

# 瞬态多道瑞利波勘探技术在 岩土工程勘察中的应用

李哲生 (福建省建筑设计研究院 福州 350001)

**【提要】** 本文阐述了瞬态多道瑞利波勘探的原理和方法,并以工程为实例,介绍了这种方法在岩土工程勘察中的应用。

**【关键词】** 瑞利波勘探 瞬态 多道 频散曲线 岩土工程

**【Abstract】** Principle and technique of instantaneous multichannel R-wave are expounded herein and the application of this technique to investigation of geotechnical engineering is presented by practical example.

**【Key Words】** Rayleigh wave exploration instantaneous multichannel frequency dispersion curve geotechnical engineering

## 1 前言

近年来,瑞利波勘探技术已成功地应用于岩土工程勘察方面,主要以稳态激振方法居多,其代表为日本VIC株式会社的GR-810、GR-830地下勘探机。国内也有一些类似的仪器设备,它们的勘探原理都相同,即利用扫频仪和功率放大器发出的谐波电流推动电磁激振器对地面产生稳态面波,由相隔一定距离的拾振器将接收到的面波振动转换为电压量送入计算机(频谱分析仪)进行相关计算,得出频散曲线。

由于稳态激振面波勘探方法设备较为复杂,重量也大,随之出现了瞬态面波勘探方法,其设备较为轻便,测试速度快。但也有许多缺点,主要是瞬态激振的功率密度谱分布不均,许多频率能量太小,随机干扰大,以致于频散曲线与理论相差太大,常常无法利用。为了克服这些缺点,目前发展了一种新的面波勘探方法——瞬态多道瑞利波勘探技术,它的激振可采用不同材料和质量的锤或重物下落激振,通过多次迭加和多道相关迭加,使得频谱能量加大,干扰减小。据此,北京华水物探研究所研制了SWS多功能面

波仪,并将分析处理软件装入计算机内。经过许多工程应用表明,这种方法在地基场地土类型和建筑场地类别的划分、建筑场地土层的划分、地基加固效果评价、灾害地质体调查等方面应用具有轻便、快速、准确等特点。

## 2 方法原理

在地面施一适当的竖向激振力(可用大锤敲击地面或吊高重物自由下落),地下介质中可产生纵波、横波和瑞利波,可用如下的波动方程来描述它们的运动:

$$\begin{aligned}\nabla^2 \phi &= \frac{1}{v_p} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \\ \nabla^2 \psi &= \frac{1}{v_s} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}\end{aligned}\quad (1)$$

其中 $\phi$ 、 $\psi$ 为质点位移的势函数, $v_p$ 和 $v_s$ 分别为纵波和横波的速度。

对于平面波可得(1)式的一个解为:

$$\phi(x, y, z) = A e^{-k V_1 Z} \cdot e^{i k (x - v_r t)}$$

$$\psi(x, y, z) = B e^{-k V_2 Z} \cdot e^{i k (x - v_r t)} \quad (2)$$

式中:  $V_1 = [1 - (v_r/v_p)^2]^{1/2}$

$V_2 = [1 - (v_r/v_s)^2]^{1/2}$

$k$ 为波数,  $v_r$ 为瑞利波速,  $A$ 、 $B$ 为常

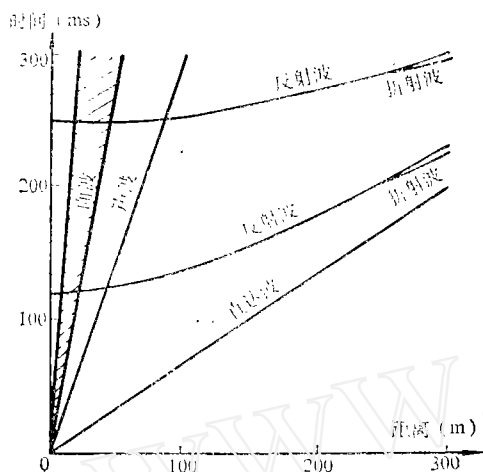


图1 各种波旅行时距曲线

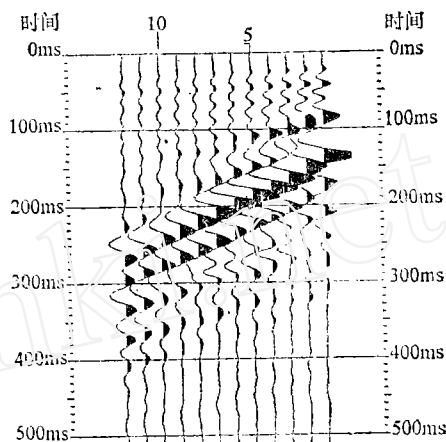


图2 多道面波记录

数。

由(2)式可得瑞利波传播的二个特性：一是瑞利波振幅随深度衰减，能量大致被限制在一个波长以内；二是由地面振动波的瞬时相位可确定瑞利波传播的相速度。瞬态面波法即根据这二个特性，在相距一定距离的地面二点安置拾振器，接收面波振动，通过频谱分析，作出波长~波速频散曲线，从而算出地下土层的瑞利波速 $v_r$ 。瑞利波速和横波波速的关系为

$$v_s = \frac{1 + \sigma}{0.87 + 1.12\sigma} v_r \quad (3)$$

$\sigma$ 为泊松比。

当 $\sigma$ 从0.25至0.5时， $v_r/v_s$ 从0.92至0.95。由此可将瑞利波速换算成横波波速。

瞬态多道瑞利波法是在地面上沿着面波传播的方向布置间距相等的多个拾振器，一般可为12个或24个。将多个拾振器信号通过逐道频谱分析和相关计算，并进行迭加，得出一条频散曲线，从而消除了大量的随机干扰，信号中各频率成份能量大为增强，使得地质体在频散曲线上的反映更加突出，判断准确性大大增强。

### 3 瞬态多道瑞利波的采集方法

在时域内，面波采集的质量好坏，直接

影响到计算出的频散曲线。与反射法地震勘探方法相同，瞬态多道面波勘探也存在一个最佳窗口问题。由图1可见弹性波在时间空间域内传播时，其各种波型（直达波、折射波、反射波、声波和面波）均遵循各自的传播规律，瞬态多道瑞利波方法强调：(1)各道采样必须设计排列在面波域内，且采集到足够长的记录；(2)尽量使采集到的波型单一，即：不使直达波的后续波或反射、折射波干扰面波，同时避免周围的干扰振动；(3)采集的波形不能失真。

### 4 工程应用

福建东部沿海地区普遍为软土地层，利用瞬态多道瑞利波勘探技术划分20~30m以内的土层分布仅用18磅大锤激振即能产生相当不错的效果。在场地抗震参数测试中，使用这种方法确定地面下15~20m范围内平均剪切波速，进而确定场地类别效果尤佳。

福州某处场地上拟建20层楼房，我们承担勘察任务。鉴于福州市为7度抗震设防城市，我们在钻孔边地面进行了瞬态多道瑞利波测试，并在钻孔中进行了土层剪切波速测试。

面波测试采用12道，道间距为2m，振源采用18磅大锤敲击地面，采样间隔为1.0

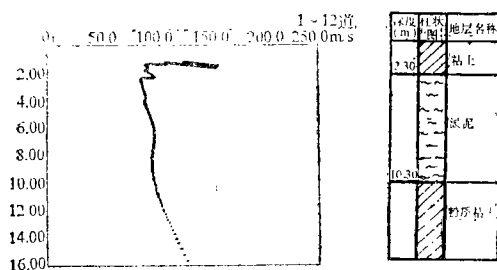


图3 频散曲线和钻孔柱状图

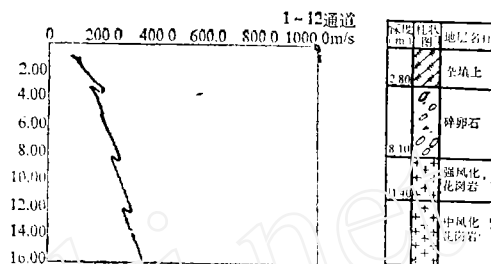


图4 频散曲线及钻孔柱状图

ms, 采样点数为1024点, 拾振器为2.5Hz垂直检波器, 接收和处理仪器为SWS面波仪, 处理软件采用SWS2.0面波处理系统。图2为采集的面波记录, 图3为经过计算机处理过的频散曲线和钻孔柱状图。从频散曲线算得地面下15m内平均波速 $v_s = 135\text{m/s}$ , 换算成剪切波速为 $v_s = 142\text{m/s}$ , 钻孔剪切波速测得 $v_s = 147\text{m/s}$ , 两者基本上是相同的。

瞬态多道瑞利波勘探方法用于建筑场地地层划分亦是一种低成本、快速的物探方法。某拟建的18层建筑物位于河漫滩冲积平原上, 勘察要求划分强风化及中风化岩面深度。我们进行了瞬态多道瑞利波勘察, 在频散曲线上根据拐点划出了层面深度, 经钻探验证, 推断深度与实际深度相符。图4为频散

曲线及钻孔柱状图。

## 五 结束语

瞬态多道瑞利波勘探技术用在岩土工程勘察中是一种有效的方法, 它对于土层波速测试、场地类别划分、土层划分等具有快速、灵活的优点, 但在应用中应选择恰当的工作布置和采集参数, 选择合适的仪器设备, 注意避开地面振动干扰, 才能得到好的频散曲线。在解释过程中, 如能进行频散曲线的正演和反演, 以及进行 $F-k$ 二维滤波, 则能更准确地获得土层波速、深度等参数。

## 参考文献

- [1] 朱介寿等编, 地震学中的计算方法, 地震出版社, 1988
- [2] 杨成林等编, 瑞利波勘探, 地质出版社, 1993

(上接第70页)

一根长3m、 $\phi 90\text{mm}$ 的铁管代替钻孔, 使探头在孔内上下不断运动, 经观察探头可一直贴在孔壁上, 实验的结果令人满意。1995年在板石工地对90m深的ZK01和ZK05钻孔进行声波测井时, 采用了孔内贴壁装置, 纵波初至明显, 清晰可见, 接收效果好, 解决了多年来声波不能测试横波的难题。由于探头在孔内稳定性好, 测试效率也有明显提

高。

## 5 结语

孔内探头贴壁装置应用物探测井时, 操作方便, 简单易行; 它能提高测井效率, 克服孔壁对探头产生的多种不利因素, 减少探头在孔内的卡死现象; 特别是多年来声波测井时得不到横波, 利用这种装置便可获得岩体横波速度, 对物探测井起到了推动作用。