

基桩声波透射法与孔内成像法联合检测基桩水平横向裂缝缺陷的实例分析

何超明

广东建粤工程检测有限公司, 广东 广州 510520

摘要: 本文以某市政桥梁钻孔灌注桩(桩径 1.2m, 桩长 36m)为研究对象, 针对桩基隐蔽性水平缺陷检测难题, 系统对比了声波透射法(Crosshole Sonic Logging)与孔内成像法(testing method with video monitor through guide-hole)的检测优势面及工程适用性。对于进一步确定缺陷位置及类型, 建议采用“声波透射法全桩筛查+孔内摄像法重点验证”模式, 可以给出一套高精度完整性评价结果。

关键词: 声波透射法; 孔内成像法; 钻孔灌注桩; 缺陷量化; 联合检测

DOI:10.63887/jeti.2025.1.4.1

1. 引言

1.1 研究背景与意义

随着建设工程向大直径(>2m)、超长(>80m)桩基发展, 传统低应变法(LST)受限于“一维杆件”假设与激振能量衰减, 难以有效检测深部缺陷; 静载试验(SLT)成本高昂且无法定位缺陷位置。声波透射法与孔内成像法作为无损/微损检测技术的代表, 在深基桩检测中展现出独特优势, 两种检测方法和分析手段互相补充, 有效地提高桩身完整性分析的准确性[1-2]。

1.2 本文研究内容

1.2.1. 分析声波透射法与孔内摄像法的缺陷检测量化模型;

1.2.2. 基于某市政桥梁实例, 对比两种方法在水平横向缺陷(裂缝)中的响应特征;

1.2.3. 提出联合检测的重要性的准确性。

2. 检测理论与量化模型

2.1 声波透射法(声波透射法)

2.1.1 声波传播物理模型

假设桩身为各向同性弹性介质, 声波沿声测管轴向传播满足波动方程:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v_p^2 \nabla^2 u - \beta \frac{\partial u}{\partial t}$$

式中: v_p 为混凝土纵波速度, β 为衰减系数。

2.1.2 缺陷判据与量化参数

变异系数:

$$C_v = \frac{s}{v_m}$$

s : 数据标准差, v_m : 数据平均值

经过双边踢出数据后(详细参考检测规范), 剖面各个测点的声速异常判断概率统计值 v_0 :

$$v_0 = \begin{cases} v_m(1 - 0.015 \lambda) & \text{当 } C_v < 0.015 \text{ 时} \\ v_0 & \text{当 } 0.015 < C_v < 0.045 \text{ 时} \\ v_m(1 - 0.045 \lambda) & \text{当 } C_v > 0.045 \text{ 时} \end{cases}$$

v_0 应对比桩身混凝土上的低限值 v_L 和平均值 v_p , $v_L < v_0 < v_p$ 时, 检测剖面的声速异常判断临界值 $v_c = v_0$ 。

声速异常时的临界值依据 $v_i < v_c$, 测点的声速可判定为异常, 并将其作为可疑缺陷区[3]。

波幅临界值 A_D :

$$A_D = A_m - 6$$

$$A_m = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n}$$

A_m : 波幅平均值 (dB)

A_i : 第 i 个测点波幅值 (dB)

2.2 孔内成像法(孔内摄像法)

2.2.1 图像采集与处理

采用 360° 全景摄像头（分辨率 1920×1080 万像素）配合 LED 环形光源^[4]，沿钻孔轴向连续采集图像；

图像处理：深度和角度修正、光照均衡、噪声滤波、拼接图像^[5]；

缺陷量化参数：

1) 将图像展开为二维平面图像；

2) 将检测对象的区域划分为 10×10 等间距网格，等间距量测缺陷对象水平尺寸 10 个读数、竖向 10 个读数。

3) 舍去水平和竖向各 4 个较小读数，取 6 个读数值的算术平均值。精确至 1mm。

3. 工程实例与情况分析

3.1 工程实例情况

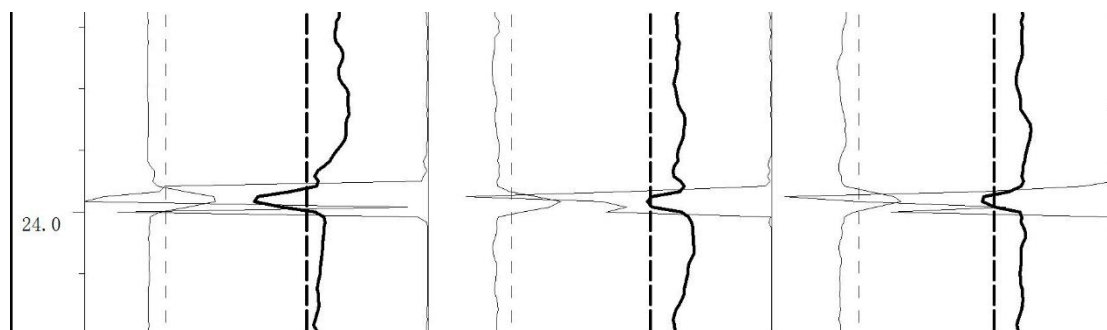


图 3.1 实测数据缺陷图（缺陷位置）

业主收到声测检测结果异常通知单后，随即要求对该桩钻芯验证，对缺陷位置、缺陷程度进一步进行确认和验证。钻芯芯样在该位置不存在蜂窝、沟槽、

某市政桥梁工程中，编号为 XX 的钻孔灌注桩基础采用直径 1.2m、设计桩长 36m 的 C30 混凝土结构。在常规质量检测阶段，按照 DBJ 15-60-2019 规范要求，采用声波透射法对桩身完整性进行平测法检测。初始检测数据显示，在深度 23.40m~23.80m 区间内存在波幅较弱情况，而声波波速仍保持在 4200-4400m/s 正常范围，初判为 II 类桩质量特征。

经调阅施工记录发现，该桩在混凝土灌注过程中曾发生异常工况。基于此重要施工信息，立即决定进行加密检测程序，采用斜测法进行复测验证。结果显示：在 24m±0.3m 高程范围内，各交叉斜测剖面均呈现波幅、波速值骤降、PSD（声时-深度曲线）突变等异常特征，形成明显的声学异常区。

经综合分析认为，但多剖面斜测数据的一致性异常表明存在明显桩身缺陷，综合判定该桩为 IV 类桩。

破碎和夹泥等常见缺陷。声测缺陷位置混凝土芯样接口基本吻合，未见其他缺陷。但现场钻芯孔孔内存在窜水现象，两孔之间的水基本是互通的。



图 3.3.1 孔芯样（缺陷位置）



图 3.4.2 孔芯样（缺陷位置）

依据《建筑地基基础检测规范》（DBJ 15-60-2019）要求，采用 1.5MPa 高压水对钻芯孔实施孔壁清洗，稳压冲洗时间持续 15 分钟，浊水置换至清水。随后采用

RS-TV02 型数字式钻孔电视成像系统进行检测：1) 三脚架安装精度误差<2mm；2) 以 0.2m/s 匀速下放摄像探头；3) 实时采集孔壁 360° 全景影像。

检测发现:1号孔 23.72m 处存在环向贯通裂缝(缝宽 2.0-2.2mm),2号孔 23.53m 处呈现相似裂缝特征(缝宽 1.8mm)。裂缝疑呈全断面分布,走向与桩轴



图 3.5 1 孔孔内摄像图片(缺陷位置)

综合声波透射法与孔内摄像法检测成果可明确判定:在桩体高程 23.53-23.72m 区间存在典型横向裂缝缺陷。具体表现为:

1) 声波透射剖面显示该区域波幅值骤降,PSD 声时突变;

2) 孔内摄像观测到全断面环向裂缝,1号孔 23.72m 缝宽 2.1mm,2号孔 23.53m 缝宽 1.8mm),裂缝延伸长度占孔周比例>99%。

4. 检测结果与对比分析

4.1 声波透射法检测结果

4.1.1 声速-波幅联合分析

AB 剖面:23.40~23.80m 处存在严重缺陷(波速、波幅均存在异常);

AC 剖面:23.60m 处存在严重缺陷(波速、波幅均存在异常);

BC 剖面:23.40m~23.60m 处存在严重缺陷(波速、波幅均存在异常)。

4.1.2 局限性

以正常的平测检测方式对窄裂缝检测灵敏度不足,需依赖波幅与频谱辅助判据;

4.2 钻芯检测结果

钻芯 1 孔和 2 孔全桩芯未揭漏明显缺陷情况,在 23.70m 左右。芯样存在接口基本吻合的断口。

4.3 孔内摄像法检测结果

4.3.1 结果

1号钻芯检测孔:23.72m 位置见缝宽 2.1mm 环形

线正交,初步判断为混凝土收缩应力或施工冷缝所致。值得注意的是,裂缝集中区与前期声波透射法异常区高程偏差<0.2m,形成空间对应关系。



图 3.5 2 孔孔内摄像图片(缺陷位置)

裂缝;

2号钻芯检测孔:23.53m 位置见缝宽 1.8mm 环形裂缝;

4.3.2 局限性

检测前需进行钻芯,当钻芯孔清洗情况差,难以揭漏缺陷。(图像模糊);

图像分辨率受限于摄像头焦距,对微小气孔(<0.5mm)识别困难。

5. 技术难点与优化策略

5.1 声波透射法技术改进

多方了解:结合现场施工过程资料和检测信号信息,分析各种微小变化;

多频激励:采用 10-50kHz 扫频信号,增强对不同

类型缺陷的敏感性;

5.2 孔内摄像法技术改进

多光谱成像:结合近红外与可见光波段,区分夹泥与碳化区域;

提高分辨:提高摄像头分辨率,能覆盖各种细小缺陷。

5.3 联合检测必要性

超声波透射法存在检测盲区,这种现象在大直径桩中尤其明显,声波存在绕射现象,对于个别局部缺陷,由于声波的绕射作用,使得缺陷处声参数无明显变化。实践证明,采用单一的检测方法进行桩身完整

性检测容易产生错判和漏判，对同一场地的基桩尽可能采用两种或多种方法进行比对检测，使多种检测方法和分析手段相互补充，才能确实有效地提高桩身完整性分析的准确性。

6. 结论与展望

结论:声波透射法在连续性缺陷检测中效率显著，但该方法还是存在一定的检测盲区；

孔内摄像法可精确量化缺陷几何参数，但受限于取样代表性与分辨率；

联合检测方案使综合误判率降至 3% 以下。

参考文献

- [1] 蒋开言, 颜少连, 古今用. 声波透射法在水利工程基桩检测中的应用分析[J]. 中国水运, 2025, (06): 88-90.
- [2] 张加刚, 王亚茹, 刘海波, 等. 声波透射法在建筑基桩桩身完整性检测中的应用[J]. 包钢科技, 2025, 51(01): 84-87.
- [3] 邓晓. 桩基检测中声波透射法的应用分析[J]. 技术与市场, 2024, 31(07): 108-110.
- [4] 陈颖. 声波透射法检测桩身完整性的应用分析[J]. 交通世界, 2024, (18): 165-167.
- [5] 唐龙龙. PHC 管桩低应变与孔内成像桩身完整性检测的对比分析[J]. 房地产世界, 2024, (09): 23-27.