

# 单孔折射波法在基桩完整性检测中的应用

吴帅彬

(上海勘测设计研究院, 上海 200434)

**【摘要】** 单孔折射法在美国、以色列等国家的基桩检测中得到了广泛地应用, 相应的检测仪器以及配套软件等已步入商业化阶段。对于单孔折射法, 国内亦有少量文献及工程实例的报道, 但是内容略显粗浅, 对于指导工程实践仍不够充分。介绍了该法的基本原理、仪器设备、现场检测等内容, 以期能为相关工程技术人员提供参考, 推动该项技术在国内的发展。

**【关键词】** 单孔折射法; 桩基检测; 基本原理; 仪器设备; 现场检测。

**【中图分类号】** TU 473.1

**【文献标识码】** A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.01.013

## Theory and Practice of Pile Length Test With Parallel Seismic Method

Wu Shuaibin

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute, Shanghai 200434, China)

**【Abstract】** The single-hole soniclogging method has been widely applied in Israel, China and other countries. Corresponding equipment and matching software has stepped into commercialization stages. However, the method is mentioned in minor literatures published at home, and relevant contents is slightly rough. The method is described by author in detail and hoping it could give a useful reference to technical personnel and other application in china.

**【Key words】** single-hole soniclogging; pile testing; basic principle; instrument and equipment; field detection.

### 0 引言

对于跨孔透射波法, 当桩径较小时, 声测管间距也较小, 其测试误差相对较大, 同时预埋声测管可能引起附加的灌注桩施工质量问题, 预埋多根声测管是不切实际的。因此, 跨孔透射波法一般只适用于检测桩径大于 0.8 m 的混凝土灌注桩。在某些特殊情况下只有一孔, 跨孔透射波法也不适用。对于水泥石桩的检测目前一般采用标准贯入试验、静力触探、静荷载试验、取芯等方法, 尽管直接可靠, 但其时间长, 成本高, 很难做到普测。

单孔折射波法 (Single-Hole Sonic Logging, SSL) 已列入美国材料试验协会标准 (ASTM D6760-08)。单孔折射法在美国、以色列等国家的基桩检测中得到了广泛地应用, 相应的检测仪器以及配套软件等已步入商业化阶段。目前, 该方法也于 2004 年列入我国交通部推荐性行业标准《公路工程基桩动测技术规程》(JTG/T F81-01-2004)<sup>[1]</sup>。但是, 国内文献报道不多, 同时略显粗浅, 对于指导工程实践仍不够充分。作者详细介绍了单孔折射波

法的基本原理、现场检测、信号分析等内容, 可为相关工程技术人员提供参考。

### 1 基本原理

单孔折射波法不同于跨孔透射波法。单孔折射波法的发射、接收换能器放置于同一个孔中, 换能器之间用隔声材料隔离或者采用专用的一发双收换能器。声波从发射换能器出发经耦合水进入孔壁混凝土表层, 并沿混凝土表层滑行一段距离后, 再经耦合水分别到达两个接收换能器上, 从而测出声波沿孔壁混凝土传播时的声学参数。(见图 1)

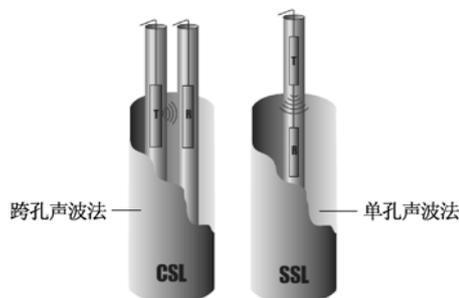


图 1 跨孔声波法与单孔声波法原理之比较

**作者简介:** 吴帅彬, 1976 年生, 男, 上海人, 工程师, 目前主要从事岩土工程勘察设计与科研工作。E-mail: wushuaibin2000@yahoo.com.cn

单孔声波测井利用一种沿孔壁传播的声波—滑行波来探测孔壁混凝土。应用射线声学理论分析,当发射声源(发射换能器)的几何尺寸小于声波的波长时,发射声波的指向性较差,在孔中激发的声波则以不同的角度辐射到孔壁上,并在耦合水与孔壁的界面上发生反射及折射,而折射使部分声波能量进入混凝土。根据折射定理:  $\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = c_1 / c_2$  (一般  $c_2 > c_1$ ,  $\theta_1$  为入射角;  $\theta_2$  为折射角;  $c_1$  为耦合水波速;  $c_2$  为孔壁混凝土波速),可知:当  $\theta_1$  的值为  $\arcsin(c_1 / c_2)$  时,则折射角  $\theta_2$  为  $90^\circ$ ,亦即折射波将沿井壁传播(滑行波),此时的入射角  $\theta_1$  为第一临界角。同样道理,滑行波在传播过程中亦可以  $90^\circ$  入射角,不断折射回耦合水,并被接收换能器拾取。要清晰辨别滑行波则应满足:滑行波先于(通过耦合水的直达波传播的波)到达。这种情况下,远近不同的两个接收换能器所拾取的滑行折射波,其到时差异、幅频差异,便容含了两换能器间孔壁混凝土的性状之信息。

## 2 检测设备

### 2.1 声测管

单孔透射法检测时,波同时在水中、声测管和混凝土中传播。由于声传播路径较跨孔法复杂得多,须采用信号分析技术。当孔道中有钢质套管时,会影响声波在孔壁混凝土中的绕行,故不能采用钢管,一般采用 PVC 塑料管。(见图 2)

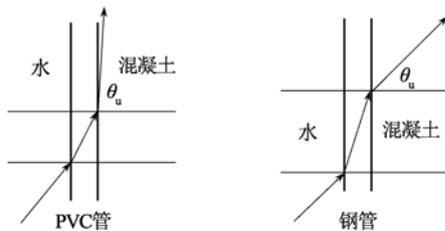


图 2 单孔声波法不应采用钢管

检测前应用清水冲洗声测管,采用清水作为耦合剂。浑浊水将明显甚至严重加大声波衰减和延长传播时间,给声波检测结果带来误差。若利用取芯孔进行单孔超声波混凝土质量检测,在检测前也应进行孔内清洗。

### 2.2 换能器

#### 1) 一发双收换能器的结构

目前,单孔折射波法常用的是采用一发双收换能器。顾名思义,一发双收换能器就是由一个发射换能器和两个接收换能器组成(见图 3)。发射换能器 T 至接收换能器  $R_1$  间的距离为  $L$ ,称其为“源

距”;接收换能器  $R_1$  与接收换能器  $R_2$  间的距离为  $\Delta L$  称其为“间距”。对于上述换能器的要求是:径向无指向性、轴向亦应无指向性;发射功率要大,要有足够的接收灵敏度。

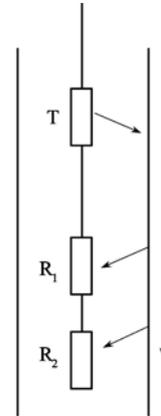


图 3 一发双收组成

#### 2) 一发双收换能器的工作原理

当一发双收换能器置于混凝土钻孔的中心,发射换能器 T 发射的声波,满足入射角等于第一临界角的声线,在混凝土孔壁的声波折射角将等于  $90^\circ$ ,即声波沿着钻孔壁滑行,然后又分别折射回孔中,由接收换能器  $R_1$  和  $R_2$  分别接收(所以可称其为折射波法)。可有:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \tag{1}$$

$$\Delta V_p = \Delta L / \Delta t \tag{2}$$

式中:  $t_2$  为 T 传播到  $R_2$  的声波传播时间(远道接收换能器声时);  $t_1$  为 T 传播到  $R_1$  的声波传播时间(近道接收换能器声时);  $\Delta t$  为两个接收换能器间的声时差;  $V_p$  为孔壁介质的声速;  $\Delta L$  为两个接收换能器间的距离。由声学理论可知,这个声速只反映沿孔壁一个波长范围内的声速。显然,换能器的频率选得低一些,也就是波长  $\lambda$  长一些,单孔一发双收声波测井所测得的范围要大一些。例如:一发双收换能器的频率为 30 kHz,混凝土的声速为 4 500 mm/s 时,波长  $\lambda = 0.15$  mm,这时可以测出范围是:钻孔中心 0.4 m 范围内钻孔孔壁介质的声速(假定钻孔直径为 0.1 mm)。

#### 3) 关于源距 L 和间距 $\Delta L$

$t_1$  和  $t_2$  都包含了声波在钻孔井液内及混凝土中的传播时间,好在通过  $t_2 - t_1$  后井液中的声时便完全抵消了,便只保留了声波由  $R_1$  传播到  $R_2$  的声时。可是不要忘记,声波还会由发射换能器 T 直接在井液中传播到接收换能器  $R_1$ 。好在混凝土或岩体的声速远高于井液的声速,所以只要源距  $L$  足够大,使声波在混凝土或岩体中传播距离也足够大,也

就是使  $t_1$  小于由井液中传播的时间  $t_w$ 。这样,单孔一发双收测试才能成为可能。于是,便有一个最小源距的问题,也就是要求:

$$t_w = \frac{L_{\min}}{C_w} > t_1 \quad (3)$$

式中:  $t_w$  为发射换能器 T 发射的声波由井液传播到  $R_1$  的声时;  $C_w$  为井液的声速;  $L_{\min}$  为满足式的源距,即最小源距。通过计算,最小源距的计算公式如下:

$$L_{\min} = 2S \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \quad (4)$$

其中  $s = \frac{D-d}{2}$      $\beta = \frac{C_w}{C_R}$

式中:  $L_{\min}$  为最小源距;  $C_w$  为井液声速;  $C_R$  为混凝土最低声速(可取  $C_R = 1800 \text{ m/s}$ );  $D$  为钻孔直径;  $d$  为“一发双收”换能器直径。由此可见并不是任何一个“一发双收”换能器都可以在任何孔径的钻孔中施测。一个制造好的“一发双收”换能器其外径  $d$ 、源距  $L$  均已固定,故其适用的钻孔最大直径也就固定了。

至于间距  $\Delta L$ ,是由检测的垂直分辨率来决定的。例如:湘潭市无线电厂生产的“一发双收”换能器间距为 20 cm,源距为 30 cm。《公路工程基桩动测技术规范》6.2.5 条规定:单孔检测采用一发双收一体型换能器,其发射换能器至接收换能器的最近距离不应小于 30 cm,两接收换能器的间距宜为 20 cm。美国 Olson 工程公司建议单孔检测采用一发双收时发射换能器至接收换能器的距离宜为 30 cm,两接收换能器的间距宜为 30 cm。

### 3 工程实例

杭州某一工程采用钻孔灌注桩。桩直径为 1.0 m,混凝土设计强度等级为 C25,有效长度约为 46 m。20# 试桩在静载试验时发生结构破坏。考虑到钻孔取芯对缺陷混凝土将产生扰动,在钻孔取芯试验后利用该钻孔进行单孔折射波法检验。试验结果见图 4。

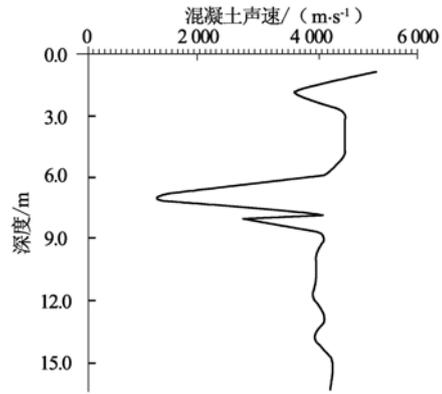


图 4 试验结果

可见,在钻孔取芯后需进一步了解芯样周围混凝土质量,作为钻芯检测的补充手段,都可采用单孔折射波法。该方法可绘制出波速随孔深的变化曲线,可与芯样柱状图对比,对取不出完整芯样处,也可有波速的定量结果。

### 4 结论与建议

单孔折射波法在美国、以色列等国家得到了广泛地应用,但是目前国内的文献报道与工程实例并不多见,对于指导工程实践仍然不够充分。

作者详细介绍了单孔透射波法的基本原理、现场检测的具体做法与信号分析的方法。文末通过一个工程实例验证了该方法的有效性。以期能为相关技术人员提供参考,推动该项技术在国内的应用与发展,更好地适应生产实践的现实要求。

### 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国行业标准.JTG/T F81-01-2004 公路工程基桩动测技术规范[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 陈建荣,高飞,郑小勇.建设工程基桩检测技术问答[M].上海:上海科学技术出版社,2010.
- [3] 陈建荣,高飞.现代桩基工程试验与检测—新技术·新方法·新设备[M].上海:上海科学技术出版社,2011.

收稿日期:2011-11-14