

水利工程桩基无损检测技术研究与应用

王 慧

江苏筑宇工程技术有限公司 江苏 扬州 225000

摘 要：水利工程桩基作为水利基础设施的关键组成部分，其质量直接关系到工程安全与稳定。本文聚焦水利工程桩基无损检测技术，系统阐述低应变法、声波透射法、高应变法等常用检测技术的原理与特点，深入分析检测中存在的检测方法适应性、检测结果准确性、标准规范及设备维护等挑战，并针对性提出综合运用多种技术、加强研发创新、完善标准规范等优化策略，旨在提升水利工程桩基无损检测的质量与效率，为水利工程建设质量保障提供理论与实践参考。

关键词：水利工程；桩基无损；检测技术；研究与应用

引言：在水利工程建设规模不断扩大、技术要求日益提高的背景下，桩基作为水利工程的基础承载结构，其质量检测至关重要。传统检测方法往往存在破坏结构、效率低下等问题，无损检测技术凭借不损伤桩基、检测效率高的优势，成为桩基质量检测的重要手段。然而，目前水利工程桩基无损检测技术在实际应用中仍面临诸多问题，如检测技术适应性受限、结果准确度不足等。因此，深入研究水利工程桩基无损检测技术，系统分析其应用现状与挑战，探索优化策略，对推动水利工程高质量发展具有重要的现实意义。

1 水利工程桩基无损检测技术的重要性

1.1 降低工程成本

相较于传统的破坏性检测方法，无损检测技术无需对桩基进行大规模破坏或拆除，避免了因检测造成的桩基修复和重建成本。而且，无损检测能够快速定位桩基缺陷位置和范围，为针对性的修复和加固提供指导，减少不必要的工程处理措施，从而降低工程维护和修复成本。此外，及时发现并解决桩基质量问题，可避免因质量隐患导致的工程重大事故及付出巨额修复费用，有效降低了工程全生命周期成本^[1]。

1.2 提高工程质量控制水平

在水利工程建设过程中，桩基施工质量受地质条件、施工工艺、人员素质等多种因素制约，容易出现质量问题。通过无损检测技术，可对桩基施工过程进行实时或阶段性监测，及时发现施工中存在的问题并加以纠正，确保桩基施工质量符合设计要求。同时，在工程竣工验收阶段，无损检测结果作为重要的质量评判依据，为工程维护和加固提供科学评估，提高工程整体质量控制水平。

1.3 保障工程安全运行

水利工程所处环境复杂，长期受到水流冲刷、渗透压力、地基沉降等多种因素影响。桩基作为工程的基础支撑，一旦出现质量问题，如桩身断裂、混凝土缺陷、桩底沉渣过厚等，可能引发基础结构变形、倾斜甚至倒塌，严重威胁工程的安全运行。无损检测技术能够在施工的过程中及时发现桩基的缺陷和病害，有效预防桩基安全事故的发生，从长远的角度看，保障水利工程长期稳定运行。

2 常用水利工程桩基无损检测技术

2.1 低应变法

低应变法以应力波理论为核心，是水利工程桩基无损检测中广泛应用的技术。检测时，在桩顶使用小锤或力棒施加瞬态激振，使桩在弹性范围内做弹性振动，并由此产生应力波的纵向传播。当遇到波阻抗差异界面，如桩身缺陷、桩底时，部分波会反射回桩顶，被传感器接收。检测人员利用波动与振动理论对桩基的桩身完整性作出评价，判定桩身是否完整，有无缺陷、缺陷的程度和位置等。例如，在某水库大坝桩基检测中，低应变法快速筛查出多根存在缩颈问题的桩。该方法适用于各类混凝土桩，尤其适合基桩质量的初步普查。目前应用最广泛的低应变检测方法是反射波法，其优势在于操作简单，无需复杂设备，检测成本低、效率高，可在短时间内完成大量桩基的检测。但它也存在局限性，检测深度通常在10-30米，且难以精准确定缺陷的具体性质和尺寸，仅能大致判断缺陷位置和严重程度。

2.2 声波透射法

声波透射法依据声波在混凝土中的传播规律，实现对基桩的桩身完整性检测，判定桩身缺陷的位置、范围和程度。施工阶段，通过在桩身内预埋声测管（钢管或塑料管），形成检测通道，将超声发射探头和接收探头

分别置于不同声测管内,管内注满清水为耦合剂,换能器可置于同一水平面或保持一定高差,进行声波发射与接收。正常情况下,声波传播稳定,若桩身存在夹泥、空洞、疏松等缺陷,声波传播路径受阻,导致声时延长、波幅降低、频率改变。通过对这些声学参数的综合分析,可精确确定缺陷的位置、大小和性质,对桩身完整性作出评价。在大型跨江水利工程桩基检测中,声波透射法成功检测出桩身深部的空洞缺陷。该检测方法一般不受场地限制,测试精度高,在缺陷的判断上较其他方法更全面,检测范围可覆盖全桩长的各个横截面,能为工程质量评定提供可靠依据。但是由于需要提前预埋声测管,抽样的随机性差,且对桩身直径有一定的要求,检测成本也想对较高。

2.3 高应变法

高应变法是在桩顶实施重锤冲击,使桩产生的动位移量级接近常规静载试桩的沉降量级,以便使桩周岩土阻力充分发挥,通过测量和计算判定桩身单桩竖向抗压承载力是否满足设计要求及对桩身完整性作出评价的一种检测方法。主要包括锤击贯入试桩法、波动方程法和静动法,其中波动方程法是我国目前常用的高应变检测方法。高应变动力试桩物理学意义较明确,检测准确度相对较高,而且检测成本低,受检桩的选择具有较好的随机性,而且可用于预制桩的打桩过程监控和桩身完整性检查。只是缺陷也很明显,该方法在判定竖向抗压承载力方面仍有一定的局限性,尚不能完全替代静载试验作为确定竖向抗压承载力的设计依据。对于大直径扩底桩和预估 $Q-s$ 曲线具有缓变形特征的大直径灌注桩,不宜采用该方法进行竖向抗压承载力检测,而且,该方法检测结果受测试人员水平和桩土相互作用等问题的影响较大。

2.4 其他无损检测技术

除低应变法、声波透射法和高应变法外,水利工程桩基无损检测领域还有其他多种检测技术。电磁波CT法基于电磁波在不同介质中传播特性差异,在桩周布置发射和接收装置,收集电磁波传播信息,通过反演算法构建桩身图像,可有效检测复杂缺陷,尤其适用于隐蔽性强的缺陷检测,不过数据处理复杂,检测效率低。光纤传感技术利用光纤的光弹效应、热光效应等,感知桩身应变、温度变化,实现对桩基的实时、分布式监测,精度高、抗干扰能力强,在长期健康监测中极具潜力,不过目前因技术成本高、安装工艺复杂,尚未广泛应用^[2]。

3 水利工程桩基无损检测技术应用中挑战

3.1 检测结果的准确性与可靠性

在水利工程桩基无损检测中,检测结果的准确性与可靠性面临诸多难题。一方面,现场复杂环境因素干扰严重,如电磁干扰、地下水流动、施工振动等,易导致检测信号失真,影响数据采集的准确性。另一方面,不同检测人员对波形、数据的分析能力存在差异,缺乏统一且精准的缺陷判断标准,使得同一桩基在不同人员检测下可能得出不同结论。此外,部分检测技术本身存在局限性,这些都直接降低了检测结果的可信度,为水利工程桩基质量评估带来不确定性。

3.2 检测技术的适应性与局限性

每种检测技术都有其适用范围,如声波透射法需预埋声测管,不适用于已完工且未预埋声测管的桩基;低应变法检测深度通常在10-30米,且难以精准确定缺陷的具体性质和尺寸等。水利工程所处地质条件复杂多样,在岩溶发育区、软土地区等特殊地质环境下,现有的检测技术可能无法准确检测桩基缺陷。此外,不同类型的桩基,例如灌注桩、预制桩等,在结构和施工工艺上存在差异,单一检测技术难以适应所有桩型的检测要求。

3.3 检测标准与规范的完善性

目前,水利工程桩基无损检测的标准与规范尚不完善。不同地区的检测标准存在差异,缺乏统一、权威的标准体系,导致检测方法和评判标准不统一,直接影响检测结果的可比性和通用性。部分标准规范更新滞后,未能及时涵盖新兴检测技术和复杂工程需求,使得新技术应用缺乏明确指导。此外,对于一些特殊地质条件、新型桩基础形式的检测,相关标准规范存在空白,检测人员在实际操作中无据可依,增加了检测工作的随意性和不确定性,不利于保障水利工程桩基检测质量。

3.4 检测设备的性能与维护

检测设备的性能和维护问题也制约着水利工程桩基无损检测工作。部分检测设备性能有限,如信号采集精度低、抗干扰能力差,难以满足复杂环境下的检测需求。设备的稳定性不足,在长时间连续检测或恶劣环境条件下,易出现故障,影响检测进度。此外,检测设备的维护保养工作往往不受重视,缺乏专业的维护人员和完善的维护制度,设备老化、零部件损坏等问题未能及时解决,导致设备检测精度下降,检测结果误差增大。同时,新型检测设备价格昂贵,后续维护成本高,给检测单位带来较大的经济压力,限制了先进检测设备的推广应用^[3]。

4 水利工程桩基无损检测技术应用优化策略

4.1 综合运用多种检测技术

在水利工程桩基无损检测中,综合运用多种技术可

显著提升检测准确性与全面性。施工阶段预先在桩身埋设声测管,利用声波透射法,通过分析超声波在混凝土介质中的传播时间、波幅及主频等声学参数,合理定位缺陷的位置、大小及性质,尤其适用于判定桩基整体完整性。对于未预埋声测管的桩基,采用低应变法进行初步筛查,通过激振产生的应力波在桩身传播时遇到波阻抗变化界面产生反射,快速判断桩身是否存在断裂、缩颈等明显缺陷,确定需进一步检测的桩基范围。针对复杂地质条件下的桩基,或疑似存在深部缺陷的情况,结合高应变法辅助检测,利用其激振能量大和有效深度大的优点,对深部缺陷进行补充评估,与其他方法形成优势互补,最终实现对水利工程桩基的全面、精准检测。

4.2 加强检测技术的研发与创新

当前水利工程桩基检测技术在复杂地质和新型桩型检测中存在不足,加强研发创新迫在眉睫。一方面,鼓励科研机构、高校与企业合作,针对特殊地质条件和新型桩基础形式,开展检测技术攻关,研发适用性更强的检测方法和设备。例如,利用人工智能和大数据技术,开发基于深度学习的桩基缺陷识别系统,提高缺陷判断的准确性和效率。另一方面,积极探索新兴技术在桩基检测领域的应用,如将三维成像技术、物联网技术与传统检测技术结合,实现对桩基的全方位、实时监测,提升检测技术的智能化水平。

4.3 完善检测标准与规范

统一、完善的检测标准与规范是保障检测质量的关键。首先,相关部门应组织专家,整合不同地区的检测标准,制定全国统一、权威的水利工程桩基无损检测标准体系,明确各种检测方法以及与其相应的操作流程和评判标准,提高检测结果的可比性和通用性。其次,建立标准规范动态更新机制,及时将新兴检测技术、新发现的问题纳入标准体系,确保标准规范与时俱进。针对特殊地质条件和新型桩基础形式的检测,加快制定相关标准规范。通过完善检测标准与规范,减少检测工作的随意性和不确定性,保障水利工程桩基检测工作科学、规范开展。

4.4 提高检测设备的性能与管理水平

先进、可靠的检测设备是保证检测质量的重要基础。在性能提升方面,加大对检测设备研发的投入,推

动设备生产企业改进技术,提高设备的信号采集精度、抗干扰能力和稳定性,开发适应复杂环境的便携式、智能化检测设备。在管理方面,建立健全检测设备管理制度,配备专业的维护人员,定期对设备进行校准、维修和保养,确保设备处于良好运行状态。同时,建立设备使用档案,记录设备的使用、维护和故障情况,便于追溯和分析。此外,通过政府补贴、行业扶持等方式,降低检测单位购置新型设备的成本,促进先进检测设备的推广应用,提升水利工程桩基检测的整体水平。

4.5 提升检测人员的专业素质

检测人员的专业水平直接影响检测结果的准确性和可靠性。首先,加强检测人员的专业培训,定期组织开展技术讲座、研讨会和技能培训课程,使检测人员掌握最新的检测技术、标准规范和数据分析方法。培训内容应涵盖理论知识和实践操作,通过案例分析、模拟检测等方式,提高检测人员的实际操作能力和问题解决能力。其次,建立检测人员资格认证和考核制度,严格把控检测人员的准入门槛,定期对检测人员进行考核,确保其专业能力符合要求^[4]。

结束语

水利工程桩基无损检测技术是保障工程质量安全的关键防线,其研究与应用的持续推进,对水利事业的稳健发展意义深远。综合运用多种检测技术、加强研发创新、完善标准规范、提升设备性能与人员素质等优化策略,将有效破解当前检测工作中的难题。未来,随着技术的迭代升级与实践经验的不断积累,水利工程桩基无损检测技术必将朝着更精准、智能、高效的方向迈进,为水利工程筑牢质量根基,推动行业高质量发展^[4]。

参考文献

- [1]王怀元,李德新.高应变动力测桩法在桩基检测中的技术探讨[J].地质与勘探,2020(11):191-193.
- [2]吴刚.超声波投射法与低应变法在基桩检测中的对比分析[J].贵州大学学报,2021,28(6):104-109.
- [3]蔡靖,王建华,张献民.桩基完整性检测中桩身应力波衰减规律及其应用[J].水文地质工程地质,2021(5):173-176.
- [4]季勇志,王元战,王立强.码头混凝土桩无损检测数值研究[J].北京工业大学学报,2022,37(11):1729-1732.