

吴华平. 多道瞬态瑞雷面波勘察对比试验分析[J]. 华南地震, 2014, 34(3): 40–44. [WU Huaping. Comparison and Analysis on Exploration Results of Multi-channel Transient Rayleigh Surface Wave Data [J]. South china journal of seismology, 2014, 34(3): 40–44.]

## 多道瞬态瑞雷面波勘察对比试验分析

吴华平<sup>1,2,3</sup>

(1. 广东省地震局, 广州 510070; 2. 中国地震局地震监测与减灾技术重点实验室, 广州 510070;  
3. 广东省地震预警与重大工程安全诊断重点实验室, 广州 510070)

**摘要:** 阐述了瞬态瑞雷面波勘察的原理和方法, 通过对比勘探, 分析 24 道检波数据与 12 道检波数据解译频散特征; 试验证明前者勘探深度深, 分辨率高, 该结论对瑞雷面波在工程中的应用有一定指导作用。

**关键词:** 对比勘探; 频散特征; 分辨率

中图分类号: P631.4 文献标志码: A 文章编号: 1001–8662 (2014) 03–0040–05

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.03.007

## Comparison and Analysis on Exploration Results of Multi-channel Transient Rayleigh Surface Wave Data

WU Huaping<sup>1,2,3</sup>

(1. Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China; 2. Key Laboratory of Earthquake Monitoring and Disaster Mitigation Technology, CEA, Guangzhou 510070, China; 3. Key Laboratory of Earthquake early Warning and Safety Diagnosis of Major Project, Guangdong Province, Guangzhou 510070, China)

**Abstract:** This paper discusses the principles and methods of transient rayleigh surface wave exploration, and then the paper compares and analyzes the dispersion characteristic of the interpretation results of the 24-channel and 12-channel inspection data. The experiment proves that the 24-channel inspection data have higher resolution and deeper exploration depth. There is some guidance for the application of rayleigh surface wave in the project in the future.

**Keywords:** Contrast exploration; Dispersion characteristic; Resolution

### 0 前言

多道瞬态瑞雷面波法是一种岩土测试勘察技术, 因其在非均匀介质中的频散特性和传播速度

与岩土物理力学性质的相关性, 可以解决很多实际工程地质问题, 并且得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。随着科技的进步, 仪器性能不断提高, NZXP 专业型 24 道高精度高分辨率浅层仪问世, 4.5 Hz\2.5 Hz\1 Hz 等

收稿日期: 2013–03–26

基金项目: 广州市部分城区震害预测与防御对策系统升级更新项目(GMTC125BZFG0038JO)

作者简介: 吴华平 (1980–), 男, 工程师, 硕士研究生, 中国地质大学地球探测与信息技术专业, 主要从事数学地质, 地震工程等方面研究。

E-mail: wuhuaping690@sohu.com.

低频检波器推出,使面波勘探方法精度和深度有较高提升。

试验场地位于东莞寮步境内,线路所处的地貌单元属平原地貌区,线路穿过区域为较平整的农田、杂草地,场地地面高程相差不大<sup>[2]</sup>,增加检波道数,测线中检波器所处的场地环境仍然近似相同,仍然满足地震勘探的基本理论假设前提。此次试验分别进行了24道检波数据与12道检波数据解释,并对结果进行分析对比,前者勘察效果更佳,试验结果适用性较好。

## 1 瞬态瑞雷面波勘探原理、工作方法及资料处理流程

### 1.1 勘探原理

瞬态瑞雷面波是指在弹性分界面处由于波的干涉而产生,并且沿界面传播,波动现象集中在界面附近的一种弹性波,它具有以下主要特性<sup>[2-6]</sup>:

(1) 在不均匀介质中,瞬态瑞雷面波的传播速度  $V_R$  是频率  $f$  的函数,其波速随频率变化而变化,即瑞雷面波在非均匀介质中具有频散特性,在均匀介质条件下瑞雷面波传播没有频散性;这就是瑞雷面波的频散特性。在均匀介质中无频散性和不均匀介质中有频散特性是瑞雷面波勘察的理论基础<sup>[2-3]</sup>。

(2) 在多层介质中,瞬态瑞雷面波具有明显的频散特性。瞬态瑞雷面波沿地面表层传播,理论上,影响表层的深度约为一个波长。同一波长(频率)瞬态瑞雷面波的传播特性反映了场地地质条件在水平方向的变化情况,不同波长(频率)的瞬态瑞雷面波的传播特性反应了场地地质条件在垂直方向的变化情况<sup>[4]</sup>。

(3) 瞬态瑞雷面波的能量大部分集中在一个波长的深度范围内,据此认为瞬态瑞雷面波的勘察深度约为一个波长<sup>[5]</sup>。

(4) 瞬态瑞雷面波波速近似等于横波波速,并具有相关性。瞬态瑞雷波速和横波波速的关系为<sup>[1-5]</sup>:

$$V_s = \frac{1+V}{0.87+1.12V} V_r \quad (V-\text{泊松比}) \quad (1)$$

式(1)中,当  $V$  取 0.25~0.5 范围时,  $V_r/V_s$  则取从 0.92~0.95 范围。据此我们可将瞬态瑞雷波波速换算成横波波速。

瑞雷面波数据的野外采集,是在地面上沿波的传播方向,以一定的道间距  $\Delta x$  设置  $N+1$  个检波器,就可以检测到瞬态瑞雷面波在  $N\Delta x$  长度范围内的传播过程<sup>[8]</sup>,如图 1。

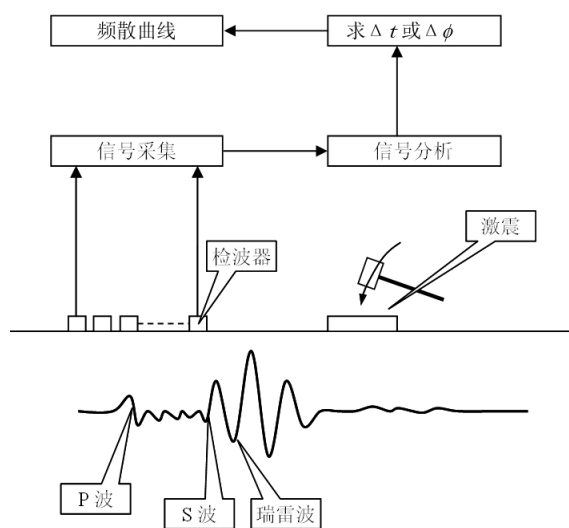


图 1 瞬态瑞雷波测试原理图

Fig.1 The principle diagram of transient rayleigh wave

设瞬态瑞雷面波的频率为  $f$ , 相邻检波器记录的瞬态瑞雷面波的时间差为  $\Delta t$  (或相位差为  $\Delta\phi$ ), 则相邻道  $\Delta x$  长度内瑞雷波的传播速度为<sup>[2,7]</sup>:

$$V_R = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ 或 } V_R = \frac{2\pi f \Delta x}{\Delta\phi}$$

测量范围  $N\Delta x$  内平均波速为:

$$V_R = \frac{N\Delta x}{\sum_{i=1}^N \Delta t_i} \text{ 或 } V_R = \frac{2\pi f N\Delta x}{\sum_{i=1}^N \Delta\phi_i}$$

在同一地段测量出一系列频率对应的  $V_r$  值, 就可以得到一条  $V_r \sim f$  曲线, 即所谓的频散曲线, 频散曲线的变化规律与地下地质条件存在着内在联系, 通过对频散曲线进行反演解释, 可得到地下某一深度范围内的瑞雷波传播速度  $V_r$  值,  $V_r$  值的大小与介质的物理特性有关, 据此可对岩土的物理性质做出评价<sup>[1]</sup>。

### 1.2 工作方法

本次瞬态瑞雷面波勘察野外数据采集采用美国 Geometrics 公司生产的 Strata Visor NZ XP 地震仪, 震源采用 28 磅锤击震源, 为获取更丰富的低频信号来增加瞬态瑞雷面波的勘察精度, 此次勘察采取了如下措施<sup>[2]</sup>:

- (1) 采用多次信号叠加增强瞬态瑞雷面波<sup>[2]</sup>。
  - (2) 采取铁板加沙袋垫的方式进行锤击激发方式。
  - (3) 采用主频为 2.5 Hz 的低频检波器进行接收。
- 主要的野外采集参数: 24/12 道检波, 偏移距 12 m, 道间距 2 m, 采样间隔 0.5 ms, 采样长度 1 024 ms。

### 1.3 资料处理流程

瞬态瑞雷面波法是通过人工震源单边激发,产生一定频率范围的瞬态瑞雷面波,然后通过振幅谱与相位谱的分析,把记录中不同频率的数据分离出来,分别对各频率谐波进行互相关运算,计算出它们的传播速度,进而得到一条关于  $V_r \sim f$  频散曲线,再根据  $V_r \sim f$  曲线的结果进行拟合反演计算,求取场地可勘察岩土层的深度和横波速度,根据各岩土层的深度与速度绘制出地层波速影像图<sup>[5-7]</sup>。整个处理流程图如图 2。

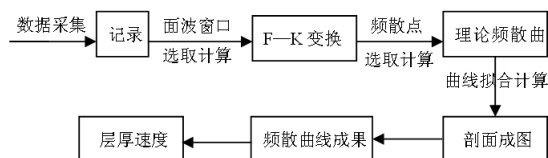


图 2 瞬态瑞雷面波处理流程图

Fig.2 The data interpretation flow chart of transient rayleigh surface wave

## 2 24 道检波数据与 12 道检波原始数据及频散曲线计算结果分析

在一定距离范围内,水平向地层变化可以忽略不计的同一场地,采用相同偏移距、道间距、采样间隔,同源激发下,24 道检波数据与 12 道检波数据原始记录分别如下图 3、图 4 所示。由于仪器第一道损坏而记录不到数据,但对瞬态瑞雷面波勘探影响不大,也不会改变勘察实验的结果。

从波形数据中可看到瞬态瑞雷面波与干扰信号(折射波、反射波、直达波等)分离效果比较明显,较易辨认<sup>[2]</sup>,24 道检波原始数据较 12 道检波原始数据中记录的数据量大且低频段信号丰富。图 4、6 分别是 12 道检波原始数据较 12 道检波原始数据频散曲线计算结果。24 道检波数据与 12 道检波数据频散曲线及对照示意图分别如下图 5、6、7 所示。

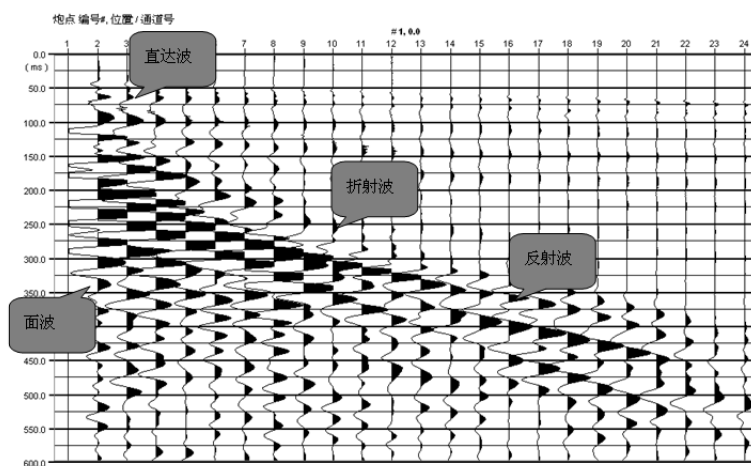


图 3 24 道检波原始记录

Fig.3 The original records of the 24-channel detection data

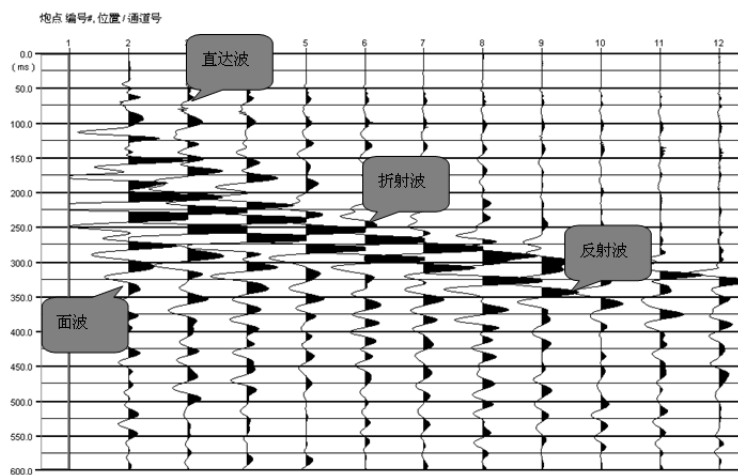


图 4 12 道检波原始数据

Fig.4 The original records of the 12-channel detection data

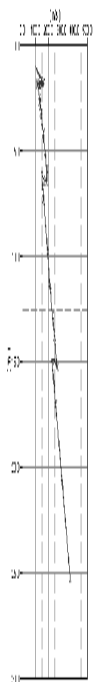


图 5 24 道检波数据频散曲线  
Fig.5 The dispersion curve of the 24-channel detection data



图 6 12 道检波数据频散曲线图  
Fig.6 The dispersion curve of the 12-channel detection data

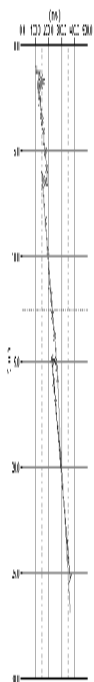


图 7 24 与 12 道检波频散曲线对比  
Fig.7 Comparison of dispersion curve of the 24-channel and 12-channel detection data

从二者频散曲线对比中可见：

- (1) 24 道检波频散曲线在 15 m 之前有三处拐点出现，能较好的进行分层；12 道检波频散曲线在 7 m 前有 2 处拐点出现，能进行较好分层。
- (2) 7 m 之下，12 道检波频散曲线频散点距明显增大，拐点不明显，说明其分辨率在此深度之下明显下降；24 道检波频散点距在 15 m 之上相对较小，拐点明显，分辨率较好；证明 24 道检波

数据探测深度大，分辨率高。如图 8 为瞬态瑞雷面波解释剖面及钻探验证结果。

结合所收集到相关地质资料，对瞬态瑞雷面波资料分析计算，得出本次勘察场地沿线第四系覆盖层中各地层划分结果<sup>[2]</sup>，特别是对测线中 20 m 左右以内的覆盖土层(主要为淤泥、淤泥质土、粉土、粘土等)的深度和分布范围等进行了较精确的圈定，经钻探资料验证，24 道检波瞬态瑞雷面波

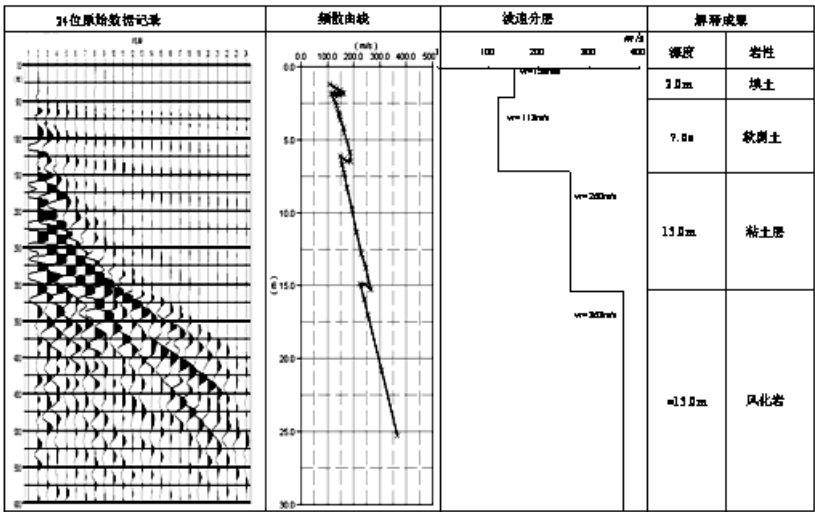


图 8 瞬态瑞雷面波解释剖面及钻探验证结果  
Fig.8 Interpretation section of transient rayleigh wave and verification results of drilling

勘察可勘测范围内土层的分辨精度良好。

(1) 瞬态瑞雷面波频散曲线拐点与其勘察深度范围内覆盖土层的分界面基本一致。

(2) 在覆盖土层段瞬态瑞雷面波波速  $V_r=90\sim 120$  m/s, 有比较清晰低速异常现象。

(3) 硬塑状砂质粘性土及风化层的波速分别为  $V_r=230\sim 280$  m/s、 $V_r>280$  m/s, 显著高于覆盖土层。

(4) 深度在 20 m 以下, 频散曲线的频散点显著稀疏, 拐点变的不明显, 可以说明在此勘察场区地质条件下, 瞬态瑞雷面波的分辨精度在 20 m 深度以下已明显下降。尽管如此, 也很好完成了该场地瑞雷面波勘探任务。

### 3 结语

通过本次试验, 有如下体会和认识。

(1) 在勘探场地水平向地层变化较小的情况下, 24 道检波勘探效果比 12 道检波勘探效果好, 它提高了探测深度, 增加探测分辨率。虽然通过增加最小偏移距、道间距可以提高探测深度, 但分辨率降低了, 可信度下降, 探测效果变“粗”。

(2) 瞬态瑞雷面波勘探的有效深度不仅与能量有关, 还与频率有关。在实际工作中, 我们可以通过增加激发信号的低频成份(增加激发垫板尺寸或激发板加垫橡胶垫、沙袋等), 使用低频检波

器, 有利于提高分辨率, 降低误差。

(3) 实际工作中可以在工程场地适当的辅以工程钻探进行岩层揭露, 作为瞬态瑞雷面波勘察解释分层的参考, 提高地震综合解释精度。

### 参考文献:

- [1] 王振东. 浅层地震勘探应用技术[M]. 北京: 地质出版社出版, 1994.
- [2] 杨成林. 瑞雷波勘探[M]. 北京: 地质出版社出版, 1993.
- [3] 何樵登, 熊维纲. 应用地球物理教程-地震勘探[M]. 北京: 地质出版社出版, 1991.
- [4] 吴汉杰, 陈耀禅. 瞬态面波勘探技术在高速公路软基勘察中的应用[J]. 西部探矿工程, 2005, 114 (10): 189-191.
- [5] 王振东. 面波勘探技术要点与最新进展[J]. 物探与化探, 2006, 30 (6): 1-6.
- [6] 周军平, 汪魁, 刘运来. 面波勘探方法在填方路基压实质量检测中的应用[J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2013, 32 (1): 50-53.
- [7] 徐华全. 瑞雷面波频散特征研究及应用[D]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- [8] 懂海文. 瞬态瑞雷面波法在公路工程质量检测中的理论与应用研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2009.