

文章编号:1006-544X(2003)01-0036-05

# 地震映像方法及其应用

单娜琳, 程志平

(桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 讨论了地震映像方法的特点以及折射波、反射波、面波和绕射波在相同偏移距采集方式下的波形特征和同相轴的形态; 给出了工程勘查中常见的土洞、岩溶塌陷、溶洞、基岩面起伏、断裂带等不同地质条件下的5个探测实例. 根据工作目的和地质条件的差异, 各实例分别采用了一种或一种以上的有效波, 为资料解释提供更充分的证据. 这些实例说明地震映像法利用多种地震波进行勘探的优点和效果.

**关键词:** 地震勘探; 地震映像; 工程勘查

**中图分类号:** P631.42; P631.443

**文献标识码:** A<sup>①</sup>

地震映像(又称高密度地震勘探和地震多波勘探), 是基于反射波法中的最佳偏移距技术发展起来的. 这种方法可以利用多种地震波作为有效波来进行探测, 也可以根据探测目的要求仅采用一种特定的地震波作为有效波.

地震映像法的主要特点有: 数据采集速度较快, 但抗干扰能力弱, 勘探深度有限; 地震映像法在资料处理过程中不需要进行校正处理, 节省了资料处理时间, 避免了动校正对浅层反射波的拉伸、畸变影响, 可以使反射波的动力学特征全部被保留, 地震记录的分辨率不会受影响; 地震映像法在资料解释中可以利用多种地震波的信息; 在探测目的较单一、只需研究横向地质变化的情况下, 地震映像法效果较好, 而探测目的层较多时, 不易确定最佳偏移距; 由于每个记录道都采用了相同的偏移距, 地震记录上的时间变化主要为地下地质体的反映, 这给资料解释带来极大的方便, 可直接对资料进行数字解释, 如频谱分析、相关分析等.

## 1 野外工作方法

### 1.1 测量方法

在地震映像测量过程中, 激发后在接收点用单个检波器接收. 仪器记录后, 激发点和接收点同时向前移动一定的距离(或称为点距), 重复上述过程可获得一条剖面上的地震映像时间剖面.

### 1.2 记录点的位置

地震映像测量的记录点设在激发和接收距离的中点. 实际上此记录反映了此偏移距范围内地下的岩层、岩性的变化. 采用不同的有效波时, 地震记录上这种波反映的介质情况及位置应有不同的意义.

### 1.3 最佳偏移距

在地震映像数据采集中, 激发和接收距离一般称为最佳偏移距, 它已不仅仅是反射波意义上的最佳, 而是采集有效波的最佳偏移距, 有效波可以多于一个. 为了获得具有高信噪比和分辨率的地震映像记录, 需要使用多道地震仪在一定的接收长度上获得试验剖面, 分析试验剖面上各种地震波的传播规律, 确定能够最好地反映探测目标的有效波的偏移距, 即为最佳偏移距. 要求在选择的偏移距上折射波、多组反射波、面波或其

① 收稿日期: 2002-07-10; 修订日期: 2002-11-13

基金项目: 广西地质勘察专项经费项目(桂国土资勘2002-12)

作者简介: 单娜琳(1954-), 女, 内蒙古海拉尔人, 副教授, 应用地球物理专业.

它有特征的波在时间上尽可能互相分离,信号清晰,受干扰波影响小.因为要利用尽可能多的信息,不同的条件下最佳偏移距的选择原则不同.

在资料解释中,最佳偏移距的大小与判断局部异常地质体的范围有直接关系.异常范围大于实际地质体,这有利于发现异常体,但确定地质体范围时,需考虑偏移距大小这一因素.

## 2 各种波在地震映像波形图上的反映

### 2.1 折射波

在地震映像方法中,如果在所使用的偏移距上可以接收到某一界面的折射波.由于偏移距相同,界面速度和上覆介质速度不变,折射波的传播路径及到达时间不变,在地震映像记录中,折射波的同相轴为直线.同相轴时间和波形的任何变化都与界面深度、速度和上覆介质速度的变化有关.这在只对基岩面或某一界面感兴趣的工作中,可只采用折射波为有效波.地质条件复杂或要求精度较高时,仅采用折射波难以达到目的.另外,资料解释时,需要界面上下的速度参数.

### 2.2 反射波

地震映像方法中,常用反射波作为主要的有效波.当界面水平时,反射点的位置正好在记录点上,每次激发的反射波传播时间不变,同相轴为直线.当界面深度发生变化时,反射波的传播时间会发生变化,如在断层两侧表现为突变;如果是倾斜界面,反射点的位置会偏离记录点向界面的上倾方向移动.一般根据反射波同相轴的变化情况定性推断界面的起伏情况,根据反射界面上的介质速度计算深度.

### 2.3 面波

地震映像方法中利用的面波是在地下一定深度内从震源传播至接收点的含有多种频率成分的、有多个相位的面波群(即由多个相位组成的面波).面波群的形态受偏移距范围内覆盖层介质密度、泊松比等因素的影响.面波群的相位数与覆盖层的厚度和偏移距有关,面波群振幅的大小与介质的松散情况有关,面波群的到达时间的变化与地层产状、地层中局部地质体的位置有关.因此,面波可利用的信息非常丰富.面波群的影响深度与面波的频谱成分有关.面波群的视速度、振幅、波形、到达时间都是判断地下介质变化的

指示.图1为层状大地上的试验剖面,道间距1米,炮检距1~36 m,记录长度400 ms.从图1中可以看到,随偏移距的增大,面波群的相位数增多,形态逐渐改变,反映了传播过程中面波频谱成分的变化.如果固定某一偏移距采集面波,地质条件不变,面波群的形态也不会改变.如果地质条件改变,如岩性发生变化,则面波群的特征也发生相应的变化.图2a是在卵石层上采集的面波,面波的群速度约为75 m/s,面波群相位数随偏移距的增大逐渐增多.图2b为泥炭岩层上的面波,面波的群速度约为125 m/s,面波相位数基本不变.

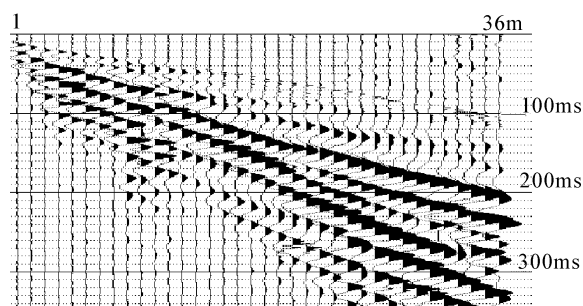


图1 面波在层状大地上不同偏移距的形态

Fig. 1 Conformation of surface wave with various offsets on layered earth

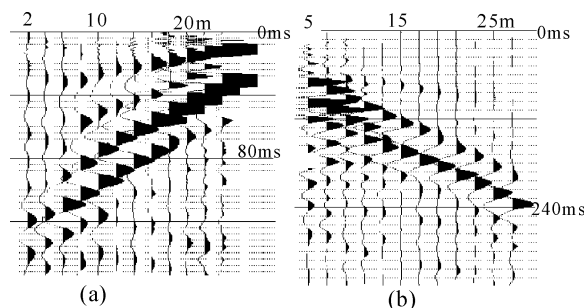


图2 不同的地质条件下的面波记录

Fig. 2 Surface wave recording under various geological condition

a—卵石层上的面波; b—泥炭岩层上的面波

### 2.4 绕射波

在介质中存在局部异常体或断层的断点、岩性分界面时会产生绕射波.在地震映像法中,偏移距不变,随着激发点到绕射点距离的改变,绕射波的传播路径发生变化,绕射波传播时间逐渐

增大或减小,在地震映像记录上出现双曲线型同相轴.这也成为异常体、断层、岩性分界面的特有标志.因此,绕射波成为判断横向地质条件变化最明显的标志.绕射波双曲线型同相轴的顶点为异常地质体的特征点.

### 3 地震映像法在不同地质条件下的应用实例

#### 3.1 岩溶作用形成的隐伏土洞

在岩溶地区,界面起伏较大的情况下,不适宜应用反射波或折射波法.用地震映像法可以获得较理想的效果.有岩溶通道(含水地下溶洞或断裂)存在时,由于地下水的长期作用,搬运走岩溶天窗附近的泥土,形成隐伏土洞,当土洞的规模较大,无法支撑上覆地层的重量时,则形成岩溶塌陷.

在岩溶天窗附近形成的土洞周围土层密度从土洞边缘向外由疏松逐渐变致密,密度的变化影响了各种地震波的速度,由于地震映像法采用相同的偏移距采样,容易反映出速度变化的特征.图3、图4为在桂林市柘木镇进行隐伏土洞探测的实例.柘木镇位于桂林市东南方漓江西岸,该处地表砂质土层和粘土层厚约5 m,其下部为几米到十几米的砂卵石层,下伏基岩为易溶灰岩.要求探测规模大于1 m的隐伏土洞.在采用地震映像法探测期间,潜水面深度约为6 m.在测区所做的试验剖面如图3所示(偏移距2m,道间距2m).根据探测目的及波形特征,选取偏移距为16m(第8道).在这一接收点上,地震波形记录上最先到达的是潜水面的折射波,其后是反射波、面波等.

图4是其中一条测线的地震映像波形图,其中箭头所指处为隐伏土洞位置.因地面平坦,潜水面深度稳定,在没有土洞异常的情况下,折射波在相同偏移距的情况下,波至时间相似;在土洞附近土层松散,覆盖层波速降低,折射波波至时间比两侧晚;由于疏松介质的吸收作用强,折射波的能量急剧衰减,以至在洞顶接收到的潜水面折射波振幅降低.同时,介质疏松时,面波速度降低,高频成分损失增大,在土洞上方面波同相轴为V字形,面波波形变宽.而反射波基本隐藏在面波之中无法识别.根据水文地质条件和面

波速度的变化,推断此处存在隐伏土洞.探测工作结束几天后下了一场大雨,浸软了土洞上部的土层,在该隐伏土洞地面形成塌坑,塌坑的直径约为1 m.

在此次探测工作中,分析解释以折射波和面波为主.在潜水面较浅,且深度基本不变时,利用折射波了解潜水面上土层的波速变化.利用面波同相轴、面波群相位数、面波波形宽度的变化了解土质是否疏松以及疏松的程度,是否已形成土洞.

#### 3.2 岩石中溶洞的探测

岩石中的岩溶通道或地下水的运移空间有时是破碎带,有时是较完整的石灰岩中的岩洞.当后一种溶洞存在并有一定的规模时,可以用地震映像法探测.当激发-接收点距离岩洞较远时,

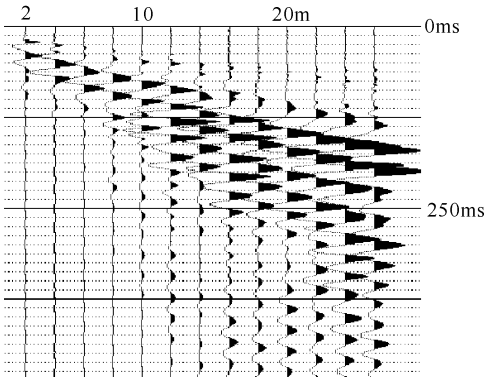


图3 桂林市柘木镇试验剖面  
Fig.3 Test profiling in Zhemu of Guilin

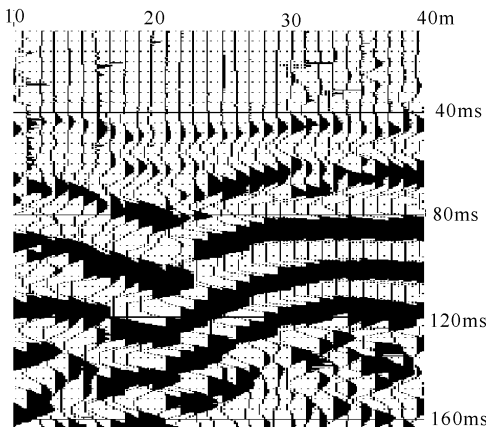


图4 土洞的地震映像异常

Fig.4 Seismic imaging profiling recording over a cavity in soil

仅接收到直达波，而靠近岩洞时则可能接收到溶洞产生的反射波、绕射波及在洞中产生的多次反射波。

图 5 为宜 - 连高速公路路基勘探中探测溶洞的地震映像法波形图。图中明显的异常反映了溶洞的位置，溶洞深度约 5 m，直径约 1 m。后来的异常检查证明异常的推断是正确的。在溶洞探测中，各种技术参数选择会影响探测效果。

3.3 岩溶塌陷

岩溶塌陷即岩溶形成的土洞塌落而成。隐伏或已经形成的岩溶塌陷处土质松散，在岩溶天窗处特别明显，寻找隐伏的岩溶天窗是在岩溶地区房屋建筑基础和路基探测中较为重要的任务。在地震映像波形图上，岩溶天窗处的波形有特殊的特征：折射波或反射波能量减小，波形不容易识别。面

波能量突然增加，振幅增大，波形变宽。在岩溶天窗处还可能出现岩溶天窗边缘产生的绕射波。

图 6 为桂林市中心的广场一个已知的塌陷上的地震映像波形图，面波同相轴较形象地反映了塌陷的形状。测量工作是在开挖后深 7 m 的基坑中进行的，此时表层为砂卵石层，基岩为易溶灰岩。岩溶塌陷的地震映像异常主要特征为：塌陷处各种波速度降低，面波振幅突然增大，形成明显下凹的同相轴。

3.4 基岩面起伏

图 7 是贵港某大楼的地震映像波形图，图 7a 为整个测线的地震映像振幅图。在局部面波同相轴起伏较大。总体看来，左侧基岩面浅，右侧深，中间部分有一处基岩凹陷。基岩深度根据反射波的波至时间定量计算。图 7b 为图 7a 左侧部分的

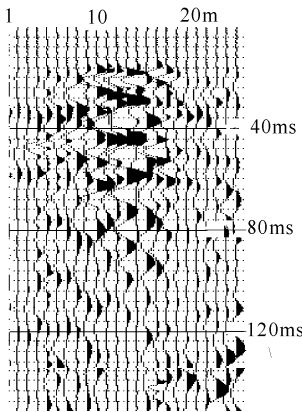


图 5 溶洞上的地震映像波形图

Fig. 5 Seismic imaging profiling recording over a limestone cave

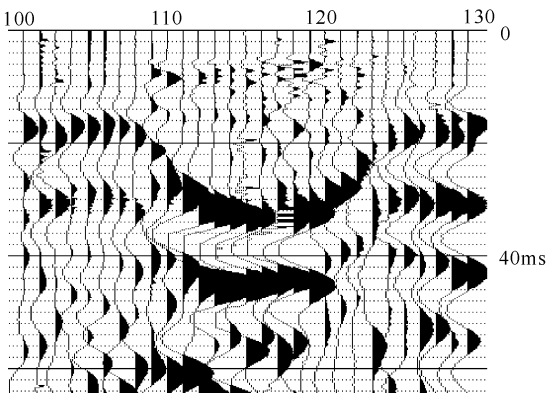
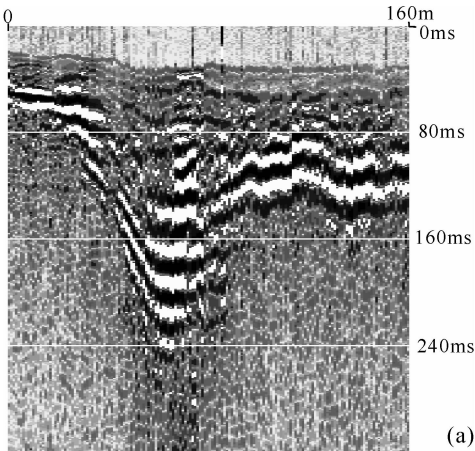
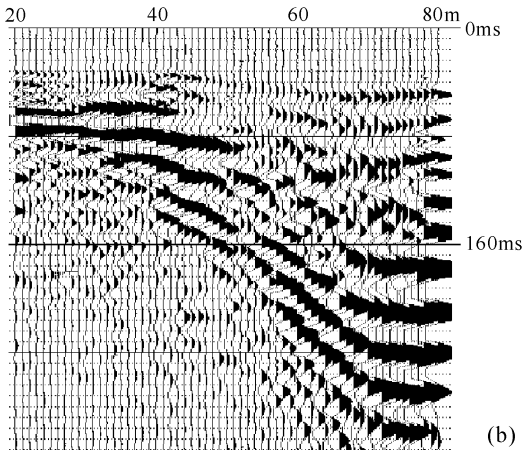


图 6 岩溶塌陷上的地震映像波形图

Fig. 6 Seismic imaging profiling recording over a Karst collapse



(a)



(b)

图 7 反映基岩面起伏的地震映像波形图

Fig. 7 Seismic imaging profiling recording over bedrock terrain

a—地震映像振幅图；b—波形图

波形图,反射波(第 2 个波至)准确地反映出基岩深度的变化.在测线左侧边缘,基岩深度为 10 m,基岩凹陷处深度(面波同相轴下凹中心)约为 16 m.

3.5 断裂带的探测

断层存在时,在岩性突变点或断层的角点产生绕射波,在地震映像图上,出现明显的双曲线型同相轴.在南宁国际会展中心工程物探工作中采用地震映像法探测地质构造.偏移距离为 16 m,点距 0.5 m,采样间隔 0.2 ms.

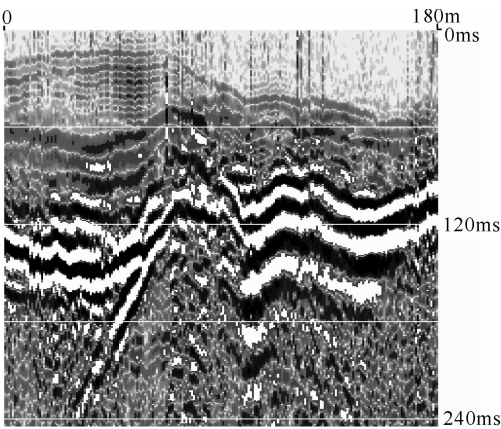


图 8 断层附近的地震映像彩色振幅记录  
Fig. 8 Seismic imaging profiling recording over a fault

在断层附近的地震映像彩色振幅记录如图 8 所示.从图上可以看到明显的绕射波,绕射波双曲线的顶点即为断层在剖面上的端点;在断层端

点两侧的地震波形特征有明显的差异,断层端点左侧有多组反射波,为泥岩地层中多个泥岩薄层或含煤层的反映;右侧为较厚的砂岩地层的反映.

除工程勘查外,地震映像方法还可以用于小尺度的质量检测工作,只要适当地选取震源频率和数据采集参数,也可以得到较好的效果<sup>[3]</sup>.

4 结 论

前面所举出的实例中,采用地震映像方法探测时,都采用了 1 种以上的有效波,这样分析解释就有更充分的依据,体现了多波探测的特点;结合地质资料后,能得到较好的地质效果.但分析地震波的种类、合理地采集有效波,准确地分析解释地震映像波形图的基础仍然是制作和分析试验剖面.必要时在一个工地上,需要在具有不同地质条件的地方做多个剖面.

参考文献:

[1] 刘云祯,王振东.瞬态面波法的数据采集处理系统及其应用实例[J].物探与化探,1996,20(1):1-6.  
[2] 王庆海,徐明才.抗干扰高分辨率浅层地震勘探[M].北京:地质出版社,1991.  
[3] 单娜琳,朱德兵,黄锡柳,等.地梁、桩承台等混凝土构件质量的检测方法[J],桂林工学院学报,2002,22(2):133-136.

Seismic imaging profiling method and application

SHAN Na-lin, CHENG Zhi-ping

(Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** It is discussed about the characteristics of seismic imaging profiling method with a description of the features of reflection waves, refraction waves, surface waves and diffraction waves in seismic imaging profiling recording. Five cases are given showing the seismic imaging profiling recording over typical geological structures such as cavities in soil, caves in limestone, and faults in bedrock, in which, one or more kinds of waves in seismic recording are used for the data interpretation. These cases show the advantages and effects of comprehensive use of various kinds of waves in seismic imaging profiling.

**Key words:** seismic survey; seismic imaging profiling; engineering investigation