

# 超声波桩基检测判断依据及案例分析

王 恒<sup>1</sup> 许梦雷<sup>2</sup>

(1. 山东省建筑工程检验检测中心有限公司, 山东 济南 250031;

2. 上海同丰工程咨询有限公司, 上海 201900)

**摘 要:** 随着社会经济的发展和城市化进程的不断深化, 建设工程数量和规模越来越大, 建筑工程所承担的社会责任也越来越重, 因此建筑工程质量的重要性不言而喻。超声波桩基检测技术作为一种无损检测方法, 能够在不对桩基础进行破坏的基础上对桩身内部缺陷进行判别, 在目前桩基检测工作中应用较为广泛。本文结合工程实际, 对超声波桩基检测的判断依据进行研究, 研究结果对今后超声波桩基检测工作的开展具有一定的借鉴意义。

**关键词:** 超声波桩基检测 无损检测 判断依据

**DOI:** 10.12319/j.issn.2096-1200.2023.05.142

工程质量检测专业作为整个建筑工程质量控制体系中十分重要的一个环节, 对建筑工程建设质量有着决定性的影响。桩基础作为建筑工程基础部分的主要形式, 承担着处理不良地质条件、减少建筑物沉降的重任, 是建筑物中十分重要的部分, 其施工质量往往影响着建筑物整体安全。桩基础施工质量主要受施工条件和质量受施工工艺、地质条件、建筑材料等诸多因素的影响, 同时其作为地下隐蔽工程, 施工质量无法通过直观方法判别, 往往需要借助其他学科对桩基础质量进行检测。现阶段, 桩基础检测方式较多, 其中超声波桩基检测技术作为一种无损检测技术, 能够在不影响结构特性的前提下对桩基础内部情况进行判别, 具有直接、灵活、快速、可靠等优点, 在目前桩基检测行业应用较为广泛。针对超声波桩基检测相关内容, 众多专家学者及专业工程师对其进行了丰富的研究, 例如: 杨飞跃<sup>[1]</sup>、林海清<sup>[2]</sup>、刘燕军<sup>[3]</sup>等对超声波测桩技术在各个行业内的应用情况进行了分析, 高昕<sup>[4]</sup>、黄鹤轩<sup>[5]</sup>、王冠<sup>[6]</sup>、邹兰林<sup>[7]</sup>等分别对新技术新理论在超声波测桩技术中的应用情况进行了深入的研究。

本文在前人研究的基础上, 结合现阶段超声波桩基检测情况以及实际工程案例, 对超声波桩基检测的判别标准进行深入研究, 研究结果对今后相关工作的开展具有一定的借鉴意义。

## 一、超声波桩基检测目的和应用要点

### (一) 超声波桩基检测目的

桩基础是建筑工程基础部分的重要结构, 在整个建筑工程中主要起承上启下的作用, 将建筑物上部荷载传递至土体以保证建筑物整体安全性。由此可见, 桩基础对于整个建筑物的重要性、建筑物整体的安全性而言十分重要。

超声波桩基检测技术是现阶段较为常用的一种桩基无损检测方法, 超声波检测技术主要是通过声波的传递对桩身缺陷情况进行分析。在实际工程中桩基础的施工受多方面因素影响, 其中包括施工工艺、地质条件、建筑材料、环境条件、施工工期等, 在这多种因素的影响下, 往往会造成桩身存在缺陷, 而超声波测桩技术是使用声学原理对桩身缺陷进行查找。

### (二) 超声波桩基检测应用要点

超声波桩基检测工作的开展过程, 声测管的安装是十分重要的一个过程, 声测管常采用铸铁管, 在试验期间需要对声测管的厚度、材质等内容进行仔细核查, 确保声测管不会对试验结果产生不良结果。在实际工作中, 可将声测管与钢筋进行共同固定, 以确保声测管安装合格。

声测管的安装主要根据桩径而定, 当桩径 $D < 1\text{m}$ 时, 可沿垂直方向布设2个声测管; 当桩径在 $1 \sim 2\text{m}$ 之间是, 可沿垂直方向布设3个声测管; 当桩径大于 $2\text{m}$ 时, 需沿垂直方向布设3个声测管, 声测管布置简图如图1所示。

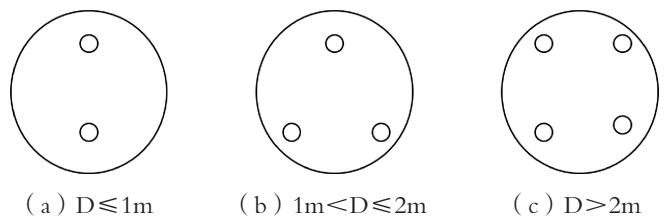


图1 声测管埋置方法

### (三) 超声波检测技术原理

超声波检测技术是近年来应用较为广泛且发展迅速的检测技术, 超声波实质上是弹性波的一种, 在进行超声波检测时, 将混凝土作为弹性体, 此时声波在混凝土中的传播服从弹性波传播规律。超声波检测桩基础的方式是首先

从发射点激发处超声波，并在管道内与水耦合，随后传入混凝土内部，在桩身传播后进入接受点附近，并再次与水进行耦合后由接收器进行接收，检测人员根据接收波形的不同对桩身内部情况进行判别。在整个检测过程中有水的参与，由于液体以及气体中不能传播剪切波，因此在整个超声波检测过程中均采用声波的纵波分量进行检测。

以钻孔灌注桩为例，其主要有水泥、粗骨料、细骨料、钢筋、空气以及水组成，其内部主要形成的病害包括空洞、裂缝、疏松、断桩等危害。桩身危害的存在首先对桩身整体性和完整性产生破坏，在超声波检测过程中，使得声波传播至此时传播路径变得复杂多变，且可以确定声波经由此地后传播路径会大大增加，在接收端所接受的波形中会出现声时的延长现象。由于空气和水的声阻抗远小于混凝土的声阻抗，声波在混凝土中传播过程中，遇着蜂窝、空洞或裂缝等缺陷时，在缺陷界面发生反射和散射，声能衰减，因此接收信号的波幅明显降低，频率明显减小。综上，超声波检测技术主要是利用声波在不同介质中的不同反应情况，并根据混凝土的声学参数测量值以及相对变化对桩身内部存在的缺陷情况进行判段，并以此判定桩身质量。具有精度高、费用低、轻便、灵活以及测试结果精度高等优点。

**二、超声波桩基检测判断依据分析**

**(一) 声速判别法**

有关声速判别法常采用概率法和声速底限值法，其中概率法中一般认为，若混凝土质量良好，则声波波动状态和混凝土质量波动状态一直服从正态分布。但缺陷的存在会导致声速不服从正态分布，进而有了概率法的基本原理。概率法中首先需要对任一剖面测点的声速值进行排序，对从零开始逐一去掉式序列中最小数值后余下的数据再重新进行统计计算。概率法统计计算公式如下。

$$(1) v_0 = v_m - \lambda s_v$$

$$(2) v_m = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} v_i$$

$$(3) s_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-k} (v_i - v_m)^2}{n-k-1}}$$

式中： $v_0$ ：异常判断值； $v_m$ ：(n-k)个数据的平均值； $\lambda$ ：查表得系数。

**(二) 波幅判别法**

超声波桩基检测技术中相关规范给定的波幅判别法采用下式确定波幅临界值，当波幅小于该值时该点判定为异常点，反之则为正常点。

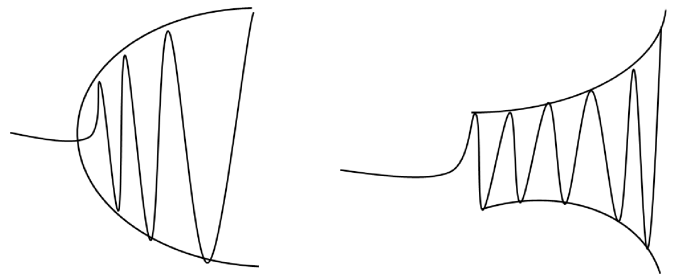
$$(4) A_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_{pi}}{n}$$

$$(5) A_{pi} < A_m - 6$$

式中： $A_m$ ：波幅平均值；n：检测面为测点数。

**(三) 波形判别法**

超声波在不同的混凝土桩基中所产生的波形各有不同，如图2所示，当超声波穿越正常桩基时，波形见图2中(a)所示，此时声波特征表现为波的后半周达到较高振幅，包络线为半圆形；首波陡峭，振幅大；首波(第一个周期的波)波形无畸变。当穿越有缺陷桩基时，波形见图2中(b)所示，此时波形特征：首波的后半周振幅增大不明显，包络线呈喇叭形；首波平缓，振幅小；第一、第二个周期的波形无畸变。当缺陷严重且时，无法接收到波形。



(a) 正常桩基 (b) 缺陷桩基

图2 波形包络线

**(四) PSD判断**

在混凝土桩基施工过程中，尤其钻孔灌注桩的施工过程，往往会造成混凝土均匀性较差，这导致在采用超声波检测桩身质量过程中，所采集到的声时值较为离散，除此之外，混凝土钢筋笼的扭曲、声测管放置未平衡等均会造成声时值离散，最终会影响检测人员对检测结果的误判，所提出声时-深度曲线中的相邻两点斜率积被称为功率谱密度(power spectral density, PSD)，并对PSD进行统计可进一步判断桩身缺陷存在的位置和类型，其计算公式如下：

$$(1) \Delta t = t_{ej} - t_{ej-1}$$

$$(2) k_z = (t_{ej} - t_{ej-1}) / (h_{ej} - h_{ej-1})$$

$$(3) k_z \Delta t = (t_{ej} - t_{ej-1})^2 / (h_{ej} - h_{ej-1})$$

$$(4) K_c = \frac{l^2 (v_2 - v_1)^2}{\Delta h v_2^2 v_1^2}$$

式中： $t_{ej}$ ：第j测点声时； $t_{ej-1}$ ：第j-1测点声时； $h_j$ ：第j测点深度； $h_{ej-1}$ ：第j-1测点深度； $K_c$ ：表示临界判据；l：声测管间距； $v_1$ ：声波在混凝土中的平均声速； $v_2$ ：声波在断面内的估计声速； $\Delta h$ ：相邻测点的距离。

**(五) 桩身混凝土缺陷综合判定**

桩身混凝土缺陷检测与分析判断步骤如下：运用平测的基本检测方法检测各个剖面；分析异常点并对异常点进行加密检测；综合分析缺陷范围和程度（包括缺陷处声速、声幅、波形以及PSD的偏离或者畸变程度）；按照桩身完整性判断规范《建筑基桩检测技术规范JGJ106-2014》判断桩的类别。

针对超声波桩基检测工作，为更好地同一超声波检测评价标准，现行相关规范将常见的桩基分为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类。有关桩身完整性的判定条件见表1所示。

表1 桩身完整性判定标准表

类别	特征
Ⅰ类	各检测剖面的声学参数无特殊异常，无声速低于低限值异常
Ⅱ类	某一检测剖面个别测点的声学参数出现异常，无声速低于低限值异常
Ⅲ类	某一检测剖面连续多个测点的声学参数出现异常；两个或两个以上检测剖面在同一深度测点的声学参数出现异常；局部混凝土声速出现低于低限值异常
Ⅳ类	某一检测剖面连续多个测点的声学参数出现异常；两个或两个以上检测剖面在同一深度测点的声学参数出现明显异常；桩身混凝土声速出现普遍低于低限值异常或无法检测首波或声波接收信号严重畸变

**三、工程案例分**

**(一) 工程简介**

某工程为高层住宅项目，共计三个地块，包括18栋主楼以及配套裙楼、地下水以及一座幼儿园，其中主楼共5-30层，裙楼高1-2层，幼儿园高2层，整体设地下室1层。该项目属新建项目，项目中桩基础为混凝土钻孔灌注桩为主，桩身混凝土设计强度为C35，桩径1m。本项目中采用超声波桩基检测的桩基础约40根。

**(二) 应用分析**

本项目中超声波桩基检测实施工程中首先在桩基施工前预埋声测管，而后根据工程实际结合公司现状，选择符合相关规范要求的声波检测仪器进行声波投射法检测工作。具体操作工程中，主要是通过声波的发生和接受来实现，通过信号采集器将声波信号进行记录、处理和分析，通过对声波信号的分析判定桩身是否存在缺陷以及缺陷的具体位置和范围。在实际操作中严格遵守相关规范要求，严格对待检测任务，认真完成试验过程，保证桩基检测数据真实有效。

本项目中桩径为1m，按照相关规定采用三根声测管的

检测方案，超声波检测仪器为RS-ST06D跨孔超声检测仪（武汉岩海生产）。本项目中所埋置声测管为无缝钢管，整体壁厚约4mm，内径43mm，该声测管材质能够很好地对桩基进行连接，能够很好地提升检测过程中信号的稳定性、准确性，能够很好地满足桩身完整性检测要求。本项目中采用模糊分析法，对桩基质量波动参数进行处理分析，模糊分析法能够很好地规避水环境对检测结果的影响，同时能够对其弹性模量参数进行关联性分析。本工程首先进行了声测管的安装和检查，并确保声测管放置结果和牢固性，同时在关口加盖保护盖。待前期准备工作以及混凝土养护完成后，使用RS-ST06D跨孔超声检测仪对桩身进行检测，根据实际检测结果可得，最终本项目中的Ⅰ类桩38根，Ⅱ类桩4，共计检查42根桩，全部合格。

**四、结语**

本文根据现阶段超声波桩基检测工作的工程实际，对超声波桩基检测判断依据进行深入研究，研究结果如下。

第一，对超声波桩基检测工作进行深入分析，分析了超声波桩基检测的原理、步骤、应用要点等内容。

第二，对超声波桩基检测判断依据进行了深入研究，分别分析了声速判别法、波幅判别法、波形判别法以及PSD判断等判断方法以及桩身缺陷的综合判定等内容。相关研究结果对于今后超声波桩基检测工作的开展具有一定的借鉴意义。

**参考文献**

[1]杨飞跃.超声波法在桥梁桩基检测中的应用分析[J].工程与建设,2022,36(05):1396-1397,1440.  
 [2]林海清.超声波无损检测在混凝土灌注桩中的应用[J].四川水泥,2021,302(10):66-67.  
 [3]刘燕军.超声波透射检测技术在建筑桩基检测中的运用研究[J].工程建设与设计,2022,474(04):151-153.  
 [4]高昕,王余鹏.基于模糊理论的桩基超声波检测的研究[J].电声技术,2020,44(04):94-96.  
 [5]黄鹤轩.灰色综合评估法在超声波透射法检测基桩混凝土质量中的应用研究[D].合肥:安徽建筑大学,2020.  
 [6]王冠,陈尧,王志刚等.混凝土桩基SAGA层析成像算法实验研究[J].传感技术学报,2020,33(04):517-523.  
 [7]邹兰林,叶知秋.小波分析结合神经网络的桩基缺陷检测[J].无损检测,2022,44(07):50-54.