

· 经验交流 ·

二维地震剖面上的侧面波特点

王 根 照

(渤海石油公司研究院)

摘 要

王根照: 二维地震剖面上的侧面波特点, 《石油地球物理勘探》, 24(3)1989: 321~329

本文根据波的射线传播原理, 结合地质模型及其实例, 论述了二维地震剖面上侧面断面波等四种主要侧面波的产生机理及特点。它们一般在大倾角地层和高角度的反向正断层地区的平行(或近于平行)地质构造走向的地震剖面上出现, 皆属一次反射波, 只是反射点的位置与正常反射波不同。因此, 用目前使用的二维地震资料常规处理方法均无法消除它。

为了识别和利用侧面波, 本文认为在一条地震测线上出现两个(或两个以上)方向的反射波时, 偏离测线较远的一个(或几个)波则为侧面波; 在一个连续的反射段上, 其中一段的波可为正常波, 另一段的波可视为侧面波。据此定义, 对辽东湾地区二维地震剖面上的侧面波进行了解释, 其结果与地下地质构造形状吻合很好。

关键词: 二维地震 侧面波

ABSTRACT

Wang Genzhao: Side wave on 2-D seismic section, OGP, 24(3)1989: 321~329

The generation mechanisms and characters of four kinds of side-waves, such as side fault-plane wave, on 2-D seismic section are expounded using seismic ray theory together with geological model and real example. The side waves usually occur on the seismic section that is parallel (or near parallel) to the trend of geological structure in the area where there are steep formations and steep normal faults dipping against the bed. The side waves are primary reflections whose reflecting locations are different from that of ordinary reflections; therefore, they can not be removed in present conventional 2-D seismic data processing.

In order to identify and use side waves, the author advanced the

principle: when the reflections from two (or more) different directions appear on a seismic section, the one (or more) reflection that has greater deviation from the seismic line is side wave; of a continuous reflection event, one segment may be considered as normal reflection, while the other segment as the side wave. With the use of this principle, the author made interpretation of side waves on seismic sections in Liaodong bay. The interpretation result coincides with the subsurface geological configuration very well.

Key words: 2-D seismology, side wave

在石油和地质矿产的勘探中,由于技术条件和勘探费用的限制,现在大部分地区仍在使用二维地震勘探。在二维地震剖面上常常出现一种侧面波,此波也是一种有效波,但它的反射点位置与正常反射波不同,因此,目前使用的二维地震资料常规处理方法无法消除它。这样,就给二维地震资料解释造成了一定困难。

本文根据波的射线传播原理,论述了侧面波在二维地震剖面上的几种主要表现形式,这对识别和利用侧面波具有一定的参考价值。

侧面波的几种主要表现形式

同一地震剖面上出现两个或两个以上相同的反射波

在图1中,R为地下一弯曲界面,其底面为水平面,侧面与地面之间的真倾角为 α ;X和Y为地面上两条十字相交的测线,它们分别垂直和平行地层走向。根据波的射线传播原理^[1],在X测线所得到的法向射线平面是 $X_0X_1X'_1X'_0$;由于Y测线的正下方是水平界面,因而它有两个法线平面,即 $Y_0Y_1Y'_1Y'_0$ 和 $Y_0Y_1Y''_1Y''_0$ 。为了更直观地说明问题,沿图1中X测线方向切一条剖面示于图2a,图中的 OO' 和 OO'' 显然是R界面上不

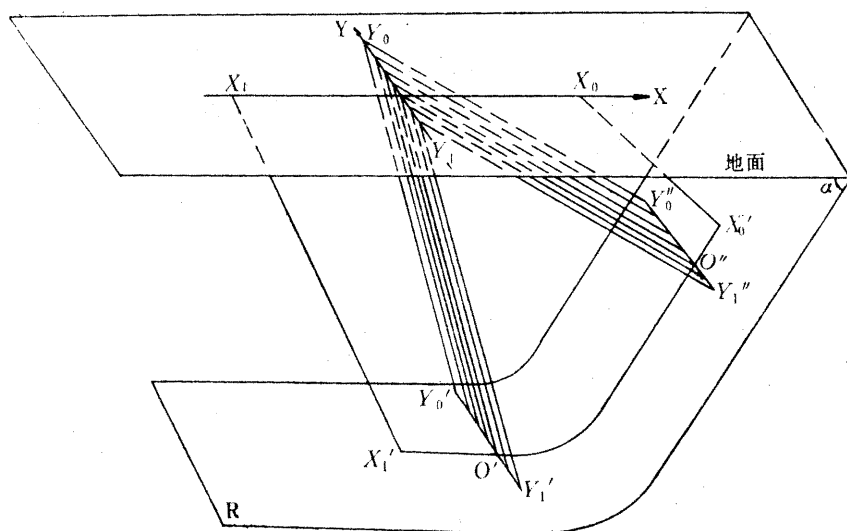


图1 产生两个反射波的弯曲界面模型

同反射点的法向射线,即分别属于 $Y_0Y_1Y_1'Y_0'$ 和 $Y_0Y_1Y_1'Y_0'$ 射线平面中的一条射线,这说明在Y测线上可接收到R界面两个方向上的反射波。如果图2a中射线 OO' 和 OO'' 的长度不等,那么,在Y测线上可接收到来自R界面、且 t_0 时间不同的两个反射波(图2b),其中图2a中 OO'' 射线方向的波则属侧面波。

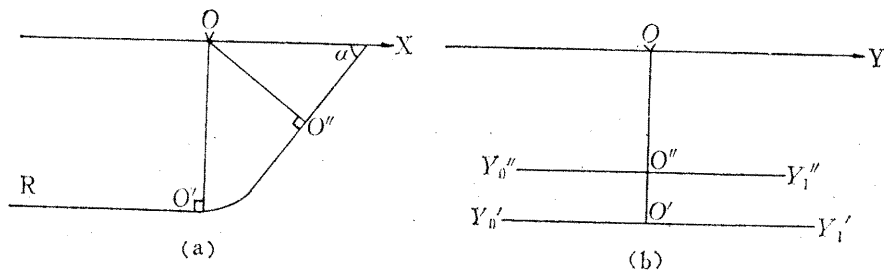


图2 图1中X测线的法向射线(a)及其在Y测线接收的相应反射波(b)

图3是辽东湾地区平行于地层走向的LL54测线的地震偏移剖面。图中有上、下两个 T_4 反射波,其波的能量和波组特征都很相似。将此剖面与与其成十字相交的LZ200测线的地震偏移剖面进行对比(图4)可知,图3中上、下两个 T_4 波分别是图4中断层上、下盘界面的反射波。这说明,图3中上、下两个 T_4 波是同一界面的反射波,上面的 T_4 波则属侧面波。

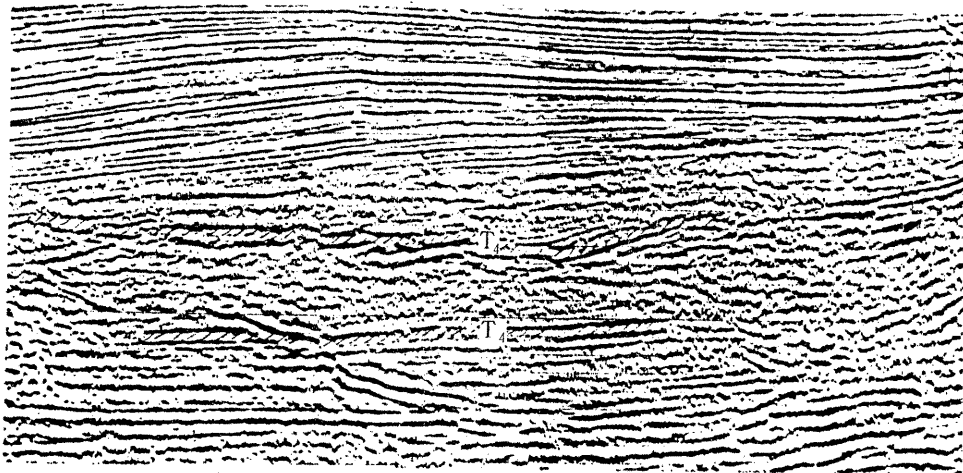


图3 辽东湾地区的LL54测线地震偏移剖面

除上述这种情况外,还有多种条件能形成侧面波。例如,在反向正断层附近就会产生侧面波(图5)。图5中X测线垂直于断层和地层走向,射线A和B分别是断层下降盘和上升盘的法向射线。显然,在与图5中X测线垂直、且通过O点的地震剖面上会有两个属同一反射界面(R)、不同断盘的反射波。

另外,如果地下地质条件合适,在同一界面会产生三个或三个以上的反射波。在图6a、6b中,如果A、B、C三条法向射线的长度不等,在与X测线垂直、且过O点的地震剖面上,将会出现来自界面R、三个时间不等的反射波。当地下是一个碗状小洼

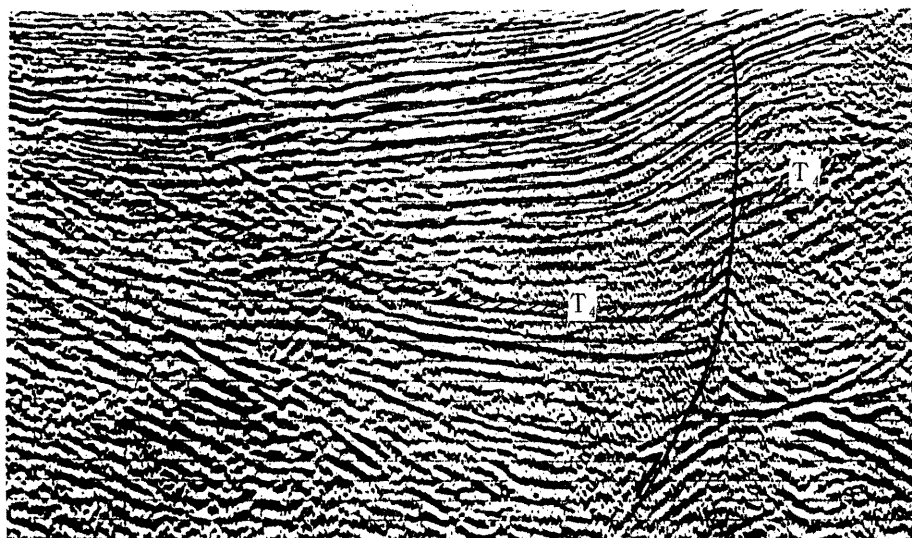


图 4 辽东湾地区的LZ200测线地震偏移剖面

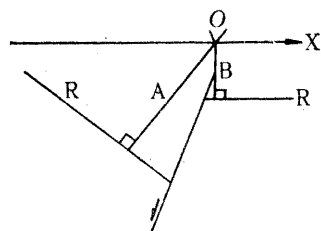


图 5 产生两个属同一界面、不同断盘反射波的地质模型

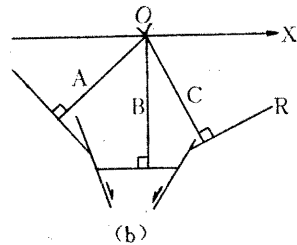
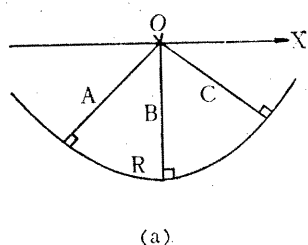


图 6 产生三个时间不等、且属同一界面反射波的地质模型

陷或者是一个由多条断层形成的盆状小洼陷时，在地震剖面上将会出现三个以上来自同一反射界面的反射波。

多个反射波产生的叠合及倒序

在图 7 中， R_2 为一倾斜界面，其界面真倾角为 α ； R_1 为超覆在 R_2 之上的一水平界面， X 、 Y 为地面上两条十字相交、且分别平行和垂直于地层走向的测线。由射线传播理论可知，在 X 测线可分别接收到 R_2 、 R_1 两个界面的 X'_1Q 和 DX'_0 段的反射波（即图 8a 中 R_1 、 R_2 界面实线段部分的反射）。而在 Y 测线接收到的是两个互相平行反射段（ $Y'_0Y'_1$ 和 $Y'_0Y'_1$ ）的反射波（图 8b）。很清楚，如果波在图 8a 中 OO' 和 OO'' 的旅行时间相等，那么在 Y 测线上就会产生 R_1 和 R_2 界面的反射波叠合；如果时间不等，两界面的反射波就会分离。这里值得注意的是：当波在 OO' 的旅行时间大于波在 OO'' 的旅行时间时，两界面的反射波在 Y 测线上将出现倒序现象，即 R_2 界面的反射波位于 R_1 界面的反射波之上（图 8b）。

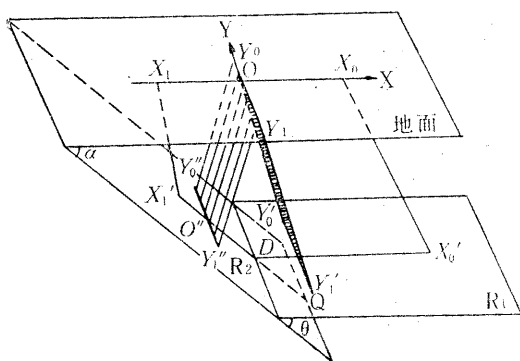


图7 反射波产生叠合、倒序的两层地质模型

从图8a还可以看出,不同界面的反射波发生叠合、倒序主要取决于 R_2 界面的真倾角 α 和 R_1 、 R_2 界面之间的夹角 θ (假设测线位置一定)。假定 R_1 界面始终

保持水平,那么, R_1 和 R_2 界面的反射波将随 α 角的增大而发生叠合和倒序。如果 α 角一定, θ 角发生变化时,有以下三种情况:①当 $\theta < \alpha$ 时,随着 θ 角的逐渐变小, O' 点则渐渐向上倾方向的超覆点靠近,当 θ 角继续减小时, O' 反射点则消失。这时,在Y测线上接收不到 R_1 界面的反射波;②当 $\theta = \alpha$ 时(图8a),在Y测线上是否能产生 R_1 和 R_2 界面反射波的叠合和倒序要取决于 α 角的大小;③当 $\theta > \alpha$ 时,随着 θ 角逐渐增大,图8b中 R_1 界面的反射波也渐渐上移,由倒序变为正序,直至远远高于 R_2 界面的反射波。

如果在图7中 R_1 和 R_2 界面之间有多个既不平行于 R_1 也不平行于 R_2 的超覆界面,在Y测线上所接收到的反射波将更为复杂,在此不再赘述。

图9是辽东湾地区地层超覆带上的LL48测线地震偏移剖面,图中箭头所指的基底反射波,同相轴多、连续性差,这主要是由于多个界面的反射波

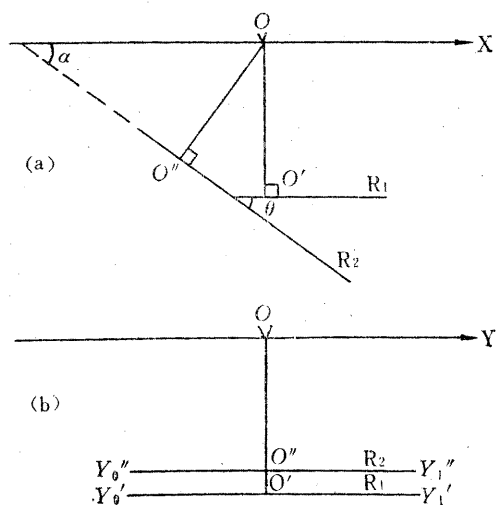


图8 在X测线所接收的反射段长度(a)及其在Y测线的反射波倒序情况(b)

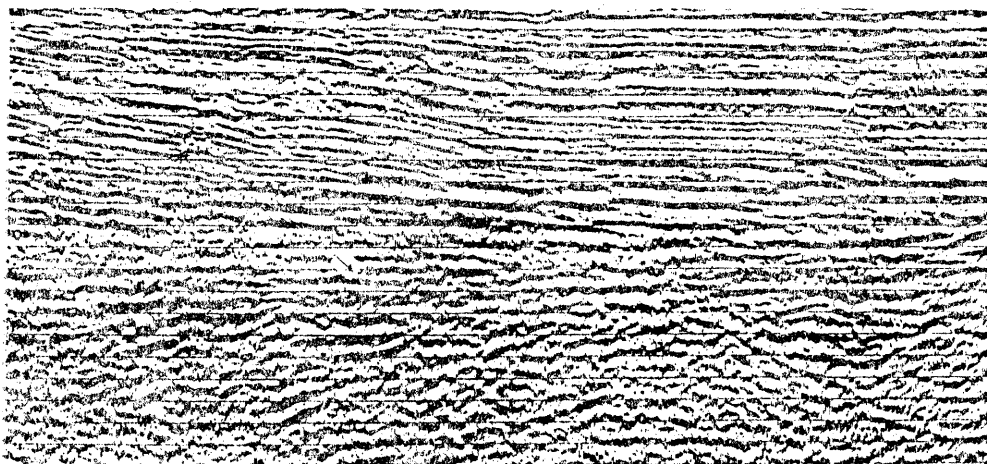


图9 辽东湾地区LL48测线的地震偏移剖面

旅行时间相近造成的。

图 10 是辽东湾地区中段 LL35 测线的地震偏移剖面, 图中 T_z 为中生界底界的反射波, 上面箭头处弧状的强反射波为来自侧面的断面波, 它与 T_z 波构成一个典型的透镜状, 其内部反射特征也与附近不同。如果单从这条剖面来看, 通常都会认为是透镜体的反射, 因为, 在与之平行的一些剖面上也出现了这种大小不等、类似上述透镜体状的反射。但是, 通过对比发现, 在与上述测线垂直的地震剖面上, 箭头处的弧状反射波则消失。这说明, 此波是来自侧面的断面波。

图 11a 是产生上述侧面断面波的地质模型, 图中 Y 为沿地层走向的地震测线, R 为地下一倾斜界面, 它被一条弯曲断层 F 切割。从图中可以看出, 在 Y 测线上既可接收到断层下降盘 R 界面的反射波, 也可接收到断层面上方的反射波 (即 T_0T_1 和 S_0S_1 反射段)。很显然, 由于断层的小角度弯曲, Y 测线到断面的射线长度小于到 R 界面的射线长度, 因此, 在短距离内 Y 测线上接收到的侧面断面波 (S_0S_1) 呈现弧状反射 (图 11b)。这与图 10 中箭头所指的断面侧面波显示的情况基本相似。

另外, 从图 11a 中还可以看出, 地层倾角 α 、断层倾角 β (断层弯曲不变) 和测线 Y 的位置是产生上述地质现象的决定因素。如果 α 和 β 不变, 测线 Y 从右向左逐渐移动, 在图 11b 上的 S_0S_1 断面波则从上往下移动, 直至完全消失。上述在平行 LL35 测线地震剖面上出现的大、小不等透镜体状反射就属此种情况。

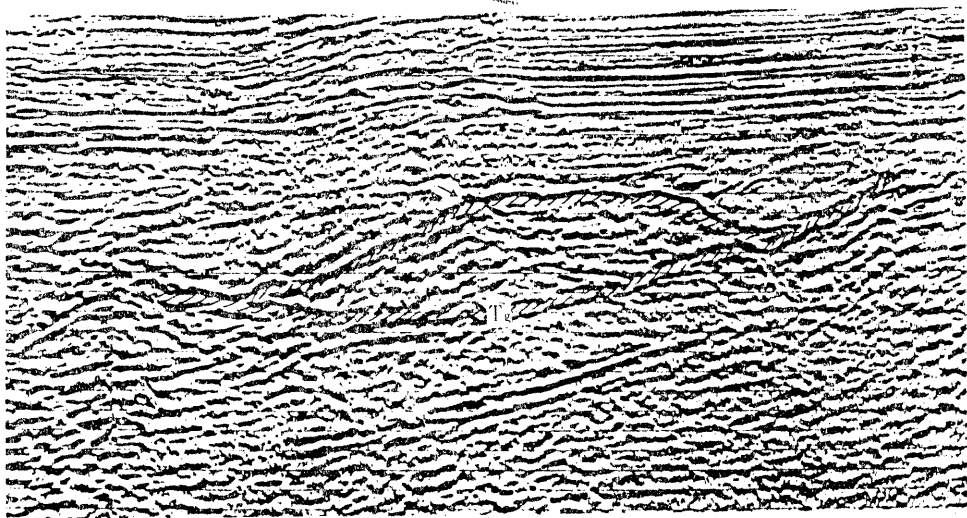


图 10 辽东湾地区中段 LL35 测线地震偏移剖面

如果 α 、 β 及测线 Y 的位置都发生变化时, 在 Y 测线上接收到的反射会更加复杂, 在此也不再赘述。

在图 11a 中, 假设断面是一个斜平面, 测线垂直于断层走向, 在地震剖面上将会出现类似于 R 界面反射波的断面波; 如果测线以小角度斜交断层走向, 在短距离范围内则会出现以小角度与 R 界面反射波交叉的断面波。类似这种情况, 在实际工作中是常见的, 因此, 要注意区分波的性质。

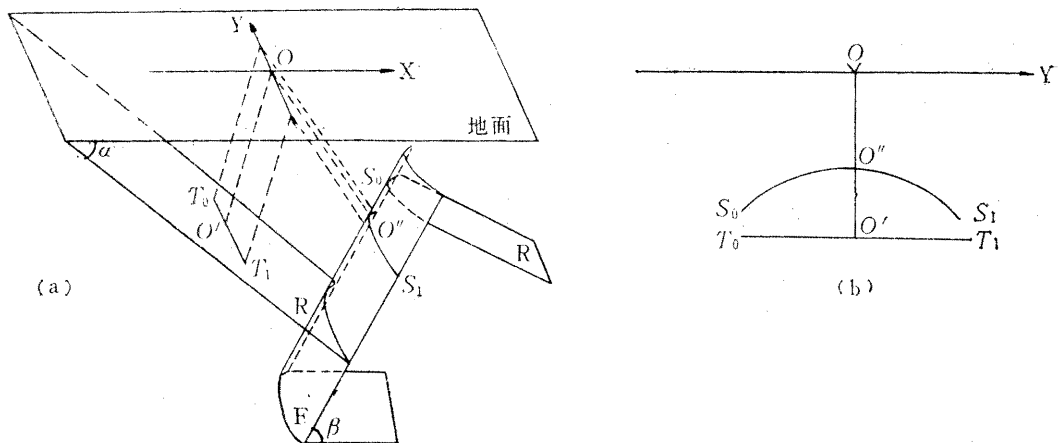


图 11 产生侧面断面波的地质模型 (a) 及其波的形状 (b)

反向正断层附近的侧面波

当地震测线斜交反向正断层的走向时，在地震剖面上往往正断层显示为逆断层。这种假象是由于侧面波的干扰造成的。

图 12a 为反向正断层的地质模型。图中 MN 为地面上斜交断层和地层走向的地震测线， R 为地下一倾斜界面，它被一条反向正断层 F 切割，并且两盘的地层倾向不变。从图中可以看出，在 MN 测线上既可接收到断层下降盘的反射波（即 $M'N''$ 反射段的波），也可在测线 MN 的 ON 段上接收到断层上升盘的反射波（即 $O'N'$ 反射段的波），其反射波的形状如图 12b 所示。

在图 12a 中，测线 MN 到 $O''N''$ 反射段的距离较 $O'N'$ 反射段远，如果此段的反射波和 $O'N'$ 段下部界面的反射波发生叠合、干扰，往往使 $O''N''$ 反射段的反射波能量剧减。尽管这样，在图 12b 中， $M'N''$ 段反射波之间是无法解释断层的。这种类似于逆断层的反射波假象，是由于在 MN 测线的 ON 段，先后可接收到断层上升盘 $O'N'$ 段反射波和断层下降盘 $O''N''$ 段反射波（即视为侧面波）造成的。

图 13 是辽东湾地区 LL42 测线的地震偏移剖面。图中 T_4 波组特征比较清楚，同相轴可连续追踪，只是在箭头左边的虚线处，反射波才明显变弱、中断。如果单从这条剖

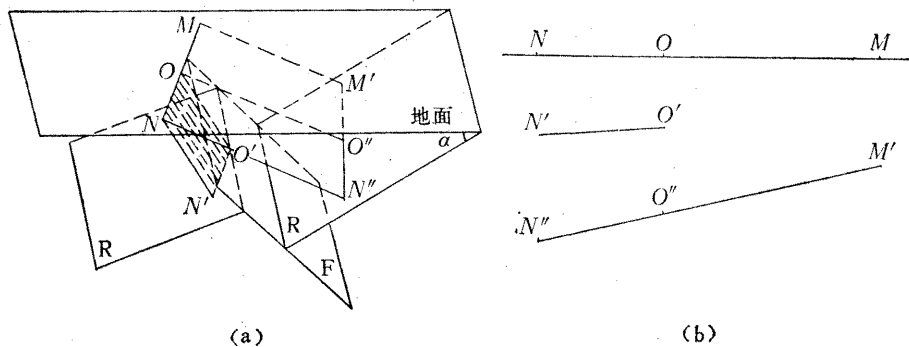


图 12 反向正断层地质模型 (a) 及其反射波的形状 (b)

面来看,显然,在图中虚线处可解释出一条逆断层。其实,此断层是一条正断层,实线为断层线。在下降盘的实线以东为正常反射波,实线以西箭头处则视为侧面波。

图 14 是辽东湾地区 LL24 测线的地震偏移剖面。图中的 T_4 反射波在剖面中部呈明显的剪刀型,其中向东倾没的一枝为断面波。如果没有这个断面波,会将这个反向正断层误认为是一条逆断层。

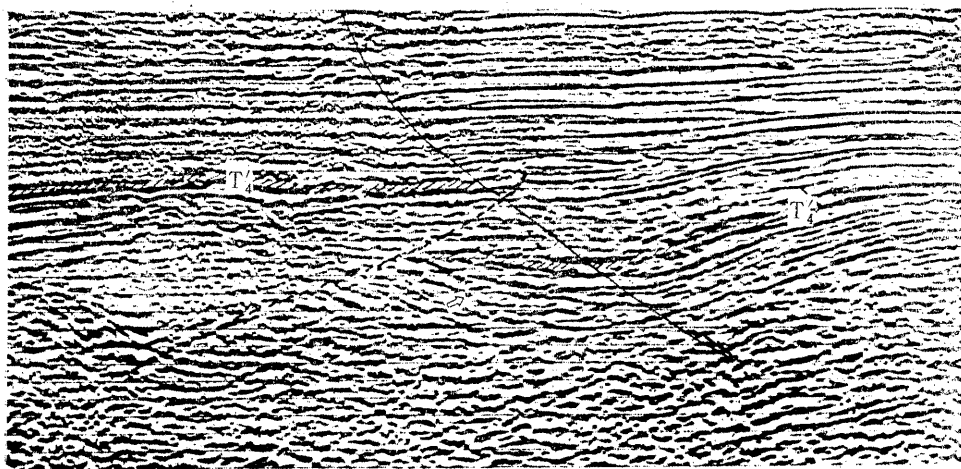


图 13 辽东湾地区 LL42 测线的地震偏移剖面

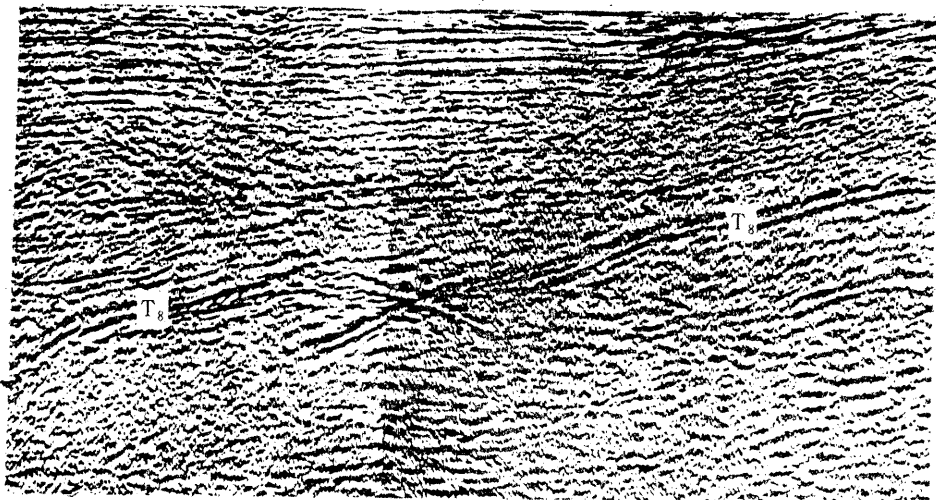


图 14 辽东湾地区 LL24 测线的地震偏移剖面

上述四种主要侧面波,一般在大倾角地层和高角度的反向正断层附近、平行或近于平行构造走向的地震剖面上出现。如果地下地质条件复杂^[2],剖面上的侧面波表现形式也增多。因此在解释侧面波时要多设想几种地质模型,力求作出正确的地震地质解释。

反射波的消失和侧面波的利用

在图 3 中,如果对下面的 T_4 反射波进行对比、追踪,将会发现此波在左、右两边都突然消失。这种现象,是由于地下弯曲界面的走向发生了变化,来自凹陷边缘陡峭部

位的反射波未能接收到的缘故,而并非是在剖面的右边出现了断层或地层尖灭。

图3中上面的 T_4 波属于侧面波,但它的连续性较差,如果用它与图4中断层上升盘的 T_4 波进行闭合、追踪,可对构造侧面的地层作出相应的地质解释。这说明,在地震地质资料解释中,侧面波是可以利用的,不能把来自侧面的波都看作是干扰波。另外,用侧面波还可计算不同方向的速度参数等。在此不再详述。

结束语

1. 为了便于地震资料解释,在一条测线上如果出现两个(或两个以上)方向的反射波时,偏离测线较远的一个(或几个)波可作为侧面波。这样,在一个连续的反射段上,其中一段的波可为正常波,另一段的波可视为侧面波(图12、13)。这样定义,不仅利于对侧面波的识别,而且利于将剖面反映的构造形态与地下地质构造形状吻合起来。

2. 侧面波在二维地震水平叠加和偏移剖面上是一种常见波,对此波正确地进行解释,不仅能提高地震勘探成果的精度,而且可减少钻探工作中的失误。因此,对侧面波的研究工作应引起足够的重视。

参考文献

- [1] 陆基孟等:《地震勘探原理》,石油工业出版社,1982
- [2] 杨治楷:四川东部陡构造地震资料解释,《石油地球物理勘探》,22(6)1987:705~713

(上接第320页)

结束语

用瞬变电磁法与地震等物探方法配合进行综合解释,有助于解决一些地震勘探有困难的问题,如确定高速层以下的构造等;与测井资料配合,还可以确定油水边界及地层孔隙度。我们将与联邦德国联合在我国开展瞬变电磁法用于油气勘探的试验工作,相信这次试验将有助于尽快使瞬变电磁法在国内推广使用。

本文在写作过程中得到了科隆大学地球物理与气象研究所K.M.Strack博士及P.A.Wolfgram博士的大力协助。同时,笔者还要感谢毛立言副总地质师和刘威北主任工程师对这项工作的支持和鼓励。

参考文献

- [1] Kaufman, A.A., Keler, G.V.: *Frequency and Transient Soundings*, Elsevier, New York, 1983
- [2] Stoyer, C.H., Strack, K.M.: The deep transient electromagnetic (TDEM) sounding technique, 46th EAEG Meeting, 1984:401
- [3] Lippolt, H.J.: Distribution of volcanic activity in space and time, Plateau Uplift, West Germany, 1983