



跨孔波速测试技术在沉积地层中的应用

胡龙胜, 覃 继

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 介绍跨孔波速测试方法和沉积地层的特点, 并将跨孔方法应用于沉积地层中的测试研究。针对沉积地层分层多、有软弱夹层等特点, 对跨孔的钻探、测斜以及孔间距、测点位置等一系列参数进行合理设计, 并进行试验研究。结果表明跨孔波速测试适用于测试沉积地层中的夹层和较薄地层, 并能获得可靠的结果。

关键词: 跨孔; 波速测试; 沉积地层

中图分类号: TU 42

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)07-0114-04

Application of cross-hole wave velocity testing in sedimentary strata

HU Long-sheng, QIN Ji

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: The paper introduces the characteristics of cross-hole wave velocity testing and sedimentary strata and cross-hole wave velocity testing is applied to the sedimentary strata. For there are several strata inter-bedded with soft stratum in the sedimentary strata area, reasonable parameters, drilling, deviation measuring, the space of boreholes and locations of testing points are designed to conduct the wave velocity test. The result shows that the cross-hole wave velocity testing can be applied to the inter-bedded stratum and thin stratum of sedimentary strata and obtain reliable result.

Key words: cross-hole; wave velocity test; sedimentary strata

波速测试作为地基勘察中必不可少的原位测试方法, 目前已广泛应用于码头工程、水利水电工程、石油工程、工业与民用建筑等众多领域的岩土工程勘察, 均取得了良好的应用效果。波速测试的常用方法有跨孔法和单孔检层法, 而跨孔波速测试是利用直达波作为研究对象, 其应用更为广泛, 资料处理更为准确简单。波速测试的结果不仅可以用于计算地层的物理力学参数, 还可以用于评价场地类型划分、判别饱和土的液化、计算岩体的完整性等工程地质问题。

但是如何根据现场地质情况, 选取仪器设备, 合理布置孔间距、测点等以获取准确的跨孔测试原始数据, 目前还是一直困扰众多勘察人的

问题, 特别是遇到复杂的沉积地层。由于沉积地层是在地表的条件下, 由母岩的风化产物、火山物质、有机物质等沉积岩的原始物质成分, 经搬运、沉积及其沉积后作用而形成地层, 因此沉积地层结构比较复杂, 层厚不均, 并常有软弱夹层存在, 因此测试方法、孔间距、测点位置选择是否合理将直接影响波速测试的数据质量。

本文以安哥拉某工地沉积地层的跨孔波速测试为例, 对跨孔波速测试技术进行分析。

1 工区地质概况

工程位于安哥拉洛比托靠近海岸的海相沉积平原上, 该平原由地壳的抬升形成。工区位

收稿日期: 2013-05-02

作者简介: 胡龙胜(1977—), 男, 高级工程师, 从事水运工程物探工作。

于平原相对较低的一块平台顶部, 地表高程在120~140 m, 地势由东向西逐渐降低。业主拟在冲积平台上修建一个炼油厂, 建设大型油罐、建筑物、管道以及动力设备等。为了保证油罐的安全, 需要进行波速测试, 以获得工程所需的地震评价参数。

工区地层主要为沉积层, 钻孔揭示地层主要包括黏土、粉质砂、砾石、强风化砂岩以及灰岩, 中风化泥岩和灰岩以及砂岩、微风化泥岩和灰岩, 表层的黏土、粉质砂以及砾石分布比较薄, 一般不超过2.5 m; 强风化砂岩和灰岩分布较少, 厚度比较薄, 最大厚度层不超过2 m; 底层为中微风化的灰岩。而表层的中风化泥岩、灰岩以及砂岩呈互层状, 厚度较小, 是本次波速测试的重点和难点。

2 钻孔准备

2.1 钻孔间距的确定

在进行跨孔波速测试之前, 首先要合理布置钻孔的位置, 并计算好钻孔间距。首先在业主设计好的区域内, 针对本次沉积地层特点, 选取相对平坦的位置, 以保证跨孔的孔口高程基本一致。3个钻孔连线的方向和地层倾斜方向垂直, 这样在一定程度上避免折射波先于直达波到达的现象发生。

根据目前的测试规范^[1]要求, 地震波采集的时间间隔为高于1 ms, 岩层中孔间距8~10 m。目前来看, 该要求不是很合理, 随着仪器的快速进步, 目前仪器的采样间隔可以达到0.01 ms, 所以孔间距可以更小。针对本次采用仪器的采样间隔可以达到0.05 ms, 孔间距设计为4.5 m, 较近孔间距更利于针对薄层进行测试。

2.2 钻探和套管安装

钻探成孔也是一个关键的问题。在钻机开孔前应借助水平仪调整钻机机架使其水平, 使钻杆垂直地面, 以保证钻孔的垂直, 避免钻孔发生严重的偏斜。完成钻孔后, 安装PVC管, 本次地层为砂岩和泥岩, 剪切波在地层中传播的速度大于在PVC管材料中传播的速度, 因而选用PVC管做钻孔护壁产生的误差较小。安装完PVC管后按照规

范填充水泥浆, 保证PVC管和钻孔完整的耦合。

3 现场测试

3.1 测试系统

跨孔波速测试系统由地震仪、发射主机、发射震源和接收换能器组成。采用全数字化信号增强型浅层地震仪, 配备德国Geotomographie公司的BIS-SH震源作为发射震源、以及接收换能器(频率28~3 000 Hz), 由计算机控制信号发射和数据采集, 并进行速度的处理和计算。在采集P波和S波时分别采用电火花震源和剪切波震源。在采集剪切波时, 需要从正反两个方向进行激发信号, 以便进行在识别剪切波时进行正反对比。

3.2 测点位置的设计

以图1中的钻孔为例, 根据钻孔地层分别为中风化灰岩、中风化砂岩和砾岩构成, 根据室内试验的结果, 该地区的地层波速分别如表1所示。

依据文献[2]中提供的测点位置计算方法如图2所示。

要获得直达波路径为AD, 折射波路径为AB→BC→CD。为使直达波先于折射波到达检波器, 必须满足下式:

$$\frac{AB}{v_1} + \frac{BC}{v_2} + \frac{CD}{v_1} \geq \frac{AD}{v_1} \quad (1)$$

根据图1可得,

$$\frac{h}{L} \geq \frac{1 - \sin(i_c + \psi)}{2\cos i_c \cos \psi} \quad (2)$$

根据上面所示的计算公式, $v_{\text{中灰岩}}:v_{\text{中砂岩}}:v_{\text{中砾岩}}=1\ 524:1\ 774:1\ 817(\text{m/s})\approx 1:1.2:1.2$ 。

由于该区域的中风化灰岩的结构比较复杂, 且较多的空洞存在, 所以上公式是估计值。目前该钻孔的地层倾角在 $0^\circ\sim 10^\circ$, L最大距离为9 m, 所以每个地层的 $h=0.9\sim 1.8$ m都是合适的, 一般在0.9 m可以较好地接收到直达波。最下层中风化灰岩中可以任意布置测点, 一般布置1 m间距即可。

3.3 钻孔测斜

在钻孔成孔并安装PVC管后, 需要对钻孔进行测试, 以精确计算在钻孔中每组测点之间的距离。本次测斜采用的是CX-5C型测斜仪, 对每个钻孔进行测试, 结合孔口坐标和测斜数据, 计算

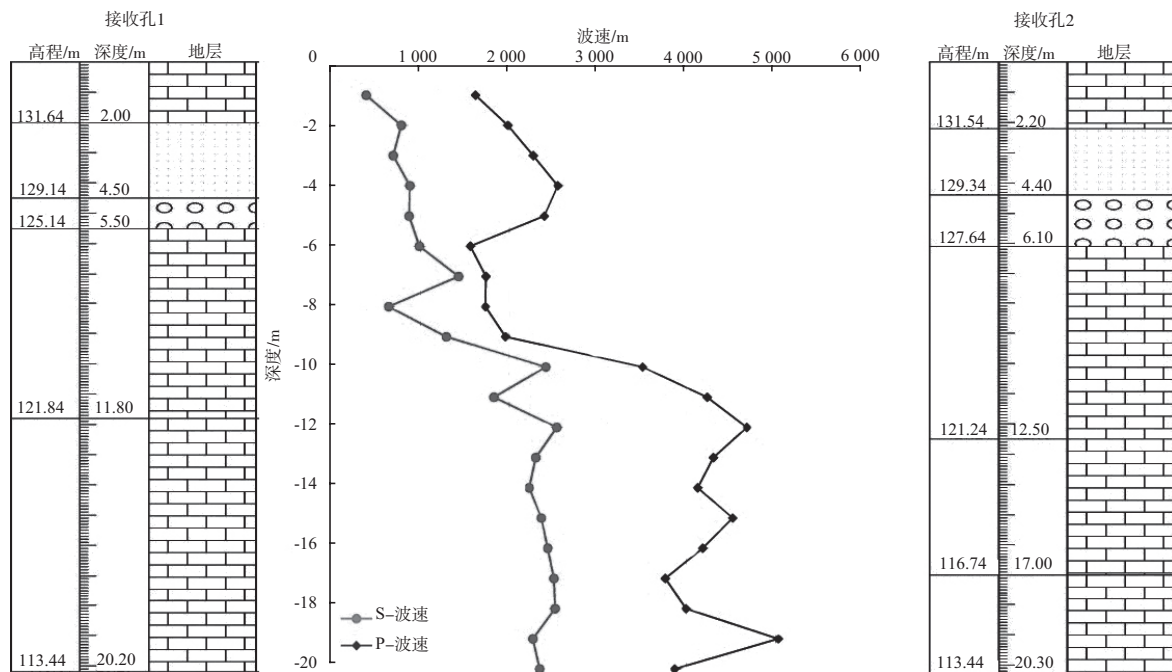


图1 跨孔波速曲线与钻孔对比

表1 场区介质波速

介质名称	密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	纵波波速 $v_p/(km \cdot s^{-1})$	横波波速 $v_s/(km \cdot s^{-1})$
中风化泥岩	1.97 ~ 2.38	975 ~ 1 023	578 ~ 876
中风化灰岩	2.03 ~ 2.54	3 392 ~ 4 141	1 524 ~ 2 667
中风化砂岩/砾岩	2.11 ~ 2.65	3 692 ~ 4 381	1 778 ~ 2 678
微风化泥岩	1.99 ~ 2.43	1 849 ~ 2 870	1 210 ~ 2 423
微风化灰岩	2.11 ~ 2.61	3 913 ~ 4 500	2 000 ~ 2 900

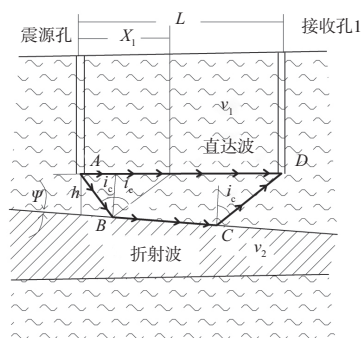


图2 跨孔测试

钻孔中每个测点的坐标, 进一步算出每组测点之间的距离, 从而获得更准确的波速结果。测斜结果见图3和4。

3.4 波速测试的实施

测试方法采用跨孔方法, 利用一孔单点发射,

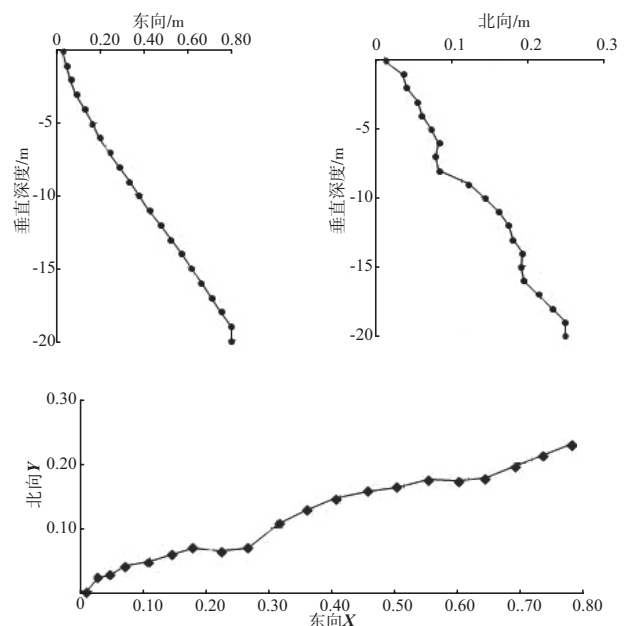


图3 单孔的平面投影测斜曲线

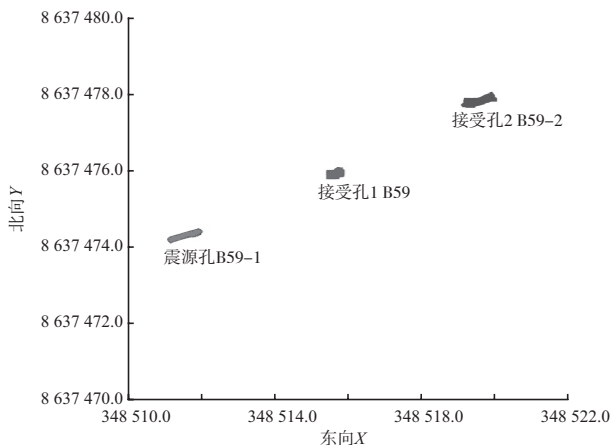


图4 跨孔的平面投影偏移位置

另外两孔单点接收,在一次发射完毕,采集到一致完整清晰的信号后,将发射探头旋转 180° ,再次进行发射,以获取相位相反的另一个信号。某一个发射点测试完毕后,发射探头(换能器)移到下一个发射测点,接收排列作相应移动后,再进行测试,如此继续下去,直到所有测试点测试完毕。实测中,发射点间距一般选取1 m,在层位有变化的地方另外增加采集数据,接收点间距和发射间距一致。图5为其中一组测试中采集的跨孔原始数据。

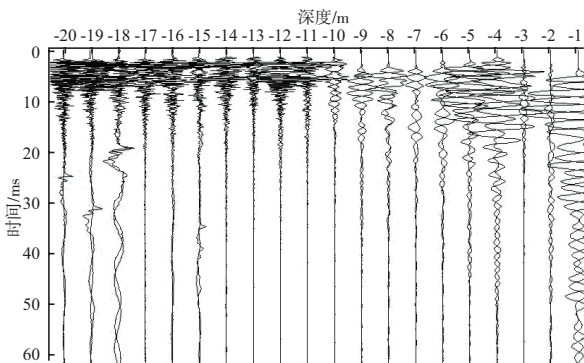


图5 跨孔野外采集原始资料

4 资料处理

野外采集的波形数据进行初始到达波形识别后,进行计算获得图6波速曲线。

根据图6,表层第1个测点离下层约1.2 m,地表1 m, v_s 为386 m/s,第2点 v_s 为690 m/s,速度比约为 $690/386=1.8$,该层计算速度可能为折射波速度。第2点靠近地层交界面,下层速度大于上层速度,该点波速也为折射波速度。第3点位于砂岩地

层,其速度介于上下层之间,而且略小于下层地层,实测 v_s 为690 m/s为该地层速度,其速度低于一般砂岩地层速度,原因可能是由于该地层有较多的空隙存在。第4点靠近中风化砾岩, v_s 为878 m/s,靠近地层,所以该地层速度可能为折射波速度。第5点位于砾岩中间,在第二接收点离下层1.1 m, v_s 可以认为是直达波, v_s 为878 m/s是该地层速度值。第5点以下地层均为中风化灰岩,其速度值有一定的变化,但是为同一地层,可以认为是该地层速度值。

5 结语

1) 在沉积地层地区,地层构成比较复杂,一般都有多层不同介质沉积而成,包括有薄层、软弱地层,造成跨孔波速的测试结果有较大误差,如何利用仪器设备,并结合地质情况,合理的布置钻孔位置,孔间距以及测点非常必要。笔者根据地质情况的特点,合理布置跨孔测试,获得满意的波速测试数据,为设计提供可靠的参考数据。该方法对于其他沉积地区的跨孔波速测试也有一定的参考意义。

2) 震波检测系统和孔斜测试仪器的精度、套管与周围土体的耦合程度、震波初至点判读的正确性、孔间距和测点布置的合理性等因素直接决定了波速测试结果的精度,同时还有其它影响因素,比如地层中存在联通的空洞现象或钻孔塌孔在灌浆过程中被充填,测出的波速数据也是不准确的,所以建议在波速测试的每个环节都要注意存在的问题,才能避免产生较大的误差。

3) 测试过程中测试波形比较简单,没有涉及波形识别部分,在复杂地层情况下如何识别初至波形起跳也是一个关键因素。

参考文献:

- [1] GBT 50269—1998 地基动力特性测试规范[S].
- [2] 祝龙根,徐礼至,张海.跨孔波速试验中孔间距和测点位置的确定方法[J].水电自动化与大坝监测,1986(1): 35-42.

(本文编辑 郭雪珍)