

基桩质量检测技术体系®

(V1.17)



2014-07-08 初稿

2021-11-30 第 13 次修订

2021-12-20 第 14 次修订

2023-07-03 第 15 次修订

四川升拓检测技术股份有限公司

www.scentralit.com

目录

第 1 章 概述	5
第 2 章 新设桩基低应变法完整性检测	5
2.1 测试的意义	5
2.2 桩基检测技术概述	6
2.2.1 桩基检测现状	6
2.2.2 桩基检测中存在的问题	7
2.3 低应变反射波法	7
2.3.1 低应变法概述	7
2.3.2 桩身弹性波的传播理论基础	8
2.3.3 桩基完整性测试原理	8
2.3.4 波长与检测分辨力的关系	9
2.3.5 波长与有效检测深度的关系	9
2.4 行业检测规程的解读与探讨	9
2.4.1 测试对象	9
2.4.2 测试设备要求	10
2.4.3 测试数量和比例	10
2.4.4 现场检测	10
2.4.5 数据分析与判定	11
2.5 提高检测精度的方法	11
2.5.1 影响检测精度的主要因素	11
2.5.2 提高测试精度的主要方法	11
2.6 灌注桩实例分析	12
2.6.1 基于特征线法的桩身特性反演	12
2.6.2 工程实例分析（验证基桩，成都，2019.05）	12
2.6.3 现场验证（深圳，2019.07）	12
2.6.4 工程应用中的注意事项	13
2.7 中空薄壁桩柱长度检测	13
2.7.1 铁路架线柱基础长度检测（广西、2013）	13
2.7.2 铁路拉线柱基础长度检测（湖南、2015.09）	14
2.7.3 管桩长度检测（安徽、2021.07）	14
2.7.4 管桩长度检测（安徽、2021.11）	15
2.8 特点和检测流程	16
2.8.1 低应变检测法的局限	16
2.8.2 公司检测设备的特点	16
第 3 章 现役桩基检测技术	17
3.2 测试的意义	17
3.3 现役桩基无损检测方法和原理	17
3.3.1 激振与信号接收	17
3.3.2 研究及技术现状	18
3.3.3 本系统开发方法	18

3.4	提高检测精度的方法	18
3.3.1	影响检测精度的主要因素	18
3.3.2	提高激振信号的品质	18
3.3.3	降低承台反射信号的影响	18
3.3.4	振动模态分析	18
3.5	工程应用例	19
3.5.1	长基桩侧壁激振试验（天津，2012）	19
3.5.2	桥墩下基桩缺陷检测（山西，2019）	19
3.5.3	涵洞下基桩缺陷检测（成都，2020.12）	20
3.6	特点和检测流程	21
3.6.2	公司检测设备的特点	21
第4章	跨孔声波透射法	21
4.2	声波透射法检测技术原理	21
4.2.1	声波透射法检测原理	21
4.2.2	声波透射法基本参量	21
4.3	声波透射法现场检测方法	22
4.3.1	声测管	22
4.3.2	测线布置	23
4.4	声波透射法结果判定方法	23
4.4.1	波速判定	23
4.4.2	波幅判定	24
4.4.3	频率及波形畸变判定	24
4.4.4	PSD 值判定	24
4.4.5	各判定参数的特点分析	24
4.4.6	综合判定	25
4.5	现行规程比对和解读	25
4.5.1	适用范围	25
4.5.2	管距修正	26
4.5.3	波速临界值的取值	26
4.5.4	基桩分级	26
4.5.5	现有检测方法的主要问题	26
4.6	3D 声波透射法	26
4.7	声波透射法自动解析	27
4.7.1	系统功能	28
4.7.2	架构及功能	28
4.7.3	算法原理	29
4.7.4	精度验证	29
4.7.5	系统特点	29
4.8	声波透射法数据防伪	29
4.8.1	意义	29
4.8.2	重要性	30
4.8.3	桩长及信息防伪	30
4.8.5	系统特点	30
4.9	工程应用例	31

基桩质量检测技术体系

4.9.1 FH 高速铁路基桩完整性检测（安徽阜阳、2022.11）	31
结语及致谢	31
技术支持	32



第 1 章 概述

桩基工程除因受岩土工程条件、基础与结构设计、桩土体系相互作用、施工以及专业技术水平和经验等关联因素的影响而具有复杂性外，桩的施工还具有高度的隐蔽性，发现质量问题难，事故处理更难。因此，桩基检测工作是整个桩基工程中不可缺少的重要环节，只有提高桩基检测工作的质量和检测评定结果的可靠性，才能真正做到确保桩基工程质量与安全。

其中，在检测桩基的完整性检测方面，目前最常用的有以下两种方法：基于冲击弹性波的低应变检测技术；跨孔声波透射法。

为此，我们历时多年开发了桩基检测技术体系。该体系以低应变反射波法和跨孔声波透射法为基础，不仅可以检测新设桩基，还可以检测在役桩基、码头支柱以及高桥墩等柱状结构，具有测试效率高、可靠性好等特点。

该技术体系的检测内容主要包括：

- 1) 新设桩基（桩头露出）的长度、完整性（缺陷程度及位置范围）
- 2) 在役桩基（有承台）的长度、完整性



桩基检测仪 SRB-MATS

第 2 章 新设桩基低应变法完整性检测

2.1 测试的意义

在各类结构建筑物中的质量问题和重大质量事故多与基础结构工程质量有关，其中有不少是由于桩基工程的质量问题，而直接危及主体结构的正常使用与安全。我国每年

的用桩量超过数百万根，其中沿海地区和长江中下游软土地区占比尤其突出。如此大的用桩量，如何保证质量，一直倍受建设、施工、设计、勘察、监理各方以及建设行政主管部门的关注。桩基工程除因受岩土工程条件、基础与结构设计、桩土体系相互作用、施工以及专业技术水平和经验等关联因素的影响而具有复杂性外，桩的施工还具有高度的隐蔽性，发现质量问题难，事故处理更难。因此，桩基检测工作是整个桩基工程中不可缺少的重要环节，只有提高桩基检测工作的质量和检测评定结果的可靠性，才能真正做到确保桩基工程质量与安全。

2.2 桩基检测技术概述

2.2.1 桩基检测现状

近年来，为加强基础结构工程桩基动力检测的管理，统一检测方法及技术规定，确保检测分析成果的质量，我国先后制定了《公路工程桩基动测技术规程》JTG/T F81-01-2004，《港口工程桩基动力检测规程》JTJ249-2001，《港口工程桩基静载荷试验规程》JTJ255-2002，《建筑桩基检测技术规范》JGJ106—2014、《铁路工程桩基检测技术规程》TB10218-2008等。

目前，桩基质量检测的两项重要内容主要为桩基的承载力检测和桩身完整性检测。其中桩基承载力检测主要方法有单桩竖向抗压（拔）静载试验、单桩水平静载试验、高应变动测法，桩身完整性检测方法主要有低应变反射波法、高应变动测法、声波透射法、孔内成像法、取芯法等。

单桩竖向抗压（拔）静载试验方法是确定单桩竖向抗压（拔）极限承载力，判定工程桩竖向抗压（拔）承载力是否满足设计要求。

单桩水平静载试验是确定单桩水平临界和极限承载力，判定工程桩水平承载力是否满足设计要求以及确定浅层地基土水平抗力系数的比例系数，以便分析工程桩在水平荷载作用下的受力特性。

高应变动测法主要分析桩侧和桩端土阻力，推算单桩轴向抗压极限承载力，检测桩身缺陷位置、类型及影响程度，判定桩身完整性类别，试打桩及打桩应力监测。

开挖目视法一次开挖可对基桩的长度、缺陷、以及地质条件清楚的了解，但由于工作量大、成本高、对结构破坏性大，不能广泛使用，适用检测范围非常有限；另一方面，处于港口、码头、河流等水下基桩该方法根本无法使用。

低应变反射波法是通过分析实测桩顶速度响应信号的特征检测桩身完整性，判定桩身缺陷位置及影响程度，判断桩端嵌固情况以及完整性类别。

声波透射法是通过预埋在桩身的声测管，用声测换能器的发射和接收，测出被测混凝土介质的声学参数，分析声测管之间混凝土的缺陷位置及影响程度，判定桩身完整性

类别；还可利用桩身钻孔取芯检测取芯孔周围混凝土的缺陷及影响程度。

孔内成像法是在桩基上钻孔，放入 CCD 摄像机对孔壁摄像，进而判断桩基损伤的有无和部位。该方法比较直观，测试精度高，但仍然需要在桩头部位进行测试，并且需要钻孔。

取芯法是利用钻孔取芯机械设备，直接对桩身钻孔取芯，检测混凝土灌注桩的桩长、桩身混凝土的强度，桩底沉渣厚度和桩身完整性，判定或鉴别桩端持力层岩土性状。

2.2.2 桩基检测中存在的问题

目前，国内有关桩基检测的标准虽已形成初步系列，但这些标准只针对一类检测方法单独制定，有关设计规范对桩基检测的规定比较原则，主要侧重于为桩基设计提供依据。

2.3 低应变反射波法

2.3.1 低应变法概述

近二三十年来，桩基无损检测，以动测为主其他方法为辅已成为桩基检测的主要发展趋势。国内外利用冲击弹性波以及振动等媒质，研究开发了一系列针对桩身质量的测试方法（PIT: Pile Integrity Test），取得了巨大的成果。

其中，采用低能量瞬态或稳态激振方式在桩顶激振，对桩身完整性进行判定的检测方法最为常用。由于产生的桩体应变一般小于 0.01‰，桩-土系统处于弹性状态，故称为“低应变法”。常用的方法有动力参数法、锤击贯入试桩法、水电效应法、机械阻抗法、共振法、反射波法等。

据建设部所发工程桩动测单位资质证书的数量统计，上述各方法中，最为常用的是反射波法。该方法采用瞬态冲击方式，通过实测桩顶加速度或速度响应时域曲线，基于一维波动理论分析来判定基桩的桩身完整性，这种方法称之为反射波法（或瞬态时域分析法）。

所用动测仪器一般都具有傅立叶变换功能，可通过速度幅频曲线辅助分析判定桩身完整性，即所谓瞬态频域分析法；也有些动测仪器还具备实测锤击力并对其进行傅立叶变换的功能，进而得到导纳曲线，这称之为瞬态机械阻抗法。当然，采用稳态激振方式直接测得导纳曲线，则称之为稳态机械阻抗法。无论瞬态激振的时域分析还是瞬态或稳态激振的频域分析，只是习惯上从波动理论或振动理论两个不同角度去分析，数学上忽略截断和泄漏误差时，时域信号和频域信号可通过傅立叶变换建立对应关系。所以，当桩的边界和初始条件相同时，时域和频域分析结果应殊途同归。综上所述，考虑到目前国内使用方法的普遍程度和可操作性，可将上述方法合并统称为低应变（动测）法。

对于桩身不同类型的缺陷，低应变测试信号中主要反映出桩身阻抗减小的信息，缺

陷性质往往较难区分。例如，混凝土灌注桩出现的缩颈与局部松散、夹泥、空洞等，只凭测试信号就很难区分。因此，对缺陷类型进行判定，应结合地质、施工情况综合分析，或采取钻芯、声波透射等其他方法。

由于受桩周土约束、激振能量、桩身材料阻尼和桩身截面阻抗变化等因素的影响，应力波从桩顶传至桩底再从桩底反射回桩顶的传播为一能量和幅值逐渐衰减过程。若桩过长（或长径比较大）或桩身截面阻抗多变或变幅较大，往往应力波尚未反射回桩顶甚至尚未传到桩底，其能量已完全衰减或提前反射，致使仪器测不到桩底反射信号，而无法评定整根桩的完整性。在我国，若排除其他条件差异而只考虑各地区地质条件差异时，桩的有效检测长度主要受桩土刚度比大小的制约。因各地提出的有效检测范围变化很大，如长径比 30~50。桩长 30~50m 不等，故难以规定有效检测长度的控制范围。具体工程的有效检测桩长，应通过现场试验，依据能否识别桩底反射信号，确定该方法是否适用。

对于最大有效检测深度小于实际桩长的超长桩检测，尽管测不到桩底反射信号，但若有效检测长度范围内存在缺陷，则实测信号中必有缺陷反射信号。因此，低应变方法仍可用于查明有效检测长度范围内是否存在缺陷。

此外，尽管利用实测曲线拟合法分析能给出容许承载力的定量结果，但由于桩的尺寸效应、测试系统的幅频相频响应，高频波的弥散、滤波等造成的实测波形畸变，以及桩侧土阻尼、土阻力和桩身阻尼的耦合影响，低应变法还不能达到精确定量容许承载力的程度。

2.3.2 桩身弹性波的传播理论基础

1) 边界条件要求

低应变法的理论基础以一维线弹性杆件模型为依据。因此受检桩的长细比、瞬态激励脉冲有效高频分量的波长与桩的横向尺寸之比均宜大于 5 倍设计桩身截面宜基本规则。另外，一维理论要求应力波在桩身中传播时平截面假设成立，所以，对薄壁钢管桩和类似于 H 型钢桩的异型桩，低应变方法基本不适用。

2) 弹性波沿一维杆轴线方向的传播理论

根据弹性力学的论述，利用锤击等方法激发的弹性波在基桩中的传播适用于一维杆轴线方向的弹性波传播理论。

2.3.3 基桩完整性测试原理

当弹性波遇到截面变化或者材质变化时（如桩底、断桩或严重离析等部位）或桩身截面积变化（如缩径或扩径）部位，其反映在机械阻抗（一般用 z 来表示材料的机械阻抗， $z = \rho CA$ ，这里的 A 是断面截面积）的变化。在机械阻抗发生变化的界面上，传播

的弹性波会产生波的反射和透过。

2.3.4 波长与检测分辨力的关系

在上一节的理论介绍中，振幅反射率等均与弹性波的频率（波长）无关。而实际上，低应变反射法对缺陷的检测能力与频率有着密切的关系。其原因在于，桩身缺陷除断桩等极端条件外，一般均非单纯的阻抗降低，而可以看成是一种夹层。

2.3.5 波长与有效检测深度的关系

决定桩基低应变反射法有效检测深度的因素，主要取决于信噪比。而提高信噪比的方法主要有增加激振力度、降低噪声、增强反射信号等方法。

2.4 行业检测规程的解读与探讨

目前，我国正在施行的桩基质量的检测规程主要有三个，即：

- [1] 中华人民共和国行业标准：建筑桩基检测技术规范（JGJ 106—2003，J 256—2003）[S]。中华人民共和国建设部，2003.07.01 实施。（下面简称建筑规范）
- [2] 中华人民共和国行业标准：铁路工程桩基检测技术规程（TB10218-2008，J808-2008）[S]。中华人民共和国铁道部，2008.06.05 发布、2008.07.01 实施。（下面简称铁路规范）
- [3] 中华人民共和国行业标准：铁路工程桩基无损检测规程（TB10218-99）[S]。中华人民共和国铁道部，1999.03.02 发布、1999.06.01 实施。
- [4] 中华人民共和国行业标准：桩基动测仪（JG/T3055-1999）[S]。中华人民共和国建设部，1999.03.22 发布，1999.09.01 实施。（下面简称桩基动测仪）

在此，我们就这几个规程在测试对象、测试设备要求、抽检数量、分析方法以及质量判定等方面，结合我们的设备和测试经验进行比较、解读和探讨。

2.4.1 测试对象

桩基有多种类型，根据施工方法的不同，可分为预制桩和灌注桩两大类。其中，根据所用材料的不同，预制桩可分为混凝土桩（截面方形或圆形，桩径 300—500mm，一般工厂制单桩长为 12m，现场连接，可焊接接桩、法兰连接桩、硫磺胶泥接桩）、钢桩（H 型钢桩和钢管桩）和木桩三类。

2.4.2 测试设备要求

对于测试设备的要求，《桩基动测仪》根据性能，将检测仪分为三级。而其他两个

规程则在此基础上做了具体的要求。

2.4.3 测试数量和比例

测试数量和比例

建筑规范	铁路规范（铁路工程基桩无损检测规程）
(1) 柱下三桩或三桩以下承台抽检桩数不小于 1 根； (2) 设计等级为甲级，或成桩质量可靠性较低的灌注桩，抽检数量不少于总桩数的 30%，且不得少于 20 根，其它桩基工程的抽检数量不少于总桩数的 20%，且不得少于 10 根； (3) 地下水位以上终孔且持力层通过核验的人工挖孔桩、单节混凝土预制桩，不少于总桩数的 10% 且不应少于 10 根。 (4) 根据工程实际情况可适当增加。	(1) 基桩完整性检测数量应符合铁路工程设计和相关验收标准的要求； (2) 参考《铁路工程基桩无损检测规程》，对于大跨度桥梁的基桩、直径不小于 1.5m 的基桩，同一墩台基桩数量不超过 2 根时，应全数检测； (3) 抽检数量不少于总桩数的 30%，且不得少于 10 根； (4) 当检测不合格的桩数大于抽测数的 30%，应加倍抽测；当加倍抽测后不合格的桩数仍大于抽测数的 30% 时，应全部检测；

2.4.4 现场检测

有关传感器的安装、激振点布点以及激振方式的选取等，请参见下表。

现场检测

项目	建筑规范	铁路规范
传感器的安装	(1) 与桩顶面垂直； (2) 用耦合剂粘结时，应具有足够的粘结强度。	(1) 与桩顶面垂直； (2) 可用黄油、橡皮泥、石膏等材料作为耦合剂粘。
激振点的位置	(1) 实心桩的激振点位置应选在桩中心，传感器宜安装在距桩中心 2/3 半径处； (2) 空心桩的激振点与传感器宜在同一水平面上，且与桩中心连线形成 90° 角，且安装位置宜在桩壁厚 1/2 处（图 2-4-1）； (3) 激振点及传感器的安装位置均应避开钢筋笼的主筋影响。	
激振方向	沿桩轴线方向	
激振装置	应通过现场敲击试验，选择适合重	应根据缺陷所在位置的深浅，及时

	量的激振锤和锤垫。宜用宽脉冲获取桩底或桩身下部缺陷反射信号，宜用窄脉冲获取桩身上部缺陷反射信号	改变锤击脉冲的宽度。当检测长桩的桩底反射信息或深部缺陷时，冲击入射波脉冲应较宽，反之应较窄。
信号采集和筛选	<ol style="list-style-type: none"> 1) 根据桩径大小，桩心对称布置2~4个测点； 2) 每个测点记录的有效信号数不宜少于3个； 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 桩径 $D \leq 0.8\text{m}$，布置2个测点； 2) 桩径 $0.8 < D \leq 1.25\text{m}$，布置3个测点； 3) 桩径 $1.25 \leq D < 2.0\text{m}$，布置4个测点； 4) 每个测点重复检测次数不宜少于3次，且检测波形应具有良好的一致性。信号干扰大时，可采用信号增强技术和多次平均的方式来提高信噪比；

2.4.5 数据分析与判定

两个规范对数据分析与判定的要求基本相同：桩身波速平均值的确定、桩身缺陷位置 x 、桩的完整性判定。

桩身完整性应结合缺陷出现的深度、测试信号衰减特性以及设计桩型、成桩工艺、地质条件、施工情况、混凝土波速，依据测试时域特征、幅频特征进行综合分析判定。

2.5 提高检测精度的方法

2.5.1 影响检测精度的主要因素

综上所述，影响基桩完整性检测精度的主要因素有：激振信号的质量、速度信号和加速度信号。

2.5.2 提高测试精度的主要方法

针对所述影响测试精度的主要因素，对提高测试精度是必要的：提高激振信号的质量；加速度、速度双模的分析方法；反射信号的提取精度的提高；降低噪声。

2.6 灌注桩实例分析

2.6.1 基于特征线法的桩身特性反演

特征线表示了距离~时间轴上弹性波传播的轨迹。其中，实线为脉冲上升沿的传播轨迹，虚线为脉冲波结束时刻发出的卸载波的传播轨迹。利用特征线法，可以计算出不同桩身状态下反射信号的组合。

2.6.2 工程实例分析（验证基桩，成都，2019.05）

对某灌注基桩（摩擦桩，桩径 0.8m，桩长约 13.6m），先用跨孔超声进行了详细的缺陷检测案例，然后用低应变设备进行了检测，传感器布置位置位于声测管附近，并与其他厂商的设备进行了对比。



对象基桩

通过对比测试，可以得出：

- 1) 根据对同一位置检测的原始波形来看，我公司检测设备的检测波形与厂家 1 的设备相近，并无太大差异；
- 2) 从信号处理结果方面，我公司设备采用了 BPF+区段增幅、信号匹配、TAR 等信号处理技术，对缺陷及桩底的识别能力更明显。

2.6.3 现场验证（深圳，2019.07）

受国家某检测中心邀请，对深圳某在建居住小区桩基的长度及完整性进行检测，被检测的基桩的桩基为 1.0m，设计桩长为桩长分别为 27m 及 37m。基桩类型为端承摩擦桩、端承抗拔桩，桩身混凝土设计强度为 C40。

为了更准确的检测桩长及桩身缺陷深度，检测前对已取芯样进行波速标定，波速标定及桩长检测方法为单一反射法。标定波速为 3.92KM/S，并以此为基准对基桩长度及完整性进行检测，并对检测结果进行取芯验证。

取芯验证结果表明，该设备及技术对基桩长度及完整性检测结果准确度高，稳定可

靠，得到相关单位的高度评价。



波速标定及现场检测场景

本次共检测基桩数量为 42 根，根据检测结果发现其中 4 根基桩桩身出现严重缺陷，并按照规范进行检测。

根据检测结果，初测和复测的检测波形稳定，初测和复测结果重复性好。为了验证检测结果的准确性。

2.6.4 工程应用中的注意事项

不容忽视的是，低应变反射法在工程检测中常常受到诟病，在重要的桥梁基础的检测中有被声波透射法取代的趋势。当然，造成这种局面的主要原因在于检测精度达不到要求。另一方面，低应变反射法的优越性仍然无法被取代，因此，如何提高低应变反射法的检测精度和信赖性是当务之急。

2.7 中空薄壁桩柱长度检测

对于中空薄壁管、柱，由于比表面积小，使得弹性波信号衰减大，底部反射信号弱。同时，由于内空会造成对激振声响的共鸣，进一步增加了检测的难度。

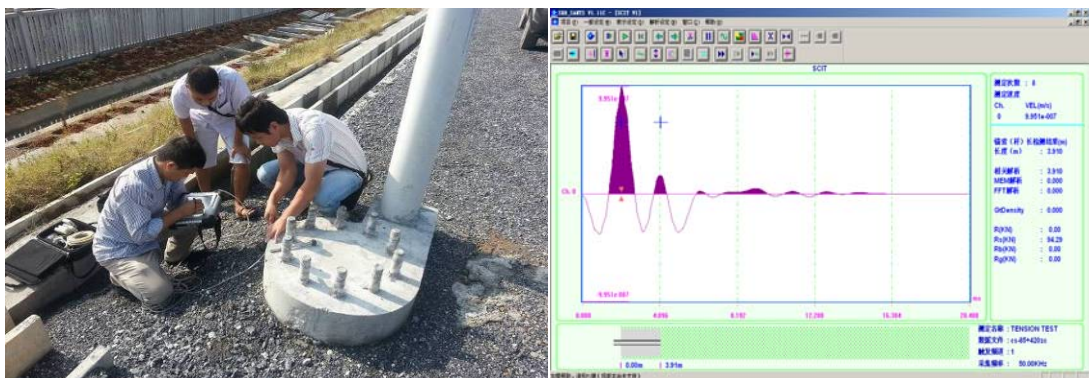
2.7.1 铁路架线柱基础长度检测（广西、2013）

应某铁路局邀请，我们对铁路架线柱的基础长度进行了检测。架线柱设计深度为 4m，测试部位直径为 0.7m，设计强度为 C25。

1) 弹性波波速标定

对于桩头有外露高度的基桩可以采用冲击回波法进行标定。经标定，架线柱基础弹性波的波速为 3.86km/s，与经验值 3.76km/s 相符。

2) 基础埋深测试



测试情景及典型解析波形

本次测试的特点恰恰在于基础长细比小（仅有 5.6 左右），而且埋深较浅。委托方邀请了多家单位，均无法得到满意的结果。最后，本设备采用高频激振和信号匹配等方法圆满地完成了该项工作。

2.7.2 铁路拉线柱基础长度检测（湖南、2015.09）

应某铁路建设指挥部及相关单位的邀请，我们对铁路接触网的混凝土拉线基础深度进行测试。在此之前，相关单位利用小应变和雷达等检测手段已进行过测试，但测试结果较差。

1) 结构及计算用参数

该基础采用钢筋混凝土浇筑，由基础和承台两部分构成，混凝土强度设计为 C25。其中基础部分为直径约 0.7m 的圆柱体，设计深度为 2.4m；承台部分为边长 0.7m 的正方体组成，设计深度为 0.2m 左右，两部分一起浇筑。

根据混凝土强度等级，我们选取计算用弹性波波速为 3.60km/s。

2) 检测及验证结果

我公司检测人员同建设指挥部、监理、工务段、检测方、项目部及施工方一起进行了测试，测试采用 D17 锤，传感器采用专用耦合剂耦合。

对测试结果随机进行了开挖验证。测试结果与验证结果如下：

测试与开挖验证结果对比表

编号	测试深度 (m)	开挖实际深度 (m)	相对误差
yz	2.496	2.48	0.65%
6	1.501	1.55	-3.16%

2.7.3 管桩长度检测（安徽、2021.07）

应相关单位委托，对宁芜高速改扩建工程某合同段进行预制 PHC 管桩长度检测。施工时，将不同长度（9~13m）预制管桩采用静压方式打入软土路基，并在端头进行焊接

基桩质量检测技术体系

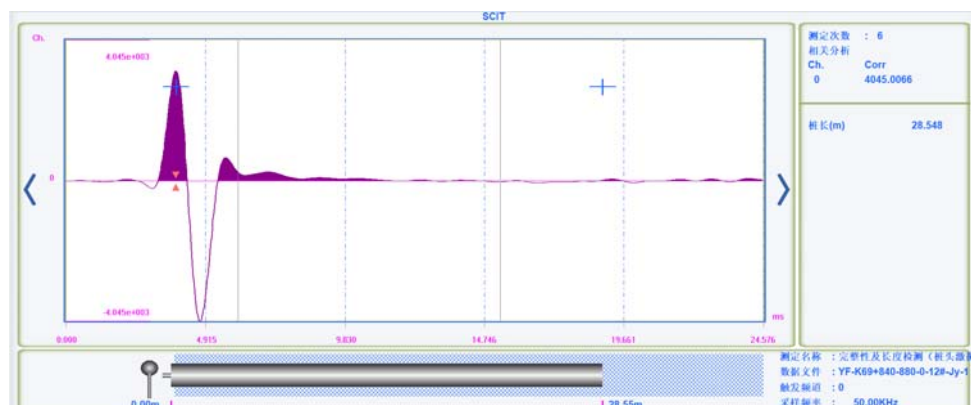
连接。预制桩砼强度 C80，桩径 400mm，壁厚 60mm，预应力主筋抗拉强度不低于 1420MPa。

1) 波速标定

对已压入的管桩进行波速标定。该管桩长度为 36m(从上到下配桩长度：13m+13m+10m)，标定得到的波速为 3.86km/s。

2) 典型测试结果

长度正常、异常的检测分析波形图参见下图。



管桩长度正常的检测结果图



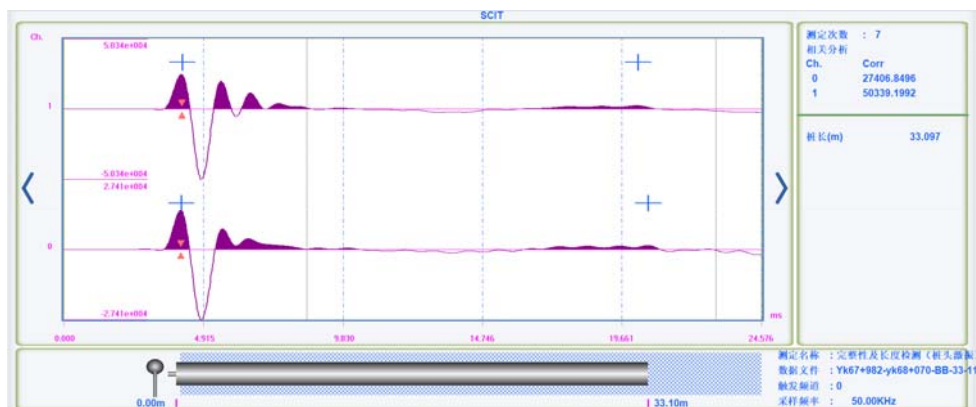
管桩长度异常的检测结果图

2.7.4 管桩长度检测（安徽、2021. 11）

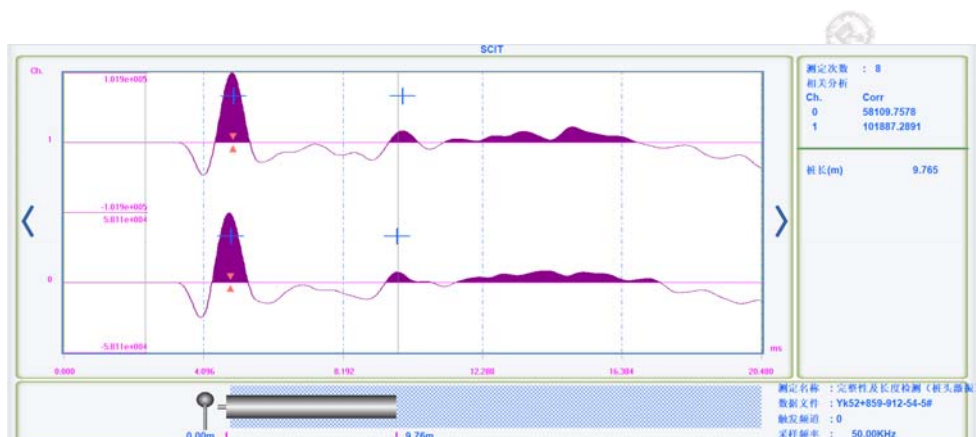
应相关单位委托，与 2.7.3 同样对预制 PHC 管桩长度检测。为了提高测试精度，在本次检测时采用双通道接收和信号处理。

根据现场指定，本次共检测 30 根预制管桩，结果正常的检测分析波形图参考下图（上），结果异常的检测分析波形图参考下图（下）。

基桩质量检测技术体系



(上) 管桩长度正常的检测波形图



(下) 管桩长度异常的检测波形图

2.8 特点和检测流程

目前，市面上已有多家公司、十余款乃至数十款基桩检测设备。其中，不少产品已经历了长期的应用。然而，不可否认的是，低应变反射法检测技术在实际工程应用中 also 面临着越来越多的困难，并有逐步被声波透射法所取代的趋势。

2.8.1 低应变检测法的局限

低应变反射法所面临的最大困难就是其对缺陷识别能力较差。造成该困难的原因有以下几点：技术难度大、检测范围与缺陷识别能力的矛盾、无法检测多个缺陷、土层的影响、人为因素影响大。

2.8.2 公司检测设备的特点

我公司开发的 SEL-PIT 是在通常的基桩检测原理的基础上，吸收了我公司开发的混凝土缺陷检测、岩锚（杆、索）检测技术和设备的长处开发而成。其特点在于：设备的基础噪声低、频响范围广；对缺陷的分辨力高；兼容当前的主流技术。

第3章 现役桩基检测技术

3.2 测试的意义

如前所述，目前所有的桩基检测方法，都是针对新桩，只是在工程施工过程中对成桩进行检测，而对于现役桩基（已有承台）确实束手无策。

另一方面，桩基在运行过程中由于地质灾害、受力变化、流体侵蚀、地震、撞击等原因，桩基础将会出现各种形式的病变，如应力破坏、钢筋锈蚀、混凝土老化等。对这样的病变应及时发现及时处理，对桩基完整性应及时评估排除隐患是非常必要的。此外，对于码头桩受到波浪、海水的侵蚀以及船舶的撞击等，在运行过程中老化较快，对此的检测、评估就显得更为重要。

目前桩基的测试方法，无论是动测还是静测，都需要在桩顶无附属物的情况下进行。而现役桩基不能满足这样的条件。因此，寻求一种快速无损检测现役桩基完整性的方法，是极其必要的。

3.3 现役桩基无损检测方法和原理

对于在役高桩码头等现役桩基，考虑到其数量庞大、检测时间及经费有限，以及上部结构的影响，采用低应变法检测桩基完整性是比较理想的。然而，相对于新建桩基，在役桩基由于上部结构（包括纵、横梁和面板）的干扰，击振后形成应力波的大量反射，严重干扰有效信号的判读，明显的三维效应也使一维波动理论误差增大，如何激发信号、消减上部结构的影响是该技术的关键所在。

为此，国内外学者们从激振、信号接收与处理等方面开展了很多研究，我们也开发了相应的技术和设备。

3.3.1 激振与信号接收

由于顶部承台等结构的影响，使得激发、接收的信号远比新设桩基装顶的复杂。因此，采用单点激发、单点接收的方式难以对有效反射信号进行分离和处理。所以，多点激振、多点接收就顺理成章了。

因此，JTJ 249—2001《港口工程桩基动力检测规程》第4.3.6条规定：上部有承台的桩的检测，可采用桩侧竖向激振或承台面内范围重锤竖向激振，并采用桩侧安装加速度传感器接收信号。

3.3.2 研究及技术现状

根据上述的激振和接收，学者们也提出了多种检测方法：双速度法、横波法（也称为“扭转波法”）、超震波法。

3.3.3 本系统开发方法

我们结合“双速度法”和“超震波法”的优点，提出了相应的检测方法。

其基本原理与新设桩基的完整性检测相同，所不同的是：传感器安装在桩身的侧壁；解析信号为多频道信号；激振在桩身侧壁或承台上面桩头投影位置。

3.4 提高检测精度的方法

3.3.1 影响检测精度的主要因素

影响在役桩基完整性检测精度的主要因素中，除了包含新设桩基检测各影响因素外，由于承台和顶部约束的存在，还存在如下不利的因素：激振信号质量差；承台的反射。因此，如何提高激振信号的品质和降低承台反射信号的影响是决定在役桩基完整性检测技术的重要因素。

3.3.2 提高激振信号的品质

我们从两个方面着手以提高激振信号的品质，即激振方式的优化（硬件技术）和自由振动信号的抑制（软件技术）。

3.3.3 降低承台反射信号的影响

承台的反射与桩身下部（桩底或缺陷）的反射的最大区别在于波的方向不同。根据这一特性，我们开发的半波移动技术，通过改变两个传感器的位置关系，从而削减从上部承台处反射的信号，增强从桩身下部反射的信号。由于上部承台的反射信号与下部桩身的反射信号之间存在相位差，因此通过适当地改变两个检波传感器的位置和控制激振波长，使传感器间距与激振信号的半波长一致，就可以很好地削减承台对信号的不利影响。

3.3.4 振动模态分析

结合固有振动的测试/分析技术，提高对桩顶附近损伤的检测精度。当桩顶附近有明显的损伤时，其固有振动频率会有一定的降低。因此，通过测试/分析桩顶部振动模态，可以间接地推测其健全性。

基桩质量检测技术体系

该方法对结构形式相近、数量庞大的港工而言是一个较为理想的解决方法。

在役结构下桩基的健全性检测是一个世界性的难题，迄今为止未有成熟的解决方法。本体系在提出一系列创新、解决方案的基础上，力争有所突破。所提出的测试方案尽管存在一定的开挖工作量，但其适用面广，同时可以达到较好的精度/成本的平衡。我们认为在现有的技术条件下，是一种比较现实可行的技术路线。

3.5 工程应用例

3.5.1 长基桩侧壁激振试验（天津、2012）

受天津质检站委托，我们对天津市津 DF 大桥改建现场基桩进行实验性检测，现场基桩为灌注桩，历史久远，基桩设计长度 46m。

为了验证侧壁激振的效果，我们在桩侧安装传感器、桩侧利用激振块激振。测试结果表明，明显地接收到桩底的反射信号。另一方面，激振信号持续时间长，需要进行相应的处理。



现场检测场景

表 3-4-1 桩长计算结果

测试桩号	设计长度	波速	测试长度
1#基桩	46m	3.1km/s	46.96m
2#基桩	46m	3.1km/s	44.95m

3.5.2 桥墩下基桩缺陷检测（山西，2019）

受相关单位委托，我公司对某高速公路大桥的桩基完整性进行检测。由于该桩基上部已经浇筑完成，因此不具备普通低应变检测条件。

该桩基设计强度等级为 C30，桩径为 1.3m，设计桩长为 24m，桩基类型为摩擦桩。由于该桩基系梁已经埋入地下，为了避免对检测结果的影响，确定对该桩基进行开挖，露出系梁，并将传感器的测点布置于系梁以下 80cm 处。

基桩质量检测技术体系

1) 现场波速标定

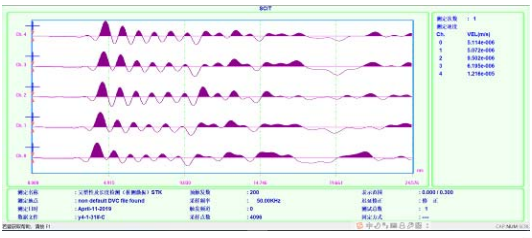
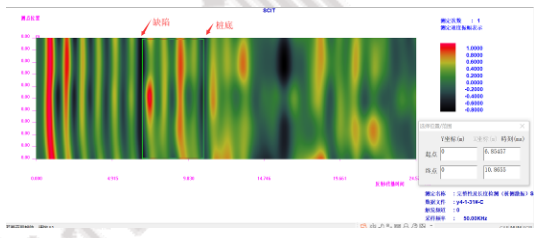
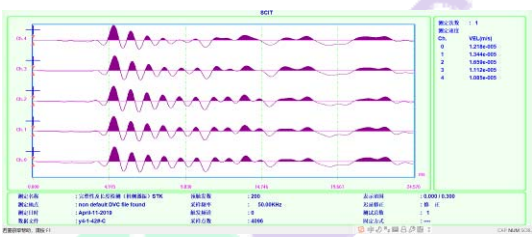
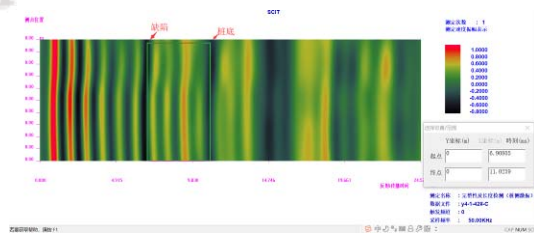
为准确检测桩基的缺陷深度，利用基桩低应变检测仪（SEL-PIT-R）对该混凝土的波速进行现场标定。标定位置为系梁与立柱结合部位，直径为 1.5m，采用为双面透过法。

2) 侧壁低应变检测

通过在侧壁安装两个加速度传感器，获取从桩基部分关系密切的上行波对桩基的完整性进行分析判断。为了提高测试精度，分别在该桩基的 3 点、6 点、9 点、12 点方向分别激振测试。

检测结果表明，在距离系梁底部约 15.2m 的位置有较明显的缩径缺陷。

侧壁低应变法检测结果

点 位	检测波形图	波形等值线图
1#		
	分析：在距离系梁下表面约 15.3m 位置有较为明显的缩径缺陷。	
2#		
	分析：在距离系梁下表面约 15.35m 位置有较为明显的缩径缺陷。	

3.5.3 涵洞下基桩缺陷检测（成都，2020.12）

受中国水电四局邀请，我公司技术人员采用基桩低应变检测仪（SEL-PIT-R）对四川某涵洞既有基桩长度进行了检测。

该涵洞下部有地铁线路穿过，为了避免影响该桥的安全稳定性，进行本次基桩长度检测。因该桥处于运营状态，不具备桩顶激振的检测条件，根据现场实际情况，确定采用侧壁低应变反射法进行检测。该基桩设计强度等级为 C30，桩身直径为 1500mm。

该基桩检测总长度为 15.9m（测点到路面距离 1.8m，测点到桩底为 14.1m），测试结果与客户以前的取芯结果一致性高（从路面取芯长度为 16.1m），测试结果得到了客户的高度认可。



被测对象

3.6 特点和检测流程

尽管不少学者对在役基桩的无损检测技术做了大量的研究，但至今尚无普遍得到认可的技术和设备。我们开发的相关设备在现有技术进行了集成和发展，以期能够有所进步和突破。

3.6.2 公司检测设备的特点

我公司开发的 SEL-PIT (R 型) 是在 PA 型的基础上开发而成。除了具有 PA 型的各种优点以外，还具有：具备 VMC 机能及对缺陷的分辨力较高。

第 4 章 跨孔声波透射法

4.2 声波透射法检测技术原理

4.2.1 声波透射法检测原理

声波透射法检测技术是弹性波检测方法的一种，其理论基础建立在固体介质中弹性波的传播理论上(弹性波相关理论参考 SCIT-1-TEC-00-冲击弹性波检测技术基本原理)，该方法是以声波换能器代替传统弹性波激振锤向基桩中发射声波，接收该声波并分析其传播速度、振幅、频率等声学参数的变化，从而达到检测基桩完整性的目的。但需要说明的是，激发的信号在桩体中传播过程中仍然转变为弹性波。

声波透射法具有检测精度高、不受桩径限制、检测盲区少和同时推算混凝土强度等优点。但该方法需要预埋声测管，且声测管报保存完好以供检测时水耦合所需。在桥梁、高层建筑的大型、特大型灌注桩的检测中广泛应用。

4.2.2 声波透射法基本参量

混凝土质量及其内部缺陷对声学参数的影响，是声波透射法检测基桩完整性的理论

基础，如前文所述，声波的波速、振幅及频率变化，是声波透射法的主要分析对象。

4.2.2.1 波速与混凝土质量的关系

声波在混凝土中的波速与混凝土的强度存在相关性，另一方面，混凝土内部越致密，孔隙率越低，其波速也会越高。在计算混凝土波速时，间距以两个换能器的间距为准，在遇到缺陷区域，由于混凝土与缺陷（缺陷内必定为水或空气）的界面阻抗差异很大，弹性波以绕射方式沿缺陷边缘传播，导致其传播路程增加，传播时间延长，传播速度（视速度）降低。另外，在混凝土不密实区域，即使波透过该区域继续传播，其不密实性也会造成波速降缓，传播时间增加。

4.2.2.2 波幅与混凝土质量的关系

接收频道波幅是波穿过混凝土后提现波能量衰减的主要指标。接收频道波幅越低，则混凝土对波的衰减作用越大。波在混凝土中的衰减方式包括透过衰减、几何衰减、粘滞性衰减等。当混凝土中存在低强度、离析区或存在夹泥和蜂窝等缺陷时，粘滞衰减和几何衰减增大，使得接收频道波幅明显降低。一般分析波的衰减特性，通常以接收波的前半个周期作为分析对象，后续声波往往受其他叠加影响，不利于分析。

4.2.2.3 频率与混凝土质量的关系

超声波透过法使用脉冲波包含多频率成分，当波透过混凝土时，各频率成分衰减程度不同，其中高频率部分衰减大。从而导致接收信号的主频向低频偏移。当混凝土内部存在缺陷时，由于衰减变大，使得接收波的主频向低频偏移变大。分析接收频道波形频率，一般以首波的第一个周期为分析对象，一般采用频谱分析方法进行分析。但需要注意的是，超声波频率较高，一般为数百千赫兹，快速傅里叶变换（FFT）频谱分析方法在高频分析时，分辨率会降低。

4.2.2.4 波形畸变与混凝土质量的关系

由于波在遇到空洞、蜂窝等缺陷时，会出现反射、绕射、散射等现象，形成波线不同的波束，这些波束由于传播路径差异，使得其到达接收换能器的时间不同，因而使得接收频道波形为许多同相位或不同相位的叠加波形，导致波形畸变。

4.3 声波透射法现场检测方法

4.3.1 声测管

声波透射法现场检测，需在成桩过程中预埋声测管。声测管直径大，径向换能器移动方便，但管材消耗大，且换能器居中情况较差。声测管直径小，径向换能器移动不顺，但材料消耗少，且换能器居中情况好。一般声测管直径比换能器直径大10~20mm即可。且各行业规程对声测管参数及数量等均有严格要求，如《公路工程基桩检测技术规程》

(JGJ/T 3512-2020) 中, 规定如下:

1 当桩径小于 1000mm 时, 应埋设二根管; 当桩径大于或等于 1000mm 且小于或等于 1600mm 时, 应埋设三根管; 当桩径大于 1600mm 且小于 2500mm 时, 应埋设四根管; 当桩径大于或等于 2500mm 时, 应增加声测管的数量。

2 声测管应采用金属管, 壁厚不应小于 2mm, 其内径应比换能器外径大不小于 15mm, 金属管宜采用螺纹连接或套管焊接等工艺, 且不渗漏。

3 声测管应牢固焊接或绑扎在钢筋笼的内侧, 均匀布置, 且互相平行、定位准确, 并埋设至桩底, 管口宜高出混凝土顶高程 100mm。

4 声测管管底应封闭, 管口应加盖。管底、管口及各连接部位应密封。

4.3.2 测线布置

声波透射法现场检测时, 测线布置分为平测、斜测、扇形扫描测试和 CT。一般现场检测时, 是直接以平测居多, 在发现桩身存在缺陷时, 使用加密平测测点、斜测或扇形扫描测试方法。当然, 在检测时, 亦可直接增加测点数量, 后续可省去加密复测的步骤。

平测: 将发射和接收换能器以相同标高分别置于声测管中的首测点处, 同步升或降, 测点间距一般为 10~20cm。在检测过程中应时刻关注换能器深度位置, 或通过计位仪器自动校核;

斜测: 在平测检测后, 针对局部缺陷或疑似断桩缺陷等, 可采用斜测方法;

扇形扫描测试: 在桩顶或桩底斜测范围受限制时, 或者为减少换能器升降次数, 作为一种辅助手段, 也可扇形扫描测量;

CT 交叉测试: CT 影像技术作为目前检测混凝土内部缺陷的常用技术, 在各规程中也被广泛推崇, 其测线数量较多, 实施较为复杂, 但理论可靠度更高, 且结果也更为直观。

需要注意的是, 扇形扫描测试和 CT 交叉测试, 换能器中心连线与水平线的夹角应不大于 45°

4.4 声波透射法结果判定方法

4.4.1 波速判定

4.4.1.1 声速计算及修正

如前所述, 波速与混凝土质量存在一定的相关性。透射波速越低, 反映混凝土质量越差或者有缺陷, 因此, 波速的数值及其变化是有效的检测指标, 第 i 测线基桩混凝土

的波速 v_i 式进行计算。

4.4.1.2 声速判据

将波速 v_i 作为判断缺陷有无的基准，一般采用以下两个指标：

- (1) 临界波速 v_D ：通常采用数理统计的方法，根据测试结果得出。
- (2) 低限波速 v_L ：一般根据本地区经验，由预留同条件混凝土试件的抗压强度与波速的对比试验来确定；

当实测混凝土声速值低于临界值时，声速可判定为异常。当检测剖面 n 个测点的声速值普遍偏低且离散性较低时，可采用低限波速作为判定依据。

4.4.2 波幅判定

如前所述，当混凝土基桩中存在缺陷时，从中透过的声波（弹性波）的衰减将会增加（波幅降低）。因此，根据接收端弹性波的波幅，也可判断缺陷的有无。

4.4.3 频率及波形畸变判定

当混凝土基桩中存在缺陷时，从中透过的声波（弹性波）的主频有降低的倾向，而且，首波附近也会出现波形畸变。因此，根据接收端弹性波的主频的降低，以及首波畸变的变化，也可判断缺陷的有无。频率和波形畸变一般作为辅助判定方法。

4.4.4 PSD 值判定

上述波速、波幅和主频这 3 个参数中，波速为最主要的判定依据。然而，在实际的声测管中，由于安装和施工等原因，声测管的间距常常不能保证固定。为此，需要引入辅助判据。

设测点的深度为 H ，声时值随深度变化的关系可用函数式 $t_c = f(H)$ 表达。

当内部存在缺陷时，由于在缺陷与完好混凝土界面处声时值的突变，从理论上说，该函数应是不连续函数而且在缺陷处只表现为斜率的变化。

4.4.5 各判定参数的特点分析

总结上述，我们将各判定方法进行了汇总比对分析，结果下表所示。

各判定方法比对分析表

判定参数	原理	特点	备注
波速	波透过正常混凝土与缺陷混凝土，速度（视速度）降低	测试及原理简单，重复性较高，受非缺陷因素影响小，但对缺陷敏感度不高	主要参数
振幅衰减	波透过正常混凝土与	对缺陷敏感，但受影响因素	主要参数，只用于相对

基桩质量检测技术体系

	缺陷混凝土, 振幅衰减	多, 如测试仪器性能、耦合状态, 测距变化等, 绝对性不强	比较, 同一桩的不同剖面或不同桩之间可比性不高
频率偏移	波透过正常混凝土与缺陷混凝土, 频率向低频偏移	频率变化能反应波在混凝土的衰减状况, 从而间接反映混凝土质量, 但受影响因素多, 如测试仪器性能、测距、AD 等。	辅助参数
波形畸变	波透过正常混凝土与缺陷混凝土, 首信波存在畸变	对混凝土内部缺陷敏感, 是检测区域被透过混凝土质量的综合反映。对检测人员也需要一定的经验性要求。	辅助方法
PSD 值	根据波速等参数斜率变化反映缺陷程度	PSD 判据对缺陷十分敏感, 且基本上不受声测管不平行, 或混凝土强度不均匀等原因所引起的变化。对非缺陷引发的变化不敏感。	主要判定参数

4.4.6 综合判定

在透过法检测桩身质量时, 利用检测所得的声学参数发现桩身混凝土缺陷、评价桩身混凝土质量从而判定桩的完整性类别是我们检测的最终目的。但是使用的参数包括波速、波幅、频率、波形畸变和 PSD 值, 各有特点但也有不足。所以在实际检测中, 综合判定更为客观、科学。如 PSD-V-A 法, 是实际检测中常用的综合判定方法之一。各规范对综合判定使用有所区别, 具体可参考各规程。

4.5 现行规程比对和解读

针对声波透射法, 不同行业间的技术规程中也有一定的区别。在此, 主要针对

- (1) 建筑基桩检测技术规范 (JGJ 106—2014), 简称“建筑规范”;
- (2) 铁路工程基桩检测技术规程 (TB10218—2019), 简称“铁路规范”;
- (3) 公路工程基桩检测技术规程 (JTG/T 3512—2020), 简称“公路规范”。

4.5.1 适用范围

由于声测管位置误差以及耦合对测试结果影响较大, 同时声测管的埋设也会对施工造成一定的影响, 所以规范中规定了该方法的适用范围。

基桩声波透射法适用范围

规范	建筑规范	铁路规范	公路规范
适用桩径	不小于 600mm	无明确限制	不小于 800mm

4.5.2 管距修正

在“公路规范”中，引入了管距修正的相关要求，提出“当声测管倾斜造成声速-深度曲线在一定深度范围内缓慢上升或下降而波幅基本不变时，可对管距进行合理修正后对数据进行统计分析。”

4.5.3 波速临界值的取值

目前，“铁路规范”和均采用保证率作为波速临界值的判别标准。“建筑规范”综合考虑了混凝土浇筑质量等因素，因而更加科学。而公路和铁路规程则可能出现与预期完全相反的结果。

4.5.4 桩基分级

在桩基分级方面，主要在桩的 I、II 类分级方面有所区别：

桩基分级

规范	I 类	II 类
建筑规范	声学参数、接收波形均正常； 参数、波形存在轻微异常，异常点不连续分布且在横向分布小于检测剖面数量的 50%	参数、波形存在轻微异常，异常点连续分布或横向分布大于检测剖面数量的 50%； 参数、波形存在明显异常，异常点不连续分布且在横向分布小于检测剖面数量的 50%；
铁路规范	各点参数均正常，无波速低于低限值；	某一剖面个别测点参数出现异常，无波速低于低限值；
公路规范	各点波速、波幅均大于临界值，波形正常；	某一剖面个别测点波速、波幅略小于临界值，波形基本正常；

可以看出，铁路规范和公路规范对 I 类桩的判定更为严格，对测试工作的要求也更高。另一方面，建筑规范中则考虑了可能出现的偶然误差。

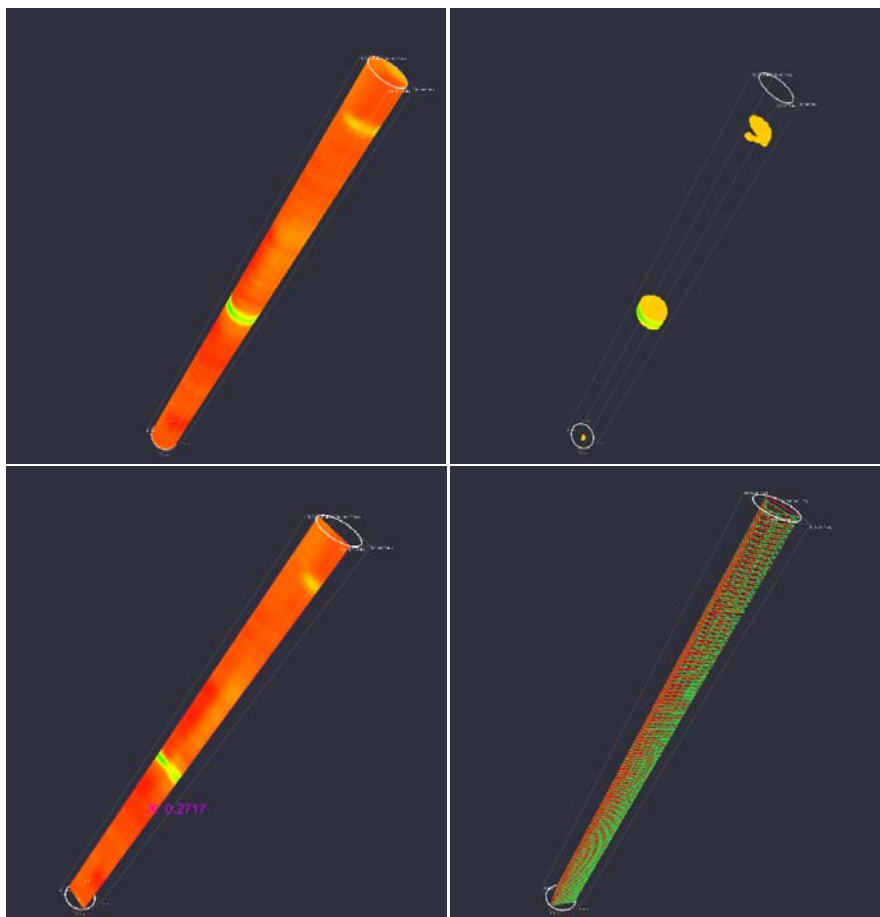
4.5.5 现有检测方法的主要问题

在桩基检测实践中，发现的最主要的问题有：声测管的偏斜、波速 v_L 低限值的取值、提升过程中声测管摇摆产生的误差。

4.6 3D 声波透射法

如前文所述，CT 交叉测线布置方法，可提高检测精度，CT 法具体原理，可参考“SCIT-1-TEC-02-2021-混凝土材料及结构综合检测技术体系”。

随着图像处理技术的发展，为更直观的提现缺陷分布、形态及空间位置等信息，我们将传统二位成像提升为三维成像，使检测结果更加直观和鲜明。



三维桩基测试结果

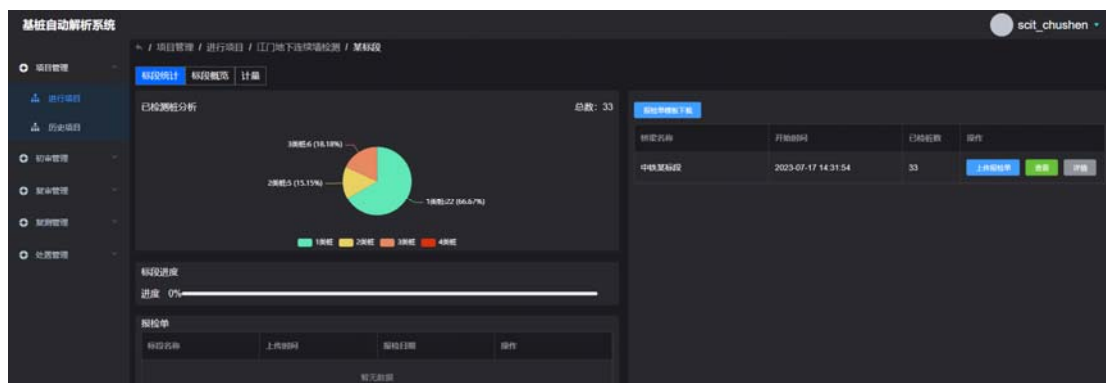
整体展示（左上）、缺陷展示（右上）纵向切片（左下）、测线显示（右下）

4.7 声波透射法自动解析

声波透射法是一种用于测试桩基完整性的非破坏性检测方法，该方法具有非破坏性、快速高效、准确性较高、易于操作的特点，它通过在不同位置和深度穿过桩基进行声波传播，来评估桩基内部的缺陷或损伤。在解释声波透射法测试桩基完整性数据时，存在以下几个方面的困难：数据收集、数据解读、判定依据、数据验证。

综上所述，声波透射法测试桩基完整性数据的解释难度主要体现在数据收集、数据解读和判定依据等方面，需要考虑多个因素并结合相关知识和经验进行综合分析。

基于声波透射法数据在上述几方面的解释问题，我公司针对性的研究了声波透射法自动解析判定系统，可在一定程度上减少相关的人力和时间成本，提高解析结果的客观性与准确性，从而提高基础设施的安全性和可靠性。



基桩完整性自动解析判定系统

4.7.1 系统功能

我们开发了一款手机应用程序，旨在获取跨孔超声检测设备的数据，并根据用户需求将这些数据上传至服务器。该系统具备以下功能：数据获取；数据上传；自动解析；分析计算；判桩等级评估。

通过这个手机应用程序和服务器系统，用户可以方便地获取跨孔超声检测数据，并进行自动解析、分析计算以及判桩等级评估。这样的功能将为用户提供更快捷、更准确的检测结果，帮助用户做出更有针对性的决策和评估。

4.7.2 架构及功能

跨孔超声检测设备自动解析判定系统是一个综合应用了信号处理、机器学习和规则引擎的智能化系统。该系统的框架由数据获取、数据解析、特征提取、模型训练和类型判定等模块组成，旨在实现自动化地解析跨孔超声检测数据，并准确判定基桩的完整性类型。

在数据获取模块中，系统与跨孔超声检测设备进行连接，获取原始的检测数据。这些数据可能包括超声波信号、时间记录和其他相关信息。获取到的数据将被传输到系统中进行后续处理。

数据解析模块负责对原始数据进行解析和预处理。通过先进的信号处理技术和算法，对超声波信号进行滤波、降噪和分割等操作，以提取出有用的特征信息。

特征提取模块利用解析得到的数据，从中提取出一系列的特征。这些特征可以包括信号的频谱特性、幅度特征、时域特性等。特征提取过程是为后续的模型训练和分类做准备。

模型训练模块使用机器学习算法，基于已知的标注数据对特征进行训练和建模。通

过学习已知类型的基桩完整性数据，系统能够建立起一个准确的分类模型，用于对未知数据进行类型判定。

类型判定模块是系统的核心功能，根据训练好的模型和规则引擎，将解析得到的特征数据输入到模型中进行判定。系统可以根据不同的完整性类型，如正常、裂缝、腐蚀等，对基桩进行自动分类，并输出相应的判定结果。

总体而言，跨孔超声检测设备自动解析和基桩完整性类型判定系统通过数据获取、数据解析、特征提取、模型训练和类型判定等模块，实现了对跨孔超声检测数据的智能化处理和准确的基桩完整性类型判定。该系统能够提供高效、准确的数据分析和类型判定结果，为基桩评估和维护提供有力支持。

4.7.3 算法原理

关于跨孔超声法的桩身完整性判定的基准及算法原理，请参考本技术体系 4.4、4.5 相关内容。

4.7.4 精度验证

目前，算法已进行了多次更新优化，其中包含两次大版本的优化，解析结果总体与实际相符。

4.7.5 系统特点

跨孔超声检测设备自动解析判定系统的自动判定结果与实际结果总体相符，这得益于以下支撑性特点和功能：高精度数据解析、多维特征提取、综合模型训练、规则引擎支持、精确分类判定。

综上所述，跨孔超声检测设备自动解析判定系统通过高精度数据解析、多维特征提取、综合模型训练和规则引擎支持等功能，能够产生与实际结果总体相符的自动判定结果。这为用户提供了一个可靠、高效的评估工具，帮助他们做出准确、科学的基桩完整性判定。

4.8 声波透射法数据防伪

4.8.1 意义

基桩完整性的跨孔超声法检测是一种常用的工程质量检测方法，用于评估基桩在施工过程中的质量和完整性。这种检测方法通过使用超声波技术，在基桩内部进行扫描并获取相关数据，从而判断基桩是否存在缺陷或损伤。在工程建设中，基桩作为承重元素

之一，其完整性对于工程的安全性和持久性至关重要。因此，确保基桩的质量和完整性具有重要的防伪意义。

4.8.2 重要性

基桩完整性的跨孔超声法检测数据防伪重要性的几个方面：提供客观数据、检测结果可复现性、防止信息篡改。

总之，基桩完整性的跨孔超声法检测数据防伪的重要性体现在确保数据的客观性、可信度和真实性，防止数据篡改和伪造，并为工程建设提供质量监督和追溯的依据。这些措施有助于提高工程建设的质量和水平，减少施工风险，保护人民群众的生命财产安全。

4.8.3 桩长及信息防伪

为了实现桩长信息的防伪和确保数据的准确性，本技术采用在基桩声测管底部预埋电子标签 NFC 芯片，并利用固定在超声探头底部的扫码器对该芯片进行扫描。这种技术可以有效地实现桩长的准确判定以及自动读取桩编号信息，并达到数据防伪的目的。

具体而言，预先在基桩施工时声测管底部嵌入 NFC 芯片，这个芯片中存储了桩编号唯一的标识码和桩号信息。进行检测时，超声探头底部的扫码器可以通过近距离无线通信与 NFC 芯片进行交互。通过扫描 NFC 芯片，可以读取到其中桩号信息，并将其与超声波扫描得到的数据进行比对。如此即可实现桩号及桩长信息的防伪。由于 NFC 芯片内部的标识码是唯一的，因此可以防止数据被篡改或伪造。结合数据管理系统，能够准确快速的判断工程基桩的相关信息。

因此通过预埋电子标签 NFC 芯片并利用超声探头底部的扫码器进行扫描，可以实现桩长信息的防伪和桩信息准确判定。这种技术不仅提高了数据的可信度和真实性，还能够提高工作效率和数据的一致性，为基桩质量监督和工程建设提供了重要支持。

4.8.5 系统特点

该数据防伪技术特点如下：高度可靠性、快速便捷、数据一致性、实时性、防伪性。

综上所述，该数据防伪技术具有高度可靠性、快速便捷、数据一致性、实时性和防伪性等特点。它为基桩完整性检测提供了有效的数据保护手段，提高了数据的可信度和准确性，同时也提高了工作效率和工程建设的质量水平。

4.9 工程应用例

4.9.1 FH 高速铁路基桩完整性检测（安徽阜阳、2022.11）

受中铁某单位委托，我们采用跨孔超声法对安徽 FH 高速铁路某大桥基桩完整性进行检测。检测设备为多通道超声波测桩测仪，被检对象为钻孔灌注桩，设计强度等级为 C30，桩径：1250mm，声测管 3 根。通过检测，结合被检桩各管号的声速平均值及波幅平均值，被检桩判为 I 类桩。



被检对象及现场检测场景

结语及致谢

基桩完整性的低应变反射检测技术经过学者们大量的、长期的研究，已经具备了很高的水平并得到了极其广泛的应用。然而，不可否认的是，由于对缺陷检出能力的不足等诸方面原因，低应变反射法面临着信任降低，有被声波透射法所取代的动向。

另一方面，低应变反射法的优越性也是非常突出的。它不仅具有测试简单、成本低等优点，而且在一些条件下的适用性是声波透射法所不可替代的。例如，预制桩、声测管发生堵塞、在役基桩等均无法使用声波透射法。

为此，我们在近 20 年对冲击弹性波检测技术研究，以及在岩锚、混凝土结构检测技术和设备的基础上，开发了本套设备（PA 型和 R 型）。其中，包含了大量的独创性技术，我们也殷切地希望这些技术和设备对低应变反射技术的进一步发展起到相应的推动作用。

此外，本文中部分内容来自网上收集资料，因无法查找作者及出处，只能在此表示诚挚的谢意！

最后，衷心向各位合作伙伴以及为本文提供了宝贵资料和其他关心、支持我们的各位朋友表示诚挚的谢意！

技术支持

- ✘ 本资料为内部资料，仅供本公司及相关单位人员参考。未经本公司许可，任何单位和个人不能下载、阅读以及转载；
- ✘ 有关本资料相关的任何疑问，请咨询：
 - ✘ 四川升拓检测技术股份有限公司 客服咨询专线
 - ✘ TEL: (028)6861-1507、6861-1511、6861-1527
 - ✘ MAIL: Support@scentralit.com
 - ✘ HTTP: www.scentralit.com
- ✓ 有关本资料的最新更新，可在本公司网站的下载中心下载：
http://www.scentralit.com/download_201003181343459218.html
- ✓ 升拓相关官网与平台：

升拓检测媒体矩阵 | 扫码识别即可进入

升拓检测官网



升拓官方公众号



抖音平台官网号



哔哩哔哩官网号



*抖音和淘宝请分别使用对应软件扫码