

· 经验交流 ·

三分量检波器埋置误差分析

何仁汉* 徐仲达 孙波 唐宗璜

(同济大学)

(大庆石油管理局)

摘 要

何仁汉,徐仲达,孙波,唐宗璜. 三分量检波器埋置误差分析. 石油地球物理勘探, 1995, 30(3): 405~416

本文推导出了三分量检波器由埋置不准引起的误差计算公式,讨论了三分量检波器的方位偏差和倾斜偏差的允许范围,得到了野外采集时允许偏差的结论:①以10%的误差作为界限,偏差角度应控制在 3° 左右,进行三分量地震采集可以此为参考;②以5%的误差作为界限,偏差角度应控制在 1° 左右,进行九分量地震采集可以此为参考。

主题词 三分量检波器 方位偏差 倾斜偏差

ABSTRACT

He Renhan, Xu Zhongda, Sun Bo and Tang Zonghuang. Analysis of planting error of three-component geophone. OGP, 1995, 30(3): 405~416

The formula for planting error of three-component geophone is presented here. After analysis, the authors offer the following allowable errors in azimuth and inclination of three component geophone in field data acquisition:

(1) When error limit is 10%, the angle deviation will be about 3° , which can be the reference value for three-component seismic data acquisition;

(2) When error limit is 5%, the angle deviation will be 1° , which can be the reference value of nine-component seismic data acquisition.

Subject heading: three-component geophone, azimuth deviation, inclination deviation

前 言

随着油气勘探的逐步深入,多波地震采集技术越来越受到重视。在研究裂隙油储和岩层的各向异性工作中,不仅需要进行三分量地震勘探,而且必须进行九分量地震勘探工作。九分量数据系分别用三个分量的地震震源进行三分量接收的数据,它在研究裂缝存在、裂缝密度和裂缝方向中是一种重要的手段。和常规检波器不同,三分量检波器对于埋置条件要求较严,在埋置中任何方位和倾斜的偏差都将会造成极化参数的误差,也就不能正确判断裂缝的各项参数,

* He Renhan, Tongji University, Shanghai City, Postcode: 230092

本文于1994年10月6日收到。

本项目由国家自然科学基金会、中国科学院、中国石油天然气总公司、大庆石油管理局联合资助。

从而造成解释上的失误。本文讨论了三分量检波器埋置时方位和倾斜偏差的允许误差,供野外施工时参考,以保证野外施工质量。

误差公式推导

制造三分量检波器时,三个轴的方向有两种取法。第一种是 x, y, z 正交型,其中 z 用于检测垂向分量,可用垂直检波器; x, y 分别用于检测水平分量,可用水平检波器。第二种是 54.74° 对称正交型,三个轴 u, v, w 之间互相正交并且与垂向轴 z 夹角都是 54.74° ,呈对称轴分布(图 1)。它们在 $x-y$ 水平面内的投影相互之间成 120° 角, u 轴的投影与 x 轴一致, v 轴和 w 轴投影与 x 轴负向成 60° 角(图 2),在图 2 中 z 轴垂直于纸面。

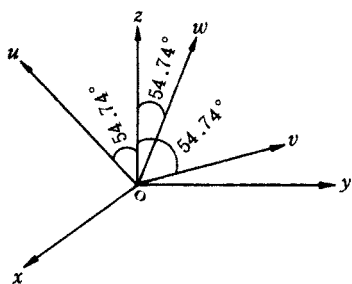


图 1 夹角为 54.74° 的对称正交坐标系

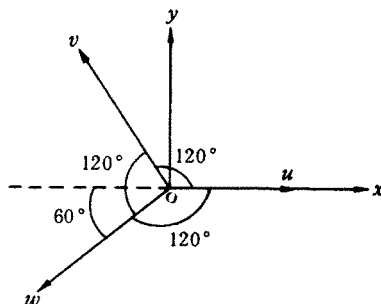


图 2 对称正交坐标轴在 $x-y$ 平面内的投影

由于第一种三分量检波器使用了两种类型的检波器——垂直和水平检波器。而目前垂直检波器和水平检波器的性能尚不能制造得完全一致,故第二种 54.74° 三分量检波器就应运而生。它采用同一类型的检波器心体组成,故能保证性能一致。为了工作的方便,我们利用转换矩阵将 u, v, w 分量通过坐标转换到 x, y, z 分量上。其转换矩阵为

$$\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(t) \\ v(t) \\ w(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: $a_{11} = \cos 35.26^\circ = 0.817$, $a_{12} = -\cos 35.26^\circ \cos 60^\circ = -0.408$, $a_{13} = -\cos 35.26^\circ \sin 60^\circ = -0.408$; $a_{21} = \cos 90^\circ = 0$, $a_{22} = \cos 35.26^\circ \sin 60^\circ = 0.707$, $a_{23} = -\cos 35.26^\circ \cos 60^\circ = -0.707$; $a_{31} = \cos 54.74^\circ = 0.577$, $a_{32} = -\cos 54.74^\circ = -0.577$, $a_{33} = \cos 54.74^\circ = 0.577$; $u(t), v(t), w(t)$ 是 54.74° 三分量检波器测得的数据; $x(t), y(t), z(t)$ 是相应的正交型三分量检波器数据。

下面讨论检波器埋置存在方位偏差和倾斜偏差时所产生的误差。令 x 轴为测线方向, y 轴为垂直测线方向, z 轴方向垂直向上。当检波器埋置仅在 y 方向倾斜 α 角度时,相当于坐标系绕 x 轴旋转 α 角,如图 3 所示。

设质点位移向量为 \vec{r} ,它与 z 轴夹角为 θ ,方位角为 φ ,则 \vec{r} 在原坐标轴上的投影值为

$$\begin{cases} x = r \sin \theta \cos \varphi \\ y = r \sin \theta \sin \varphi \\ z = r \cos \theta \end{cases} \quad (2)$$

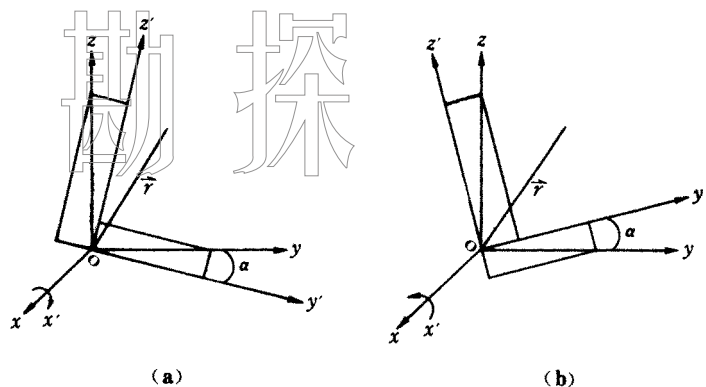


图3 坐标系绕 x 轴旋转 α 角度
(a)为顺时针旋转;(b)为逆时针旋转

据图中的几何关系可得, y 方向倾斜 α 角后, \vec{r} 在新坐标轴上的投影值为

$$\begin{cases} x' = x \\ y' = y \cos \alpha + z \sin(\pm \alpha) \\ z' = y \sin(\pm \alpha) + z \cos \alpha \end{cases} \quad (3)$$

式中,上面的运算符号表示绕 x 轴顺时针旋转情况,下面的运算符号表示绕 x 轴逆时针旋转情况。符号意义下同。采用矩阵形式,式(3)可表示为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin(\pm \alpha) \\ 0 & \sin(\pm \alpha) & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (4)$$

当检波器埋置仅在 x 方向倾斜时,相当于坐标系绕 y 轴旋转 β 角,如图4所示。

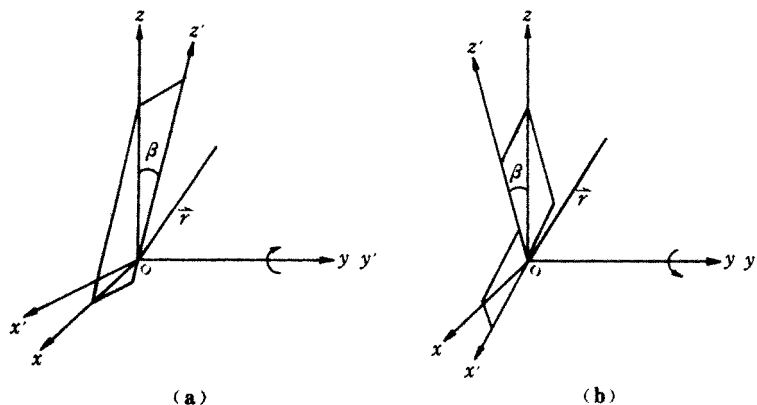


图4 坐标系绕 y 轴旋转 β 角度
(a)为顺时针旋转;(b)为逆时针旋转

此时, \vec{r} 在新坐标轴上的投影值为

$$\begin{cases} x' = x \cos \beta + z \sin(\pm \beta) \\ y' = y \\ z' = x \sin(\pm \beta) + z \cos \beta \end{cases} \quad (5)$$

用矩阵形式,式(5)可表示为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin(\pm\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\pm\beta) & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (6)$$

当检波器埋置仅存在方位偏差时,相当于坐标系绕 z 轴旋转 γ 角,如图 5 所示。

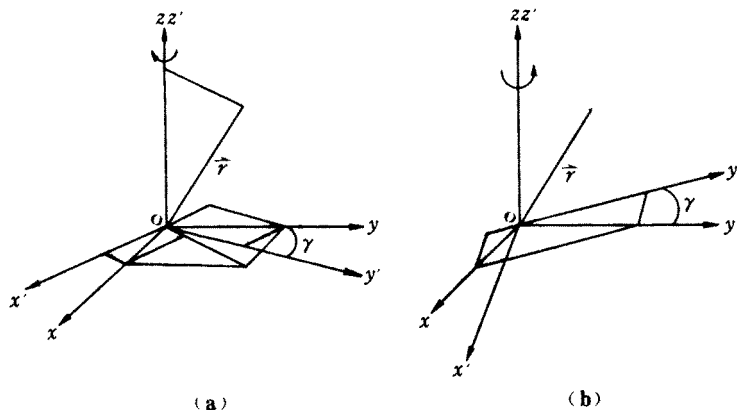


图 5 坐标系绕 z 轴旋转 γ 角度
(a)为顺时针旋转;(b)为逆时针旋转

此时, \vec{r} 在新坐标系上的取值为

$$\begin{cases} x' = x \cos\gamma + y \sin(\pm\gamma) \\ y' = x \sin(\pm\gamma) + y \cos\gamma \\ z' = z \end{cases} \quad (7)$$

用矩阵形式,式(7)可表示为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin(\pm\gamma) & 0 \\ \sin(\pm\gamma) & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (8)$$

当检波器埋置既存在方位偏差,又存在一般倾斜偏差时,即当 α, β, γ 均不为零时,把式(4)、式(6)、式(8)中的方向余弦矩阵相乘就得到新坐标系内的分量 x', y' 与 z' , 即

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma + \sin(\pm\alpha)\sin(\pm\beta)\sin(\pm\gamma) & \cos\alpha\sin(\pm\gamma) \\ \cos\beta\sin(\pm\gamma) + \sin(\pm\alpha)\sin(\pm\beta)\cos\gamma & \cos\alpha\cos\gamma \\ \cos\alpha\sin(\pm\beta) & \sin(\pm\alpha) \\ \sin(\pm\beta)\cos\gamma + \sin(\pm\alpha)\cos\beta\sin(\pm\gamma) & \\ \sin(\pm\beta)\sin(\pm\gamma) + \sin(\pm\alpha)\cos\beta\cos\gamma & \\ \cos\alpha\cos\beta & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (9)$$

将上述各式中新坐标系中的分量 x', y', z' 与原坐标系中的分量 x, y, z 相减,所得之差即为埋置不准确而引起的误差。

各种情况分析

令 x 为测线方向, y 为垂直测线方向, z 为垂向方向,则对各向同性水平层状介质情况,在

地表用三分量检波器接收时,直达P波的位移向量沿 x 方向,直达SH波的位移向量沿 y 方向,直达SV波的位移向量沿 z 方向,而反射P波与SV波位移向量位于 xoz 平面内,反射SH波位移向量位于 xoy 平面内,且仍沿着 y 方向。瑞雷面波位移向量是在 xoz 平面内椭圆极化。勒夫面波则是在 xoy 平面内沿 y 轴线性极化。对VSP接收时也可作类似讨论。

对一般各向异性介质而言,P波、SV波或SH波的位移向量将不再是沿着射线或垂直射线方向,也不位于某平面内,而是三维空间中的位移向量。但它们总可分解为多个分量。所以,为获得一些认识,我们分别讨论位移向量位于某坐标轴方向、位于某坐标面内及空间中的多种情况。

位移向量沿不同坐标轴的变化情况

我们分别讨论位移向量沿 x 、 y 和 z 轴方向时,检波器对 y 轴倾斜 α 角、对 x 轴倾斜 β 角和对 z 轴倾斜(方位偏差) γ 角时产生的误差情况,见表1。其中, x 、 y 、 z 值由式(2)计算, x' 、 y' 与 z' 值由式(3)、式(5)与式(7)计算,其误差为: $\Delta x = x - x'$, $\Delta y = y - y'$, $\Delta z = z - z'$ 。图6、图7与图8分别表示位移向量沿 x 轴、 y 轴与 z 轴的情况,其中图(a)与图(b)分别是绕 x 轴顺时针与逆时针旋转 α 角,图(c)和图(d)分别是绕 y 轴逆时针与顺时针旋转 β 角,图(e)和图(f)分别是绕 z 轴顺时针与逆时针旋转 γ 角。由表1及图6~图8可见,凡位移向量在某坐标轴时,则绕某轴的坐标轴旋转不产生误差。而且,凡绕某轴旋转时,该轴的分量也不产生误差。其它情况产生的误差分为两类:一类是随误差角呈正弦变化;当误差角不大时,误差与误差角成正比;另一类是随1与误差角的余弦之差而变化。

位移向量位于不同坐标平面内的变化情况

下面分别讨论位移向量位于 xoy 平面、 yoz 平面和 xoz 平面内时检波器对 y 轴倾斜 α 角、对 x 轴倾斜 β 角和对 z 轴倾斜(方位偏差) γ 角时的误差情况,见表2。表中 x' 、 y' 和 z' 值仍由式(3)、式(5)和式(7)计算。

图9是位移向量位于 xoy 平面内的情况。位移向量位于 xoz 平面和 yoz 平面的情况与图9类似,在此就不予图示了。由表2与图9可见,凡绕某轴旋转时,该轴的分量不产生误差。其它

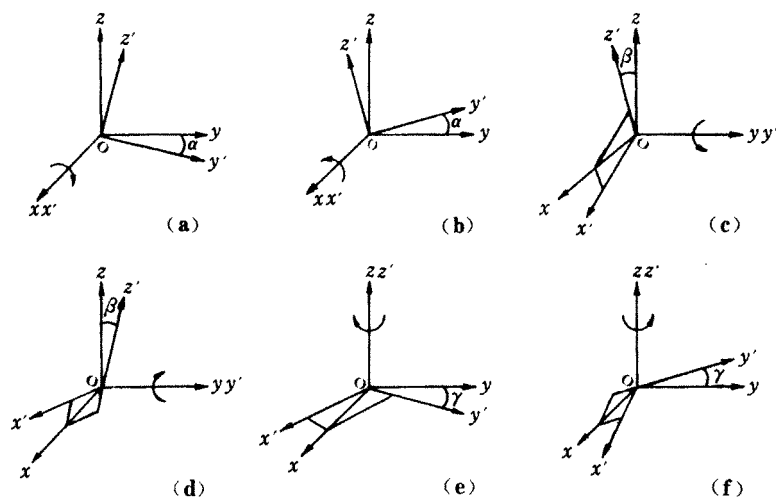


图6 位移向量沿 x 轴的变化情况

表 1 位移向量沿不同坐标轴的偏差情况

偏差性质		y 方向倾斜 α 角 (绕 x 轴旋转)		x 方向倾斜 β 角 (绕 y 轴旋转)		方位偏差 γ 角 (绕 z 轴旋转)	
位 移 向 量	沿 x 轴 方向， 其中： $x=r$ $y=0$ $z=0$	x'	x	$x\cos\beta$	$x\cos\gamma$		
		y'	0	0	$x\sin(\pm\gamma)$		
		z'	0	$x\sin(\mp\beta)$	0		
		Δx	0	$x(1-\cos\beta)$	$x(1-\cos\gamma)$		
		Δy	0	0	$-x\sin(\pm\gamma)$		
		Δz	0	$x\sin(\mp\beta)$	0		
	沿 y 轴 方向， 其中： $x=0$ $y=r$ $z=0$	x'	0	0	$y\sin(\mp\gamma)$		
		y'	$y\cos\alpha$	y	$y\cos\gamma$		
		z'	$y\sin(\pm\alpha)$	0	0		
		Δx	0	0	$-y\sin(\mp\gamma)$		
		Δy	$y(1-\cos\alpha)$	0	$y(1-\cos\gamma)$		
		Δz	$-y\sin(\pm\alpha)$	0	0		
	沿 z 轴 方向， 其中： $x=0$ $y=0$ $z=r$	x'	0	$z\sin(\pm\beta)$	0		
		y'	$z\sin\alpha$	0	0		
		z'	$z\cos\alpha$	$z\cos\beta$	z		
		Δx	0	$-z\sin(\pm\beta)$	0		
		Δy	$-z\sin(\mp\alpha)$	0	0		
		Δz	$z(1-\cos\alpha)$	$z(1-\cos\beta)$	0		

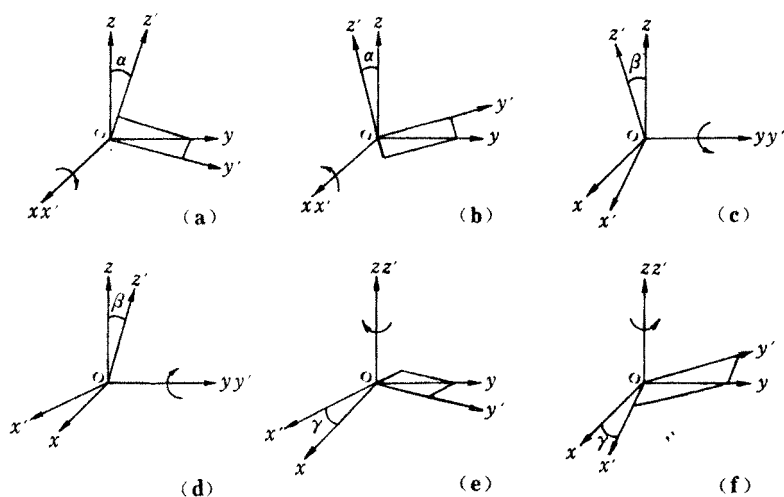


图 7 位移向量沿 y 轴的变化情况

情况的误差可分为三类:第一类是随误差角呈正弦变化;第二类是随误差角呈 1 与角余弦之差而变化;第三类是随误差角的正弦变化与随误差角的 1 与余弦之差变化之和(或之差)而变化。

位移向量位于空间任意位置且绕一个轴旋转情况

当位移向量位于空间任意位置时, x 、 y 、 z 值由式(2)表示,绕 x 、 y 或 z 轴旋转后的 x' 、 y' 或 z' 值分别由式(3)、式(5)或式(7)表示,见表 3。

由表 3 和图 4、图 5、图 6 可见,凡绕某轴旋转时,该轴的分量仍不产生误差。其它误差均由正弦变化及 1 与余弦之差变化之和(或之差)组成。

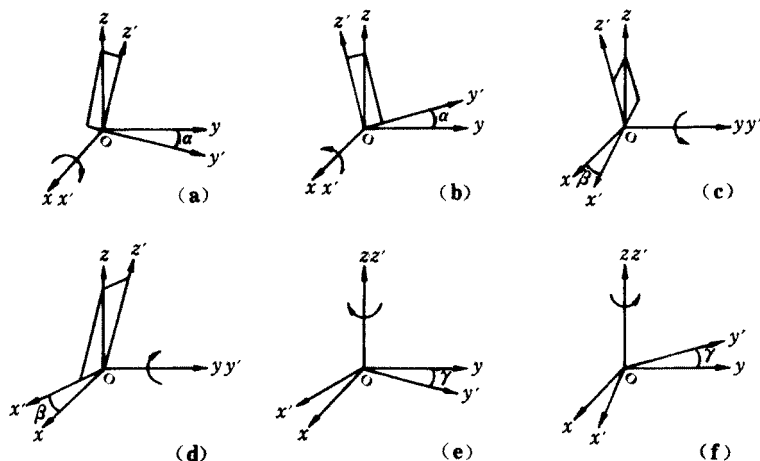


图 8 位移向量沿 z 轴的变化情况

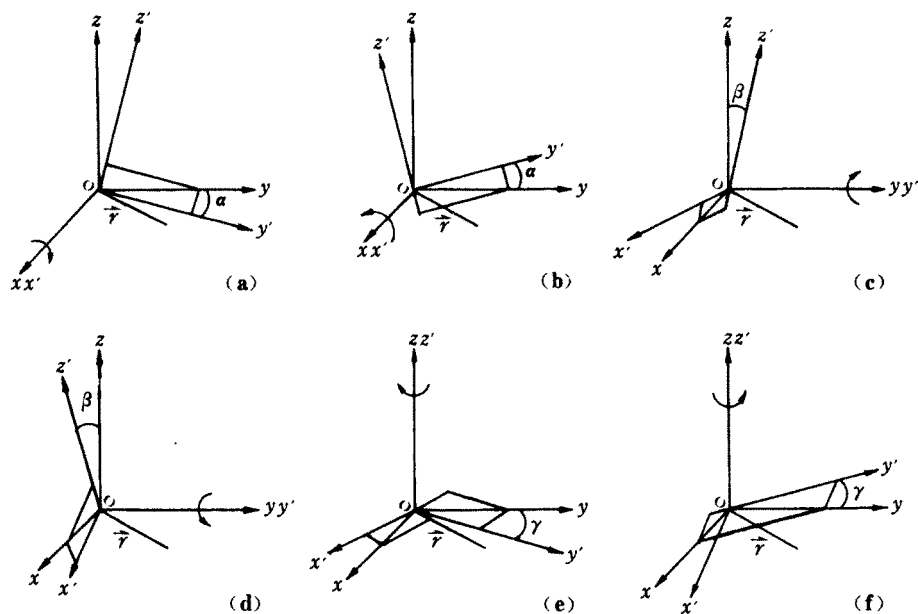


图 9 位移向量在 xy 平面内的变化情况

表 2 位移向量位于不同坐标平面内的误差情况

偏差性质			y 方向倾斜 α 角 (绕 x 轴旋转)	x 方向倾斜 β 角 (绕 y 轴旋转)	方位偏差 γ 角 (绕 z 轴旋转)
位 移 向 量	位于 xoy 平面内, 其中: $x=r\cos\varphi$ $y=r\sin\varphi$ $z=0$	x'	x	$x\cos\beta$	$x\cos\gamma+y\sin(\mp\gamma)$
		y'	$y\cos\alpha$	y	$x\sin(\pm\gamma)+y\cos\gamma$
		z'	$y\sin(\pm\alpha)$	$x\sin(\mp\beta)$	0
		Δx	0	$x(1-\cos\beta)$	$x(1-\cos\gamma)-y\sin(\mp\gamma)$
		Δy	$y(1-\cos\alpha)$	0	$-x\sin(\pm\gamma)+y(1-\cos\gamma)$
		Δz	$-y\sin(\pm\alpha)$	$-x\sin(\mp\beta)$	0
	位于 yoz 平面内, 其中: $x=0$, $y=r\sin\theta$ $z=r\cos\theta$	x'	0	$z\sin(\mp\beta)$	$y\sin(\mp\gamma)$
		y'	$y\cos\alpha+z\sin(\mp\alpha)$	y	$y\cos\gamma$
		z'	$y\sin(\pm\alpha)+z\cos\alpha$	$z\cos\beta$	z
		Δx	0	$-z\sin(\pm\beta)$	$-y\sin(\mp\gamma)$
		Δy	$y(1-\cos\alpha)-z\sin(\mp\alpha)$	0	$y(1-\cos\gamma)$
		Δz	$z(1-\cos\alpha)-y\sin(\pm\alpha)$	$z(1-\cos\beta)$	0
	位于 xoz 平面内, 其中: $x=r\sin\theta$ $y=0$ $z=r\cos\theta$	x'	x	$x\cos\beta+z\sin(\pm\beta)$	$x\cos\gamma$
		y'	$z\sin(\mp\alpha)$	0	$z\sin(\pm\gamma)$
		z'	$z\cos\alpha$	$x\sin(\mp\beta)+z\cos\beta$	z
		Δx	0	$x(1-\cos\beta)-z\sin(\pm\beta)$	$x(1-\cos\gamma)$
		Δy	$-z\sin(\mp\alpha)$	0	$-z\sin(\pm\gamma)$
		Δz	$z(1-\cos\alpha)$	$-x\sin(\mp\beta)+z(1-\cos\beta)$	0

表 3 位移向量位于空间任意位置且绕不同轴旋转后的偏差情况

偏差性质	y 方向倾斜 α 角 (绕 x 轴旋转)	x 方向倾斜 β 角 (绕 y 轴旋转)	方位偏差 γ 角 (绕 z 轴旋转)
x'	x	$x\cos\beta+z\sin(\mp\beta)$	$x\cos\gamma+y\sin(\mp\gamma)$
y'	$y\cos\alpha+z\sin(\mp\alpha)$	y	$x\sin(\pm\gamma)+y\cos\gamma$
z'	$y\sin(\pm\alpha)+z\cos\alpha$	$x\sin(\mp\beta)+z\cos\beta$	z
Δx	0	$x(1-\cos\beta)-z\sin(\mp\beta)$	$x(1-\cos\gamma)-y\sin(\mp\gamma)$
Δy	$y(1-\cos\alpha)-z\sin(\mp\alpha)$	0	$-x\sin(\pm\gamma)+y(1-\cos\gamma)$
Δz	$z(1-\cos\alpha)-y\sin(\pm\alpha)$	$z(1-\cos\beta)-x\sin(\mp\beta)$	0

位移向量位于空间任意位置且绕两个轴旋转情况

当位移向量位于空间任意位置,且绕着两个坐标轴旋转时, x 、 y 和 z 的值由式(9)计算,结果列于表4中。

表4 位移向量位于空间任意位置且绕两个轴旋转后的偏差情况

偏差性质	y 方向倾斜 α 角 (绕 x 轴旋转), x 方向倾斜 β 角 (绕 y 轴旋转)	x 方向倾斜 β 角 (绕 y 轴旋转), 方位偏差 γ 角 (绕 z 轴旋转)	方位偏差 γ 角 (绕 z 轴旋转), y 方向倾斜 α 角 (绕 x 轴旋转)
x'	$x\cos\beta+z\sin(\mp\beta)$	$x\cos\beta\cos\gamma+y\sin(\mp\gamma)+z\sin(\mp\beta)\cos\gamma$	$x\cos\gamma+y\cos\alpha\sin(\mp\gamma)+z\sin(\mp\alpha)\sin(\mp\gamma)$
y'	$x\sin(\mp\alpha)\sin(\pm\beta)+y\cos\alpha+z\sin(\mp\alpha)\cos\beta$	$x\cos\beta\sin(\pm\gamma)+y\cos\gamma+z\sin(\mp\beta)\sin(\pm\gamma)$	$x\sin(\pm\gamma)+y\cos\alpha\cos\gamma+z\sin(\mp\alpha)\cos\gamma$
z'	$x\cos\alpha\sin(\pm\beta)+y\sin(\pm\alpha)+z\cos\alpha\cos\beta$	$x\sin(\pm\beta)+z\cos\beta$	$y\sin(\pm\alpha)+z\cos\alpha$
Δx	$x(1-\cos\beta)-z\sin(\mp\beta)$	$x(1-\cos\beta\cos\gamma)-y\sin(\mp\gamma)-z\sin(\mp\beta)\cos\gamma$	$x(1-\cos\gamma)-y\cos\alpha\sin(\mp\gamma)-z\sin(\mp\alpha)\sin(\mp\gamma)$
Δy	$y(1-\cos\alpha)-x\sin(\mp\alpha)\sin(\mp\beta)-z\sin(\mp\alpha)\cos\beta$	$y(1-\cos\gamma)-x\cos\beta\sin(\pm\gamma)-z\sin(\mp\beta)\sin(\pm\gamma)$	$y(1-\cos\alpha\cos\gamma)-x\sin(\pm\gamma)-z\sin(\mp\alpha)\cos\gamma$
Δz	$z(1-\cos\alpha\cos\beta)-x\cos\alpha\sin(\mp\beta)-y\sin(\pm\alpha)$	$z(1-\cos\beta)-x\sin(\mp\beta)$	$z(1-\cos\alpha)-y\sin(\mp\alpha)$

由表4可见,每个轴分量都会产生误差。

位移向量位于空间任意位置且绕三个轴旋转情况

当位移向量位于空间任意位置且绕三个轴旋转时, x' 、 y' 与 z' 由式(9)表示。显然,在这种情况下,每个轴分量都会产生误差。

计算结果分析

如前所述,当位移向量位于某坐标轴或某坐标平面内时,由检波器埋置方位偏差或倾斜所引起的 x 、 y 、 z 三个分量的误差具有较简单的函数关系。这里我们假定位移向量为: $x=1$ 、 $y=1$ 、 $z=1$,用式(9)分别计算绕 x 轴旋转 α 角(图10),绕 y 轴旋转 β 角(图11),绕 z 轴旋转 γ 角(图12),绕 x 轴与绕 y 轴旋转同样角度(图13),绕 y 轴与绕 z 轴旋转同样角度(图14),绕 x 轴与绕 z 轴旋转同样角度(图15),及绕 x 、 y 、 z 轴旋转同样角度(图16)时引起的 x 、 y 与 z 三个分量的误差。由于原位移向量的坐标分量值均为1,故此误差即为相对误差。

由图10与图11可见,绕 x 轴或绕 y 轴旋转时, x 分量或 y 分量不发生误差,相对应的 y 分量或 x 分量均减少,且具有相同的误差,两图中 z 分量都增大且具有相同的误差。

图 12 表示绕 z 轴旋转时, z 分量不产生误差, 而 x 与 y 分量减少且有相同的误差, 故两条

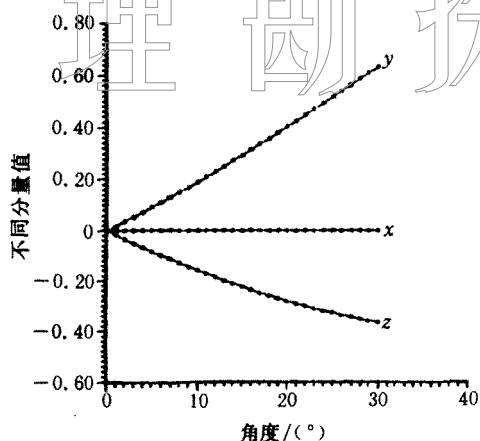


图 10 绕 x 轴旋转时三个分量的误差变化情况
位移向量为 $x=1, y=1, z=1$

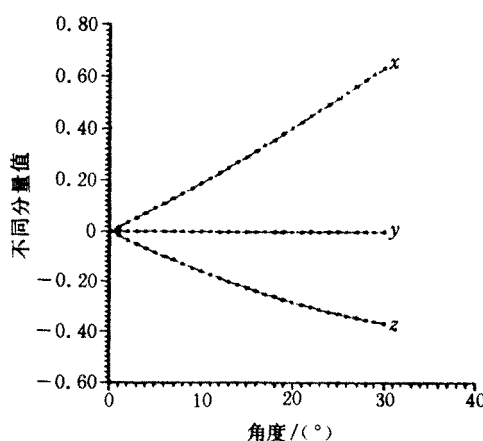


图 11 绕 y 轴旋转时三个分量的误差变化情况
位移向量为 $x=1, y=1, z=1$

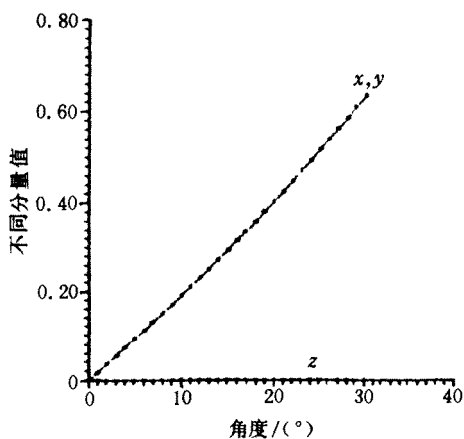


图 12 绕 z 轴旋转时三个分量的误差变化情况
位移向量 $x=1, y=1, z=1$

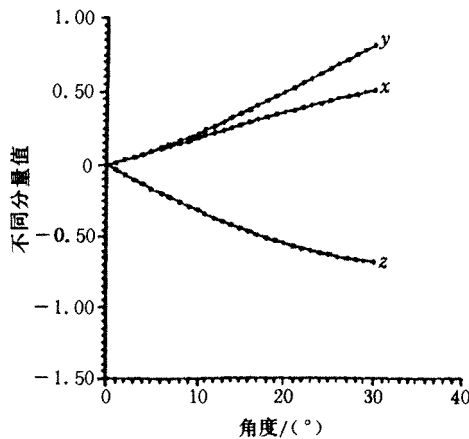


图 13 绕 x 轴与 y 轴旋转同样角度时三个分量的误差变化情况
位移向量 $x=1, y=1, z=1$

误差曲线重合。

由图 13 与图 10 相比较可见, 由于同时发生绕 x 与 y 轴的旋转, 所以图 13 中 y 分量与 z 分量的误差都比图 10 的大, 且图 13 中 x 分量也产生误差。分别比较图 15 与图 10, 图 13 与图 11, 图 14 与图 11, 图 14 与图 12 都可得到类似结论, 表明误差是相加的。但图 15 与图 12 相比较, y 和 z 分量的误差增大, 但 x 分量的误差却减小, 这说明后者由绕 x 轴旋转与绕 z 轴旋转产生的误差部分抵消。

图 16 表明, 除绕 y 与 z 轴同时旋转的 x 分量外, 绕 x, y, z 轴同时旋转产生的误差比绕一个轴或两个轴旋转产生的误差大。

为更清楚地说明其相对误差数值范围, 表 5 列出了旋转角度为 $1^\circ, 3^\circ, 5^\circ$ 与 10° 时的 $\Delta x, \Delta y$ 与 Δz 值。

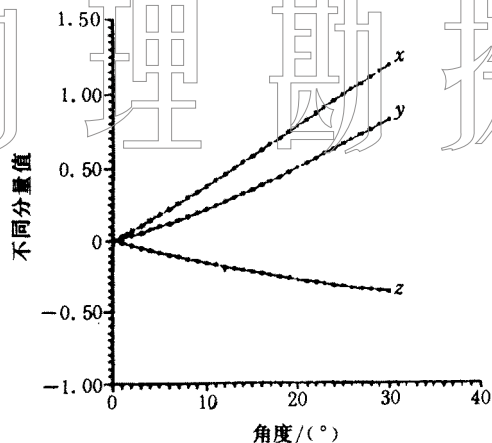


图 14 绕 y 轴与 z 轴旋转同样角度时,三个分量的误差变化情况
位移向量 $x=1,y=1,z=1$

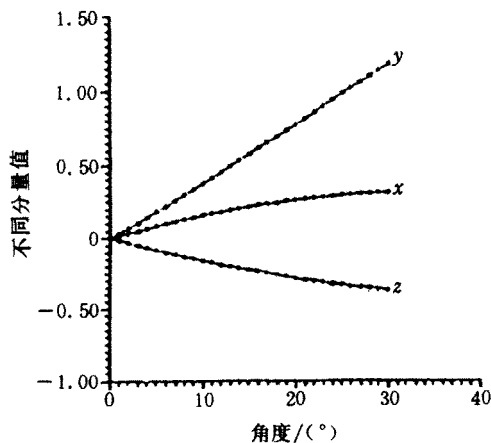


图 15 绕 x 轴与 z 轴旋转同样角度时,三个分量的误差变化情况
位移向量 $x=1,y=1,z=1$

表 5 绕不同坐标轴从不同角度旋转的相对误差分量值

误差分量 偏差角度 (°)	Δx				Δy				Δz			
	1	3	5	10	1	3	5	10	1	3	5	10
绕 x 轴旋转	0	0	0	0	0.018	0.054	0.091	0.189	-0.017	-0.051	-0.083	-0.158
绕 y 轴旋转	0.018	0.054	0.091	0.189	0	0	0	0	-0.017	-0.051	-0.083	-0.158
绕 z 轴旋转	-0.018	0.054	0.091	0.198	0.018	0.054	0.091	0.189	0	0	0	0
绕 x,y 轴同时旋转	0.018	0.054	0.091	0.184	0.018	0.056	0.098	0.216	-0.035	-0.102	-0.166	-0.314
绕 y,z 轴同时旋转	0.035	0.107	0.181	0.374	0.018	0.056	0.098	0.216	-0.017	-0.051	-0.083	-0.158
绕 x,z 轴同时旋转	0.017	0.051	0.083	0.156	0.035	0.107	0.181	0.375	-0.017	-0.051	-0.083	-0.158
绕 x,y 轴同时旋转	0.035	0.104	0.173	0.337	0.036	0.113	0.196	0.429	-0.035	-0.102	-0.166	-0.314

结 束 语

经过计算分析得到以下两点结论:

(1)若以 10%误差作为界限,偏差角度应控制在 3° 左右。一般进行三分量地震采集可以此为参考。

(2)若以 5%误差作为界限,偏差角度应控制在 1° 左右。一般进行九分量地震采集可以此为参考。

1994 年夏季笔者曾在大庆油田测试过三分量检波器 (Omniphone),并与加拿大专家 James 讨论过三分量检波器的埋置误差,他建议方位偏差控制在 1° ,倾斜偏差控制在 0.5° 。

这个意见与我们计算分析的结论是一致的。为此,笔者在《“Omniphone”性能分析及问题探讨》

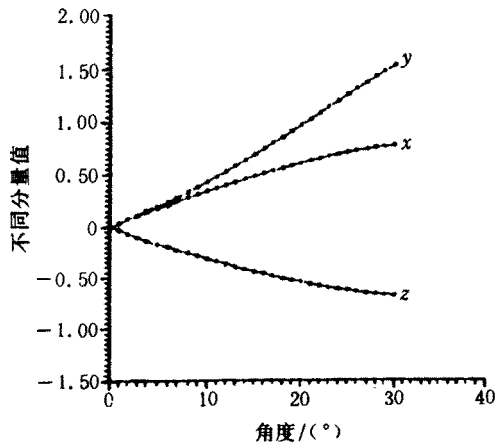


图 16 绕 x,y,z 轴旋转同样的角度时三个分量的误差变化情况
位移向量为 $x=1,y=1,z=1$

一文中建议在“Omniphone”中加装罗盘和调平螺丝装置,可以保证野外施工质量。

参 考 文 献

- 1 师先进.三分量地震检波器的转换方式及误差分析.上海地质,1992,(3)
- 2 Lawton D C. *Field Test of 3-Component Geophones*, Geophysical Technology Company

· 消息 ·

“人机联作三维一步法地震偏移软件包”通过评审

地质矿产部上海海洋石油勘探开发研究院副总工程师徐峰为首的课题组以 Sun 工作站为开发平台,研制了三维波动方程一步法地震偏移方法及其一整套处理软件包,实现了人机联作三维一步法时间偏移和深度偏移。该成果于 1994 年 9 月 21 日在上海通过了评审。

以中科院院士、上海同济大学海洋地质系教授马在田为首的专家组,对这一研究成果进行了鉴定并给予了高度评价,认为该课题的技术思路和方法是正确、先进的,在三维偏移数值计算方法和程序设计方面有创新、属国内首创。该软件包在计算方法和软件编制上有如下特色:

(1)采用一步法有限差分偏移,算法稳定,编程简洁,归位误差小,有助于以后的岩性处理。

(2)时间偏移已成功地应用于大面积复杂构造的三维偏移;深度偏移对消除折射效应效果明显。

(3)具有串级偏移及适应大倾角的功能,便于推广到三维叠前偏移中。

(4)用自然近似延伸边界作边界处理,避免了充零道;提出了快速近似矩阵解法,省去了常规追赶法中的 LU 分解;综合比较现有各种偏移算法,提出了分裂补偿算法,提高了归位精度。

(5)人机联作方式使解释人员通过与计算机交互对话,便于检查和修改速度模型、确定最佳偏移参数;对数据体能任意抽稀和加密,便于迭代选参数。解释和处理相结合,有利于提高偏移质量,缩短处理解释周期。

(6)设计了三维数据体文件格式,与工作站原有解释软件兼容,可对整个处理过程监控。

(7)为确保长时间工作的连续性,设计运用了断点接头处理技巧。

(8)偏移软件采用拟汇编型的 FORTRAN 语句,例如多重循环单重化、多维数组一维化等,大大提高了 FORTRAN 编译后的目标程序质量。

由于具备以上技术特点,使该偏移方法软件高效、低耗、实用,比通常方法软件提高效率 1 至 2 倍。

迄今为止,已用三维一步法偏移软件对点源数学模型、French 物理模型、海洋及陆地三维资料进行了处理,取得了令人满意的结果。偏移质量比两步法有明显提高,处理速度大大加快。以对我国西北地区陆上一块 148 km^2 三维资料作偏移处理为例。该区资料面元有 12 万个,5 s 长记录,2 ms 采样。若在大型机 IBM-3081 上作两步法偏移,需时约两周,25 万元人民币。而现在用本方法在解释工作站上处理,只花了 8 天时间,处理经费只有大机器的三分之一,经济效益十分显著。

冯诗齐