

声波透射法在民用建筑基桩检测中的应用及判读技巧

付 斌

重庆渝兴智检检测技术有限公司 重庆 401342

摘 要：基桩质量直接影响民用建筑结构安全，声波透射法作为一种成熟的无损检测技术，能够有效判定桩身完整性。本文阐述了声波透射法的基本原理与现场检测要点，重点介绍了声速、波幅、频率、波形等关键声学参数的判读分析方法，结合概率法临界值判定与多参数综合判定规则，对四类桩进行分类评定。通过典型工程案例分析，总结了常见缺陷的波形特征与误判规避技巧。研究表明，掌握系统的判读方法并注重多剖面数据相互印证，可显著提高检测结果的准确性与可靠性。

关键词：声波透射法；基桩检测；完整性判定；声学参数；民用建筑

引言：民用建筑中钻孔灌注桩应用广泛，其成桩质量受地质条件、施工工艺等多因素影响，易出现断桩、缩径、离析、夹泥等缺陷，及时准确的检测至关重要。低应变法虽操作便捷但对大直径桩、长桩存在局限性，钻芯法直观但破坏性强、成本高。声波透射法通过预埋声测管进行跨孔检测，可全面扫描桩身混凝土质量，具有检测范围大、分辨率高、波形特征直观等优势。本文从工程应用角度，系统介绍声波透射法的检测流程、判读方法及实用技巧，为检测人员提供技术参考。

1 声波透射法基本原理

1.1 检测原理

声波透射法是基于超声波在混凝土中传播特性的无损检测方法。将发射与接收换能器分别置于桩身预埋声测管内，通过水耦合，发射换能器发射超声脉冲，接收换能器接收穿透混凝土后的声波信号。混凝土均匀密实时，声波传播速度快、能量衰减小、波形良好；存在蜂窝、离析、断桩等缺陷时，混凝土密度降低、弹性模量下降，声波速度减慢、能量衰减加剧、波形畸变。通过分析声速、波幅、频率及波形随深度的变化规律，可判定桩身完整性类别及缺陷位置、范围与程度。

1.2 关键声学参数

声波透射法主要采集四个关键声学参数。声速反映混凝土密实度与弹性模量，完整混凝土声速一般为3500至4500m/s，缺陷部位显著降低。波幅即首波幅值，反映声波能量衰减，密实混凝土波幅高且稳定，缺陷时大幅下降。频率指主频，完整混凝土接收波主频较高；缺陷时高频优先衰减，主频降低。波形是时域形态，正常波形规则光滑；缺陷波形杂乱，出现“马蹄形”或“纺锤形”畸变。声速与波幅最为敏感，是完整性判定的主要依据，频率与波形作为辅助判读参数^[1]。

1.3 检测系统组成

检测系统主要由声波检测仪、换能器、声测管及辅助设备组成。声波检测仪负责产生脉冲、采集信号并处理数据，应具备不低于10MHz采样率。换能器实现电声转换，工作频率通常选用30至50kHz。声测管是检测通道，多采用内径40至60mm的钢管或塑料管，预埋在钢筋笼上，管内注水作为耦合介质。声测管数量根据桩径确定：桩径小于0.8m时埋设2根，0.8至1.6m时埋设3根，大于1.6m时埋设4根。

2 现场检测技术要点

2.1 检测前准备工作

检测前应完成以下准备工作。检查声测管的埋设质量，确保管内畅通无异物、管底密封不漏浆、管顶高出桩头30cm以上；对不通畅的声测管应进行疏通处理，无法疏通时需调整检测方案。准备充足且清洁的清水作为耦合介质，检测前向声测管内注满水，排除气泡，确保换能器与管壁之间良好耦合。检查仪器设备状态，开启声波检测仪预热稳定，进行系统自检与校准；检查换能器外观有无破损，连接电缆是否完好。收集工程资料，包括桩位图、桩径、桩长、混凝土设计强度等级、声测管布置图等，根据桩径确定检测剖面数，编制检测方案。确认混凝土龄期满足要求，一般应在成桩14天后进行检测，此时混凝土波速已趋于稳定。

2.2 现场操作要点

现场检测应按照规范流程进行操作。将发射和接收换能器分别放入两根对应的声测管中，调整至同一深度，连接电缆至检测仪。设置检测参数：采样频率取1MHz至5MHz，增益调整使首波幅值达到满屏的1/3至2/3，滤波设置为带通模式以抑制环境噪声。以等间距提升方式进行检测，测点间距一般取10cm至25cm，大直径

桩或重要部位应采用较小间距。提升速度应均匀缓慢,每到一个测点停顿稳定后再采集数据,避免提升过快导致数据错位。同一剖面应从管底向上逐点检测,每个测点采集2至3次波形,确保数据稳定可靠。发现可疑测点时,应进行复测确认,并在该位置加密测点(间距5cm至10cm),同时检查相邻剖面是否存在同步异常,以准确判定缺陷范围。检测过程中记录环境温度,因温度变化会引起声速波动^[2]。

2.3 检测环境与条件要求

声波透射法检测对现场环境有一定要求。混凝土龄期是首要条件,应在混凝土硬化且强度基本稳定后进行,一般要求龄期不少于14天,特殊情况下可适当提前但不宜小于7天。桩头处理要求桩顶浮浆已清理干净,露出新鲜混凝土面,声测管高出桩头不小于30cm便于操作。检测宜在环境温度5℃至35℃之间进行,低温条件下声速会降低,需进行温度修正;高温条件下需注意仪器散热与换能器工作稳定性。检测时应避免强电磁场干扰,如焊接作业、大型电机运转等可能影响信号质量。声测管内耦合水应保持清洁,浑浊或含气泡的水体会影响声波传输,导致波幅异常下降。对于存在缺陷的桩,宜结合低应变法或钻芯法进行验证检测,提高判定准确性。

3 检测数据处理与判读分析

3.1 数据处理与参数计算

原始检测数据需经过处理才能用于完整性判定。声时修正是首要步骤,零声时包括仪器系统延迟、换能器电声转换时间及电缆传输时间,应在检测前通过直射法测定;水层声时修正根据声测管内径和水的声速(约1480m/s)计算。经声时修正后,各测点的声速按测点间距与声时的比值计算。波幅取首波峰峰值,单位为dB,通常以第一个测点或正常段的平均波幅为基准进行归一化处理。频率通过对首波进行频谱分析得到主频值。对于异常测点,应检查原始波形是否正常,排除因耦合不良、换能器倾斜等因素导致的假异常。数据整理完成后,绘制声速-深度曲线、波幅-深度曲线、频率-深度曲线及PSD(声时-深度斜率)曲线,直观反映参数随深度的变化趋势。

3.2 概率法临界值判据

《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2014)推荐采用概率法确定声速和波幅的临界值。声速临界值的计算方法为:对同一剖面各测点的声速进行统计分析,剔除离散值后计算平均值 V_m 和标准差 σ_v ,临界值 $V_c = V_m - 2\sigma_v$ 。当测点声速低于 V_c 时,判定为该点声速异常。波幅临界值计算方法为:以同一剖面各测点波幅的平均值 A_m 为基准,临界值 $A_c = A_m - 6\text{dB}$ 。当测点波幅低于 A_c 时,

判定为波幅异常。PSD判据基于声时随深度的变化率,当相邻测点声时变化率超过一定阈值时,提示该处存在明显缺陷。上述判据各有侧重:声速反映混凝土弹性性质,波幅反映声能衰减,PSD对局部突变敏感,三者结合可提高判读的准确性。

3.3 多参数综合判读

单一参数异常可能导致误判,实际工作中应采用声速、波幅、频率、波形四参数综合判读的方法。声速与波幅同时异常是判断缺陷的最可靠依据,声速正常而波幅异常时,需排除声测管局部贴壁、耦合不良等非缺陷因素。频率降低往往伴随声速下降或波幅衰减,可作为缺陷判定的辅助证据。波形畸变是最直观的判读特征,正常波形应为规则的正弦波或类正弦波,包络光滑;缺陷波形表现为波形紊乱、尾部振动拉长、首波前沿变缓等典型形态^[3]。综合判读时,应遵循“一票否决”原则,即多个参数在相同深度出现同步异常,即可判定该处存在缺陷。同时,应对同一桩的不同剖面进行对比分析,缺陷在多剖面上均有反映时,判定更具可靠性。

3.4 典型缺陷波形特征

不同类型的缺陷在波形上有各自的特征表现。断桩是最严重的缺陷类型,表现为声速骤降至2500m/s以下,波幅衰减超过12dB,波形严重畸变甚至无法识别首波,声时延长显著,PSD曲线出现尖锐突跳。缩径缺陷表现为声速和波幅呈“U”形或“V”形下降,波形在一定深度区间内畸变,缩径段上下边界处参数渐变恢复。离析与蜂窝缺陷的共同特征是声速偏低但波幅下降更为明显,波形呈现高频成分衰减、低频成分占主导的特征,波形尾部明显拉长。夹泥缺陷表现为声速和波幅同步显著下降,波形杂乱无章,频率大幅降低,因泥砂对声波的吸收作用强于混凝土。气泡密集缺陷表现为波幅波动明显,局部小幅下降,声速基本正常,波形偶有轻微畸变,整体呈“锯齿”状起伏。

4 完整性类别判定规则

4.1 四类桩判定标准

根据《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2014),桩身完整性分为四类,判定标准如下表所示:

类别	完整性描述	声速特征	波幅特征	波形特征
I类	完整桩	各测点声速均 $\geq$ 临界值	各测点波幅均 $\geq$ 临界值	波形正常
II类	基本完整桩	个别测点声速 $<$ 临界值	个别测点波幅 $<$ 临界值	波形轻微畸变
III类	明显缺陷桩	连续多个测点声速 $<$ 临界值	连续多个测点波幅 $<$ 临界值	波形明显畸变
IV类	严重缺陷桩	声速严重偏低或无法测读	波幅严重偏低或无法测读	波形严重畸变

I类桩表明桩身混凝土均匀密实,无影响结构安全的缺陷;II类桩存在轻微缺陷但不影响竖向承载力,可正常使用;III类桩存在明显缺陷,需经设计单位复核确认是否可满足使用要求;IV类桩存在严重缺陷,不能满足设计要求,必须进行工程处理。实际判定时,应结合桩径、桩长、地质条件等因素综合评价,同时参考低应变法或钻芯法的验证结果。

4.2 缺陷范围与程度量化

确定缺陷类别后,还需对缺陷的范围和程度进行量化。缺陷纵向范围根据异常测点连续出现的深度区间确定,异常区段的上边界为第一个异常测点以上10cm,下边界为最后一个异常测点以下10cm。缺陷程度可参照声速和波幅的降低幅度进行分级:声速降低幅度小于10%且波幅降低小于6dB为轻度缺陷;声速降低幅度10%至20%且波幅降低6dB至12dB为中度缺陷;声速降低幅度大于20%或波幅降低大于12dB为重度缺陷。对于多剖面检测的桩,可利用各剖面异常测点的深度信息进行空间定位,判断缺陷是局部存在还是整个截面贯通。缺陷范围与程度的量化结果,应作为承载力复核和工程处理的重要依据。

5 误判分析与判读技巧

5.1 设备因素导致的误判

设备因素是导致假异常的常见原因。换能器偏心或倾斜使声波路径偏离轴线,导致声时延长、波幅下降,应采取居中器固定换能器位置。仪器增益设置不当使波幅失真,应以正常段波幅达满屏60%为基准。耦合不良是波幅异常的重要因素,声测管缺水或含气泡会使声波能量衰减,检测前应检查水位并排除气泡。换能器或电缆故障导致信号不稳,表现为波形无规律突变,应定期检

查设备状态。上述因素引发的异常通常为孤立点或多剖面不同步,通过复测和相邻剖面比对可有效识别^[4]。

5.2 桩身构造因素导致的误判

声测管构造问题也会造成判读困难。声测管弯曲或接头错位使换能器路径偏斜,产生假异常曲线,检测前应确认管道垂直度和畅通性。声测管紧贴钢筋笼主筋时,主筋遮挡可能造成局部波幅下降,该异常通常只出现在单一剖面,可通过对比相邻剖面判断。桩头浮浆段因强度低、波速慢,各参数偏低属正常现象,应注明为非检测区。声测管底部密封不严导致水泥浆渗入,会使管底段无法检测,应保证底端密封良好。

结束语

声波透射法在民用建筑桩基检测中具有不可替代的技术优势,能够全面、直观地反映桩身混凝土质量。本文系统介绍了从基本原理、现场检测到数据处理和完整性判定的完整流程,重点阐述了声速、波幅、频率、波形四参数的判读方法及概率法临界值计算规则。随着检测设备智能化水平的提升,自动判读算法的应用将为数据分析和缺陷识别提供更高效的技术手段,推动桩基检测技术向更精准、更便捷的方向发展。

参考文献

- [1]江金海.声波透射法及钻芯法在建筑桩基检测中的应用研究[J].城市建筑,2025,22(4):204-206.
- [2]李相学,刘可.声波透射法在建筑工程桩基检测中的应用分析[J].建材世界,2025,46(2):106-109.
- [3]陈宇锋.建筑桩基检测中超声波透射检测技术运用分析[J].建材与装饰,2025,21(33):31-33.
- [4]王苏.建筑桩基中超声波透射检测技术的应用[J].中国建筑金属结构,2023,22(11):56-58.