

文章编号:1672—7940(2005)06—0408—05

倾斜断层面的折射波时距曲线特征 及解释方法对比

钱玉贵,顾汉明

(中国地质大学地球物理与空间信息学院,武汉 43074)

摘要:地震折射波法以其能够确定折射界面的速度而广泛用于工程地质勘查中,但因其解释受到地表条件及界面形态等多种因素的影响而表现出多解性。本文推导出倾斜断层界面上的折射波时距方程,设计不同类型的断层模型,正演计算出折射波传播路径及时距曲线,进而分析断层对折射波的影响,用以作为指导野外实际数据解释的理论依据。同时,采用 t_0 -差数法和哈雷斯法解释得到速度和深度,通过比较分析其与理论模型的误差,分析了解释方法的适用性。

关键词: 倾斜断层面;折射波法;时距曲线

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

收稿日期: 2005—10—12

CHARACTER OF TIME - DISTANCE CURVES AND CONTRAST OF INTERPRETATION METHODS OF REFRACTION OVER SLANTWISE FAULT INTERFACE

QIAN Yu-gui, GU Han-ming

(Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The shallow seismic refraction which can ascertain the velocity of the refraction layer is widely used in engineering geology exploration. However, its interpretation result is of ambiguity by the effect of the ground surface conditions and the underground structure. We have derived time - distance curves equation of refraction wave over slantwise fault interface in this paper. Meanwhile, we design some different types of fault models, calculate raypath and time - distance curves of refraction wave and analyze the effect of fault on refraction wave so as to instruct the interpretation of actual data. Moreover, we apply the t_0 and Harles method to obtain velocity and depth and analyze the applicability of interpretation method by analyzing errors between the model and interpretation result.

Key words: slantwise fault interface; refraction wave; time - distance curves

作者简介: 钱玉贵(1979—),男,硕士研究生,就读于中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院。

1 引言

目前,折射波地震勘探主要用于隧道围岩分类及覆盖层调查中,该方法在速度界面比较明显,构造相对简单的地区使用时,能取得比较满意的结果,但在地表、基岩界面及速度横向或纵向递变时,其应用效果很不理想,该方法在实际工作中存在一些值得关注和改进的问题,尤其是现有常规折射资料解释方法的前提条件与实际工区的地质条件相差较大,因此有必要研究复杂界面情况下折射波时距曲线及射线路径的特点。单娜琳等人^[1,2]研究了起伏界面及直立断层折射波时距曲线的特点及其解释方法,指出在复杂基岩面条件下,常规 t_0 差数时距曲线法比广义互换法解释的误差大。孟补在等人^[3]探讨了折射波地震勘探中几个问题,指出在复杂地质条件下,折射波解释存在多解性,应该利用理论时距曲线分析其特点以用于实际资料的解释。本文主要是推导倾斜断层界面附近的折射波时距曲线方程,设计不同类型的断层(正断层、逆断层)界面,通过正演模拟手段^[4,5]可以计算得出在不同断层界面下折射波的时距曲线和射线路径,进而分析断层对折射波的影响,用以作为指导野外实际数据解释的理论基础,同时,采用常规解释方法解释得到速度和深度,通过比较分析其与理论模型的误差,可以分析解释方法的适用性。

2 倾斜断层界面附近的折射波时距曲线方程及时距曲线

倾斜断层界面的地质模型如图 1 所示,覆盖层地震波速度为 V_0 ,基岩在垂直界面两侧的速度分别为 V_0 和 V_1 ,上盘埋深为 h_1 ,下盘落差为 h_2 ,上下盘断点在地面的投影点分别距炮点 O_1 的距离为 L_B 、 L_C ,断面倾角为 φ ,排列长度为 L 。当 $L_B < L_C$ 时,断层表现为正断层;当 $L_B > L_C$ 时,断层表现为逆断层;当 $L_B = L_C$ 时,断层表现为直立断层。

2.1 倾斜断层界面附近的折射波时距曲线方程

断面倾角与断层落差和断距有如下关系:

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{h_2}{L_C - L_B}$$

这里,对于正断层,仅讨论其倾角 $\varphi > i$ (i 为

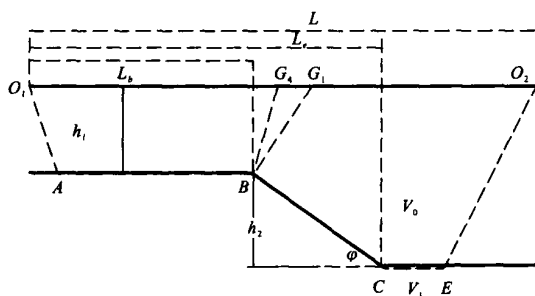


图 1 断层界面的地质模型

Fig. 1 The geological model of fault

临界角)情形,而当 $\varphi < i$ 时,可等效为两个直立界面情形来讨论;而对于逆断层, $\varphi < 0$; 对于直立断层, $\varphi = 0$ 。

2.1.1 在 O_1 点为炮点时, $O_1 O_2$ 段接收情形

上盘的折射波时距曲线方程:射线路径沿 $O_1 A B G_1$,

$$t_{121} = \frac{2h_1}{V_0} \cos i + \frac{x}{V_1}$$

$$(2h_1 \operatorname{tg} i \leq x \leq L_B + h_1 \operatorname{tg} i)$$

下盘的折射波时距曲线方程:射线路径沿 $O_1 A B C E O_2$,

$$t_{12/31} = \frac{2(h_1 + h_2)}{V_0} \cos i + \frac{x}{V_1}$$

$$(x \geq L_B + (2h_2 + h_1) \operatorname{tg} i)$$

B 点的绕射波:射线路径沿 $O_1 A B G_1$

$$t_{12r1} = \frac{h_1 \cos i}{V_0} + \frac{L_B}{V_1} + \frac{1}{V} \sqrt{(x - L_B)^2 + h_1^2}$$

2.1.2 在 O_2 点为炮点时, $O_2 O_1$ 段接收情形

下盘的折射波时距曲线方程:

$$t_{131} = \frac{2(h_1 + h_2)}{V_0} \cos i + \frac{L - x}{V_1}$$

$$(L_B - h_1 \operatorname{tg} i \leq x \leq L - 2(h_1 + h_2) \operatorname{tg} i)$$

上盘的透射波时距曲线方程:

$$\left\{ \begin{aligned} t_{13/21} &= \frac{h_1 + h_2}{V_0} \cos i + \frac{L - L_C}{V_1} + \frac{h_2}{V_1 \sqrt{1 - P^2 V_1^2}} \\ &\quad + \frac{h_1}{V_2 \sqrt{1 - P^2 V_0^2}} \\ x &= L_C - \frac{h_2 P V_1}{\sqrt{1 - P^2 V_1^2}} - \frac{h_1 P V_0}{\sqrt{1 - P^2 V_0^2}} \end{aligned} \right.$$

式中 P 为射线参数。上式 x 满足条件:

$$x \leq L_C - (h_1 + h_2) / \operatorname{tg} \varphi$$

而当 $x \geq L_C - (h_1 + h_2) / \operatorname{tg} \varphi$ 时,时距曲线方程为:

$$t_{13r1} = \frac{(h_1 + h_2) \cos i}{V_0} + \frac{L - L_C}{V_1}$$
$$+ \frac{1}{V} \sqrt{(x - L_C)^2 + (h_1 + h_2)^2}$$

O_2 激发时, B 点的绕射波

$$t_{13r1} = \frac{(h_1 + 2h_2) \cos i}{V_0} + \frac{L - L_B}{V_1}$$
$$+ \frac{1}{V_0} \sqrt{(x - L_B)^2 + h_1^2}$$

2.2 模型设计

所设计的模型如表 1 所示,其中,模型 A 为正断层的情形,模型 B 为直立断层情形,模型 C 为逆断层情形。正演时,对每一种模型,炮点位置分别为 O_1 、 O_2 、 O_3 、 O_4 ,横坐标分别为 20m,100m,241m,300m。48 道接收,道距为 3m,接收地段为 100~241m。

表 1 断层界面的地质模型参数

Table 1 Parameters of geological model of fault interface

模型	折射界面位置				断面 倾角 / m	上覆盖 地层速度 V_0 / m · s ⁻¹	折射界面 的速度 V_1 / m · s ⁻¹
	上盘右端点		下盘左端点				
	横 坐标	深度 / m	横 坐标	深度 / m			
模型 A	160	10	160	25	90	500	2000
模型 B	160	10	175	25	45	500	2000
模型 C	160	10	145	25	- 45	500	2000

2.3 直立断层界面附近的折射波时距曲线及射线路径

如图 2 所示的是模型 A 对应的直达波和折射波时距曲线以及折射波和绕射波射线路径图,观察图 2 发现时距曲线的特点, O_1 放炮时,在接收段内的时距曲线表现为 3 段直线:第一段 S_{11} 为直达波时距曲线,其斜率为 $1/V_0$;第二段 S_{12} 为 V_0 与断层上盘 V_1 速度界面上的折射波时距曲线,斜率为 $1/V_1$;第三段 S_{13} 为 V_0 与断层下盘 V_1 速度界面上的折射波时距曲线,斜率为 $1/V_1$;并且,有两支绕射波时距曲线,分别由断点 A 和 B 产生的。反之, O_2 放炮时,在接收段内的时距曲线也表现为 3 段直线,也有两支分别由断点 A 和 B 产生的绕射波时距曲线。

2.4 正断层界面附近的折射波时距曲线及射线路径

如图 3 所示的是模型 B 对应的直达波和折

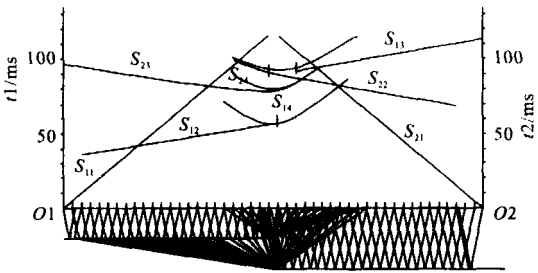


图 2 直立断层上的折射波传播路径和时距图
Fig.2 The raypath and time-distance curves
of refraction wave on the straight fault

射波时距曲线以及折射波和绕射波射线路径图,观察图 3 显示的时距曲线可以看出, O_1 放炮时,在接收段内的时距曲线表现为 4 段直线:第一段 S_{11} 为直达波时距曲线,其斜率为 $1/V_0$;第二段 S_{12} 为 V_0 与断层上盘 V_1 速度界面上的折射波时距曲线,斜率为 $1/V_1$;第三段 S_{13} 为 V_0 与断面下方 V_1 速度界面上的折射波时距曲线,斜率为 $1/V_1$;第四段 S_{14} 为 V_0 与断层下盘 V_1 速度界面上的折射波时距曲线,斜率为 $1/V_1$;并且,有两支绕射波时距曲线(S_{15} 、 S_{16}),分别由断点 A 和 B 产生的。反之, O_2 放炮时,在接收段内的时距曲线也表现为 4 段直线,也有两支分别由断点 A 和 B 产生的绕射波时距曲线。

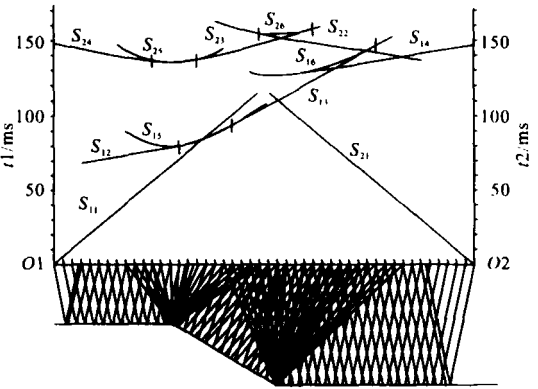


图 3 正断层上的折射波传播路径和时距图
Fig.3 The raypath and time-distance curves
of refraction wave on the right fault

2.5 逆断层界面附近的折射波时距曲线及射线路径

如图 4 所示的是模型 C 对应的直达波和折射波时距曲线及折射波和绕射波射线路径图,观察图 4 时距曲线可以看出, O_1 放炮时,在接收段内的时距曲线表现为 3 段直线:第一段 S_{11} 为直达

波时距曲线,其斜率为 $1/V_0$;第二段 S_{12} 为 V_0 与断层上盘 V_1 速度界面上的折射波时距曲线,斜率为 $1/V_1$;第三段 S_{13} 为 V_0 与断层下盘 V_1 速度界面上的折射波时距曲线,斜率为 $1/V_1$;并且,有一支绕射波时距曲线(S_{14}),由断点 B 产生的。反之, O_2 放炮时,在接收段内的时距曲线也表现为 3 段直线,第一段 S_{21} 为直达波时距曲线,其斜率为 $1/V_0$;第二段 S_{22} 为 V_0 与断层下盘 V_1 速度界面上的折射波时距曲线,斜率为 $1/V_1$;第三段 S_{23} 为由断点 A 产生的绕射波透过断层上盘的透射波时距曲线;并且,有一支绕射波时距曲线(S_{24}),由断点 B 产生的。

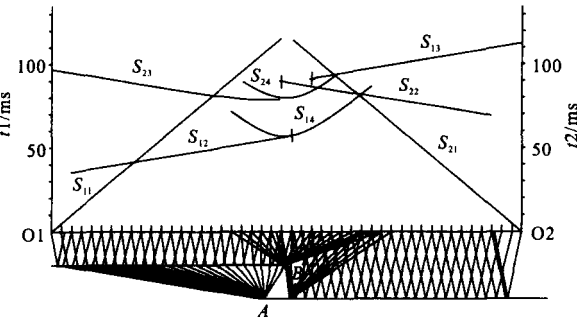


图 4 逆断层上的折射波传播路径和时距图
Fig. 4 The raypath and time-distance curves of refraction wave on the opposite fault

观测正断层和逆断层的时距曲线可以得到:折射波在断层处出现错断,出现时差;断点处出现绕射波;绕射波最低点的位置可以反映断层的断点和位置;由于绕射波的存在,它将由断层引起的上下盘折射波错断连接起来,从而观测到的初至

时间由直达波、折射波和断点处的绕射波及其透过波走时组成。

从射线路径看,断点以远点的波不完全是折射波,其到时实际上是经过断面的透过波或断点处的绕射波透过断层上升盘的透过波,因此在断层存在时,利用初至折射波勘探可能有较大的误差。

3 破碎带存在情形下折射资料解释方法比较

图 5 为具有破碎带(低速带)折射界面地质模型对应的部分直达波以及相遇炮和追逐炮折射波时距曲线,模型的折射层速度为 3000m/s ,破碎带的速度为 2000m/s ,覆盖层速度为 500m/s ,地层倾角为 10° ,利用时距差数法得到图中带“ $\times$ ”显示的差数曲线,该曲线显示出三个斜率,从平缓到较陡又变化到平缓,较陡的斜率对应低速带折射界面段,利用时距差数法可计算得到该段地层的速度为 1980m/s ,基本与设计的破碎带的速度相等,故在折射界面及地表起伏较小情形下,可以利用差数曲线的斜率变化来判断破碎带范围。图 6 为基于图 5 中的相遇-追逐时距曲线分别采用 t_0 法和哈雷斯法解释得到的折射界面深度及其与设计的折射界面深度比较曲线,深度误差较大的部位主要分布在破碎带附近,而且哈雷斯法精度比 t_0 法解释精度高,说明在低速带存在情形下,宜采用哈雷斯法来解释折射界面的深度。

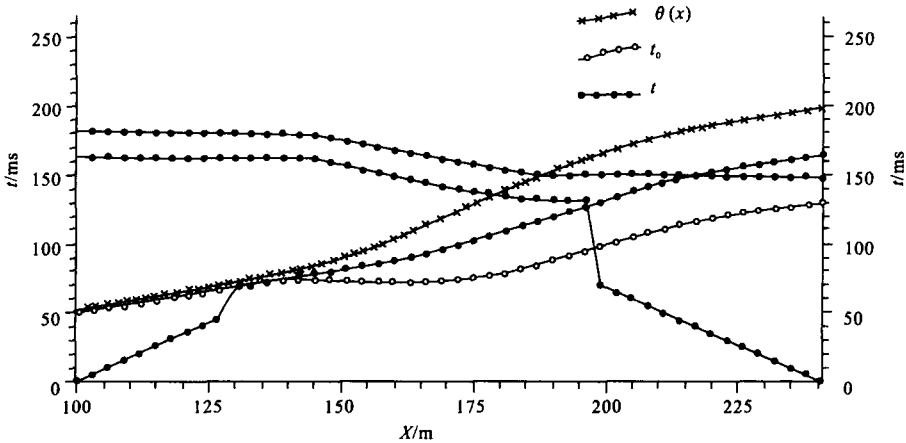


图 5 低速带折射界面地质模型时距曲线 t_0 - 差数法解释得到的差数曲线

Fig. 5 The t_0 and Harles method of geology model time distance curves to obtain the differential curves

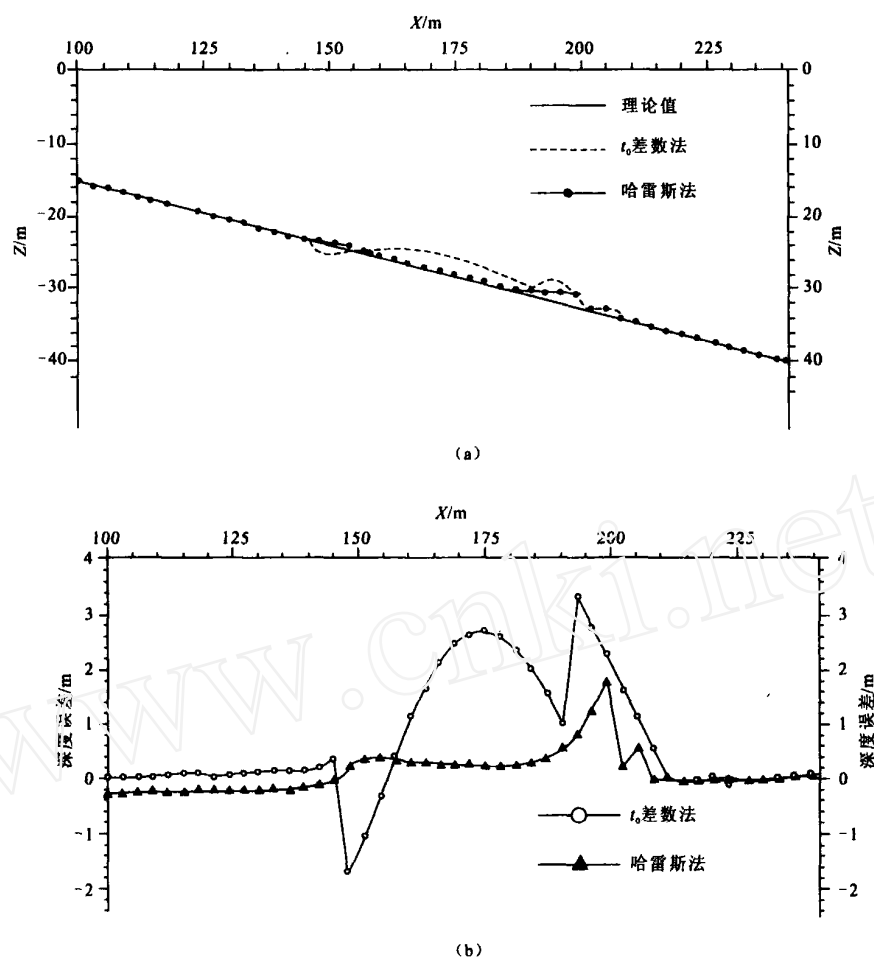


图 6 低速带折射界面地质模型深度解释结果及其误差曲线

Fig. 6 The geology model depth interpretation result of slow velocity refraction and error curves

4 结 论

在地层出现正断层和逆断层时,折射波在断层处出现错断,出现时差;断点处出现绕射波;断点以远点的波不完全是折射波,而是经过断面的透过波或断点处的绕射波透过断层上升盘的透过波,观测到的初至时间由直达波、折射波和断点处的绕射波及其透过波走时组成。因此在断层存在时,利用初至折射波勘探可能有较大的误差。

在具有破碎带折射界面地质模型以及地表起伏较小情形下,可以利用差数曲线的斜率变化来判断破碎带范围,而折射界面的深度宜采用哈雷斯法来解释。在地表以及折射界面起伏较大时,建议采用考虑透过波的走时反演算法来获得折射

界面的深度和速度。

参考文献:

[1]单娜琳. 直立界面附近的折射波时距曲线及解释[J]. 桂林冶金地质学院学报,1994,14(4):412 - 419.

[2]单娜琳,程志平. 起伏界面折射波时距曲线及解释[J]. 桂林工学院学报,1996,16(1):52 - 57.

[3]孟补在,黄玉国,赵国敏. 折射波地震勘探中几个问题的探讨[J]. 东北地震研究,1994,10(4):33 - 37.

[4]Hatherly P J. A computer method for determining seismic first arrival times[J]. Geophysics, 1982,47(10):1431 - 1436.

[5]顾汉明,王纬,陈国俊. 复杂介质中地震多次反射波快速正演模拟[J]. 地球科学 - 中国地质大学学报, 2001,26(5):541 - 544.