

P—SV 快慢横波旋转分离公式研究

唐建侯^{1,2,3} 杨慧珠¹ 贺振华⁴ 李亚林³ 赵连锋⁵

(1.清华大学工程力学系 2.石油大学·中国石油天然气集团公司物探重点实验室
3.四川石油管理局地质调查处 4.成都理工大学 5.中国科学院地质与地球物理研究所)

唐建侯等.P—SV 快慢横波旋转分离公式研究.天然气工业,2004;24(12):44~47

摘要 当 P—SV 横波穿越裂隙介质时会分裂成平行裂隙走向的快横波和垂直裂隙走向的慢横波,在某一时刻,快慢横波的偏振在空间具有不同的组合形式。文章研究了旋转分离公式与偏振方向和旋转方向的关系,推导出了快慢横波不同组合形式的分离公式,其中顺时针旋转方向和逆时针旋转方向各有四个公式表述;同时还分析了公式的差异,并用实例进行了验证;提出了快慢横波传播过程中应用公式判别偏振情况的能量投影准则和快慢横波同相准则。通过实际资料的处理,说明该方法能准确地分离快慢横波。

关键词 转换波 各向异性 横波分裂 旋转 方程

随着勘探技术的进步和油气产量需求的加大,转换波勘探也得到越来越多的应用。Gaiser(1999)和 Granger(2000)利用海上转换波资料展示了横波分裂及其预测各向异性的效果;Van Dok(2001)阐述了转换波资料在陆上裂隙预测中的作用;Gaiser(2003)论述了转换波资料在裂隙油气藏勘探开发过程中的应用。冯太林(1996)论述了利用转换横波的分裂探测直立裂隙系,丁伟(2002)利用快慢横波分离求取的裂缝参数正确地反映了泥岩裂缝等各向异性信息。实际接收到的转换波资料是快慢横波叠合的信号,Alford(1986)给出了一种利用 SH—SH, SH—SV, SV—SH 和 SV—SV 的四分量旋转技术;Thomsen(1986)也给出了相应方位各向异性介质中双源四分量快慢横波旋转分离的公式。旋转分离快慢横波就是利用快慢横波在空间偏振的差异进行分离。四分量旋转可以用非对角线分量上的剩余能量最小化来确定快慢横波,而转换波只有两个分量,所以不能简单地沿用四分量的旋转公式。

一、各种偏振对应的旋转公式

分离快慢横波的旋转公式与快慢横波的偏振方向有关外,还与旋转方向有关系,旋转方向不同,旋转公式也有差异。下面讨论顺时针旋转情况下的旋转公式。

设一测线与裂隙的关系如图 1 所示,当快慢横

波都为正向偏振时(组合形式一),可得到图 2—a 所示的示意图。X 方向为测线方向,同时可以建立一个 X、Y 坐标系,设检波器的二分量方位分别为 X 方向和 Y 方向,由于 X 分量和 Y 分量在地面接收到的是 s_1 和 s_2 在两个分量上的投影(Thomsen,1988),因此,快慢横波的振动方向就分化为 4 个方向:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: F_{11} 、 F_{12} 为快横波的振动方向; F_{21} 、 F_{22} 为慢横波的振动方向。

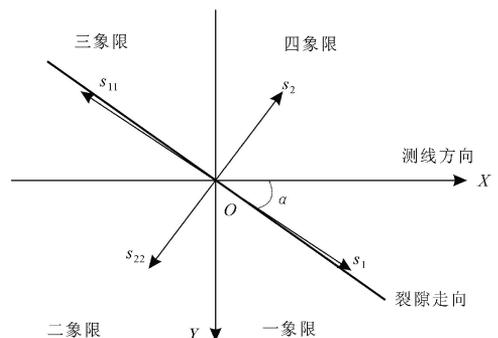


图 1 测线与裂隙的关系示意图

于是有:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (2)$$

作者简介:唐建侯,高级工程师;1987年毕业于西南石油学院,2003年在成都理工大学获工学博士学位,现为清华大学博士后;长期从事多波勘探方法的研究工作。地址:(100084)北京市海淀区清华大学工程力学系。电话:(010)62773869。E-mail: tjh@mail.tsinghua.edu.cn

式中： R 为旋转因子， $R = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$ ； F 为快慢

横波的振动方向函数， $F = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ ； α 为快慢横

波的偏振角。

这个公式包含了偏振方向、振幅参数，还未考虑相位参数，在后面的判别准则中加以说明。公式(2)可以简化成旋转公式一：

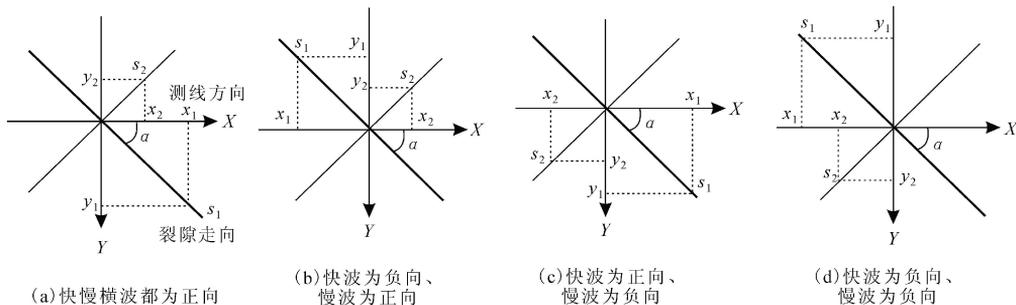


图2 偏振示意图

同理，通过图2-c可以得到旋转公式三(组合形式三)：

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (5)$$

通过图2-d可以得到旋转公式四(组合形式四)：

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos \alpha & -\sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (6)$$

上面展示的是顺时针旋转情况下裂隙走向与测线的夹角小于90°的情况，当裂隙走向与测线的夹角大于90°时，经过推导也可得到同样的结果。

在逆时针旋转的情况下，经过同样的推导，可以得到相应的旋转公式，此不赘述。

二、各种旋转公式的差异

我们用一个实际的例子来说明不同旋转公式之间的差异。图3-a为一道经过处理的实际的XY分量资料，通过角度谱分析(顺时针旋转)知道在1800~1900ms之间有一裂隙介质，其走向与X轴(测线方向)呈140°夹角。利用公式一到公式四，对XY分量进行140°旋转，结果如图3-b所示。可以看出每个公式的旋转结果是不一样的；其能量和相位都不相同。逆时针旋转结果表明每个公式也存在差异。综上所述，顺时针旋转和逆时针旋转由于旋转方向的差异，其公式也不同，但它们的旋转结果是一致的，这与实际情况吻合。

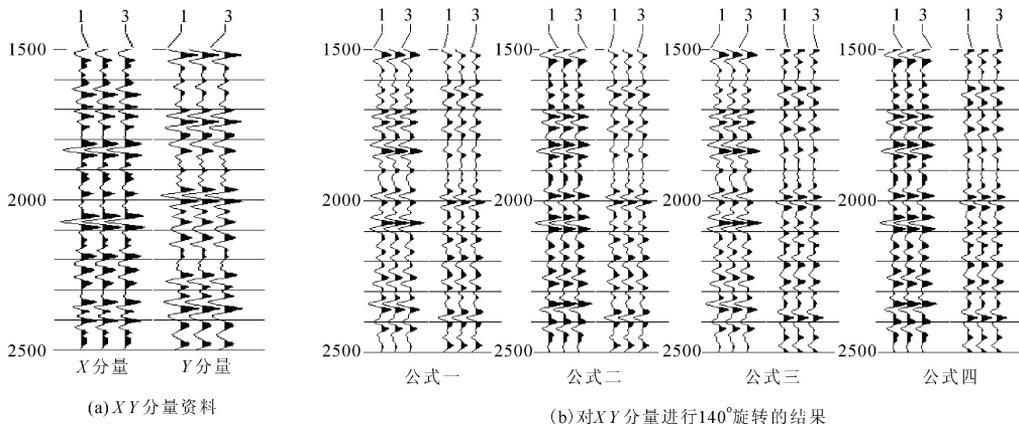


图3 不同旋转公式之间的差异和结果

三、旋转公式的判别准则

从上面的分析知道,在顺时针旋转的情况下针对快慢横波偏振的不同组合形式共有四个旋转公式,而快慢横波在传播过程中的某一时刻,只能有一种偏振不同组合形式,即在某一时刻只能有一个旋转公式,因此在实际处理中就必须利用实际接收到的资料作出判断。根据上面推导的公式可以知道,上述公式未考虑快慢横波的初始相位,据此提出如下的判别准则。

1. 能量投影准则

由于 X 、 Y 分量接收到的信号是快慢横波在 X 、 Y 方向的投影,因此投影的主能量与裂隙走向与测线的夹角有关,如图 4 所示,当裂隙的走向介于 $0^\circ \sim 45^\circ$ 或 $135^\circ \sim 180^\circ$ 时,快波的主要能量应投影在 X 分量上,其初偏振相位应和 X 分量一致,即

$$r_{\max} = \max(c_{s_1 x}(\tau)) > 0 \quad (7)$$

式中: $c_{s_1 x}(\tau) = \sum_{t=1}^N s_1(t)x(t-\tau)$ 。

当裂隙的走向介于 $45^\circ \sim 135^\circ$ 时,快波的主要能量应投影在 Y 分量上,其初偏振相位应和 Y 分量一致,即

$$r_{\max} = \max(c_{s_1 y}(\tau)) > 0 \quad (8)$$

式中: $c_{s_1 y}(\tau) = \sum_{t=1}^N s_1(t)y(t-\tau)$ 。

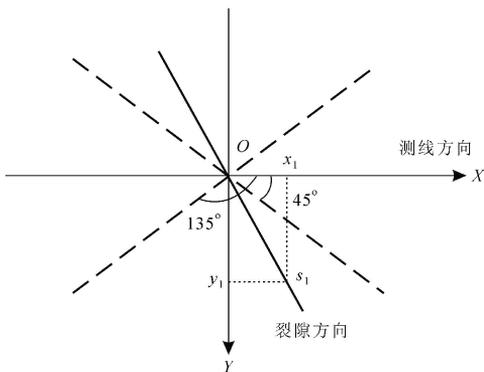


图 4 快波能量投影示意图

2. 快慢横波同相准则

快波和慢波如只受裂隙的影响,就只会发生能量的差异和时间延迟(Thomsen, 2002),其初偏振相位应一致,即

$$r_{\max} = \max(c_{s_1 s_2}(\tau)) > 0 \quad (9)$$

式中: $c_{s_1 s_2}(\tau) = \sum_{t=1}^N s_1(t)s_2(t-\tau)$ 。

四、旋转结果分析

利用上述旋转公式和判别准则就能根据横波在空间的实际偏振情况确定相应的旋转公式。如图 5 为一实际的 XY 分量数据,利用顺时针旋转公式对其进行旋转,得到如图所示的结果,快慢横波的能量比值发生了变化,而且慢波相对于快波有一延迟时间。根据判别准则,可以唯一地确定公式四的分离结果为所求的快慢横波分量。虽然每个公式都将快慢横波分离开了,但只有一个正确,其它公式分离的快慢横波是不正确的(Thomsen, 2002)。

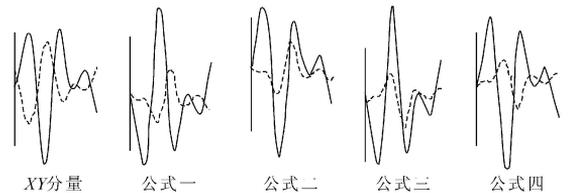


图 5 XY 分量及顺时针旋转后的数据

五、结束语

旋转分离快慢横波的原理就是利用快慢横波在空间偏振差异,采用旋转公式进行分离。而横波的偏振又与裂隙的走向密切相关。在裂隙走向和测线方向相对固定的情况下,快慢横波偏振共有四种不同组合形式。针对快慢横波的四组组合形式,采用顺时针(或逆时针)旋转共有四种旋转公式,其旋转结果是不一样的,因此针对不同的组合形式应采取相应的旋转公式,而不能沿用以前的所有偏振组合形式都采用同一个公式的作法。

当确定空间传播的一个地震波时,需要知道其振幅、相位和偏振方向。旋转公式只涉及了横波的振幅和偏振方向,没有涉及相位,而且利用旋转公式也无法确定具体的公式,于是利用涉及相位的能量投影准则和快慢横波同相准则就可以唯一地确定分离后的快慢横波。

利用实际资料的处理也证明不同的旋转公式其结果有差异,必须根据实际情况采用相应的旋转公式,利用判别准则可以唯一确定实际所用的旋转公式。

总之,快慢横波分离是转换波处理中十分重要的一个环节,也是一个需要通过细致处理和分析的系统工程,因此要依据实际的地质情况采用相应的处理方式,才能得到合理的结果。

参 考 文 献

- 1 Alford .Shear data in the presence of azimuthal anisotropy .56th Ann Internat Mtg ,Soc Explor Geophys ,Expanded Abstracts ,1986 ;476—479
- 2 Leon Thomsen .Understanding seismic anisotropy in exploration and exploitation .Distinguished Instructor Short Course ,2002
- 3 Crampin S .Anisotropy and transverse isotropy .Geophy Prosp ,1986 ;34 :94—99
- 4 Gaiser J E .Applications for vector coordinate systems of 3-D converted-wave data .The Leading Edge ,1999 ;18 (11);1290—1300
- 5 Granger P ,Rollet A ,bonnot J .First evaluation of azimuthal anisotropy Valhall Field .Abstract of the 9th international Workshop on Seismic Anisotropy ,2000 ;9
- 6 Gaiser J E .Converted shear-wave anisotropy attributes for fractured-reservoir management .AAPG Annual Convention ,Salt Lake City ,Utah ,2003 ;(5) :11—114
- 7 Van Dok R R ,Gaiser J E ,Markert J E .Processing and analysis of PS-wave data from a 3D/3C land survey for fracture characterization .63th EAGE meeting ,Amsterdam ,Extended Abstract ,2001 ;117
- 8 Kangan Fang ,R James B R .A new algorithm for the rotation of horizontal components of shear wave seismic data .CREWES Research Report ,1996 ;8
- 9 Leon Thomsen .Reflection seismology over azimuthally anisotropic media .Geophysics ,1988 ;53 :304—313
- 10 Min Lou .Shear-wave splitting and fracture orientation analysis from PS wave—examples from synthetic and field OBC data .71th SEG Annual Convention
- 11 冯太林 .用转换波探测直立裂隙系 .石油地球物理勘探 ,1996 ;31(增刊1) :76~81
- 12 丁伟等 .转换波技术在泥岩裂缝研究中的应用 .石油地球物理勘探 ,2002 ;37(6) :626~634
- 13 李录明 ,罗省贤 .多波多分量地震勘探原理及数据处理方法 .成都 :原成都科技大学出版社 ,1997
- 14 唐建侯 ,贺振华 .角度谱的原理及计算方法 .石油物探 ,2003 ;(2)

(收稿日期 2004-07-28 编辑 韩晓渝)