

团 体 标 准

T/ACCEM XXXX—2024

建筑基桩完整性检测 高应变法

Testing of building foundation pile integrity—High-strain dynamic testing

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2024 – XX – XX 发布

2024 – XX – XX 实施

中国商业企业管理协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般规定 1

 4.1 检测目的 1

 4.2 检测原理 1

 4.3 注意事项 1

5 仪器设备 2

 5.1 基桩动测仪 2

 5.2 传感器 2

 5.3 锤击设备 2

6 检测准备 2

 6.1 准备工作 2

 6.2 参数设置 2

7 现场检测 3

 7.1 检测截面 3

 7.2 测点选择 3

 7.3 锤重选择 3

 7.4 其他 3

8 检测数据记录 3

9 数据分析及结果判定 4

 9.1 Case 法 4

 9.2 曲线拟合法 5

 9.3 结果判定 5

10 检测报告 5

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广州正和工程检测有限公司提出。

本文件由中国商业企业管理协会归口。

本文件起草单位：广州正和工程检测有限公司、XXX、XXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX。

建筑基桩完整性检测 高应变法

1 范围

本文件规定了建筑基桩完整性检测高应变法的一般规定、仪器设备、检测准备、现场检测、检测数据记录、数据分析及结果判定和检测报告。

本文件适用于采用高应变法对各类预制桩和混凝土灌注桩的桩身完整性进行检测的过程控制。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 50941 建筑地基基础术语标准
- JGJ 106—2014 建筑基桩检测技术规范
- JG/T 518—2017 基桩动测仪

3 术语和定义

GB/T 50941、JGJ 106 界定的术语和定义适用于本文件。

4 一般规定

4.1 检测目的

高应变法适用于检测基桩的竖向抗压承载力和桩身完整性；监测预制桩打入时的桩身应力和锤击能量传递比，为选择沉桩工艺参数及桩长提供依据，并对桩基施工质量进行评定。

4.2 检测原理

测试前，在距离桩顶约 2 倍桩径或桩边长（对于大直径桩，传感器与桩顶距离可适当减小，但不允许小于 1 倍桩径或桩边长）的侧壁对称地安装力传感器和加速度传感器各一对。用锤击设备打击桩顶，在具备足够的锤击能量（即促使桩土之间产生一定的相对位移的）条件下，测得每一锤击过程中作用在桩上的力 $F(t)$ 和加速度 $a(t)$ （经积分后得速度 $V(t)$ ），由主机进行信号采集、CASE 法数据处理、并显示初步计算结果，此外，现场采集信号可即时传送给电脑，利用 CAPWAPC 软件进行进一步分析处理。

4.3 注意事项

4.3.1 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，不宜采用高应变法进行竖向抗压承载力检测。

4.3.2 进行灌注桩的竖向抗压承载力检测时，应具有现场实测经验和本地区相近条件下的可靠对比验证资料。

4.3.3 抽样数量应符合如下要求：

- a) 一般由建设、监理、设计三方根据检测规程和工程实际、施工状况确定桩数和桩号；
- b) 抽样数量一般取总桩数的 2%~5%，且不少于 5 根；
- c) 对于地质条件复杂、桩的种类较多或其他特殊情况，可适当增加检测数量。

5 仪器设备

5.1 基桩动测仪

主要技术性能指标不应低于 JG/T 518—2017 中 2 级的规定。

5.2 传感器

包括加速度传感器、力传感器。

5.3 锤击设备

5.3.1 锤击设备可采用筒式柴油锤、液压锤、蒸汽锤等具有导向装置的打桩机械，但不得采用导杆式柴油锤、振动锤。

5.3.2 高应变检测专用锤击设备应具有稳固的导向装置。重锤应形状对称，高径（宽）比不得小于 1。

5.3.3 当采取落锤上安装加速度传感器的方式实测锤击力时，重锤的高径（宽）比应为 1.0~1.5。

5.3.4 采用高应变法进行承载力检测时，锤的重量与单桩竖向抗压承载力特征值的比值不得小于 0.02。

6 检测准备

6.1 准备工作

6.1.1 桩顶面应平整，桩顶高度应满足锤击装置的要求，桩锤重心应与桩顶对中，锤击装置架立应垂直。

6.1.2 对不能承受锤击的桩头应进行加固处理，混凝土桩的桩头处理应符合 JGJ 106—2014 附录 B 的规定。

6.1.3 传感器的安装应符合 JGJ 106—2014 附录 F 的规定。

6.1.4 桩头顶部应设置桩垫，桩垫可采用 10 mm~30 mm 厚的木板或胶合板等材料。

6.2 参数设置

6.2.1 采样时间间隔宜为 50 μ s~200 μ s，信号采样点数不宜少于 1024 点。

6.2.2 传感器的设定值应按计量检定或校准结果设定。

6.2.3 自由落锤安装加速度传感器测力时，力的设定值由加速度传感器设定值与重锤质量的乘积确定。

6.2.4 测点处的桩截面尺寸应按实际测量确定。

6.2.5 测点以下桩长和截面积可采用设计文件或施工记录提供的数据作为设定值。

6.2.6 桩身材料质量密度应符合表 1 的规定：

表1 桩身材料质量密度 单位：t/m³

项目	质量密度
钢桩	7.85
混凝土预制桩	2.45~2.50
离心管桩	2.55~2.60
混凝土灌注桩	2.40

7 现场检测

7.1 检测截面

- 7.1.1 检测截面与桩顶的间距应不小于桩径的 1 倍，宜相距 2~3 倍桩径。
- 7.1.2 初始应力波信号的波峰前后区段对数据质量的判断极为重要，应尽可能避免受到各种条件的干扰和重叠；因此检测截面附近不得存在阻抗突变的截面。

7.2 测点选择

- 7.2.1 应保证每组传感器安装位置在检测截面的对称性，每组传感器的两个测点和检测截面的中心轴的距离必须相等，其连线必须通过中心轴。
- 7.2.2 每侧的测力和测速度的传感器应尽可能相互靠近，以利于数据的一致性；同侧的传感器的横向间距不得超过 80 mm~100 mm。
- 7.2.3 用于测力的工具式应变计两端的两个接触面应平整且应处于同一处理平面中，但不可过于光洁。

7.3 锤重选择

- 7.3.1 采用自由落锤为锤击设备时，应符合重锤低击原则，最大锤击落距不宜大于 2.5 m。
- 7.3.2 承载力检测时应实测桩的贯入度，单击贯入度宜为 2 mm~6 mm。

7.4 其他

- 7.4.1 交流供电的测试系统应接地良好，检测时测试系统应处于正常状态。
- 7.4.2 试验目的为确定预制桩打桩过程中的桩身应力、沉桩设备匹配能力和选择桩长时，应按 JGJ 106—2014 附录 G 执行。
- 7.4.3 现场信号采集时，应检查采集信号的质量，并根据桩顶最大动位移、贯入度、桩身最大拉应力、桩身最大压应力、缺陷程度及其发展情况等，综合确定每根受检桩记录的有效锤击信号数量。
- 7.4.4 发现测试波形紊乱，应分析原因；桩身有明显缺陷或缺陷程度加剧，应停止检测。

8 检测数据记录

- 8.1 检测承载力时选取锤击信号，宜取锤击能量较大的击次。
- 8.2 出现下列情况之一时，高应变锤击信号不得作为承载力分析计算的依据：
 - a) 传感器安装处混凝土开裂或出现严重塑性变形使力曲线最终未归零；
 - b) 严重锤击偏心，两侧力信号幅值相差超过 1 倍；
 - c) 四通道测试数据不全。
- 8.3 检测数据的质量应符合如下要求：

- a) 锤击开始前, 两条曲线都应该为零, 否则就说明存在非应力波范畴的干扰; 信号的尾部, 两条曲线也都应基本归零, 否则说明所采集的数据记录长度不够, 或者出现某种非正常情况;
- b) 在曲线的起始区段内, 两条曲线应基本重合; 曲线的上升沿和峰值前后区段应基本重合, 两条曲线的偏离的程度不应超过正常的量测误差范围;
- c) 峰值之后到 $2L_e/c$ 时刻之前, 两条曲线的幅值在整体上应呈现缓慢减小的走势, 在接近 $2L_e/c$ 时刻时, 如果忽略上行波在桩顶的反射, 两者的偏离程度正好等于所激发的全部桩侧动态阻力之总和;
- d) 峰值之后到 $2L_e/c$ 时刻之前, 如果桩身阻抗存在较大的突变, 在曲线的相应时刻将出现叠加上的反射波, 波形接近初始的下行波;
- e) 在 $2L_e/c$ 时刻桩底变阻抗反射到达检测截面, 曲线产生明显变化, 桩底变阻抗反射的波形也应该接近初始的下行波, 符号则视桩底变阻抗情况而有正有负, 绝大部分的桩底反射为拉力波, 表现为速度值突增而力值突减;
- f) 在 $2L_e/c$ 时刻或者稍后, 有可能出现由桩底阻力所引发的上行压力波, 桩底阻力波的出现会晚于桩底的变阻抗反射, 因而在 $2L_e/c$ 时刻后重现新的力波峰和相应的速度波谷; 如果桩底阻力波出现较早, 则有可能和桩底的变阻抗反射重叠而使两者都难以识别。

8.4 出现下列情况之一时, 应采用静载试验方法进一步验证:

- a) 桩身存在缺陷, 无法判定桩的竖向承载力;
- b) 桩身缺陷对水平承载力有影响;
- c) 触变效应的影响, 预制桩在多次锤击下承载力下降;
- d) 单击贯入度大, 桩底同向反射强烈且反射峰较宽, 侧阻力波、端阻力波反射弱, 波形表现出的桩竖向承载性状明显与勘察报告中的地基条件不符合;
- e) 嵌岩桩桩底同向反射强烈, 且在时间 $2L/c$ 后无明显端阻力反射; 也可采用钻芯法核验。

9 数据分析及结果判定

9.1 Case 法

9.1.1 采用 Case 法判定中、小直径桩的承载力, 应符合下列规定:

- a) 桩身材质、截面应基本均匀;
- b) 阻尼系数 J_c 宜根据不同条件下静载试验结果校核, 或应在已取得相近条件下可靠对比资料后, 采用实测曲线拟合法确定 J_c 值, 拟合计算的桩数不应少于检测总桩数的 30%, 且不应少于 3 根;
- c) 在同一场地、地基条件相近和桩型及其截面积相同情况下, J_c 值的极差不宜大于平均值的 30%。

9.1.2 单桩承载力 R_c 应按公式 (1) 计算:

$$R_c = (1 - J_c) \cdot \frac{[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)]}{2} + (1 + J_c) \cdot \frac{[F(t_2) - Z \cdot V(t_2)]}{2} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

R_c —测试时单桩的极限承载力 (kN);

J_c —Case 法阻尼系数;

t_1 —速度第一峰对应的时刻;

t_2 — $t_1 + 2L/c$;

F —某时刻的锤击力 (kN);

V —某时刻测点处的速度;

Z —桩身截面力学阻抗 ($\text{kN} \cdot \text{s}/\text{m}$)。

9.2 曲线拟合法

采用实测曲线拟合法应符合下列规定：

- a) 所采用的力学模型应明确、合理，桩和土的力学模型应能分别反映桩和土的实际力学性状，模型参数的取值范围应能限定；
- b) 拟合分析选用的参数应在岩土工程的合理范围内；
- c) 曲线拟合时间段长度在 t_1+2L/c 时刻后延续时间不应小于 20 ms；对于柴油锤打桩信号，在 t_1+2L/c 时刻后延续时间不应小于 30 ms；
- d) 各单元所选用的土的最大弹性位移 s_q 值不应超过相应桩单元的最大计算位移值；
- e) 拟合完成时，土阻力响应区段的计算曲线与实测曲线应吻合，其他区段的曲线应基本吻合；
- f) 贯入度的计算值应与实测值接近。

9.3 结果判定

9.3.1 按公式（2）计算桩身完整性系数 β ：

$$\beta = \frac{[F(t_1)+Z \cdot V(t_1)]-2\Delta R+[F(t_x)-Z \cdot V(t_x)]}{[F(t_1)+Z \cdot V(t_1)]-[F(t_x)-Z \cdot V(t_x)]} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

β —桩身完整性系数；

$F(t)$ — t 时刻测点处实测的锤击力 (kN)；

$V(t)$ — t 时刻测点处实测的速度 (m/s)；

t_x —缺陷反射峰所对应的时刻 (ms)；

$F(t_x)$ —缺陷反射峰对应时刻测点处实测的力 (kN)；

$V(t_x)$ —缺陷反射峰对应时刻测点处实测的速度 (m/s)；

ΔR —缺陷以上部位土阻力的估计值，等于缺陷反射起始点的锤击力减去速度与桩身截面力学阻抗的乘积。

9.3.2 桩身完整性判定按表 2 的规定进行。

表2 桩身完整性判定

项目	判定
$\beta=1.0$	完整桩
$0.8\leq\beta<1.0$	基本完整桩
$0.6\leq\beta<0.8$	明显缺陷桩
$\beta<0.6$	严重缺陷或断桩

10 检测报告

检测完成后应出具检测报告，内容包括但不限于：

- a) 委托方名称、工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位；
- b) 基础、结构形式、层数、设计要求、检测目的、检测依据、检测数量、检测日期；
- c) 地基条件描述；
- d) 受检桩的桩型、尺寸、桩号、桩位、桩顶标高和相关施工记录；

- e) 检测方法、检测仪器设备、检测过程叙述；
 - f) 受检桩的检测数据，实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；
 - g) 与检测内容相应的检测结论。
-