

# 瑞雷波法在建筑高边坡勘察中的应用

丁月双 李连营 刘运涛  
(天津市勘察院, 天津 300191)

**【摘要】** 结合一项边坡工程实例, 将瑞雷波技术应用到人工填方建筑高边坡勘察工程中, 探测出边坡区基岩面埋深、风化层厚度及坡面起伏形态等, 并在“重点坡段”关键位置布置钻孔, 对原始坡面埋深进行了校核。结果表明, 探察结果与钻探结果具有很好一致性, 充分展现了瑞雷波勘探技术在建筑高边坡勘察中的可行性和有效性。

**【关键词】** 瑞雷波法; 高边坡勘察; 速度分界; 基岩面

**【中图分类号】** P 631. 325

**【文献标识码】** A

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2011. 03. 009

## The Application of the Rayleigh Wave Method in the Exploration of Construction on High Slope

Ding Yueshuang Li Lianying Liu Yuntao

(Tianjin Institute of Geotechnical Investigation & Surveying, Tianjin 300191, China)

**【Abstract】** The paper is a case study on a slope engineering project, it applied the Rayleigh wave method into the man-made high slope during construction exploration. It obtained the data on depth of the base-rock in the slope zone, the thickness of the weathering zone, the shape of the slope surface, etc. With these data, it is possible to set the bore hole in the key positions along the “main slope part”, the depth of the original slope surface has been checked as well. The conclusions of this paper is: the results from wave method generally fit the bore hole results, which shows the application of the Rayleigh wave method into the exploration of construction on high slope is a practical choice.

**【Key words】** Rayleigh Wave Method; high slope exploration; speed interface; base-rock surface;

### 0 引言

瑞雷波勘探技术(Rayleigh Wave Exploration Technique)是近年发展起来的浅层地震勘探新技术<sup>[1]</sup>, 是利用岩土物性差异进行的间接勘探方法<sup>[2]</sup>, 见图 1。因其勘察时不需要破坏地表、仪器携带和操作方便、数据处理简洁, 使得瑞雷波法在勘察工程中得到了广泛地应用<sup>[3]</sup>。瑞雷波探测主要利用瑞雷波的两种特性, 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<sup>[4]</sup>。



图 1 瑞雷波测试方法示意图

瑞雷波(又简称面波)沿地面表层传播, 穿透的厚度约为一个波长, 因此, 同一波长的瑞雷波的传播

特性反映了地质条件在水平方向的变化情况, 不同波长的瑞雷波的传播特性反映着不同的地质情况<sup>[5]</sup>。瑞雷波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地质构造情况和不同深度的瑞雷波传播速度值, 速度值的大小与介质的物理特性有关, 据此可以对浅部地下岩层进行速度分层, 并通过瑞雷波速度转化为横波速度, 分析岩土的性质及介质的变化<sup>[6-7]</sup>。

在存在大范围、深厚人工填土建筑高边坡场地, 如仅采用钻探技术确定基岩面埋深、风化层厚度及坡面起伏形态等, 不仅工期长、成本高, 而且很难查明填土原始坡面起伏情况。瑞雷波勘探技术在其它地区应用较广泛, 但在天津地区应用较少, 本文通过对天津市蓟县一项边坡工程实例的应用及验证, 探讨瑞雷波勘探在天津地区建筑高边坡勘察中的可行

**作者简介:** 丁月双, 1983 年生, 男, 汉族, 天津宝坻人, 硕士, 助理工程师, 主要从事岩土工程勘察、设计等工作。E-mail: dyueshuang@163.com

性、有效性。

## 1 工程概况及地层简介

天津市蓟县某项目存在大范围人工填土建筑高边坡,且边坡北侧汇水冲沟内填方形成的“U字形”深厚填土区土体结构松散,土层最厚处达到11.0m,此处高填方区对边坡的整体稳定状态极为不利,是此次勘察的“重点坡段”。边坡加固设计需要准确确定基岩面埋深、风化层厚度及坡面起伏形态等。边坡长约360m,坡高4.5~38.5m,总体走向 $240^{\circ}\sim 335^{\circ}$ ,坡角 $12^{\circ}\sim 72^{\circ}$ 。坡顶拟建2~3层别墅型住宅,拟采用筏板基础,基础埋深1~2m左右,单位荷重约75kPa。

工程场区内地层岩性按成因可划分为三大层:新近填土层、残坡积层和白云岩。填土颜色呈灰色、灰白色,主要来源于挖方区开山碎石土及残坡积碎石土,由于原地势起伏较大,回填厚度差异较大;残坡积层主要由粉质粘土和碎石组成,该层仅在局部分布,且不连续;下伏基岩为全风化至中等风化白云岩,岩层面产状一般为 $305^{\circ}\angle 39^{\circ}$ ,层状结构,节理裂隙发育,新鲜岩块呈灰色、灰白色,强度较高;岩体风化后呈白色、乳白色,强度迅速降低,锤击声弱。

## 2 野外数据采集

### 2.1 参数设定

根据本次地质任务特点,在野外试验的基础上,确定了本次面波探测具体的观测系统参数为:道间距2m,偏移距为10m,排列长度为56m,炮间距为10m,激发方式采用20磅大锤敲击铁板(6次以上垂直叠加)。

### 2.2 选用仪器

主要设备采用骄鹏Mini24型工程地震仪、4H<sub>z</sub>低频检波器,采样间隔为0.5ms,采样长度1024样点/道,记录道数24。

### 2.3 测线布置

勘察面波线布置主体沿边坡走向垂直布置,并布置一定量的横向联络线,在“重点坡段”布置网格线,一共布置了6条测线L1—L6;每条测线的位置及测向见图2。

### 2.4 资料质量评价

野外采集的原始单炮资料见图3。从图3中可以看出面波发育良好,基岩面的折射信号也清晰可见,可以满足解决地质任务的需要。为了资料质量验证的需要,在L1测线的同一位置又进行了重复观测,测量结果见图4,对比图3和图4,两者的重复

性很好,满足野外数据采集规范的要求。

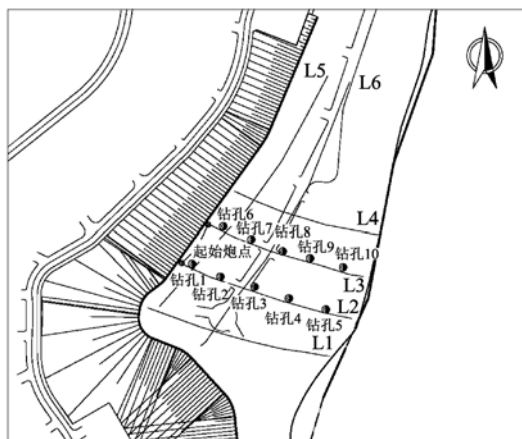


图2 边坡瑞雷波线布置示意图

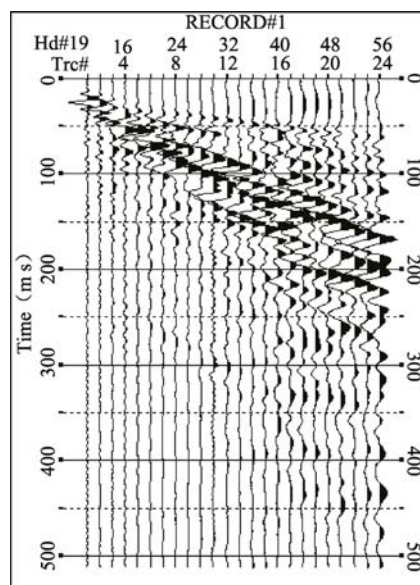


图3 野外原始单炮记录

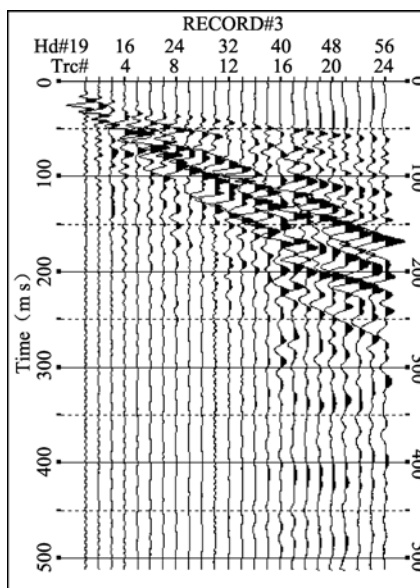


图4 重复测量单炮野外记录

### 3 资料解释及验证

根据野外采集的数据资料,结合美国堪萨斯地质调查局开发的面波数据处理软件 SurfSeis,对 6 条测线采集的数据进行了精心处理,分别得到了各自测线的瑞雷面波深度-速度剖面(本文只取“重点坡段”测线 L2、L3 进行分析)。

#### 3.1 资料解释

L2 测线一共布设了 7 个瑞雷面波测点,测点的中心位置依次是 16、26、36、46、56、66、76 m,以起始炮点的位置作为零点。各个测点通过反演得到的瑞雷面波深度-速度值见表 1。

表 1 L2 测线各测点深度/速度表 m/(m·s<sup>-1</sup>)

反演深度序号	测点 1 (深度/速度)	测点 2 (深度/速度)	测点 3 (深度/速度)	测点 4 (深度/速度)	测点 5 (深度/速度)	测点 6 (深度/速度)	测点 7 (深度/速度)
1	-1.7/284	-1.4/287	-0.9/324	-1.1/283	-1.7/287	-1.4/287	-0.9/324
2	-3.8/367	-3.1/299	-2.1/315	-2.5/333	-3.8/367	-3.1/389	-2.1/315
3	-6.5/383	-5.3/271	-3.5/303	-4.3/361	-6.5/442	-5.3/420	-3.5/353
4	-9.8/446	-8.0/378	-5.4/351	-6.5/393	-9.8/470	-8.0/467	-5.4/403
5	-14.0/468	-11.4/457	-7.6/384	-9.2/467	-14.0/516	-11.4/477	-7.6/454
6	-19.2/584	-15.7/514	-10.5/473	-12.7/476	-19.2/548	-15.7/514	-10.5/473
7	-25.7/585	-21.0/551	-14.0/487	-16.9/543	-25.7/575	-21.0/540	-14.0/513
8	-33.8/617	-27.7/625	-18.5/539	-22.3/574	-33.8/637	-27.7/625	-18.5/553
9		-36/653	-24.0/548	-29.0/616		-36.0/653	-24.0/585
10			-30.0/633	-36.2/669			-30.0/613

本次的资料解释根据地区经验取瑞雷面波速度 400 m/s 作为分界,如果面波速度小于 400 m/s,即认为是人工填方层或第四纪覆盖层,速度超过 400 m/s 认为是基岩面(或原始坡面),这个选定的速度分界面有可能与实际边坡的速度有所差异,为了精确起见,特意在“重点坡段”关键位置布置了钻孔对原始坡面埋深进行了校核。深度-速度剖面的使用统一彩色分级,分级范围从 200~950 m/s,便于

剖面的对比,速度等值线只显示了 400 m/s 和 450 m/s 这两条,其他的等值线都消除了。

从 L2 测线反演结果的影像图上可以看出(见图 5),推断的原始边坡覆盖层埋深由西向东(测线方向)先变深后逐渐变浅,测线开始位置覆盖层埋深接近 10.5 m,沿侧线方向(向东)最深处达 11.4 m,后逐渐变浅呈上坡的趋势,在测线尾端深度约 6.0 m 左右,基岩面起伏由西—东呈一个似波浪形态。

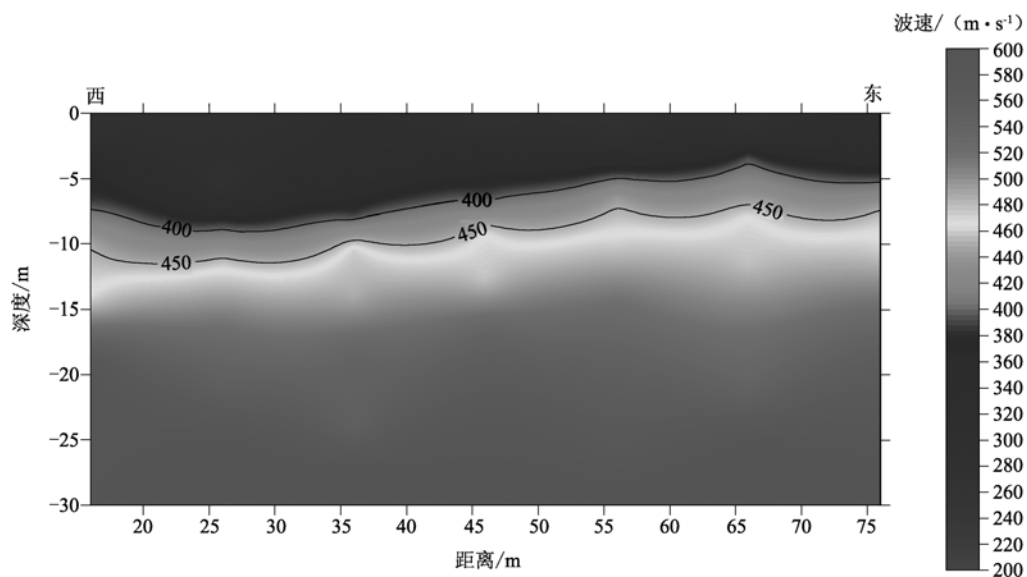


图 5 L2 测线瑞雷波波速-深度剖面图

L3 测线一共布设了 7 个瑞雷面波测点,测点的

中心位置依次是 16、26、36、46、56、66、76 m,以起始

炮点的位置作为零点。L3 测线上原始边坡覆盖层埋深情况与 L2 测线类似,推断的原始边坡覆盖层埋深由西向东(侧线方向)先变深后逐渐变浅,测线开始位置埋深接覆盖层近 9.0 m,沿侧线方向(向东)有最深处达 10.2 m,后逐渐变浅呈上坡的趋势,在测线尾端深度约 5.3 m 左右,基岩面起伏由西一东呈一个似波浪形态。

### 3.2 误差分析

在原始冲沟处的 L2 及 L3 测线上共布置了 10 个钻孔进行对比验证,验证结果见表 2。

表 2 瑞雷波法与钻探法揭示覆盖层厚度对比表

钻孔 编号	填土层厚度/m			全风化层厚度/m		
	瑞雷波法	钻探法	误差	瑞雷波法	钻探法	误差
1	8.0	8.2	-0.2	2.5	2.5	0.0
2	9.0	9.0	0.0	2.4	2.5	-0.1
3	7.2	7.5	-0.3	2.2	2.1	0.1
4	6.0	6.2	-0.2	2.4	2.2	0.2
5	4.0	4.1	-0.1	2.0	2.0	0.0
6	7.0	7.0	0.0	2.0	2.1	-0.1
7	8.0	8.3	-0.3	2.2	2.2	0.0
8	6.5	6.5	0.0	2.0	2.0	0.0
9	5.0	5.1	-0.1	2.0	1.8	0.2
10	3.5	3.3	0.2	1.8	1.7	0.1

从表 2 对比可看出,瑞雷波法确定填土层的厚度及全风化层的厚度与钻探结果比较具有较好的一致性,厚度误差一般不超过 $\pm 0.3$  m,填土层厚度的误差率均小于 $\pm 6\%$ ,全风化层厚度的误差率均小于 $\pm 10\%$ ;产生误差的原因一方面可能是这个选定的速度分界面值(本次的资料解释根据地区经验取瑞雷面波速度 400 m/s 作为分界)与实际边坡的速度分界面值有所差异(波速参数与土体的密实度有关),另一方面可能是受外界振动影响(人工激发波源受场地内机械施工振动干扰)。

另外,钻孔之间坡面形态依据面波资料确定比单纯在钻孔之间按直线相连更符合实际也更容易发现一些异常问题,在此次建筑高边坡勘察中,面波勘

探取得了良好的效果。

## 4 结 论

1)瑞雷波勘探技术能较为准确地提供覆盖层的厚度变化情况,在第四系分层方面有着明显的优势,且勘探精度高,可与钻探方法配合使用<sup>[8]</sup>,是人工建筑高边坡勘察的一种高效探测方法。

2)本工程选取瑞雷面波速度 400 m/s 作为人工填土层或第四纪覆盖层与基岩面(或原始坡面)速度分界基本是合理的。

3)依据瑞雷波的面波资料确定钻孔之间坡面形态比单纯在钻孔之间按直线相连更符合实际,也更容易发现一些异常问题。

4)瑞雷波勘探技术在局部场地条件无法进行钻探的地段,经进行与钻探结果对比并取得经验后,可以替代部分钻探工作,成为基岩地区工程勘察的一种重要手段。

## 参 考 文 献

- [1] 祁生文,孙进忠,何 华,等. 瑞雷波勘探的研究现状及展望[J]. 地球物理学进展,2002,17(4):630-635.
- [2] 林宗元主编. 简明岩土工程勘察设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003:9-10.
- [3] 陈旭杭,伍明辉,胡淑兰. 瞬态瑞雷波在地层勘探中的应用[J]. 华东交通大学学报,2007,24(1):44-46.
- [4] 陈济峰,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):6-8.
- [5] 王超凡,刘金光,赵永贵. 多道瞬态瑞雷波勘探及其在工程勘察中的应用[J]. 工程地质学报,2008,8(增刊):531-534.
- [6] 周竹生,马翠莲,石中平. 瞬态瑞雷波法在滑坡勘察中的应用及其效果评价[J]. 工程地球物理学报,2008,5(1):9-13.
- [7] 常士骠,张苏民,等. 工程地质手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007:95-96.
- [8] 苏玉杰,薛桂玉. 瑞雷波法在滑坡滑动面勘探中的应用[J]. 中国农村水利水电,2005,3(1):53-55.

收稿日期:2010-10-20