绕射波在坑道中超前探测小构造的应用

杨德山

（赤峰市平庄矿务局）

摘 要 本文阐述了应用绕射波探测坑道掌子面前方小构造的技术. 在速度低于上下围岩的中等速度的特定层位中，地震波将在前方的小断层或小构造处反射，以绕射波形式返回到检波器，其最远的探测距离达184m.

关键词 绕射波，声波，小构造，掌子面.

中图法分类号 P631.425

0 引言

矿井和隧道工程常常是沿某一特定层位工作，这一特定层有时正是岩层速度分层中，高、低或高、中的低速层. 应用声波超前探测小构造时，声波将以它特定的形式使波阵面的垂直方向不再扩展；而前方遇到的岩层的不整合体将以绕射波形式返回. 接收到的绕射波是从发射到反射体，再从反射体到接收的最大双波程. 利用绕射波超前探测小构造是近3年在东北煤炭总公司所属15个矿务局坑道中掌子面上测试的一种较成功的技术，最远超前探测达184m. 要求所测岩层的波速必须是介于上、下两个高速岩层之间；层位基本稳定；所测岩层基本上是均质的；断层落差 h 大于所测岩层厚度的1/2. 检波器和击发杆件均要平行地与所测岩层实体耦合.

1 波的传播特征

声波在均匀介质中的传播是以球面波形式传播的，能量呈球面发散效应①. 当在矿井和隧道工程中，所测岩层波速符合上述条件，平行岩层击发，且击发点位于所测岩层垂直厚度中部时，波的最初传播形态为锥体波，而后由于波入射到上、下两个高速岩层的入射角随着波的传播逐渐大于岩层的临界角，因此波的传播形式可有下面几种（图1）：(1) 沿高速层滑行；(2) 高速层的反射波；(3) 很少部分透射；(4) 一部分沿所测岩层的介质传播，但这部分波的波阵面的垂直方向受高速层的限制不再扩展，球面发散效应在波阵面的垂直方向不再起作用，只影响波在水平方向的能量传播. 因此波沿岩层的传播，波阵面的方向基本是不变的.

1992年12月30日收稿.

① 陈仲候，傅唯一. 浅层地震勘探. 成都地质学院，1986.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

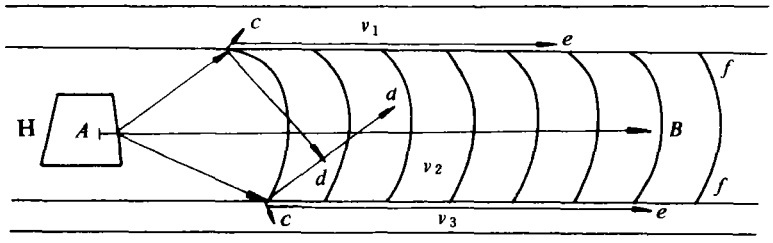


图 1　波的传播示意图

Fig. 1　A sketch map showing the wave propagation in a lower velocity layer

H. 巷道；*A*. 震源；*B*. 直达波；*e*. 滑行波；*d*. 反射波；*FF*. 波阵面

2　超前探测原理

在大量的超前探测小构造实际资料中，发现所测岩层的前方倾角小于 45°、甚至 32°的构造面也能接收到，这用压缩波和横波的射线理论很难说明，但用绕射波却很好解释. 当传播的地震波遇到岩层的不整合体的突变点、地层尖灭点、断层的棱角、侵入体边缘等岩石物性显著变化的地方时，将以这些“棱”、“角”点作为一个新震源产生振动，并向周围传播，见图 2.

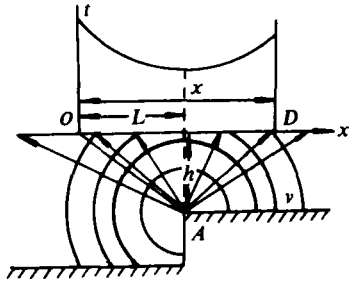


图 2　绕射波及时距曲线

Fig. 2　The diffraction wave and its time-distance curve

超前探测小构造时，前方的断层正是岩层的不整合体，同理也应产生绕射波. 绕射波仍遵循波阵面在垂直方向不再扩展的理论，回到接收点，如图 3. 断层倾角大小直接影响接收绕射波的能量，断层倾角越小，接收绕射波的能量越低. 这样，可在掌子面上向岩壁击发，以极小甚至同点炮检距接收，就可利用回传的绕射波探测前方的构造面.

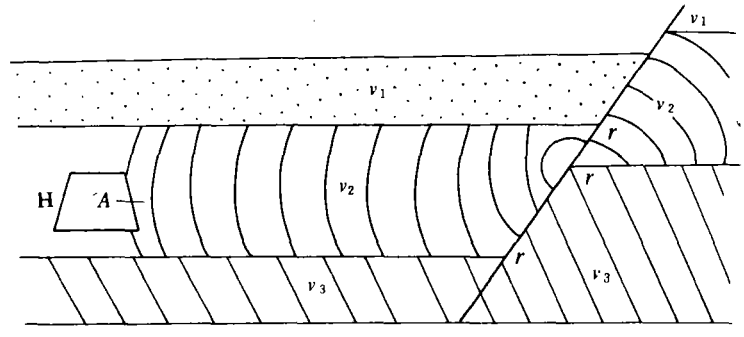


图 3　层内回波示意图

Fig. 3　The return wave in the excited layer ($v_2 < v_1$、v_3)

3　绕射波的识别和计算

在地下某一岩巷超前探测小构造时，垂直岩壁击发（图 4），当岩层厚度远远小于超前

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

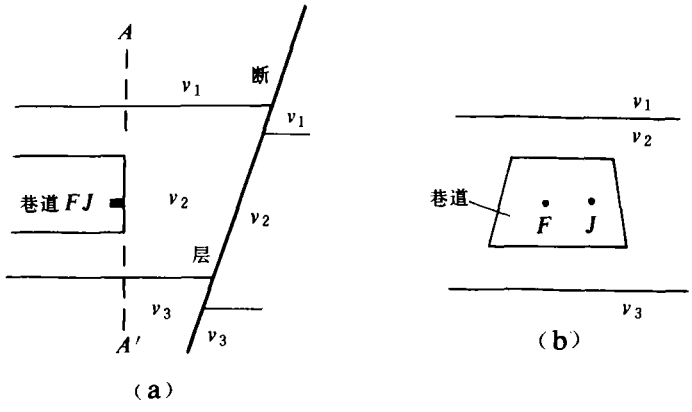


图 4 巷道探测剖面示意图 ($v_1>v_2<v_3$)

Fig. 4 A sketch map of the detection profile in tunnel

a. 纵剖面；b. $A—A'$ 剖视面

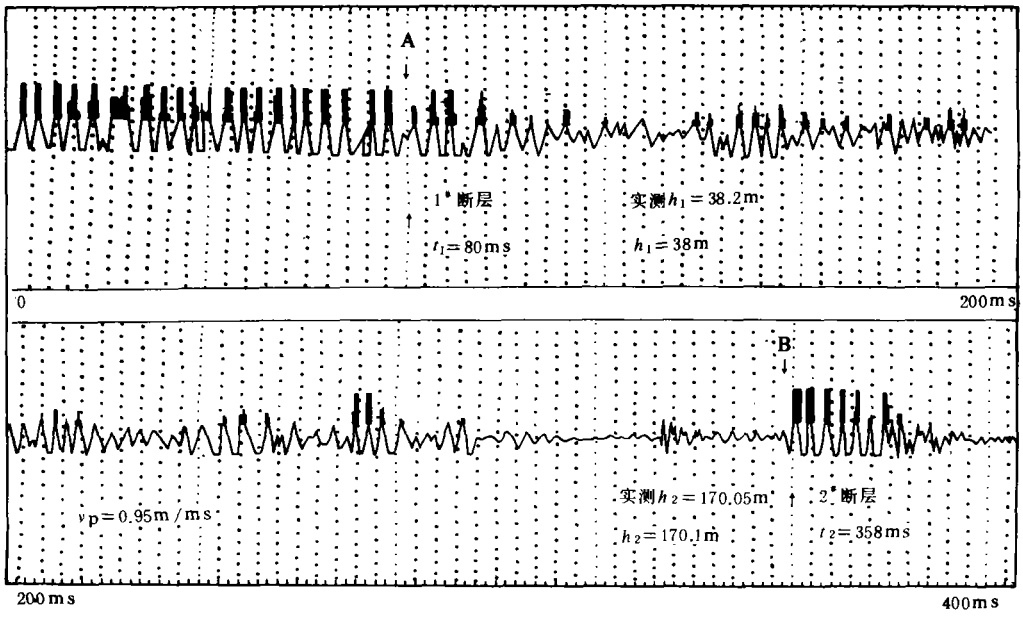


图 5 376 运输巷 5-1 煤层中的实测记录

Fig. 5 An example in coal seam No. 5-1 of transportation tunnel No. 376

探测的距离时，巷道周围的转换波及反射波将仅次于直达波而到达接收点，然后则是岩层顶部和底部界面的反射波到达接收点，这些波并不是要接收的有效波. 这部分波一般在震相图的最前面，约 28～38ms 内. 而前方界面的绕射波要迟后到达. 同时它的前面有很清楚的复合波位.

下面是从绕射波的时距曲线导出的公式（见图 2）：

入射波射线 OA 所需的时间：

$$t_1 = OA/v = (1/v)\sqrt{L^2 + h^2} \tag{1}$$

绕射波射线 AD 的传播时间：

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$t_2 = AD/v = (1/v)\sqrt{(x-L)^2+h^2} \tag{2}$$

波的总旅行时间：

$$t = t_1 + t_2 = (1/v)(\sqrt{L^2+h^2} + \sqrt{(x-L)^2+h^2}) \tag{3}$$

式中 h 为绕射点的深度，其中 L 为 A 点在地面的投影点与爆炸点之间的距离，x 为炮检点.

上述公式是在地面测试时的计算. 在地下的巷道中，其巷道宽度有一定的限度，不允许布点太多. 为了找其相关性，一般需多测几个点，于是采用小极距或自激自收的方法. 这样，在巷道中超前探测小构造时，可认为 x、L 均为零值，于是有

$$t = 2h/v \tag{4}$$

图 5 是内蒙赤峰平庄矿务局红庙煤矿二井二区 9 南 406 回风石门 376 运输巷 5-1 煤层中的记录. 煤层厚 6m，顶、底板为粗砂岩. 1#断层倾角为 42°，落差为 4m，距接收点 38m；2#断层倾角为 65°，落差为 8m，距接收点 178m. 由记录可知，1#断层 h_1=（80ms×0.95m/ms）/2=38.2m；2#断层 h_2=（358ms×0.95m/ms）/2=173.05m（煤层波速以 950m/s 计）.

4　结语

用小型增强性地震仪超前探测小构造，在目前应属一种新的技术. 在理论上和实际测试中都有待进一步改进. 实际工作中，速度取值的精度至关重要. 目前采用的测试速度的方法是透视法，现场实际取值极方便，精度也高. 只是距离较小的探测，其难度相当大，尤其是 28～38ms 以内，有用信号和无用信号（巷道波）混在一起，波形的识别难度较大. 但可以预料，随着技术的不断进步，超前探测小构造技术将会在实际应用中发挥更大的作用.

APPLICATION OF DIFFRACTION WAVE TO PROBING SMALL STRUCTURES AHEAD STOPE FACE IN TUNNEL

Yang Deshan

(*Pingzhuang Coal Mine Bureau*, *Chifeng* 024076)

Abstract

In this paper, an application of the diffraction wave to the small structure probing is discussed. In the layer of the medial or lower velocity along the tunnel, the seismic wave reflects at the small fault surface or structure in the front of the stope face and , as a diffraction wave form, returns to the receiver. The forthest distance obtained in such probing is about 184 m.

key words　diffraction wave, acoustic wave, small structure, stope face.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

作 者 简 介

王惠濂，1930年生. 1954年毕业于东北地质学院地球物理系. 现任中国地质大学（武汉）应用地球物理系教授，从事高频电磁探测技术（包括探地雷达）及地球物理测井方面的研究工作.

黄南晖，1931年生. 1954年毕业于东北地质学院地球物理系，现任中国地质大学（武汉）应用地球物理系教授，从事地球物理测井的教学和研究.

邓世坤，1963年生. 1991年毕业于中国地质大学（武汉）研究生院，获硕士学位. 现任中国地质大学（武汉）应用地球物理系讲师，从事探地雷达技术的研究和开发.

祁明松，1961年生. 1981年毕业于华中师范学院物理系，现任中国地质大学（武汉）应用地球物理系工程师，从事探地雷达技术的开发工作.

杨德山，1933年生. 1957年毕业于北京石油学院物理专业. 现任内蒙古赤峰市平庄矿务局地测处高级工程师，从事矿井物探技术工作.

左峥嵘，1969年生. 1990年毕业于长春地质学院应用地球物理系. 现在中国地质大学（武汉）研究生院攻读应用地球物理专业硕士学位.

桂向阳，1956年生. 中国地质大学（武汉）应用地球物理系助理工程师，从事地震勘探和工程物探方面的实验和开发工作.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net