



T/CECS G××××: 20××

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

公路既有桥梁基桩无损检测技术规程

Technical specification for non-destructive testing of existing Bridges'
foundation piles

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

公路既有桥梁基桩无损检测技术规程

Technical specification for non-destructive testing of existing Bridges'
foundation piles

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2024 年××月××日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2021年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2021]20号）的要求，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司承担《公路既有桥梁基桩无损检测技术规程》（以下简称“本规程”）的制定工作。

编写组在广泛调研国内既有基桩无损检测项目的基础上，根据我国公路既有桥梁基桩无损检测发展需要，凝练总结了既有基桩完整性无损检测的先进经验和科技成果，完成了本规程的编制工作。

本规程共分11章和2个附录，主要内容包括：1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 跨孔弹性波CT法、5 旁孔地震波法、6 旁孔磁测法、7 双速度法、8 桩侧应力波测试法、9 旁孔雷达法、10 单桩承载力静载试验、11 检测报告、附录A 单桩静载试验记录表、附录B 桩侧应力波测试法检测现场记录表。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程是基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组。中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路8号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或闫海涛（地址：湖北省武汉市经济技术开发区立业路18号；邮编：430056；电话：13971352089；传真：027-84214153；电子邮箱：58989162@qq.com），以便修订时研用。

主 编 单 位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

参 编 单 位：中国地质大学（武汉）

北京同度工程物探技术有限公司

武汉市城市道路桥隧事务中心

河南省交通科学技术研究院有限公司

河南省杰翱地球物理工程检测有限公司

中路高科交通检测检验认证有限公司

广东盛翔交通工程检测有限公司

厦门市交通建设工程检测有限公司

招商局重庆交通科研设计院有限公司

中冶武勘工程咨询（湖北）有限公司

主 编：闫海涛

主要参编人员：赵永贵 蒋 辉 朱培民 栗金营 徐公权 叶 辉
张 超 陈 彬 余世杰 谭 谦 张 龙 骆 俊
杨永龙 苏 利 江茂盛 何惟煌 黄 伟 贾学明
陈 迪 李志强 姚占伟 郑 燕

主 审：赵尚传

参加审查人员：刘铁 王景贤 杨文锋 胡锋 杨麟峰 周正茂 赵春风

参 加 人 员：张晓林

目次

1 总则.....	- 1 -
2 术语和符号.....	- 2 -
2.1 术语.....	- 2 -
2.2 符号.....	- 3 -
3 基本规定.....	- 4 -
3.1 一般规定.....	- 4 -
3.2 检测方法.....	- 4 -
3.3 检测内容.....	- 5 -
3.4 仪器设备.....	- 6 -
4 跨孔弹性波 CT 法.....	- 7 -
4.1 一般规定.....	- 7 -
4.2 仪器设备.....	- 7 -
4.3 现场检测.....	- 8 -
4.4 数据分析.....	- 9 -
5 旁孔地震波法.....	- 11 -
5.1 一般规定.....	- 11 -
5.2 仪器设备.....	- 11 -
5.3 现场检测.....	- 12 -
5.4 数据分析.....	- 13 -
6 旁孔磁测法.....	- 14 -
6.1 一般规定.....	- 14 -
6.2 仪器设备.....	- 14 -
6.3 现场检测.....	- 14 -
6.4 数据分析.....	- 16 -
7 双速度法.....	- 17 -
7.1 一般规定.....	- 17 -
7.2 仪器设备.....	- 17 -
7.3 现场检测.....	- 18 -

7.4 数据分析.....	- 19 -
8 桩侧应力波测试法.....	- 22 -
8.1 一般规定.....	- 22 -
8.2 仪器设备.....	- 22 -
8.3 现场检测.....	- 23 -
8.4 数据分析.....	- 23 -
9 钻孔雷达法.....	- 26 -
9.1 一般规定.....	- 26 -
9.2 仪器设备.....	- 26 -
9.3 现场检测.....	- 26 -
9.4 数据分析.....	- 27 -
10 单桩承载力静载试验.....	- 29 -
10.1 一般规定.....	- 29 -
10.2 仪器设备.....	- 29 -
10.3 现场检测.....	- 29 -
10.4 数据分析.....	- 30 -
11 检测报告.....	- 31 -
11.1 一般规定.....	- 31 -
11.2 报告编写.....	- 31 -
附录 A 单桩静载试验记录表.....	- 33 -
附录 B 桩侧应力波测试法检测现场记录表.....	- 34 -
本标准用词说明.....	- 35 -

1 总则

1.0.1 为满足公路工程建设和运营维护需要，规范公路既有桥梁基桩无损检测工作，保证检测质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路工程既有桥梁基桩桩长、桩身完整性及承载力检测。

1.0.3 基桩检测方法应综合考虑地质条件、桩型、施工工艺等因素选定。

1.0.4 公路既有桥梁基桩检测应遵循技术先进、安全适用、评价正确的原则。

1.0.5 公路既有桥梁基桩检测除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩,包括混凝土灌注桩、预制桩及其他类型的刚性桩。

2.1.2 既有桥梁基桩 foundation pile of existing bridge

已有上部结构的桥梁基桩。

2.1.3 无损检测 nondestructive testing

在不破坏被检基桩完整性、安全性及承载力的前提下,通过各种检测技术手段,对基桩进行非破坏性测试和分析。

2.1.4 桩身完整性 pile integrity

反映桩身长度和截面尺寸相对变化、桩身材料密实性和连续性综合状况的定性指标。

2.1.5 桩身缺陷 pile defects

桩身断裂、裂缝、缩颈、夹泥(杂物)、空洞、蜂窝、松散等现象的统称。

2.1.6 竖向抗压静载试验 static load test

在桩顶部逐级施加竖向压力,观测桩顶部随时间产生的沉降,以确定相应的单桩竖向抗压承载力的试验方法。

2.1.7 跨孔弹性波 CT 法 cross-hole elastic wave computerized tomography

通过在桩基两侧钻孔中激发和接收弹性波,反演计算基桩内部弹性波速,以实现对其桩长、完整性进行探测的物探方法。

2.1.8 旁孔磁测法 parallel magnetic method

通过在桩外侧钻孔,测试钢筋笼的磁性参数,分析和判断钢筋笼长度或埋深位置的检测方法。

2.1.9 旁孔地震波法 parallel seismic test

通过在桩侧或承台顶部激振,同时在桩侧附近与桩身轴线平行的钻孔中测量激振脉冲的初至时间和幅度沿孔深的变化情况,从而分析得到桩长和桩身完整性的检测方法。

2.1.10 应力波测试法 pile strain test

通过在桩侧面布置阵列式检波器,同时在桩侧面阵列式检波器上方或下方激振,测量根据入射、反射波和相速度的变化情况,从而分析得到桩长和桩身完整性的检测方法,简称 PST 法。

2.1.11 道间距 group interval

相邻两道检波器的间距。

2.1.12 偏移距 minimum offset

激振点到最近检波器之间的距离。

2.1.13 扭转波 torsional wave

通过在桩体上施加扭矩或扭力来激发，产生的一种沿着桩体旋转传播的波动形式。

2.1.14 弯曲波 flexural wave

基桩竖向受到偏心激振作用下，在桩身产生弯曲运动并向周围空间辐射并传播的波。

2.1.15 钻孔雷达法 Drilling radar method

在桩基础旁竖向钻孔，将探地雷达探头置入探孔内，匀速上升或下降扫描桩基础，通过对雷达扫描结果的分析桩基础长度等信息。

2.2 符号

D_x ——桩顶在桩端平面投影位置与测试孔之间的水平距离；

H_g ——首波到达时间-深度曲线拐点对应的深度；

V_P ——桩身混凝土的纵波波速；

V_c ——桩端土的平均纵波波速；

V_R ——桩体面波波速；

V_S ——桩身混凝土的横波。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 检测前应现场调查周边环境及桥梁结构形式，并应收集与检测工作相关的工程勘察资料、设计文件、施工记录及检测资料等。

3.1.2 检测前应制定检测方案，检测方案宜包括下列内容：

- 1 检测目的；
- 2 检测内容；
- 3 检测方法/设备选择；
- 4 人员设备安排；
- 5 质量保障措施。

3.1.3 当用单一检测方法对桩身完整性类别评判存疑时，应结合其他测试方法进行综合评判。

3.1.4 检测完成后，应对试验数据进行分析，结合勘察、设计和施工资料计算单桩承载力和基桩长度或分析基桩完整性，并应出具检测报告。

3.1.5 采用旁孔或跨孔的检测方法时，测试孔应符合下列规定：

- 1 测试孔周围存在软弱土层时，宜在测试孔中设置聚氟乙烯（PVC）管护孔；
- 2 测试孔或 PVC 管应保持畅通，井下传感器应能在全程范围内升降顺畅，PVC 管口高出地面（或水面）不宜小于 500 mm；
- 3 测试孔测试中心线应平行于桩身中心线，并尽量远离临近的桩；
- 4 测试孔垂直度偏差不应大于 0.5%；
- 5 测试孔深度大于 30 m 时，应进行垂直度测量，测量误差不应大于 0.01°。

3.1.6 既有基桩桩身完整性的分类原则应符合表 3.1.6 的规定。

表 3.1.6 既有基桩桩身完整性分类原则

桩身完整性	分类原则
I类桩	桩身完整，无缺陷
II类桩	桩身基本完整，有轻度缺陷，不会影响基桩承载力
III类桩	桩身有明显缺陷，对基桩承载力有影响
IV类桩	桩身有严重缺陷，基桩承载力严重折减

3.2 检测方法

3.2.1 基桩检测应根据检测目的、检测方法的适应性、桩基的设计条件、成桩工艺等，按

表 3.2.1 选择检测方法。

表 3.2.1 检测方法选用一览表

检测方法	检测项目				
	桩长	完整性	缺陷位置	竖向抗压极限承载力	钢筋笼长度
单桩静载试验	—	—	—	√	—
弹性波 CT 法	√	√	√	—	—
旁孔透射波法	√	√	—	—	—
双速度法	—	√	—	—	—
桩侧应力波测试法	√	√	√	—	—
旁孔磁测法	—	—	—	—	√
旁孔雷达法	√	√	√	—	—

注：√为可选用方法；—为不可用方法。

3.2.2 桩长和桩身完整性检测宜采用两种或两种以上检测方法进行相互补充、验证。

3.3 检测内容

3.3.1 当存在下列情况时，宜对桩身完整性进行检测：

- 1 桥墩周围地质条件发生变化的基桩；
- 2 桥墩受外力撞击的基桩；
- 3 改扩建需要利用的基桩；
- 4 受地震或其他地质灾害的基桩；
- 5 其他认为需要检测的基桩。

3.3.2 当存在下列情况时，应增加检测数量：

- 1 场地地质条件复杂，或存在深厚软弱土层；
- 2 采用挤土桩，且挤土效应明显；
- 3 对桩基施工质量有疑问；
- 4 采用新桩型、新工艺；
- 5 单桩承载要求较高的市政基础设施工程。

3.3.3 当基桩周边地质环境发生变化时，宜对桥梁基桩的承载力进行检测。

条文说明

既有桥梁周边地质环境可能因临近建筑工程的修建、基坑开挖、水力冲刷或边坡处置发生变化，也可能因地下水位的变化造成与施工时计算承载力的环境发生很大变化。

3.4 仪器设备

3.4.1 既有基桩检测所用仪器设备的主要技术性能应符合相关规定，并具有良好的现场显示记录和存储功能。

3.4.2 检测仪器设备应根据有关规定进行量值溯源，合格且在有效果期内使用。

3.4.3 仪器设备在检测前应进行调试，确认正常后使用。

征求意见稿

4 跨孔弹性波 CT 法

4.1 一般规定

4.1.1 跨孔弹性波 CT 法宜用于检测桩长和桩身完整性。

4.1.2 跨孔弹性波 CT 可分为跨孔声波 CT 和跨孔地震波 CT。

条文说明

声波频率高, 能量较小, 衰减较快, 适用于基桩直径小、钻孔间距较小的基桩检测; 地震波频率较低, 能量大, 衰减较慢, 适于基桩直径较大、孔间距较大的基桩检测。

4.1.3 应遵循内外业同步进行、内业指导外业的原则, 现场应及时对资料进行初步整理和解释。如果发现原始资料有可疑之处或论述解释结论不够充分时, 应作必要的外业补充工作。

4.1.4 资料的解释与推断应充分结合物探工作范围内的地质、设计和施工资料, 在反复对比分析中, 总结和分析各种异常现象, 得出较为准确的结论。

4.2 仪器设备

4.2.1 跨孔弹性波 CT 仪器系统宜包括发射系统、接收系统、主机系统。

4.2.2 跨孔声波 CT 声波仪应符合下列规定:

- 1 最小采样间隔不大于 $0.1\ \mu\text{s}$ 。
- 2 采样长度不小于 512 样点/道, 且可选。
- 3 触发方式宜有内、外、信号、稳态等方式。
- 4 频带宽为 $10\ \text{Hz} \sim 200\ \text{kHz}$ 。
- 5 声时测量精度为 $\pm 0.1\ \mu\text{s}$ 。
- 6 发射电压为 $100\ \text{V} \sim 1000\ \text{V}$ 。
- 7 发射脉宽为 $1\ \mu\text{s} \sim 500\ \mu\text{s}$, 并可选。

4.2.3 跨孔声波 CT 接收系统应符合下列规定:

- 1 声波换能器转换灵敏度不宜小于 $1000\ \mu\text{V} / \text{Pa}$ 。
- 2 水密性不应小于 $1\ \text{MPa}$ 。

4.2.4 跨孔地震波 CT 地震仪应符合下列规定:

- 1 宜选用 12 道或 24 道浅层数字地震仪, 且应具有信号增强、延时、内外触发、前置放大、滤波等功能。
- 2 采样间隔可选, 最小采样间隔不应大于 $0.05\ \text{ms}$ 。

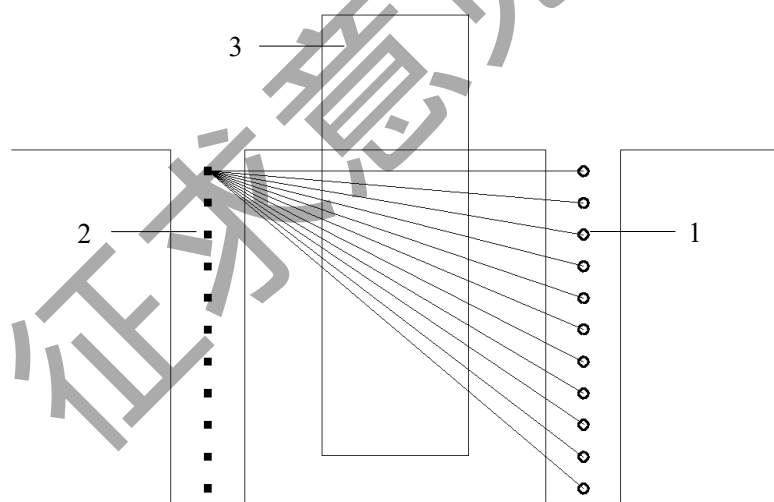
- 3 记录长度不小于 1024 样点/道，且可选。
- 4 A/D 转换精度不小于 24 位。
- 5 动态范围不小于 96 dB。
- 6 通频带为 2Hz~2000 Hz。
- 7 放大器内部噪声不大于 $1\mu V$ 。

4.2.5 跨孔地震波 CT 接收系统应符合下列规定：

- 1 各道检波器之间固有频率相差应小于 10%，灵敏度相差应小于 10%，相位差应小于 1ms。
- 2 绝缘电阻不小于 $10M\Omega$ 。
- 3 孔中使用的检波器，应有良好的防水性能。

4.3 现场检测

4.3.1 跨孔弹性波 CT 法现场检测宜按照图 4.3.1 所示，在钻孔内设置发射、接收系统。



1 发射点 2 接收点 3 桥墩

图 4.3.1 跨孔弹性波 CT 法检测示意图

4.3.2 发射点间距不宜大于 20 cm，道间距不宜大于 20 cm。有异常情况下，应加密发射间距或道间距。

4.3.3 钻孔距离基桩外侧 1 m 以内，孔径不宜大于 90 mm，钻孔深度应大于设计桩长 3 m，两个钻孔连线宜通过桩中心。

4.3.4 钻孔完成后，应测量钻孔距离桩侧最短距离。

4.3.5 观测系统布置应符合下列要求：

1 应充分利用被探测区域周边的激发与接收条件,采用一发多收的扇形观测系统,保持射线分布均匀,交叉角度不宜超过 45° 。

2 发射点和接收点应超过设计桩长 1 m 。

3 跨孔声波 CT 观测宜以定点扇形扫描方式为主,水平同步和斜同步观测为辅。定点扫描观测的最大角度以不产生明显剖面外绕射为原则。

4 当发射点间距大于接收点间距时,宜采用两孔互换的观测方式,并保持一定数量的发射点与接收点互换。

4.3.6 测试孔除了应符合 3.1.5 条的规定外,还应符合下列要求:

1 在钻孔中进行跨孔地震波 CT 或跨孔声波 CT 宜选择孔壁相对完整的孔作为接收孔;

2 当采用爆炸震源进行孔间地震波 CT 时,激发孔应设置 PVC 管护壁,防止孔壁坍塌;

3 当激发与接收距离较远时,应选用高能量激发装置或具有前置放大功能的接收探头或高灵敏度检波器接收;

4 钻孔内使用多道接收时,相邻排列重复不应少于 1 道。

4.3.7 观测、重复观测应符合下列要求:

1 读数时应选择合适的衰减挡或增益,使振幅适当,并使初至点或反射波清晰易读。测振幅时应保持测试条件不变,并读取同一相位振幅值,且注明所读相位;

2 采用间歇式发射时,应分析波形的初至或反射波、波形形态,选择初至及反射清晰、波形稳定的信号;

3 对波形曲线剧变或测点跳变的测段,应采用叠加方式或加大发射能量进行重复测试,并用 3 次重复测试的平均值作为测试结果。对异常突变点应重复观测,在异常区内的测点应进行检查观测,收发互换观测资料可作为检查工作量;

4 旅行时或场强的单点重复观测相对误差 δ 应小于 3.5%,检查观测的均方相对误差 m 应小于 5%。

4.4 数据分析

4.4.1 数据处理分析应符合下列要求:

1 数据处理分析前,应作零点校正、孔斜校正、高差校正、偏移校正等;

2 应根据测量资料建立坐标系,将每条射线的激发点与接收点转换为成像剖面的二维坐标,并与相应的旅行时或场强资料形成数据文件;

3 跨孔弹性波 CT 应抽取共激发点道集,拾取初至时间,并宜交替采用共接收点道集、共激发点道集检查初至拾取的准确性;

4 应根据钻孔揭露的岩土层信息、桩身混凝土波速、设计桩长、钻孔位置等建立速度模型，确定单元和节点的形态和大小；

5 成像区域宜按正方形剖分，边长应等于激发点间距、接收点间距的最小值；

6 反演迭代次数应根据射线路径和图像形态的稳定程度确定，也可根据相邻两次迭代的图像数据方差确定；

7 应计算出每条射线的平均速度或平均吸收系数，并分别显示出各个同步和定点相应的参数曲线，初步判定异常位置和反演参数的变化范围。

4.4.2 资料解释应符合下列要求：

1 解释时应通过综合资料，充分考虑地质情况和探测结果的内在联系与可能存在的干扰因素；

2 应根据射线疏密程度确定高速区或低速区、高吸收区或低吸收区的位置和规模，并按CT图像参数的变化梯度确定异常范围、延伸方向；

3 应根据CT图像速度或吸收系数的分布规律，结合被测区域的地层岩性、地质结构等进行地质推断解释。

4 跨孔弹性波CT剖面中速度偏小20%以上，则判定为低速异常；

4.4.3 根据桩身低速异常区占桩身比例，可将桩分为四类，判定应按以下原则进行判定：

1 低速异常区占桩身10%以下的为I类桩；

2 低速异常区占桩身10%~20%的为II类桩；

3 低速异常区占桩身20%~30%的为III类桩；

4 异常区占桩身30%以上的为IV类桩。

5 旁孔地震波法

5.1 一般规定

5.1.1 旁孔地震波法可用于检测既有桥梁非嵌岩桩的桩长及桩身完整性。

条文说明

旁孔地震波法是通过桩顶基础表面激振,在桩侧钻孔内接收信号,根据弹性波到达时间沿深度的变化关系来分析判断桩底深度和桩身质量,在桩顶不裸露的情况下也可以使用。

非嵌岩桩桩底以下多为承载力较低的软弱土地层,与基桩的弹性波速有明显差异,易于识别。嵌岩桩桩底以下多为承载力较好的基岩或卵砾石等地层,与混凝土的弹性波速差异较小,不宜分辨。

5.1.2 检测时宜在周边环境干扰较小的情况下进行,当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时,应停止检测。

5.2 仪器设备

5.2.1 测试系统应包括钢索、信号线、测绳三合一的专用铠甲电缆线、孔中传感器、波形显示记录器、数字记录器和其他专用附件。

5.2.2 钢索、信号线、测绳三合一的专用铠甲电缆线应符合下列要求:

- 1 可检测深度不宜小于 100 m , 深度分辨率不大于 10 mm ;
- 2 耐水压不小于 1 MPa 。

5.2.3 孔中换能器应符合下列要求:

- 1 自然频率范围宜为 $10\text{ Hz} \sim 100\text{ Hz}$;
- 2 灵敏度不宜小于 $250\text{ mV}/(\text{cmgs}^{-1})$;
- 3 阻尼系数宜为 $0.65 \sim 0.70$;

5.2.4 检测设备应符合下列要求:

- 1 放大器通频带应满足所采信号的频率范围要求,系统 A/D 转换器分辨率不宜小于 12 位,并满足宽动态范围的信号记录要求;
- 2 最小采样间隔不宜大于 $10\text{ }\mu\text{s}$;
- 3 采样长度应满足距离震源最远的通道采集信号长度的需求;
- 4 系统的触发误差、放大器相位误差不应大于 5 个采样间隔,累积误差不应大于 8 个采样间隔。

5.3 现场检测

5.3.1 旁孔地震波法仪器宜包括地面控制系统、孔中探头和连接电缆，如图 5.3.1 所示：

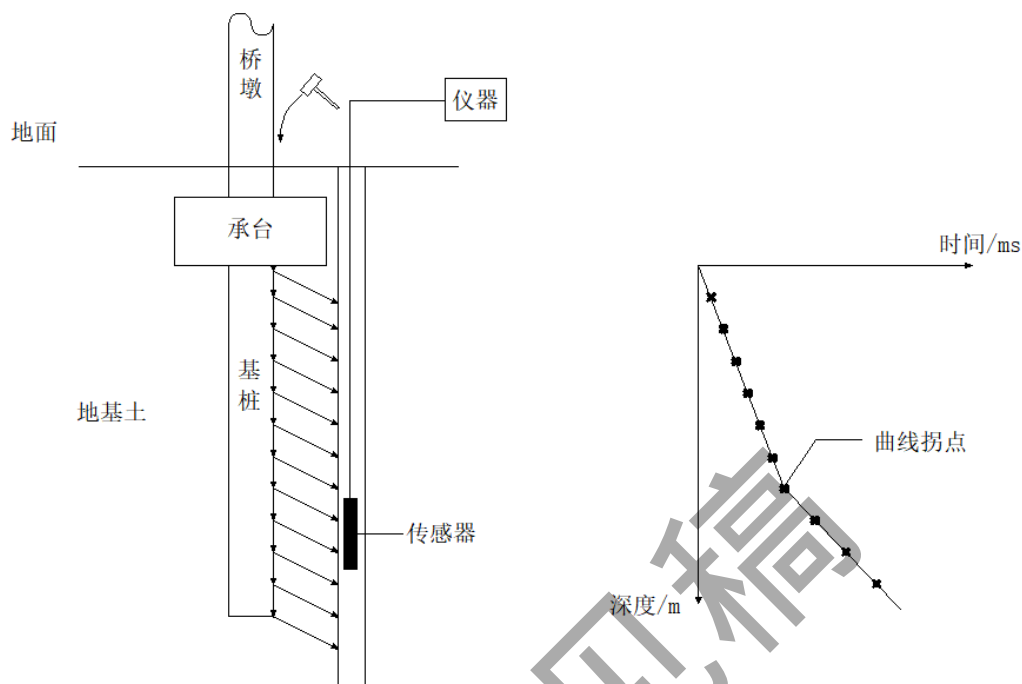


图 5.3.1 旁孔透射法检测法与时距曲线示意图

5.3.2 测试孔的布置除了应符合本规程 3.1.5 条的规定外，还应符合下列要求：

- 1 测试孔宜设置在距桩基外侧边缘不大于 2.0m 的岩土体中；
- 2 测试孔外径宜为 75 mm ~ 130 mm；
- 3 测试孔深度宜超过预估桩长 10 m；
- 4 宜采用内径不小于 50 mm 的专用测斜管；
- 5 测试前管内应注满清水。

5.3.3 现场检测宜符合下列要求：

- 1 传感器宜自下往上测试；
- 2 宜在墩柱侧面或承台面激发信号；
- 3 测点间距不应大于 20 cm；

4 在全孔采样中应每 10 个记录点观察一次各道波列，如发现初至时间后延点，测点间距应适当加密。

条文说明

现场检测在待测桩体邻近 1~2 米钻一个检测孔，孔深深于设计桩基底部约 10 米。通过粗钢钎(钢筋、工字钢)硬连接于桩板上或桩体上由锤击激发弹性波，当桩板覆盖较厚可钻孔至桩板，在桩板上直接激发弹性波；检波器置于检测孔中由从孔底由下而上到孔口(或从孔口由

上而下到孔底)每 0.2~1.0 米等间距接收一道弹性波记录，得到不同深度的弹性波记录集。

5.4 数据分析

5.4.1 被检桩的桩底埋深 H_p 可按下列公式判定；

$$H_p = \begin{cases} H_g & (D_x \leq 1m) \\ H_g - \frac{D_x \cdot V_c}{\sqrt{V_p^2 - V_c^2}} & (D_x > 1m) \end{cases} \tag{5.4.1}$$

式中：

- H_g ——首波到达时间-深度曲线拐点对应的深度（ m ）；
- D_x ——桩顶在桩端平面投影位置与测试孔之间的水平距离（ m ）；
- V_p ——桩身混凝土的纵波波速（ m/s ）；
- V_c ——桩端土的平均纵波波速（ m/s ）。

5.4.2 桩身完整性类别应根据波列图斜率变化、首波及波幅异常部位，并结合地质条件、桩型、成桩工艺等情况，按本规程表 5.4.2 进行综合判定。

表 5.4.2 桩身完整性判定原则

类别	时域波形特征	时域波幅特征
I	波列图中各测点首波波列图的斜率规则或基本规则	波列图中各测点波列图首波幅值对称，幅值正常
II	波列图中各测点首波波列图的斜率出现个别测点首波轻微延时，桩底波列拐点明显	波列图中各测点波列图首波幅值出现个别测点首波幅值略有降低
III	首波初至时间与波幅有明显异常，其他特征介于（I、II类）与IV类之间	首波初至时间与波幅有明显异常，其他特征介于（I、II类）与IV类之间
IV	波列图中各测点首波波列图斜率在某处有严重畸变，出现整段测点首波明显延时，桩底波列拐点不明显	波列图中测点波列图在某处首波幅值变化明显，首波幅值存在突变

6 旁孔磁测法

6.1 一般规定

6.1.1 旁孔磁测法可用于既有桥梁基桩的钢筋笼长度检测。当钢筋笼长度与桩长一致时，可用于判定桩长。

6.1.2 检测前应调查周围有无产生磁异常的影响因素，当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，应停止检测。

6.2 仪器设备

6.2.1 磁测桩检测仪应符合下列要求：

- 1 磁敏元件应为磁阻传感器，测量范围 $-99999\text{ nT} \sim +99999\text{ nT}$ ；
- 2 使用深度编码器自动记录深度，深度分辨率宜优于 5 cm ，深度误差宜小于 0.5 m ；
- 3 分辨率宜小于 50 nT ，精度宜优于 150 nT ；
- 4 传感器工作环境温度 $0^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ ；
- 5 数字输出刷新速度宜不小于 5 次/秒 ；
- 6 能实时对测试数据和曲线进行查看、平滑、倒序等处理；
- 7 井下设备应：适孔斜 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，耐压 $>1.5\text{ MPa}$ 。

6.2.2 磁场传感器应符合下列规定：

- 1 测量深度不宜小于 100 m ；
- 2 1.5 MPa 水压下不渗水。

6.3 现场检测

6.3.1 旁孔磁法仪器宜包括地面控制系统、孔中磁探头和连接电缆，如图 6.3.1 所示：

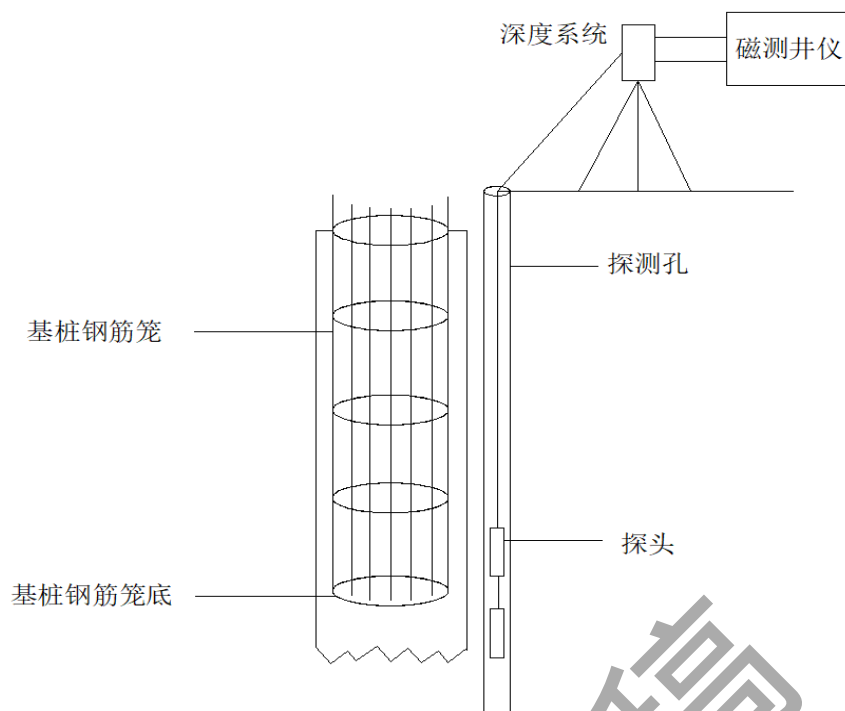


图 6.3.1 旁孔磁测法检测法示意图

6.3.2 测试孔的布置除了应符合本规程 3.1.5 条的规定外，还应符合下列要求：

- 1 测试孔宜设置在距受检桩外侧边缘不大于 0.5 m 的土(岩)中；
- 2 测试孔的倾角达到 2° 及以上时，宜重新布置检测孔；
- 3 测试孔内径不宜小于 75 mm ；
- 4 测试孔深度宜大于被检测桩钢筋笼设计深度 5.0 m 以上；
- 5 测试孔中及周围严禁有铁磁性物体存在。

6.3.3 现场检测步骤应符合下列规定：

1 将传感器放入测试孔或 PVC 管中，从下往上或从上往下进行磁场垂直分量(Z) 强度的测量；

2 传感器应匀速提升或下降且速度不宜大于 30 cm/s ，采样间距不宜大于 20 cm ；

3 现场应能记录并显示深度—磁场垂直分量($H-D$ 曲线及深度磁场垂直分量梯度($H-dZ/dH$)曲线；

4 当发现钢筋笼长度与设计长度不符时，应进行复测，进一步确定钢筋笼底的位置。

6.3.4 数据质量应符合下列规定：

- 1 实测曲线特征应能反应钢筋笼位置的特征；
- 2 重复探测曲线应具有良好的重复性、波形一致；
- 3 数据不应失真和零飘，幅值应正常。

6.4 数据分析

6.4.1 根据磁场实测垂直分量(Z)曲线下端平坦的 Z 值,结合本地区地磁图来判断磁场背景值 Z_g 。

6.4.2 当磁场垂直分量值(Z)明显低于或高于背景值 Z_g 时,可判定有钢筋笼存在。

6.4.3 根据上下(相连)两点的实测磁场垂直分量(Z)和测点距,可按下式计算磁场垂直分量梯度值 dZ/dH :

$$\frac{dZ}{dH} = \frac{Z_2 - Z_1}{\Delta h} \quad (6.4.3)$$

式中: dZ/dH —垂直磁场梯度值(nT/m) ;

Z_1 、 Z_2 —上下测点的实测磁场垂直分量强度值(nT);

Δh —上下测点的测点距(m)。

6.4.4 钢筋笼底端深度应根据实测深度—磁场垂直分量曲线,并结合深度—磁场垂直分量梯度曲线,进行综合判定。

1 根据深度—磁场垂直分量($H-Z$)曲线确定。取深度-磁场垂直分量($H-Z$)曲线下部小于背景场转成大于背景场的拐点(斜率最大处)对应的深度位置;

2 结合深度—磁场垂直分量梯度($H-dZ/dH$)曲线确定。取深度—磁场垂直分量梯度($H-dZ/dH$)曲线最深的明显极值点对应的深度位置。

6.4.5 判定基桩中钢筋笼长度,允许偏差为 $\pm 1.0m$ 。

6.4.6 钢筋笼长度检测结果评价,应给出每根受检桩的钢筋笼长度。

6.4.7 桩身钢筋笼长度应按下式计算:

$$h = h_1 - h_0 \quad (6.4.7)$$

式中: h —钢筋笼长度 (m) ;

h_1 —检测时桩顶面标高 (m) ;

h_0 —钢筋笼底面标高 (m) 。

7 双速度法

7.1 一般规定

7.1.1 双速度法可适用于检测既有桥梁基桩的桩身完整性。

7.1.2 桩身完整性检测结果评价应给出每根受检桩的完整性类别。

7.1.3 当采用水平集中力进行扭转波激励时，应采取措施消除基桩横向振动和纵向振动对信号的干扰影响。

7.1.4 对于既有基桩检测，当在桩身侧面激励时，并且满足下列条件时，上部结构的反射需考虑基桩顶部固接的作用，应将上部结构对激励或桩身缺陷的上行反射信号去除后进行完整性判定。

7.2 仪器设备

7.2.1 低应变扭转波采集系统应由传感器、信号传输线缆、双速度采集仪、激振设备等组成。

7.2.2 扭转波低应变采集仪主要性能指标应符合表 7.2.2 规定。

表 7.2.2 双速度采集仪主要性能指标

项目	指标		要求
信号测量系统	通道数目		≥2
	最低采样速度		≥500 kHz
	任意两通道一致性	幅值	≤1%
		延时	≤1%
	输出端噪音		<30 μV
	动态范围		> 120 db
存储系统	单通道采样点数		>1024 点

7.2.3 测量系统采用加速度传感器，加速度传感器的主要性能指标应符合表 7.2.3 规定，传感器应采用相同的规格和型号的产品，且性能指标应接近。

表 7.2.3 加速度传感器主要性能指标

项目	指标	要求
动态性能	灵敏度	$\geq 5 \text{ mV} / \text{ms}^{-2}$
	横向灵敏度	$\leq 5\%$
	频率范围	$1 \sim 10 \text{ kHz}$
	量程范围	$> 50 \text{ g}$
	幅值线性度	$\leq 1\%$
	安装谐振频率	$> 20 \text{ kHz}$
环境	最大承受冲击	$> 1000 \text{ g}$
	工作温度	$-20 \sim +50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

7.2.4 信号传输线缆宜采用低噪声同轴电缆，与传感器相连的线缆直径不宜大于 2 mm 。

7.2.5 激振设备包括能激发宽脉冲和窄脉冲的力锤、锤垫及激振块。

7.2.6 采集设备应具备多通道速度显示、频域分析和上下行波分离等功能。

7.3 现场检测

7.3.1 受检桩应符合下列规定：

- 1 桩头的材质、强度应于桩身相同，桩头部分的截面尺寸宜与桩身基本相同。
- 2 桩身四周应平整，桩头混凝土应密实。
- 3 桩身轴线应为直线，且桩顶平面应垂直于桩身轴线。

7.3.2 激振块应符合下列规定：

- 1 激振块宜为实心块状、金属材质，其三维方向尺寸应远小于激振波长，激振面应平滑；
- 2 激振块宜采用结构胶牢固固定于基桩桩顶或桩侧。
- 3 激振块的激振平面应通过桩身截面几何形心，且应平行于桩身轴线。

7.3.3 传感器的基桩安装面应平整，宜采用粘接方式固定于桩侧或桩顶。对于桩顶有法兰盘的预应力管桩，可采用磁性基座将传感器吸附在桩顶法兰盘上。

7.3.4 既有基桩的检测，激振块和传感器的安装如图 7.3.4 所示，并应符合下列规定：

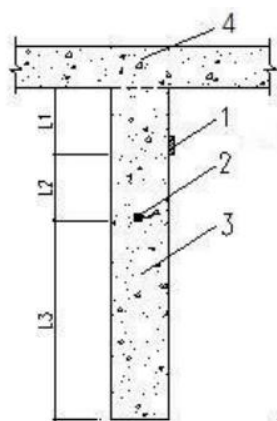
- 1 传感器安装位置以上的桩身截面应基本均匀且桩身无明显缺陷。
- 2 激振块宜安装在距桩顶不小于 1 倍的桩径的桩侧表面处。
- 3 传感器安装截面与激振块安装截面的间距不小于 1 倍桩径。
- 4 当需要分离上下行波时，应沿桩身轴线布设两个传感器安装截面，两个传感器安装截面间距 Δl 不宜小于 0.5 倍桩径，且两个传感器安装截面间隔应符合：

$$\frac{2\Delta l}{w_c} \geq 30t_u \quad (7.3.4)$$

式中： Δl ——两个传感器安装截面沿桩身轴线方向的间距，精确至 0.01 m；

w_c ——扭转波波速，精确至 1 m/s；

t_u ——仪器采样间隔，精确至 μs 。



1 激振座；2 传感器；3 基桩；4 基础（承台、筏板或基础梁等）

图 7.3.4 既有基桩激振块和传感器的安装示意图

7.3.5 激振操作应符合下列规定：

- 1 激振力方向应垂直于基桩轴线且平行于激振块激振平面的法向方向。
- 2 应通过现场敲击进行激振，选择合适重量的激振锤和软硬适宜的锤垫。

7.3.6 扭转波信号的采集和筛选应符合下列规定：

- 1 当同一截面安装两个传感器时，两个传感器采集的信号不应有相位差异，且信号应基本一致。
- 2 信号不应失真和产生零飘，信号幅值不应大于测量系统的量程。
- 3 每个测点记录的有效信号数不宜少于 3 个。

7.3.7 既有基桩检测时，测试信号应符合下列规定：

- 1 当存在传感器安装位置以上桩身阻抗变化引起的反射信号时，应调整激励点和速度传感器的安装位置。
- 2 当采集两个截面的扭转波信号时，两个速度信号波形应基本吻合且相位差异较小，峰值应基本成比例，若两个速度信号明显不吻合，应分析原因调整试验方案。

7.4 数据分析

7.4.1 当截面仅安装一只传感器测量时，截面的测量信号为该传感器采集的信号。

7.4.2 当测量截面安装两个传感器时，该截面的速度信号可按下式计算：

$$V = (V_i^1 - V_i^2) / 2 \quad (7.4.2)$$

式中： V_i ——测量截面 i 的速度信号；

V_i^1 ——测量截面 i 的通道 1 传感器采集的速度信号；

V_i^2 ——测量截面 i 的通道 2 传感器采集的速度信号。

7.4.3 桩身波速代表值可按下列方法确定：

1 当激振块和传感器安装在桩顶时，每种类型基桩应选择不少于 3 根有桩底反射的完好桩，根据桩底反射时间和桩长计算每根桩的波速，其平均波速为该批桩桩身波速代表值。

2 当有两个信号测量截面时，该根桩的桩身速度代表值按下式计算：

$$W_{ci} = \Delta L / \Delta t \quad (7.4.3-1)$$

式中： Δt ——速度波传播至 x_1 处和 x_2 测量截面的时间差，可以通过两个截面的速度信号的激励峰的时间差获得。

W_{ci} ——第 i 颗桩的桩身波速。

3 对于既有基桩，仅有一个信号测量截面时，该根桩的桩身速度代表值按下式计算：

$$W_{ci} = 2L_1 / \Delta t \quad (7.4.3-2)$$

式中： L_1 ——激振块安装截面至桩顶距离。

Δt ——上、下行激励脉冲传播至测量截面的时间差，可以通过截面的速度信号激励峰和负向激励峰间时间差获得。

7.4.4 当两个截面安装传感器测量速度时，可按下式计算上下行波函数：

$$V_1(t) = V_1u(t) + V_1d(t) \quad (7.4.4-1)$$

$$V_2(t) = V_2u(t) + V_2d(t) \quad (7.4.4-2)$$

$$V_1u(t) = V_2u(t - (x_2 - x_1) / W_c) \quad (7.4.4-3)$$

$$V_1d(t) = V_2d(t + (x_2 - x_1) / W_c) \quad (7.4.4-4)$$

式中： V_1u 、 V_1d ——第 1 个测量截面速度上行波和下行波。

V_2u 、 V_2d ——第 2 个测量截面速度上行波和下行波。

x_1 、 x_2 ——第 1 个和第 2 个测量截面距离桩顶距离。

7.4.5 对于既有基桩，当满足 3.1.4 条时，可根据下式消除上部结构的反射。

$$V = V'(t) - \delta V'(t - 2L_1 / W_c) \quad (7.4.5-1)$$

$$V_1 = V'(t) - \delta V'(t - 2L_1 / W_c) \quad (7.4.5-2)$$

式中： V 、 V_u ——某测量截面速度波和上行波。

V' 、 V'_u —某测量截面消除上部结构反射后速度波和上行波。

δ —上部结构反射系数，可根据首个激励峰和负向激励峰间幅值比确定。

7.4.6 实测信号应能够进行合理解读，桩身完整性类别判定时，应排除地层影响，结合桩型施工工艺及上部结构的反射规律的等情况，对信号特征进行综合判别。

表 7.4.6 桩身完整性判定

类别	单速度	上行波
I	2L/C 时刻前除上部结构对激励的反射外，无明显反射	2L/C 时刻前，无明显反射
II	2L/C 时刻前除上部结构对 2L/C 时刻前，存在轻微缺陷反激励的反射外，存在轻微缺陷反射	2L/C 时刻前，存在轻微缺陷反射
III	有明显缺陷反射，其特征介于 II 类和 III 类之间	有明显缺陷反射，其特征介于 II 类和 III 类之间
IV	2L/C 时刻前除上部结构对激励的反射外，存在严重的缺陷反射或重复反射	2L/C 时刻前，存在严重的缺陷反射或重复反射

7.4.7 桩身缺陷位置应按式计算确定

$$X = \frac{1}{2000} \times \Delta t_x \times W_c \quad (7.4.7)$$

式中：X—第一个测量截面至缺陷位置；

Δt_x —速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差（ms）。

7.4.8 检测报告应包括下列内容：

- 1 每个通道的速度信号曲线，采用行波分离时给出上行波信号曲线；
- 2 激励距离上部结构的距离，激励位置和传感器安装位置的距离；
- 3 实测的波速；
- 4 时域信号时段所对应的桩身长度标尺、指数或线性放大范围及倍数；
- 5 桩身完整性描述、缺陷位置及桩身完整性类别。

8 桩侧应力波测试法

8.1 一般规定

8.1.1 桩侧应力波测试法（PST）适用于检测桥梁既有桩基的桩长及桩身完整性，判定桩身缺陷的位置、范围和程度。

8.1.2 成桥桩应力波测试前应调查盖梁高度、系梁埋深位置等桥梁结构信息。

条文说明

公路桥梁一般采用双柱墩，通过系梁、盖梁连接。应力波测试时，系梁、盖梁等结构物都会产生应力波反射信号。调查桥梁结构信息，有助于数据处理时区分桥梁结构反射和缺陷反射。

8.2 仪器设备

8.2.1 包括测试主机、检波器串和应力波激振源。

8.2.2 测试主机应符合下列规定：

- 1 实时显示和记录接收信号；
- 2 最小采样时间间隔应不小于 0.002ms，A/D 转换器不应小于 16 位；
- 3 仪器通道数不宜少于 16 通道；
- 4 具有能够被激振源触发的能力。

条文说明

1 激发源激发的子波频率及检波器串的中心频率应覆盖声波范围；
2 激发源应该有足够的能量，入射波的能量与散射波、反射波的能量成正比；
3 常规的成桥桩检测不涉水或少量涉水可以应用普通检波器串，水压较大的环境宜换用专业水听器。

8.2.3 检波器串应符合下列规定：

- 1 频率响应范围宜采用 20Hz~5kHz；
- 2 检波器串通道数宜采用 16 通道；
- 3 检波器的道间距宜采用 10cm；
- 4 检波器应能在水深 2m 内正常工作；
- 5 检测位置的水深大于 2m 时宜换用水听器。

8.2.4 应力波激振源应符合下列规定：

- 1 激发的弹性波频率应在 20Hz~10kHz 范围内；
- 2 激发的冲击力不宜小于 500N。

8.3 现场检测

8.3.1 PST 检测法现场检测系统如图：

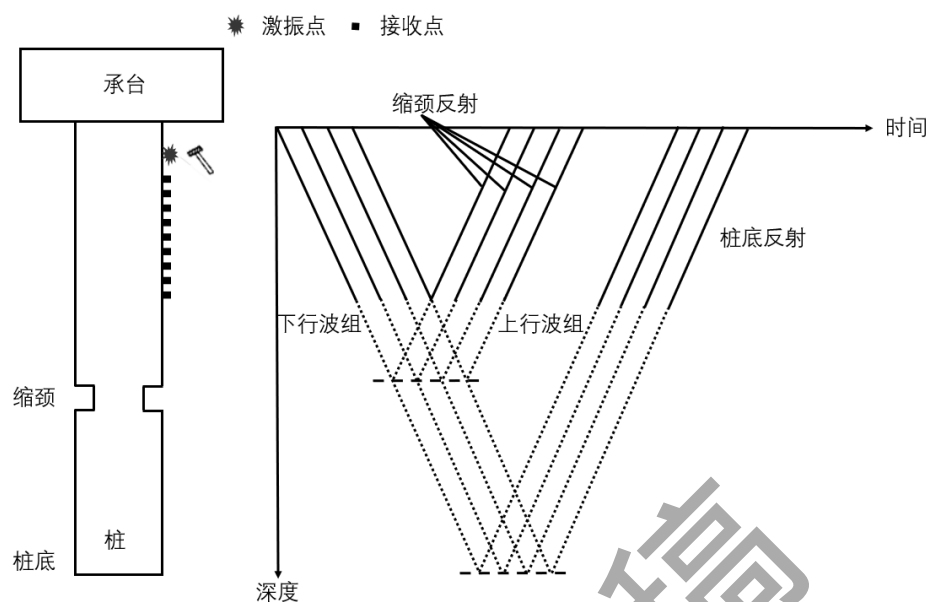


图 8.3.1 PST 检测法现场检测示意图

8.3.2 PST 检测法适合于可在桩身侧面竖向 1.2-1.6m 范围内布置检波器串的既有桩基检测。

8.3.3 PST 检测法现场检测工作应符合下列规定：

- 1 排列中激发点与接收点呈垂直布置，平行于桩身；
- 2 排列布设中道间距宜为 0.1m，偏移距（即激发点与最近的一个检波器之间的距离）宜为 1m；
- 3 被检桩宜按方向在桩侧分别布设 4 个排列，每个排列采集存储 5 组有效信号，所采集的波形要求初至清晰、波形正常。

8.3.4 采集器的参数设置应符合下列规定：

- 1 采集参数设定宜为 500 kHz 采样率；
- 2 采样时长不小于 100 ms。

8.3.5 检波器串的布设应符合下列规定：

- 1 检波器应与混凝土表面保持紧密贴合；
- 2 检测部位混凝土表面应清洁、平整；
- 3 应避免声波、过往车辆造成的振动等干扰。

8.4 数据分析

8.4.1 按下列原则在偏移图像中判定桩底界面位置，确定桩长：

- 1 偏移图像中代表桩底界面的反射条纹清晰，能量较强；
- 2 在同一根桩在不同方向上的排列的偏移图像中，桩底界面的标定位置比较接近；
- 3 参考设计资料，桩长与设计的深度相近。

条文说明

PST 检测最重要的成果是偏移图像。在偏移图像中，系梁的反射条纹能量最强，桩底反射次之。

8.4.2 可按下列原则在偏移图像中对结构损伤与缺陷进行判定：

- 1 反射界面的颜色，宜用红色表示波阻抗从低变高，蓝色表示波阻抗从高变低；
- 2 在桩底与系梁标定位置之间出现反射能量较强的条纹，能量强于桩底反射；
- 3 在同一根桩的检测成果图中，至少有两个相邻排列的偏移图像中出现相同的反射条纹，其标定位置和能量一致；
- 4 2/3 的剖面都有反射面的，认定为断桩；
- 5 反射界面中蓝色可表示缩颈、露筋病害；
- 6 参考地质勘察资料，位置接近的桩，在相同的埋深上都存在反射条纹，能量相近，则可判定为这个反射条纹为地层界面。

条文说明

缺陷（包括前期施工缺陷，及后期桩基受各种因素影响导致的损伤）是工程解释的重点与难点。缺陷具有局部特性，发育的形状、位置和范围存在差异，可以针对某个排列进行解释。缺陷的判定可基于以下两个特征：首先，相比于桩底反射，缺陷反射界面的能量较强；其次，同一根桩至少有两个相邻测线的偏移图像中同一范围内存在反射界面。桩体缺陷与连接结构为波阻抗变化部位，外界激励时，该部位相当于二次震源，可发生反射/散射。截面变化越大、缺陷越大，反射/散射能量越强，频率越低反射/散射波的走时与缺陷的位置有关，距离越远，走时越长。强度、频率和走时是缺陷解释的三大依据，可判断缺陷体的位置。

8.4.3 桩身完整性类别判定应按表 3.1.5 进行，并应符合下列规定：

- 1 桩身完整性类别按混凝土缺陷最不利类别确定；
- 2 当桩身多处存在 2 类或 3 类缺陷，或缺陷尺度超过 1m 时，桩身完整性类别可提高一个级别。

8.4.4 桩身完整性类别判定可按以下基本原则进行判定：

- 1 记录信号波形规整，信号幅值符合自由振动衰减规律。所有测面偏移图像中没有或只有一个测面出现轻微缺陷反射，且反射波能量较弱可判定为 I 类桩；
- 2 记录信号波形欠规整，信号幅值近于自由振动衰减规律。在同一位置有一个或多个测

面偏移图像中有缺陷反射,且在记录信号中能被追踪到反射波形,缺陷长度占桩长小于 10%,可判定为Ⅱ类桩;

3 记录信号波形不规整,不按自由振动衰减。所有侧面偏移图像中在同一位置均有强烈缺陷反射,且在记录信号中能被追踪到较强的反射波形,缺陷长度占桩长大于 10%,可判定为Ⅲ类桩;

4 记录信号波形极不规整,不符合自由振动衰减规律。所有侧面偏移图像中均有多个强烈的缺陷反射,且在记录信号中能被追踪到极强的反射波形,可判定为Ⅳ类桩。

征求意见稿

9 钻孔雷达法

9.1 一般规定

9.1.1 钻孔雷达法可适用于市政桥梁既有桩基的桩长及桩身缺陷。

9.1.2 检测前应调查周围有无电磁异常的干扰，当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，应停止检测。

9.2 仪器设备

9.2.1 测试仪器设备应用条件应符合下列规定：

- 1 功率反射系数应大于 0.01；
- 2 在探测深度或探测距离范围内，其天线尺寸应满足探测分辨率的要求；
- 3 测区内不应存在大范围金属构件，或者通过处理可以消除其干扰；
- 4 场地不应存在高导电屏蔽层；
- 5 探测时，钻孔中不得有金属套管。

9.2.2 使用的仪器主要技术性能指标应符合下列规定：

- 1 应具有多种实时监测显示方式；
- 2 应具有信号叠加功能；
- 3 系统增益不应小于 150dB，计时误差不应大于 1.0ns。

9.3 现场检测

9.3.1 钻孔地质雷达法检测系统如图：

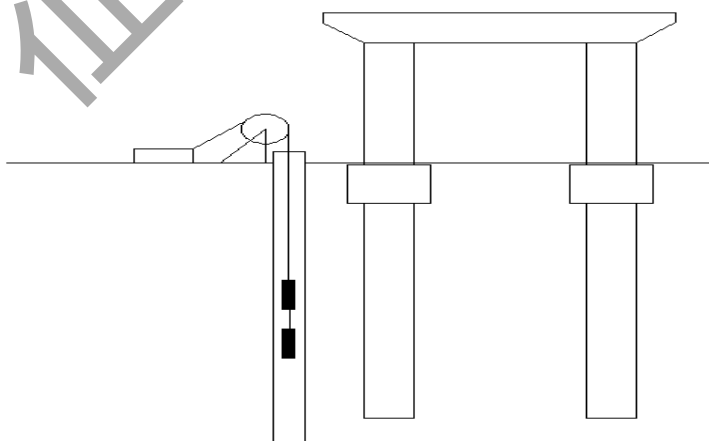


图 9.3.1 钻孔地质雷达法检测示意图

9.3.2 布设方案应根据探测目标体埋深和规模、地质条件、地球物理条件、天线类型，通过现场试验确定。

9.3.3 钻孔雷达法应通过现场试验，了解测区内有效波和干扰波的分布规律，确定采样率、记录时窗、发射电压等系统采集参数。

9.3.4 钻孔雷达法应根据试验结果，结合探测深度及分辨率要求，选择中心频率天线。当多个频率的天线均能满足探测深度要求时，应选择相对较高频率的天线。

9.3.5 钻孔探测宜取波长的 $1/4$ 作为垂向分辨率，取第一菲涅尔带半径作为横向分辨率。

9.3.6 孔中雷达数据采集应符合下列规定：

1 工作前应按试验结果，设置仪器工作参数，并可根据现场条件测试介电常数、推测电磁波速度；

2 探测条件复杂时，应选择两种或两种以上不同中心频率的天线分别测试，相互对比探测结果；

3 现场工作时，可根据干扰情况、雷达图像效果，及时调整采样率和记录时窗；

4 连续测量时的天线移动速度应均匀，并与仪器的扫描率相匹配；使用分离天线测量时，应通过调整天线距离使来自目标体的反射信号最强；天线取向宜使其极化方向与目标体长轴或走向平行；

5 测试中应详细记录干扰影响或异常点位置，重点异常区应重复观测，重复性较差应查明原因；

6 使用测量轮时，在测试之前应进行标定；测试过程中宜按规定进行标注校对。

9.3.7 成果资料处理应符合下列规定：

1 预处理应进行桩号校正，删除无用道，增益调整时曲线不得出现拐点；

2 消除背景干扰可采用带通滤波、小波分析、点平均、道平均方法；

3 突出反射波边界拐点可使用反褶积、小波分析方法；

4 压制多次反射波可使用反褶积方法，反褶积的反射子波宜采用最小相位子波；

5 在确定无同倾角的有效层状反射波时，可采用 F-K 倾角滤波法消除倾斜层干扰波；

6 可采用时间偏移或深度偏移方法消除叠加干扰，深度偏移宜使用实测的电磁波速度；

7 当信噪比较低时，不宜进行反褶积、偏移归位。

9.4 数据分析

9.4.1 资料解释应符合下列规定：

1 参与解释的雷达图像应清晰；

2 应根据地质情况、电性特征、被探测目标体的性质和规模进行综合分析；

3 反射法应识别和剔除干扰，通过对雷达反射波波形、能量强度、初始相位等特征识别和分析，确定异常的性质和范围；

4 透射法可根据图像有无能量阴影，或有无二次波叠加特征判断异常，也可采用阴影交汇、二次波形态及发射和接收相对位置进行定量解释；

5 成果图应包括钻孔雷达测点布置图、雷达剖面图像、成果解释剖面图。

9.4.2 资料解释判定可以依照下表进行判定：

表 9.4.2 成果解释对照表

目标体名称	单道波形	时距剖面图	频谱特性
空洞	界面处开始多次震动、振幅大、周期短，反射波相位与入射波相同。	界面处反射信号强烈，同相轴形状与空洞的大小、形状有关，较小时通常为双曲线波形特征。	频带较宽，频率成分丰富，谱峰较多主频接近天线中心频率。
离析	界面处开始多次震动、振幅较大、周期较短、反射波相位与入射波反相。	界面处反射信号较强，同相轴形状与离析的大小、形状有关，较小时通常为双曲线状。离析较大且不规则时，波形杂乱，振幅不均匀变化，同相轴不连续，呈不规则团块状。	频带较宽，频率成分丰富，谱峰较多，主频接近天线中心频率，衰减较快。
夹泥	界面处开始多次反射、振幅较大、周期较长，反射波相位与入射波反相。	与离析的特征基本一致。	频带位于低频段，谱峰较多，主频低且小于天线中心频率，衰减较快。
钢筋	振幅大，反射波相位极性反转	界面处反射信号强烈，呈典型双曲线状，曲率较大，两翼延伸短，弧顶反射最强，振幅最大。	频率成分较单一、高频成分急剧衰减。

10 单桩承载力静载试验

10.1 一般规定

10.1.1 既有桥梁基桩承载力检测可采用单桩竖向抗压静载试验法。

条文说明

在无特殊说明的情况下，结合地质条件，可采用单桩竖向抗压静载试验法测试既有桥梁基桩承载力。

10.1.2 单桩静载试验宜在上部既有结构可拆除的情况下进行试验。

10.1.3 单桩竖向抗压静载试验应符合《公路工程基桩检测技术规程》（JTG/T 3512—2020）的有关规定。

10.1.4 基桩静载荷试验前应检测桩身完整性。

10.2 仪器设备

10.2.1 单桩竖向抗压静载试验检测仪器设备宜包括加载装置、反力装置、荷载测量装置、变形测量装置等。

10.2.2 试验宜采用两台及两台以上千斤顶加载时，应并联同步工作。

10.2.3 加载反力装置可根据现场条件选择锚桩横梁反力装置、压重平台反力装置、锚桩压重联合反力装置。

10.2.4 沉降测量宜采用位移传感器或大量程百分表。

10.3 现场检测

10.3.1 检测单柱式桥墩基桩承载力时，千斤顶宜安放在桥梁支座上。

10.3.2 检测双柱式桥墩基桩承载力时，宜同时检测同一盖梁下两根基桩，检测千斤顶宜分别安放在盖梁各支座上。

10.3.3 竖向抗压静载试验宜采用慢速维持荷载法。

10.3.4 试验加、卸载方式应采用逐级等量分级进行，每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的 $\pm 10\%$ 。

10.3.5 当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 被检桩在某级荷载作用下的沉降量大于前一级荷载沉降量的 5 倍，且桩顶总沉降量大于 40mm。

2 被检桩在某级荷载作用下的沉降量大于前一级的 2 倍且经 24h 尚未稳定，同时桩顶总沉降量大于 40mm。

3 荷载-沉降曲线呈缓变型时，可加载至桩顶总沉降量 60~80mm；当桩长超过 40m 或被

检桩为钢桩时，宜考虑桩身压缩变形，可加载至桩顶总沉降量超过 80mm。

4桥墩出现明显破坏现象。

10.3.6 检测数据宜按本规程附录 A 的格式记录。

10.4 数据分析

10.4.1 确定单桩竖向抗压承载力时，应绘制竖向荷载-沉降（ $Q-s$ ）、沉降-时间对数（ $s-lg t$ ）曲线，需要时也可绘制其他辅助分析所需曲线。

10.4.2 单桩竖向抗压极限承载力应符合《公路工程基桩检测技术规程》（JTG/T 3512—2020）并应计算桥梁上部结构及桥墩自重影响。

10.4.3 计算双柱式桥墩单桩竖向抗压承载力时，宜整体计算双桩共同承载力，再平均换算单桩承载力。

条文说明

公路桥梁以双柱式桥墩居多，双柱通过系梁和盖梁连接在一起，若想单独检测某一根基桩的承载力，不拆除系梁和盖梁很难实现。因此，本规程提出综合检测两根基桩的承载力再平均换算单桩承载力的方法。

11 检测报告

11.1 一般规定

11.1.1 原始数据、影像等资料应真实、完整、无涂改，位置标记应具体明确，作业记录应具备可追溯性。

11.1.2 检测报告应用词规范、文字简练、结论明确。

11.1.3 报告签署程序记录应完备。

11.1.4 报告应满足附档存储和移交要求。

11.2 报告编写

11.2.1 检测报告应有文字部分和检测图表组成。

11.2.2 既有桥梁基桩检测成果宜与以往检测结果进行对比分析。

11.2.3 检测报告文字部分宜包括下列内容：

1 检测要求，工程名称、地点，项目概况、建设、勘察、设计、监理及施工单位，设计相关要求；

2 工程地质概况，检测目的，检测依据，检测数量，成（沉）桩日期，检测日期，检测方法，检测原理、检测仪器设备；

3 被检桩的检测数据与实测曲线，计算结果和汇总结果；

4 检测内容与检测结论。

11.2.4 检测报告图表部分宜包括下列内容：

1 被检桩的桩位图、桩型、混凝土强度等级、截面尺寸、桩长、桩号、桩位、桩顶高程；

2 被检桩桩位对应的地质钻孔柱状图；

3 被检桩的等级检测结果、检测基桩的统计情况等资料表。

条文说明

成果图件包括检测现场照片，基桩外观缺陷等。

11.2.5 跨孔弹性波 CT 法检测除应符合本规程第 11.2.1 ~11.2.4 条规定外，还应包括下列内容：

1 图件宜包括 CT 图像、射线分布图、CT 解释成果图，如有其他相关测试资料时，应绘制相应的成果图；

2 CT 图像可以采用等值线、灰度、色谱等图示方法，图像可按等差分级，为了突出异常，也可采用变差分级；

3 CT 图像宜采用伪彩色色块、等值线方式;

4 同一工区应采用相同的色谱、色标。

11.2.6 旁孔地震波法检测报告除应符合本规程第 11.2.1~11.2.4 条规定外,还应包括下列内容:

1 受检桩桩位与测试孔位位置图;

2 受检桩透射波波形——深度波列图;

3 当测试孔深度大于 30m 时,应提供测试孔垂直度测量结果。

11.2.7 旁孔磁测法的检测报告除应符合本规程第 11.2.1~11.2.4 条规定外,宜包括下列内容:

1 被检桩设计钢筋笼长度、钻孔位置及深度;

2 每根受检桩的实测深度-磁场垂直分量(H-Z)曲线(深度-磁场垂直分量梯度(H-dZ/dH));

3 每根受检桩的钢筋笼底端深度和长度及与检测内容相应的检测结论。

11.2.8 单桩承载力静载试验检测报告除应符合本规程第 11.2.1~11.2.4 节规定外,还应包括下列内容:

1 被检桩的尺寸、材料强度、配筋情况;

2 加、卸载方法,荷载分级表;

3 竖向荷载-沉降 ($Q-s$)、沉降-时间对数 ($s-\lg t$) 曲线,其他辅助分析所需曲线;

4 单桩竖向抗压承载力确定的依据;

5 被检桩为灌注桩时,宜提供被检桩成孔检测结果。

附录 A 单桩静载试验记录表

表A 单桩竖向静载试验检测记录表

工程名称			委托/任务编号			样品名称					
桩 号			试验依据			试验日期					
主要仪器设备及编号											
加 载 级	油压（MPa）	荷载 （kN）	观测时间	位移计（百分表）读数（mm）					本 级 沉 降 （mm）	累 计 沉 降 （mm）	备 注
				1#	2#	3#	4#	平均值			

检测： 记录： 复核： 日期：

附录 B 桩侧应力波测试法检测现场记录表

表B.1.桩侧应力波测试法检测现场记录表

桩号	检测面编号	文件名	检波器数量	排列顺序	参考点	炮点距参考点距离	炮点与接收点位置关系	偏移距

检测：

记录：

复核：

日期：

征求意见稿

本标准用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《×××××》(×××)的有关规定”。

3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规程第 x 章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应符合本规程第×.×.×条的有关规定”或“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。