

文章编号: 1005—0523(2004)01—0047—03

弹性波在地质勘探中的应用

袁胜忠

(四川省公路工程咨询监理事务所, 四川 成都 610041)

摘要:弹性波技术充分体现了它简便易行、准确率高达 90% 左右的无比优越性, 作为一种先进的实用技术, 在地质普查和勘探中发挥了重要应用, 取得了良好的经济效益和社会效益. 随着这项技术的深入运用, 须解决的问题也越来越多, 此时迫切需要一种更准确的反馈判据和分析方法. 本文正是在这方面作了不少工作, 使这一方法得以完善和发展.

关 键 词:弹性波; 地质勘探; 反馈判据

中图分类号: U212.22

文献标识码: A

1 弹性波技术方法

弹性波地下探查法是利用弹性波的传播速度随地层软硬而不同的性质, 找出弹性波传播速度变化的深度和位置, 即找出地层的分界面和断层的位置等.

在地面或地下某一点, 给大地以冲击, 地基就发生震动而产生弹性波, 并向上下四周各个方向传播, 弹性波有纵波和横波两种. 这两种波虽然同时发生, 但其传播速度、随传波介质的物理性质而不同, 可以表示为:

$$V_p = \sqrt{\lambda + 2\mu / \rho} \tag{1}$$

$$V_s = \sqrt{\mu / \rho} \tag{2}$$

式中: λ 、 μ —拉梅常数, ρ —密度.

在同一介质中, 纵波传播速度最快, 因而纵波最先接收到, 所以在弹性波探查中就以纵波的传播速度作为研究对象, 经过我们对四川地区各种岩土层的研究. 一般情况下, 折射波法检测简单, 又能作精细的分析, 所以利用范围较为广泛. 而反射波常比其它波晚到, 分析也较困难, 但这种方法能通过

较短的测线确定深层反射面, 因此在油田探查和大规模地质构造的调查中应用得较为广泛.

下面介绍折射波法在地质勘探中遇到的主要地质情况的分析判别法:

1.1 地质情况相同时(图 1)

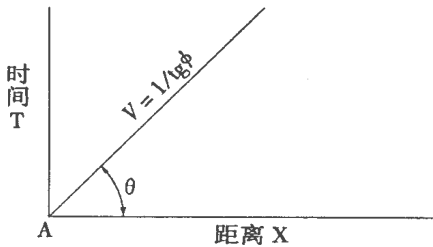


图 1

由于弹性波的走行时间与震源距离成正比, 因此时距曲线为通过原点(爆破点)的直线, 若设其倾角为 θ , 则由下式即知道地层的传播速度.

$$V = \frac{1}{\text{tg } \phi} \tag{3}$$

1.2 在水平方向地层有变化的情况(图 2).

在各地区, 时距曲线为相应于该地区的地质倾斜直线.

收稿日期: 2003—07—28

作者简介: 袁胜忠(1963—), 重庆人, 研究生, 研究方向: 道路与桥梁的治理与研究.

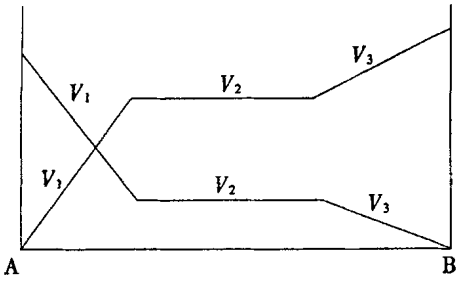


图 2

1.3 地下有一水平地层的情况(图 3)

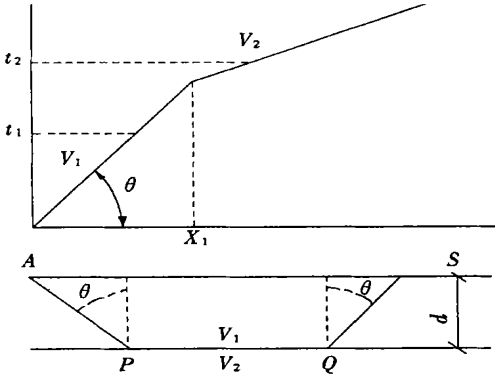


图 3

若上层的厚度为 d_1 , 速度为 V_1 , 下层的速度为 $V_2(V_2 \geq V_1)$, 在 A 点附近, 沿地面传播的直达波当然最先到达, 而且传播时间为:

$$t = \frac{x}{V_1} \quad (4)$$

当距 A 点距离较远时, 则在地层的分界面经两次折射而沿 APQS 传来的波也先到达, 所以时距曲线成为折线. 根据图上的几何关系可以看出折射波的行走时间 t_2 (设 θ 为临界入射角), 可表示为:

$$t_2 = \frac{2d}{V_1 \cos \theta} + \frac{x - 2d \tan \theta}{V_2} \quad (5)$$

设两种波同时到达的地点为 x_1 , 则在时 $x = x_1$, 应当有 $t = t_1$, 根据以上公式, 即可用下式求出上层的厚度.

$$d = \frac{x_1}{2} + \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \quad (6)$$

V_1, V_2 分别根据直达波、折射波的时距曲线的斜率, 由 $V_1 = 1/\tan \phi_1, V_2 = 1/\tan \phi_2$, 来求得.

1.4 在水平方面多层重叠的情况

如图 4 所示, 离爆破点越远, 在更深处的高速地层中传播的初始波先到达, 因而时距曲线成为按层数折曲的折.

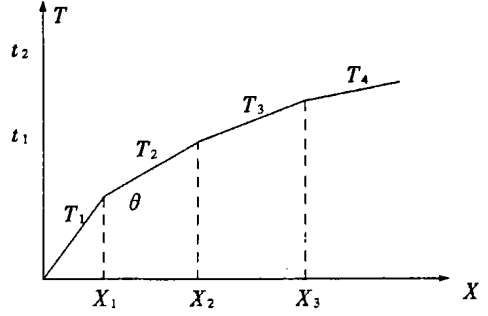


图 4

如同波以临界角向第 2 层射入, 在第 2 层上面传播的折射波的行走时间那样, 分别以临界角 θ_{23} 、 θ_{34} 射入, 第 3 层、第 4 层的折射波的行走时间为:

$$t_3 = \frac{2d_1 \cos \theta_{13}}{V_1} + \frac{2d_2 \cos \theta_{23}}{V_2} + \frac{x}{V_3} \quad (7)$$

其中: $\sin \theta_{23} = \frac{V_2}{V_3}, \sin \theta_{13} = \frac{V_1}{V_3},$

$$t_4 = \frac{2d_1 \cos \theta_{14}}{V_1} + \frac{2d_2 \cos \theta_{22}}{V_2} + \frac{2d_3 \cos \theta_{14}}{V_3} + \frac{x}{V_4} \quad (8)$$

$\sin \theta_{34} = \frac{V_3}{V_4}, \sin \theta_{24} = \frac{V_2}{V_4}, \sin \theta_{14} = \frac{V_1}{V_4}$

因此, 设 $t_1 = t_3, t_3 = t_4$ 时的 x 值为 x_2, x_3 , 则由上式可分别求出 d_2 和 d_3 .

不管有多少层重叠, 都要自上而下依次计算厚度.

1.5 下层倾斜的情况(图 5)

如图 5 所示, 当设置检波器一方的下层较陡时 (称为升射), 距离 x 点的折射波 APQS 的行走时间为:

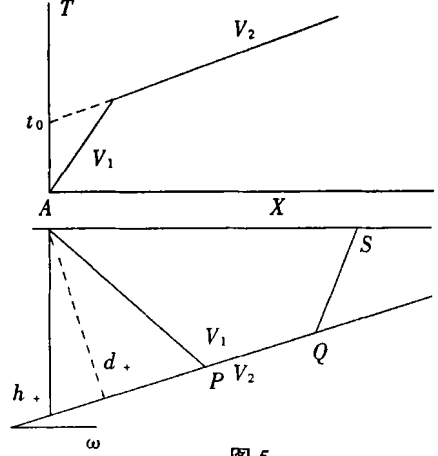


图 5

$$t_+=\frac{AP}{V_1}+\frac{PQ}{V_2}+\frac{QS}{V_3}\tag{9}$$

因此,从它的时距曲线的斜度即可求得下层的视速度为

$$V_{2+}=\frac{V_1}{\sin(\theta+\overline{\omega})}\tag{10}$$

相反(降射)情况的折射波走行时间为

$$t_-=\frac{1}{V_1}[2h-\cos\overline{\omega}\cos\theta+x\sin(\theta+\overline{\omega})]\tag{11}$$

同时,视速度也不过是

$$V_{2-}=\frac{V_2}{\sin(\theta+\overline{\omega})}\tag{12}$$

所以,为了要知道真速度 V_2 ,就必须在测线的两端爆破,进行往返观测,由(10)(12)两式求 Q 和 ω ,再利用 $V_1/V_2=\sin\theta$ 的关系来求解.

原点 A 至 V_2 层的深度 h + 载重直距离 d_4 ,根据(9)式,当 $x=0$,即可以下式求出.

$$\begin{aligned}t_0&=\frac{2}{V_1}h+\cos\omega\cos\theta\\&=\frac{2}{V_1}d+\cos\theta\end{aligned}\tag{13}$$

t_0 叫做原点走行时间.

1.6 基岩突然中断的情况(图 6)

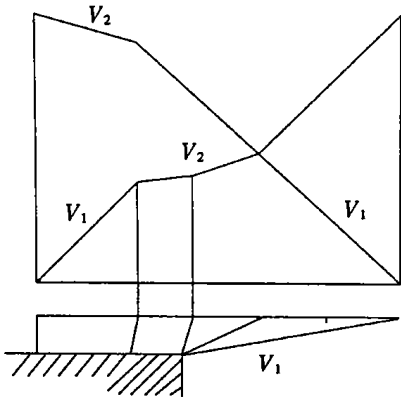


图 6

1.7 基岩面倾斜度不规则的变化情况

折射波的时距曲线成为不规则的形状(图 7)

如果研究从 A 到 S 的折射波的行走时间 T_{AS} ,则为:

$$\begin{aligned}T_{AS}&=\frac{AP}{V_1}+\frac{PQ}{V_2}+\frac{QS}{V_3}\\&=\frac{a\cos\theta}{V_1}+\frac{A'P}{V_2}+\frac{PQ}{V_3}+\frac{QS'}{V_2}+\frac{S\cos\theta}{V_1}\\&=\frac{(a+s)\cos\theta}{V_1}+\frac{Sdx}{V_2A\cos\omega}\end{aligned}\tag{14}$$

同样,说 $B\rightarrow S$ 、 $A\rightarrow B$ 的折射波的行走时间分别为 T_{BS} 、 T_{AB} ,则 $T_{BS}\approx\frac{(b+s)\cos\theta}{V_1}+\frac{Sdx}{V_2B\cos\omega}$

$$T_{BS}\approx\frac{(b+s)\cos\theta}{V_1}+\frac{Sdx}{V_2B\cos\omega}\tag{15}$$

$$T_{AB}\approx\frac{(b+a)\cos\theta}{V_1}+\frac{Sdx}{V_2A\cos\omega}\tag{16}$$

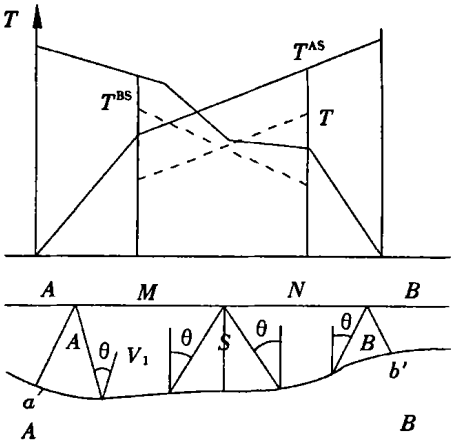


图 7

因此,在 S 点基岩的深度表示为

$$S=\frac{V_1}{2(T_{AS}+T_{BS}+T_{AB})\cos\theta}\tag{17}$$

所以若以 S 为圆心, S 为半径圆弧,)在测线上的各测点也重复同样的步骤,并画出切于那些圆弧的包络线,也就可以得到基岩的形状.

$D=1/2(T_{AS}+T_{BS}+T_{AB})$ 就是叫做深走行时间.

要求基岩中的速度 V_2 ,可以考虑 $A\rightarrow P\rightarrow S'$ 之间的行走时间.因为(4)式的前 4 项和相当于这个行走时间,所以就中间各测点来计算.

$$\begin{aligned}T'&=T_{A-P-S'}=T_{AS}-\frac{S\cos\theta}{V_1}\\&=T_{AS}-\frac{1}{2}(T_{AS}+T_{BS}+T_{AB})\end{aligned}\tag{18}$$

如果把它依次标在图上,就可得到图 7 中虚线表示的那种时距曲线,因为它正相当于把上层除去的情况,所以叫做“剥离曲线”,如果基岩的性质均匀,那就不论分界面如何凹凸不平,这条曲线也会成为完全的直线,从而其倾角即可知道 V_2 ,反之,如果在剥离线当中倾角有变化,那就应当视为基岩的速度发生了变化.例如,如果在基岩中有象岩脉那样特别硬的部分,则在硬的部分的前后就快,而在断层破碎带的前后则变慢.另外,原点处的基岩深度 a 、 b 可用延长剥离线截割时间轴的值(原点走行时间) DA 、 DB 参照(5)式计算.即

$$a=D_A\frac{V_1}{\cos\theta}\tag{19}$$

$$b=D_B\frac{V_1}{\cos\theta}\tag{20}$$

1.8 弹性波速度随深度增加的情况

在表层土壤和风化带中,弹性波速度多随深度的增加而增加,这个现象称为虚构(mirage)现象,但是在这种情况下,如当作一定速度的地层来处理,那就会把地层厚度估计小了,甚至有时会把基岩的深度估计为只有一半左右,所以要充分注意.如果研究自爆点以初速 V , 角度 e 发射出来的波,那来在经路上任何地方都有 $\cos e/v = \cos e_0/v_0 = \text{const} = P$ 的关系,所以最深点的速度为: $V_m = dx/dt$. 也就是说,在时距曲线上任意点(距原点的距离为 x)的切线所表示的速度 V_x , 应相当于到该点的波的 V_m , 设到 $x=s$ 点的波的经路最深处的深度为 h_m , 则

$$S = 2 \int_0^{h_m} P V dh / \sqrt{1 - P^2 V^2} \quad (21)$$

式中, V 是 h 的函数.

这就是阿贝尔(Abel)方程式的应用,应当可以知道任意点的 h_m 和 V_m , 也就是可以知道地下的速度分布(V_s 是点 V_x 的值,对到 S 点的波线未说是常数).

和 $V = V_0 + ah$ 一样,在速度随深度直线递增加的情况下,波的经路则为圆弧,其中心在离地面 V_0/a 的高度.设半径为 r , x 点的走行时间则为:

$$t = \frac{1}{a} \log \frac{r + 0.5x}{r - 0.5x} \quad (22)$$

所以要求 a , V_0 只要利用测线上 x_1, x_2 两点的走行时间 t_1, t_2 , 而将 $(V_0/a)^2 + (x_1/2)^2 = r_1^2$, $(V_0/a)^2 + (x_2/2)^2 = r_2^2$ 中的 V_0/a 进行种种假定,找出使 t_2/t_1 等于观测测值的量即可(也可用图解法).

速度和深度大多不是直线关系,增加率在浅处时显是越往深处越缓慢.在这种情况下,时距曲线完全可以用 $x = at + bt^2$ 的二次式表示.

实际上,大多数是在虚构层下有一定速度的基岩起伏.这时,是根据原点附近时距曲线的形状,首先决定深度和速度增加有多大的比例关系,然后按照上述的情况,从各测点求得的深度走行时间来计算基岩的深度.

就弹性波勘探地层来说,一般在某一速度快的地层下面有速度比它低的地层时是不可能检验出来的,但有时候在虚构(mirage)层的下夹有低速度地层时也能检验出来. $T_{AS} \cdot T_{BS}$ 应是同一层的折射波的走行时间,图-7 的光行时间只能在 M, N 间剥离.

如果经过以上的计算作出地质剖面略图,就把波的经路如实地记入地质剖面图,计算其走行时间并和观测值核对,如果不一致,就将剖面图一点一点地修正,最后,无论哪个经路的波,观测值和计算值都达到一致,才算完成了.当然,这个完成了的图在地质学上必须是能够完全解释的,否则就毫无意义了.

参考文献:

- [1] 辛小春.面波新技术在工程地质勘察场地评价中的应用[J].北京水利.2003,(1).
- [2] 柏青山.对弹性波理论中应用边界条件的异议[J].长春地质学院学报,1995,1.

Application of the Elastic Wave in Geologic Reconnaissance

YUAN Sheng-zhong

(Sichuan Highway Eng. Inquiry and Monitoring Affair Office, Chengdu 610041, China)

Abstract: Along with state investment in capital construction becoming more greater, the task of geologic reconnaissance has been increased rapidly. The pristine resource reconnaissance department provided can not satisfy the requirement of construction department. It needs one new method with high standard and high efficiency. Elastic wave technology has its tremendous advantage in this field. It's a simple and wieldy method. Its veracity can reach about 90 percent. As a kind of advanced and applied method, it plays an important role in geologic reconnaissance so as to achieve favorable economic benefit and social benefit. With the technology being deeply adopted, more complicated phenomena has been found and problems has been becoming more and more, which need to be solved as quickly as possible. Here, a more accurate feedback criterion and analytical method is needed imminently. Out of such motive, this paper make some work in the field and make the method more practicable.

Key words: elastic wave; geologic reconnaissance; feedback criterion