

无损检测技术在桩基础检测工作中的应用研究

周昌胜

南京南大工程检测有限公司，江苏 南京 210008

[摘要]随着建筑工程规模变得越来越大，施工质量的要求也变得越来越严格，在这样的情况之下，桩基础作为建筑结构当中极为重要的一处支撑部分，其检测工作就显得格外的关键了。文中全面且细致地探讨了无损检测技术在桩基础检测方面的应用当下状况以及未来的发展走向，着重对应力波反射法还有声波透射法等方法的基本原理展开分析，并且还详尽地阐述了像低应变动力检测法、高应变动力检测法、超声波透射检测法以及钻孔取芯辅助检测法等一系列主要方法各自具体的应用场景。通过对检测方法怎样科学地去选用、检测过程如何实现标准化的控制、检测数据怎么做到智能化的分析以及多种技术相互融合协同应用等相关优化策略展开研究。

[关键词]无损检测；桩基础；应力波反射法；声波透射法

DOI: 10.33142/ect.v3i10.18195

中图分类号: TU435

文献标识码: A

Research on the Application of Non-destructive Testing Technology in Pile Foundation Testing Work

ZHOU Changsheng

Nanjing Nanda Engineering Testing Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210008, China

Abstract: With the increasing scale of construction projects, the requirements for construction quality have become more and more stringent. In this situation, pile foundations, as an extremely important supporting part of building structures, have become particularly critical for their testing work. The article comprehensively and meticulously explores the current status and future development trends of non-destructive testing technology in pile foundation testing, with a focus on analyzing the basic principles of stress wave reflection method and sound wave transmission method. It also elaborates in detail on the specific application scenarios of a series of main methods such as low stress dynamic testing method, high strain dynamic testing method, ultrasonic transmission testing method, and drilling core auxiliary testing method. Research on optimization strategies related to how to scientifically select detection methods, how to achieve standardized control in the detection process, how to achieve intelligent analysis of detection data, and the integration and collaborative application of multiple technologies.

Keywords: non destructive testing; pile foundation; stress wave reflection method; crosshole sonic logging

引言

随着建筑高度的增加，天然地基承载力不能满足工程需要，各类桩基基础应用而生。桩基是建筑结构的重要承载构件，其完整性会直接影响工程安全。无损检测技术起源于南非开采金矿的过程当中，该技术使得当地金矿的安全事故逐渐减低。随着科学技术的发展，传感技术的应用，无损检测技术更加的成熟，且其应用范围也不断的扩大。智能技术与无损检测技术不断的融合，在智能建造的今天，其可行性和科学性不断被工程人员所认可。无损检测技术通过非侵入式手段评估桩身的完整性和性能，能够在不破坏结构的前提下提供准确数据，这对于保障工程质量

和延长使用寿命具有重要意义。

1 桩基础检测的重要性

桩基础检测于建筑工程而言有着不容忽视的作用，毕竟它和建筑物的整体稳定性以及长期耐久性紧密相关联。桩基础属于地下结构当中极为重要的一部分，其肩负着把上部荷载传至地基这样关键的任务。要是桩身上存在着缺陷或者有质量问题，那么就极有可能出现结构沉降、倾斜乃至倒塌等诸多严重的后果。所以说，借助科学且合理的检测手段去及时地识别并评估桩基的实际状态，如此便能够对潜在的风险起到预防的作用，进而促使工程的安全水平得以提升。在具体的应用过程当中，检测工作不但要在

施工阶段展开，以此来实现对质量的有效控制，而且在运营阶段同样要开展定期的监测工作，从而能够应对环境变化以及荷载作用所带来的种种影响。随着建筑行业对于可持续发展的要求一天天提高起来，桩基础检测还会牵涉到资源节约以及环境保护等诸多方面，比如说通过削减那些不必要的修复工作，进而降低材料的消耗以及能源的浪费等情况。除此之外，检测结果的准确性会对工程决策产生直接的影响，像是设计方面的调整以及维护计划的制定等等，这就要求检测方法务必要具备较高的精度以及很强的可靠性。从经济层面来分析，行之有效的检测是能够避免因为工程质量问题而引发的额外成本以及工期延误等问题的，如此一来便能够让项目整体效益得到提升。

2 无损检测技术的基本原理

2.1 应力波反射法

应力波反射法是依靠在桩顶施加瞬时冲击来产生的应力波，当这个波在桩身当中进行传播的时候，要是碰到像缺陷或者桩底这样的阻抗变化界面，那么就会出现反射的情况。之后凭借传感器来接收反射信号，并且对其时间以及振幅方面的特征展开分析，如此便能够对桩身的完整性以及缺陷位置做出判断。现有的研究已经表明，应力波反射法是能够有效识别出桩身当中的裂缝还有离析现象的，它的原理是以一维波动力学理论为基础的，会把桩假设成均匀弹性体，而波速和材质密度以及弹性模量有着关联^[1]。这种方法在实际的应用过程当中，得考虑到桩土相互作用所带来的影响，毕竟土体阻尼有可能会造成信号出现衰减，最终影响到检测的精度。借助先进的信号处理技术，像是小波变换又或者是傅里叶分析等，是可以让反射信号的信噪比得以增强的，进而提升缺陷识别的可靠性。应力波反射法有操作简便以及成本较低这样的优点，所以它比较适用于大批量桩基的快速筛查工作，不过它的局限性在于对于深部缺陷的敏感性是比较差的，并且还会受到桩径以及材质均匀性等方面的限制。

2.2 声波透射法

声波透射法借助高频声波在桩身里的传播特性展开工作。具体而言，依靠发射以及接收换能器来测量波的传播时间还有能量衰减情况，进而对桩身的均匀性以及缺陷状况加以评估。这种方法是以声学原理作为依据的，当声波碰到介质出现变化的时候，它的波速以及振幅都会产生改变，而这种改变能够用于检测桩身的空洞、蜂窝或者强度不够的区域。相关文献表明，声波透射法在混凝土桩检测方面呈现出较高的分辨率，可以精准地识别出小尺度的缺陷，并且其应用要保证换能器和桩身有良好的耦合状态，

防止出现信号损失的情况。在实际的操作环节当中，通常会采用跨孔测试的方式，也就是在桩身预先埋设的管道里面布置传感器，通过对多个剖面的声波数据进行测量，以此来构建出桩身完整性的图像。声波透射法的优点在于对深部缺陷的检测能力比较强，而且受到环境干扰的程度也相对较小，不过其缺点是需要预先埋设设备，这无疑增加了施工的复杂程度以及成本支出。该方法对于操作人员的技术水平要求颇高，需要结合实际经验来对数据进行解读，从而确保最终结果具备足够的可信度。

3 主要无损检测方法及应用

3.1 低应变动力检测法

低应变动力检测法是借助小能量冲击来激发桩顶产生振动，凭借传感器对响应信号加以记录，再通过分析桩身的波速以及反射特征来评估其完整性，此方法在检测桩身浅层缺陷方面适用，像裂缝或者截面变化等，由于操作迅速并且成本较低，所以广泛用于预制桩和灌注桩的初步筛查，在实际运用当中，低应变法能够给出桩长以及波速的估算值，然而会受到桩土系统的影响，可能会出现信号失真的情况，学界普遍觉得低应变法在均匀土质里表现不错，可在复杂地层里需要结合其他方法来进行验证，该方法对操作人员的技能要求颇高，要依靠标准化的测试程序来降低人为误差，低应变动力检测法的优点在于设备较为便携且测试是非破坏性的，不过其局限性在于对深部缺陷不够敏感，并且无法提供承载力数据，所以常常作为辅助手段用于质量监控。

3.2 高应变动力检测法

高应变动力检测法会借助重锤或者类似的设备来给桩顶施加高能冲击，然后依靠测量力以及速度信号的方式来对桩的承载力还有完整性加以评估。这种方法是以波动方程理论作为基础的，能够对桩在荷载之下的动态响应予以模拟。在实际开展工程作业的时候，高应变法常常会被用来验证桩所设计的承载力，同时也用于检测桩身存在的诸如断裂或者是软弱层之类的缺陷。其具体的应用是要和精密传感器以及数据分析软件相互配合起来才行。相关研究已经表明，在大型桩基项目当中，高应变法具备较高的可靠性。不过，它的测试过程有可能会给桩身带来轻微的损伤，所以需要十分谨慎地去使用它。该方法有一个颇为突出的优势，那就是能够同时获取到承载力方面的信息以及完整性方面的信息。它的缺点就在于设备比较复杂，并且测试的成本也相对较高，而且还会受到冲击能量以及桩土条件等因素相当大的影响。通过针对信号处理算法加以改进，比如说采用 CAPWAP 方法来开展反向分析工作，

就能够提升数据的准确性,从而让高应变法在复杂的工程当中发挥出更大的作用。

3.3 超声波透射检测法

超声波透射检测法依靠高频声波在桩身当中的传播特性,凭借测量波速以及衰减情况来辨别内部存在的缺陷,此方法在大直径桩以及深基桩的详尽检测方面颇为适用。在实际运用环节,超声波法往往会采取预埋管或者表面耦合的方式,借助多剖面扫描的方式来构建桩身的三维图像,进而精准地定位空洞、蜂窝以及材质不均等问题。现有研究说明超声波法在检测混凝土均匀性上有着出色的表现,其分辨率比其他方法都要高,不过这需要高质量的设备以及专业的操作^[2]。该方法的优势在于对深部缺陷有很高的灵敏度并且属于非破坏性测试,然而其缺点是预埋管会增加施工的难度与成本,并且数据的解读还得依靠经验。通过集成数字成像技术,超声波法能够直观地呈现出缺陷的分布状况,给工程修复提供可靠的依据,不过其应用的时候得考虑到桩身材质以及环境温度所带来的影响。

3.4 钻孔取芯辅助检测法

钻孔取芯辅助检测法是通过钻取桩身芯样并进行实验室分析,以此来直接观察混凝土的强度以及完整性,这种方法作为无损检测的一种补充手段,经常用于验证其他检测方法的准确性。在实际的工程施工当中,钻孔取芯法主要适用于那些怀疑存在严重缺陷的桩基,或者作为法律方面争议的证据,其具体的应用要确保取样位置具有代表性,并且芯样的处理也要符合规范要求。相关研究显示,钻孔取芯法能够提供较为直观的材质方面的数据,不过它属于一种半破坏性的测试方式,有可能会给桩身带来局部的损伤情况。该方法的优势之处在于其检测结果比较可靠,而且也容易让人理解,然而它的缺点则体现在成本相对较高、所需工期较长以及取样存在一定的局限性等方面。通过将钻孔取芯法与无损检测数据相结合的方式,可以对检测方案加以优化,进而提升整体评估的可信程度,但是它的使用应当限制在必要的场合,从而避免出现不必要的资源浪费情况。

4 无损检测技术的优化策略

4.1 检测方法的科学选用

检测方法的科学选用需要依据对工程条件、桩型以及检测目标展开细致分析。就好比在浅层缺陷筛查这一情况当中,一般会优先采用低应变法;然而到了承载力验证环节,那就会去选择高应变法了。依照项目的具体状况,像地质环境方面的情况、桩材的具体状况以及预算方面的限

制等,合理地将不同的方法组合起来运用,如此便能够对单一技术所存在的不足予以弥补,进而提升整体检测工作的可靠性程度。在实际的应用过程里,科学选用检测方法必须要以前期所做的调查以及风险评估作为基础,切不可盲目地去追随传统的做法,而是应当通过试验的方式来验证各种方法的适用性。这样的方法选用优化举措,一方面提升了检测的效率,另一方面也降低了误判出现的概率,不过这就要求操作人员得具备多学科的相关知识,才能够做出较为综合的决策。

4.2 检测过程的标准化控制

检测过程的标准化控制主要涉及到测试程序、设备校准以及人员培训等诸多方面,通过建立起统一的规范,以此来保障数据具备一致性与可比性。就好比在应力波反射法当中,将冲击力以及传感器布置加以标准化处理,如此一来便能够减少变量带来的干扰,进而提升结果的可重复性。参照行业的相关标准以及实践指南来看,标准化控制应当涵盖从现场准备一直到数据记录的各个不同环节,并且要定期开展质量审核工作,从而及时识别出潜在存在的各类问题^[3]。这一策略得以实施之后,能够在一定程度上降低人为因素所导致的误差以及设备自身存在的偏差,不过这需要投入额外的资源用于人员培训以及设备维护等方面。从长远的角度来讲,标准化对于构建起更为可靠的检测体系是很有帮助的,同时也有利于推动相关技术的进一步推广。

4.3 检测数据的智能分析

检测数据的智能分析会运用人工智能以及机器学习算法来处理数量众多的测试数据,可自动去识别缺陷模式与趋势,以此提升解读的精准程度以及速度。比如,借助神经网络模型来分析声波透射数据,能够迅速确定桩身出现异常的区域,降低主观判断所产生的影响。在实际的应用情况当中,智能分析得结合历史数据还有实时监测,以便对模型参数加以优化,并且能适应不一样的工程场景。这种策略在处理复杂数据的时候有着高效的特性,不过所面临的挑战包含了算法透明度方面的问题以及数据隐私相关的问题,所以要在伦理框架之下推动这项技术的应用。

4.4 多技术融合的协同应用

多技术融合的协同应用借助对不同无损检测方法加以整合的方式来实现,比如把应力波反射法和超声波透射法相结合,以此凭借它们各自的优势互补来提升整体评估的精度^[4]。在实际的工程项目当中,协同应用需要精心去设计合理的测试序列以及数据融合算法。比如说运用地理

信息系统来整合空间数据,进而生成综合检测方面的报告,这样的策略是能够突破单一方法所存在的局限性的,就像用钻孔取芯的方式去验证无损检测的结果那样,不过在实施的过程里得要协调多种不同的设备以及团队,这有可能会让情况变得更加复杂,成本也会有所增加,凭借着案例的不断积累以及知识的相互共享,多技术融合能够促使检测技术实现创新式的发展,从而给工程安全给予更为周全的保障。

5 结束语

无损检测技术于桩基础检测方面的应用呈现出了颇为显著的优势以及潜在的发展空间。经由对其基本原理、具体方法以及优化策略展开系统的剖析,本文着重指出了该技术在提高工程质量以及保障安全层面所起到的关键作用。在未来,伴随着科技不断向前发展以及工程需求出现变化的情况,无损检测技术会向着智能化、标准化以及多技术相融合这样的方向去发展。这就需要持续不断地开展相关研究并且进行实践创新。研究者应当关注实际应用当中存在的诸多挑战,像是信号受到干扰的问题以及成本

控制方面的难题,并且借助跨学科的合作来推动技术实现新的突破。在推广运用的过程里,务必要秉持工程伦理,要确保检测数据具备真实性以及透明度,以此来维系公众的信任以及行业的标准规范。无损检测技术不单单给桩基础检测给予了有效的工具手段,而且还推动了建筑行业走向可持续发展的道路,是值得在更为广泛的领域里面去深入地探索并加以应用的技术。

[参考文献]

- [1]芦永杰.基于声波透射法的桥梁桩基完整性检测[J].交通世界,2025(14):124-126.
- [2]赵宏彦.基于声波无损检测技术的公路路面缺陷评估[J].电声技术,2025,49(6):184-186.
- [3]谭子阳,周小勇.一种用于桩基缺陷超声成像的神经网络算法[J].工业建筑,2025,55(7):51-59.
- [4]刘海峰,张科.声波透射法在桥梁桩基完整性检测中的应用[J].交通世界,2025(20):142-144.

作者简介: 周昌胜 (1976.12—), 男, 南京人, 现就职南京南大工程检测有限公司, 长期从事桩基检测工程。