

声波透射法在基桩检测中的影响因素及异常情况分析

阮建科

清远市交通运输工程质量检测站有限公司

摘要：声波透射法检测技术是一种比较先进的检测基桩质量的技术。在不破坏桩基结构的基础上，明确是否存在质量病害或质量隐患。利用该技术对桥梁桩基进行检测，可以达到提高基桩工程整体质量，避免桩基松动、断裂等效果。为了提高声波透射法在基桩检测中的应用效果，有必要了解声波透射法的技术原理和检测设备，然后深入探讨声波透射法检测的具体操作、数据处理、检测准备、优点和技术缺陷。

关键词：声波透射法；混凝土灌注桩；影响因素；异常情况

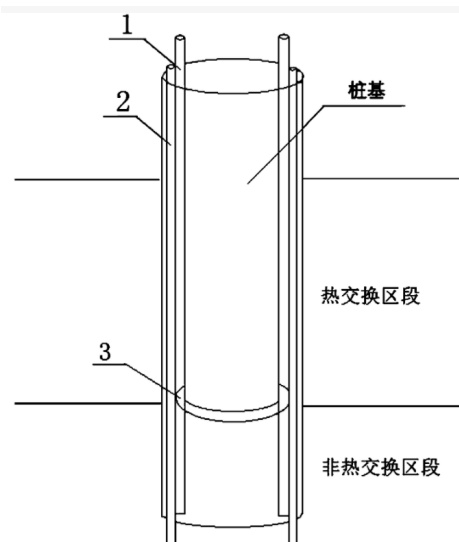
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.21.047

一、声波透射法的检测基本原理

声波透射法是一种基桩检测中的常用技术，它主要是借助超声脉冲波向桩基础发射高频弹性脉冲波，再利用接收设备接收经过桩基础的超声波，并对接收到的超声波特性及参数进行记录和判断，最终确定基桩是否存在质量病害。基桩结构是由混凝土材料和钢筋材料组成的，属于多孔非均质结构，超声波在这类固体当中的传播速度、传播参数是固定不变的，在基桩当中存在开裂、空洞等质量问题时，超声波的传播路径就会与无质量病害时的路径大相径庭，在这种情况下超声波的能量会发生衰减，其波幅、传播速度等都会与正常情况有一定差异，而接收设备在接收到特殊声波以后，会将其数据和图像传达给工作人员，工作人员就能及时发现声波的异常，并判断异常情况的成因，最终就能明确基桩当中的病害类型和病害范围等，完成检测任务。

声波透射法检测基桩需要提前在桩身中预埋声测管作为检测路径，并通过管内的清水进行耦合。检测时分别在不同声测管内放入超声波发射探头和接收探头两探头保持同一水平面或一定高差，两探头在声测管内同步提升或下降即可得到声学参数沿桩身的变化曲线，进而反映出整个桩身的混凝土完整性情况。声波在存在波阻抗差异的不同介质中传播时其传播速度和能量衰减情况不同。当声波在传播过程中遇到桩身混凝土介质发生变化时如空洞、离析、沉渣过厚等缺陷或混凝土密实度不均匀，声波将根据最短路径进行传播，会绕过缺陷或在传播速度较慢的介质中进行传播，造成声波能量发生衰减、传播时间延长，因此接收探头所记录的首波声时将变大，波速会降低，波形可能产生畸形等变化。通过综合考虑接收探头所记录的首波声学参数特征对桩身完整

性类别进行判定，对内部缺陷位置、缺陷程度等做出评价。



声波透射法检测原理图

二、基桩使用射波透射法检测的要求

声波透射法是一种常用的基桩无损检测方法，用于检测混凝土结构中的缺陷。当采用声波透射法检测时，受检桩混凝土强度不得低于设计强度的70%，且不得小于15MPa；检测的时间应满足混凝土强度龄期的要求。为保证检测结果的可靠性，同时考虑到混凝土在龄期14天后的超声波波速等特性参数变化已经趋于平缓，一般要求超声波检测混凝土灌注桩的龄期应大于14天

2019年我单位中标广州从化至清远连州高速公路桥梁无损检测JC04标，该检测标段含桥梁灌注基桩5201根，全部采用声波透射法检测。通过对检测过程中遇到的各种问题的收集和整理，下文归纳了声波透射法基桩检测中的影响因素和常见声学参数异常情况，并对其进行分析 and 探讨。

在声透射法的检测工作中，可以根据声时、声幅、PSD值等参数确定桩体的完整类别和缺陷位置。

声速与混凝土的内部结构密切相关。不同的介质具有不同的弹性模量和密度，因此声波在不均匀介质和混凝土中的传播速度也不同。一般来说，混凝土的密度越大，孔隙率越低，强度等级越高，在混凝土内部传播的声波的声速值也越大。因此，可以通过混凝土不同部位的声速变化来了解混凝土的密度变化，从而确定桩体的质量或缺陷的位置。由于声速检测值相对稳定且可重复，因此声速值的变化往往只受缺陷的影响。因此，同

一桩不同剖面之间或同一工程、同一批不同桩之间的声速测量值的比较是判断桩体完整性的主要参数。当测量到的声速值低于声速临界值时，应视为异常。

此外，波幅也是一个主要的参考参数，当存在缺陷时，波幅往往是非常敏感的，可以引起明显的变化。当声波在混凝土中传播，遇到穿过桩体的缺陷时，部分能量会反射到缺陷表面，引起能量衰减，波幅减小。目前，在声透射法的应用中，振幅一般是指第一波的振幅，即第一波前半周期的峰值。在探测中，要求发射波的强度相对固定。因此，测量振幅值的变化代表了声波在混凝土中传播过程中的能量衰减，从而确定了缺陷的位置和性质。振幅是桩体完整性类别的另一个重要参数。当实测波幅低于波幅临界值时，应作为异常进行分析。

PSD值是相邻测点在声时深度曲线上的斜率与其声时差的乘积。在规范中建议使用PSD值作为辅助依据。当PSD值发生突然变化时，可以根据其幅度变化来判断。

三、不同声学参数对桩身缺陷的反应

在声波透射法中，桩身缺陷的类型、大小、位置均会使声学参数产生异常，因此声学参数异常分析与判定是非常重要的。通常可根据声速、声幅、频率、波形和PSD值等参数的异常情况分析并判定桩身完整性类别、确定缺陷的部位。

超声脉冲波在混凝土中传播速度的快慢，与混凝土的密实度有直接关系。一般来说，混凝土越密实，孔隙率越低，强度等级越高，声波在其内部传播的速度越快。当有空洞或裂缝存在时，超声脉冲波只能绕过空洞或裂缝传播，传播的路程增大，测得的声时必然偏长或声速降低，从而判断桩身质量的好坏或缺陷位置。由于声速的检测值相对稳定、可重复检测，声速值的变化往往只受缺陷的影响。

声幅、频率和波形，由于空气的声阻抗远小于混凝土的声阻抗，遇到蜂窝、空洞或裂缝等缺陷，在界面发生反射和散射，声能被衰减，频率较高的成分衰减更快，波幅明显降低，频率明显减小或频率谱中高频成分明显减少。经过缺陷反射或绕过缺陷传播的脉冲波信号与直达波信号之间存在声程和相位差，叠加后互相干扰，致使接收信号的波形发生畸变。目前在声波透射法的应用中波幅一般指首波的波幅，即第一个波的前半周期的波峰，检测中要求发射波的强度是相对固定的，因此所测得的波幅值的变化代表声波在混凝土中传播过程中的能量衰减情况，进而确定缺陷位置及性质。当实测波幅低于波幅临界值时，应将其作为异常进行分析。

PSD值是指声时-深度曲线的相邻测点斜率与其声时差的乘积，规范中推荐采用PSD值作为辅助依据，如果

PSD值在某个频率范围内出现峰值，则说明该频率范围内存在缺陷。

四、影响检测结果的因素

（一）管斜的影响

在检测过程中，难免会碰到声测管弯管的情况，管斜对我们的检测结果有较大的影响，容易造成对缺陷的错判或漏判。PSD并无强烈变化，且声速声幅呈趋势性渐变，应为声测管偏斜，需进行管斜修正。

（二）耦合剂的影响

在桩基超声波透射法检测过程中，往往在声测管中注清水作耦合剂，但在一些实例中，发现管中注的是泥水或者是污水。在经过一段时间的静置后，泥水发生沉淀，使换能器未能测试到管底。污水、管内部的锈蚀和青苔则会影响超声波的传播及接收导致接收到的声幅偏低或呈现锯齿状。

（三）检测换能器的影响

换能器的影响主要有三种情况：一是使用不同的换能器测量，其波形相差很大。当频率不同时，采集到的波形的脉宽不一样，因此判读的精度也就不一样，规范对换能器的频率有明确的规定。二是换能器信号线破损（漏水）造成波形无法正常接收；三是换能器顶部缓冲毛绒或十字胶片磨损或脱落，造成换能器提升过程中不断与管壁碰撞产生干扰声波。因此换能器作为损耗品应根据使用频率定期进行检查或通过对比试验确定可靠性，对存在影响检测结果的换能器应及时更换。

（四）桩基钢筋的影响

钢筋截面面积较小，其接收信号远小于混凝土信号。实际测试时，可通过调整仪器中的增益来抑制箍筋的接收信号；当有较粗的横向钢筋时，应从波形上加以区别。

（五）声测管接头的影响

中长桩需要几节管子连接起来，通长到桩底。有时两管连接工艺用10cm短管节，其内径大于声测管外径3~5mm，套焊接而成。超声检测时，若换能器正好处在两管节头之处时，这样就会造成声时稍有增大，声速下降不太明显，但首波波幅下降很明显。因此在检测和分析数据时，深度一幅度曲线上如出现有规律的波幅突变时，应分析是否是管节头的影响。

（六）灌注桩桩底沉渣的影响

当超声检测到桩底时，有时会出现桩底声速和首波幅度急剧下降的情况。可能是由于桩底沉渣沉积太厚，超过0.3~0.6m甚至更大。有时可能甚至采集不到波形。

（七）提升速度过快，换能器与声测管碰撞的影响

在现场检测过程中，有时为了赶检测速度等因素，测试过程中提升很快，换能器会与金属声测管碰撞，产

生其他干扰的声波信号，从而影响检测结果。

（八）定位滑轮的影响

定位滑轮的影响主要是两种：一是定位滑轮产生故障导致定读数存在误差；二是仪器设置中滑轮直径大小选择与实际部分。上述情况均可能出现基桩仪器显示换能器未到桩顶位置，而实际换能器已到桩顶或相反的情况。

五、声学参数异常情况分析

（一）桩身波速较均匀，但波速偏低，波幅不均匀

波速比较均匀，但是都比正常值偏低，声幅存在一定不均匀离散。可能桩身混凝土浇筑龄期较短为混凝土强度不足，且为水下灌注桩。不按照规范要求的时间去进行检测，容易造成误判或者漏判。

（二）同一根桩，各剖面声学参数相差很大

换能器发射和接收只能在一定范围内实现，若两个换能器之间的不在同一水平且高差较大，接收到的声波能量不足，导致各剖面声学参数相差很大，甚至无法接收波形。因此检测前应根据绳线刻度来判断它们是否已经到达了桩底，同时还可以评估桩身长度，确认其是否符合设计或施工有效桩长要求。此种情况的另外一种原因为换能器位置编号与仪器设置的编号不一致，导致仪器录入管距与实际的不符，从而不同剖面计算出的声速值不偏差很大。因此检测前重新核对换能器接口编号尤为重要。

（三）采集不到首波波形

桩底混凝土的质量不佳，例如离析和沉渣，使得声波在传播时会迅速衰减，因此无法获取准确的波形信息，此种情况应通过钻芯法再次钻芯验证。

（四）整桩检测全过程未见波幅

造成这种问题的原因可能是超声波CT成像仪计量检定参数被修改所致。通常计量检定参数设定值为1，但因计量检定需要将其设置为0.1，此时换能器因接收能量不足将无法显示首波。超声波CT成像仪计量检定后应及时做仪器检定确认，重新检查各个参数设置是否正常。

（五）全部剖面在桩顶部位出现声速、波幅均明显偏低

这种现象说明桩顶混凝土密实度差、强度低。通常都是由于桩顶部位混凝土超灌量不足，造成桩顶混凝土局部夹泥，存在明显缺陷，需要凿除桩顶较差的混凝土，进行接桩处理。因此在基桩混凝土灌注接近桩顶时，管内混凝土压力会减小，需采取有效措施，防止桩顶部分混凝土的密实性较差甚至出现松散夹泥等质量问题。

（六）波形正常，而PSD曲线却有大幅畸变

在工程实践中，由于PSD的使用，许多检测人员对基桩的完整性产生误解，而超声波透射法的检测报

告的编制则需要将波形、波速、波幅和PSD曲线结合起来。若仅凭借PSD来评估基桩的完整性，往往会带来两个明显的后果。首先，由于检测人员操控换能器的速度太快，从而使得仪器的读数受到了影响。其次由于检测人员将“增益”参数设定得过高，从而导致PSD曲线出现了严重的偏差。通过稳定地收起换能器，并且密切关注屏幕上的增益值，我们可以有效地防止这种情况的发生。

（七）接触到不少声测判定有严重缺陷的Ⅲ、Ⅳ类桩，采用钻芯法验证检测芯样却十分完整。为什么高精度的声测法还会出现误判呢

除了仪器和操作因素，这种误判现象还可能是由于局部缺陷导致的非全断面。由于振捣不当、桩侧压力过大以及其他原因，导致了局部混凝土的质量下降。通过平测和斜测扇形测试，可以更准确地确定此种缺陷的深度范围，从而更精确地确定其平面位置。亦可采用CT层析法精确定位。如果上述方法无法准确识别出桩身截面的严重缺陷，那么这种情况通常是由于钻芯的钻孔偏离了原本的缺陷范围而导致的。由于声测管发生变位，导致声参数出现异常，而桩却完好无损。上述两种情况，工程实践中均会导致检测单位十分被动，应引起高度重视。

六、结束语

桥梁工程是中国基础设施建设的重要组成部分，在沟通不同地区之间的经济文化交流，为人们提供更便捷的出行体验方面发挥着重要作用。桩基结构是桥梁工程的基础结构，其质量直接影响桥梁工程的质量和耐久性。因此，采用超声方法检测桥梁桩基结构质量具有一定的实用价值。超声波法具有无损检测、快速检测等一系列优点，检测结果相对准确，具有参考价值。因此，工作人员需要根据实际情况选择超声波检测方法，以保证桥梁桩基检测的准确性。

参考文献

- [1] 刘德华, 闫永辉, 李东海, 杨建宇, 王均寒. 声波透射法桩基检测过程中的影响因素与控制措施[J]. 市政技术, 2018(4): 226-228, 233.
- [2] 赵守全, 赵常要, 朱兆荣. 声波透射法在基桩检测中影响因素的深入分析[J]. 铁道建筑技术, 2016(S1) 529-532.
- [3] 卢博瑶, 周建, 崔伟杰, 章世强, 徐跃东. 声波透射法在混凝土灌注桩工程检测中的运用[J]. 中国建材科技, 2022(5) 11-14.
- [4] 余察军. 声波透射法现场检测相关问题研究[J]. 工程技术研究, 2021(23) 20-23.

作者简介: 阮建科, 1985, 本科, 男, 路桥工程师, 桥梁基桩检测、桥梁定期检测及道路与桥梁(竣)交工检测。