

综合物探在地铁隧道工程建设中的应用

刘文祥¹, 鲁来玉², 石桂¹, 孙跃军¹

(1. 广东省地质物探工程勘察院, 广东 广州 510800; 2. 中国科学院 声学研究所, 北京 100080)

摘 要:介绍了在地铁隧道工程建设中使用探地雷达与瑞雷波法结合轻便动力触探技术检测软弱地基的经验和几点认识,并讨论了该勘察方法的应用条件和优缺点。

关键词 地下铁道 地基勘察 探地雷达 瑞雷波法

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2004)02-0181-03

在广州某地铁段建设中前期的钻探勘察证实,地铁沿线的地层中分布有厚度不等的不良地质体(主要以土洞、软弱夹层为主),为此须对隧道基底进行勘察,查明这些地质隐患在基底以下 5 m 范围内的空间分布,以便施工时做特殊处理。特殊的空间位置、勘察的时效性及对勘察结果高精度的要求对传统的勘察方法提出了挑战。根据以往在该地区的勘察经验并结合现场情况,我们研究采用探地雷达和瑞雷波法交互探测技术进行探测,并结合原位测试,准确、及时、高效率地提供了勘察成果,共查出土洞及软弱夹层多处,从而为消除地质隐患、确保工程质量提供了依据。

1 测试方法及其原理

探地雷达和瑞雷波探测都是基于波的反射特征来反映地下介质结构的变化^[1~6]。本次探测所选用的仪器是加拿大 SSI 公司生产的 Pulse EKKO IV 型和 Pulse EKKO 100 探地雷达仪。

瑞雷波法(瞬态法)是以一定偏移距在测线一端通过使用重锤在地面激振而产生瑞雷波,在被检测地段以等间距布设检波器,利用仪器记录从检波器上拾取的瑞雷波,经专门软件的处理,计算出频散曲线,通过对该频散曲线的分析,来解决浅层工程地质问题的一种方法。当地下存在土洞或软弱夹层等不均匀体时,就会影响瑞雷波的传播速度,使频散曲线产生畸变异常,分析此异常在曲线的部位即可确定土洞埋深及范围^[7~9]。

动力触探技术在国内外应用极为广泛,是一种主要的原位测试方法,其优点是快速、经济,能连续

测试土层,且操作简单,适应性较强。本次勘察使用动力触探的目的是对探地雷达和瑞雷波初步确定的异常地带进行土的性质测定,甄别真假异常,测试并估算软弱土层地段的承载力,供设计部门参考。

2 数据处理及解释技术

2.1 雷达探测干扰异常的识别

现场周围各种电磁性干扰在时间剖面上形成的异常波组较明显,其主要特征是呈比较规则的弧形状,强振幅,常伴有多次反射。干扰异常,一是由分段探测时相邻施工段竖起的钢管、钢筋墙等铁器引起的,这一类最常见;二是由送料槽、抽水泵及其供电电缆、高压线等电磁性物质引起的。如图 1 所示为横过探测现场的高压线引起的弧型异常。

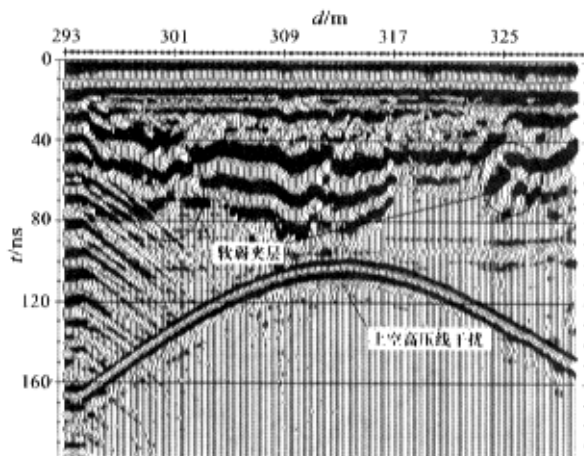


图 1 雷达图像拱形异常及干扰特征

2.2 雷达探测物探异常的拾取

就本工区而言,主要有 2 种类型:

拱形低能量异常,该异常在探地雷达时间剖面上呈凹陷状,反射波能量显著降低,电磁波频率相应下降,有明显的续至波显示。推断该异常为浅部软弱土层的综合反映(图1)。

(2) 双曲线形异常,该异常与干扰引起的弧形异常不同(图2),其主要图像特征是在异常中心反射波能量明显降低,有明显的多次反射,反映地层的同相轴在异常中心处错断,而异常中心两侧反射波的能量强,同相轴连续,异常分布范围较窄。后经动力触探验证,推断该异常是由土洞引起。

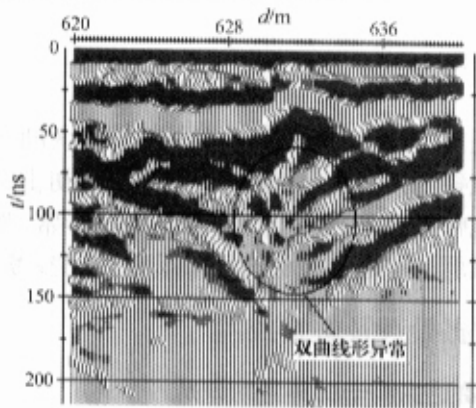


图2 双曲线形异常雷达图像

2.3 瑞雷波法数据处理流程及异常特征

瑞雷波法的数据处理主要经过如下流程:切除干扰波→拾取面波→谱分析→频散曲线计算→频散曲线打印→正、反演计算→层位划分→动参数计算→计算机成图→成果解释。从各频散曲线上看,同一剖面的相邻点曲线形态具有较好的相似性,瑞雷波速度 v_R 一般在 $170 \sim 250$ m/s 范围内。频散曲线存在多个分层拐点,相邻测点之间拐点对应深度可水平方向追溯。部分测点出现了分层波速显著下降的拐点,单支频散曲线在拐点处明显的错断、不连续,如图3所示。

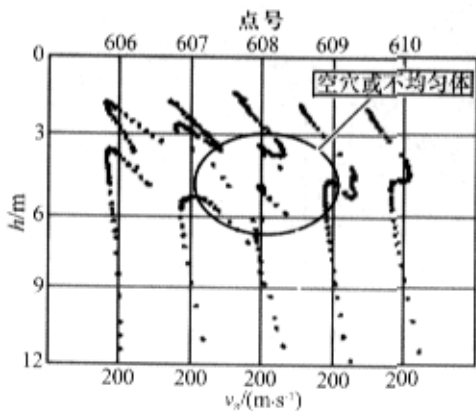


图3 瑞雷波法曲线异常

2.4 轻型动力触探试验(DPT)

先用轻便钻具钻至试验土层,然后对所需试验土层(探地雷达与瑞雷波法初步确定的异常部位)连续进行触探。穿芯锤落距为 50 cm,使其自由下落,将探头竖直打入土层中,每打入土层 30 cm 的锤击数即为 N_{10} 。据广东省建筑设计研究院大量的统计资料研究表明,广州地区一般粘性土和新近沉积粘性土轻型动力触探 N_{10} 与粘性土承载力标准值 f_k 的关系式为^[10]

$$f_k = 24 + 4.5N_{10}$$

据验证证实,应用探地雷达与瑞雷波法初步确定的 13 个异常地段,有 10 个地段在相应的部位承载力介于 $65 \sim 114$ kPa,承载力明显偏低低于正常地段,需做工程处理。另据开挖等方式验证,其余 3 个异常地段在相应深度部位为夹砂的不均匀体。

3 勘察方法综合评价

在本次探测中探地雷达与瑞雷波法探测技术很好地发挥了优势互补。在地表有浅积水或水泥板的地方,检波器较难插入地表,与地表的耦合性较差,或者当附近施工机械的振动干扰较强时,瑞雷波探测的施测难度都较大,而探地雷达探测受地表普通介质或振动的影响较小。另一方面,地表及周围的电磁性物质对探地雷达探测时的影响较大,对瑞雷波法却几乎没有影响。

对地基浅部地质隐患,探地雷达与瑞雷波法均能准确地发现并圈出异常。由于雷达波在湿的砂粘土中衰减较快(衰减系数达到 $200 \sim 300$ dB/m),以致对中—深部地质隐患,高频地质雷达探测效果不明显。本次勘察中,在有土洞及软弱夹层分布的地段,探地雷达的有效探测深度约为 6 m。在合适的激发-接收条件下,瑞雷波法可在较深的范围内识别异常目标。

综上所述,探地雷达和瑞雷波法能够快速对勘察场地进行扫面性探测,勘探精度较高,原位测试又能在探测异常地段针对性地进行异常验证,三者结合就能够很好地解决探测灰岩地区浅部地层土洞及软弱夹层的勘察任务。再者,因为是在隧道基底勘察施工,特殊的空间特性限制了其他大多数勘察方法的有效开展,以上 3 种方法却能发挥轻便、灵活的特点,在此类分段施工的大型工程中显示了良好的经济效益。

4 认识与讨论

在轻轨隧道基底布设物探测线时,应尽量沿平

行于隧道基底中轴线的方向。这样做的好处,对探地雷达法来说,可以尽可能削弱探测时来自于隧道壁的反射波,对瑞雷波法来讲,可以在较长的测线上对异常范围进行追踪。

探地雷达与瑞雷波法的探测深度都与实际的发射(或激振)频率有关,发射(或激振)频率越低,波长越大,探测的有效深度也就大一些。同时,发射(或激振)频率越低,对地表浅部物体的分辨力越低。所以,现场探测时应该通过试验选定合适的工作参数,并且当发现了地表浅部异常,但其界限难以准确划定时,应增大发射(或激振)频率,同时加密点距进行探测。

本着从已知到未知的原则,对隧道基底先期勘察的地基隐患部位进行勘察手段的勘察效果试验,了解本工区内不同条件下地基隐患的探地雷达与瑞雷波法图像的异常特征,可以更好地提高解释精度。

参考文献：

[1] 王惠濂,李大心,祁明松,等. Pulse EKKOⅣ脉冲时域探地雷达工程地质现场的试验[J]. 物探与化探,1992,16(4) 267-274.
[2] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京:地质出版社,1994.
[3] 胡晓光. 探地雷达在工程地质勘察中查寻土洞的应用效果[J]. 物探与化探,1994,18(6) 473-476.
[4] 肖兵,宋守根,何继善. 探地雷达地下界面成像[J]. 物探与化探,1996,20(4) 304-308.
[5] 肖兵,周翔,汤井田. 探地雷达技术及其应用和发展[J]. 物探与化探,1996,20(5) 378-383.
[6] 杜树春. 地质雷达及其在环境地质中的应用[J]. 物探与化探,1996,20(5) 384-392.
[7] 崔占荣,张世洪,张俊喻. 瞬态瑞雷波勘探中一些问题的讨论[J]. 物探与化探,1995,19(5) 267-274.
[8] 刘云祯,王振东. 瞬态面波法的数据采集处理系统及其应用实例[J]. 物探与化探,1996,20(1) 28-34.
[9] 王振东. 浅层地震勘探应用技术[M]. 北京:地质出版社,1998.
[10] 林宗元,何广智,苏伯苓,等. 岩土工程试验监测手册[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.

THE APPLICATION OF INTEGRATED GEOPHYSICAL EXPLORATION
TO THE LIGHT-RAIL TUNNEL CONSTRUCTION

LIU Wen-xiang¹, LU Lai-yu², SHI Gui¹, SUN Yue-jun¹

(1. Geologic & Geophysical Engineering Exploration Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510800, China ; 2. Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract : This paper has described the authors' experience acquired in applying the ground-penetrating radar, Rayleigh wave and DPT to examining weak groundsill in the subway tunnel, and also discussed the application conditions of these means as well as their merits and shortcoming.

Key words : light-rail tunnel ; examining weak groundsill ; ground-penetrating radar ; Rayleigh wave

作者简介 : 刘文祥(1975 -),男,甘肃白银人,1998年毕业于中南工业大学(现中南大学)应用地球物理专业,从事工程物探技术工作,在职攻读硕士学位。