

# 钻孔桩混凝土质量超声检测

洪有根, 孙长俊, 袁益镛, 夏启清, 林维正

(同济大学声学所)

## 一、概 述

随着城市大型建筑结构不断地涌现, 高层建筑, 桥梁, 电力开发, 钻孔灌注桩在基础工程中得到广泛应用。但是, 由于施工工艺及地质条件等影响, 会产生断桩, 夹层、孔洞, 疏松及缩径等缺陷, 影响桩基力学特性, 桩基的强度和承载力, 造成桩的质量事故。据国内外统计资料表明, 灌注桩中大约破损率5—20%。因此必须对桩的质量作出评价。

## 二、钻孔桩质量超声检测原理

混凝土结构是一种多孔砂浆及粗骨料组成的非均质材料的弹性体。超声波在混凝土中的传播, 可以看做超声波在多相体中的传播。借助超声波检测我们可以获得反映钻孔灌注桩质量的二个主要声学参量:

### 1. 声时

即超声波通过事先预埋在钻孔桩内的两根测导管之间的距离所需要的传播时间 $t$ , 如果已知钻孔桩内两根测导管之间的距离为 $L$ 则根据 $C = \frac{L}{t}$ 可求出超声波透过混凝土的声速。对于一定配合比的混凝土, 质量越好则声速越大, 即强度越高。反之混凝土的质量降低声速也变小, 则强度也降低。如果混凝土

内存在着缺陷(空洞、断裂、疏松、夹层等)声时就会明显地增大, 这就意味着声速明显地减小。另外混凝土含石量较高时, 平均声速也增高, 但是强度没有什么变化, 反之含石量偏低, 砂浆偏高时声速偏小, 这能反映混凝土均匀性。

### 2. 波幅

即接收信号的振幅。对于一定配合比的混凝土, 质量越好, 则接收到的振幅越大, 反之质量越差则接收到的振幅越小, 混凝土内部存在着空洞, 断裂, 疏松和夹层等缺陷时所接收到的振幅明显地降低。由于换能器置于测导管内, 测导管内充满了水, 因此保证良好耦合条件, 因此混凝土的缺陷存在对于波幅变化是灵敏的, 甚至比声时变化还明显, 所以振幅值的测量是很可靠的, 另外, 混凝土含石量偏多, 砂浆偏少或砂浆偏多, 石子偏少时声速虽然有变化, 但振幅变化比较灵敏。因此, 振幅是混凝土缺陷检测的重要参数之一。

总之, 混凝土内部存在着缺陷(空洞、断裂、疏松、夹层等)不均匀就会引起声速和波幅发生变化, 因此在钻孔桩超声检测中应根据声速和波幅二个重要参数进行综合分析才能较可靠地判断钻孔桩的质量。

## 三、检测方法

超声波检测钻孔桩的方法是通过自动升降装置的换能器, 使发射换能器和接收换能

器分别放入预埋桩内的两根测导管中，通过发射换能器发射周期性超声脉冲穿过被测的桩体并被接收换能器所接收，同时从检测仪上显示出超声波传播的时间和接收到的波幅

以及换能器在测导管中的深度位置，将这三个参量通过A/D转换接口输入到PC-1500微机，经过数据处理，分析来评价桩的质量及缺陷的性质和深度位置。

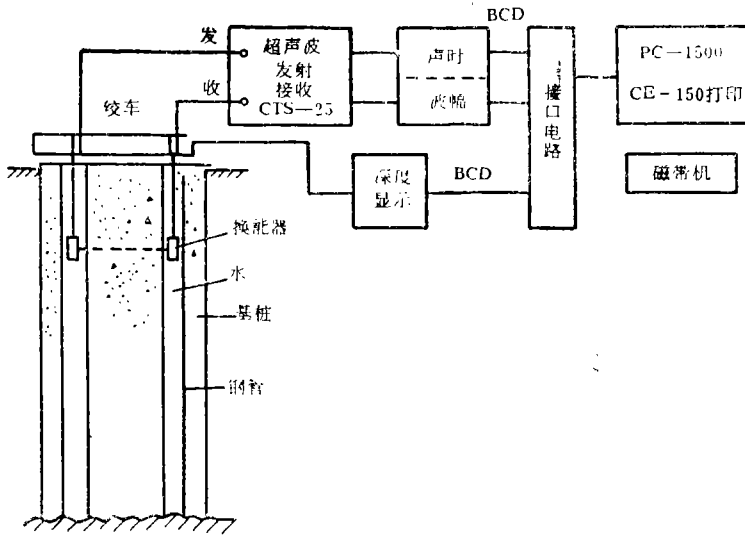


图1 超声检测原理图

#### 四、测导管的布置

钻孔灌注桩内的测导管一般都应采用钢管，这是因为钢管能够与混凝土有良好的结合，桩内测导管的数量根据桩的直径而定。一

般桩直径在0.65米以内可埋设两个测导管，在0.85米以内埋设三根测导管，三根管子应按120°角度分布，直径在1米以上埋设四根测导管按正方形布置，虽然安装测导管时增加一些费用，但是对于检测桩身质量是有保证的。

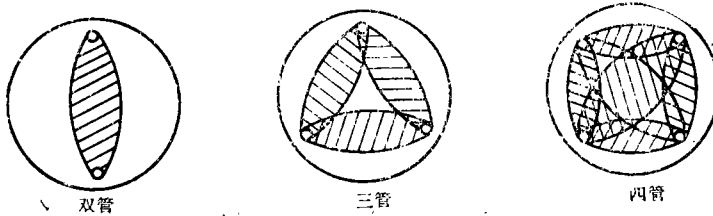


图2 测管布置及检测区域

检测钻孔桩的过程中一般采用以下几种方法：

1. **水平法** 即两个换能器处于同一个高度上，同步地上下移动，为了能正确反映桩内情况，采用换能器每移动20厘米数据采集一次，一般桩身大约30米左右则需要测150次左右，如果桩身内存在着缺陷（空洞、断

裂、疏松、夹层等），这时应该加密测点，这样更能正确地反映桩身的缺陷。图3a

2. **斜测法** 即两个换能器保持一定的高低同步地上下移动，这样的扫测面积比较大斜测法是在水平检测桩身质量有缺陷时所采用，斜测法和水平法结合采用更能反映桩身的质量及缺陷情况。图3b

3. 扇形法在已查出缺陷的附近使一个换能器固定, 另一个换能器则在缺陷区上下

移动进行扇形扫描, 这样可确定缺陷的大小和位置。图3c

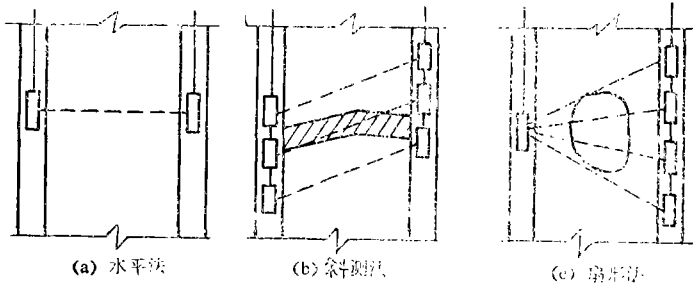


图3

## 五、桩基质量的评价

1 根据声速与衰减值的统计分布, 来分析确定桩基混凝土灌注的均匀性。

2 通过声速与衰减值的统计确定标定值确定缺陷的临界值, 再根据各截面积上的声速衰减及“声时—深度”曲线相邻测点的斜率和相邻两点声时差值乘积的判据值来确定缺陷的性质, 位置与尺寸。

3 根据现场桩基资料及现场试块资料, 可参照混凝土构件强度的超声无损检测方法来评估桩基混凝土的强度。

根据现场采集三个参数量, 深度 $D_i$ , 声时 $t_i$ 和接收信号幅度 $a_i$ , 经过整理可得出一组随深度 $D_i$ 变化的数据。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{声时: } T_i = t_i - t_0 \\ \text{衰减: } A_i = 20 \log \frac{\text{const}}{a_i} \\ \text{声速: } V_i = L/T_i \\ \text{PSD值: } C_i = \frac{(T_i - T_{i-1})^2}{(D_i - D_{i-1})} \end{array} \right. \quad (1)$$

式中 $t_0$ 为换能器直接耦合时初读数。

$L$ 为测管间距。

(a) 桩体混凝土均匀性级别评价

因声速与混凝土强度有良好的相关性, 因此根据声速统计值离散程度确定均匀性。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{均值: } E_v = \sum v_i \frac{\Delta D_i}{D} \\ \text{均方根差值: } D_v = \sqrt{\frac{\sum (V_i - E_v)^2 \Delta D_i}{D}} \quad (2) \\ \text{离散系数: } C_v = \frac{D_v}{E_v} \end{array} \right.$$

式中 $D$ 为测管长。

均匀性级别为:

A级	$C_v < 0.05$	好
B级	$0.05 \leq C_v < 0.10$	一般
C级	$0.10 \leq C_v < 0.15$	差
D级	$0.15 \leq C_v$	更差

(b) 缺陷类别、位置与尺寸评价

首先确定缺陷的临界值:

声速临界值 $V_D$ : 声速在桩基里基本上呈正态分布, 假定桩基截面上相对该均匀性级别合格的置信区间为95%, 则其水平确定其临界值为:

$$V_D = E_v - 1.65 D_v \quad (3)$$

若有试桩资料, 则可根据强度与声速关系(R—V)强度规律确定其临界值。

$$V_D = V_{\text{强度下界值}} \quad (4)$$

衰减临界值 $A_D$ : 衰减来源主要为声场扩散, 介质损耗, (散射、粘滞与吸收)与缺陷界面反射损失等, 因此是相对衰减比较, 故主要来源为后两项, 由经验可定为接收信号能量为其均值 $E_A$ 一半时的值;

$$A_D = E_A + 6(\text{dB}) \quad (5)$$

对于超过上述临界值的区域进行缺陷分析, 在下面的分析中,  $D_1$ 、 $D_2$ 为缺陷位置的上、下界,  $D_L$ 为缺陷的最大横向尺寸,  $D_b$ 为纵向尺寸,  $E_T$ 为声时均值, 则

$$R = D_b/2 \text{ 及 } CC = (T - E_T)^2/R$$

### 1. 蜂窝(缺少砂浆):

$$\left. \begin{aligned} CC < 4R \left( \frac{1}{\frac{0.85}{E_v} - 1} \right)^2, A_i > A_D \\ D_b \approx D_2 - D_1 + 0.1, D_L \approx \frac{(T - E_T) \cdot E_v}{\frac{1}{0.85} - 1} \end{aligned} \right\} (6)$$

### 2. 断裂层(泥砂侵入, 碎裂):

$$\left. \begin{aligned} CC > \left[ \frac{L}{E_v} \left( \frac{1}{0.6} - 1 \right) \right]^2 / R, A_i > A_D \\ D_b \approx D_2 - D_1 + 0.1, D_L \approx \frac{(T - E_T) \cdot E_v}{\frac{1}{0.60} - 1} \end{aligned} \right\} (7)$$

### 3. 孔洞(内含水, 气等杂物):

$$\left. \begin{aligned} CC > \frac{4R^2 + 2L^2 - 2 \times L \times \sqrt{4R^2 + L^2}}{R \times E_v^2}, \\ A_i > A_D \\ D_b \approx D_2 - D_1 + 0.1, D_L = R \end{aligned} \right\} (8)$$

### 4. 离析, 疏松, 低密, 低强度:

$$\left. \begin{aligned} A_i > A_D, V_i < E_v \\ D_b \approx D_2 - D_1 + 0.1, D_L \approx \frac{A_m - E_A}{6} \times 0.1 \end{aligned} \right\} (9)$$

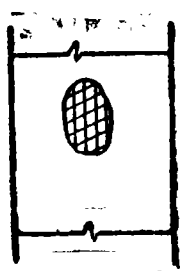


图4 蜂窝

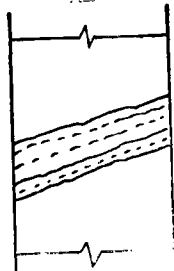


图5 断层



图6 孔洞



图7 离析

### C强度分布:

根据现场试桩, 试块的结果寻求混凝土强度与声速, 衰减的相关关系  $R_i \sim (V_i, A_i)$  参照地上混凝土超声检测曲线。提出每根桩的大致强度分布情况。

## 五、应用实例:

采用超声法(声速, 衰减)对大量模拟试验桩, 工程桩检测表明测试的结果和评价与桩基的实际情况是一致的, 可靠的。

图8k-4桩从声速和衰减曲线上可以分析其声速的临界值为3550米/秒, 而在1.80米以上声速基本上都在临界值以下, 最低的声速在2200米/秒, 而其衰减量的临界值为6<sup>6</sup> dB, 但是在1.80米以上衰减量却大大地超过临界值, 按式(7)分析说明这段桩深度在60公分处存在着断裂, 并且在1.80米以上处有泥砂侵入而形成夹层。

图9F-5桩深度在0.7米处声速已经超过其临界值, 同样衰减量也超过临界值, 根据式(9)分析该段存在着疏松区。

经过大量的试验桩和工程桩测试, 结果表明超声波的声速和衰减变化能正确、可靠地评价混凝土灌注桩的均匀性、完整性、缺陷的性质和位置。如果现场能配合混凝土试块, 这样能对桩基混凝土强度作出评价。

### 参考文献

钻孔灌注桩混凝土质量超声波检测研究  
——同济大学声学研究所研究报告——1987

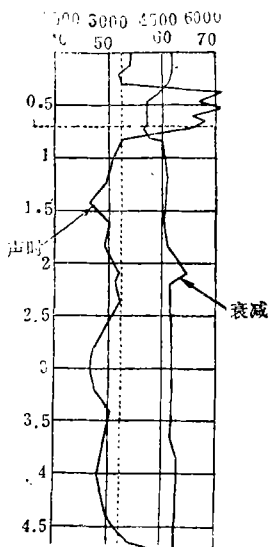


图8

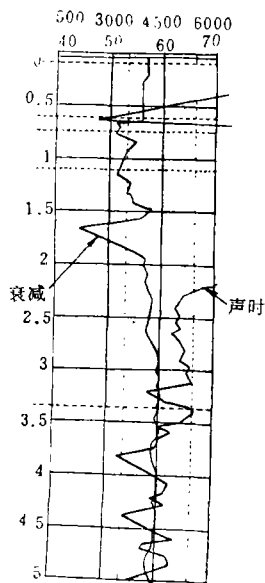


图9

# 水声图象换能器及水声图象处理

华明龙

(东南大学无线电工程系)

本文描述一种水声图象换能器的性能、结构、排列方式。同时也讨论了水声图象处理的过程，并提供了二维FFT数字图象变换的程序。

## 一、概 述

由于水的透光性能差，特别是海水混浊度大，所以水下光学成象距离近，通常只能1~2米，最多约10米。而水下图象显示的迫切性和重要性日益摆到议事日程上来。目前国外水声图象的迅速发展是水声学科中获得成就的一个重要分支<sup>[1]</sup>。由于声在水中的优良传播，所以它是水下图象显示的一个最可取的途径和方法。国外目前水声图象声呐

的工作距离比较可靠的是100~500米左右，频率为100~500KHz。前些年日产旁侧声呐曾经在长江进行过观察试验，图象是伪彩色处理的，当水下气泡少的情况下，工作是满意的，图象清晰，能见到长江堤岸的凹蚀情况和江底的沉船。如果使用拖曳式图象换能器，性能和效果将更为良好。

现代水声图象处理系统利用数字图象处理理论和计算机，使之成为易于实现的技术，系统方框图如图1所示。