

# 起伏界面折射波时距曲线及其解释

单娜琳 程志平

(桂林工学院应用物理与计算机系)

**摘 要** 推导出向、背型地质界面上的折射波时距曲线方程。此曲线形态与水平、倾斜、直立界面上的时距曲线相似。因此, 折射波时距曲线反演具有多解性, 利用追逐和相遇时距曲线观测系统获得实测数据, 结合广义互换时法中的速度分析判断界面形态, 可以减小或消除多解性。对比了  $t_0$  法与广义互换时的优缺点, 并举例说明广义互换时法可更详细地确定界面形态。

**关键词** 地震勘探; 折射波法; 向型和背型界面; 广义互换时法

**中图分类号** P631.426

## 1 隐伏起伏界面的折射波时距曲线

在工程地基勘察或水文地质调查中经常遇到向型或背型折射界面, 下面分别讨论在界面倾角较小时这两种界面上的时距方程和时距曲线。

### 1.1 向型界面的时距方程及时距曲线

向型界面地质模型如图 1a 所示。界面上下的速度分别为  $V_1, V_2, V_2 > V_1$ 。激发点与界面的垂直距离  $h$ , 界面倾角突然变化的位置在地面上的投影点位置为  $B$ , 界面倾角为  $\varphi$ 。为了计算方便, 选用的模型相对于  $B$  点对称。在地面  $O_1$  点激发,  $\overline{O_1 O_2}$  段接收。折射波的传播路径为  $O_1-A-B'-C-O_2$ 。所得到的相遇时距曲线如图 1b 所示。 $O_1$  点激发所得到的时距曲线由 2 段折线  $S_1, S_2$  组成。 $S_1$  直线段的时距方程为:

$$t_1 = (2h \cos i) / V_1 + x \sin(i + \varphi) / V_1$$

在地面对应的接收范围为:

$$2h \sin i / \cos(i + \varphi) \leq x \leq \overline{OB} [1 + \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg}(i + \varphi)] + h \operatorname{tg}(i + \varphi) / \cos \varphi$$

$S_2$  直线时距方程为:

$$t_2 = 2h \cos(i - \varphi) / (v_1 \cos \varphi) + x \sin(i - \varphi) / V_1 + \overline{OB} \operatorname{tg} \varphi \cos(i - \varphi) / V_1$$

对应的接收范围为:

$$x \geq \overline{OB} [1 + \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg}(i - \varphi)] + h \cdot \operatorname{tg}(i + \varphi) / \cos \varphi$$

图1中所用的计算参数为:  $V_1 = 800 \text{ m/s}; V_2 = 2000 \text{ m/s}; \varphi = 10^\circ; \overline{OB} = 100 \text{ m}; h = 20 \text{ m}; i = \sin^{-1}(V_1 / V_2)$ 。

### 1.2 背型界面的时距方程及时距曲线

背型界面地质模型如图 2a 所示, 各参数意义与图 1a 相同。背型界面的时距曲线如图 2b

1994年12月26日收稿, 1995年2月20日改回。

第一作者简介: 单娜琳, 女, 1954 年出生, 讲师, 应用地球物理专业。

所示。由  $O_1$  点激发所得到的的射波时距曲线同样由 2 段折线  $S_1$ ,  $S_2$  组成。其中  $S_1$  段的时距方程为:

$$t_1=2h\cos i / V_1+x\sin(i-\varphi) / V_1$$

在地面上对应的接收范围为:

$$2h\sin i / \cos(i-\varphi) \leq x \leq \overline{OB} [1-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg}(i-\varphi)]+h \operatorname{tg}(i-\varphi) / \cos \varphi$$

$S_2$  段的时距曲线为:

$$t_2=2 h \cos (i+\varphi) /\left(v_1 \cos \varphi\right)+x \sin (i+\varphi) / v_1-\overline{O B} \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos (i+\varphi) / V_1$$

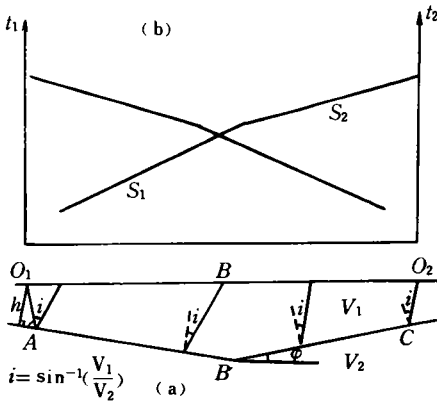


图 1 向型折射界面及相遇时距曲线

Fig. 1 The forward and reversed profile time-distance curve over the synform interface

在地面上对应的接收范围为:

$$x \geq \overline{O B} [1-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg}(i-\varphi)]+h \cdot \operatorname{tg}(i-\varphi) / \cos \varphi$$

背型界面的相遇时距曲线如图 2 b 所示, 计算所用的参数  $h=15 \mathrm{~m}$ , 其余与向型界面相同, 向型与背型界面的时距方程可以用上述公式进行正演计算。

2 界面形态的判断

从向型或背型界面的单支时距曲线上, 无法判断地下折射界面形态, 因为单支时距曲线与水平三层及覆盖层下单个直立界面的曲线形态完全相似, 也就是说图 3 中的时距曲线至少有 3 种地质解释。

用相遇时距曲线同样无法解决界面的形态问题。当向型或背型界面不对称时, 其时距曲线形态与水平或倾斜三层大地, 覆盖层下单个直立界面的曲线形态 (图 4) 仍然相似。为了正确地判断界面的形态。应利用追逐观测系统获得更多的界面信息。从向型界面和三层层状大地上的追逐时距曲线 (图 5 a, b) 可知, 当界面倾角突然变化时,  $O_1, O_2$  两个激发点的折射波时距曲线斜率突然变化的位置相同, 而在层状大地上, 时距曲线斜率变化的位置随激发点的位置变化而改变。但起伏界面的追逐时

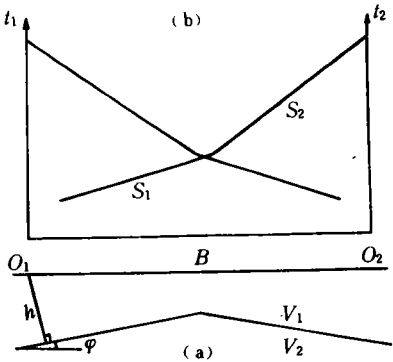


图 2 背型折射界面及相遇时距曲线

Fig. 2 The forward and reversed profile time-distance curve over the antiformal interface

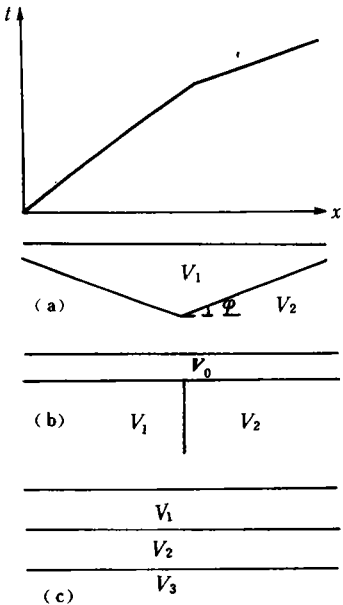


图 3 简单观测系统的时距曲线的多解性

Fig. 3 The ambiguity of the time-distance curve of simple profile

距曲线形态与单个直立界面的曲线非常相似(图 5 a, c)。追逐时距曲线提供的信息是: 不同激发点的时距曲线的斜率在测线上同一点发生变化时, 地下折射界面必定是某种特殊的地质状态——界面倾角突然变化或岩性突变(横向速度变化)。要彻底解决多解性的问题, 可以使用广义互换时法中的速度分析。若是起伏界面, 则速度分析曲线为直线; 若是横向速度变化, 则速度分析曲线为折线。

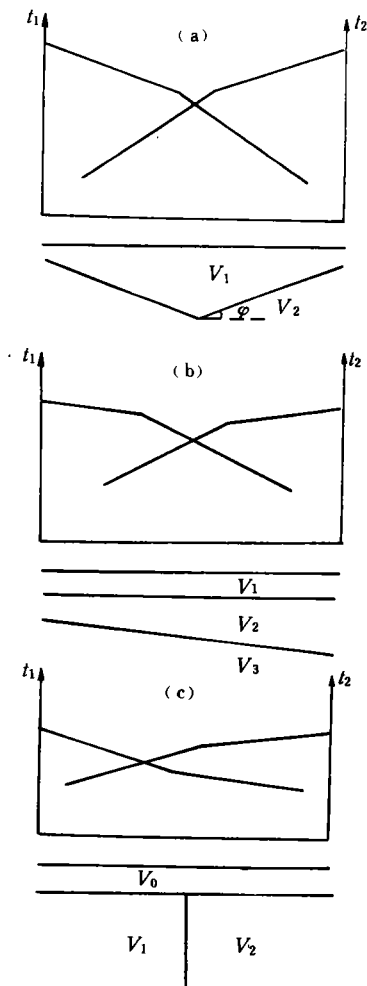


图 4 相遇观测系统时距曲线的多解性

Fig. 4 The ambiguity of the time distance curve of the forward and reversed profile

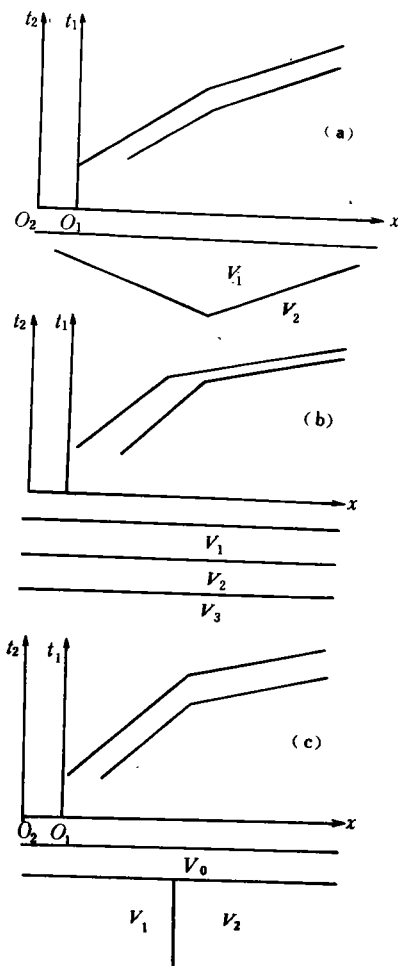


图 5 3 种地质条件下的追逐时距曲线

Fig. 5 The offset profile time-distance curve over three geological models

### 3 用 $t_0$ 法解释起伏界面深度中存在的问题

$t_0$  法求界面深度是国内广泛应用的方法。 $t_0$  函数假设为<sup>(1)</sup>:  $t_0 = t_1 + t_2 - t_{AB}$

其中:  $t_1 = t_{O_1ABS}$ ;  $t_2 = t_{O_2DCS}$ ;  $t_{AB} = t_{O_1DCO_2}$ ; (互换时间)。式中各时间参数参见图 6。 $t_0$  法中假设  $\triangle SBC$  为等腰三角形,  $h_s$  为三角形的高, 也就是折射界面在  $S$  点的深度。如果界面水平用此方法可得到较准确的深度, 但当界面向上或向下弯曲, 或为向型、背型时, 解释深度就会小于或大于真实深度, 如图 7 a, b 所示,  $h_s$  表示解释的深度。由此可知, 用  $t_0$  法计算

起伏界面的深度, 会使界面趋于平缓。

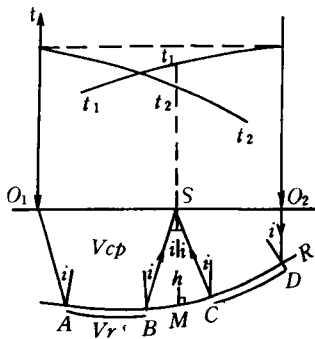


图6  $t_0$  波传播路径图

Fig. 6 Propagation path of the wave in  $t_0$  method

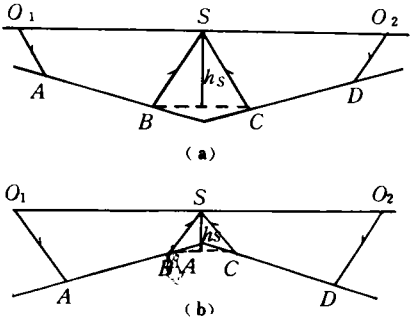


图7 用  $t_0$  法在向型或背型界面上计算的深度

Fig. 7 The depth of synform and antiform interface calculated by  $t_0$  method

4 用广义互换时法解释起伏界面的特点

广义互换时法是国外 80 年代发展起来的折射波时距曲线反演方法。其中计算深度的函数称为时—深函数  $tg$ , 其构成如下<sup>[2]</sup> (图 8):

$$tg(AG, \overline{XY}) = [t_{AY} + t_{BX} - t_{AB} - \overline{XY} / v_n(AG)]$$

式中:  $tg(AG, \overline{XY})$  为  $G$  点某一  $XY$  值的时深函数;  $t_{AY} = t_{ACG'G}$ ;  $t_{BX} = t_{BDG'G}$ ;  $t_{AB} = t_{ACDB}$ ;  $\overline{XY}$ : 为计算某一时深函数选定的  $XY$  值;  $v_n(AG)$  为  $G$  点下折射界面速度。在地面  $XY$  两点接收到的折射波是从界面上同一点出射的, 此时的  $h_G$  真正反映了  $G$  点处折射界面的深度。比较  $t_0$  与  $tg$  的表达式可知,  $t_0$  可以看作  $tg$  在  $XY=0$  进的一种特例; 但由于两种函数设计构想不同, 广义互换时法中的  $XY=0$  的原情况仅适用于  $v_2$  与  $v_1$  的速度比大于 10 倍时, 因这种情况下临界角非常小。能够接收到界面上同一点出射的  $A, B$  两点激发的折射波的  $XY$  值称为最佳  $XY$  值, 如图 8 中所示。如果  $XY$  选择不当, 过大或过小, 解释结果同样会出现使界面变缓的问题, 如图 10 所示。应用广义互换时法求深度的关键在于选出最佳  $XY$  值。在实际计算中可送用多个  $XY$  值计算出多个  $tg$  函数, 从中找出最详细地反映出界面变化的  $tg$  函数所对应的  $XY$  值, 即为最佳  $XY$ 。图 11 为向型界面上不同  $XY$  值的  $tg$  函数,  $XY=50$  m 的  $tg$  曲线最详细地表示出向型界面, 即此时射线传播方式如图 8 所示。图中分别采用  $XY=0$ 、 $XY=50$  m 计算出的深度图。使用最佳  $XY$  时求出的深度断面最接近真实情况而  $XY=0$  时, 谷底变成近水平状。

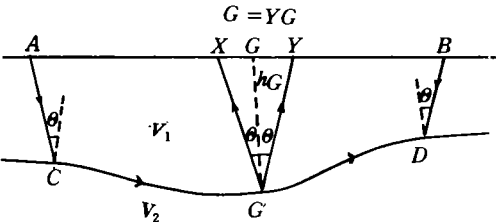


图8 广义互换时法波的传播路径

Fig. 8 Propagation path of the wave in Generalized reciprocal method

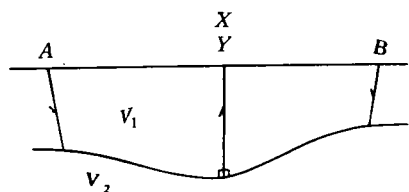


图9  $XY=0$  时波的传播路径

Fig. 9 Propagation path of the wave when  $XY=0$

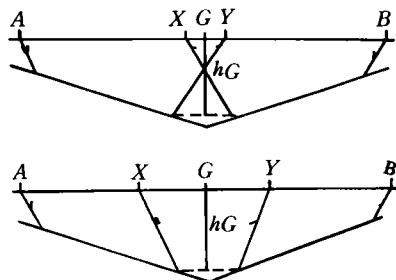


图10  $XY$  过大或过小时计算出的深度

Fig. 10 The calculated depth when  $XY$  is over-estimated and under-estimated

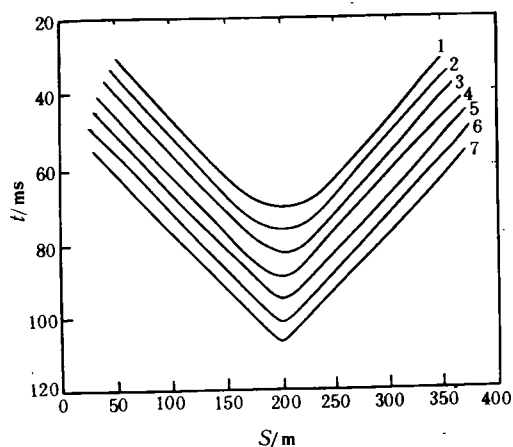


图11 向型界面上不同  $XY$  值的  $tg$  曲线<sup>(3)</sup>

Fig. 11  $tg$  curves for different  $XY$  value over a synform interface

1— $XY=0$ ; 2— $XY=10$ ; 3— $XY=20$ ; 4— $XY=30$ ;  
5— $XY=40$ ; 6— $XY=50$ ; 7— $XY=60$ ;

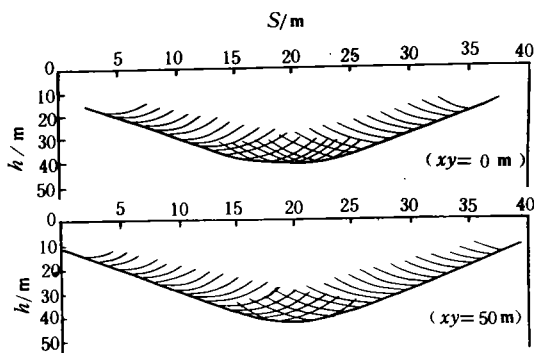


图12 用  $XY=0$  及  $XY=50$  m 计算的深度断面图<sup>(3)</sup>

Fig. 12 Calculated depth sections for  $XY=0$  and  $XY=50$  m

## 5 结 论

在折射波法资料解释中, 界面形态的判断是个重要问题, 向或背型折射界面存在时, 要采用多种观测系统, 并结合资料解释中的速度分析方法, 才能准确地判断界面形态。为了获得更为精确的界面深度, 采用广义互换时法解释资料时, 要尽量选用最佳  $XY$  值。

## 参 考 文 献

- 1 付唯一, 陈仲候. 浅层地震勘探. 成都: 成都地质学院出版组, 1987. 107
- 2 Palmer D. The Generalized Reciprocal Method of seismic Refraction Interpretation, Society of Exploration Geophysicists, 1980
- 3 西木司・川村隆. 屈折法におけるインバージョン. 物理探査, 1986, 95~96

## TIME-DISTANCE CURVES AND THEIR INTERPRETATION OF REFRACTION OVER TOPOGRAPHIC INTERFACE

Shan Nalin Cheng Zhiping

(Department of Applied physics and Computer, Guilin Institute of Technology)

**Abstract** Forward modeling of refraction over synform or antiform interfaces is developed with ray-tracing techniques. The ambiguity of refraction time-distance curves is pointed out. The forward and reversed profile and offset profile in field work and velocity analysis in data interpretation are suggested. It is pointed for subsurface topography interfaces by using the Generalized Reciprocal Method.

**Key words** seismic survey; refraction; synform and antiform interface; Generalized Reciprocal Method

### 世界最深海底未发现生物

日本海洋技术中心的海沟号无人深海探测器,最近下潜到位于马里亚纳海沟中最深的查林杰海沟 1.0909 万米处,用电视摄像机拍摄了海底的情况。结果表明,号称世界最深的海底并未发现有生物存在,简直就是海中沙漠。

探测器在距海底 100 m 的位置上测得海水温度为 2.4℃,而当时海面水温是 27.9℃,温差为 25.5℃。由于阳光不能直接照射到海底,海底完全是一片漆黑的世界。

据说由于浮游生物尸体造成“海上飞雪”(指浮游生物的尸体像雪片一样纷纷附落海底的现象),堆积而成的海底几乎很平坦。据中心有关人士称,这里与日本近海相比,海底“飞雪”非常少,几乎看不到生物。看来这是由于海底深处作为生物食饵的有机物绝对量也比较少的缘故。

赵富廷