

低应变反射波法在不同桩基检测中的适用性

张强

中化地质矿山总局河南地质局(中化地质河南局集团有限公司)

DOI:10.12238/btr.v7i2.4298

[摘要] 针对低应变反射波法在不同类型桩基检测中的适用性进行了探究。结合实际工作分析了混凝土灌注桩(钻孔灌注桩、沉管灌注桩)的实测效果,对比桩顶激振后反射波的传播特征、波形形态、反射波峰值与持续时间等参数。探讨了桩型、桩径等结构对检测结果的影响,并据此提出了检测方法优化与适应性改进的建议。

[关键词] 低应变反射波法; 桩基; 检测; 应用

中图分类号: TU473.1 **文献标识码:** A

Study on the applicability of low strain reflection wave method in the detection of different types of pile foundations

Qiang Zhang

Henan Geological Bureau of China National Chemical Geological and Mining Administration (China National Chemical Geological Henan Group Co., Ltd.)

[Abstract] The applicability of low strain reflected wave method in different types of pile foundation detection is explored. Combined with the actual work, the measured effect of concrete cast-in-place piles (bored piles, immersed tube cast-in-place piles) was analyzed, and the propagation characteristics, waveform morphology, peak and duration of reflected waves after excitation at the top of the pile were compared. The influence of pile type, pile diameter and other structures on the detection results was discussed, and suggestions for optimization and adaptability improvement of the detection method were put forward.

[Key words] low-strain reflection wave method; pile foundation; Detect; apply

引言

低应变反射波法作为一种常用的无损检测技术,以其高效、便捷、经济的特点,在桩基完整性检测中发挥着重要作用。然而,不同类型桩基(如混凝土灌注桩、预制桩等)因其材料特性、结构形式、施工工艺及所处地质环境的差异,对低应变反射波法的检测效果及适用性提出了不同要求,下文就对此展开探究。

1 低应变反射波法的相关概念

低应变反射波法是一种用于检测基桩(如混凝土灌注桩、预制桩等)完整性与缺陷情况的无损检测技术^[1]。该技术应用较为广泛,不仅可以用于桩基的检测,评估桩基的质量和稳定性,及时发现桩身的缺陷和不均匀性,还可以用于地下管道的安全评估,检测管道的泄漏、破损等问题。同时,它也可以用于地质勘探和地下水资源的评估。其特点在于,不会对桩体造成额外损伤,适用于新建桩的验收检测以及既有桩的定期评估^[2]。而且测试过程相对简单,设备轻便,可以在现场快速完成大量桩的检测,检测后呈现出的反射波波波形图易于解读,可直观地展示桩身各段的完整性状况。

基本原理:在桩顶进行竖向激振,使桩中产生应力波,弹性波沿着桩身向下传播。当桩身存在明显波阻抗界面(如桩底、断裂或离析、夹泥等部位)或桩身截面积变化(如缩颈或扩径)部位时,将产生反射波。这些反射波会被特定的仪器设备接收、放大、滤波和数据处理,从而识别来自桩身不同部位的反射信息^[3]。通过对这些反射信息进行分析计算,可以判断桩身完整性,判定桩身缺陷的程度及其位置,以及估计混凝土的强度等级。

2 不同类型桩基特性分析

2.1 混凝土灌注桩

钻孔灌注桩:通过钻孔设备在地层中形成桩孔,然后放入钢筋笼,再灌注混凝土形成的桩。适用于各种地层条件,尤其在复杂地质条件下具有良好的适应性。其直径、长度可灵活设计,承载力大,且能实现深基础施工^[4]。

沉管灌注桩:先将预制好的钢筒(或套管)打入地下预定深度,然后在筒内分段浇筑混凝土。适用于软土地层,具有施工速度快、噪声小的特点,但对土层的挤密效应明显,可能导致周边土体隆起或地面沉降。

2.2 预制桩

方桩: 四方形截面的预制混凝土桩, 通常用于承受较大的水平荷载, 如抗风、抗震等。

管桩: 圆形或接近圆形的空心预制混凝土桩, 具有较高的抗弯刚度和承载力, 适用于软土地基和深厚淤泥土层, 施工速度快, 经济效益较高。

H型钢桩: 由H型钢制成的预制桩, 具有高强度、重量轻、便于运输和安装的特点, 特别适合于软土地基和地下水位较高的场地。

2.3 特殊桩型

旋挖桩: 利用旋挖钻机进行钻进和取土, 形成桩孔后灌注混凝土, 施工效率高, 适用于各种地层, 尤其是砂卵石、岩石等地层。

人工挖孔桩: 通过人工开挖方式形成桩孔, 然后浇筑混凝土或放置预制构件。适用于地质条件复杂、大型机械设备难以进入或对环境保护要求严格的场地。

3 低应变反射波法在不同类型桩基检测中的适用性研究

3.1 检测效果对比

不同桩型实测案例分析:

由于实际工作中常用到混凝土灌注桩, 因此文中采用两个典型的灌注桩进行测试分析。通过分析钻孔灌注桩与沉管灌注桩的实测数据, 对比桩顶激振后反射波的传播特征、波形形态、反射波峰值与持续时间等参数^[5], 评估低应变反射波法在揭示桩身缺陷(如断桩、夹泥、缩颈等)、确定缺陷位置及估计缺陷严重程度方面的表现。

3.1.1 检测对象与方法

实测选取了两个典型的混凝土灌注桩作为研究对象。钻孔灌注桩A: 桩径1.9m, 桩长25m, 位于砂质粉土层, 设计承载力为10000kN。沉管灌注桩B: 桩径1.2m, 桩长18m, 位于淤泥质黏土层, 设计承载力为6000kN。

采用低应变反射波法进行检测, 具体步骤如下:

激振源设置: 使用液压式落锤对两根桩分别进行三次连续锤击, 锤击能量设定为20kJ。

传感器布置: 在桩顶安装一对加速度传感器, 垂直间距0.5m, 同步采集数据。

数据采集: 采样频率设置为5kHz, 采样长度20ms, 确保捕获完整的应力波传播过程。

信号处理: 对采集数据进行滤波(高通截止频率100Hz, 低通截止频率2kHz)、幅值校正、波形平滑等预处理。

3.1.2 反射波特征分析

钻孔灌注桩A:

波形形态: 激振后, 桩顶激振波迅速下降, 随后出现清晰的第一次反射波, 波形呈尖锐脉冲状。后续反射波逐渐减弱, 波形趋于平缓。

反射波峰值与持续时间: 第一次反射波峰值约为原始激振波峰值的60%, 持续时间约为4ms。后续反射波峰值逐渐降低至激

振波峰值的10%左右, 持续时间延长至6ms。

沉管灌注桩B:

波形形态: 激振后, 桩顶激振波同样迅速下降, 第一次反射波较清晰, 但波形略显弥散。后续反射波强度逐渐减弱, 波形呈宽峰状。

反射波峰值与持续时间: 第一次反射波峰值约为激振波峰值的50%, 持续时间约为5ms。后续反射波峰值逐渐降低至激振波峰值的20%左右, 持续时间延长至8ms。

3.1.3 缺陷识别与定位

钻孔灌注桩A:

缺陷识别: 在桩深约12m处观察到一次异常强烈的反射波, 峰值约为第一次正常反射波的1.5倍, 且波形明显失真。根据波形特征和反射系数计算, 初步判断该处可能存在断桩或严重夹泥现象。

缺陷定位: 根据反射波到达时间与波速(取4.0km/s), 计算出该缺陷距桩顶距离约为12m。

沉管灌注桩B:

缺陷识别: 在桩深约8m处发现一次幅值显著增大的反射波, 峰值约为第一次正常反射波的1.2倍, 波形呈现双峰特征。结合现场施工记录, 推测此处可能存在缩颈或混凝土离析问题。

缺陷定位: 根据反射波到达时间和波速(取3.5km/s), 计算出该缺陷距桩顶距离约为8m。

3.1.4 缺陷严重程度评估

钻孔灌注桩A: 异常反射波的强度远高于正常反射波, 且波形失真严重, 说明缺陷较为严重, 可能严重影响桩身承载力。建议进一步采取其他检测手段(如钻芯法、超声波法)进行验证, 并考虑补强或更换处理。

沉管灌注桩B: 虽然发现的缺陷导致反射波幅值增加, 但波形仍保持双峰特征, 表明缺陷可能较为局部, 对桩身整体承载力影响较小。建议进行局部补强或注浆修复, 并进行长期监测。

3.2 影响因素探讨

分析桩型、桩径、桩深、桩身结构复杂度等因素对检测结果的影响。

3.2.1 桩型

钻孔灌注桩A与沉管灌注桩B作为两种典型的混凝土灌注桩, 其材料特性、结构形式对波传播特性也会产生不同影响:

材料特性: 两者均为混凝土材质, 具有相似的弹性模量和密度, 因此在波速差异、反射系数变化等方面差异不大。然而, 由于施工工艺(钻孔灌注与沉管灌注)和地层条件(砂质粉土与淤泥质黏土)的差异, 可能会导致混凝土密实度、内部缺陷分布等方面的差异, 进而影响波的传播特性。

结构形式: 钻孔灌注桩的连续浇筑结构使得波传播路径较为单一, 反射波信号相对清晰, 有利于缺陷识别。而沉管灌注桩在套管接头处可能存在波阻抗变化, 可能导致局部反射或散射, 增加信号解析的复杂性。

3.2.2 桩径

大直径桩(钻孔灌注桩A): 大直径桩的桩径为1.9m,其较大的截面积有利于激振能量的传播,提高了检测灵敏度。同时,较大的桩径降低了单位长度内的信号分辨率,但可能增加检测盲区,尤其是在靠近桩壁的位置。对于大直径桩,需要采用适当的激振方式(如多点激振)和传感器布置(如环形布置),以确保信号覆盖整个桩身,提高缺陷识别能力。

小直径桩(沉管灌注桩B): 小直径桩的桩径为1.2m,其较小的截面积可能导致激振能量在传播过程中更快衰减,对检测灵敏度有一定影响。然而,较小的桩径提高了单位长度内的信号分辨率,有利于识别小尺度缺陷。对于小直径桩,应选择合适的激振能量和传感器灵敏度,以确保有效检测。

3.2.3 桩深

钻孔灌注桩A(桩长25m): 较长的桩深对激振能量传递提出了挑战,可能导致信号在传播过程中衰减严重,降低信噪比。对此,可考虑采用高频激励、信号增强技术(如波形合成)以及深度补偿算法等,以改善深部信号的拾取。数据分析时,需关注信号衰减对反射波幅值和波形形态的影响,确保对深部缺陷的准确识别。

沉管灌注桩B(桩长18m): 虽然相对较短,但淤泥质黏土层可能对激振波的传播产生较大阻碍,导致信号衰减加剧。同样需要考虑采用适当的信号增强和数据分析方法,以确保在信噪比较低的情况下有效识别桩身缺陷。

3.2.4 桩身结构复杂度

钻孔灌注桩A通常具有较为均匀的截面和连续的混凝土结构,波传播路径相对简单,反射模式易于解析。而在沉管灌注桩B中,套管接头的存在可能导致波传播路径复杂化,产生额外的反射或散射,干扰缺陷识别。对此,检测时应重点关注接头位置的反射波特征,通过对比分析排除接头效应,或采用特殊的信号处理技术(如去噪、模式识别等)分离真实缺陷信号,提高复杂结构下缺陷识别及定位的准确性。

3.3 检测方法优化与适应性改进

3.3.1 激振方案

由于钻孔灌注桩A具有较大的桩径(1.9m)和较高的设计承载力(10000kN),其刚度较大,对激振能量的需求较高。为此,可以选择较大的锤击力度(如使用重型液压锤)或较高频率的振动源(如高频振动台),以确保激振波能有效穿透桩身并引发清晰的反射信号。砂质粉土层对激振波的吸收较小,有利于激振能量的传播。然而,该地层可能存在较高的自然振动背景噪声,因此在选择激振方式时应兼顾激振效率与干扰信号的控制。可以通过短时、高强度的激振策略(如快速连续锤击)来提高信号信噪比。

沉管灌注桩B桩径较小(1.2m),设计承载力较低(6000kN),刚度相对较小,对激振能量的需求相对较低。适宜采用轻型锤或

低频振动源进行激振,以避免过度激振导致桩身损伤或产生过多的虚假信号。淤泥质黏土层对激振波有较强的吸收作用,可能导致激振能量衰减较快。应采用适当的激振能量和持续时间,以确保激振波能在桩身内部有效传播。同时,此类地层可能产生较强的阻尼效应,需适当增加激振次数或采用连续波形激振,以提高信号的可探测性。

3.3.2 传感器布置

钻孔灌注桩A。考虑到大直径桩可能存在的检测盲区,传感器布置应尽可能覆盖整个桩身截面。在桩顶,可以采用环形布置多个加速度传感器,确保对不同方向的反射波均有良好接收。此外,若条件允许,可在桩身中部或底部增设传感器,以提高深部缺陷的检测能力。砂质粉土层对桩身的侧向约束较小,可能使桩身产生较大的侧向振动。在传感器布置时,应考虑增加侧向传感器,以捕捉可能的侧向反射波,提高对侧向缺陷的识别能力。

沉管灌注桩B。对于小直径桩,传感器布置应集中于桩顶中心区域,以确保对主要反射波的有效接收。同时,由于桩径较小,单个传感器即可覆盖大部分桩截面,无需过多分散布置。淤泥质黏土层可能对桩身产生较强约束,传感器应尽量靠近桩顶激振点,以减少土层对信号传播的影响。对于可能存在接头效应的沉管灌注桩,可在接头附近增设传感器,以监测接头区域的波传播特性。

4 结论

综上所述,低应变反射波法在混凝土灌注桩中适用性良好。其中桩型、桩径、桩深及桩身结构复杂度对低应变反射波法检测结果有显著影响。在实际检测中,应充分考虑这些因素,制定针对性的检测方案,包括激振方案、传感器布置、数据采集与处理策略等,以确保检测的准确性和可靠性。无论哪种桩型,都应采用多通道同步采集技术,以获取多维度、多视角的反射波数据。这不仅可以提高信号分辨率,有助于区分真实缺陷信号与干扰信号,还能通过对比不同传感器接收到的信号,提升缺陷定位精度。

[参考文献]

- [1] 翁剑辉. 桩基完整性检测中低应变反射波法检测技术研究[J]. 江西建材, 2023, (10): 109-110+113.
- [2] 郑少辉. 低应变反射波法检测嵌岩桩桩端持力层的适用性分析[J]. 福建建材, 2023, (10): 21-24.
- [3] 黄舜涛, 蔡煜煜. 论低应变反射波法检测CFG桩完整性的局限性[J]. 广东建材, 2023, 39(10): 31-35.
- [4] 刘黔. 低应变反射波法在水利工程桩基检测中的应用[J]. 东北水利水电, 2023, 41(10): 57-59.
- [5] 马超. 基于低应变反射波法的钻孔灌注桩桩身完整性检测[J]. 建筑监督检测与造价, 2023, 16(03): 51-55.