

# 声波透射法检测对桩基质量的分析与判别

赵建铎 周崇良

(杭州市公路管理局检测试验中心, 浙江杭州 310015)

**【摘要】** 阐述了桩基超声波测试原理, 测试方法及应注意的问题。通过超声波几种声学参数的分析, 从定性和定量上判断桩身完整性, 缺陷位置及缺陷程度。在对桩基质量的判别中, 结合几方面综合判定。最后用工程检测实例从定性、定量上判断桩身情况, 并采取相应的处理措施。

**【关键词】** 检测参数; 数据分析; 缺陷判断

**【中图分类号】** P 631. 51

**【文献标识码】** A

doi:10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2012. 04. 010

## Waves penetrating tests of the quality analysis and discretion in pile foundation

Zhao Jianhua Zhou Chongliang

(Hang zhou road administration testing and experiment center, Hangzhou, 310015, China)

**【Abstract】** This Article described a base ultrasound tests, the principles and so on. Through an ultrasound several acoustic parameter from the qualitative and quantitative analysis and judging the whole body integrity, defects and deficiencies levels. In general, it determined by the examples from the qualitative and quantitative tests judged in the case, and take appropriate treatment measures.

**【Key words】** Test parameter; Data analysis; Flawed judgements

### 0 引言

随着我国建筑事业的发展, 桩基已成为一种重要的基础形式, 在各种大小型工程建设中得到了广泛的应用。

桩基工程除因受岩土工程条件, 基础与结构设计, 桩土体系相互作用, 施工以及专业技术水平和经验等关联因素的影响而具有复杂性外, 桩的施工还具有高度的隐蔽性, 发现质量问题难, 事故处理更难的问题。因此, 桩基检测工作是整个桩基工程中不可缺少的重要环节, 同时也对后期的桩基灌注过程中的质量控制起到一定的促进作用。在桩基使用前, 只有提高桩基检测工作的质量和检测结果的可靠性, 才能真正地确保桩基工程的质量与安全。如何测定缺陷的位置, 并准确地对其进行评价成为桩基质量检测的一个核心问题。随着科学技术的进步, 这一领域的理论研究和工程运用都得到了较大的发展。但桩基检测是一项复杂的系统工程, 无论在理论上还是实践中, 目前都存在很多问题值得进一步探讨和研究, 如何快速准确地检测工程桩的质量是目前土木工程界十分

关心的问题。

### 1 超声波法检测的原理

超声波检测实质是振动(或波动)检测的一种, 桩基声波透射检测通常的振源是纵波脉冲产生的, 这种超声波段的中心频率一般为 25~50 kHz。

超声波法的检测原理: 由仪器中的脉冲信号发生器发出一系列周期性的电脉冲, 并加在发射换能器的基板上, 转换成高频弹性脉冲波, 透过混凝土传播的超声波携带有关混凝土材料的相关信息, 接收系统记录该脉冲波混凝土内传播过程中表现的波动参数变化特征, 根据这些参数变化判断桩身情况。其混凝土内纵波波速表达式为:

$$v_p \leq \sqrt{\frac{E(1-\gamma)}{\rho(1+\gamma)(1-2\gamma)}} \quad (1)$$

式中:  $E$  为杨氏弹性模量;  $\gamma$  为泊松比;  $\rho$  为密度;

因为混凝土是有限固体介质, 会形成制导波, 其速度会变小。

当混凝土内存在不连续或破损界面时, 形成介质之间的差异, 从而缺陷面形成波阻抗界面, 此时声

波中的各参量大小已被缺陷面内的介质所改变,波到达该介质时,产生波的透射、反射、散射和绕射,使接收到的透射能量明显降低。根据波的初至到达时间和波的能量衰减,频率变化及波形畸变程度等特征,可以获得测区范围内混凝土的密实度情况<sup>[1]</sup>。

测试及记录不同测面,不同深度上超声波的各种物理量如声波传播时间,能量的损失,频率的变化和波形畸变,经过处理分析就能判别测区内混凝土内部存在缺陷的大小及空间位置,并根据经验判断其缺陷性质,对混凝土总体的匀质性和完整性作出评价。

## 2 测试方法

粗测时,两探头放置同一深度后,屏幕上应出现正常波形即正弦波(或余弦波),调整增减倍数后,使接收波首波幅值不小于门限值,等波形稳定后,方可进行数据采集。采集完整根桩数据后,用桩基数据处理软件进行数据处理,剔除在测量过程中由于人为、机器等因素引起的跳点。然后由有经验的检测工程师对桩基完整性进行判读,并得出判断结论。若判读有异常,则需对异常位置进行细测<sup>[2]</sup>。

细测时,对于桩径在 1.0~1.2 m,探头频率大于 40 kHz 时,测试时若相邻测点距离较小如 2.5 cm,那么测试数据较多,缺陷重叠,一般 5 cm 或 10 cm 一个测点比较合理。

加密斜测时,只要声波接收信号强,首先波幅满足测试要求,错位高度越大对确定缺陷范围越准确,但由于径向换能器存在指向性,因此其收发换能器水平夹角不能太大,一般取 30°~40°。

值得注意的是,检测桩基混凝土质量是个相对比较的过程,在对同一根桩的检测过程中,各种声参量只有在同条件下才有可比性,才能比较缺陷的严重程度,所以在检测时均应固定发射电压,固定衰减、固定换能器等。

## 3 数据分析与判断

检测按《公路工程基桩动测技术规程》(JTJ/F81—01—2004)中有关超声波法规定进行。在波形畸变的基础上桩身缺陷判断以:声速判断法;波幅判断法;PSD 判据法;中心频率法;多因素概率分析法,进行综合判断。

### 3.1 声速判断法

声速为检测分析的主要指标,混凝土中声速的确定按式(1)。在实际的检测中,用式:

$$v \approx l/t \quad (2)$$

式中: $v$ 为超声波速; $l$ 为埋管中心间距; $t$ 为总声时

减去系统声时。和式(1)相比,式(2)是一个近似的表达式。从实测的声速特征可以反映所穿透的混凝土介质特性的变化。由式(2)可知,在埋管间距相等的情况下,当声时增加时,波速减小,混凝土强度降低。相反,当声时减小时,波速增加,混凝土强度较高,据此可初步判断桩身完整性及缺陷程度。

### 3.2 波幅判断法

波幅测量的目的是比较超声波在混凝土内传播时能量的变化情况,波幅的高低反映超声波穿透混凝土能力的强弱。在声参数中,幅值对缺陷是很敏感的,在发射声波能量不变的情况下,接收的波幅高说明声波能量衰减小,反应混凝土质量较好。反之,当接收波波幅明显降低时,说明桩身混凝土介质吸收波能量强,反映混凝土强度较低,存在缺陷。通过对波幅的对比可以发现桩身存在的缺陷和缺陷严重程度,《基桩低应变动力检测规程》中规定可采用接收信号首波能量平均值的一半作为判断缺陷临界值的标准。一般用波幅平均值减 6dB 作为波幅临界值,当实测波幅低于波幅临界值时,将其视为可疑缺陷区。但实测中也常检测到能量衰减一半的值,而混凝土并无多大缺陷,这可能与混凝土本身是非匀质材料以及灌注过程中容易产生小的气孔及夹杂一些小的杂质等有关,就整根桩来说,对承载力影响不大。

### 3.3 PSD 判据法

PSD 判据即声时—深度曲线相邻测点的斜率与相邻两点声时差值的乘积,其表达式:

$$PSD = (t_x - t_{x-1})^2 / (h_x - h_{x-1}) \quad (3)$$

式中: $t_x$ ——第  $x$  测点的声时; $t_{x-1}$ ——第  $x-1$  测点的声时; $h_x$ ——第  $x$  测点的深度; $h_{x-1}$ ——第  $x-1$  测点的深度。

从式(3)可以看到,PSD 是一个对声时非常敏感的量,在声时—深度曲线上可明显反映出缺陷的位置。需注意的是,当遇到低强且均匀的混凝土或相邻测点在缺陷区时,由于声时值的变化不大,在声时—深度曲线上反映不出缺陷,易漏判,需用波幅衰减,声速,波形畸变等来综合判断<sup>[3]</sup>。在总结 PSD 法,声速  $v$  和首波幅度  $A$  变化的情况下,提出如下判断缺陷性质的方法(见表 1)。

表 1 缺陷类别判断表

PSD	$v$	$A$	缺陷性质
PSD ≤ 11	正常	低	局部夹砂低强区 夹泥、砂浆
	低	正常	
	低	低	

续 表

PSD	$v$	A	缺陷性质
$11 < PSD \leq M$	正常	低	蜂窝、小空洞
	低	低	较严重低强区
$M < PSD \leq N$	低	正常	水泥胶砂低强区
	低	低	较严重夹泥、夹砂

说明:上表是在测试正常,首波判读正常的情况下。M、N分别为水泥砂浆、砂砾夹层临界判据值(该值与管距、平均声速、测试间距、缺陷声速有关)。

### 3.4 中心频率法

频率参数目前虽然在相关规范里没有列为定量的判定指标,但频率对桩身混凝土缺陷反应灵敏。如果桩身混凝土内存在缺陷,缺陷部分相当于一个低通滤波器,对高频成分衰减较低频成分大,这时接收波中心频率会降低,缺陷越严重,高频成分损失越多,接收波的中心频率向低频段漂移,甚至超声波穿透不过而完全衰减掉。比较前后中心频率的漂移程度,来判断缺陷的严重程度。

### 3.5 多因素概率分析法(简称 NFP 法)

该方法使用多因素,即声速  $v$ , 频率  $F$ , 波幅  $A$ , 通过对整体的概率分析,获得一个综合判断值 NFP 来判断缺陷的方法,NFP 值按下式计算:

$$NFP(i) = \frac{v_i \cdot F_i \cdot A_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i \cdot F_i \cdot A_i) - m\delta} \quad (4)$$

式中:  $NFP(i)$ ——第  $i$  点的判据值;  $v_i, F_i, A_i$ ——第  $i$  点的声速, 频率, 幅值的相对值, 即声参数分别除以该桩各测点所对应声参数中最大值所得之商;  $\delta$ ——以上三个参数相对值之积为样本的标准差;  $m$ ——概率保证系数, 它是根据与样本相拟合的夏里埃(Char Liar)所决定的, 当 NFP 值  $< 1$  时, 表示该处有缺陷, 其值越小, 混凝土质量越差;  $NFP > 1$  时, 则无缺陷, 其值越大, 混凝土质量越好。在前四种判别方法中, 都有一个共同特点, 均使用一个声参数。混凝土中存在缺陷会使所测的声速、波幅、频率发生明显改变, 几个声学参数单独用于缺陷判断, 则各有其优缺点, 而多因素概率分析法, 把几种参数综合在一起, 可较全面地反映缺陷的情况<sup>[4]</sup>, 但该方法把几种参数平均参与判定, 还应考虑实际缺陷情况, 给某声参量以适当的权值。

## 4 桩基质量的判别

有了上面几种对缺陷的判断方法, 根据桩身是否存在缺陷及缺陷的严重程度, 将桩的完整性分为 I、II、III、IV 类, 并根据各检测剖面的声学参数异常点的分布情况及异常点的偏离程度, 判定被测桩的

完整性类别。由于混凝土是集结型的复合材料, 多相复合体系, 分布着复杂界面, 因此其检测的声参量数据波动较大, 加上灌注桩的混凝土是自密实, 地质条件及成桩工艺等影响, 其声参量的波动性就更大了, 在实际测试的过程中完全不出现异常点的可能性极小<sup>[5]</sup>, 因此不能机械地理解并执行规范中桩身完整性的判定标准(规范对声参量异常判断均采用“可判断”), 否则工程上很难有 I 类桩。上述理论异常点只是可疑缺陷点, 从定性定量的角度, 可结合以下五个方面进行综合判定:

- ① 异常点的实测声速与正常混凝土声速的偏离程度;
- ② 异常点的实测幅度与同一剖面内正常砼幅度的偏离程度;
- ③ 异常点的波形与正常混凝土的波形相比的畸变程度;
- ④ 异常点的分布范围及其他剖面异常点的分布情况;
- ⑤ 桩的类型(摩擦桩或端承桩), 地质情况及成桩工艺, 桩的类型及地质情况决定了桩身混凝土的压应力及弯矩大小随深度的变化规律, 因此相同大小程度的缺陷在桩身不同深度对该桩承载力的影响程度差别较大, 怎样处理, 应适当加以区分<sup>[6]</sup>。

## 5 工程检测实例及分析

某工程高架桥 C16-0 # 桩, 桩径 1.5 m, 桩长 60 m, 埋置三根声测管, 管距依次为  $L_{AB} = 95$  cm,  $L_{AC} = 92$  cm,  $L_{BC} = 97$  cm, 灌注完毕 14 d 后进行超声波检测。

1) 粗测后, 按前面的分析方法, 经综合判断, 结果如下:

AB 测面: 混凝土良好, 无缺陷;

AC 测面: 43.9~45.2 m, 泥和砂浆;

BC 测面: 44.1~44.7 m, 砂浆。

初步判断上述缺陷是 C 管附近局部夹裹砂浆和泥的缺陷, 为进一步判断缺陷上下限和局部缺陷占桩横截面的比例, 需进行细测和加密斜测。

2) 采取间隔为 5 cm 进行细测:

先加密平测, 两探头同时放到 46.0 m, 同步向上测至 42.0 m; 再加密斜测, A 管放至 46.0 m, C 管放至 46.5 m, C 管向上测至 42.0 m, 再斜测, A 管放至 46.5 m, C 管放至 46.0 m, A 管向上测至 42.0 m。以同样的方法测 BC 面。

检测完后, 为对缺陷的位置、大小进行判断, 以声测管作为横坐标, 深度作为纵坐标, 按比例绘图,

黑阴影线包围的为有缺陷的部分(见图 1)。

整桩检测结果, C 管附近, 44.0~45.1 m 之间

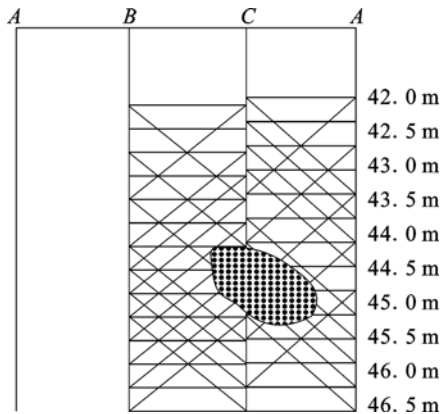


图 1 缺陷纵断面图

钻芯验证。经取芯, 在该处有 1.0 m 左右的砂浆和泥的混合物, 共钻 2 个孔, 芯样照片见图 3 和图 4。该桩孔经冲洗放置 4 根 1 m 左右  $\Phi 25$  钢



图 3 AC 面芯样



图 4 BC 面芯样

## 6 结 论

钻孔灌注桩在施工中易产生的缺陷主要有以下几种: 蜂窝、空洞、扩缩颈、离析、砂砾夹层、泥砂夹层等, 这些缺陷对承载力影响多大, 是否需要处理, 在对各参数分析的基础上, 仍须凭经验来判断, 或采用其他验证手段如取芯, 做高应变和静载等。

对桩基检测信号的分析处理方面, 把现有的桩基检测方法和当今一些先进的信号分析方法结合起来, 将是一个非常重要的研究方向, 例如采用聚类分析、数值判断、统计检验等数理统计判断桩的完整性。另外, 小波分析、人工神经网络的应用, 也可以实现桩基质量智能化的分类和缺陷的诊断。

### 参 考 文 献

[1] 罗骥先. 水工建筑物混凝土超声检测[M]. 北京: 水

为砂浆, 缺陷面积约占桩横截面积的 27%, 平面示意图见图 2。

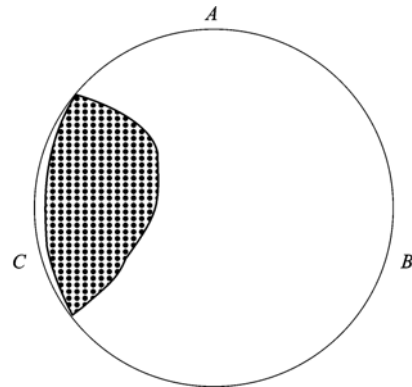


图 2 缺陷横断面图

筋后采用压浆法修补。经过 14d 后补测, 基本达到要求。

利水电出版社, 1986 127-129.

- [2] 陈益杰. 桩声波透射法检测容易产生的两种误判及分析[J]. 土工基础, 2008, 22(1): 82-83.
- [3] JTG /T F81—01—2004. 公路工程基桩动测技术规程[S]: 18-20.
- [4] 赵建铎, 等. 基桩桩身问题导致透射声波参数异常现象浅析中国地球物理年会(第 23 届)[C]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2007: 293
- [5] 周佳光. 桩基缺陷检测中应该注意的几个问题[J]. 公路交通技术, 2005, 4(2): 79-80.
- [6] 孙光乾. 超声波透射法在混凝土灌注桩检测中的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2008 (10): 39-40.

收稿日期: 2012-04-06