

瞬态瑞雷面波法研究及其在边坡工程中的应用*

周 阳 黄真萍 叶 琪 张远帆

(福州大学环境与资源学院 福州 350108)

摘 要 瞬态瑞雷面波法作为一种新的物探方法,它的原理主要是通过激发和接收不同频率的瑞雷波的传播速度,来探测不同深度或者距离的岩石的物理力学性质,为了解地下岩石性质提供理论依据。本文结合工程实例对瑞雷面波的基本原理和数据解释的方法进行深入的探讨,利用瑞雷波的频散曲线对浅部的岩层进行分层,为寻找潜在滑动面提供理论依据。

关键词 瞬态瑞雷面波 频散曲线 速度分层 横波速度

中图分类号:TU47 文献标识码:A

APPLICATION OF THE TRANSIENT STATE RAYLEIGH WAVE METHOD IN THE SLOPE GEOTECHNICAL ENGINEERING

ZHOU Yang HUANG Zhenping YE Qi ZHANG Yuanfan

(College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350108)

Abstract Transient Rayleigh wave exploration technique is a new type of seismic exploration method. It stimulates and receives the spread speed of different frequencies of Rayleigh wave to detect the physical and mechanical properties of rock from different depth or distance and provides the basis for understanding the rock properties. This article investigates the basic principle of transient Rayleigh wave and the method of data interpretation based on the engineering example, and utilizes the frequency disperse curve of Rayleigh wave for layering of shallow layer, determines for the potential sliding surface.

Key words Transient state rayleigh wave, Frequency disperse curve, Velocity layering, S-wave velocity

1 引 言

瑞雷面波是一种沿介质表面传播的弹性波,由英国科学家瑞雷(Rayleigh)发现和数学论证。瑞雷面波法作为近几年迅速成熟起来的物探方法,因为它的一系列优点而得到了现场工作人员的广泛青睐,国内外已经有机机构研究了瑞雷面波在表层介质中的分布和传播特征,利用它来查明工程区表层岩

土介质速度结构并对其进行分层,取得了令人满意的效果。由于钻孔法受到仪器和现场工作条件的限制,往往只能满足部分工程项目的要求,所以瑞雷面波的高效、便捷、经济、可靠的优点对于条件复杂、工期较紧迫的工程项目就显的更加重要。

按振源形式的不同可将瑞雷面波法分成稳态振动法和瞬态振动法。它们的测试原理是相似的,震源机制不同和数据处理方法不一致,各有优点和不足。

* 收稿日期:2010-06-17;收到修改稿日期:2010-07-01.

基金项目:国家大学生实验创新项目“多道瞬态瑞雷面波法研究及其在边坡工程中的应用(091038610)”资助.

第一作者简介:周阳,勘察技术与工程专业. Email:zhphuang@126.com

2 测试原理

根据弹性力学理论,当地面敲击振动时,在地表面附近存在瑞雷波(又称 R 波),R 波向各方向传播,传播能量占全部激振能量的 67%,使得传播方向上衰减比较慢(正比于距离的平方根 \sqrt{R})。并且面波的频率较低、周期较大,波形振幅能量较强。因此,这些特点有利于对数据的采集和分析,较高的信噪比为提高勘测精度创造了有利的条件。

依据瑞雷波传播的原理(图 1,图 2),在地面上沿波的传播方向布置测线,以一定的道间距 ΔX 设置 $N+1$ 个检波器,在地面上激发点激发一瞬时冲击力,产生一定频率范围的瑞雷波,以脉冲的形式向前传播,引起表面层附近介质的振动, N 个检波器接收振动信号,利用面波采集仪器采集与保存记录。

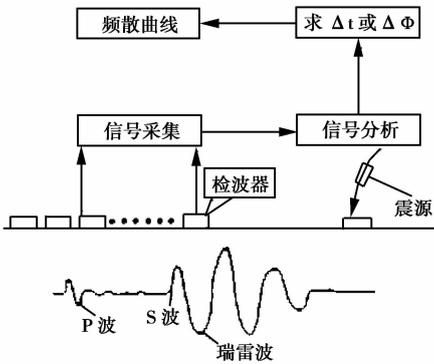


图 1 瞬态瑞雷波测试原理示意图

Fig. 1 Diagram of principle of transient Rayleigh wave testing

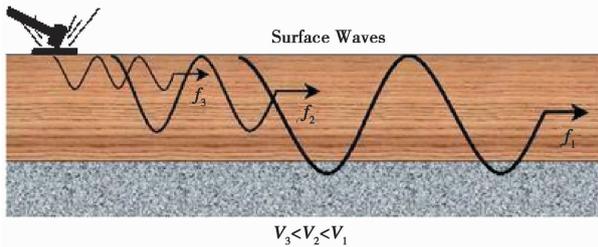


图 2 不同频率瑞雷波传播图

Fig. 2 Graph of propagation of different frequency Rayleigh wave

当多道低频检波器接收到脉冲形振动信号后,经数据采集,频谱分析后,把各个频率的 R 波分离出来,并求得相应的 V_R 值,进而绘制面波频散曲线。然后利用获得的瑞雷波频散曲线,通过半波长法,求得相应深度,达到测试不同深度分层介质横波速度的目的,进而对边坡的工程地质稳定性条件作出分析、评价。同时,通过频散曲线反算出来的剪切

波(S波)做其他相干分析,还可以计算边坡分层介质的各种岩石力学参数和其各层之间的均匀性以及黏结情况。

在成层空间弹性介质中,各层介质的弹性性质不同,使得瑞雷波具有频散性。单一波长(或单一频率)组分的面波传播速度称该波长(或频率)的相速度,不同频率的相速度有差异称为频散(Dispersion)。由 V_R 与 V_s 的近似关系可知,瑞雷面波速度与剪切波速接近,且该波速所对应的有效深度为瑞雷波波长的一半至三分之一(目前国内外大多采用半波长作为瑞雷面波的有效传播深度),因此,从频散曲线可反演各层的波速度及深度。另外,瑞雷波速度 V_R 与介质的剪切波速 V_s 有近似相等关系,也可对瑞雷波频散曲线直接进行综合分析划分地层。

3 工程应用

实际工程中选择合理的野外采集方法,获得最佳的瑞雷面波原始记录,经过精细的资料处理,获得波速度点瑞雷波频散曲线,从而获得获得瑞雷波的传播速度 V_R 。

3.1 工程简介

某边坡工程位于福州市仓山区新火车站附近(图 3),地貌为剥蚀山麓斜坡,地形较陡,大部分基岩出露,部分沟谷有少量植被和第四系沉积物分布,从山上的卵石可以判断出此处曾为河床或河岸,后经地壳运动抬高。山脉多呈西北至东南向展布,地势起伏较大,山峰海拔在 150m 左右,山坡坡度多在 $20^\circ \sim 50^\circ$ 。测区地层岩性主要为中风化花岗岩岩石分布,少数岩层中夹有大块的石英岩脉,岩石颜色以青灰色、灰色为主,少量岩石呈浅黄色,表面岩石的风化较为严重,节理裂隙发育,而且可以非常明显的看到顺层滑动的现象,在山顶可以看到大型球型风化后留下的痕迹,有大块的孤石,对边坡的稳定非常不利。

3.2 外业数据采集

本次野外数据的采集我们共布置五条测线,走向垂直于边坡的大致走向,间距大约 100m,面波的激发采用大锤竖向锤击钢板的方式获得激发能,并利用双向多道(6 道, 12 道或 24 道)观测系统(图 4),使用 WZG-24A 地震仪进行数据采集,采用 1m 道间距,偏移距为 2m,采样间隔 0.5ms,每道采样点

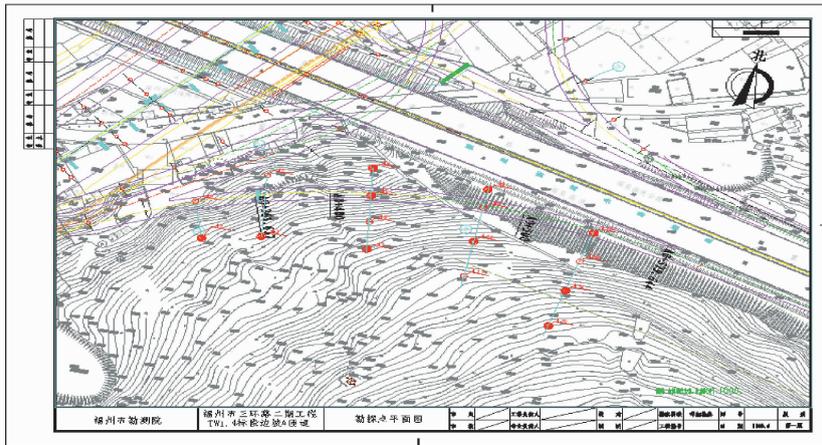


图3 边坡测线布置图

Fig. 3 Arrangement diagram of slope Line

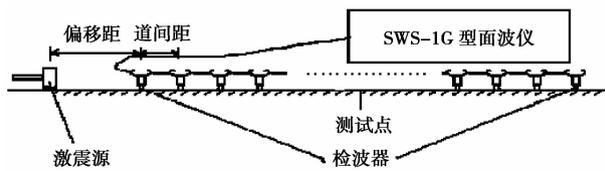


图4 瞬态瑞雷波测试示意图

Fig. 4 Diagram of transient Rayleigh wave testing

数 1024, 单个检波器记录长度 512.0ms, 接收传感器使用 4Hz 垂直地震检波器。定点反射波采集使用 6 道, 偏移距为 0.2m, 接收传感器使用 38Hz 垂直地震检波器。

一次激震完毕, 检波器接收地表振动信号, 检验采集数据质量, 满意后保存, 继续激震两次保存数据。检波器反向布置, 将震源点移动至另一侧相同偏移距处, 激震三次, 保存记录。一条测线作业完成, 对于其他测线, 重复以上步骤。

3.3 资料处理及解释

3.3.1 面波频散曲线的提取及解释

在室内处理时首先导入面波数据、对基阶面波选用合理的时空间窗口进行二维频谱分析, 在 f - K 域选择与拾取基阶面波的能量团, 从而获得频散曲线(图 5)。

此图反映了探测的岩层深度与面波波速的大致关系, 当介质均匀时, 面波的速度随深度的增加而增加, 当出现不同介质时, 频散曲线在其分界面会呈现“Z”字型, 由此可进行地质分层。在深度 7.5m 处, 出现“Z”字型变化, 划分第一层 0~7.5m 为中风化花岗岩, 第二层 7.5m~22.0m, 为微风化花岗岩, 第三层为 22.0m 以下, 为未风化花岗岩。

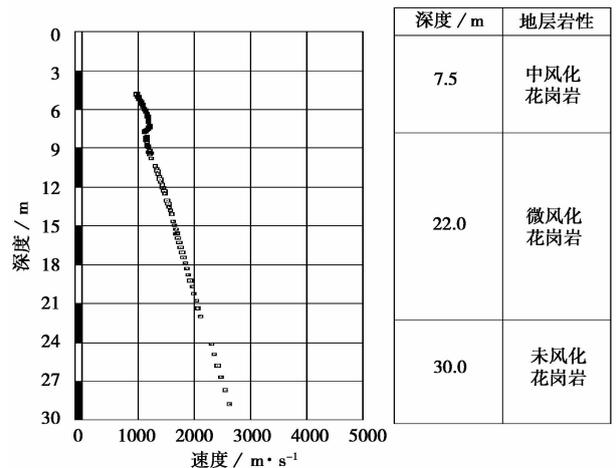


图5 频散曲线及地质分层图

Fig. 5 Diagram of frequency disperse curve and geological layering

3.3.2 面波频散曲线的利用

利用面波频散曲线生成速度映像彩色剖面, 并在此基础上绘制地质剖面图。

其中一条测线的面波波速等值线图(图 6)和岩土底层剖面图(图 7)。

通过面波测试方法及地震反射波测试方法对地下岩土层进行分析和对比。基本查明了测区内地层的分布情况和岩土性质。表层为中风化花岗岩, 基本上分布整个测区, 其底界面一般在埋深 0~6m 范围内分布; 在局部地区存在强风化花岗岩岩层, 但测区内分布面积相对较小; 而在全区范围内都存在微风化花岗岩岩层, 该层厚度在 15m 左右。

综上所述, 测区内覆盖层相对比较稳定, 表层岩体较完整, 深层岩体完整性良好。

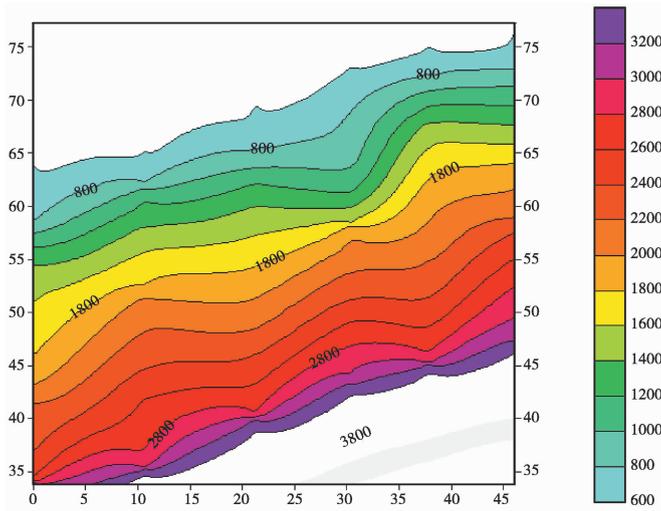


图6 面波速度等值线图

Fig. 6 Isopleth of surface wave velocity

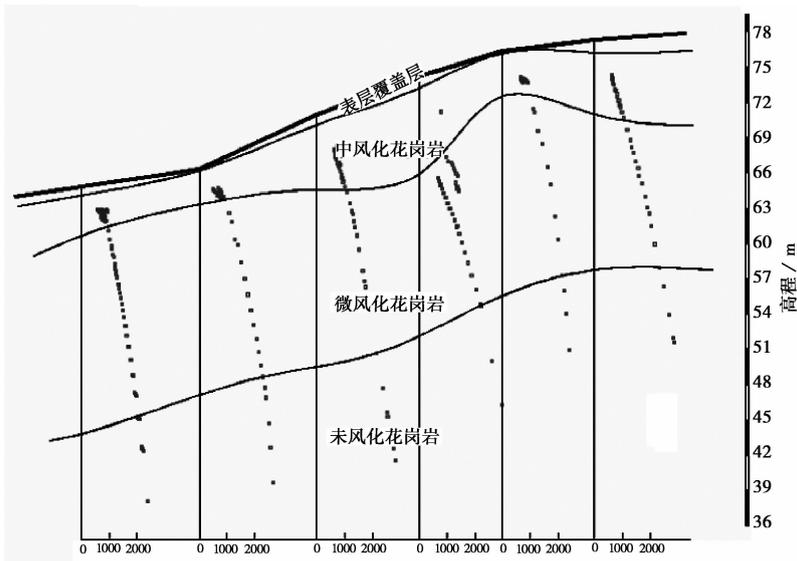


图7 地质剖面图

Fig. 7 Geological profile diagram

4 结束语

工程实例表明,多道瞬态面波法能够探测边坡工程中地层介质的分布和性质,为边坡岩石介质划分地层、寻找边坡潜在滑动面提供依据。但是从处理得到的数据中我们也发现了一些问题,由于各种操作和记录误差的影响,精度还有待提高,另外频率和能量的限制,探测深度也只能局限一定的范围,这也要求我们进行更多深层次的研究。

参 考 文 献

- [1] 陈济锋,黄真萍,郑素苹. 瞬态瑞雷面波法在边坡岩土工程勘察中的应用研究[J]. 西部探矿工程, 2008, 8: 0~8.
Chen Jifeng, Huang Zhenping, Zheng Suping. Application of the

transient state rayleigh wave method in the slope geotechnical engineering exploration. West-China Exploration Engineering, 2008, 8: 0~8.

- [2] 陈仲侯,王兴泰,杜世汉. 工程与环境物探教程[M]. 北京:地质出版社, 2005, 71~74.
Chen Zhonghou, Wang Xingtai, Du Shihan. Course of the Geotechnical and Environmental Engineering Exploration. Beijing: Geological Publishing House, 2005, 71~74.
- [3] 多道瞬态面波勘察技术规程[S]. JGJ/T143-2004, 12~13.
Technical Specification for Multi-channel Transient Surface Wave Investigation. JGJ/T143-2004, 12~13.
- [4] 吴世明. 岩土工程波动勘测技术[M]. 北京:水利水电出版社, 1992. 89~108.
Wu Shiming. Technology of Engineering Fluctuating Exploration. Water Conservancy and Hydroelectric Power Publishing House, 1992. 89~108.