

瑞雷面波技术在铁路上的应用

李 海

(中国铁路工程总公司 地质物探试验研究中心, 河北 廊坊 065000)

摘 要: 结合实例介绍了瑞雷面波勘探的基本方法原理, 在铁路上应用的工作方法与技术, 数据的采集、处理与解释, 以及瑞雷面波速度转换为承载力的计算方法, 并且说明了这种技术在铁路上应用的可靠性。

关键词 浅层地震 瑞雷面波 路基检测

中图分类号: P631.4; TU4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2002)02-0160-03

近年来, 随着社会经济的发展, 提高列车的运行速度已成为铁路改革发展的一种趋势, 但目前铁路路基病害较多, 除路基下沉、外挤、道岔翻浆冒泥等表面情况外, 在其下部路基的情况如何, 目前还没有更快、更好的检测方法。利用瑞雷面波技术对铁路路基的承载力进行了检测, 取得了很好的检测效果, 为路基病害的整治提供了依据。

瑞雷面波法是一种新兴的岩土原位测试方法, 瑞雷面波勘探主要是利用了瑞雷波的 2 种特性: 一是瑞雷波在分层介质中传播时的频散特性; 二是瑞雷波传播速度与介质的物理力学性质的密切相关性。利用瑞雷波的这 2 种特性可以解决许多的浅层地质问题, 如工程地质勘察, 地基加固处理效果评价, 岩土的物理力学参数原位测试, 地下空洞及掩埋物探测, 公路、机场跑道质量无损检测等等。主要利用瑞雷波的这 2 种特性检测路基的质量, 这种检测通常是在既有线上, 在不影响正常铁路运营的情况下, 采用安全、无损、原位、快速的检测方法, 以瑞雷波测试为主, 辅以轻型动力触探参数 N_{10} 转换为路基承载力的检测方法。

1 瑞雷面波检测方法原理

在地面上作垂直振动时, 产生的弹性波在到达弹性、速度或密度不同的介质界面上时, 会产生沿自由表面传播的波称谓面波。面波主要指瑞雷波, 只在地表面附近一定深度内按圆柱形波前方式传播。瑞雷波在传播过程中, 其能量按 $1/\sqrt{r}$ (r 为传播距离) 的比例缓慢衰减, 比体波能量衰减慢得多, 在震源附近观测, 接收到的振动将主要是瑞雷波成分。

在均匀弹性介质中, 瑞雷波速度是常数, 激发频率 f 、速度 v_R 和波长 λ_R 的关系为 $v_R = f\lambda_R$ 。在非均匀弹性介质中, 不同频率的振动按不同的速度传播, 一定的频率对应着一定的波长, 即对应一定的地层深度, 这就是瑞雷波的频率(深度)—速度频散特性。当瑞雷波在传播过程中遇到波阻抗界面(速度分界面、密度分界面)时, 其频散曲线将会发生畸变, 据此达到探测地下不同波阻抗界面的目的。理论研究表明, 瑞雷波的能量主要分布在一个波长的范围内, 因此可以近似地认为瑞雷波的穿透深度约为一个波长。从而可以利用不同的波长, 即获取不同频率的面波求得不同勘探深度的变化。

许多科研资料表明, 横波(S 波)与岩石物理力学性质的相关程度更加密切, 这是横波测试技术应用于工程勘探的物理基础。而横波测试用于路基检测时效率低、成本高、施工中不安全因素多, 因此在既有线路基检测中无法正常工作。

根据理论研究, 横波波速 v_S 与瑞雷面波 v_R 之间有关系式

$$v_R = v_S(0.87 + 1.12\mu)/(1 + \mu)。$$

其中, μ 为泊松比, 当 μ 不同时, v_R/v_S 的比值也不同。在第四系中, 由于一般物质的泊松比在 0.25 ~ 0.5 之间, 所以不同泊松比时的瑞雷面波 v_R 与横波 v_S 的比值在 0.9 ~ 1.0 之间, 二者几乎相等。因此, 只要测得地层的瑞雷波速度 v_R , 便可利用上述关系式转换为横波速度, 从而得到所测地层的物理力学指标。因此在铁路路基承载力检测中采用瑞雷波法作为检测方法。路基检测是用瞬态冲击力作震源激发出面波, 称为瞬态瑞雷波法, 测试原理见图 1。

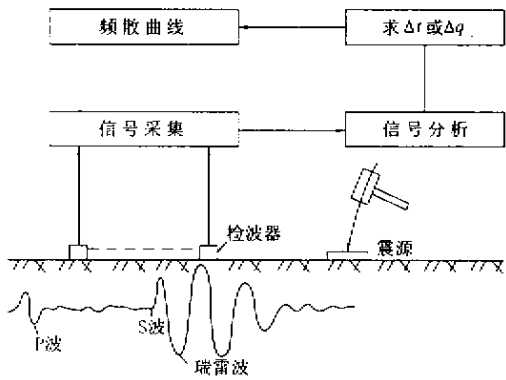


图1 瞬态瑞雷波法原理

2 工作方法与技术

利用瞬态瑞雷面波法测试既有线路基承载力时,由于受到行车的影响,因此在布置测点时,不可能布置在道心进行,只有布置在轨枕头外侧或路肩上,由于瑞雷面波是一个体波,具有体积勘探的特点,因此可以代表路基道心的实际情况。

在道肩布置测点时,所用的检波器一般根据勘探深度的要求可以选用不同的型号,如 28 Hz、10 Hz、4.5 Hz 的检波器均可以满足浅层路基勘探所要求的 5~2 000 Hz 的频带。每 2 个检波器之间的距离 ΔX 也应随着勘探深度的增大而相应增大,如果观测系统中道间距 ΔX 和偏移距选得过大,则接收不到高频的成份,浅部的路基状况探测不到。并且频率越高,波长越小,勘探深度也越小,反之勘探深度越大。在铁路路基承载力的检测中,一般要求勘

探深度在 6 m 以内,结合近几年开展面波探测的实践,一般激发点至记录点之间的距离宜与探测深度相当,所以选择道间距 ΔX 为 0.5 m,12 道接收,偏移距为 0.5 m,这样的布置方法即可满足路基检测的需要。

瞬态法勘探的结果,主要受激发的瑞雷波频率的影响,不同的频率对应着不同的勘探深度,要使勘探深度达到 6 m,只要用一般的 18 磅大锤作震源,敲击垫在地面上的铁板所激发的频率就可以满足勘探的需要。

3 数据的采集与处理

数据的采集工作主要是利用 SWS-2 型多功能面波仪、12 只 4.5 Hz 的低频检波器作为接收系统。道距 0.5 m、偏移距 0.5 m、仪器采样率 0.2 ms、记录长度 1024 样点作为观测系统;18 磅大锤锤击铁板作为激发系统。激发所产生的瑞雷波通过布置在地面上的接收检波器传到仪器内的存储器里,形成一个单炮的记录文件(图 2)。

数据处理主要是求取频率—速度频散曲线。将现场采集到的单炮记录文件通过面波专用处理软件分别在时间域或频率—波数域提取瑞雷波的特征信号,再经过谱分析、相关计算,求出每个测点处瑞雷面波速度 v_R 随深度 H 的变化曲线: v_R-H 曲线,即频散曲线。频散曲线再经过反演拟合并结合路基的实际情况进行分层,准确地计算出各层的厚度及瑞雷面波的层速度(图 3)。

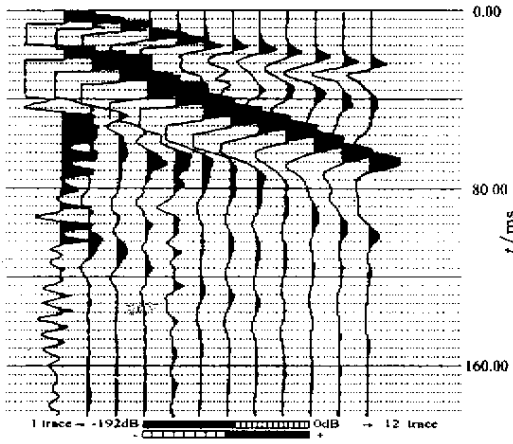


图2 单炮瞬态瑞雷面波记录

4 资料的解释

从拟合后的频散曲线上 v_R 数值的大小可以定性判断测点处瑞雷波速度随深度的变化情况及路

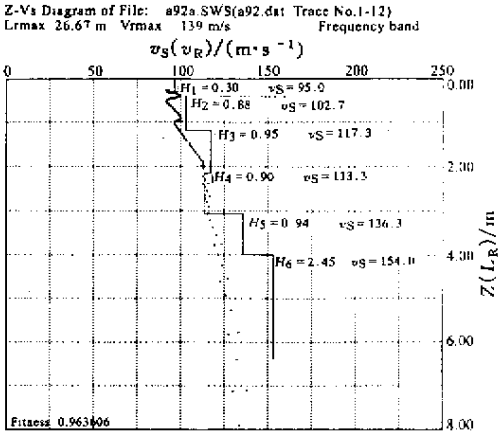


图3 处理后的频散曲线及拟合结果

基的相对强度特征, v_R 较高的区域,反映路基强度较高, v_R 较低的区域,反映了路基强度较低。因此需要将 v_R 的数值转换为承载力 σ_0 的大小,这样才能确定路基承载力的大小及变化范围。为此采集瑞

雷面波数据的同时,在与瑞雷波测点相对应的位置上作一部分轻型动力触探(N_{10})值。铁道部 1988 年轻型动力触探技术规定(TBJ18-87)将 N_{10} 值转换为承载力 σ_0 ($\sigma_0 = 8N_{10} - 20$),见表 3。

表 1 N_{10} 值转换为承载力 σ_0 参数对照

N_{10} (击数/30 cm)	15	20	25	30
σ_0 /kPa	100	140	180	220

然后将瑞雷面波速度 v_R 与相对应测点的轻型动力触探(N_{10})击数进行数学统计分析,得到 v_R 与 N_{10} 的相关关系式

$$v_R = A + BN_{10}$$

式中, A 、 B 为常数。当其相关系数 $r > 0.7$ 时,说明 v_R 与 N_{10} 是有相关关系的,可以用 v_R 代替 N_{10} 来计算承载力 σ_0 的大小,即

$$\sigma_0 = 8(v_R - A)/B - 20。$$

根据此式可用 v_R 定量计算路基的承载力。

5 应用实例

京广线部分区段路基承载力检测时,得到的 v_R 与 N_{10} 的相关关系式为

$$v_R = 91.07913 + 2.940517N_{10},$$

相关系数 $r = 0.8201915$, 选样点数 $n = 100$, $A = 91.07913$, $B = 2.940517$ 。将 K2011 + 170 ~ K2011 + 270 这 100 m 区段内的瑞雷波速根据以上关系式转换为承载力 σ_0 的大小,再画出承载力的

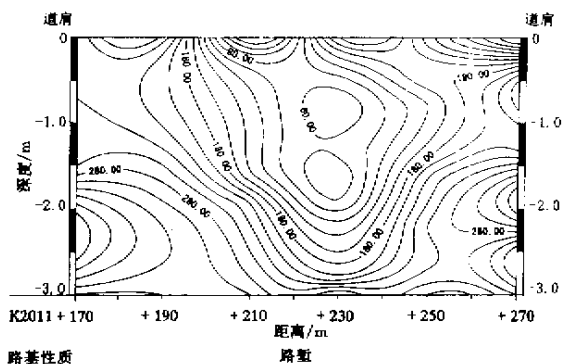


图 4 承载力等值线

等值线如图 4。从图中可以看出,在 K2011 + 230 附近路基的承载力偏低,约为 80 kPa,而在其两侧路基的承载力相对偏高,约为 180 kPa,此结果与现场实际的情况非常吻合。

6 结束语

这一实例说明利用瑞雷波技术进行铁路路基承载力的检测是可行的,该方法便捷、安全,检测效果较好,可以使铁路部门避免盲目地投资,为既有线路路基病害的确定、整治提供可靠的数据。

参考文献:

- [1] 杨成林. 瑞雷波勘探[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [2] TBJ18-87, 轻型动力触探技术规定[S]. 北京: 中国铁道出版社, 1988.

THE APPLICATION OF THE RAYLEIGH SURFACE WAVE TECHNIQUE TO RAILWAYS

LI Hai

(Research Centre of Engineering Geology and Applied Geophysics, China Railway Engineering Corporation, Langfang 065000, china)

Abstract: With practical examples, this paper deals with the basic principle and technique of the Rayleigh surface wave exploration, the technology for its application to railways, the data acquisition, processing and interpretation, and the calculation method for converting the velocity of the Rayleigh surface wave to the bearing capacity. The reliability of applying this technique to railways is also pointed out.

Key words: Rayleigh surface wave; test; roadbed; method

作者简介: 李海(1968-),男,山西大同人,1991年毕业于河北地质学院物探系,现在中国铁路工程总公司地质物探试验研究中心任工程师。

(上接 155 页)

substances and defects of the pipelines as well as the frequency and noise of the antenna upon the radar images are analyzed, which will be of some help to further application of the ground-penetrating radar to urban underground pipeline detection.

Key words: ground-penetrating radar; underground pipelines; model; dielectric constant; interpretation.

作者简介: 袁明德(1942-),男,1965年毕业于北京地质学院物探系。现供职于美国劳雷公司,从事物探仪器研发工作。

万方数据