

# 桥梁水中桩基检测现有实用技术及适用性分析

张 孙

(深圳市交通工程试验检测中心有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘要** 桥梁水中桩基检测是一项关键的工程技术, 用于确保桥梁结构的安全和稳定。水中桩基的检测技术需要适应复杂的水下环境, 并且要能够准确地评估桩基的完整性、承载能力和潜在的缺陷。本文主要针对桥梁水中桩基检测的关键技术和适用性进行了深入分析, 以为桥梁工程实践中水中桩基检测技术的选用提供参考。

**关键词** 水中桩基; 检测技术; 适用性分析

中图分类号: U446

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)06-0124-03

桥梁作为交通基础设施的重要组成部分, 其安全性与稳定性直接关系到人们的出行安全和社会经济的稳定发展。水中桩基作为桥梁结构的关键支撑部分, 其质量直接关系到桥梁的整体性能和使用寿命。因此, 对桥梁水中桩基进行准确、高效的检测至关重要。目前, 已有多种实用技术被广泛应用于桥梁水中桩基检测领域, 这些技术各有特点, 适用于不同的工程场景和需求。然而, 在实际应用中, 如何选择合适的检测技术, 确保检测结果的准确性和可靠性, 仍是工程实践中需要解决的重要问题。

## 1 桥梁水中桩基检测的重要性

桩基作为桥梁的基础, 承载着桥梁的全部重量, 并通过传递到地下深处来保持稳定, 其质量的好坏直接影响桥梁运用的长久性和安全性。因此, 对桥梁水中桩基进行检测是确保桥梁质量与安全的关键环节。桥梁水中桩基检测有助于及时发现潜在的安全隐患。桩基在施工过程中可能受到不同地质条件的影响, 而在使用过程中也会受到车辆荷载、风荷载、温度荷载等外力的影响。这些因素可能导致桩基出现损伤或缺陷, 进而影响桥梁的安全性和稳定性。通过桩基检测, 可以实时监测桩基的应力变化, 了解桥梁的工作状态, 从而及时采取维修和加固措施, 避免事故的发生。

此外, 随着技术的发展, 桥梁水中桩基检测技术也在不断进步和完善, 目前常用的技术如下: 声波透射法、低应变反射法、高应变动力测试、钻探取芯法、水下摄像检测、电磁波检测法、荷载试验等, 这些新技术具有更高的精度和可靠性, 能够更全面地检测桩基的完整性和承载力, 为桥梁的安全评估和维护提供更为准确的依据。

## 2 各检测技术的适用性分析

### 2.1 声波透射法的适用条件与局限性

声波透射法是一种广泛应用于桩基完整性检测中的无损检测技术, 其基本原理是利用超声波在混凝土介质中的传播特性, 通过预埋在桩身内部的声测管发射和接收超声波, 根据波速、波幅、波形等信息来判断桩身的连续性和缺陷状况。

该适用条件为: 适用于桩径不小于0.6米的混凝土灌注桩, 确保声测管与桩壁间有足够的耦合面积, 减少测试误差。桩身需预埋至少两根声测管, 以形成有效的超声波传播路径。混凝土质量需达到一定水平, 以确保声波能在混凝土中顺利传播, 一般要求混凝土龄期超过两周。

虽然声波透射法能较好地检测出混凝土内部的宏观缺陷, 但对于非常细小的裂缝、气泡或离析等微观缺陷识别能力有限。在水中实施时, 水对超声波有显著的吸收和散射效应, 可能降低检测精度, 需要采用专门的水下声波换能器和耦合技术。若桩身混凝土浇筑质量差, 如出现严重的离析、骨料分布不均或混凝土密实度不足, 可能会影响声波在桩体内的正常传播和信号的解释。声波透射法的实施需要精密的检测设备和高度熟练的操作技术, 否则可能影响检测结果的可靠性。

### 2.2 低应变反射法在水下环境中的应用

低应变反射法(又称PIT法)是另一种常见的桩基完整性检测技术, 它通过在桩顶施加较小的冲击力或振动, 诱导桩身产生应力波并在桩身内传播, 通过接收和分析反射回来的应力波信号来判断桩身缺陷。面对的挑战如下: 水的阻尼作用会导致应力波在传播

过程中的能量损失,从而降低信号的可探测深度和检测精度。为了确保应力波能有效地从桩顶传递至桩身并反射回来,水下桩基的激振和接收端需采用特殊的耦合设备和材料,如水密性良好的传感器和耦合剂。水下环境下的低应变检测数据处理更为复杂,需要对水介质对信号衰减和失真的校正算法有深刻理解和熟练掌握。在水下实施低应变检测时,还需要考虑设备的防水性能和操作平台的安全稳定性。

### 2.3 高应变动力测试的限制因素

高应变动力测试主要用于测定桩基的承载力和确定桩身的局部或整体失效模式。其基本原理是通过重锤对桩顶施加较大的冲击力,观察和分析桩顶的受力与位移响应。然而,此种方法在水中桩基检测时存在限制,如,水的存在会显著增加桩顶受力的复杂性,水体的阻力会消耗部分锤击能量,而浮力则可能使桩体产生额外的运动。水下桩基高应变测试的设备安装和数据采集更为困难,需要确保传感器在水下工作的可靠性,并准确记录水下锤击力和桩顶响应。由于水下操作的风险性较大,对锤击设备的安全运行和操作人员的专业技能要求较高<sup>[1]</sup>。风浪、水流等自然因素可能影响锤击效果和数据收集,需要选择适宜的天气和水文条件进行测试。

### 2.4 钻探取芯法的准确性与成本分析

钻探取芯法是通过钻取桩身内部的混凝土芯样,直接观察和实验室测试来评估桩基的混凝土质量和结构完整性。这种方法的准确性和成本涉及多个方面,表现为:钻探取芯法能直观揭示桩身内部结构,包括混凝土质量、骨料级配、钢筋配置等,是桩基检测中最直接、最可靠的方法之一。缺陷识别,能够精确判断桩身内部的裂缝、蜂窝、空洞、断桩等缺陷,且可通过对芯样的微观结构和力学性能测试,评估桩身材料性能。钻芯位置是固定的,不能反映整个桩身的质量状况,且可能存在取芯位置选择不当而导致的误判风险。

对其成本进行分析,钻探取芯设备成本较高,且操作技术要求较高,需要专门的钻探队伍和相应的配套设施<sup>[2]</sup>。钻头损耗、取芯所需化学药品、运输和保存芯样的成本,以及后续实验室测试的费用均计入总成本。钻探取芯法相比其他无损检测方法,所需时间更长,尤其是在深水环境或复杂地质条件下,可能影响工程进度。钻探取芯属半破坏性检测,对桩基有一定的损害,需要对取芯后桩身进行修复处理。

### 2.5 水下摄像检测的直观效果及其局限

水下摄像检测是利用高清水下摄像设备对水下桩基的表面状况进行实时影像记录和观察的一种方法。

通过高清晰度图像,可以直接看到桩基表面的裂缝、破损、锈蚀、生物附着等现象,便于及时发现和记录桩基表面的病害情况。水下摄像检测能够实时传输和展示水下桩基的现状,对于工程管理和维修决策具有重要意义<sup>[3]</sup>。

当然,也存在一些局限,如:只能反映表面状况,摄像检测无法深入桩基内部,仅能评估桩身表面的完整性,对桩基内部缺陷如空洞、裂纹、钢筋锈蚀等无直接检测能力。水下摄像的清晰度和有效性受到水体透明度、光线条件以及悬浮物浓度的影响,浑浊或深水环境下检测效果可能会大打折扣。水下摄像检测需配备专用设备,如水下摄像机、照明设备、遥控操作系统等,并要求操作人员具有一定的潜水技术和摄像技巧。虽然视觉信息直观,但对图像数据的定量分析和缺陷识别需要专业知识和技术支持。

### 2.6 电磁波检测法对环境的敏感性

电磁波检测法,比如地质雷达(GPR)和电磁感应(EMI)等,常用于探测地下结构和评估桩基完整性。这类方法利用电磁波在地下介质中的传播特性来判断桩基及周围地层的信息<sup>[4]</sup>。电磁波检测法对地下目标具有很高的敏感性,能够探测到地下结构的位置、形状和尺寸等信息。土壤的介电常数、导电率、湿度、温度以及存在的金属物体都会影响电磁波的传播速度和衰减,导致检测结果的不确定性增大。在水中,电磁波衰减更为明显,这极大地限制了其在深水环境下的应用深度和探测精度。电磁波检测数据通常表现为二维或三维图像,其解释和分析需要结合地质模型和专业背景知识,否则容易产生误判。

### 2.7 荷载试验的直接性与实施难度

荷载试验是评估桥梁水中桩基承载能力和工作状态的重要方法。通过对桩顶施加实际或模拟的荷载,测量桩顶位移、桩身应变和土体位移等参数,荷载试验能够直接评价桩基的承载能力和工作状态。这种试验方法所得数据准确可靠,对工程设计和决策具有决定性指导意义。通过荷载试验可以明确桩基的最大承载力、极限状态和破坏模式,从而对结构安全性和使用寿命进行准确评估。此外,荷载试验还可以为桩基的优化设计和施工提供重要依据,提高工程质量和效益<sup>[5]</sup>。

这一内容在实施方面存在难度,如:需要构建临时加载平台,设置复杂的测量系统,如位移计、应变计、荷载传感器等,并且要求精确同步采集和处理大量数据。试验过程可能对周边环境 and 结构产生影响,如引起地面沉降、邻近建筑的振动等,因此需要严谨的安全防护措施。荷载试验耗费的时间较长,且成本

相对较高,不适合大规模推广用于所有桩基的常规检测。对于水下桩基,荷载试验的实施难度更大,需考虑水压平衡、设备防水、水下作业安全等一系列问题,增加了试验的复杂性和实施难度<sup>[6]</sup>。

### 3 综合比较与技术选择

#### 3.1 不同技术的优缺点对比

1. 声波透射法:声波透射法是一种无损检测方法,通过检测声波在桩身混凝土中的传播特性,评估桩身混凝土的连续性和内部缺陷。其优点在于无损检测,精度较高,能有效评估桩身混凝土的连续性和内部缺陷。然而,声波透射法对预埋声测管的要求较高,水下应用时还需考虑水介质对声波传播的影响,且对小规模缺陷的识别能力有限。

2. 低应变反射法:低应变反射法通过检测桩身表面反射的应力波信号,分析桩身的完整性。其优点在于检测速度快,无需预埋设施,适合大面积普查,对早期缺陷较为敏感。然而,在水下环境下,数据采集和处理较为复杂,对信号衰减和噪声干扰较为敏感。

3. 高应变动力测试:高应变动力测试通过检测桩身在动载作用下的应力响应,评估桩基承载力和桩身结构破坏情况。其优点在于能直接评价桩基承载力和桩身结构破坏情况<sup>[7]</sup>。然而,水下实施困难,对桩身有轻微破坏性,对环境 and 操作条件要求高。

4. 钻探取芯法:钻探取芯法通过钻取桩身混凝土样本,直观评估混凝土质量和桩身完整性。其优点在于直观准确,可获取实物样本进行进一步分析。然而,钻探取芯法属于半破坏性检测,成本较高,且仅能反映取芯位置的桩身质量。

5. 水下摄像检测:水下摄像检测通过摄像头实时观察和记录桩身表面状况。其优点在于直观反映桩身表面状况,可实时查看和记录。然而,水下摄像检测只适用于表面检查,无法检测内部缺陷,且受水体条件影响较大。

6. 电磁波检测法:电磁波检测法利用电磁波探测桩身内部结构和缺陷。其优点在于非接触式检测,适合大面积快速普查,对地下结构有良好透视效果。然而,在水下应用受限,对环境条件较为敏感,数据解释和分析复杂。

7. 荷载试验:荷载试验通过施加静载或动载,直接测定桩基的实际承载力。其优点在于能直接测定桩基实际承载力,提供最直接的性能指标。然而,荷载试验属于破坏性检测,成本较高,实施难度大,对环境和工程安全有严格要求。

#### 3.2 根据检测目的选择合适技术

不同的检测目的决定了选择哪种技术更为合适。如果是为了评估桩基整体承载力和安全性,荷载试验和高应变动力测试可能是首选。这两种方法能直接评价桩基承载力和桩身结构破坏情况,为桩基的安全评估提供重要依据。而对于快速大面积普查,低应变反射法和电磁波检测法更为适合。这两种方法检测速度快,无需预埋设施,适合大面积普查,有助于快速发现早期缺陷。若要深入探究桩身内部缺陷,则应优先考虑声波透射法和钻探取芯法。这两种方法能有效评估桩身混凝土的连续性和内部缺陷,为桩基的维修和加固提供重要依据<sup>[8]</sup>。

#### 3.3 考虑环境与经济因素的技术选型

在实际工程中,不仅要考虑技术本身的特点,还要结合项目所在环境和经济条件。例如,在复杂水文地质环境或深水条件下,声波透射法和电磁波检测法可能受到较大限制,此时可以考虑采用低应变反射法或结合其他方法进行检测。此外,在经济预算有限的情况下,需要优先选择成本较低且能满足检测需求的方法,如低应变反射法或水下摄像检测。这些方法在满足检测需求的同时,可以降低工程成本,提高经济效益。

### 4 结束语

在桥梁工程中,水中桩基的检测至关重要,直接影响到桥梁的安全性和稳定性。在选择最合适的检测技术时,我们必须综合考虑桥梁的类型、地质条件、检测目的、预期精度和效率要求,以及项目的经济预算,才能为桥梁的安全运行提供更加坚实的保障。

### 参考文献:

- [1] 张坤桥. 桥梁预制桩施工机械裂纹无损检测技术研究[J]. 自动化应用, 2024,65(04):5-7.
- [2] 陈强. 自平衡法静载试验在北部湾海域超长大直径桩基中的应用[J]. 铁道建筑技术, 2024(02):89-93.
- [3] 杨莉莉. 基于桩基检测技术的建筑工程混凝土结构检测[J]. 居业, 2024(02):123-125.
- [4] 徐连城. 高层建筑工程施工中桩基检测技术的运用策略[J]. 佛山陶瓷, 2024,34(02):61-63.
- [5] 程小玲. 无损检测技术在桥梁桩基检测中的应用[J]. 交通建设与管理, 2024(01):68-70.
- [6] 陈哲. 影响建筑桩基检测工作质量的倍效因素分析与控制研究[J]. 中国住宅设施, 2024(01):61-63.
- [7] 王凤武, 刘学冬. 无损检测技术在桥梁桩基检测中的运用分析[J]. 工程建设与设计, 2024(02):161-163.
- [8] 黄洁. 基于声波透射法的桩基检测及有限元研究[J]. 中国新技术新产品, 2024(02):113-115.