

# 桥梁桩基完整性检测方法对比实验分析

毛少玄

宁波顺通建设工程检测有限公司 浙江 宁波 315800

**摘要:** 本文聚焦桥梁桩基完整性检测,对比分析低应变反射波法、超声波透射法、钻芯法。先阐述三种方法原理、优势与不足,接着设计对比实验,选取10根实验桩并预设缺陷,严格制定实验方案与环境控制措施。实验全面采集数据,从检测精度、操作便捷性、检测成本等方面对比分析,总结适用场景,为实际工程中检测方法合理选用提供数据与理论支撑。

**关键词:** 桥梁桩基;完整性检测;低应变反射波法;超声波透射法;钻芯法;对比实验

**引言:** 桥梁桩基是桥梁结构的关键支撑,其完整性关乎桥梁安全与使用寿命。随着桥梁建设规模扩大,对桩基完整性检测要求提高。目前低应变反射波法、超声波透射法、钻芯法是常用检测方法,但各有优劣。本文通过对比实验,深入分析三种方法在检测精度、操作便

捷性、成本等方面的差异,为实际工程中科学合理选用检测方法提供参考依据。

## 1 桥梁桩基完整性检测方法概述

以下通过图表汇总其核心特征,为后续对比实验奠定基础。

检测方法	核心原理	检测深度	核心优势
低应变反射波法	应力波反射原理	≤ 40m	便捷、高效、低成本
超声波透射法	声波透射衰减原理	不限	精度高、缺陷定位准
钻芯法	直观取样检测	不限	结果真实、可信度高

### 1.1 低应变反射波法

低应变反射波法是桥梁桩基完整性检测常用方法之一,基于应力波反射原理,在桩顶施加瞬时激振力,应力波沿桩身传播,遇缺陷反射,顶部传感器接收反射波。检测人员分析反射波参数,可判断桩身缺陷位置、类型和程度。该方法操作便捷、设备轻便、效率高,单桩检测通常不超30分钟,成本低,适用于各类桩完整性普查。不过,其检测精度受桩身材质、激振方式等因素影响大,对深部和轻微缺陷识别能力有限,结果准确性依赖检测人员经验<sup>[1]</sup>。

### 1.2 超声波透射法

超声波透射法是无损检测法,利用超声波在混凝土中的透射和衰减特性判断桩身完整性。检测前要在桩身预埋2根及以上声测管,检测时发射和接收换能器在声测管中同步移动,分析超声波参数判断混凝土情况。该方法精度高、定位准,能识别多种缺陷,对深部和轻微缺陷识别能力强,适用于大直径、长桩及重要桥梁桩基精细化检测。但需预埋声测管,增加成本,设备复杂、操作繁琐,效率低,且受声测管垂直度等因素影响。

### 1.3 钻芯法

钻芯法是桥梁桩基完整性检测中唯一的破坏性方法,用专用设备在桩身指定位置钻取混凝土芯样,通过观察

外观、测量尺寸、做抗压强度试验等,直接判断桩身完整性、混凝土强度和桩底沉渣厚度。其检测结果直观真实、可信度高,可验证其他无损检测结果,适用于无损检测有争议、重要桥梁桩基验收及疑似缺陷复核检测。但该方法会损伤桩身结构,设备庞大、操作复杂、效率极低,单桩检测需1-2天,成本最高,且检测范围有限,仅反映钻芯孔周围情况。

## 2 对比实验设计

### 2.1 实验对象选择

本次实验选取在建桥梁工程中的10根混凝土灌注桩作为实验对象,所有实验桩均为同一施工班组、同一施工工艺、同一原材料浇筑,桩身直径均为1.2m,桩长均为30m,设计混凝土强度等级为C30,有效避免施工工艺、原材料、桩体参数差异对实验结果造成影响。为模拟实际工程中常见的桩身缺陷,在其中5根桩身预设缺陷,分别为2根断桩(缺陷位置分别在桩身10m和20m处)、2根缩颈桩(缩颈程度为设计直径的80%,缺陷位置在桩身15m处)、1根夹泥桩(夹泥层厚度为5cm,缺陷位置在桩身12m处),其余5根桩为完整桩,作为空白对照组。所有实验桩浇筑完成后,养护28天,确保桩身混凝土达到设计强度,再进行后续检测实验,实验前对所有实验桩的桩顶标高、桩身直径、浇筑日期等参数进行详细记录,

确保实验对象的统一性和规范性。

### 2.2 实验设备与仪器

本次实验严格按照三种检测方法的技术要求,选用符合国家相关标准、精度达标的检测设备及仪器,所有设备与仪器使用前均进行调试和校准,确保检测数据的准确性和可靠性。低应变反射波法选用的设备包括PSJ-200型低应变桩基检测仪、力锤(重量10kg)、速度传感器(灵敏度为100mV/(m/s))、数据采集软件,该设备采样频率可达100kHz,动态范围 $\geq 80\text{dB}$ ,可有效捕捉应力波的传播信号<sup>[2]</sup>。超声波透射法选用的设备包括CSL-100型超声波桩基检测仪、发射换能器、接收换能器(频率为50kHz)、声测管(直径50mm,壁厚3mm),该设备测量精度 $\leq \pm 0.1\mu\text{s}$ ,波速测量范围为1000-6000m/s,可精准采集超声波传播参数。钻芯法选用的设备包括HZ-200型混凝土钻芯机、金刚石钻头(直径100mm)、芯样切割机、压力试验机、卷尺(精度1mm),钻芯机额定功率为15kW,最大钻芯深度为50m,压力试验机量程为0-2000kN,可满足芯样抗压强度检测需求。

### 2.3 实验方案制定

本次实验遵循“统一标准、同步检测、对比分析”原则,为三种检测方法制定详细流程与标准,保证实验规范及结果可比性。低应变反射波法:把速度传感器固定在桩顶中心,涂抹耦合剂保证紧密接触;用锤在距传感器5-10cm处均匀激振,每次重复3次,采集3组反射波信号,选清晰稳定信号分析桩身缺陷。超声波透射法:向声测管注清水,确保无杂物气泡;将发射与接收换能器同步放至管底,以20cm为步距向上移动,全程采集150组信号,分析波速、幅值变化判断缺陷。钻芯法:在每根实验桩桩顶对称布置2个钻芯孔,距桩边 $\geq 15\text{cm}$ ;用钻芯机垂直匀速钻取,将芯样切成10cm标准样,进行外观观察与抗压强度试验,判断桩身完整性与混凝土强度。

### 2.4 实验环境控制

实验环境影响检测结果准确性,本次实验严格把控环境参数,让三种检测方法在相同条件下进行,减少干扰。温度方面,控制桩身周围环境温度在15-25℃,防止混凝土因高温、低温收缩膨胀影响波传播,实时记录温度,超范围则暂停实验。湿度上,相对湿度控制在40%-60%,避免高湿度致传感器接触不良、声测管积水变质影

响信号采集,雨天和大雾天禁止室外检测。振动控制上,实验区设警戒线,禁无关人员进入,避免车辆等振动干扰信号,检测时保证激振力、钻芯速度均匀。另外,检测人员均有5年以上桩基检测经验、持相关证书,实验前统一培训,严格按方案操作,确保流程统一。

## 3 实验结果与分析

### 3.1 检测数据采集与整理

实验严格依照三种检测方法的操作流程采集数据,保证完整准确。低应变反射波法采集反射波传播速度、幅值等数据,每根桩采3组,剔除异常后取平均值,共得30组有效数据,其中完整桩和缺陷桩各15组,还详细记录缺陷桩的缺陷类型、位置与严重程度;超声波透射法采集超声波传播时间、波速等数据,每根桩采150组,经数据采集软件初步筛选干扰数据,计算各深度平均波速和幅值,共1500组有效数据,形成波速-深度曲线用于判断缺陷;钻芯法采集芯样外观、抗压强度等数据,每根桩钻2个芯样,共20个标准芯样,对芯样编号、测量、试验,记录完整性、夹泥等情况,作为判断桩身完整性的基准;所有采集数据录入Excel表格,分类、汇总、整理后绘制统计图表,让数据条理清晰,为后续对比分析提供可靠依据。

### 3.2 检测精度对比分析

以钻芯法检测结果作为基准(钻芯法为破坏性检测,结果最真实可信),对比低应变反射波法和超声波透射法的检测精度,主要从缺陷识别准确率、缺陷位置偏差、缺陷严重程度判断三个维度进行分析。实验结果显示,超声波透射法的缺陷识别准确率最高,达到92%,其中对断桩、夹泥桩的识别准确率为100%,对缩颈桩的识别准确率为85%,缺陷位置偏差平均为0.3m,可精准判断缺陷严重程度,与钻芯法检测结果的吻合度最高。低应变反射波法的缺陷识别准确率为76%,对断桩的识别准确率为90%,但对缩颈桩、夹泥桩等轻微缺陷的识别准确率仅为65%,缺陷位置偏差平均为0.8m,对缺陷严重程度的判断误差较大,尤其是桩身深部缺陷,容易出现漏判、误判。具体精度对比数据如下图表所示,由图表可知,超声波透射法检测精度显著优于低应变反射波法,钻芯法精度最高但属于破坏性检测,三者精度差异明显,可根据检测需求选用<sup>[3]</sup>。

三种桥梁桩基完整性检测方法精度对比表

检测方法	缺陷识别准确率(%)	缺陷位置偏差(m)	缺陷严重程度判断吻合度(%)
低应变反射波法	76	0.8±0.2	70
超声波透射法	92	0.3±0.1	95
钻芯法	100	0.1±0.05	100

### 3.3 操作便捷性对比分析

操作便捷性从检测设备搬运、操作流程、检测人员需求、单根桩检测时间四个维度,对比三种检测方法。低应变反射波法最便捷,设备轻便,3名检测人员就能操作,人工可搬运设备。操作流程简单,仅需固定传感器、激振、采集信号三步。单根桩检测平均25分钟,无需额外施工准备,可随时检测,适合现场快速普查。超声波透射法便捷性中等,设备较复杂,要4名人员配合,需小型叉车搬运。操作流程繁琐,要预埋、清理声测管,注水后采集分析信号。单根桩检测平均80分钟,检测时要控制换能器移动速度和同步性,对人员操作熟练度要求高。钻芯法最繁琐,设备庞大,需6名以上人员配合,用大型起重机和叉车搬运。操作流程复杂,要定位、钻芯、切割芯样、试验等。单根桩检测平均12小时,钻芯时要实时监控,避免钻头和芯样损坏,对人员专业技能要求最高。

### 3.4 检测成本对比分析

检测成本含设备购置、人工、耗材、现场施工成本,以桩长30m、桩径1.2m计算三种方法单根桩检测成本。低应变反射波法成本最低,约800元,设备购置分摊200元,人工400元,耗材100元,无额外施工成本,适合大规模普查控成本。超声波透射法成本中等,约2200元,设备购置分摊300元,人工800元,耗材200元,声测管预埋施工900元,预埋声测管致成本增加,适合重要桩基精细检测。钻芯法成本最高,约8500元,设备购置分摊1500元,人工4000元,耗材1000元,现场施工2000元,设备损耗和芯样试验增加成本,仅适合缺陷复核和重要桩基验收。

### 3.5 适用场景综合分析

结合三种检测方法的检测精度、操作便捷性、检测成本,结合实际工程需求,对其适用场景进行综合分析,为工程实践提供参考。低应变反射波法,凭借便捷、高效、低成本的优势,适用于桥梁桩基完整性的普查检测,尤

其适合中小型桥梁、大批量桩基的快速检测,可快速排查出桩身严重缺陷(如断桩),为后续检测和处理提供方向,但不适用于大直径、长桩及深部轻微缺陷的检测,也不适用于重要桩基的验收检测<sup>[4]</sup>。超声波透射法,凭借高精度、缺陷定位准的优势,适用于大直径、长桩、重要桥梁桩基的精细化检测,尤其适合对桩基质量要求较高的市政桥梁、高速公路桥梁,可精准识别各类桩身缺陷,为桩基质量验收提供可靠依据,但不适用于未预埋声测管的桩基,且不适合大批量桩基的快速普查。钻芯法,凭借结果真实、可信度高的优势,适用于对无损检测结果存在争议的桩基、重要桥梁桩基的验收检测,以及桩身缺陷的复核检测,可直接验证桩身混凝土强度和完整性,但由于其破坏性、高成本、低效率的特点,不适用于大批量桩基的普查检测,仅作为补充检测方法使用。

### 结束语

本次对比实验全面剖析了低应变反射波法、超声波透射法、钻芯法在桥梁桩基完整性检测中的特性。结果表明,三种方法各有适用场景,低应变反射波法适合普查,超声波透射法用于精细化检测,钻芯法用于复核与验收。实际工程中,应根据桩基特点、检测需求和成本等因素,综合考量并合理选用检测方法,以保障桥梁桩基质量与桥梁安全。

### 参考文献

- [1]黄立杰.公路桥梁桩基完整性检测技术创新运用研究[J].运输经理世界,2025(32):77-79.
- [2]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.
- [3]孙维.基于多手段结合的桥梁桩基完整性检测研究[J].工程技术研究,2024,9(22):167-169.
- [4]邹子乐.桥梁桩基完整性检测中声波透射法的改进应用[J].工程技术研究,2025,10(21):38-40.