

瞬态面波勘探及应用

刘康和 魏树满

摘要 面波勘探是近年发展起来的一种新的浅层地球物理勘探方法,具有简便、快速、经济、分辨率高、成果直观、适用场地小等优点,已在许多领域得到应用,并取得了良好的应用效果。介绍了面波勘探技术的发展概况、探测原理、主要特点及其野外测试方法,对其应用范围及目前存在的问题作了说明,并给出一个应用实例。

关键词 瑞利面波 地震勘探 瞬态法 频散曲线 面波勘探

中图分类号 TU459+.3 **文献标识码** A **文章编号** 1007-6980(2001)02-0031-03

面波勘探也称弹性波频率测深,是国内外近几年发展起来的一种新的浅层地震勘探方法。面波分为瑞利波(R波)和拉夫波(L波),而R波在振动波组中能量最强、振幅最大、频率最低,容易识别也易于测量,所以面波勘探一般是指瑞利面波勘探。

人们根据激振震源的不同,又把面波勘探分为稳态法、瞬态法和无源法。它们的测试原理是相同的,只是产生面波的震源不同。

1938年德国土力学协会首次尝试用稳态振动来检测岩土的各种弹性力学参数。1960年美国密西西比陆军工程队水陆试验所开始开发类似的技术方法,但由于当时技术条件的限制,均未获得成功。70年代初美国F·K·Chang等人利用瞬态激振产生的瑞利波来研究浅部地质问题,并于1973年在第42届国际地球物理勘探年会上发表了“瞬态面波在浅层勘探中的应用”论文,报道了有关的研究成果。在稳态方面,直到80年代初,日本的VIC株式会社经过多年的研究试制,推出了GR-810佐藤式全自动地下勘探机,才使该项物探技术在浅层工程勘察工作中得以应用。通过几年的实践和初步研究,R波在岩土工程勘察中的应用大致分为以下几个方面:①查明工程区地下介质速度结构并进行地层划分;②对岩土体的物理力学参数进行原位测试;③工业与民用建筑的地基基础勘察;④地下管道及埋藏物的探测;⑤地下空洞、岩溶、古墓及废弃矿井的埋深、范围等探测;⑥软土地基加固处理效果评价及饱和砂土层的液化判别;⑦公路、机场跑道质量的无损检测;⑧江河、水库大坝(堤)中软弱夹层的探测和加固效果评价等;⑨场地土类别划分及滑坡调查等;⑩断层及其它构造带的测定与追踪等。

1 勘探原理

面波是一种特殊的地震波,它与地震勘探中常用的纵波(P波)和横波(S波)不同,它是一种地滚波。弹性波理论分析表明,在层状介质中拉夫波是由SH波(水平方向S波)与P波干涉而形成,而瑞利波是由SV(垂直方向S波)波与P波干涉而形成,且R波的能量主要集中在介质自由表面附近,其能量的衰减与 $r^{-1/2}$ 成正比,因此比体波(P、S波 $\propto r^{-1}$)的衰减要慢得多。在传播过程中,介质的质点运动轨迹呈现一椭圆极化,长轴垂直于地面,旋转方向为逆时针方向,传播时以波前面约一个高度为 λ_R (R波长)的圆柱体向外扩散。

在各向均匀半无限空间弹性介质表面上,当一个圆形基础上下运动时,由它产生的弹性波入射能量的分配率已由Miller(1955年)计算出来,即P波占7%、S波占26%、R波占67%,亦就是说,R波的能量占全部激振能量的2/3,因此利用R波作为勘探方法,其信噪比会大大提高。

综合分析表明R波具有如下特点:

(1)在地震波形记录中振幅和波组周期最大,频率最小,能量最强。

(2)在不均匀介质中R波相速度(v_R)具有频散特性,此点是面波勘探的理论基础。

(3)由P波初至到R波初至之间的1/3处为S波组初至,且 v_R 与 v_S 具有很好的相关性,其相关式为: $v_R = v_S(0.87 + 1.12\mu)/(1 + \mu)$, μ 为泊松比,此关系奠定了R波在测定岩土体物理力学参数中的应用。

(4)R波在多道接收中具有很好的直线性,即一致的波震同相轴。

(5) 质点运动轨迹为逆转椭圆, 且在垂直平面内运动。

(6) R 波是沿地表传播的, 且其能量主要集中在距地表一个波长(λ_R)尺度范围内。

依据上述特性, 通过测定不同频率的面波速度 v_R 即可了解地下地质构造的有关性质并计算相应地层的动力学特征参数, 达到岩土工程勘察目的。

2 野外工作方法

应用瞬态法进行现场测试时一般采用多道检波器接收, 以利于面波的对比和分析。当锤子或落重在地表产生一瞬态激振力时, 就可以产生一个宽频带的 R 波, 这些不同频率的 R 波相互叠加, 以脉冲信号的形式向外传播。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。

当选取两道检波数据进行反演处理时, 应使两检波器接收的信号具有足够的相位差, 其间距 Δx 应满足 $\lambda_R/3 \sim \lambda_R$, 即在一个波长内采样点数要小于在间距 Δx 内的采样点数的 3 倍, 而大于在间距 Δx 内的采样点数的 1 倍, 该采集滤波原则对于不同的勘探深度及仪器分辨率和场地地层特性可作适当调整。

当采用多道检波数据进行反演处理时, 虽然不受道间距公式的约束, 但野外数据采集时也应考虑勘探深度和场地条件的影响。一般来说, 当探测较浅部的地层介质特性时, 易采用小的 Δx 值并用小锤作震源以产生较强的高频信号, 即可获得较好的结果; 当探测较深部的地层介质特性时, 易采用较大的 Δx 值, 并用重锤冲击地面, 以产生较低频率的信号, 使其能反映地下更深处介质信息, 达到岩土工程勘察之目的。

震源点的偏移距从理论上讲越大越好, 且易采用两端对称激发, 有利于 R 波的对比、分辨和识别, 但偏移距增大就要求震源能量加大和仪器性能的改善。一般来说, 偏移距应根据试验结果选取。就目前的仪器设备条件和反演技术水平, 选用偏移距 20~40 m 即可获得较好的测试结果。

由多道检波数据反演处理后可得一条频散曲线, 一般把它作为接收段中点的解释结果。实际上该曲线所反映的地层特性为接收段内地层性质的平均结果, 故当探测场地地下介质水平方向变化较大时, 只要能满足勘探深度的要求, 尽量使反演所用

的接收段减小, 以使解释结果更具客观实际。

3 工程应用

西部大开发十大项目之一的黄河沙坡头水利枢纽位于黄河上游干流上, 上距待建的大柳树坝址 12.1 km, 下距青铜峡水电站 122 km, 行政隶属宁夏回族自治区中卫县。主要建筑物由主坝和副坝两部分组成, 其中主坝拟选坝型为混凝土闸坝, 最大坝高 37.8 m, 坝长 338.45 m; 副坝布置在黄河左岸 I 级阶地, 拟建坝型为土石坝, 最大坝高 15.1 m, 坝长 529.2 m。

测区地层岩性由上至下依次为: ①覆盖层由全新统风积砂壤土、粉细砂和全新统冲洪积砂卵砾石组成; ②下伏基岩由棕红色、紫红色砂质粘土岩组成, 局部夹有砾岩。

为探测覆盖层厚度并进行地层划分, 采用瞬态面波进行勘探。实测使用美国 R24 工程地震仪和 4 Hz 低频检波器。室内数据处理使用 SFKSWs 软件, 其流程为: 输入面波记录文件→显示和检查实测曲线数据→圈定面波数据窗口→在 F-K 域搜索确定基阶面波频谱峰脊并拾取频散数据→按搜索确定的基阶面波频谱峰脊圈定出基阶面波频谱范围→生成面波频散曲线→地质分层(人工或自动)→绘制反演拟合曲线→打印输出结果。

R 波在非均匀介质中传播具有频散特性, 所以不同频率(波长)的 R 波具有不同的传播速度。模型试验和实测结果表明, 当探测的岩土层介质较为均一时, R 波的相速度随深度的加大而按线性增加, 只有出现不同介质的分界面时, 频散曲线会出现一个所谓 Z 字型变化, 该变化特征是由于地表接收到的波从上一层漏能型面波转入下一层漏能型面波, 且此转折点与两介质间的界面埋深有密切的关系, 由此可依据实测频散曲线的 Z 字型变化点来划分地下岩性变化的分界面。

图 1、2 为实测面波反演解释结果, 其中各图的右侧为随深度变化的面波频散曲线, 左侧为钻探揭露的地层柱状图, 其层位的划分具有良好的一致性, 即表层风积粉细砂—中部砂卵砾石层—下部基岩。同时由图还可以得出: 表层风积砂的瑞利波速度为 150~250 m/s, 冲洪积砂卵砾石的瑞利波速度为 300~400 m/s, 而下伏基岩(棕红色、紫红色砂质粘土岩、砾岩等)的瑞利波速度则为 440~760 m/s, 说明瑞利波(剪切波)速度随深度的增加而升高。

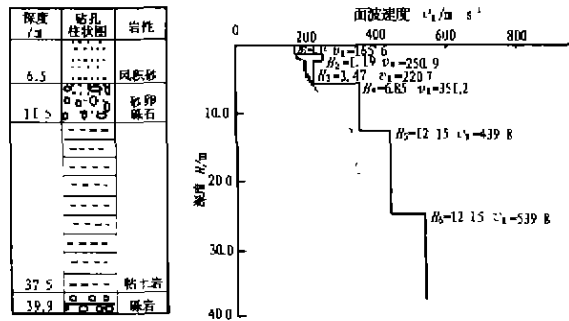


图1 面波频散曲线解释成果与2K34钻探结果对比

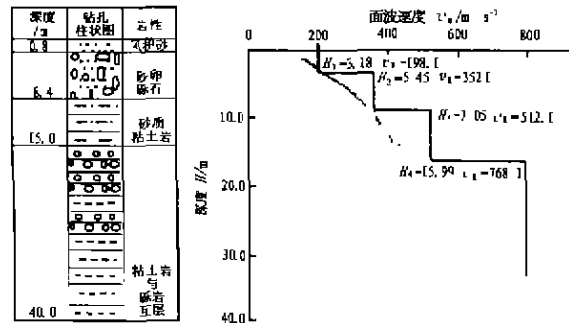


图2 面波频散曲线解释成果与2K35钻探结果对比

4 存在问题

虽然面波探测技术在工程中的应用已很广泛,但实际工作中还存在以下问题:

(1)关于实测面波频散曲线的Z字型现象,从理论模型的解析中还不能精确地解释此现象。因为理论的频散曲线,在介质分界面处只出现折点,对此还需深入研究和数值模拟计算。

(2)对于面波勘探深度的确定,目前国内外大多采用半波长作为R波的勘探深度,此关系是一经验公式,但在实际工作中,应根据场地地质条件、探测对象以及孔旁测试对比结果等作适当调整。

(3)测试深度相对较浅,一般情况下可靠的测量深度为20~30m,最深不过50~60m。当测试深度加大时,震源信号就必须具有足够的低频信号,目前尚难满足此要求。由于低频时的R波值很少,使得下部频散曲线的点相对稀少,所以对解释精度影响较大。就该问题笔者建议由原来的算术坐标系改为波长为对数的单对数坐标系,可使低频段频散点稀少问题得以改观。

(4)根据不同的勘测目的和要求,对产生R波的震源需作必要的改进和研究,以适应勘察的需要。如用锤子作震源时其低频值为10~20Hz,而用砂袋作震源时低频值为3~10Hz。

面波勘探作为一种新的浅层地球物理勘探方法,具有简便、快速、经济、分辨率高、适用场地小、应用范围广等优点,但对面波勘探理论的研究以及实际应用等有待进一步的深入和开拓,使之在生产实践中不断总结、完善和提高。

参 考 文 献

- 1 杨成林,等. 瑞雷波勘探. 北京:地质出版社,1993
- 2 胡钧,等. 岩土工程瑞利波勘探新进展. 上海地质,1996(2)
- 3 刘康和. 面波探测技术综述. 电力勘测,1997(2)
- 4 Barbara A. Luke, et al. Application of SASW Method Underwater. JOURNAL OF GEOTECHNICAL and GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING, 1998(6)
- 5 Vahid Ganji, et al. Automated Inversion Procedure for Spectral Analysis of Surface Waves. JOURNAL OF GEOTECHNICAL and GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING, 1998(8)

作者简介

刘康和 男 高二 水利部天津水利水电勘测设计研究院 天津 300222
魏洪满 男 高工 水利部天津水利水电勘测设计研究院 天津 300222

(收稿日期 2001-03-01)

(上接第30页)

3 结 语

万家寨水利枢纽的工程实践表明,弹性波检测技术在坝地质调查和质量评价中的确有作为。实际上该项技术的应用不局限于文中所述的8个方面(部分属探讨、研究内容),它在诸如施工爆破破坏效应监测、混凝土构筑物缺陷检查(包括测强)和金属结构(大坝闸门或水轮机等)探伤等方面亦能发

挥效益。总之,根据工程需要,拓宽其应用领域是物探工作者刻意追求的目标,为此我们将总结经验,研究问题,优化方法,准备为今后的工程提供更好的服务。

作者简介

施建新 男 高二 水利部天津水利水电勘测设计研究院 天津 300222

(收稿日期 2001-02-12)