

# 声波透射法测桥梁桩基础完整性要点

赵智慧 曾祥起

河南交院工程技术集团有限公司 河南 郑州 450000

**摘要：**声波透射法通过在桩身预埋声测管，发射并接收声波，分析声波在混凝土中传播的声时、频率、波幅等参数变化，判断桩身完整性。该方法具有高精度、不受场地限制等优点，适用于不同桩径的混凝土灌注桩。检测前需确保混凝土龄期达标、声测管平行且通畅。检测过程中需严格控制发射与接收参数，采集并分析声学数据。针对其局限性，可引入其他检测方法联合检测，提高检测全面性和准确性。

**关键词：**声波透射法；测桥梁桩基础完整性；要点

引言：桥梁桩基础作为桥梁结构的重要支撑部分，其完整性直接关系到桥梁的整体安全性和稳定性。声波透射法作为一种非破坏性检测技术，以其独特的优势在桥梁桩基础完整性检测中得到了广泛应用。该方法基于声波在混凝土介质中的传播特性，通过精确测量和分析声波信号的变化，能够准确判断桩身是否存在缺陷及其位置和程度。本文旨在深入探讨声波透射法在桥梁桩基础完整性检测中的关键点，以期为相关工程实践提供理论指导和技术支持。

## 1 声波透射法检测原理

### 1.1 声波透射法基本概念

(1) 声波在混凝土介质中的传播特性。声波在混凝土介质中的传播具有特定的物理特性。混凝土作为一种复合材料，其内部由骨料、水泥浆体以及气孔等多种成分构成，这使得声波在混凝土中的传播变得复杂。声波在传播过程中会与混凝土内部的颗粒、孔隙等发生相互作用，从而产生反射、折射和散射等现象。这些相互作用不仅会影响声波的传播速度，还会改变声波的波幅、频率和波形等参数。(2) 声波透射法检测桩身完整性的基本原理。声波透射法检测桩身完整性的基本原理是基于声波在混凝土中的传播特性。通过在桩身内预埋声测管，并在管中注满清水，然后利用发射换能器在某一声测管中发射高频声波，接收换能器在另一声测管中接收穿透桩体的声波信号。通过分析声波信号在混凝土中的传播时间、波速、波幅和频率等参数的变化，可以判断桩身是否存在缺陷以及缺陷的位置和程度。这种方法具有检测范围广、精度高的特点，是检测混凝土灌注桩桩身完整性的有效手段。

### 1.2 声学参数与混凝土缺陷的关系

1.2.1 声速、波幅、频率及波形等参数与混凝土质量的关系

(1) 声速：声速是声波在混凝土中传播的快慢程度，它反映了混凝土的弹性模量和密度等物理性质。当混凝土内部存在缺陷时，如空洞、裂缝等，声波的传播路径会受到影响，导致声速降低。(2) 波幅：波幅反映了声波穿过混凝土后能量的衰减程度。当混凝土存在缺陷时，声波在缺陷处会发生反射和散射，导致能量损失增大，波幅降低。(3) 频率：声波脉冲是复频波，具有多种频率成分。当它们穿过混凝土后，各频率成分的衰减程度不同。高频成分比低频成分更容易受到混凝土内部缺陷的影响而衰减，导致接收信号的频率发生变化。

(4) 波形：声波在混凝土中传播时，其波形会受到混凝土内部结构的影响。当存在缺陷时，声波的传播路径和相位会发生变化，导致波形畸变。

### 1.2.2 各声学参数变化对应的混凝土缺陷类型

声速降低通常与混凝土内部空洞、裂缝等缺陷有关；波幅衰减可能与混凝土的疏松、夹杂物等缺陷有关；频率变化可能反映了混凝土内部的不均匀性或缺陷的存在；而波形畸变则可能是多种缺陷共同作用的结果。通过综合分析这些声学参数的变化，可以准确地判断混凝土桩身的缺陷类型和程度。

## 2 声波透射法检测桥梁桩基础的适用条件

### 2.1 桩径与声测管数量要求

声波透射法的应用首先受到桩径的影响，不同桩径下声测管的设置数量和布置原则有所不同。

#### 2.1.1 不同桩径下声测管的设置数量

桩径是决定声测管数量的关键因素。通常，桩径越大，需要的声测管数量越多，以确保声波信号能全面覆盖桩身并准确反映桩身的完整性状况。(1) 桩径小于或等于800毫米：此时至少需要两根声测管。这是因为声波在较小空间内传播时，其路径和信号强度受到桩身尺寸的限制，两根声测管足以捕捉到有效的声波信号。(2)

桩径大于800毫米且小于或等于1600毫米：应至少设置三根声测管。随着桩径的增加，声波的传播路径变得更复杂，增加声测管数量可以提高声波信号的覆盖范围和检测精度。（3）桩径大于1600毫米：应适当增加声测管数量，以适应更大的桩身尺寸和更复杂的检测需求。具体数量需根据桩径大小、设计要求及检测经验综合确定<sup>[1]</sup>。

### 2.1.2 声测管的布置原则

声测管的布置应遵循以下原则以确保检测效果：

（1）均匀分布。声测管应均匀分布在桩身内，以确保声波信号能够均匀传播并捕捉到桩身各部位的信号。（2）平行布置。声测管应尽可能保持平行，以减少声波传播路径的偏差和信号失真。（3）间距合理。声测管之间的距离应根据桩径大小和检测要求合理设置，既要避免过近导致声波干扰，又要防止过远影响检测精度。

### 2.2 混凝土灌注桩的龄期要求

混凝土灌注桩的龄期对声波透射法的检测结果具有重要影响。龄期不足会导致混凝土内部结构和性能不稳定，从而影响超声波波速等特性参数的测量准确性。

（1）龄期要求：混凝土灌注桩的龄期应超过14天。这是因为在新浇筑的混凝土中，水泥水化反应尚未完全，混凝土内部结构和性能尚不稳定。随着龄期的增加，混凝土逐渐硬化和稳定，超声波波速等特性参数也趋于平稳。（2）影响分析：龄期不足时，混凝土内部可能存在未完全硬化的水泥颗粒和孔隙，这些都会影响声波的传播速度和信号强度。因此，在进行声波透射法检测前，应确保混凝土灌注桩达到规定的龄期要求。

### 2.3 其他适用条件

除了桩径与声测管数量要求、混凝土灌注桩的龄期要求外，声波透射法的适用条件还包括声测管平行度要求和桩长限制等方面。（1）声测管平行度要求。声测管的平行度是影响声波透射法检测精度的重要因素之一。如果声测管不平行，将导致声波传播路径的偏差和信号失真，从而影响检测结果的准确性。因此，在预埋声测管时，应严格控制其平行度，确保声测管与桩身轴线保持平行。（2）桩长限制。声波透射法在长桩检测方面存在一定的局限性。随着桩长的增加，声波在混凝土中的衰减逐渐加剧，导致信号强度减弱和检测精度下降。因此，在实际应用中，应根据桩长和检测要求综合考虑是否采用声波透射法进行检测。一般来说，对于过长的桩（如超过80米），可能需要考虑采用其他检测方法或结合多种方法进行综合评估。

## 3 声波透射法检测桥梁桩基础完整性的实施步骤

### 3.1 检测前的准备工作

（1）声测管的预埋与保护。声测管的预埋是声波透射法检测的关键步骤之一。在桩身混凝土浇筑前，需按照设计要求，在桩身内预埋若干根声测管。声测管应选用材质良好、内壁光滑、直径适中的钢管或塑料管，以确保声波信号的顺利传播。预埋时，声测管应保持垂直且平行于桩身轴线，同时用钢筋笼等结构进行固定，以防止在浇筑过程中发生偏移。此外，为防止声测管在浇筑过程中被混凝土堵塞，应在管口安装临时堵头，并在浇筑完成后及时清洗管内残留物<sup>[2]</sup>。（2）检测设备的选择与调试。检测设备的选择与调试对于确保检测结果的准确性至关重要。在选择检测设备时，应考虑其性能稳定性、精度以及适用性等因素。声波透射法检测设备通常包括超声波发射器、接收器、数据采集系统及换能器等组件。调试设备时，需确保各组件连接正常、工作稳定，并校准系统延迟时间，以消除设备自身因素对检测结果的影响。同时，还需根据检测需求，合理设置发射电压、发射频率及接收灵敏度等参数。

### 3.2 检测过程

（1）声波的发射与接收。检测过程中，首先需在声测管内灌满清水，以排除管内空气对声波传播的影响。然后，将发射换能器置于一根声测管内，接收换能器置于另一根声测管内对应位置。通过发射换能器发射超声波信号，信号将沿桩身混凝土介质传播至接收换能器。接收换能器接收到信号后，将其转换为电信号，并传输至数据采集系统进行记录和分析。在发射与接收声波的过程中，应严格控制发射电压、发射频率及接收灵敏度等参数，以确保声波信号的稳定性和可靠性。（2）数据采集与记录。数据采集与记录是声波透射法检测的重要环节。在检测过程中，需实时采集并记录声波信号的传播时间、波幅、频率及波形等声学参数。这些数据将作为后续数据分析与判定的基础。为确保数据的准确性和完整性，在采集数据时应注意以下几点：一是确保数据采集系统的正常工作；二是合理选择采集点的间距和数量，以确保数据的全面性和代表性；三是及时保存和备份数据，以防数据丢失或损坏<sup>[3]</sup>。

### 3.3 数据分析与判定

（1）声学参数的异常识别与缺陷判断。数据分析与判定的目的是根据采集的声学参数数据，识别出桩身混凝土中的异常区域，并判断其是否为缺陷。在异常识别过程中，应重点关注声波信号的传播时间、波幅及波形等参数的变化情况。若某区域声波信号的传播时间明显延长、波幅显著衰减或波形发生畸变，则可能表明该区域存在缺陷。缺陷的类型可能包括空洞、裂缝、夹杂物

等。在判断缺陷时,需结合多个声学参数的变化情况综合分析,以提高判断的准确性<sup>[4]</sup>。(2) 基桩完整性类别的判定方法。基桩完整性类别的判定通常依据相关行业标准或规范进行。常见的判定方法包括波速-深度曲线分析法、波幅-深度曲线分析法、频率-深度曲线分析法及波形对比法等。波速-深度曲线分析法通过绘制声波在桩身中传播速度随深度的变化曲线,可以直观地判断桩身的完整性和缺陷位置。波幅-深度曲线分析法则通过分析声波波幅随深度的变化,辅助识别缺陷。频率-深度曲线分析法通过对比不同频率声波的传播特性,进一步了解桩身内部结构。

#### 4 声波透射法检测桥梁桩基础的完整性局限性及改进措施

##### 4.1 局限性分析

(1) 对水平裂缝或局部颈缩缺陷敏感性低。声波透射法主要基于声波在混凝土介质中的传播特性来判断桩身是否存在缺陷。然而,对于水平裂缝或局部颈缩等缺陷,声波的传播路径并未受到显著影响,因此其检测敏感性相对较低。这类缺陷往往会导致桩身承载力的下降,但声波透射法可能无法准确识别,从而给工程质量带来潜在风险。

(2) 干扰因素对检测结果的影响。在实际检测过程中,声波透射法可能会受到多种干扰因素的影响,如声测管的平行度、通畅性,混凝土内部的钢筋笼结构,以及外部环境的噪声等。这些因素都可能导致声波信号的衰减、畸变或失真,从而影响检测结果的准确性。例如,声测管如果不平行,会导致声波传播路径的偏差,进而影响声速和波幅的测量;声测管堵塞或变形则可能直接阻断声波的传播路径,使得检测无法进行。

##### 4.2 改进措施探讨

(1) 引入其他检测方法进行联合检测。针对声波透射法对某些缺陷敏感性低的局限性,可以考虑引入其他检测方法进行联合检测。例如,低应变反射波法、高应变动力试桩法等,这些方法对于不同类型的缺陷具有不同的敏感性。通过联合检测,可以综合利用各种方法的优势,提高检测的全面性和准确性。例如,对于水平裂缝或局部颈缩等缺陷,低应变反射波法可能更为敏感,因此可以将声波透射法与低应变反射波法相结合,以实

现对这类缺陷的准确识别。(2) 提高声测管的平行度与通畅性。声测管的平行度和通畅性是声波透射法检测准确性的重要保障。为了提高声测管的平行度,可以在预埋声测管时严格控制其安装位置和方向,并使用专门的工具进行校准。同时,在浇筑混凝土过程中,应加强对声测管的保护,防止其受到碰撞或挤压而发生变形。为了提高声测管的通畅性,可以在预埋前对声测管进行清洗和检查,确保其内部无杂物和堵塞。在浇筑混凝土后,还应及时清洗声测管内的残留物,以防止其堵塞。

(3) 优化数据分析方法。数据分析是声波透射法检测的关键环节之一。为了进一步提高检测的准确性,可以对数据分析方法进行优化。例如,可以采用更先进的信号处理算法来提高声波信号的分辨率和准确性;可以引入机器学习等人工智能技术来自动识别和分类声学参数异常点;还可以结合地质勘察和施工记录等信息进行综合分析,以更准确地判断缺陷的性质和位置。此外,对于异常点的判定标准也应进行细化和量化,以减少人为判断的主观性和不确定性。

#### 结束语

综上所述,声波透射法在桥梁桩基础完整性检测中展现出独特的优势和应用价值。通过精确测量和分析声波信号的变化,该方法能够有效地揭示桩身内部结构的真实状态,为工程质量控制和安全评估提供可靠依据。然而,面对复杂多变的工程实际情况,我们仍需不断探索和完善声波透射法的检测技术和数据分析方法。未来,随着技术的不断进步和创新,声波透射法将在桥梁桩基础完整性检测领域发挥更加重要的作用,为桥梁工程的安全性和耐久性保驾护航。

#### 参考文献

- [1] 庄哲. 桩基检测中声波透射法检测技术[J]. 江西建材, 2021, (09): 73-74.
- [2] 韩春雨. 桥梁桩基检测中声波透射法检测的应用[J]. 低碳世界, 2020, (17): 166-167.
- [3] 李嘉琳. 声波透射法在桥梁桩基完整性检测中的适用性分析[J]. 广东水利水电, 2020, (03): 31-32.
- [4] 陶书洲, 敖杰, 张吉森. 超声波透射法在桥梁桩基完整性检测中的应用[J]. 建筑理论, 2024, (08): 80-81.