

基于低应变反射波法的建筑工程桩基检测技术分析

石镜林, 郑广雷

中能建建筑集团有限公司(安徽津利能源科技发展有限公司), 安徽 合肥 231200

摘要: 目前, 低应变动力测桩法, 主要集中于低应变反射波法, 该方法能够精准、非破坏性检测建筑工程桩基的扩径、缩径、断桩、夹泥、离析、沉渣等问题, 同时能够与有核算桩长, 并对混凝土强度进行推算。文章就低应变反射波法在建筑工程桩基检测中应用开展探讨, 旨在一定程度指导我国建筑工程企业掌握这一先进的检测手段, 提升桩基检测水平, 为建筑工程整体质量以及后期安全性、稳定性提供坚实技术保障。

关键词: 低应变反射波; 数据采集; 准备工序; 数据处理与判定

Analysis of Pile Foundation Detection Technology in Construction Engineering Based on Low Strain Reflected Wave Method

Shi Jinglin, Zheng Guanglei

China Energy Construction Group Co., Ltd. (Anhui Jinli Energy Technology Development Co., Ltd.) Hefei, Anhui 231200

Abstract: At present, the low-strain dynamic pile testing method mainly focuses on the low-strain reflected wave method, which can accurately and non-destructively detect the problems of pile foundation enlargement, shrinkage, broken pile, mud inclusion, segregation, sediment and so on, and can also calculate the pile length and calculate the concrete strength. This paper discusses the application of low strain reflected wave method in pile foundation detection of construction projects, aiming at guiding Chinese construction enterprises to master this advanced detection method to some extent, improving the detection level of pile foundation, and providing solid technical guarantee for the overall quality of construction projects and the later safety and stability.

Keywords: low strain reflected wave; data acquisition; preparation process; data processing and judgment

掌握有效的建筑工程桩基检测技术, 其一能够有效避免隐蔽工程质量问题的存在, 让施工单位及时发现缺陷并予以加固, 提高工程的安全性及耐久性。其二, 经过桩基检测的工程质量, 可得到充分认证, 对业主而言则是减少后期维修成本及财产损失的重要保障^[1]。故而, 建筑工程项目施工阶段, 对工程桩基进行精准检测, 是提升桩基安全性、耐久性, 保障施工质量以及后期建筑物使用者生命财产安全的重要手段^[2]。

一、建筑工程桩基检测中低应变反射波法的应用优势

(一) 实现非破坏性检测

首先, 低应变反射波法可以实现非破坏性检测, 避免对桩基本身或者桩基附近的环境造成破坏^[3]。传统检测方式一下, 桩基检测需通过钻孔、打洞方式获取数据。而采用低应变反射波法, 可在不破坏桩身的情况下对桩基进行检测, 确保桩基的完整性, 同时也节约了维修与维护成本。

(二) 极高的检测精度

低应变反射波法检测精度可以达到毫米级别, 可以检测到极小缺陷和变化。通过对反射波的分析, 可以获取桩基结构物理特性从而, 更加精确地判断桩基质量与健康状况^[4]。

(三) 高效性与实用性

低应变反射波法, 具有高效性和实用性特点。相比传统检测

手段, 低应变反射波法, 可节约大量的时间与人力成本, 且这种检测方式的使用亦高度便捷, 在检测前只需要进行简单准备和设置, 随后依照规定的方法对桩基进行检测即可, 同时在检测过程中, 不会对工程进度、施工现场人员造成过多干扰^[5]。

(四) 极强的适应性

低应变反射波法, 能够检测多种不同类型的桩基结构, 即适用于不同类型材料和不同规格的桩基结构, 例如可应用于混凝土桩基、钢筋混凝土桩基、预制桩基等桩基结构检测^[6]。同时, 低应变反射波法, 高度适用于复杂地形条件内的桩基, 可桩基检测全面性与可靠性^[7]。

二、低应变反射波检测法基本原理

面向建筑工程进行桩基检测作业期间, 采用低应变反射波检

测的理论基础,是将桩基内部传播发射的应力波作为检测对象,在进行监测期间提出假设,即桩基是满足连续弹性的一维界面均匀质杆件,检测时,当对桩身施加瞬态的锤击振力,会在桩身内部实现应力波的激发,桩基与周围的土体在波阻抗层面有着十分显著的差异,故而多数应力波的能量会始终在桩基内部进行持续传播^[9]。此刻,如果波长 \gg 桩径,应力波长度 \gg 桩径,则可以视桩位一维杆件,同时可利用一维杆波动方程来计算桩基内部应力的传播。此外,在应力波垂直射入桩身,并在桩身内部传播的过程下,基于桩内的波阻抗差异界面,应力波传播期间会产生反射波、透射波,两种波形中,反射波将会沿着桩身开展反向传播,最终达到桩顶区域,但透射波则是会面向下方继续传播。因此,建筑工程桩基存在的缺陷、桩底都能够利用反射波来反映出其相应的相位、振幅。加上对地层材料以及施工单位提供的施工记录综合性分析,便能够精确判断桩基的性质,即是否存在缺陷问题^[9]。

三、建筑工程桩基检测中低应变反射波法的应用

(一) 准备工序

首先,进行建筑工程项目桩基测试前,进场阶段需获取第一手资料,即通过设计图纸、设计资料库,获取建筑工程具体成桩工艺、桩长参数、桩径参数、成桩日期以及施工阶段混凝土强度。同时,分析施工记录与建立日志,了解施工过程中测出现的异常情况,以确保检测阶段有的放矢。

其次,准备低应变反射波相关设备,主要集中于信号采集处理设备、激振设备、传感器设备。在对信号采集处理设备进行测试期间,应设置 >12 位的模数转换,设置 $10\mu\text{s}$ 至 $500\mu\text{s}$ 范围的信号采样间隔,并且需要确保放大器增益满足 $>60\text{db}$,通道采样点数量 ≥ 1024 。对于传感器的选型,推荐使用磁电加速度传感器或电压加速度传感器,上述两类传感器能够确保整个测试信号的频带被频响曲线所覆盖。同时,传感器性能数值方面,应当确保电压灵敏度高于 100mV/g ,速度传感器灵敏度应 $\geq 300\text{mV/cm}\cdot\text{s}^{-1}$, 30Hz ,加速度传感器安装的谐振频率需保证 $>10\text{kHz}$,速度传感器安装谐振频率表则应 $>1.5\text{kHz}$ 。

再次,进入现场后,使用设备敲击桩头,以充分掌握桩基施工质量是否满足设计要求,需确认桩头部位不可存在潮湿、夹泥现象亦或是疏松问题。明确桩头质量满足要求后,安排施工人员利用砂轮打磨三到四个光面,光面直径可设置为 8cm 至 10cm ,此光面主要作为激振点。随后,对于露出的钢筋,需要倒向两侧,且不可在检测阶段出现较大晃动情况。针对大直径桩基,检测阶段需提升检测位置数量,以获取真实且完整的桩身反射信号。

最后,混凝土强度、龄期二者关联密切,不同龄期下特别是早期,测试结果有着较大差异,故而需确认龄期后判断是否适合开展检测。

(二) 数据采集准备

1. 安装传感器并使用力锤/棒

传感器应采用石膏、黄油、橡皮等耦合剂进行安装,且要求

安装后与桩顶面保持垂直状态。在预先打磨的光面安装传感器后,应选择高强度尼龙、工程塑料、铜、铁等材质的力锤或力棒,选择橡皮材质锤垫^[10]。对于短桩以及可能存在浅部缺陷的桩基,应采用刚度较大锤,大刚度锤所产生的入射波脉冲窄、频率高且分辨率高,但能量衰减速度快,故而适用于深度较小的检测。针对可能存在深部缺陷的桩基或长桩,则应使用刚度较小锤,小刚度锤入射波脉冲宽、传播距离大、频率低,具有较大检测深度。

2. 信号选择

在选择合适的信号方法时,需要根据具体的工程要求、桩基类型、地质条件和设备条件来确定^[11]。同时需要结合经验和实际情况判断,综合考虑信号能量、频率范围、检测深度、信噪比等因素,以获取准确且可靠的反射波信号。

(三) 测试方法

步骤1:除去浮浆,平整桩头。该步骤涉及物理作业,在处理桩基时需要确保桩顶表面干净、平整,以防止粗糙而不规则的表面对信号产生干扰。浮浆的清理需要完全,且需注意避免过度粗糙处理,如使用锤头等物理工具破坏原有的桩基结构。具体处理期间,桩顶平整精度标准要求控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内,以保证传感器能与其形成良好的接触。

步骤2:检查仪器性能。检测前,需确保仪器适用性和精确性。主要涉及设备自检、系统标定、性能评估等操作。例如,技术人员需测试仪器的电量足够、接口连接完整、数据存储充足等。各项性能指标未达标的,如采样频率应在 10kHz 以上,等待时间应在 100ms 以上,不可正常工作的设备要及时更换^[12]。

步骤3:选择激振方式与接收条件。技术人员需根据桩基的类型、结构、尺寸和地质条件选择适当的激振方式。通常,应采用轻剧烈激振方式减小激振力以降低环境噪声。同时,接收顺序及传感器布置方式也应详细制订,以优化数据采集。

步骤4:设置激振点。激振点需选择在桩顶合适位置,应考虑兼顾桩基特性与接收传感器的最优布置。例如,对于直径 $\leq 0.8\text{m}$ 的混凝土桩,激振点应设置在桩顶中心的 $1/4$ 偏移点。

步骤5:激振操作。开始激振之前,仪器需调整到合适模式并开启采集功能。例如,激振力度调整到 $20\text{--}40\text{N}$,对于混凝土桩,激振持续时间控制在 $0.1\text{ms}\text{--}0.2\text{ms}$ 之间,具体应根据实际工程需求进行微调,安排专人对此步骤进行监控,并且在必要情况下反复激振^[13]。

(四) 监测数据处理与判定

对于检测数据的处理与判断,首先,根据波形图内入射波、反射波的波形、相位、振幅值、频率值等参数推断桩基完整性。

第一,计算方面,设桩身混凝土波速为 V_p ,桩身缺陷深度为 L' ,随后按式1、式2进行计算:

$$V_p = \frac{2L}{t} \quad (1)$$

$$L' = \frac{1}{2V_{pm}t'} \quad (2)$$

式1、式2中,桩身全长(cm)、桩底反射波到达时间利用L

与 t 表示, t' 则代表缺陷部位反射波到达时间的数值。在同一建筑工程项目中, 多根已完成测试、质量合格的桩基, 其桩身的纵波速度平均值以 V_{pm} 表示。此外, 基于反射波的波形规则, 若检测结果显示, 显示桩底有明显反射波, 不仅波列高度清晰、波幅较大, 并且检测人员能够直接实现反射波到达时间的精准读取, 此刻方可判定桩基内部有良好的完整性。

第二, 倘若桩基的桩身混凝土具有严重的离析问题, 则通常情况下检测结果会呈现出低波速现象, 相比完整桩基, 其反射波的波幅会显著减少。对于桩体内缩径与孔径部位, 监测人员可基于反射历时进行计算, 而对于缩径与孔径的类型, 则应基于对相位的分析加以确认^[4]。

第三, 检测期间, 监测人员可利用横向激振的形式对桩身的浅部断裂开展分析, 与同类桩进行对比, 分析其横向振动特征层面的差异。多数情况下, 若桩身具有浅部断裂问题, 横向激振时自振频率会有所下降, 并且波形有较大振幅, 衰减历史会增加, 同时波形将展示出极差的规则性。

第四, 若对桩基的检测结果显示, 出现反射波到达时间, 小于柱底反射波到达时间, 同时波形显示出的波幅较大, 频繁出现多次反射现象, 检测时无法直接实现桩底反射波的观测, 通常这一情况可判定为桩身存在断裂现象。若桩身内部存在多处缺陷, 则通常在读取检测结果时, 会发现存在多个相互干扰的反射波, 多个反射比会组成高度复杂的波形。这一情况下, 需要检测人员翻阅项目施工期间所使用的材料、查看施工过程, 必要时可对反射波联合其他检测技术进行综合性分析。

第五, 检测桩身混凝土强度期间可基于对波速的分析加以估算。估算期间, 波速、混凝土抗压二者的换算系数, 应利用对混凝土试件波速测定的结果、抗压强度对比的结果来确认。对于桩身波速平均值, 可基于式3计算:

$$C_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (3)$$

$$C_i = \frac{2L \times 2000}{\Delta T} = 2L \bullet \Delta f$$

式3中, 桩身波速平均值为 C_m , 完整桩全场以 L 表示, C_i 表示第 i 根桩计算下的桩身波速值, 单位 (m/s)。 ΔT 代表时域信号第1封峰同桩端反射波峰值之间的时间差, 单位 ms。 Δf 表示幅频曲线桩端相邻谐振峰值之间的频率差, 单位 Hz, 在计算阶段, 不应取第1峰与第2峰。 n 代表桩基数量 ($n \geq 5$)。此外, 在桩身波速平均值无法基于上述方式计算获取, 可基于当地相同桩型以及施工工艺, 对其他工程桩基进行测试, 同时结合混凝土强度等级与实践经验综合性判定^[15]。表1为典型不同混凝土强度下反射波波速经验值:

表1 典型不同混凝土强度下反射波波速经验值

混凝土强度	特征波速	应力波波速范围
C25	3500m/s	3400~3700m/s
C30	3800m/s	3700~3900m/s
C40	4000m/s	3900~4100m/s
> C40	4200m/s	4000~4400m/s

四、结语

综上, 本文对建筑工程桩基检测中的低应变反射波法开展详细研究, 在详细介绍该方法优势与原理后, 对这一方法具体应用技术要点加以分析。相关企业可借鉴本文对低应变反射波法加以运用, 发挥技术优势, 以保障桩基安全性、完整性。此外, 在应用低应变反射波法阶段, 相关单位还应注意对桩头的处理、传感器与振源的合理匹配以及地质条件的影响, 从何考量与把握各项检测应县因素, 才可真正实现低应变反射波法精准检测。

参考文献

- [1] 张占超, 朱浩然, 翁楠, 等. 低应变反射波法桩基完整性检测技术及应用 [J]. 河北建筑工程学院学报, 2022, 40(3): 14-17.
- [2] 喻永明. 建筑桩基检测中低应变反射波法的探究 [J]. 江西建材, 2022(10): 103-104, 107.
- [3] 廖振华, 赵凡. 桩基检测中低应变反射波法的实践应用 [J]. 建材与装饰, 2022, 18(21): 33-35.
- [4] 陈远鹏. 桩基检测中低应变反射波法的实践应用探讨 [J]. 四川建材, 2020, 46(9): 30, 34.
- [5] 王营磊. 简析桩基工程勘察中的低应变反射波法应用 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(23): 4126.
- [6] 李静. 桩基检测中低应变反射波法的实践应用研究 [J]. 房地产导刊, 2020(33): 247, 249.
- [7] 胡潇潇. 桩基静载与低应变在桩基检测中的配合应用 [J]. 安徽建筑, 2020, 27(9): 212-213.
- [8] 邵龙, 侯永青. 低应变法判定 PHC 管桩接头拉脱缺陷效果研究及拉脱成因分析 [J]. 江苏建筑, 2022(2): 122-125, 145.
- [9] 文军, 杨军, 赵鸿彬. 低应变反射法检测端承桩完整性的应用研究 [J]. 广州建筑, 2020, 48(1): 1-5.
- [10] 谷学倩. 低应变反射波桩基检测仿真分析 [J]. 建材与装饰, 2021, 17(14): 60-61.
- [11] 杨瑾. 低应变反射波法在 PHC 管桩检测中的问题探讨 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(5): 310-311.
- [12] 张鸿斌. 低应变桩基检测有关典型问题探讨 [J]. 能源技术与管理, 2020, 45(5): 148-151.
- [13] 赵苏玲, 王约发, 熊中平. 低应变动测法在桩基质量检测中的应用 [J]. 工程与试验, 2021, 61(3): 7-10, 77.
- [14] 任晓文. 低应变法在桩基检测中的应用 [J]. 门窗, 2020(19): 193-194.
- [15] 张森. 桩基检测中低应变检测技术的应用 [J]. 户外装备, 2021(8): 478.