

# 超声波透射法在桩基完整性检测常见缺陷判别及处置分析

石强美

重庆北纬建设工程质量检测有限公司 重庆 400000

**【摘要】：**超声波透射法是桩基完整性检测核心技术，广泛用于各类建筑、桥梁桩基工程质量验收。针对现场检测假性异常与桩身原生缺陷的误判问题，文章梳理该技术完整应用体系，拆解检测前期筹备、现场规范作业、声学参数甄别等关键流程。声测管水环境、设备操作、管材形变等外因催生的异常数据特征得以区分，桩底沉渣、层间夹层、混凝土拌合不均等原生施工缺陷的波形识别要点形成对比。工程实例明确各类异常处理手段，搭建多方式协同核验体系，确立分级缺陷处理流程与前期防控办法。该研究可为桩基超声检测判别、缺陷处置及施工质量管控提供坚实技术支撑。

**【关键词】：**超声波透射法；桩基检测；桩身缺陷；声学参数；质量防控

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.008

## 引言

桩基承担建筑工程竖向承重核心作用，施工质量直接影响上部结构安全与稳定性能，桩基完整性检测是工程质量管控的重要环节。超声波透射法依托简便操作、全域检测、可靠数据的特点，适配桩基无损检测工作且应用广泛。现场检测会受设备运行状态、作业标准、声测管工况及施工质量等多重条件干扰，出现参数异动、波形畸变等现象，造成缺陷类型难以区分，产生判别偏差。规范现场检测流程、提升缺陷判别水平，需要整合现场实操积累与工程案例资源，搭建完善的超声桩基检测技术体系，界定各类异常特征、判别标准及处理方案，服务于工程质量管控工作。

## 1 超声波透射法桩基检测基础技术体系

### 1.1 检测前期准备工作要点

检测开展前需归集桩基施工与设计全套资料，涵盖桩体尺寸、配筋、地质分层、混凝土设计强度、浇筑记录及施工异常台账，为后续异常波形溯源对比提供基础。整套超声检测仪器需提前完成系统校验，更换换能器、传输电缆后，可通过时-距标定法实测系统延迟时间 $t_0$ ，消除仪器固有声时误差对数据判定的干扰。现场采用钢卷尺实测各声测管外壁净距完成剖面测距，将测量误差控制在1%以内。工作人员利用同直径圆钢探杆逐管排查，钢筋可疏导管道内焊渣、漏浆造成的堵塞问题，保证换能器沿管身全程顺畅升降<sup>[1]</sup>。检测作业需符合混凝土养护龄期要求，受检桩混凝土强度达到设计强度70%且不低于15MPa时方可检测，水下灌注桩完工十至十五天可进场作业。未达标桩体禁止扫测，规避低强度混凝土内部孔隙诱发的波速、波幅异常，保障缺陷判定的真实性。

### 1.2 现场标准检测操作方法

现场检测采用普查后精测的作业流程，平测法沿全桩各剖

面等间距升降收发换能器完成全域扫描，定位声学参数偏离区间的可疑测点。平测检出的异常区段可切换斜测模式，收发换能器保持30°至40°固定高差同步升降，依托斜测剖面确定异常区域纵向延伸范围。桩顶、桩底空间不足无法大范围斜测时，扇形扫测可补足检测范围。该模式下各测点测距存在偏差，仅可参考波幅变化规律，声速需完成测距换算后再横向对比。全部剖面扫测完毕后封闭声测管口，留存复测条件。检测数据存在争议可二次进场检测，数据确认无误后用水泥砂浆封堵管腔，避免管内泥沙淤积影响后续复核工作。

### 1.3 声学参数判定核心指标

桩身完整性判定依托声时、波幅、换算声速、PSD值四项声学指标综合研判，单一参数异动无法直接判定桩体存在缺陷。完好密实混凝土剖面首波起跳干净，声时走势平稳，波幅浮动差值控制在30%以内，声速满足规范临界标准，PSD曲线走势均匀且无明显波动。桩身密实度缺损会改变超声波传播路径，声波发生反射、散射与能量损耗，声时延长、波幅衰减，局部声速低于规范限值，PSD曲线呈现连续峰值波动<sup>[2]</sup>。参数特征可区分设备干扰与实体缺陷，单剖面零星测点小幅波动多由混凝土细微气孔导致，属于II类轻微异常。多剖面同深度测点同步出现多项参数异动，伴随波形变形、首波模糊等现象，可判定为III、IV类结构性缺陷。参数临界区间参考同批次同标号完好桩实测波速划定，减少固定阈值带来的判别误差。

## 2 现场检测仪器与声测管类异常数据判别及处置

### 2.1 声测管水环境相关异常判别处理

声测管耦合水介质异常主要分为缺水、底部积污、管内悬浮杂质三类工况。管内缺水形成的空气层会阻隔超声波传导，引发首波明显延后，常规工况100 $\mu$ s的首波可延迟至150 $\mu$ s以上，缺水管道各剖面均会出现波形拉直特征。现场可向管内

补水复测,波形恢复常态即可排除桩身缺陷。管底水体静置沉淀产生的淤泥层,仅造成桩底波形间断衰减,各剖面异常高度无统一规律,与实体夹层、沉渣的规整分层形态区分明显,可采用高压水管深入管底冲洗置换污水。含悬浮杂质水体未静置即检测,固体颗粒会散射吸收超声波能量,造成波幅下降10%至30%、数据离散度大、波形杂乱。水体静置两至三小时后复测,波幅可恢复正常。某市政桥梁桩基检测中,三管注水后即时检测波幅整体偏低,静置复测后参数回归标准区间,规避了桩身大面积离析的误判情况。

## 2.2 换能器操作错位类异常判别处理

收发换能器标高不统一会造成固定剖面波幅出现差异,三根声测管构成三组检测剖面时,统一增益参数条件下会出现两组剖面波幅持续偏低、单组剖面幅值正常的现象。桩顶区域会加剧错位影响,部分剖面桩顶无法接收有效波形,其余剖面信号依旧完整。错位问题源于换能器下放深度偏差和声测管局部堵塞两种情况。现场可抬升深度偏浅的换能器,调整至统一标高后同步升降复测即可消除波形异常<sup>[3]</sup>。管壁堵塞限制换能器下落时,可使用钢筋疏通堵塞管段。双换能器初始标高核验为检测前置必要工序。某公路桩基项目曾因省略核验流程,换能器高差超出80cm,致使桩体纵向贯通缺陷的错误判定,标高校准复测后各项数据恢复正常。

## 2.3 声测管变形、堵塞、剥离类异常判别处理

声测管预埋倾斜会让单剖面实测声速阶段性低于规范临界值,原始波形保持完整且波幅分布均匀,相邻多组剖面会在对应位置出现声速回落,不会产生局部波形形变。轻微倾斜工况可通过加密测点斜测甄别桩身真实质量状态,管身倾斜幅度较大造成检测覆盖范围缩减时,可在桩侧增设钻孔搭建全新检测通道完成复测作业。声测管浇筑堵塞阻碍换能器下放时,钻孔补测波形会呈现首波波幅偏弱、波形畸变的特征,孔壁附着浆体颗粒会让声波反复反射产生能量损耗,同等增益条件下难以捕捉清晰的首波起跳点位,桩身质量状态可依托其余完好剖面完成综合判定。PVC材质声测管易出现管壁与混凝土剥离问题,管材光滑的表层特质、与混凝土偏差较大的热膨胀系数,会让管壁外侧形成连续空气夹层,造成超声波能量快速衰减,出现全剖面信号偏弱甚至无首波的现象。灌水调节、换能器调试均无法修复该类异常,需重新钻孔布设通道完成桩身检测。某房建项目桩基批量使用PVC声测管,半数桩体检测无有效波形,钻孔复测证实异常源自管壁剥离,桩身混凝土整体结构密实无质量缺陷。

# 3 桩身实体施工原生缺陷波形特征与判别方法

## 3.1 桩底沉渣缺陷波形识别与判定

排除水质、换能器错位等设备干扰条件后,桩底固定深度区间出现波形衰减、声速持续走低、PSD曲线陡升,桩身其余剖面声学参数保持稳定,可判定桩底沉渣厚度超出规范标准。端承桩对沉渣厚度有着严格管控要求,成孔初次清孔、钢筋笼下放后二次清孔的工序间隔过长,混凝土浇筑导管底端距桩底高度超标,都会造成泥浆与混凝土混杂堆积并形成厚层沉渣<sup>[4]</sup>。沉渣分布区段难以观测到清晰连贯的首波信号,钻芯取样可发现桩底存在淤泥与碎石混杂的松散堆积结构。某高速桥梁梁端承桩桩底30cm区间全剖面参数异常,钻芯实测沉渣厚度120mm,超出50mm的规范管控限值。沉渣问题仅局限于桩底固定区域,不会向上延伸产生多层间断异常,能够与桩身夹层缺陷有效区分。

## 3.2 层间结合薄弱夹层缺陷波形识别与判定

混凝土浇筑中断、振捣不到位会形成桩身层间薄弱夹层,缺陷存在规律性分层异常特征。人工挖孔干灌桩单次浇筑方量恒定,桩身夹层大致间隔2m均匀分布,对应深度波形波幅同步回落,声速较正常区域降低500至600m/s以上。水下灌注长时间停工待命,前期浇筑混凝土初凝后继续施工会产生贯通夹层,多剖面同一深度出现整体波形畸变,PSD数值产生持续性大幅波动。夹层贯通所有检测剖面,区别于水质、管材问题引发的局部单剖面异常。某市政道路桩基因运输拥堵停工超4小时,12m深度位置检测出现全剖面参数异常,钻芯探明厚层泥浆夹层,该桩最终判定为IV类缺陷桩(见图1)。

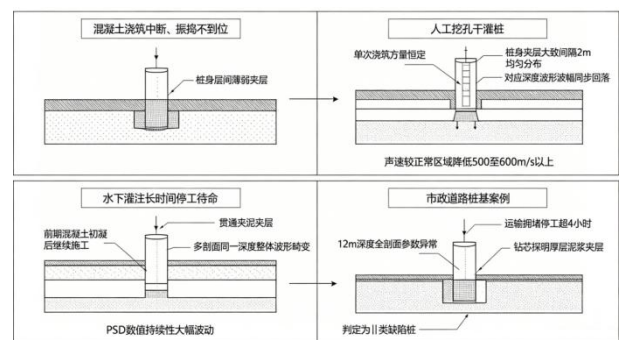


图1 层间结合薄弱夹层缺陷波形识别与判定

## 3.3 混凝土离析、骨料分离缺陷波形识别与判定

人工挖孔干灌施工混凝土自由下落高度超3m且未布设串筒导流,粗细骨料会出现分层剥离,桩体局部形成空洞与蜂窝气泡聚集区域。对应检测区段波形波幅大幅衰减,首波信号断续缺失,钻芯试样存在骨料堆积、砂浆缺失、结构松散破碎等

现象,破碎区段长度可达1.5m以上。检测剖面呈现连片声学参数异常,不存在分层周期性变化规律,缺陷区域整体声速明显低于混凝土规范临界值,和规整分层的夹层波形特征存在明显差异。某厂区桩基浇筑未搭设串筒设施,混凝土自桩顶直接坠落成型,超声检测6.2至9.3m区间波形持续畸变,钻芯取样呈现碎石松散形态,不存在完整连续混凝土结构,该桩判定为严重离析IV类桩。

## 4 桩基缺陷综合验证与工程处置防控措施

### 4.1 多手段联合验证缺陷的检测方案

采用超声透射法检测判定出的III、IV类缺陷桩,严禁直接出具最终判定结论,必须依托多种桩基检测技术开展结果交叉核验佐证。针对桩身浅层且边界清晰、范围明确的缺陷,可选用低应变法完成全桩整体扫描,精准界定缺陷的纵向延伸深度与分布范围。对于桩身深部位置以及大范围连续声学异常区域,可采用钻芯法截取实体混凝土芯样,准确查明桩身夹层、桩底沉渣、混凝土离析病害的实际厚度与空间分布情况。端承桩检测承载力结果存在疑虑时,可配合高应变法检测桩体竖向实际承载能力;针对多剖面同步出现严重参数异常、存在断桩安全隐患的桩体,可通过静载试验进一步复核桩基实际承载性能。单一孔位钻芯取样存在检测盲区,无法全面反映桩身状态,大直径桩基取芯孔布设数量不得少于三处。某跨线桥桩基超声检测初步判定桩身中部存在贯通性夹层病害,初次单孔钻芯仅检出薄层泥质夹层,无法判定整体缺陷状态,增设两处取芯点位后方证实夹层完全贯通桩身截面,有效规避了单点取样造成的检测误判。对于声测管安装偏差、管内水环境扰动引发的检测假性异常,复测声学参数恢复正常后,即可判定无桩身结构性缺陷,无需开展额外验证检测工作。

### 4.2 不同等级缺陷针对性处置工艺

I类完整桩无声学参数异常,无需处置,可直接进入验收流程。II类桩仅单剖面零星测点存在小幅参数波动,无连续缺陷区段,经设计单位承载力复核后即可验收,仅归档缺陷检测

台账。III类桩存在局部夹层、轻度离析、沉渣微超标等缺陷,承载力略有折减<sup>[9]</sup>。可于桩顶钻孔至缺陷下层1m,灌注水灰比0.45至0.5的水泥浆,在1.5至2MPa压力下稳压注浆补强,养护七天后复测超声参数,达标方可验收。IV类桩存在贯通夹层、大面积骨料分离、厚层沉渣、断桩等严重缺陷,承载力损耗超50%。浅部缺陷开挖破除后重新浇筑混凝土,深部贯通缺陷采用高压旋喷注浆加内嵌钢筋笼加固。缺陷规模过大、加固后承载力不达标的桩体予以废桩重浇。端承桩沉渣超100mm且注浆补强效果不佳时,优先采用补桩方案。

### 4.3 施工阶段缺陷前置预防管控措施

桩底沉渣防控严格执行双次清孔工艺,成孔后初次清孔降低沉渣基数,钢筋笼及导管安装完成后实施二次反循环清孔,端承桩沉渣厚度 $\leq 50\text{mm}$ ,摩擦桩 $\leq 100\text{mm}$ 。清孔至浇筑间隔控制在30分钟内,超时需重新清孔。按地层管控泥浆指标,黏土层比重1.10~1.20,砂层1.20~1.30,含砂率低于2%。夹层缺陷防控需优化混凝土供应,配备备用设备,避免浇筑中断。施工导管理深维持2~6m,振捣插入下层混凝土不小于50cm,保证水下灌注连续作业。混凝土下落高度超2~3m需设置串筒导流,坍落度管控180~220mm,进场逐车检测,不合格材料禁止使用。声测管优先选用金属钢管,PVC管外侧缠绕水泥浆增强粘结,安装垂直度偏差 $\leq 1\%$ ,接头密封焊接防堵塞。浇筑全程专人监护,防止导管冲击造成管体变形倾斜,从源头规避检测假性异常与桩体实体缺陷。

## 5 结语

本文系统阐述超声波透射法桩基检测完整技术体系,区分设备、管材、操作导致的假性异常与桩身原生结构缺陷,明确各类缺陷的波形特征、判定要点及现场处置方式。通过多手段交叉核验、分级缺陷处置及前置施工防控,可有效规避检测误判,提升缺陷处置的规范性与科学性。桩基质量管控需兼顾检测标准化与施工源头防控,依托现场数据优化判定参数,可进一步提升该检测方法在复杂桩基工程中的精度与应用价值。

## 参考文献:

- [1] 张春生.超声波透射法在桥梁混凝土桩基检测中的应用[J].交通世界,2025,(31):143-145.
- [2] 杨碧兰.超声波透射检测技术在桩基检测中的应用[J].工程技术研究,2025,10(8):51-53.
- [3] 王天虎.超声波透射法检测桩基完整性异常数据的分析处理[J].广东建材,2025,41(3):67-71.
- [4] 张长稳,熊光策.超声波透射法在大桥混凝土桩基检测中的运用[J].建设科技,2024,(S1):224-227.
- [5] 周佳豪,张建平.软土桩基超声波透射无损检测技术应用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(34):147-149.