

深圳市建设局

关于印发《深圳市建筑基桩检测规程》（SJG09-2007）的通知

深建规（2007）6号

各有关单位：

为统一深圳市基桩检测方法，确保基桩检测工作质量，为设计和施工验收提供可靠依据，提高桩基工程施工质量和安全水平，我局组织有关部门修编的《深圳市建筑基桩检测规程》已经通过审查，该标准编号为 SJG09-2007，自 2007 年 12 月 1 日起施行，有效期为 5 年，原《深圳地区基桩质量检测技术规程》（SJG09-99）同时废止。

本规程由深圳市建设局负责管理，深圳市建设工程质量检测中心负责具体解释工作。

深圳市建设局

二〇〇七年十月二十九日

深圳市建筑基桩检测规程（SJG09-2007）

1 总 则

1.0.1 为统一深圳市基桩检测方法，确保基桩检测工作质量，为设计和施工验收提供可靠依据，促进桩基工程施工质量和安全水平提高，使基桩检测做到安全适用、技术先进、经济合理、保护环境，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于深圳市建筑工程、市政工程的单桩承载力和桩身完整性的检测。

1.0.3 基桩检测应考虑地质条件、桩型及施工质量可靠性、使用要求、材料性能、检测方法、测试经验等因素，并综合上述因素对检测结果进行评价。

1.0.4 建筑基桩检测除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

1.0.5 本规程自 2007 年 12 月 1 日起施行，有效期为 5 年，原《深圳地区基桩质量检测技术规程》（SJG09-99）同时废止。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

2.1.2 单桩承载力检测值 testing value of pile bearing capacity

静载法或高应变法检测中单桩承载力的实测值。

### 2.1.3 静载法 static loading testing

包括竖向抗压静载法、竖向抗拔静载法和水平静载法。即在桩顶部逐级施加向下的竖向荷载、向上的竖向荷载或水平荷载，测量桩顶部随时间而发生的沉降、上拔量或水平位移，以确定单桩竖向抗压承载力、竖向抗拔承载力或水平承载力的检测方法。

### 2.1.4 高应变法 high strain dynamic testing

用重锤冲击桩顶，实测桩顶部力和速度信号，通过波动理论分析得到桩土体系力学性状以判定单桩竖向抗压承载力及桩身完整性的检测方法。

### 2.1.5 低应变法 low strain integrity testing

在桩顶施加低能量的冲击，实测桩顶部速度信号，通过波动理论分析判定桩身完整性的检测方法。

### 2.1.6 超声法 ultrasonic crosshole testing

向桩身混凝土发射并接收超声波，通过分析超声波在同等技术条件下声学参数的相对变化以判定桩身完整性的检测方法。

### 2.1.7 钻芯法 core drilling testing

用钻机钻取芯样以检测桩身混凝土强度、桩身完整性、桩长、沉渣厚度，判定或鉴别桩端岩土层性状的检测方法。

## 2.2 符号

### 2.2.1 抗力及材料性能

- c——桩身波速
- E——桩身材料弹性模量
- fcu——混凝土芯样试件抗压强度
- m——地基土水平抗力系数的比例系数
- Rc——凯司法判定的单桩承载力
- vi——混凝土中第 i 测线的声速
- Z——桩身截面力学阻抗
- ΔR——缺陷以上部位土阻力的估计值
- ρ——桩身材料质量密度

### 2.2.2 作用及作用效应

- F——锤击力
- H——作用于地面的水平力
- P——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载
- Q——桩顶竖向荷载
- s——桩顶竖向沉降
- U——桩顶上拔荷载
- V——质点运动速度
- Y0——水平力作用点的水平位移
- ΔH——水平力增量
- ΔY0——水平位移增量
- δ——桩顶竖向上拔量

### 2.2.3 几何参数

- A——桩身截面积  
B——矩形桩的边宽  
b<sub>0</sub>——桩身计算宽度  
D<sub>c</sub>——两根声测管外壁间的净距  
d——芯样试件的平均直径  
I——桩身换算截面惯性矩  
L——测点下桩长；桩长  
x——缺陷位置至传感器安装点的距离  
x<sub>1</sub>——第一个缺陷位置距桩顶的距离  
z<sub>i</sub>——第 i 测线的深度

### 2.2.4 计算系数

- J<sub>c</sub>——凯司法阻尼系数  
α——桩的水平变形系数  
β——桩身完整性系数  
λ<sub>1</sub>——样本中不同样本总数对应的系数  
v<sub>y</sub>——桩顶水平位移系数

### 2.2.5 其他

- A<sub>cr</sub>——声波波幅临界值  
A<sub>i</sub>——第 i 测线的声波波幅值（分贝值）  
a<sub>0</sub>——声波 0dB 波幅值  
a<sub>i</sub>——第 i 测线的声波波幅值（电压值）  
 $\bar{c}$ ——桩身波速平均值  
f<sub>cr</sub>——声波主频临界值  
k——相邻两测线声时的斜率  
s<sub>x</sub>——声学参数的标准差  
t<sub>1</sub>——速度波第一峰所对应的时刻  
t<sub>x</sub>——缺陷反射波峰所对应的时刻  
t<sub>r</sub>——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差  
t<sub>r1</sub>——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差  
t<sub>ci</sub>——混凝土中第 i 测线的声时  
t<sub>0</sub>——系统延时  
 $\epsilon^r$ ——耦合层延时  
v<sub>cr</sub>——声速临界值  
X<sub>cr</sub>——声学参数（声速、波幅、主频）临界值  
X<sub>i</sub>——第 i 测线的声学参数（声速、波幅、主频）  
 $\bar{X}$ ——声学参数的平均值  
Δf——幅频曲线上桩底相邻谐振峰间的频差  
Δt——相邻两测线声时差值

## 3 基本规定

### 3.1 检测目的

3.1.1 对基桩采用本规程规定的静载法、高应变法、低应变法、超声法和钻芯法进行检测，判定其检测结果是否满足设计要求和规范规定，并以此作为设计、基桩质量验收或质量问题处理的依据。

### 3.2 检测单位、人员、仪器设备

3.2.1 从事基桩检测的单位和人员，其资质和资格应符合国家和广东省的有关规定，符合深圳市建设行政主管部门的要求。

3.2.2 用于基桩检测工作的计量器具应定期计量检定或校准。

3.2.3 用于基桩检测工作的仪器设备应有防止干扰检测结果的防护措施及防止检测过程中断的应急装置。

### 3.3 检测前的准备

3.3.1 检测前应掌握下列资料：岩土工程勘察资料、桩基设计图、桩基施工记录及相关的桩基技术标准。

3.3.2 检测前应根据现场调查结果和检测目的编制检测方案，其内容宜包括：工程概况、检测目的、检测方法及其依据的标准、抽样方案、所需的机械或人工配合、检测所需的时间。

3.3.3 受检桩选择应按下列原则综合确定：

- 1 施工质量有怀疑的桩。
- 2 设计方认为重要的桩。
- 3 地质条件复杂可能影响质量的桩。
- 4 代表不同施工工艺条件和不同施工单位的桩。
- 5 承载力或钻芯检测时，侧重桩身完整性检测中有缺陷或怀疑的桩。
- 6 同类型桩宜随机均匀分布。

3.3.4 检测开始时间应符合下列规定：

- 1 当采用低应变法或超声法检测时，受检桩的混凝土强度不应低于设计强度的 70%且不低于 15MPa。
- 2 当检测承载力或采用钻芯法时，受检桩的混凝土应达到 28d 龄期或混凝土强度达到设计强度。
- 3 检测承载力的受检桩从成桩到开始检测的间歇时间宜符合：砂土不少于 7d；粉土不少于 10d；非饱和粘性土不少于 15d；饱和粘性土不少于 25d。

3.3.5 工程桩宜先进行桩身完整性检测，后进行单桩承载力检测。当基础埋置较深时，桩身完整性检测宜在基坑开挖至基底标高后进行。

### 3.4 检测项目、方法及抽检数量

3.4.1 各类工程桩应检测单桩承载力和桩身完整性。

3.4.2 当出现下列情况之一时，桩基工程施工前应进行设计阶段试桩：设计方有要求；地质条件复杂；成桩工艺可靠性低；采用新桩型新工艺。

3.4.3 各种检测方法应根据检测目的按表 3.4.3 选择。

表 3.4.3 检测方法及其检测目的

| 检测方法 | 检测目的   |
|------|--|
| 静载法  | 确定单桩承载力，判定其是否满足设计要求                              |
| 高应变法 | 判定单桩竖向抗压承载力；分析桩侧和桩端土阻力；检测桩身缺陷及位置；判定桩身完整性类别       |
| 低应变法 | 检测桩身缺陷及位置；判定桩身完整性类别                              |
| 超声法  | 检测桩身缺陷及位置；判定桩身完整性类别                              |
| 钻芯法  | 检测桩身缺陷及位置、混凝土强度、桩长、桩底沉渣厚度；判定或鉴别桩端岩土层性状；判定桩身完整性类别 |

3.4.4 单位工程各类工程桩抽样检测的方法和数量应符合表 3.4.4 的规定。

表 3.4.4 工程桩抽样检测方法及数量

| 桩径 (mm)   | 类型  | 检测方法         | 同类型桩抽检数量  |
|---|---|--------------|---|
| <800  | 各类桩                                       | 静载法<br>或高应变法 | 静载法抽检不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根（总桩数在 50 根以内时，不应少于 2 根）；<br>或高应变法抽检不应少于总桩数的 5%，且不应少于 5 根。 |
|   |   | 低应变法         | 低应变法抽检不应少于总桩数的 30%，且每承台下不应少于 1 根。   |
| ≥800  | 桩端持力层为强风化层（或以上土层），且单桩承载力特征值 ≤ 8000kN 的灌注桩 | 静载法          | 静载法抽检不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根（总桩数在 50 根以内时，不应少于 2 根）。                                  |
|   |   | 低应变法<br>或超声法 | 低应变法或超声法抽检不应少于总桩数的 30%，且每承台下不应少于 1 根。   |
|   | 桩端持力层为中风化层（或以下岩层），或单桩承载力特征值 > 8000kN 的灌注桩 | 钻芯法          | 钻芯法抽检不应少于总桩数的 15%，且不应少于 10 根。   |
|   |   | 低应变法<br>或超声法 | 低应变法或超声法抽检不应少于总桩数的 30%，且每承台下不应少于 1 根。   |
| 注：1 当用高应变法代替静载法检测单桩竖向抗压承载力时，应在同一工程做不少于 3 根桩的静载法与高应变法对比试验，并将对比试验的资料列入检测报告中。<br>2 当桩径小于或等于 1600mm 时，可采用低应变法或超声法。当桩径大于 1600mm 时，应全部预埋声测管。<br>3 对单桩承载力特征值大于 8000kN 的灌注桩，当设计方有要求且场地条件许可时，应采用静载法。<br>4 对桥梁的基桩应 100%检测桩身完整性。 |   |              |   |

### 3.5 验证检测与扩大抽检

3.5.1 当对检测结果有怀疑或争议时，应选择以下适宜的方法进行验证检测：

- 1 桩身浅部缺陷可采用开挖验证。
- 2 对预制桩采用低应变法的检测结果有怀疑或争议时，可采用高应变法进行验证。
- 3 对灌注桩采用低应变法或超声法的检测结果有怀疑或争议时，可采用钻芯法进行验证。
- 4 对钻芯法检测结果有怀疑或争议时，可在同一基桩增加钻孔验证。
- 5 对高应变法判定的单桩承载力有怀疑或争议时，可采用静载法验证。

3.5.2 当基桩的检测结果不满足设计要求时，应分析原因，并进行扩大抽检。扩大抽检应符合下列规定：

- 1 扩大抽检应采用原抽检用的检测方法，或准确度更高的检测方法。扩大抽检完成后，应根据全部检

测结果综合判定。

2 当采用低应变法或超声法抽检所发现的Ⅲ、Ⅳ类桩之和小于抽检桩数的 20%时，应按Ⅲ、Ⅳ类桩数的 2 倍扩大抽检；当Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于或等于抽检桩数的 20%时，应在未检桩中再取总桩数的 30%扩大抽检。若两次抽检中Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于或等于两次抽检桩数总和的 20%时，该批桩应全部检测桩身完整性。

3 当静载法、高应变法或钻芯法的检测结果不满足设计要求时，应按不满足设计要求的桩数的 2 倍扩大抽检。

### 3.6 检测结果与报告

3.6.1 对工程桩抽样检测，承载力检测应给出单桩承载力检测值是否满足设计要求的结论；钻芯法检测应给出单桩的桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度和桩端岩土层性状是否满足设计要求的结论。

3.6.2 桩身完整性检测应对各受检桩进行桩身完整性类别判定。桩身完整性类别判定应符合表 3.6.2 的规定。

表 3.6.2 桩身完整性分类表

| 桩身完整性类别 | 分类原则                     |
|---------|--------------------------|
| I 类桩    | 桩身完整                     |
| II 类桩   | 桩身有轻微缺陷，不会影响桩身结构承载力的正常发挥 |
| III 类桩  | 桩身有明显缺陷，对桩身结构承载力有影响      |
| IV 类桩   | 桩身存在严重缺陷                 |

3.6.3 检测报告应准确、清晰和客观地报告每一项检测的结果。检测报告应结论准确、用词规范。

3.6.4 检测报告应包含以下内容：

- 1 委托方名称，委托日期，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，基础、结构型式，层数，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期。
- 2 地质条件描述。
- 3 受检桩的桩号、桩位和相关施工记录。
- 4 检测方法，检测仪器设备，检测过程叙述。
- 5 受检桩的检测数据，实测与计算分析曲线、表格和汇总结果。
- 6 与检测内容相应的检测结论。

3.6.5 报告上应有主要检测人员、报告编写人、审核人、批准人的签字，并应加盖检测单位的检测专用章。

## 4 单桩竖向抗压静载法

### 4.1 一般规定

4.1.1 本方法适用于确定单桩竖向抗压承载力。

4.1.2 工程桩抽样检测，最大加载量不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2.0 倍；为设计提供依据的试验桩，宜加载至破坏。

## 4.2 仪器设备

4.2.1 加载装置宜采用油压千斤顶。当采用 2 台及 2 台以上千斤顶加载时应并联同步工作，且应符合下列规定

- 1 千斤顶型号、规格应相同。
- 2 千斤顶的合力中心应与试桩轴线重合。

4.2.2 加载反力装置可根据现场条件选择锚桩（锚杆）横梁反力装置、压重平台反力装置、锚桩（锚杆）压重联合反力装置，并应符合下列规定：

- 1 加载反力装置提供的反力不得小于最大加载量的 1.2 倍。
- 2 应对加载反力装置的全部构件进行强度和变形验算。
- 3 应对锚桩（锚杆）抗拔力（如地基土、抗拔钢筋、桩的接头等）进行验算；采用工程桩作锚桩时，锚桩数量不宜少于 4 根，并应监测锚桩上拔量。
- 4 压重宜在检测前一次加足，均匀稳固地放置于平台上，压重合力中心与试桩的几何中心重合。
- 5 压重施加于地基的压应力不宜大于地基承载力特征值的 1.5 倍，有条件时宜利用工程桩作为堆载支点。

4.2.3 荷载测量可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测量；或采用并联于千斤顶油路的压力传感器测量油压，根据千斤顶率定曲线换算成荷载。传感器的测量误差不应大于 1%，压力表准确度等级应优于或等于 0.4 级。试验用压力表、油泵、油管在最大加载量下的压力不应超过规定最大工作压力的 80%。

4.2.4 沉降测量应采用位移传感器，并应符合下列规定：

- 1 位移传感器测量误差不大于 0.1%FS，分辨率优于或等于 0.01mm。
- 2 直径或边宽大于 500mm 的桩，应对称安置 4 个位移传感器，直径或边宽小于或等于 500mm 的桩可对称安置 2 个位移传感器。
- 3 沉降测量平面宜在桩顶 0.5 倍桩径以下位置，测点应牢固地固定于桩身。
- 4 基准梁应具有一定的刚度，梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上。
- 5 固定和支撑位移传感器的夹具及基准梁应避免气温、振动及其他外界因素的影响。

4.2.5 荷载测量和沉降测量应采用自动数据采集系统。

4.2.6 试桩、锚桩（锚杆、压重平台支墩边）和基准桩之间的中心距离应符合表 4.2.6 的规定。

表 4.2.6 试桩、锚桩（锚杆、压重平台支墩边）和基准桩之间的中心距离

| 反力装置     | 距离 | 试桩中心与锚桩（锚杆）中心（或压重平台支墩边）        | 试桩中心与基准桩中心                     | 基准桩中心与锚桩（锚杆）中心（或压重平台支墩边）       |
|----------|----|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 锚桩（锚杆）横梁 |    | $\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$ | $\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$ | $\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$ |
| 压重平台     |    | $\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$    | $\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$ | $\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$    |

注：1  $D$  为试桩、锚桩、锚杆的设计直径或边宽，取其较大者。  
2 如试桩或锚桩为扩底桩或多支盘桩时，试桩与锚桩的中心距尚不宜小于 2 倍扩大端直径。  
3 括号内数值可用于工程桩抽样检测时多排桩设计桩中心距离小于  $4D$  的情况。  
4 软土地场堆载重量较大时，宜增加支墩边与基准桩中心和试桩中心之间的距离，并在试验过程中观测基准桩的竖向位移。

### 4.3 检测工作

4.3.1 试验桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

4.3.2 试桩顶部宜高出试坑底面，试坑底面宜与桩基承台底标高一致。混凝土桩头加固应符合本规程附录 A 的规定。

4.3.3 对作为锚桩用的灌注桩和有接头的预制桩，试验前宜对其桩身完整性进行检测。对试桩，试验前后均宜进行桩身完整性检测。

4.3.4 试验加、卸载方式应符合下列规定：

- 1 加载应分级进行，采用逐级等量加载；分级荷载宜为最大加载量或预估单桩竖向抗压极限承载力的  $1/10$ ，其中第一级可取分级荷载的 2.0 倍。
- 2 卸载应分级进行，采用逐级等量卸载；每级卸载量取加载时分级荷载的 2.0 倍。
- 3 加、卸载时应使荷载传递均匀、连续、无冲击，每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的  $\pm 10\%$ 。

4.3.5 有下列情况之一的基桩，其竖向抗压静载试验应采用慢速维持荷载法：

- 1 为设计提供依据的基桩。
- 2 桩端持力层设置在强风化层（或以上土层）的灌注桩。
- 3 采用静压工艺施工的预制桩。
- 4 验证检测或扩大抽检的基桩。

4.3.6 同一条件下的工程桩应首先对施工质量可靠性低的桩采用慢速维持荷载法试验，试验数量不应少于静载试验总数量的 30%。当其试验结果满足设计要求时，其余的桩可采用快速维持荷载法试验。

4.3.7 慢速维持荷载法试验步骤应符合下列规定：

- 1 每级荷载施加后按第 0、5、15、30、45、60min 测读桩顶沉降量，以后每隔 30min 测读一次。
- 2 沉降相对稳定标准：每 1h 内的桩顶沉降量不超过 0.1mm。
- 3 当桩顶沉降达到相对稳定标准时，再施加下一级荷载。
- 4 卸载时，每级荷载维持 1h，按第 15、30、60min 测读桩顶沉降量后，即可卸下一级荷载。卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间为 3h，测读时间为第 15、30min，以后每隔 30min 测读一次。

4.3.8 快速维持荷载法试验步骤应符合下列规定：

- 1 每级荷载施加后按第 0、10min 测读桩顶沉降量，以后每隔 10min 测读 1 次。
- 2 沉降相对稳定标准：加载时每级荷载维持时间不少于 1h，最后 2 个 10min 内的桩顶沉降量均小于前 1 个 10min 内的桩顶沉降量。
- 3 当桩顶沉降达到相对稳定标准时，再施加下一级荷载。
- 4 卸载时，每级荷载维持 15min，按第 5、15min 测读桩顶沉降量；卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间为 2h，测读时间为第 5、15、30min，以后每隔 30min 测读一次。

4.3.9 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 5 倍，且桩顶总沉降量已超过 40mm。
- 2 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍，且经 24h 尚未达到相对稳定标准。
- 3 已达到锚桩（锚杆）最大抗拔力或设计要求的最大加载量时。

## 4.4 检测结果

### 4.4.1 试验数据整理应符合下列规定：

- 1 确定单桩竖向抗压承载力检测值时，应绘制竖向荷载-沉降（ $Q-s$ ）、沉降-时间对数（ $s-lgt$ ）曲线。
- 2 需要时也可绘制其他辅助分析曲线。

### 4.4.2 单桩竖向抗压承载力检测值可按下列方法综合分析确定：

- 1 根据沉降随荷载变化的特征确定：对于陡降型  $Q-s$  曲线，取其发生明显陡降的起始点对应的荷载值。
- 2 根据沉降随时间变化的特征确定：取  $s-lgt$  曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值。
- 3 出现本规程第 4.3.9 条第 2 款情况，取前一级荷载值。
- 4 对于缓变型  $Q-s$  曲线可根据沉降量确定，宜取  $s=40\text{mm}$  对应的荷载值；对于长径比大于 80 的细长桩可考虑其桩身弹性变形。对直径大于或等于 800mm 的桩，可取  $s=0.05D$ （ $D$  为桩端直径）且  $s\leq 80\text{mm}$  对应的荷载值。
- 5 对抽样检测的工程桩在最大加载量下，未出现以上四款情况，且桩顶沉降达到相对稳定标准时，取最大加载量。

注：按上述前四款确定的单桩竖向抗压承载力检测值即单桩竖向抗压极限承载力。

### 4.4.3 检测报告除应符合本规程第 3.6.4 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 试桩桩位对应的地质柱状图。
- 2 试桩及锚桩（锚杆）的尺寸、材料强度、锚桩（锚杆）数量、配筋情况。
- 3 加载反力装置种类。堆载法应提供堆载重量，锚桩法应有反力梁布置平面图。
- 4 加、卸载方法，荷载分级。
- 5 本规程第 4.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；与单桩竖向抗压承载力检测值确定有关的曲线及数据。
- 6 单桩竖向抗压承载力检测值确定的依据。

4.4.4 当  $Q-s$  曲线的形态出现异常时，应采用有效的方法对桩身完整性进行检测，根据桩身完整性检测结果和静载试验结果对试桩的桩身质量和承载能力进行综合分析评价。当证实桩身存在缺陷时，应在检测报告中明确指出（例如：桩身存在缺陷，应经工程处理后才能使用）。

## 5 单桩竖向抗拔静载法

### 5.1 一般规定

5.1.1 本方法适用于确定单桩竖向抗拔承载力。5.1.2 对抽样检测的工程桩，可按设计要求确定最大加载量；为设计提供依据的试验桩应加载至桩侧土破坏或达到桩身材料设计强度。

### 5.2 仪器设备

5.2.1 加载装置应符合本规程第 4.2.1 条的规定。

5.2.2 加载反力装置宜采用反力桩（或工程桩）提供支座反力，也可根据现场情况采用天然地基提供支座反力。反力架系统应具有 1.2 倍的安全系数并符合下列规定：

- 1 采用反力桩（或工程桩）提供支座反力时，反力桩顶面应平整并具有足够的强度。

2 采用天然地基提供支座反力时，施加于地基的压应力不宜超过地基承载力特征值的 1.5 倍；反力梁的支点重心应与支座中心重合。

5.2.3 荷载测量及其仪器的技术要求应符合本规程第 4.2.3 条和第 4.2.5 条的规定。

5.2.4 桩顶上拔量测量及其仪器的技术要求应符合本规程第 4.2.4 条和第 4.2.5 条的有关规定。

注：桩顶上拔量测量点可固定在试桩顶面的桩身混凝土上。

5.2.5 试桩、支座和基准桩之间的中心距离应符合表 4.2.6 的规定。

### 5.3 检测工作

5.3.1 对灌注桩、有接头的预制桩，宜在拔桩试验前采用低应变法检测试桩的桩身完整性。为设计提供依据的抗拔灌注桩施工时应进行成孔质量检测，发现桩孔中、下部位有明显扩径的桩（设计有扩径要求者除外）不宜作为抗拔试验桩；对有接头的预制桩，应验算接头强度。

5.3.2 单桩竖向抗拔静载试验宜采用慢速维持荷载法。需要时，也可采用多循环加、卸载方法。慢速维持荷载法的加卸载分级、试验方法及稳定标准应符合本规程第 4.3.4 条和第 4.3.7 条的有关规定。

5.3.3 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1 在某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级上拔荷载作用下的上拔量 5 倍。
- 2 按桩顶上拔量控制，当累计桩顶上拔量超过 100mm 时。
- 3 按钢筋抗拉强度控制，桩顶上拔荷载达到钢筋强度标准值的 0.9 倍。
- 4 对抽样检测的工程桩和对桩身裂缝控制有要求的工程桩，达到设计要求的最大加载量。

### 5.4 检测结果

5.4.1 试验数据整理应绘制上拔荷载-桩顶上拔量（ $U-\delta$ ）关系曲线和桩顶上拔量-时间对数（ $\delta-1gt$ ）关系曲线。

5.4.2 单桩竖向抗拔承载力检测值可按下列方法综合分析确定：

- 1 根据桩顶上拔量随上拔荷载变化的特征确定：对陡变型  $U-\delta$  曲线，取陡升起始点对应的上拔荷载值。
- 2 根据桩顶上拔量随时间变化的特征确定：取  $\delta-1gt$  曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的前一级上拔荷载值。
- 3 当在某级上拔荷载下抗拔钢筋断裂时，取其前一级荷载值。
- 4 对抽样检测的工程桩在最大加载量下，未出现以上三款情况，且桩顶上拔量达到相对稳定标准时，可取最大加载量。

注：按上述前三款确定的单桩竖向抗拔承载力检测值即单桩竖向抗拔极限承载力。

5.4.3 检测报告除应符合本规程第 3.6.4 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 试桩桩位对应的地质柱状图。
- 2 试桩尺寸（灌注桩宜绘制孔径曲线）及配筋情况。
- 3 加、卸载方法，荷载分级。
- 4 本规程第 5.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表。
- 5 单桩竖向抗拔承载力检测值确定的依据。

## 6 单桩水平静载法

### 6.1 一般规定

6.1.1 本方法适用于确定桩顶自由的单桩水平承载力，推定地基土水平抗力系数的比例系数。其他形式的水平静载试验可参照使用。

6.1.2 对抽样检测的工程桩，可按设计要求的水平位移允许值或最大水平荷载值控制加载；为设计提供依据的试验桩宜加载至桩顶水平位移达到 30—40mm（软土取大值）或桩身结构破坏，试验桩不宜作为工程桩使用。

### 6.2 仪器设备

6.2.1 水平推力加载装置宜采用油压千斤顶，加载能力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍。

6.2.2 水平推力的反力可由相邻桩提供；当专门设置反力结构时，其承载能力和刚度应大于试桩的 1.2 倍。

6.2.3 荷载测量及其仪器的技术要求应符合本规程第 4.2.3 条的有关规定；水平力作用点宜与实际工程的桩基承台底标高一致；千斤顶和试桩接触处应安置球形支座，千斤顶作用力应水平通过桩身轴线；千斤顶与试桩的接触处宜适当补强。

6.2.4 桩的水平位移测量及其仪器的技术要求应符合本规程第 4.2.4 条和第 4.2.5 条的有关规定。在水平力作用平面的试桩两侧应对称安装 2 个位移传感器；当需要测量桩顶转角时，尚应在水平力作用平面以上 50cm 的试桩两侧对称安装 2 个位移传感器。

6.2.5 位移测量的基准点设置不应受试验和其他因素的影响，基准点应设置在与作用力方向垂直且与位移方向相反的试桩侧面，基准点与试桩净距不应小于 1 倍桩径。

### 6.3 检测工作

6.3.1 加载方法宜根据工程桩实际受力特性选用单向多循环加载法或本规程第 4 章规定的慢速维持荷载法，也可按设计要求采用其他加载方法。需要测量桩身应力或应变的试桩宜采用慢速维持荷载法。

6.3.2 试验加、卸载方式和水平位移测量应符合下列规定：

1 单向多循环加载法的分级荷载应小于预估单桩水平极限承载力或最大试验荷载的 1/10。每级荷载施加后，恒载 4min 后可测读水平位移，然后卸载至零，停 2min 测读残余水平位移，至此完成一个加卸载循环。如此循环 5 次，完成一级荷载的位移测量。试验不得中间停顿。

2 慢速维持荷载法的加卸载分级、试验方法及稳定标准应符合本规程第 4.3.4 条和第 4.3.7 条的有关规定。

6.3.3 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1 桩身折断。
- 2 水平位移超过 30—40mm（软土取 40mm）。
- 3 对抽样检测的工程桩，水平位移达到设计要求的水平位移允许值。
- 4 对抽样检测的工程桩和对桩身裂缝控制有要求的工程桩，达到设计要求的最大水平荷载值。

## 6.4 检测结果

### 6.4.1 试验数据整理应符合下列规定：

- 1 采用单向多循环加载法时应绘制水平力-时间-水平位移（H-t-Y0）关系曲线和水平力-水平位移梯度（H-ΔY0/ΔH）关系曲线。
- 2 采用慢速维持荷载法时应绘制水平力-水平位移（H-Y0）关系曲线、水平力-水平位移梯度（H-ΔY0/ΔH）关系曲线、水平位移-时间对数（Y0-1gt）关系曲线和水平力-水平位移双对数（1gH-1gY0）关系曲线。
- 3 绘制水平力、水平位移-地基土水平抗力系数的比例系数的关系曲线（H-m、Y0-m）。

当桩顶自由且水平力作用位置位于地面处时，m 值可按下列公式计算：

$$m = \frac{(v_y H)^{\frac{5}{3}}}{b_0 Y_0^{\frac{5}{3}} (EI)^{\frac{2}{3}}} \quad (6.4.1-1)$$

$$\alpha = \left( \frac{m b_0}{EI} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.4.1-2)$$

式中 m——地基土水平抗力系数的比例系数（kN / m<sup>4</sup>）；

α——桩的水平变形系数（m<sup>-1</sup>）；

v<sub>y</sub>——桩顶水平位移系数，由式（6.4.1-2）试算 α，当 αh≥4.0 时（h 为桩的入土深度），v<sub>y</sub>=

2.441；

H——作用于地面的水平力（kN）；

Y<sub>0</sub>——水平力作用点的水平位移（m）；

EI——桩身抗弯刚度（kN·m<sup>2</sup>）；其中 E 为桩身材料弹性模量，I 为桩身换算截面惯性矩；

b<sub>0</sub>——桩身计算宽度（m）；对于圆形桩：当桩径 D≤1m 时，b<sub>0</sub>=0.9（1.5D+0.5）；当桩径 D>1m 时，b<sub>0</sub>=0.9（D+1）。对于矩形桩：当边宽 B≤1m 时，b<sub>0</sub>=1.5B+0.5；当边宽 B>1m 时，b<sub>0</sub>=B+1。

### 6.4.2 单桩的水平临界荷载可按下列方法综合分析确定：

- 1 取单向多循环加载法时的 H-t-Y0 曲线或慢速维持荷载法时的 H-Y0 曲线出现拐点的前一级水平荷载值。
- 2 取 H-ΔY0/ΔH 曲线或 1gH-1gY0 曲线上第一拐点对应的水平荷载值。

### 6.4.3 单桩水平承载力检测值可按下列方法综合确定：

- 1 取单向多循环加载法时的 H-t-Y0 曲线产生明显陡降的前一级、或慢速维持荷载法时的 H-Y0 曲线发生明显陡降的起始点对应的水平荷载值。
- 2 取慢速维持荷载法时的 Y0-1gt 曲线尾部出现明显弯曲的前一级水平荷载值。
- 3 取 H-ΔY0/ΔH 曲线或 1gH-1gY0 曲线上第二拐点对应的水平荷载值。
- 4 取桩身折断或受拉钢筋屈服时的前一级水平荷载值。
- 5 对抽样检测的工程桩在最大水平荷载作用下，未出现以上四款情况，且桩顶水平位移达到相对稳定标准时，可按设计要求确定。

注：按上述前四款确定的单桩水平承载力检测值即单桩水平极限承载力。

6.4.4 检测报告除应符合本规程第 3.6.4 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 试桩桩位对应的地质柱状图。
- 2 试桩的截面尺寸及配筋情况。
- 3 加、卸载方法，荷载分级。
- 4 本规程第 6.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表。
- 5 单桩水平承载力检测值确定的依据。

## 7 高应变法

### 7.1 一般规定

7.1.1 本方法适用于判定单桩竖向抗压承载力、检测桩身完整性及监控预制桩打桩过程。

7.1.2 当桩身有严重缺陷或断桩时不得采用高应变法判定承载力。

### 7.2 仪器设备

7.2.1 检测仪器应具有信号显示、存储和分析、处理功能，并应符合现行行业标准《基桩动测仪》JG/T3055 表 1 中 2 级标准的规定。

7.2.2 单击下桩的贯入度宜用精密水准仪等光学仪器测量。

7.2.3 打桩机械或类似的装置（导杆式柴油锤除外）都可作为锤击设备；锤击设备应具有稳固的导向装置。检测用的重锤应材质均匀，形状对称，锤底平整，高径（宽）比不得小于 1，并采用铸铁或铸钢制作。当采用在自由落锤上安装加速度传感器的方式实测锤击力时，重锤应整体铸造，高径（宽）比应在 1.0—1.5 范围内。进行承载力检测时，锤重应大于预估单桩极限承载力的 1.0%—1.5%，混凝土桩的桩径大于 600mm 或桩长大于 30m 时取高值。

### 7.3 检测工作

7.3.1 检测前准备工作应符合下列规定：

- 1 桩头露出高度应满足检测装置的要求。桩头顶面应平整，桩锤及桩头中轴线与桩身中轴线应重合。
- 2 桩头顶部应设置桩垫，桩垫宜采用 10—30mm 厚的木板或胶合板等材质均匀的材料。
- 3 对不能承受锤击的桩头应在检测前进行处理，处理应符合本规程附录 A 的规定。
- 4 传感器的安装应符合本规程附录 B 的规定。
- 5 预制桩承载力的时间效应应通过复打试验确定。

7.3.2 检测前参数的设定应符合下列规定：

- 1 桩身截面积、桩身波速、桩材质量密度及桩材弹性模量等参数应按测点处桩的实际性状设定。
- 2 测点下桩长和桩身截面积设定应符合下列规定：
  - 1) 测点下桩长是传感器安装点至桩底的距离。
  - 2) 对于预制桩，可根据建设、监理或施工单位提供的桩长和截面积设定。
  - 3) 对于灌注桩，宜根据建设、监理或施工单位提供的完整施工记录设定。
- 3 桩身波速的初步设定应符合以下规定：

- 1) 钢桩为 5120m/s。
- 2) 对于预制桩，可将桩打入前实测的桩身波速作为设定值，并应用实测桩底反射信号进行校核。
- 3) 对于灌注桩，在桩长已知的情况下，可根据实测桩底反射信号计算桩身波速；如桩底反射信号不明显，可根据桩身混凝土强度等级及实测经验等综合设定。

4 桩材质量密度的设定应符合下列规定：

- 1) 钢桩为 7.85t/m<sup>3</sup>。
- 2) 预制桩为 2.45—2.60t/m<sup>3</sup>。
- 3) 灌注桩为 2.40t/m<sup>3</sup>。

5 桩材弹性模量应按下式计算：

$$E = \rho \cdot c^2 \quad (7.3.2)$$

式中 E——桩身材料弹性模量 (kPa)；

c——桩身波速 (m/s)；

$\rho$ ——桩身材料质量密度 (t/m<sup>3</sup>)。

6 采样时间间隔宜为 50—200s，采样点数不宜少于 1024 点。

7 应变式力传感器和加速度传感器设定值应按检定或校准结果设定。

7.3.3 现场检测应符合下列规定：

1 检测前应对仪器、电源系统、传感器、连线、接地情况及设定参数等进行全面检查，确认无误后方可进行检测。

2 当采用自由落锤时，宜重锤低击，最大锤击落距不宜大于 2.5m。

3 检测时宜实测单次锤击下桩的贯入度，单击贯入度宜在 2—6mm 之间。

4 当仅检测桩身完整性时，在能观察到桩底反射信号的前提下，可减轻锤重、降低落距、减小桩垫厚度。

5 发现波形紊乱，应分析原因；对有缺陷的桩，应先对实测信号作定性分析，找出桩身缺陷的数量和位置；桩身有明显缺陷或缺陷程度加剧时，应终止检测。

6 打桩监控应符合本规程附录 C 的规定。

7.3.4 每根受检桩记录的有效锤击信号应根据单击贯入度、桩顶最大动位移、桩身最大拉（压）应力、缺陷程度及发展趋势等综合确定。

7.3.5 检测时要及时检查信号的质量，发现下列情况之一时应进行检查、调整或停止检测：

1 信号出现异常；或同一根桩进行多锤测试时，信号无规律。

2 传感器安装不良或出现故障；锤击严重偏心，两侧力信号幅值相差超过一倍；测点处混凝土开裂；桩身有明显缺陷并程度加剧。

3 力信号未归零。

## 7.4 检测结果

7.4.1 分析计算前，应对所有信号进行定性检查、分析。观察各信号反映出的桩的承载性状和桩身缺陷的程度，选取锤击能量较大的 1—2 击进行分析计算。

7.4.2 当出现下列情况之一时，其信号不得作为分析计算的依据：

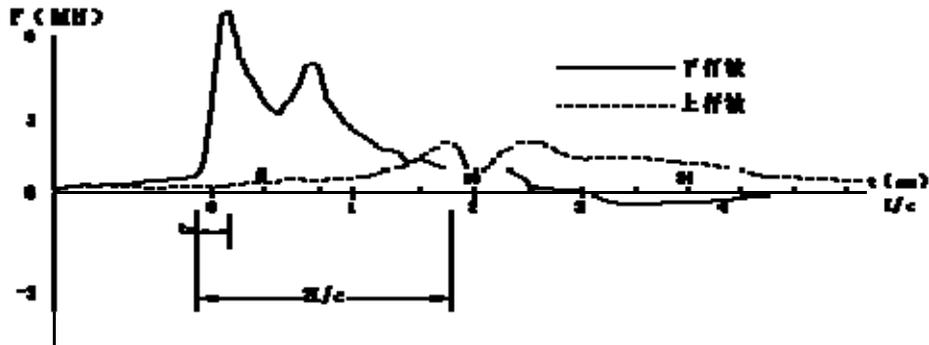
1 测点处混凝土开裂或有严重塑性变形使力信号未归零。

2 锤击严重偏心，两侧力信号幅值相差超过 1 倍。

- 3 四通道信号不全。
- 4 由于触变效应的影响，预制桩在多次锤击下承载力有所降低。

7.4.3 分析计算前，可按下列方法确定桩身波速。

1 当桩底反射信号较明显时，宜根据实测信号的下行波上升沿的起点到上行波下降沿的起点之间的时差与已知桩长确定桩身波速（图 7.4.3）。



F—锤击力 L—测点下桩长 c—桩身波速

图 7.4.3 桩身波速的确定

- 2 当桩底反射信号不明显时，可根据桩长、波速的合理取值范围以及邻近桩的桩身波速等综合确定。
- 3 当确定后的桩身波速与原设定的桩身波速有差别时应将桩材弹性模量和力信号的幅度作相应的调整。

7.4.4 实测的力和速度信号第一峰起始比例失调时，不得进行比例调整。

7.4.5 用实测曲线拟合法分析计算时应符合下列规定：

- 1 实测曲线拟合法所采用的力学模型应能反映桩-土体系的实际性状。
- 2 拟合时间段长度在  $t_1 + 2L/c$  后不应少于 30ms。
- 3 拟合中选定的参数应在相应岩土层性状的合理范围内，各单元所选用最大弹性位移  $s_q$  值不得超过相应桩单元的最大位移值。
- 4 拟合结束时，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，贯入度的计算值应与实测值接近。

7.4.6 凯司法判定单桩承载力可按下列公式计算：

$$R_c = (1 - J_c) \cdot \frac{1}{2} \cdot [F(t) + Z \cdot V(t)] + (1 + J_c) \cdot \frac{1}{2} \cdot [F(t + 2L/c) - Z \cdot V(t + 2L/c)]$$

(7.4.6-1)

$$Z = \frac{E \cdot A}{c} \quad (7.4.6-2)$$

式中  $R_c$ ——凯司法判定的单桩承载力 (kN) ;  
 $J_c$ ——凯司法阻尼系数;  
 $t_1$ ——速度波第一峰对应的时刻 (ms) ;  
 $F(t_1)$ —— $t_1$  时刻的锤击力 (kN) ;  
 $V(t_1)$ —— $t_1$  时刻的质点运动速度 (m/s) ;  
 $Z$ ——桩身截面力学阻抗 (kN?s/m) ;  
 $A$ ——桩身截面积 (m<sup>2</sup>) ;  
 $L$ ——测点下桩长 (m) 。

注：公式 (7.4.6-1) 仅适用于  $t_1 + 2L/c$  时刻桩侧、桩端阻力均已充分发挥的桩。

7.4.7 用凯司法判定单桩承载力应符合下列规定：

- 1 桩径小于 800mm，桩身材质、截面基本均匀。
- 2  $J_c$  值宜通过静动对比试验，结合实测曲线拟合法、桩端岩土层性状综合确定。用实测曲线拟合法确定  $J_c$  值时，拟合计算的桩数不应少于受检桩数的 30%，并不得少于 3 根。
- 3 在同一场地，桩型、截面积相同情况下， $J_c$  值的极差不宜大于平均值的 30%。

7.4.8 当出现下列四种情况，应采用静载法进一步验证：

- 1 桩身存在缺陷，无法判定单桩承载力。
- 2 桩身缺陷对水平承载力有影响。
- 3 单击贯入度大，桩底同向反射强烈且反射波峰较宽，侧阻力波、端阻力波反射弱，即波形表现出竖向承载性状明显与勘察报告中的地质条件不相符。
- 4 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。

7.4.9 桩身完整性检测应符合下列规定：

- 1 桩身完整性可用实测曲线拟合法评价。
- 2 对于等截面桩，桩顶下第一个缺陷可用桩身完整性系数评价。
- 3 对有浅部缺陷的桩，扩径桩，锤击力信号上升缓慢、力和速度信号比例失调的桩，其桩身完整性评价宜根据施工工艺、场地地质条件，力与速度信号的比例失调程度，结合实测曲线拟合法或其他检测方法综合评价。

7.4.10 桩身缺陷位置应按下式计算：

$$x = c \cdot \frac{t_2 - t_1}{2000} \quad (7.4.10)$$

式中  $x$ ——缺陷位置与传感器安装点的距离 (m) ;  
 $t_1$ ——速度波第一峰所对应的时刻 (ms) ;  
 $t_2$ ——缺陷反射波峰所对应的时刻 (ms) 。

7.4.11 桩身完整性系数可按下列公式计算：

$$\beta = \frac{F_1(t_1) - \Delta R + F_2(t_2)}{F_1(t_1) + F_2(t_2)} \quad (7.4.11-1)$$

$$F_1(z_1) = \frac{1}{2} [F(z_1) + Z V(z_1)] \quad (7.4.11-2)$$

$$F_2(z_2) = \frac{1}{2} [F(z_2) - Z V(z_2)] \quad (7.4.11-3)$$

式中  $\beta$ ——桩身完整性系数；

$\Delta R$ ——缺陷以上部位土阻力的估计值 (kN)，等于缺陷反射波起始点的力与速度乘以桩身截面力学阻抗之差值，取值见图 7.4.11。

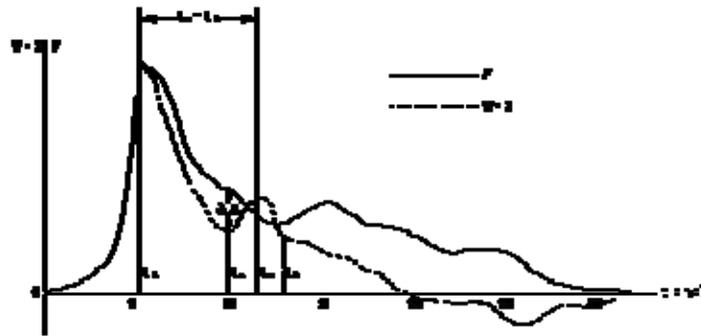


图 7.4.11 桩身完整性系数计算

7.4.12 用桩身完整性系数评价桩身完整性类别可按表 7.4.12 的规定进行。

表 7.4.12 桩身完整性分类表

| 类别  | $\beta$ 值              |
|-----|------------------------|
| I   | $\beta = 1.0$          |
| II  | $0.8 \leq \beta < 1.0$ |
| III | $0.6 \leq \beta < 0.8$ |
| IV  | $\beta < 0.6$          |

7.4.13 桩身最大锤击拉（压）应力和桩锤实际传递给桩的能量应分别按本规程附录 C 的相应公式计算。

7.4.14 检测报告除应符合本规程第 3.6.4 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 实测的力与速度信号曲线。
- 2 桩身波速及  $J_c$  值。
- 3 实测贯入度。
- 4 对采用实测曲线拟合法的，还应包含拟合曲线、各单元桩土模型参数、土阻力沿桩身分布图。
- 5 对试打桩和打桩监控，还应包含采用的桩锤型号、锤垫类型以及监测得到的锤击数、桩侧和桩端静阻力、桩身锤击拉应力和压应力，桩身完整性以及桩锤能量传递比随入土深度的变化。

## 8 低应变法

### 8.1 一般规定

8.1.1 本方法适用于检测桩径小于或等于 1600mm 的混凝土桩的桩身完整性。

8.1.2 本方法的有效检测桩长范围应通过现场试验，根据桩底反射信息确定。

## 8.2 仪器设备

8.2.1 检测仪器应具有信号显示、储存和处理分析功能，并应符合现行行业标准《基桩动测仪》JG/T3055 的有关规定。

8.2.2 传感器应采用压电式加速度传感器，宜备有不同类型的激振设备（力锤或力棒）供选用。

## 8.3 检测工作

8.3.1 桩顶处理应符合下列规定：

- 1 凿除桩顶浮浆及松动部分，露出密实的混凝土。
- 2 根据激振及安装传感器的要求，将桩顶表面上传感器安装点和激振点打磨成直径宜为 100mm 的光滑平面，光滑平面与桩轴线垂直。

8.3.2 安装传感器及选择激振点应符合下列规定：

- 1 传感器应与桩顶面垂直，安装位置应避开钢筋笼主筋的影响；用耦合剂粘结时，应具有足够的粘结强度，严禁采用手扶方式。
- 2 实心桩上的传感器安装点宜在距桩中心  $2/3$  半径处，激振点位置应选择在桩中心。
- 3 空心桩上的传感器安装点与激振点宜在同一水平面上，他们与桩中心连线形成的夹角宜为  $90^\circ$ ，激振点与传感器安装点宜在桩壁厚的  $1/2$  处。

8.3.3 用力棒或力锤激振应符合下列规定：

- 1 通过对比测试，选择适当的力棒或力锤。
- 2 力棒激振时，应自由下落，不得连击。
- 3 用力锤敲击时，应垂直桩顶面施力。

8.3.4 检测参数设定应符合下列规定：

- 1 设定桩长应为桩顶测点至桩底的施工桩长。
- 2 桩身波速可根据实测经验初步设定。
- 3 时域信号记录长度应在  $2L/c$  时刻后不少于 5ms，采样点数不宜少于 1024 点，采样时间间隔或采样频率应根据桩长、桩身波速合理选择。
- 4 传感器的设定值应按检定或校准结果设定。

8.3.5 检测工作应符合下列规定：

- 1 检测前应对电源、仪器、传感器、连线、接头等进行检查，确保测试系统各部分之间连接正常。
- 2 实测信号必须有良好的 consistency，每个检测点的有效信号数量不宜少于 3 个；对发现有缺陷的桩应改变检测条件多次检测，以相互验证。
- 3 检测中应随时检查所采集信号的质量，信号应无零漂现象，幅值不应超过测量系统的量程。
- 4 对于桩径小于或等于 800mm 的桩测点不应少于 2 个；对于桩径大于 800mm 的桩测点不应少于 3 个；当测试信号一致性较差时，应分析原因，增加检测点数量。

## 8.4 检测结果

8.4.1 实测时域信号可使用指数或线性放大、滤波和旋转等方法进行处理，处理参数应在合理范围内选取，保证检测信号不失真。

8.4.2 桩身完整性分析应以时域信号分析为主，必要时结合频域信号辅助分析，并结合施工、地质条件等情况综合分析判定。

8.4.3 确定桩身波速应符合下列规定：

1 单桩桩身波速  $c$  可根据实测信号的特征按下列公式计算：

$$c = \frac{2L}{t} \quad (8.4.3-1)$$

$$c = 2L \cdot \Delta f \quad (8.4.3-2)$$

式中  $L$ ——桩长 (m)；

$t$ ——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差 (s)；

$\Delta f$ ——幅频曲线上桩底相邻谐振峰间的频差 (Hz)。

2 桩身波速平均值 可根据有代表性的若干根桩的桩身波速  $c_i$  按下式计算：

$$\bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (8.4.3-3)$$

式中  $n$ ——参加桩身波速平均值计算的桩数， $n \geq 3$ ；

$c_i$ ——第  $i$  根桩的桩身波速。

3 当无法按前款确定时，桩身波速平均值速可根据本地区相同桩型及成桩工艺的其他桩基工程的实测值，结合桩身混凝土的骨料品种和强度等级综合确定。

8.4.4 桩身第一个缺陷位置应按下式计算：

$$x_1 = \frac{1}{2} c \cdot t_1 \quad (8.4.4-1)$$

式中  $x_1$ ——第一个缺陷位置距桩顶的距离 (m)；

$t_1$ ——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差 (s)；

$c$ ——受检桩的桩身波速 (m/s)，无法确定时用  $c_0$  代替。

8.4.5 桩身完整性类别宜按表 3.6.2 和表 8.4.5 的规定综合判定：

表 8.4.5 桩身完整性分类表

| 类别                                       | 特征  |
|--|---|
| I  | 无缺陷反射波，桩底反射波明显，波速正常                                       |
| II                                       | 有轻微的缺陷反射波，桩底反射波较明显，波速基本正常                                 |
| III                                      | 有较强的缺陷反射波，其他特征介于 II 类和 IV 类之间                             |
| IV                                       | 有严重的缺陷反射波或周期性缺陷反射波，无桩底反射波；或因桩身浅部严重缺陷使波形呈现低频大振幅衰减振动，无桩底反射波 |
| 注：当实测信号无反射波出现时，应结合场地地质条件、桩型、施工工艺、检测经验等因素 |   |

综合判定，必要时采取其他检测方法验证。

8.4.6 对于灌注桩，分析时应区分桩身截面渐变后恢复至原桩径并在该阻抗突变处的一次反射，或扩径突变处的二次反射，结合成桩工艺和地质条件综合分析判定受检桩的桩身完整性类别；必要时，可采用其他相关方法辅助判定。

8.4.7 出现下列情况之一时，桩身完整性判定宜结合其他检测方法进行：

- 1 嵌岩桩桩底反射波与激振信号同向。
- 2 实测信号复杂，无规律，无法对其进行准确评价。
- 3 桩身波速明显异常。

8.4.8 检测报告除应符合本规程第 3.6.4 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 实测信号曲线。
- 2 桩身波速取值。
- 3 桩身完整性描述、缺陷的位置及桩身完整性类别。
- 4 时域信号时段所对应的桩身长度标尺、指数或线性放大的范围及倍数、低通滤波参数；或幅频信号曲线分析的频率范围、桩底或桩身缺陷对应的相邻谐振峰间的频率。

## 9 超声法

### 9.1 一般规定

9.1.1 本方法适用于检测桩径大于或等于 800mm 的灌注桩的桩身完整性。

### 9.2 仪器设备

9.2.1 超声检测仪应采用数字化超声仪，并符合下列规定：

- 1 波形显示应连续、稳定、可存储。
- 2 应具有自动和手动声时测量功能，声时测量范围宜为 0.5—5000 $\mu$ s，声时测量精度不宜低于 0.1 $\mu$ s。
- 3 宜具有自动和手动波幅或衰减测量功能。
- 4 宜具有自动和手动频率测量功能。
- 5 接收放大系统的带宽宜为 10—200kHz，接收系统灵敏度宜高于 50 $\mu$ V，宜具有增益调节功能，总增益不宜低于 80dB。
- 6 发射系统宜输出 200—1000V 的矩形脉冲。

9.2.2 换能器应符合下列规定：

- 1 换能器应采用柱状径向振动的换能器，谐振频率宜为 20—60kHz，有效长度宜小于 150mm。
- 2 接收换能器宜内装前置放大器，频带宽度宜为 10—200kHz。
- 3 换能器的水密性应满足在 1MPa 水压下不渗水，换能器的导线上应有深度标记，换能器两端宜安装扶正器。

### 9.3 检测工作

9.3.1 检测前的准备工作应符合下列规定：

- 1 预埋声测管应符合本规程附录 D 的规定。
- 2 通电检查仪器的各部分是否工作正常。

- 3 测量检测仪器的系统延时（发射至接收） $t_0$  和耦合层延时（水和声测管）。
- 4 采用有效方法检查声测管是否畅通，声测管内应注满清水。
- 5 测量两声测管外壁间的净距离  $D_c$ 。
- 6 根据桩径大小合理选择仪器参数和换能器频率，同批桩的平测检测过程中不得随意改变。

### 9.3.2 检测工作应符合下列规定：

- 1 调整超声检测仪参数，应使接收信号具有较高的信噪比，并且使信号首波波幅在显示器上的高度适中。
- 2 测线间距不宜大于 200mm，且同一测面应大于 20 条测线；收、发换能器应以同一高度或相差一定高度等距离同步移动，宜从下到上进行声时、波幅（及接收波主频）的测量，并储存全部波形。
- 3 以两个声测管组成一个测面，分别对所有测面进行检测（3 管 3 测面，4 管 6 测面）。

9.3.3 对可疑测线，应进行复测，宜用加密的平测、斜测及扇形扫测的方法确定缺陷的位置和范围，加密测线的间距不宜大于 50mm。

## 9.4 检测结果

9.4.1 据现场采集的数据，计算声时  $t_{ci}$ 、声速  $v_i$ 、声波波幅值  $A_i$ ，并绘制声速-深度曲线，波幅-深度曲线等， $t_{ci}$ 、 $v_i$ 、 $A_i$  按下列公式计算：

$$L_d = L_t - L_0 - l' \quad (9.4.1-1)$$

$$v_i = \frac{D_c}{L_d} \quad (9.4.1-2)$$

$$A_i = 20 \lg \frac{a_i}{a_0} \quad (9.4.1-3)$$

式中  $t_{ci}$ ——混凝土中第  $i$  测线的声时（ $\mu s$ ）；

$t_i$ ——第  $i$  测线的总声时（ $\mu s$ ）；

$t_0$ ——系统延时（ $\mu s$ ）；

$l'$  ——耦合层延时（ $\mu s$ ）；

$D_c$ ——两根声测管外壁间的净距（mm）；

$v_i$ ——混凝土中第  $i$  测线的声速（km/s）；

$A_i$ ——第  $i$  测线的声波波幅值（dB）；

$a_i$ ——第  $i$  测线的声波波幅值（V）；

$a_0$ ——声波 0dB 波幅值（V）。

各测面声学参数的平均值 和标准差  $s_x$  应按下列公式计算：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (9.4.1-4)$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \cdot \bar{X}^2}{n-1}} \quad (9.4.1-5)$$

式中  $X_i$ ——第  $i$  测线的声学参数（声速、波幅、主频）；  
 $n$ ——参加统计的测线数。

9.4.2 应根据检测效果、现场情况和经验选择下列缺陷判据：

1 临界值法

将同一个测面全部  $n$  条测线的声学参数  $X_i$ （声速、波幅、主频）由大到下按顺序排列，即  $X_1 \geq X_2 \geq \dots \geq X_m \geq X_{m+1} \geq \dots \geq X_{n-1} \geq X_n$ ，按公式（9.4.1-4）和公式（9.4.1-5）计算出  $\bar{X}$  及  $s_x$  值，并按下式计算异常情况的判断值  $X_{cr}$ （预设初值为  $X_n$ ）：

$$X_{cr} = \bar{X} - \lambda_1 s_x \quad (9.4.2-1)$$

式中  $\lambda_1$  应按表 9.4.2 的规定取值。

将判断值  $X_{cr}$  与可疑数据的最大值  $X_n$  相比较：

当  $X_{cr} < X_n$  时， $X_{cr}$  即为临界值。

当  $X_{cr} \geq X_n$  时，剔除最小值  $X_n$ ，对剩余的  $X_1 \sim X_{n-1}$  按上述方法统计和判别。

通过循环的剔除和判别，直至最终的  $X_{cr}$  小于最终参加统计的数据中的最小值为止，此  $X_{cr}$  即为临界值（ $v_{cr}$ 、 $A_{cr}$ 、 $f_{cr}$ ）。

表 9.4.2 样本中不同样本总数对应的系数

|             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $n$         | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   | 30   | 32   | 34   | 36   | 38   |
| $\lambda_1$ | 1.64 | 1.69 | 1.73 | 1.77 | 1.80 | 1.83 | 1.86 | 1.89 | 1.91 | 1.94 |
| $n$         | 40   | 42   | 44   | 46   | 48   | 50   | 52   | 54   | 56   | 58   |
| $\lambda_1$ | 1.96 | 1.98 | 2.00 | 2.02 | 2.04 | 2.05 | 2.07 | 2.09 | 2.10 | 2.11 |
| $n$         | 60   | 62   | 64   | 66   | 68   | 70   | 72   | 74   | 76   | 78   |
| $\lambda_1$ | 2.13 | 2.14 | 2.15 | 2.17 | 2.18 | 2.19 | 2.20 | 2.21 | 2.22 | 2.23 |
| $n$         | 80   | 82   | 84   | 86   | 88   | 90   | 92   | 94   | 96   | 98   |
| $\lambda_1$ | 2.24 | 2.25 | 2.26 | 2.27 | 2.28 | 2.29 | 2.29 | 2.30 | 2.31 | 2.32 |
| $n$         | 100  | 105  | 110  | 115  | 120  | 125  | 130  | 135  | 140  | 145  |
| $\lambda_1$ | 2.33 | 2.34 | 2.36 | 2.38 | 2.39 | 2.41 | 2.42 | 2.43 | 2.45 | 2.46 |
| $n$         | 150  | 160  | 170  | 180  | 190  | 200  | 220  | 240  | 260  | 280  |
| $\lambda_1$ | 2.47 | 2.50 | 2.52 | 2.54 | 2.56 | 2.58 | 2.61 | 2.64 | 2.67 | 2.69 |
| $n$         | 300  | 320  | 340  | 360  | 380  | 400  | 420  | 440  | 460  | 480  |
| $\lambda_1$ | 2.71 | 2.73 | 2.75 | 2.77 | 2.79 | 2.81 | 2.82 | 2.84 | 2.85 | 2.87 |
| $n$         | 500  | 520  | 540  | 560  | 580  | 600  | 620  | 640  | 660  | 680  |
| $\lambda_1$ | 2.88 | 2.89 | 2.90 | 2.91 | 2.92 | 2.94 | 2.95 | 2.96 | 2.96 | 2.98 |
| $n$         | 700  | 720  | 740  | 760  | 780  | 800  | 850  | 900  | 950  | 1000 |
| $\lambda_1$ | 2.99 | 2.99 | 3.00 | 3.01 | 3.02 | 3.02 | 3.04 | 3.06 | 3.07 | 3.09 |

将各测线声学参数和对应的临界值相比较：

$$V_i < V_{cr} \quad (9.4.2-2)$$

$$A_i < A_{cr} \quad (9.4.2-3)$$

当同时满足式（9.4.2-2）和式（9.4.2-3）时该测线可视为缺陷测线，仅满足式（9.4.2-2）时该测线可视为可疑的缺陷测线，式（9.4.2-3）为辅助判据。同时，还应结合主频和接收波波等因素，进行综合分析判定。

对声速临界值明显偏低的基桩应进行桩身混凝土强度的检测。

## 2 斜率法

缺陷测线应通过计算相邻两测线声时的斜率 和相邻两测线声时差值 的乘积 值的偏离程度, 结合其余声学参数及接收波波形的因素, 进行综合分析判定。 值应按下列公式计算:

$$k \cdot \Delta t = \frac{(t_i - t_{i-1})^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (9.4.2-4)$$

$$\Delta t = t_i - t_{i-1} \quad (9.4.2-5)$$

$$k = \frac{t_i - t_{i-1}}{z_i - z_{i-1}} \quad (9.4.2-6)$$

式中  $t_{ci}$ ——第  $i$  测线的声时 ( $\mu\text{s}$ );  
 $t_{ci-1}$ ——第  $i-1$  测线的声时 ( $\mu\text{s}$ );  
 $z_i$ ——第  $i$  测线的深度 (m);  
 $z_{i-1}$ ——第  $i-1$  测线的深度 (m)。

9.4.3 受检桩的桩身完整性类别应根据缺陷的位置和范围、桩型、场地地质情况、施工工艺、施工记录、检测经验按表 3.6.2 和表 9.4.3 的规定综合判定。

表 9.4.3 桩身完整性分类表

| 类别  | 特征            |                 |
|-----|---------------|-----------------|
|     | 3 管 (3 测面)    | 4 管 (6 测面)      |
| I   | 无缺陷           | 无缺陷             |
| II  | 某深度有 1 个测面有缺陷 | 某深度有 1—2 个测面有缺陷 |
| III | 某深度有 2 个测面有缺陷 | 某深度有 3—4 个测面有缺陷 |
| IV  | 某深度有 3 个测面有缺陷 | 某深度有 5—6 个测面有缺陷 |

9.4.4 检测报告除应符合本规程第 3.6.4 条的规定外, 还应包含以下内容:

- 1 声速、波幅 (或主频) 的平均值、标准差 (或相对标准差) 以及各测面的深度—声速曲线、深度—波幅曲线等。
- 2 桩身完整性描述、桩身完整性类别, 对有缺陷的桩应指明缺陷位置与范围。

## 10 钻芯法

### 10.1 一般规定

10.1.1 本方法适用于检测灌注桩的混凝土强度、桩身完整性、桩长、沉渣厚度, 判定或鉴别桩端持力层岩土性状。受检桩径宜大于或等于 800mm。

### 10.2 仪器设备

10.2.1 钻取芯样宜采用液压钻机, 主要技术性能应符合以下规定:

- 1 额定最高转速不低于 790r/min。
- 2 转速调节范围不少于 4 档。
- 3 额定配用压力不低于 1.5MPa。

10.2.2 钻机应配备单动双管钻具以及相应的孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器和可捞取松软渣样的钻具。钻杆应顺直，直径宜为 50mm。

10.2.3 钻头应根据混凝土设计强度等级选用合适粒度、浓度、胎体硬度的金刚石钻头；外径不宜小于 100mm，胎体不得有肉眼可见的裂纹、缺边、少角、倾斜及喇叭口变形。

10.2.4 水泵的排水量应为 50—160L/min，泵压应为 1.0—2.0MPa

10.2.5 锯切芯样试件用的锯切机应具有冷却系统和牢固夹紧芯样的装置，配套使用的金刚石圆锯片应有足够刚度。

10.2.6 加工芯样试件端面使用的补平器和磨平机应满足芯样制作的要求。

### 10.3 检测工作

10.3.1 受检桩的钻芯孔数、钻孔位置和入持力层深度应符合下列规定：

1 桩径小于 1600mm 钻 1 孔，桩径为 1600—2000mm 钻 2 孔，桩径大于 2000mm 钻不少于 3 孔。

2 钻芯开孔位置宜在距桩中心 0.15—0.25 倍桩径内。多孔时应对称分布，并应记录钻芯孔在桩顶面的位置；单孔且受检桩的长径比大于 30 时，宜在桩中心位置开孔。

3 每桩至少应有 1 孔钻至设计要求的桩端持力层深度，如设计未有明确的要求时应钻入持力层 3 倍桩径（当 3 倍桩径大于 5m 时可钻取 5m，当 3 倍桩径小于 3m 时应钻取 3m），其余孔钻入桩端持力层深度不应小于 0.5m。对施工前已进行过超前钻探，已确认桩端持力层满足设计要求的桩，宜钻至桩底 1m；对非承重的抗拔桩、支护桩，每个钻芯孔钻入桩端岩土层深度不宜小于 0.5m。

10.3.2 钻机设备安装应稳固、底座水平。钻机立轴中心、天轮中心（天车前沿切点）与孔口中心应在同一铅垂线上。应确保钻机在钻芯过程不发生倾斜、移位，钻芯孔垂直度允许偏差不应大于 0.5%。

10.3.3 当桩顶面与钻机底座的距离较大时，应安装孔口管，孔口管应垂直、牢固。

10.3.4 钻进过程中，钻孔内循环水流不得中断，应根据回水含砂量及颜色调整水泵水量和钻进速度。

10.3.5 提钻卸取芯样时，应拧卸钻头和扩孔器，严禁敲打卸芯。

10.3.6 每回次进尺宜控制在 1.5m 内；钻至桩底时，应采取适宜的钻芯方法和工艺钻取沉渣、测定沉渣厚度，并采用适宜的方法对桩端持力层岩土性状进行判定或鉴别。

10.3.7 钻取的芯样应由上而下按回次顺序放进芯样箱中，芯样侧面上应清晰标明回次数、块号、本回次总块数，应对混凝土芯样、桩底沉渣、桩端岩土层及异常情况进行详细编录。

10.3.8 钻芯结束后，应对标有桩长、孔深的芯样和标有工程名称、桩号、钻芯孔号、检测单位名称的标示牌的全貌进行拍照。

10.3.9 钻芯孔应采用 0.5—1.0MPa 压力，从孔底往上用水泥浆回灌封闭；对异常的钻芯孔应封存留待处理。

10.3.10 芯样试件截取应符合下列规定：

1 当有效桩长小于或等于 30m 时，每孔截取不少于 3 组芯样（每组 3 块）；当桩长大于 30m 时，不

应少于 4 组芯样（每组 3 块）。

2 上部一组芯样位置距桩顶设计标高不宜大于 1 倍桩径或 1m，下部一组芯样位置距桩底不宜大于 1 倍桩径或 1m，中间组芯样宜等间距截取。同组芯样截取的范围不宜大于 500mm。

3 缺陷位置能取样时，应增加截取 1 组芯样进行混凝土抗压试验。

4 当同一基桩的钻芯孔数大于 1 个，其中 1 孔在某深度存在缺陷时，应在其他孔的该深度处截取混凝土芯样。

10.3.11 当设计方有明确要求且桩端持力层为中、微风化岩层的岩芯可制作成试件时，可在接近桩底部位截取 1 组岩石芯样；遇分层岩性时宜在各层取样。

10.3.12 每组芯样应制作 3 个芯样抗压试件。芯样试件的加工和测量应符合本规程附录 E 的规定。

10.3.13 芯样试件制作完毕后应在  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  的清水中浸泡不少于 12h，从水中取出后立即进行抗压强度试验。

10.3.14 芯样试件的抗压强度试验应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》GB/T50081 的有关规定。

10.3.15 抗压强度试验后，当发现芯样试件平均直径小于 2 倍混凝土粗骨料最大粒径，且强度值异常时，该试件的强度值不得参与统计。

10.3.16 混凝土芯样试件抗压强度应按下式计算：

$$f_{cu} = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (10.3.16)$$

式中  $f_{cu}$ ——混凝土芯样试件抗压强度（MPa），精确至 0.1MPa；

$P$ ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载（N）；

$d$ ——芯样试件的平均直径（mm）。

10.3.17 桩底岩石单轴抗压强度试验应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 的规定。

## 10.4 检测结果

10.4.1 混凝土芯样抗压强度值应按 1 组 3 块强度值的平均值确定。同一受检桩在同一深度有 2 个或 2 个以上的混凝土芯样抗压强度值时，应取其平均值作为该桩在该深度处的混凝土抗压强度值。

10.4.2 受检桩中不同深度位置的混凝土抗压强度值中的最小值为该桩混凝土抗压强度值。

10.4.3 桩底的沉渣厚度允许值应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202 的规定。

10.4.4 桩端持力层岩土性状应根据芯样特征、岩石芯样单轴抗压强度试验、标准贯入试验结果，综合判定桩端持力层岩土性状。

10.4.5 桩身完整性类别应根据现场各孔混凝土芯样特征，结合芯样试件抗压强度，按表 3.6.2 和表 10.4.5 的规定综合判定。

表 10.4.5 桩身完整性分类表

| 类别  | 特征   |
|-----|--|
| I   | 混凝土芯样连续、完整、表面光滑、胶结好、骨料分布均匀、呈长柱状、断口吻合，芯样侧面仅见少量气孔。   |
| II  | 混凝土芯样连续、完整、胶结较好、骨料分布基本均匀、呈柱状、断口基本吻合，芯样侧面局部见麻面、蜂窝、沟槽。   |
| III | 大部分混凝土芯样胶结较好，无松散、夹泥或分层现象，但有下列情况之一：<br>芯样局部破碎且破碎长度不大于 10cm；<br>芯样骨料分布不均匀；<br>芯样多呈短柱状或块状；<br>芯样侧面麻面、蜂窝、沟槽连续。 |
| IV  | 芯样任一段松散、夹泥或分层；<br>芯样局部破碎且破碎长度大于 10cm。  |

10.4.6 基桩质量评价应按单桩进行，应对每一根受检桩的桩身完整性类别、桩身混凝土强度、桩长、桩底沉渣厚度和桩端持力层岩土性状作出评价。

10.4.7 钻芯孔偏出桩外时，仅对钻取芯样部分进行评价。

10.4.8 检测报告除应符合本规程第 3.6.4 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 钻芯设备情况。
- 2 架空高度、混凝土芯进尺、岩芯进尺、总进尺、混凝土试件组数、岩石试件组数、标准贯入试验结果。
- 3 芯样试件抗压强度试验结果。
- 4 每根受检桩的全部钻孔的芯样柱状图、钻孔在桩顶面的位置示意图和芯样彩色照片。
- 5 异常情况说明。

#### 附录 A 混凝土桩桩头处理

A.0.1 混凝土灌注桩必须先凿掉桩顶部分的浮浆层。

A.0.2 桩头主筋应全部直通至桩顶混凝土保护层之下，各主筋应在同一高度上。

A.0.3 距桩顶 1.5 倍桩径范围内，应加设 3—5mm 厚的钢套箍或箍筋，箍筋间距不宜大于 150mm，桩顶应设置钢筋网片 2—3 层，间距 60—100mm。

A.0.4 桩头混凝土强度等级宜比桩身混凝土提高 1—2 个等级，且不得低于 C30。

A.0.5 高应变法检测的桩头测点处截面尺寸应与原桩身截面尺寸相同。

#### 附录 B 高应变法传感器的安装

B.0.1 检测时必须安装应变式力传感器和加速度传感器，且不得少于各 2 个（见图 B.0.1）。

B.0.2 传感器应分别对称安装在距桩顶 2D 的桩侧表面处（D 为试桩的边宽或外径）；对于大直径桩，传感器与桩顶之间的垂直距离可适当减小，但不得小于 1D。安装面的材质和截面尺寸必须与原桩身相同，传感

器不得安装在截面突变处。

B.0.3 应变式力传感器与加速度传感器的中心应位于同一水平线上，同侧的应变式力传感器和加速度传感器间的水平距离不宜大于 80mm。安装完毕后，传感器的中心轴应与桩中心轴保持平行。

B.0.4 各传感器的安装面必须平整垂直，材质应均匀密实，否则应采用磨面手砂轮将其磨平。

B.0.5 安装螺栓的钻孔应与桩侧表面垂直，安装应变式力传感器时要对其初始应变值进行监测。安装完毕后的传感器应紧贴桩身表面，应变式力传感器的初始应变值不得超过所用检测仪器的规定值，测试过程中传感器不得产生滑动。

B.0.6 当采取在自由落锤上安装加速度传感器的方式实测锤击力时，在自由落锤锤体 0.5Hr 处（Hr 为锤体高度）对称安装加速度传感器测量冲击力；在桩顶下的桩侧表面对称安装加速度传感器直接测量响应，加速度传感器距桩顶的距离不得小于 0.4Hr 或 1D，并取两者高值。

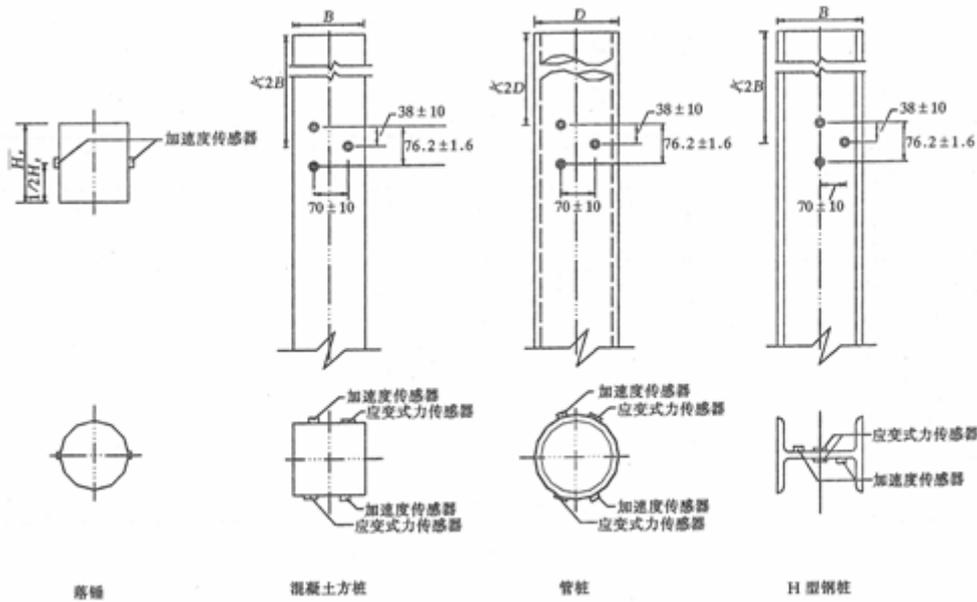


图 B.0.1 传感器安装（单位：mm）

## 附录 C 试打桩与打桩监控

### C.1 试打桩

C.1.1 选择工程桩的桩型、桩长和桩端持力层进行试打桩时，应符合下列规定：

- 1 试打桩位置的工程地质条件应具有代表性。
- 2 试打桩过程中，应按桩端进入的土层逐一进行测试；当持力层较厚时，应在同一土层中进行多次测试。

C.1.2 桩端持力层应根据试打桩结果的承载力与贯入度关系，结合场地岩土工程勘察报告综合判定。

C.1.3 采用试打桩判定单桩承载力时，应符合下列规定：

- 1 判定的单桩承载力应小于或等于试打桩时测得的桩侧和桩端静土阻力值之和与桩在地基土中的时间效应系数的乘积，并应进行复打校核。
- 2 复打至初打的休止时间应符合本规程第 3.3.4 条的规定。

## C.2 桩身锤击应力监测

### C.2.1 桩身锤击应力监测应符合下列规定：

1 被监测桩的桩型、材质应与工程桩相同；施打机械的锤型、落距和垫层材料及状况应与工程桩施工时相同。

2 桩身锤击应力监测应包括桩身锤击拉应力和锤击压应力两部分。

### C.2.2 为测得桩身锤击应力最大值，监测时应符合下列规定：

1 桩身锤击拉应力宜在预计桩端进入软土层或桩端穿过硬土层进入软夹层时测试。

2 桩身锤击压应力宜在桩端进入硬土层或桩周土阻力较大时测试。

### C.2.3 最大桩身锤击拉应力可按下列公式计算：

$$\sigma_t = \frac{1}{2A} \left[ Z \cdot V \left( t_1 + \frac{2L}{c} \right) - F \left( t_1 + \frac{2L}{c} \right) - Z \cdot V \left( t_1 + \frac{2L - 2x}{c} \right) - F \left( t_1 + \frac{2L - 2x}{c} \right) \right]$$

(C.2.3)

式中  $\sigma_t$  ——最大桩身锤击拉应力 (kPa)；

$x$  ——传感器安装点至计算点的距离 (m)；

$A$  ——桩身截面积 (m<sup>2</sup>)。

### C.2.4 最大桩身锤击压应力可按下列公式计算：

$$\sigma_p = \frac{F_m}{A} \quad (C.2.4)$$

式中  $\sigma_p$  ——最大桩身锤击压应力 (kPa)；

$F_m$  ——实测的最大锤击力 (kN)。

当打桩过程中突然出现贯入度骤减甚至拒锤时，应考虑与桩端接触的硬层对桩身锤击压应力的放大作用。

## C.3 锤击能量监测

### C.3.1 桩锤实际传递给桩的能量应按下列公式计算：

$$E_a = \int_0^{t_e} F \cdot V \cdot dt \quad (C.3.1)$$

式中  $E_a$  ——桩锤实际传递给桩的能量 (kJ)；

$t_e$  ——采样结束的时刻 (s)。

### C.3.2 桩锤最大动能宜通过测定锤芯最大运动速度确定。

C.3.3 桩锤能量传递比应按桩锤实际传递给桩的能量与桩锤额定能量的比值确定；桩锤效率应按实测的桩锤最大动能与桩锤的额定能量的比值确定。

#### 附录 D 声测管埋设要点

D.0.1 声测管应采用钢质管材，应具有一定的强度和刚度。内径宜为 50—55mm，管身不得有破损，管内不得有异物。

D.0.2 当桩径小于或等于 2000mm 时，应埋设 3 根管；当桩径大于 2000mm 时应埋设 4 根管，声测管呈对称分布（见图 D.0.2）。

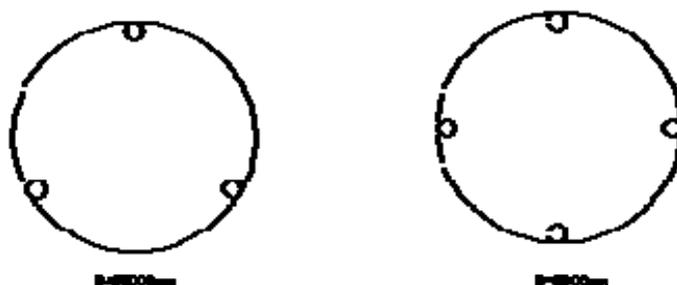


图 D.0.2 声测管布置图

D.0.3 声测管底部应预先封闭，宜用堵头封闭或用钢板焊封，以保证不渗浆。

D.0.4 每节钢管应采用螺纹外套管接头连接，应保证连接处不渗浆。

D.0.5 挖孔桩可在安放钢筋笼后将声测管焊接或绑扎在钢筋笼内侧，每节声测管在钢筋笼上的固定点不应少于 3 处，声测管之间应相互平行。

D.0.6 在桩身未配筋的部位，应采取有效方法将声测管固定在孔壁上。

D.0.7 声测管顶部高出桩顶的距离不宜小于 500mm。

D.0.8 埋设完后在声测管上部应立即加盖或堵头，以免异物入内。

#### 附录 E 芯样试件加工和测量

E.0.1 应采用双面锯切机加工芯样试件。加工时应将芯样固定，锯切平面垂直于芯样轴线。锯切过程中应淋水冷却金刚石圆锯片。

E.0.2 锯切后的芯样试件，当不能满足平整度及垂直度要求时，应选用以下方法进行端面加工：

1 在磨平机上磨平。

2 用水泥砂浆（或水泥净浆）或硫磺胶泥（或硫磺）等材料在专用补平装置上补平。水泥砂浆（或水泥净浆）补平厚度不宜大于 5mm，硫磺胶泥（或硫磺）补平厚度不宜大于 1.5mm。补平层应与芯样结合牢固，受压时补平层与芯样的结合面不得提前破坏。

E.0.3 试验前，应对芯样试件的几何尺寸做下列测量：

1 平均直径：用游标卡尺测量芯样中部，在相互垂直的两个位置上，取其两次测量的算术平均值，精确至 0.5mm。

2 芯样高度：用钢卷尺或钢板尺进行测量，精确至 1mm。

3 垂直度：用游标量角器测量两个端面与母线的夹角，精确至 0.1°。

4 平整度：用钢板尺或角尺紧靠在芯样端面上，一面转动钢板尺，一面用塞尺测量与芯样端面之间的缝隙。

E.0.4 试件有裂缝或有其他较大缺陷、芯样试件内含有钢筋以及试件尺寸偏差超过下列数值时，不得用作抗压强度试验：

1 芯样试件高度小于 0.95d 或大于 1.05d 时（d 为芯样试件平均直径）。

2 沿试件高度任一直径与平均直径相差达 2mm 以上时。

3 试件端面的不平整度在 100mm 长度内超过 0.1mm 时。

4 试件端面与轴线的不垂直度超过 1°时。

5 芯样试件平均直径小于 2 倍表观混凝土粗骨料最大粒径时。

### 本规程用词说明

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，在条件许可时首先应这样做的：

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“应按……执行”或“应符合……的规定（或要求）”。