向异性系数。

图3和图4分别是乐东8-1构造98S₃₅₈₂和98S₄₅₀₇二测线交点、98S₃₅₉₄和98S₄₅₀₇测线交点处各层

闭合差(a)和准各向异性系数曲线(b)图。图中 δT 为联络测线(98S₄₅₀₇)与主测线(98S₃₅₈₂、98S₃₅₉₄)双程旅行时之差(下同), T_{3582} 表示横坐标为98S₃₅₈₂测线转换横波的双程旅行时(下同)。从图看出,最大闭合差达80 ms,最大准各向异性系数达5.7%。图5是乐东22-1构造98S₄₅₁₇与98S₃₆₃₈二测线交点处各层闭合差(a)和准各向异性系数曲线(b),最大闭合差达15 ms,最大准各向异性系数达0.99%。图6是乐东11-1构造98S₄₁₁与98S₂₃₅二测线交点处的各层闭合差(a)与准各向异性系数曲线(b),最大闭合差达7 ms,最大准各向异性系数达0.47%。

通过比较可知,乐东8-1构造转换波的闭合差和准各向异性系数大于乐东22-1构造;乐东22-1构造转换波的闭合差和准各向异性系数大于乐东

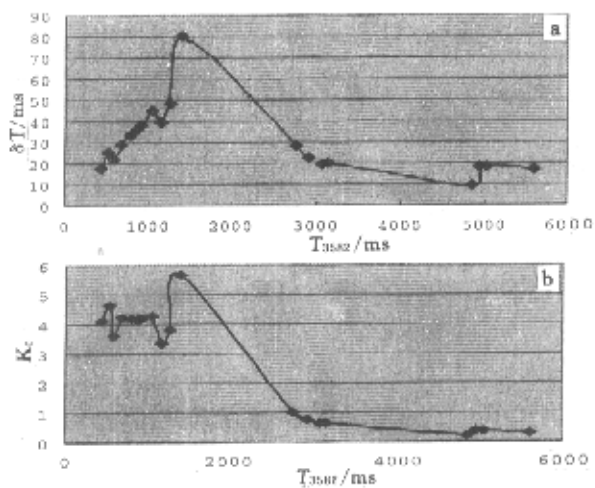


图3 98S₃₅₈₂和98S₄₅₀₇测线交点处各层闭合差(a)和准各向异性系数曲线(b)

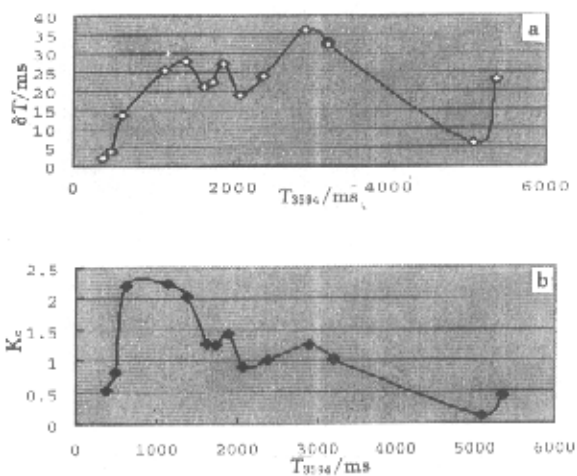


图4 98S₃₅₉₄和98S₄₅₀₇测线交点处各层闭合差(a)和准各向异性系数曲线(b)

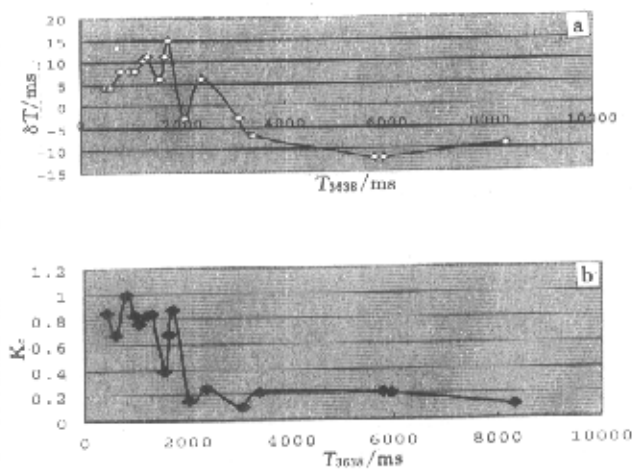


图5 98S₄₅₁₇与98S₃₆₃₈测线交点处的各层闭合差(a)和准各向异性系数曲线(b)

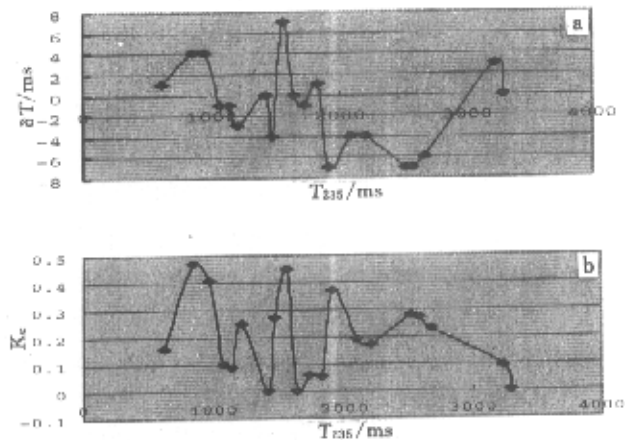


图6 98S₄₁₁与98S₂₃₅测线交点处的各层闭合差(a)和准各向异性系数曲线(b)

11-1 构造。这说明:①乐东 8-1 构造北部的各向异性强于南部;②乐东 8-1 构造的各向异性强于乐东 22-1 构造;③乐东 22-1 构造的各向异性稍强于乐东 11-1 构造;④乐东 8-1 构造的裂缝走向为北东—西南向;乐东 22-1 构造中浅层(3 000 ms 以上)的裂缝走向为北东—西南向,深层裂缝走向为北西—南东向;乐东 11-1 构造的裂缝走向难以定论,从浅至深走向不断发生变化。

5 泊松比的正负对地层各向异性强弱的反映

一般情况下,岩石的泊松比是正的。但当岩石介质存在各向异性时,泊松比将是负值。我们计算了主要层位的泊松比,发现乐东 8-1、乐东 22-1 构造的多个层位的多个层段的泊松比存在负值,这说明上述构造存在较强的各向异性。

6 结论

根据以上大量的研究和分析,可得出结论。

1. 多波地震是我们研究岩石各向异性的一个重要技术手段。本研究只是利用多波地震资料研

究岩石各向异性的一个初步尝试。

2. Y 分量能量的强弱、泊松比的正负、测线交点处的闭合差及由此计算出的准各向异性系数是反映地层岩石各向异性强弱的重要指标参数。利用的信息越多,研究结果就越可靠。

3. 乐东 8-1 等 3 个构造均存在不同程度的各向异性,乐东 8-1 构造的各向异性最严重。

参考文献:

- [1] 张树林. 海上四分量地震技术的新进展与新动向[J]. 物探化探计算技术, 2000, 27(2): 93-98.
- [2] Winterstein D F. Shear-wave Polarization and Subsurface stress directions at Lost Hills field[J]. Geophysics, 1991, (9): 328-340.
- [3] Danbom S H. Shear-wave Exploration[J]. Society of Exploration Geophysicists, 1987(1): 159-165.
- [4] 王维佳. 各向异性与多分量地震勘探[J]. 石油物探译丛, 1990, 21(4): 38-43.
- [5] 牛毓荃. 石油物探新技术系列调研成果[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996, 102-112.

A PRELIMINARY DISCUSSION ON THE APPLICATION OF MULTI-WAVE SEISMIC DATA TO THE STUDY OF ANISOTROPY OF VARIOUS FORMATIONS

ZHANG Shu-lin, JIANG Li-hong

(China Offshore Oil Nanhai West Corporation, Zhanjiang 524057, China)

Abstract: The study of the anisotropy of the subsurface media is a challenging task during exploration and development of oil and gas, and the development of the fractured fields with S-wave data has become a heated topic. This paper has tentatively reviewed and discussed the anisotropy of the subsurface rocks in four structures in Yinggehai basin based on the multiwave seismic data acquired during the first multiwave seismic survey on offshore China seas, and reached some significant conclusions.

Key words: multiwave seismic exploration; converted S-wave; mis-tie; anisotropy

作者简介: 张树林(1965-),男,湖南邵阳人,1991年毕业于成都地质学院信息工程与应用地球物理专业,获硕士学位,现就职于中国海洋石油研究中心南海西部研究院,高级工程师,从事地震层析成像、油气储地球物理、MPP技术、多波地震、海洋工程及软件工程、工程软件设计与开发等多项研究工作。作为主要研究人员,参与了“八五”、“九五”等多项重大研究项目的工作,已公开发表论文 30 余篇。