

深圳市工程建设标准

SJG 09-2023

## 基桩检测技术规程

Testing standard of building foundation piles

(征求意见稿)

2023-\*\*-\*\* 发布

2023-\*\*-\*\* 实施

深圳市住房和建设局发布



深圳市工程建设标准

# 基桩检测技术规程

Testing standard of building foundation piles

**SJG 09-2023**

主编单位：深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心

批准部门：深圳市住房和建设局

施行日期：2023 年\*\*月\*\*日

中国建筑工业出版社

2023 北 京

# 深圳市住房和建设局关于发布 《基桩检测技术规程》的通知

深建规〔2023〕\* 号

各有关单位：

现批准《基桩检测技术规程》为深圳市工程建设标准，编号为 SJG 09-2023，自 2023 年\*\*月\*\*日起实施。原《深圳市建筑基桩检测规程》SJG 09-2020 同时废止。

特此通知。

深圳市住房和建设局

2023 年\*\*月\*\*日

# 前 言

根据深圳市住房和建设局《关于印发 2020 年深圳市工程建设标准规范制定修订计划的通知》（深建标[2020]2 号）的要求，为确保基桩检测质量、规范基桩检测方法和标准、为设计和施工验收提供正确可靠的依据，由深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心会同有关质检、勘察、设计、科研等二十家单位，在现行法律、法规、规章以及相关技术标准的基础上，结合深圳市实际情况，认真总结、开拓创新，对《深圳市建筑基桩检测规程》SJG 09-2020 进行了修订。

修订后的标准共分十一章，即 1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.单桩竖向抗压静载法；5.单桩竖向抗拔静载法；6.单桩水平静载法；7.高应变法；8.低应变法；9.超声法；10.钻芯法；11.界面钻芯法。

标准主要修订的技术内容如下：

1 基本规定中，修订了《灌注桩抽样检测方法及数量表》中荷载的划分界限，明确了优先选用静载法检测的要求，扩大了界面钻芯法检测的范围；细化了检测结果严重不满足设计要求的标准；

2 单桩竖向抗压静载法中，补充和优化了基准桩、受检桩、压重平台支墩边（或锚桩）之间的距离；

3 单桩竖向抗拔静载法中，增加了受抗裂控制桩的终止试验条件和结果判定标准；

4 单桩水平静载法中，限定了水平荷载的最小限值；

5 高应变法中，界定了曲线拟合法和凯司法的适用范围；

6 低应变法中，细化了激振要求；

7 超声法中，增加了检测数据不齐全时桩身完整性评价的规定；

8 钻芯法中，修订了钻入持力层的深度，沉渣厚度计算改用加权平均方法；

9 将原附录 H《界面钻芯管制安要点》补充完善形成了单独一章即第 11 章《界面钻芯法》；

10 增加了附录 B《抗拔试验反力系统连接装置》、附录 H《孔内成像法检测要点》和附录 J《桩嵌岩深度声波反射法检测要点》；

11 要求各方法所用检测仪器宜具备远程实时传输功能。

主 编 单 位：深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心  
(地址：深圳市南山区南山建工村工程质量大厦；  
邮政编码：518052)

参 编 单 位：深圳市建筑工程质量安全监督总站  
深圳市市政工程质量安全监督总站  
深圳市福田区建设工程质量检测中心  
深圳市宝安区住房和建设事务中心  
深圳市盐田区工程质量安全监督中心  
深圳市建设工程质量检测鉴定学会  
中冶建筑研究总院（深圳）有限公司  
深圳市建筑科学研究院股份有限公司  
深圳市工勘岩土集团有限公司  
深圳市南山区建设工程质量监督检验站  
深圳市盐田港建筑工程检测有限公司  
深圳市勘察研究院有限公司  
太科技术有限公司  
中国铁道科学研究院深圳研究设计院  
深圳市勘察测绘院（集团）有限公司  
深圳市建研检测有限公司  
深圳市罗湖区建设工程管理中心  
深圳市光明新区建设工程质量安全监督站  
深圳市深汕合作区工程质量监督站  
深圳市坪山区建设工程质量安全监督站

# 目 次

1 总则 .....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术语 .....	2
2.2 符号 .....	4
3 基本规定 .....	7
3.1 检测目的 .....	7
3.2 检测机构、人员、仪器设备 .....	7
3.3 检测前的准备 .....	7
3.4 检测项目、方法和抽检数量 .....	8
3.5 验证检测与扩大抽检 .....	11
3.6 检测结果与报告 .....	12
4 单桩竖向抗压静载法 .....	14
4.1 一般规定 .....	14
4.2 仪器设备 .....	14
4.3 现场检测 .....	16
4.4 检测结果 .....	17
5 单桩竖向抗拔静载法 .....	20
5.1 一般规定 .....	20
5.2 仪器设备 .....	20
5.3 现场检测 .....	21
5.4 检测结果 .....	22
6 单桩水平静载法 .....	24
6.1 一般规定 .....	24
6.2 仪器设备 .....	24
6.3 现场检测 .....	25

6.4	检测结果	25
7	高应变法	28
7.1	一般规定	28
7.2	仪器设备	28
7.3	现场检测	28
7.4	检测结果	30
8	低应变法	36
8.1	一般规定	36
8.2	仪器设备	36
8.3	现场检测	36
8.4	检测结果	38
9	超声法	41
9.1	一般规定	41
9.2	仪器设备	41
9.3	现场检测	42
9.4	检测结果	43
10	钻芯法	47
10.1	一般规定	47
10.2	仪器设备	48
10.3	现场检测	48
10.4	检测结果	51
11	界面钻芯法	54
11.1	一般规定	54
11.2	仪器设备	54
11.3	现场检测	54
11.4	检测结果	56
	附录 A 混凝土桩桩头处理要点	57

附录 B 抗拔试验反力系统连接装置 .....	58
附录 C 高应变法传感器的安装要点 .....	60
附录 D 试打桩与打桩监控 .....	62
附录 E 声测管制安要点.....	64
附录 F 超声法中不同样本总数对应的系数.....	66
附录 G 芯样试件制作和测量 .....	67
附录 H 孔内成像法检测要点 .....	69
附录 J 桩嵌岩深度声波反射法检测要点 .....	71
本标准用词说明.....	73
引用标准名录.....	74
附：条文说明.....	75

# Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	4
3	Basic Requirements .....	7
3.1	Test purpose .....	7
3.2	Laboratory, tester and equipments .....	7
3.3	Preparation for test .....	7
3.4	Test items,selection of test method and sampling number .....	8
3.5	Verification and expanded test.....	11
3.6	Test results and test reports .....	12
4	Vertical Compressive Static Load Test on Single Pile .....	14
4.1	General requirements .....	14
4.2	Equipments.....	14
4.3	Field test .....	16
4.4	Test results.....	17
5	Vertical Uplift Static Load Test on single pile .....	20
5.1	General requirements .....	20
5.2	Equipments.....	20
5.3	Field test .....	21
5.4	Test results.....	22
6	Lateral Static Load Test on Single Pile .....	24
6.1	General requirements .....	24
6.2	Equipments.....	24
6.3	Field test .....	25

6.4	Test results.....	25
7	High-strain Dynamic Test.....	28
7.1	General requirements .....	28
7.2	Equipments.....	28
7.3	Field test.....	28
7.4	Test results.....	30
8	Low-strain Integrity Test.....	36
8.1	General requirements .....	36
8.2	Equipments.....	36
8.3	Field test.....	36
8.4	Test results.....	38
9	Ultrasonic Cross-hole Test .....	41
9.1	General requirements .....	41
9.2	Equipments.....	41
9.3	Field test.....	42
9.4	Test results.....	43
10	Core Drilling Method .....	47
10.1	General requirements .....	47
10.2	Equipments.....	48
10.3	Field test.....	48
10.4	Test results.....	51
11	Interface Coring Method.....	54
11.1	General requirements .....	54
11.2	Equipments.....	54
11.3	Field test.....	54
11.4	Test results.....	56
	Appendix A Treatment of head of concrete pile.....	57

Appendix B Connection device of reaction force system for pull test.....	58
Appendix C Installation of sensors for high-strain dynamic test .....	60
Appendix D Trial driven pile and monitoring in driving .....	62
Appendix E Installation of preformed access tube.....	64
Appendix F The correlation coefficient table of the sample number for Ultrasonic Cross-hole Test .....	66
Appendix G Processing and measurement of core specimens .....	67
Appendix H Imaging testing through the hole of foundation .....	69
Appendix J Key points of ultrasonic comprehensive detection of pile rock socket depth.....	71
Explanation of wording in this specification.....	73
List of quoted standards .....	74
Addition: Explanation of provisions .....	75

# 1 总 则

1.0.1 为了在桩检测工作中，确保检测质量、规范检测方法，做到安全适用、技术先进、数据准确、评价正确，为设计和施工验收提供依据，制订本标准。

1.0.2 本标准适用于深圳市建筑工程、市政工程和城市轨道交通工程的桩检测。

1.0.3 桩检测应考虑工程地质条件、桩型及施工质量可靠性、使用要求等因素，合理选择搭配检测方法、确定检测数量，正确评价检测结果。

1.0.4 桩检测除应符合本标准规定外，尚应符合国家、省、市的现行有关规范、技术标准的规定。

## 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 桩身缺陷 pile defects

桩身断裂、裂缝、缩颈、夹泥（杂物）、蜂窝、沟槽、空洞、松散、破碎等现象的统称。

#### 2.1.3 桩身完整性 pile integrity

反映桩身截面尺寸相对变化、桩身材料密实性和连续性的综合定性指标。

#### 2.1.4 承载力检测值 testing value of pile bearing capacity

通过对承载力现场试验的实测数据判读或综合分析所确定或判定的承载力值称为承载力检测值。

#### 2.1.5 静载法 static load test

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，测量桩顶部随时间发生的荷载方向的位移，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。包括竖向抗压静载法、竖向抗拔静载法和水平静载法。

#### 2.1.6 高应变法 high-strain dynamic test

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，判定单桩竖向抗压承载力及桩身完整性的检测方法。

#### 2.1.7 低应变法 low-strain integrity test

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。

#### 2.1.8 超声法 ultrasonic cross-hole test

在桩身混凝土中安装的声测管之间发射并接收超声波，通过分析超声波在

混凝土传播中声学参数的相对变化，判定桩身完整性的检测方法。

#### 2.1.9 钻芯法 core drilling method

用钻机钻取芯样，检测灌注桩桩身缺陷及位置、混凝土强度、桩长、沉渣厚度，鉴定桩端岩土层性状、判定桩身完整性的检测方法。

#### 2.1.10 界面钻芯法 interface coring method

在钢筋笼上安装短于钢筋笼的钢管，将钻具下放至管底后实施的钻芯法检测。

#### 2.1.11 孔内成像法 imaging testing method through the hole of foundation

采用成像设备对孔壁形成的数字图像进行检测和评价的方法。

#### 2.1.12 桩嵌岩深度声波反射法检测 pile rocketing depth determination with sonic reflection test

利用桩身钻芯孔发射接收超声波，综合多个声学参数随测点深度相对变化及钻芯法检测成果综合判断灌注桩嵌岩深度的检测方法。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 抗力及材料性能

$c$ ——桩身波速；

$c_i$ ——第  $i$  根桩的桩身波速；

$E$ ——桩材弹性模量；

$EI$ ——桩身抗弯刚度；

$f_{cu}$ ——混凝土芯样试件抗压强度；

$f_{ru}$ ——岩石芯样试件单轴抗压强度；

$R_c$ ——凯司法判定的单桩竖向抗压承载力检测值；

$v_i$ ——混凝土中第  $i$  测线的声速；

$Z$ ——桩身截面力学阻抗；

$\Delta R$ ——缺陷以上部位土阻力的估计值；

$\rho$ ——桩材质量密度；

$\sigma_p$ ——最大桩身锤击压应力；

$\sigma_t$ ——深度  $x$  处的桩身锤击拉应力。

### 2.2.2 作用及作用效应

$E_n$ ——桩锤实际传递给桩的能量；

$F$ ——锤击力；

$F_{\max}$ ——实测的最大锤击力；

$H$ ——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；

$Q$ ——单桩竖向抗压静载法中的桩顶竖向荷载；

$s$ ——单桩竖向抗压静载法中的桩顶竖向沉降；

$U$ ——单桩竖向抗拔静载法中的桩顶上拔荷载；

$V$ ——质点运动速度；

$Y_0$ ——水平力作用点的水平位移；

$\Delta H$ ——水平力增量；  
 $\Delta Y_0$ ——水平位移增量；  
 $\delta$ ——单桩竖向抗拔静载法中的桩顶上拔量。

### 2.2.3 几何参数

$A$ ——桩身截面积；  
 $B$ ——支墩宽度；  
 $b$ ——矩形桩的边宽；  
 $b_0$ ——桩身计算宽度；  
 $D$ ——桩端直径；  
 $D_c$ ——两根声测管外壁间的净距；  
 $d$ ——受检桩、锚桩的设计直径；芯样试件的平均直径；  
 $L$ ——测点下桩长；桩长；  
 $x$ ——桩身缺陷至传感器安装点的距离；桩身缺陷位置；  
 $z_i$ ——第  $i$  测线的深度；  
 $\delta$ ——受检桩的桩底沉渣厚度；  
 $\delta_i$ ——第  $i$  钻芯孔的桩底沉渣厚度。

### 2.2.4 计算系数

$J_c$ ——凯司法阻尼系数；  
 $m$ ——地基土水平抗力系数的比例系数；  
 $\alpha$ ——桩的水平变形系数；  
 $\beta$ ——桩身完整性系数；  
 $\lambda_1$ ——样本中不同样本总数对应的系数；  
 $v_y$ ——桩顶水平位移系数；  
 $\psi$ ——岩石芯样试件高径比换算系数。

### 2.2.5 其他

$A_{cr}$ ——声波波幅临界值；  
 $A_i$ ——第  $i$  测线的声波波幅值（分贝值）；

$a_0$ ——声波 0dB 波幅值；  
 $a_i$ ——第  $i$  测线的声波波幅值（电压值）；  
 $C_v$ ——各测面声速、波幅或主频的变异系数；  
 $\bar{c}$ ——桩身波速平均值；  
 $f_{cr}$ ——声波主频临界值；  
 $k$ ——相邻两测线声时的斜率；  
 $s_x$ ——各测面声速、波幅或主频的标准差；  
 $t_1$ ——速度波第一峰所对应的时刻；  
 $t_x$ ——缺陷反射波峰所对应的时刻；  
 $t_r$ ——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差；速度波第一峰的上升时间；  
 $t_{rx}$ ——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差；  
 $t_{ci}$ ——混凝土中第  $i$  测线的声时；  
 $t_i$ ——第  $i$  测线的总声时；  
 $t_0$ ——系统延时；  
 $t'$ ——耦合层延时；  
 $v_{cr}$ ——声速临界值；  
 $X_a$ ——声速、波幅或主频异常小值判断值；  
 $X_{cr}$ ——声速、波幅或主频临界值；  
 $X_i$ ——第  $i$  测线的声速、波幅或主频值；  
 $\bar{X}$ ——各测面声速、波幅或主频的平均值；  
 $\Delta f$ ——幅频曲线上桩底相邻谐振峰间的频差；  
 $\Delta f'$ ——幅频曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差；  
 $\Delta t$ ——相邻两测线声时的差值。

## 3 基本规定

### 3.1 检测目的

3.1.1 对基桩采用本标准规定的静载法、高应变法、低应变法、超声法、钻芯法和界面钻芯法检测，其检测结果应作为桩基施工质量验收的依据，也可作为桩基设计或工程质量问题处理的依据。

### 3.2 检测机构、人员、仪器设备

3.2.1 从事基桩检测的机构和人员，应具有规定的从业资质和任职资格，其检测行为应符合法律、法规和规章的规定。

3.2.2 用于基桩检测工作的仪器设备应定期进行计量检定或校准，并确保其使用时在有效的检定或校准周期内。

3.2.3 用于基桩检测工作的仪器设备应具有抗外界环境干扰的功能，使用时应具有防止检测过程意外中断时的应急装置和措施。

### 3.3 检测前的准备

3.3.1 检测前应收集岩土工程勘察报告、桩基施工图、桩基施工记录及委托方的具体要求。

3.3.2 检测前应根据检测目的、现场条件和检测工作的可行性编制检测方案，内容应包括：工程概况、工程地质条件、设计要求、施工工艺、检测目的、依据的标准及检测方法、检测数量、所用仪器设备、检测人员配置、检测程序、进度安排、受检桩选取原则、所需的机械或人工等。

3.3.3 工程桩验收检测时，受检桩的选取应符合以下规定，同时还应兼顾随机、均匀分布原则：

- 1 施工过程中出现异常情况可能影响质量的桩；
- 2 位于建筑结构重要部位或设计有特殊要求的桩；

- 3 工程地质条件复杂多变区域的桩；
- 4 采用不同施工工艺或由不同施工单位施工的桩；
- 5 静载法、高应变法检测承载力时，应选取桩长较短、桩端持力层变形较大、桩端存在软弱下卧层、桩身有缺陷的桩；
- 6 钻芯法检测时，应选取桩端持力层岩面起伏变化较大区域、桩底沉渣厚度可能超过设计或验收标准规定、桩身有缺陷的桩。

3.3.4 现场检测开始时间应符合下列规定：

- 1 当对灌注桩采用低应变法或超声法检测时，受检桩的混凝土强度或同条件养护试块强度不应低于设计强度的 70%，且不低于 20MPa；
- 2 当对灌注桩采用钻芯法及界面钻芯法检测，受检桩的混凝土应达到 28d 龄期或同条件养护试块强度达到设计强度，当混凝土强度不作为检测目的时，不应低于设计强度的 70%，且不低于 20MPa；
- 3 当对预制桩采用静载法或高应变法检测单桩承载力时，受检桩从沉桩到开始检测的休止时间宜符合：砂土不少于 7d；非饱和黏性土不少于 15d；饱和黏性土不少于 25d；桩端持力层出现遇水软化效应的不应少于 25d；
- 4 当对灌注桩采用静载法检测单桩承载力时，应不小于桩周土的休止时间，且受检桩的混凝土应达到 28d 龄期或同条件养护试块强度达到设计强度。

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。桩身完整性检测宜在基坑开挖至桩顶设计标高后进行。

### 3.4 检测项目、方法和抽检数量

3.4.1 工程桩验收检测均应进行单桩承载力和桩身完整性抽样检测。

3.4.2 应根据表 3.4.2 规定的检测目的，合理选择检测方法。

**表 3.4.2 检测目的及检测方法**

检 测 目 的	检测方法
确定单桩承载力，判定其是否满足设计要求； 结合桩身内力测试测定桩侧、桩端阻力；	静载法

验证高应变法的单桩竖向抗压承载力检测结果	
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； 打桩监控	高应变法
检测桩身缺陷及位置； 判定桩身完整性类别	低应变法
检测灌注桩桩身缺陷及位置； 判定桩身完整性类别	超声法
检测灌注桩桩身缺陷及位置、混凝土强度、桩长、桩底沉渣厚度； 鉴定桩端岩土层性状； 判定桩身完整性类别	钻芯法
检测灌注桩桩端混凝土性状、桩长、桩底沉渣厚度； 鉴定桩端岩土层性状	界面钻芯法
辅助验证钻芯法或界面钻芯法检测结果的桩身缺陷及位置、桩长、 桩底沉渣厚度和桩端岩土层性状； 检测管桩的桩身缺陷及位置	孔内成像
检测灌注桩嵌岩深度	桩嵌岩深度 声波反射法

3.4.3 当出现下列情况之一时，桩基工程施工前应进行试验桩的单桩承载力试验：

1 设计要求；

2 工程地质条件复杂多变；岩溶发育场地；桩端持力层设置在残积土、砂卵石层；或在泥岩、炭质页岩等软质岩以及岩层破碎带；或在强风化（或全风化）的硬质岩层；

3 成桩工艺可靠性偏低；

4 采用新桩型、新工艺；

5 承受上拔荷载的桩。

3.4.4 当预见到验收阶段现场不具备静载法检测条件的桩基工程，施工前应进行试验桩的单桩承载力试验，宜同时测试桩身内力。

3.4.5 试验桩的单桩承载力试验数量应按设计要求或相关规范确定，且同类型桩不应少于 3 根；当工程桩总数小于 50 根时，不应少于 2 根。

3.4.6 单位工程混凝土预制桩和灌注桩抽样检测使用的方法和抽检数量应分别按表 3.4.6-1 和表 3.4.6-2 的规定执行。当分区、分段验收时，每个验收区段中各方

法的最少检测数量亦应满足表 3.4.6-1 和表 3.4.6-2 的规定。

**表 3.4.6-1 混凝土预制桩抽样检测方法及数量**

检测方法	抽检数量
1 静载法和（或）高应变法	静载法（抗压、抗拔、水平）抽检不应少于同类型桩总数的 1%，且不应少于 3 根（总桩数小于 50 根时，不应少于 2 根）； 或高应变法抽检不应少于同类型桩总数的 5%，且不应少于 5 根（其中有不少于 3 根桩同时采用抗压静载法检测）
2 低应变法	每承台不应少于本承台总桩数的 30%，且不应少于 1 根， 市政工程、城市轨道交通工程的基桩应全部检测

注：低应变法检测报告中宜附不少于 3 根桩的孔内成像法验证资料。

**表 3.4.6-2 灌注桩抽样检测方法及数量**

桩径 (mm)	荷载	检测方法	抽检数量
<800	\	1 静载法	静载法（抗压、抗拔、水平）不应少于同类型桩总数的 1%，且不应少于 3 根（总桩数小于 50 根时，不应少于 2 根）
		2 低应变法和（或）超声法	每承台不应少于本承台总桩数的 30%，且不应少于 1 根； 长径比大于 30 的桩应采用超声法； 市政工程、城市轨道交通工程的桩应全部采用超声法
≥800	承受上拔荷载、 或承受水平荷载、 或抗压承载力特征值 ≤25000kN	1 静载法	不应少于同类型桩总数的 1%，且不应少于 3 根（总桩数小于 50 根时，不应少于 2 根）
		2 钻芯法	不应少于总桩数的 5%，且不应少于 5 根（总桩数小于 30 根时，不应少于 3 根）
		3 界面钻芯法	不应少于总桩数的 5%，且不应少于 5 根（总桩数小于 30 根时，不应少于 3 根），宜选取长径比大的桩； 岩溶场地的桩不应少于总桩数的 30%
		4 低应变法和（或）超声法	每承台不应少于本承台总桩数的 30%，且不应少于 1 根； 桩径大于 1600mm 的桩应采用超声法； 长径比大于 30 的桩应采用超声法； 市政工程、城市轨道交通工程的桩应全部采用超声法
	抗压承载力特征值 >25000kN	1 钻芯法	不应少于总桩数的 15%，且不应少于 10 根；
		2 界面钻芯法	长径比大于 30 的桩不应少于总桩数的 15%； 长径比小于或等于 30 的不应少于总桩数的 5%； 岩溶场地的桩不应少于总桩数的 30%
3 低应变法和（或）超声法		每承台不应少于本承台总桩数的 30%，且不应少于 1 根； 桩径大于 1600mm 的桩应采用超声法； 长径比大于 30 的桩应采用超声法； 市政工程、城市轨道交通工程的桩应全部采用超	

			声法
--	--	--	----

注: 1 当现场无条件实施静载法检测时, 经各方责任主体确认、专家论证, 可不采用静载法检测。可按第三大类(抗压承载力特征值 $>25000\text{kN}$ )要求执行。同时应符合第 3.4.4 条规定。

2 桩径大于 1600mm 的桩应全部安装声测管; 长径比大于 30 的桩应全部安装声测管; 界面钻芯管应按抽检数量的 2 倍安装。

3.4.7 对桩基工程中部分桩径大于 800mm、有效桩长小于 6.0m 或长径比小于 5 的桩(按浅基础的“墩”设计计算), 应采用钻芯法检测, 钻芯法抽检不应少于总桩(墩)数的 10%, 且不应少于 5 根。

### 3.5 验证检测与扩大抽检

3.5.1 当对检测结果需进一步确认时, 可选择以下的方法进行验证检测:

1 桩身浅部缺陷可开挖验证;

2 对预制桩的低应变法检测结果需进一步确认时, 可采用高应变法验证, 也可采用孔内成像法验证;

3 对高应变法判定的单桩竖向抗压承载力需进一步确认时, 可采用抗压静载法验证;

4 对灌注桩低应变法或超声法检测结果需进一步确认时, 可采用钻芯法验证, 钻孔数量不应少于 2 孔, 钻取深度应超过低应变法或超声法检测的缺陷底部位位置以下 2.0m; 对难以钻进至预定位置的小桩径或大长径比桩应采用静载法验证。

5 对钻芯法检测中的桩身完整性、沉渣厚度需进一步确认时, 应采用孔内成像法验证, 可在同一基桩增加钻孔验证, 也可采用静载法验证。

6 当嵌岩桩抗拔静载法检测结果不满足验收规范和设计要求时, 可进行嵌岩深度检测。可采用附录 J 的方法检测。

3.5.2 验证检测后应对该桩进行综合评价。综合评价时宜以可靠性高的方法结果作为主要依据。

3.5.3 当基桩的检测结果不满足验收规范和设计要求时, 建设单位应组织有关各方分析原因, 根据综合质量评估和质量问题处理的需要制定扩大抽检方案。检测单位完成扩大抽检后, 应分别给出各受检桩的综合判定结果。

3.5.4 扩大抽检应符合下列规定：

- 1 扩大抽检可采用原抽检用的检测方法，或可靠性更高的检测方法。
- 2 当低应变法或超声法检出的Ⅲ、Ⅳ类桩之和小于抽检桩数的 20%时，应在未检桩中再取本单位工程总桩数的 15%扩大抽检；当Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于或等于抽检桩数的 20%时，应在未检桩中再取本单位工程总桩数的 30%扩大抽检。
- 3 当静载法、高应变法、钻芯法或界面钻芯法的检测结果不满足验收规范和设计要求时应扩大抽检，扩大抽检的数量不宜少于不满足设计要求桩数的 2 倍。当静载法、高应变法、钻芯法或界面钻芯法的检测结果严重不满足设计要求时，扩大抽检的倍数不应少于 3 倍。

### 3.6 检测结果与报告

3.6.1 工程桩承载力检测采用静载法、高应变法应给出单桩承载力检测值是否满足设计要求的结论。

3.6.2 桩身完整性检测各检测方法应按其规定对受检桩进行桩身完整性类别判定，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，不会影响桩身承载力的正常发挥
III 类桩	桩身有明显缺陷，对桩身承载力有影响
IV 类桩	桩身有严重缺陷

3.6.3 钻芯法检测报告中还应包括桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度、桩端岩土层性状是否满足设计要求的结论。

3.6.4 界面钻芯法检测报告中应包括桩底沉渣厚度、桩端岩土层性状是否满足设计要求的结论，描述桩端混凝土性状。

3.6.5 检测报告应准确、清晰、明确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。

### 3.6.6 检测报告应包含以下内容：

1 委托单位，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，检测日期等；

2 工程地质情况描述；

3 受检桩的桩型、截面尺寸、桩顶标高、桩号、桩位布置平面图和相关施工记录；

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。

3.6.7 报告结论页上应有主要检测人员、报告编写人、审核人、批准人的签字，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 对工程桩抽样检测，最大试验荷载不应小于设计单桩竖向抗压承载力特征值的 2.0 倍。

4.1.3 为设计提供依据的试验桩应加载至桩侧与桩端的岩土阻力达到极限状态或桩顶轴向压力设计值，试验桩的成桩工艺和质量控制标准应与后续工程桩施工拟采用的一致。

4.1.4 当桩身埋设有测定桩身应力、应变、桩端应力的传感器或位移杆时，可同步测定桩侧的分层摩阻力和桩端阻力。桩身内传感器和位移杆的埋设、数据处理可参照深圳市工程建设标准《大直径灌注桩静载试验标准》 SJG 87 附录 E 和附录 F 中的规定执行。

### 4.2 仪器设备

4.2.1 可根据现场条件选择压重平台反力装置、锚桩横梁反力装置或锚桩压重联合反力装置，并应符合下列规定：

- 1 反力装置提供的反力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍；
- 2 反力装置的构件截面应满足加载前和最大试验荷载工况下承载力和变形的要求；
- 3 应验算锚桩的抗拔承载力、抗拔钢筋及桩接头的抗拉强度；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 压重应均匀稳固地放置于平台上，压重合力中心应与受检桩的几何中心重合，压重宜在检测前一次加足；
- 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。

4.2.2 加载装置宜采用油压千斤顶。当采用 2 台及以上千斤顶加载时，千斤顶型号、规格应相同，各千斤顶应并联同步工作，千斤顶的合力中心应与受检桩轴线重合。

4.2.3 荷载可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测量，也可采用并联于千斤顶油路的压力传感器测量油压、再根据千斤顶率定曲线换算成荷载的间接测量。荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度应优于或等于 0.4 级。试验用荷重传感器、压力传感器、油泵、油管在最大试验荷载下的压力不宜超过各自规定最大工作压力的 80%。

4.2.4 桩顶沉降应采用位移传感器测量，其性能及安装应符合下列规定：

- 1 传感器测量误差不大于 0.1%FS，分度值优于或等于 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 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；
- 4 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 沉降测定平面宜设置在桩顶以下 200mm 的位置，测点应固定在桩身上。对大直径灌注桩，可设置在桩帽顶面。

4.2.6 荷载测量和沉降测量应采用自动数据采集系统，应具备远程实时传输功能。

4.2.7 基准桩、受检桩、压重平台支墩边（或锚桩）之间的距离应符合表 4.2.7 的规定。

**表 4.2.7 基准桩、受检桩、压重平台支墩边（或锚桩）之间的距离**

反力装置	压重平台	锚桩横梁	压重锚桩联合
基准桩与受检桩中心距离	$\geq 3d$ 且 $> 2.0m$	$\geq 3d$ 且 $> 2.0m$	$\geq 3d$ 且 $> 2.0m$
基准桩与压重平台支墩边距离	$\geq 1.5B$ 且 $> 2.0m$	—	$\geq 1.5B$ 且 $> 2.0m$
基准桩与锚桩中心距离	—	$\geq 3d$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4d$ 且 $> 2.0m$
受检桩与压重平台支墩边距离	$\geq 1B$ 且 $> 1.5m$	—	$\geq 1B$ 且 $> 1.5m$

受检桩与锚桩中心距离	—	$\geq 3d$ 且 $>2.0m$	$\geq 3d$ 且 $>2.0m$
------------	---	---------------------	---------------------

注： $d$ 为受检桩、锚桩的设计直径，取其较大者； $B$ 为支墩宽度。

### 4.3 现场检测

4.3.1 受检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。混凝土桩桩头处理应符合本标准附录 A 的规定。

4.3.2 对用作锚桩的灌注桩和有接头的预制桩，试验设备安装前宜对其桩身完整性进行检测。

4.3.3 符合下列情况之一的基桩，应采用慢速维持荷载法：

1 为设计提供依据的试验桩；

2 灌注桩桩端持力层为残积土、砂卵石层、泥岩、炭质页岩等软质岩、岩层破碎带、强风化（或全风化）硬质岩；

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。

4.3.4 同一类型的工程桩，应首先对施工质量可靠性低的桩采用慢速维持荷载法检测，检测数量不应少于静载法检测总数的 30%。当其检测结果满足设计要求时，其余桩可采用快速维持荷载法检测。

4.3.5 加、卸载方式应符合下列规定：

1 加载应分级进行，应逐级等量加载，分级荷载宜为最大试验荷载或预估单桩竖向抗压极限承载力的 1/10，可直接从第二级开始加载；

2 卸载应分级进行，应逐级等量卸载，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  $\pm 10\%$ 。

4.3.6 慢速维持荷载法检测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，即可卸至下一级荷载，卸载至零后维持 3h，应测读桩顶残余沉降量，测读时间为第 15、30min，以后每隔 30min 测读一次。

4.3.7 快速维持荷载法检测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各自相邻的前 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；卸载至零后维持 2h，应测读桩顶残余沉降量，测读时间为第 5、15、30min，以后每隔 30min 测读一次。

4.3.8 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（大直径桩取 80mm）；
- 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 当荷载-沉降曲线呈缓变型，可加载至桩顶沉降量达到 80mm；
- 4 已达到最大试验荷载或锚桩最大抗拔力；
- 5 对抽样检测的工程桩，在最大试验荷载下桩顶沉降达到相对稳定标准。

## 4.4 检测结果

4.4.1 应绘制竖向荷载-沉降（ $Q-s$ ）曲线、沉降-时间对数（ $s-lgt$ ）曲线。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：在某级荷载下  $Q-s$  曲线发生明显陡降，取前一级荷载值；或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；

2 出现本标准第 4.3.8 条第 2 款情况，取前一级荷载值；

3 对于缓变型  $Q-s$  曲线可根据沉降量确定，对直径小于 800mm 的桩，宜取  $s=40\text{mm}$  对应的荷载值；对直径大于或等于 800mm 的嵌岩桩，可取  $s=0.05D$  ( $D$  为桩端直径) 且  $s\leq 60\text{mm}$  对应的荷载值；对直径大于或等于 800mm 的非嵌岩桩，可取  $s=0.05D$  ( $D$  为桩端直径) 且  $s\leq 80\text{mm}$  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；

4 对抽样检测的工程桩，在最大试验荷载下，未出现以上三款情况、且桩顶沉降达到相对稳定标准时，可取最大试验荷载。

注：按本条前二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 为设计提供依据的单桩竖向抗压承载力检测值的统计取值，应符合下列规定：

1 对参加算术平均的试验桩检测结果，当极差不超过平均值的 30% 时，可取其算术平均值为单桩竖向抗压承载力检测值；当极差超过平均值的 30% 时，应分析原因，结合桩型、施工工艺、工程地质条件、基础形式等工程具体情况综合确定极限承载力；不能明确极差过大的原因时，宜增加试桩数量；

2 试验桩数量小于 3 根或桩基承台下的桩数不大于 3 根时，应取低值。

4.4.4 单桩竖向抗压承载力特征值应按单桩竖向抗压承载力检测值的 50% 取值。

4.4.5 检测报告除应符合本标准第 3.6.6 条的规定外，还应包含以下内容：

1 受检桩桩位或者附近位置的工程地质钻孔柱状图或者剖面图；

2 锚桩的数量、截面尺寸、材料强度、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、卸载方式，荷载分级；

5 本标准第 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 单桩承载力检测值、对应位移及终止加载情况类别，并评价是否满足设计要求。

4.4.6 对于形态异常的  $Q-s$  曲线，可结合检测前后桩身完整性检测结果，对受检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，应在检测报告中加以说明。对存在缺陷的桩和已经破坏的桩应按有关程序进行处理。

## 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 工程桩抽样检测时，最大试验荷载不应小于设计单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍；当单桩竖向抗拔承载力特征值是由静载试验确定、且桩身纵筋是按桩身抗拉强度设计配筋的工程桩，可取设计要求的最大试验荷载，但不宜低于设计单桩竖向抗拔承载力特征值的 1.5 倍；若设计对最大上拔量限值有要求时可取设计提供的最大试验荷载，但桩侧岩土阻力安全系数不宜低于 1.5。

5.1.3 为设计提供依据的试验桩宜加载至桩侧岩土阻力达到极限状态或桩身材料达到设计强度，试验桩的成桩工艺和质量控制标准应与后续工程桩施工拟采用的一致。用作试验桩的灌注桩施工时宜进行成孔质量检测，桩孔中、下部位有明显扩径时（设计有扩径要求者除外）成桩后不宜作为抗拔试验桩。

5.1.4 当桩身埋设有测定桩身应力、应变的传感器或位移杆时，可同步测定桩侧的分层摩阻力和相应截面位移。桩身内传感器和位移杆的埋设、数据处理可参照深圳市工程建设标准《大直径灌注桩静载试验标准》 SJG 87 附录 E 和附录 F 中的规定执行。

### 5.2 仪器设备

5.2.1 加载反力装置的支座反力可根据现场情况由天然地基或处理地基提供，也可由反力桩或工程桩提供，并符合以下规定：

- 1 由天然地基或处理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；反力梁的支承面中心应与支座中心重合；

- 2 由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。

5.2.2 加载反力装置的受力构件应满足承载力和变形要求，反力装置应具有 1.2 倍的安全系数，并符合下列规定：

1 受检桩纵筋、连接钢筋和连接构件宜采用机械连接或焊接，应调直受检桩纵筋使其受力均匀；

2 反力装置可按照本标准附录 B 提供的方式和受检桩连接；

3 对不受裂缝控制的预制管桩也可采用混凝土填芯方式，宜采用和施工图一致的施工工艺，其配筋数量和长度等要求应根据最大试验荷载验算或设计。

5.2.3 加载装置应符合本标准第 4.2.2 条的规定。

5.2.4 荷载测量及其仪器的技术要求应符合本标准第 4.2.3 条和第 4.2.6 条的规定。

5.2.5 桩顶上拔量测量及其仪器的技术要求应符合本标准第 4.2.4 条和第 4.2.6 条的规定。

5.2.6 桩顶上拔量测量点宜设置在桩顶以下不小于 1 倍桩径的桩身上。对于填芯连接管桩可以设置在桩顶面上。对于大直径灌注桩可设置在钢筋笼内侧的桩顶面混凝土上或由植入桩顶面的钢筋引出，测点距离桩身纵筋不少于 100mm，不得设置在受拉钢筋上。

5.2.7 基准桩、受检桩、支座（或反力桩）之间的距离应符合本标准表 4.2.7 的规定。

### 5.3 现场检测

5.3.1 单桩竖向抗拔静载法宜采用慢速维持荷载法，也可采用多循环加、卸载方法。慢速维持荷载法的加卸载方式、检测步骤应符合本标准第 4.3.5 条和第 4.3.6 条的有关规定。

5.3.2 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桩顶上拔量的 5 倍且累计桩顶上拔量大于 15mm；

2 按桩顶上拔量控制，累计桩顶上拔量超过 100mm；

3 对抽样检测的工程桩，在最大试验荷载（或设计要求的上拔量限值）下桩顶上拔量达到相对稳定标准。

5.3.3 对不允许带裂缝工作的工程桩，符合下列情况之一时，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上拔量的 5 倍；
- 2 在某级荷载作用下，桩身混凝土出现开裂；
- 3 已达到设计提供的最大试验荷载，桩顶上拔位移速率达到相对稳定标准，且桩身混凝土未出现开裂情况。

5.3.4 为设计提供承载力依据的试验，除测量桩顶上拔量外，还应对基准桩的位移进行监测、对桩周地面土体的变形情况及桩身外露部分裂缝开展情况进行观测记录。

## 5.4 检测结果

5.4.1 应绘制上拔荷载-桩顶上拔量 ( $U-\delta$ ) 曲线、桩顶上拔量-时间对数 ( $\delta-\lg t$ ) 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 当出现本标准第 5.3.2 条第 1 款情况时，取前一级上拔荷载；
- 2 当出现本标准第 5.3.2 条第 2 款情况时，可取终止试验前一级上拔荷载或设计要求位移值对应的上拔荷载；
- 3 当出现本标准第 5.3.2 条第 3 款情况时，可取最大上拔荷载；
- 4 在某级荷载作用下  $U-\delta$  曲线发生明显陡升，取前一级上拔荷载；取  $\delta-\lg t$  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。

注：按本条前二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 对不允许带裂缝工作的工程桩，试验结果的判定应符合下列规定：

- 1 当出现本标准第 5.3.3 条第 1、2 款情况时，可判定单桩竖向抗拔静载试验结果不满足设计、验收要求；
- 2 当出现本标准第 5.3.3 条第 3 款情况时，可判定单桩竖向抗拔静载试验结果满足设计、验收要求。

5.4.4 为设计提供依据的单桩竖向抗拔承载力检测值的统计取值，可按本标准第

4.4.3 条的规定执行。

5.4.5 单桩竖向抗拔承载力特征值应按单桩竖向抗拔承载力检测值的 50%取值。

5.4.6 检测报告除应符合本标准第 3.6.6 条的规定外，还应包含以下内容：

1 受检桩桩位或者附近位置的工程地质钻孔柱状图或者剖面图；

2 受检桩桩径（进行过成孔质量检测的灌注桩宜提供孔径曲线）及配筋情况、传递上拔荷载的桩顶连接方式；

3 加、卸载方式，荷载分级；

4 本标准第 5.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；为设计提供承载力依据的试验，基准桩的变形量、桩周地面土体的变形情况及桩身外露部分裂缝开展情况；

5 单桩承载力检测值、对应上拔量及终止加载情况类别，并评价是否满足设计要求；

6 对不允许带裂缝工作或对裂缝宽度有限制的工程桩检测，桩身外露部分裂缝开展情况观测记录；

7 对存在缺陷的桩和已经破坏的桩应按有关程序进行处理。

## 6 单桩水平静载法

### 6.1 一般规定

6.1.1 本方法适用于桩顶自由的试验条件下确定单桩水平承载力、推定地基土水平抗力系数的比例系数。

6.1.2 对工程桩抽样检测，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，但不应小于设计单桩水平承载力特征值的  $1/0.75$ （或单桩水平临界荷载）。

6.1.3 为设计提供依据的试验桩宜加载至桩顶水平位移达到  $30\text{mm}$ （当桩侧上部为软土时取  $40\text{mm}$ ）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 水平荷载的反力可由相邻桩提供；当专门设置反力结构时，其承载能力应大于最大试验荷载的  $1.2$  倍，且具有足够的刚度。

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

6.2.3 荷载测量及其仪器的技术要求应符合本标准第 4.2.3 条和第 4.2.6 条的规定。水平力作用点宜与实际工程的桩基承台底面标高一致；千斤顶和试桩接触处应安置球形铰支座，千斤顶出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标准第 4.2.4 条和第 4.2.6 条的规定。仪器设备布置可参照深圳市工程建设标准《大直径灌注桩静载试验标准》SJG 87 的规定执行。在水平力作用平面的受检桩两侧应对称安装两个位移传感器；当需要测量桩顶转角时，尚应在水平力作用平面以上  $50\text{cm}$  的受检桩两侧对称安装两个位移传感器。基准桩设置不应受试验和其他因素的影响，基

准桩宜设置在与作用力方向垂直的试桩侧面，基准桩与试桩净距不应小于 1 倍桩径、且不宜小于 2m。

## 6.3 现场检测

6.3.1 可在检测前、后采用低应变法检测受检桩的桩身完整性。

6.3.2 加载方式宜根据工程桩实际受力特性选用单向多循环加载法或本标准第 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。当需要测量桩身横截面弯曲应变时宜采用慢速维持荷载法。

6.3.3 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宜为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，维荷 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、试验步骤及稳定标准应符合本标准第 4.3.5 条和第 4.3.6 条的有关规定。

6.3.4 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 30mm~40mm，软土中的桩或大直径桩可取高值；
- 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控制值，或达到设计要求的最大水平荷载且水平位移达到相对稳定标准。

## 6.4 检测结果

6.4.1 检测数据处理应符合下列规定：

1 采用单向多循环加载法时，应绘制水平力-时间-力作用点的水平位移（ $H-t-Y_0$ ）曲线和水平力-位移梯度（ $H-\Delta Y_0/\Delta H$ ）曲线；

2 采用慢速维持荷载法时，应绘制水平力-力作用点的水平位移（ $H-Y_0$ ）曲线、水平力-位移梯度（ $H-\Delta Y_0/\Delta H$ ）曲线、力作用点的水平位移-时间对数（ $Y_0-1gt$ ）曲线和水平力-力作用点的水平位移双对数（ $1gH-1gY_0$ ）曲线；

3 绘制水平力、力作用点的水平位移-地基土水平抗力系数的比例系数曲线（ $H-m$ 、 $Y_0-m$ ）。

6.4.2 当桩顶自由且水平力作用位置位于地面处时，地基土水平抗力系数的比例系数可按下列公式计算：

$$m = \frac{(v_y H)^{\frac{5}{3}}}{b_0 Y_0^{\frac{5}{3}} (EI)^{\frac{2}{3}}} \quad (6.4.2-1)$$

$$\alpha = \left( \frac{mb_0}{EI} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (6.4.2-2)$$

式中  $m$ ——地基土水平抗力系数的比例系数( $\text{kN} / \text{m}^4$ )；

$\alpha$ ——桩的水平变形系数( $\text{m}^{-1}$ )；

$v_y$ ——桩顶水平位移系数，由式(6.4.2-2)试算  $\alpha$ ，当  $ah \geq 4.0$  时（ $h$  为桩的人土深度）， $v_y=2.441$ ；

$H$ ——作用于地面的水平力( $\text{kN}$ )；

$Y_0$ ——水平力作用点的水平位移( $\text{m}$ )；

$EI$ ——桩身抗弯刚度( $\text{kN} \cdot \text{m}^2$ )；其中  $E$  为桩材弹性模量， $I$  为桩身换算截面惯性矩；

$b_0$ ——桩身计算宽度( $\text{m}$ )；对于圆形桩，当桩径  $d \leq 1\text{m}$  时， $b_0=0.9(1.5d+0.5)$ ，当桩径  $d > 1\text{m}$  时， $b_0=0.9(d+1)$ ；对于矩形桩，当边宽  $b \leq 1\text{m}$  时， $b_0=1.5b+0.5$ ，当边宽  $b > 1\text{m}$  时， $b_0=b+1$ 。

6.4.3 单桩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的  $H-t-Y_0$  曲线或慢速维持荷载法的  $H-Y_0$  曲线出现拐点的前一级水平荷载值；

2 取  $H-\Delta Y_0/\Delta H$  曲线或  $1gH-1gY_0$  曲线上第一拐点对应的水平荷载值。

6.4.4 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  $H-t-Y_0$  曲线产生明显陡降的前一级，
- 2 取慢速维持荷载法时的  $H-Y_0$  曲线发生明显陡降的起始点的前一级的水平荷载值；或  $Y_0-1gt$  曲线尾部出现明显弯曲的前一级水平荷载值；
- 3 取  $H-\Delta Y_0/\Delta H$  曲线或  $1gH-1gY_0$  曲线上第二拐点的前一级的水平荷载值；
- 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，可取最大试验荷载。

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。

#### 6.4.5 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定：

- 1 当桩身不允许开裂或灌注桩的桩身配筋率小于 0.65% 时，取水平临界荷载的 0.75 倍为单桩水平承载力特征值；
- 2 当桩身允许开裂或桩身配筋率不小于 0.65% 时，也可取设计桩顶标高处水平位移控制值所对应荷载的 0.75 倍，对水平位移敏感的建筑物取 6mm 对应的试验荷载值，对水平位移不敏感的建筑物取 10mm 对应的试验荷载值；且不大于裂缝宽度控制要求。
- 3 对工程桩抽样检测，荷载已达到设计要求的最大试验荷载，且桩顶水平位移达到相对稳定标准时，可取最大试验荷载除以设计采用的安全系数。

6.4.6 为设计提供依据的单桩水平承载力检测值的统计取值，可按本标准第 4.4.3 条的统计方法确定。

#### 6.4.7 检测报告除应符合本标准第 3.6.6 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 受检桩桩位或者附近位置的工程地质钻孔柱状图或者剖面图；
- 2 受检桩的截面尺寸及配筋情况；
- 3 加、卸载方式，荷载分级；
- 4 本标准第 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、对应水平位移及终止加载情况类别，并评价是否满足设计要求；
- 6 对存在缺陷的桩和已经破坏的桩应按有关程序进行处理。

## 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 对于大直径扩底灌注桩，不宜采用高应变法进行竖向抗压承载力检测。

### 7.2 仪器设备

7.2.1 检测仪器主要技术性能应符合现行行业标准《基桩动测仪》JG/T 518 中 2 级标准的规定；应具有信号显示、存储、分析和处理功能；应具备数据远程实时传输功能。

7.2.2 可采用精密水准仪等仪器测量桩的贯入度。

7.2.3 锤击设备宜为自由落锤式，预制桩可利用打桩机械（导杆式柴油锤、振动锤除外）。锤击设备应具有稳固的导向装置，重锤应采用铸铁或铸钢制作，材质均匀、形状对称、锤底平整，高宽（径）比不得小于 1.0。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，高宽（径）比应在 1.0~1.5 之间。

7.2.4 进行承载力检测时，锤重应大于单桩竖向抗压承载力特征值的 2.0%，当混凝土桩的桩径大于 600mm 或桩长大于 30m 时应大于 3.0%。当仅检测桩身完整性时，锤的重量应大于单桩竖向抗压承载力特征值的 0.3%。

### 7.3 现场检测

7.3.1 检测前准备工作应符合以下要求：

1 平整地面或开挖试坑，使桩头露出高度应满足锤架、传感器安装的要求，找平桩头使重锤、桩头中轴线与桩身中轴线重合；

2 桩头顶面应设置桩垫，桩垫宜采用 10mm~30mm 厚的木板或胶合板等匀质材料；

3 对不能承受锤击力的桩头应在检测前进行处理，桩头处理应符合本标准附录 A 的规定；

4 传感器的安装应符合本标准附录 C 的规定。

7.3.2 受检桩参数、传感器灵敏度系数、信号采集方式、采样频率和长度的设定及计算应符合下列规定：

1 测点下桩长和桩身截面积设定：

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桩身截面积设定；

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。

2 混凝土桩桩身波速可结合经验或按同场地同类型已检桩的平均波速初步设定，现场检测完成后再作适当调整。

3 桩材质量密度的设定：

1) 离心成型预应力混凝土管桩应为  $2.55\text{t/m}^3\sim 2.60\text{t/m}^3$ ；

2) 混凝土灌注桩应为  $2.40\text{t/m}^3$ ；

3) 混凝土预制桩应为  $2.45\text{t/m}^3\sim 2.50\text{t/m}^3$ ；

4) 钢桩应为  $7.85\text{t/m}^3$ 。

4 桩身材料弹性模量应按下式计算：

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

式中  $E$ ——桩材弹性模量(kPa)；

$c$ ——桩身波速(m/s)；

$\rho$ ——桩材质量密度( $\text{t/m}^3$ )。

5 应变传感器和加速度传感器灵敏度系数应按检定或校准结果设定。

6 在重锤上安装加速度传感器测冲击力时，冲击力等于实测加速度与重锤质量的乘积。

7 信号采样长度应满足分析计算要求，采样时间间隔宜为  $50\mu\text{s}\sim 200\mu\text{s}$ 、采样点数不宜少于 1024 点。

7.3.3 现场检测应符合下列规定：

1 检测前应对仪器、电源、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 检测时应实测单次锤击下桩的贯入度；

3 采用自由落锤时，先用低落距试打以检查仪器工作状态和信号质量，实测应重锤低击，最大锤击落距不宜大于 2.5m，单击贯入度宜在 2mm~6mm 之间；仅检测桩身完整性时，宜采用轻锤，在能接收到桩底反射信号的前提下，可降低落距、减小桩垫厚度；

4 采用凯司法初步判断受检桩的承载力；

5 试打预制桩与打桩监控应符合本标准附录 D 的规定；

6 预制桩承载力的时间效应，应按本标准附录 D 的规定通过复打试验确定。

7.3.4 每根受检桩记录的有效锤击信号数量，应根据实测信号的质量、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情况综合确定。

7.3.5 检测时应及时检查信号质量，当出现下列情况之一时应进行检查、调整或停止检测：

1 信号异常，或同一根桩经过多次锤击后波形紊乱、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；

3 测点处混凝土开裂；

4 桩身有明显缺陷并且程度在逐渐加剧；

5 力信号未归零；

6 四个通道测试信号不全。

## 7.4 检测结果

7.4.1 对采用挤土工艺施工的受检桩，在检测前后均应测量桩顶标高，计算出每击下的贯入度，判断受检桩是否发生上浮。当确认有上浮情况时应取第一击信号进行分析计算。

7.4.2 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、桩身缺陷程度及其发展趋势，选取锤击能量较大的 1~2 击信号进行分析计算。

7.4.3 当出现下列情况之一时，其信号不得用作分析计算：

- 1 锤击严重偏心，两侧力信号幅值相差超过一倍；
- 2 测点处混凝土开裂或有严重塑性变形使力信号未归零；
- 3 四个通道测试信号不全。

7.4.4 分析计算前，可按下列方法确定桩身波速和桩材弹性模量：

1 当桩底反射信号明显时，可根据速度波第一峰起升沿的起点到反射峰起升沿或下降沿的起点之间的时差与已知桩长确定波速（图 7.4.4）；

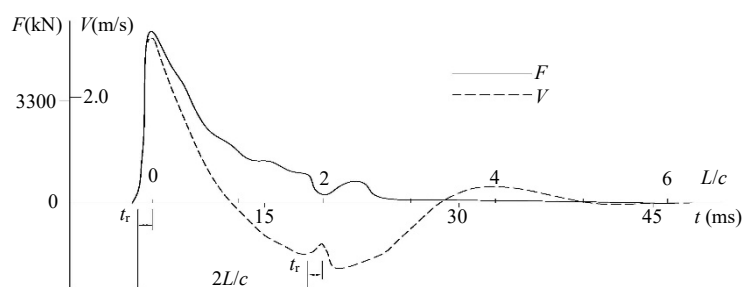


图 7.4.4 桩身波速的确定

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不一致时，应将桩材弹性模量和力信号的幅度作相应的调整，并符合以下规定：

1) 对测点处原设定波速调整后，相应的桩材弹性模量应按本标准 7.3.2 式重新计算；

2) 采用应变传感器测量锤击力时，当原始力信号按速度单位存储，桩身材料弹性模量调整后尚应对原始实测力值进行校正；

3) 对于在重锤上安装加速度传感器实测锤击力的，当桩材弹性模量或桩身波速改变时，不得对原始实测力值进行调整，但应对桩顶响应加速度计安装面以上的桩头惯性力进行修正。

7.4.5 实测的力和速度信号第一峰起始段不成比例时，不得对实测力或速度信号

进行调整。

7.4.6 判定单桩承载力检测值应采用实测曲线拟合法。拟合分析计算时应符合下列规定：

- 1 桩-土力学模型物理意义明确，应能分别反映桩和土的实际力学性状；
- 2 模型参数的取值范围应能限定，拟合分析选用的参数应在合理范围内；
- 3 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 20ms，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 30ms；
- 4 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；
- 5 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；
- 6 贯入度的计算值应与实测值接近。

7.4.7 采用凯司法判定单桩承载力检测值应符合下列规定：

- 1 桩径小于 800mm，桩身的材质和截面基本均匀；
- 2  $J_c$  值宜通过不少于 3 根桩的静动对比试验，结合实测曲线拟合法、桩底岩土层性状综合确定；
- 3 在同一场地地质条件相近，桩型、工艺、截面积相同的情况下， $J_c$  值的极差不宜大于平均值的 30%。

7.4.8 对于  $t_1+2L/c$  时刻桩侧和桩端土阻力均已充分发挥的摩擦型桩，可按下列凯司法公式的计算结果，判定单桩承载力检测值：

$$R_c = (1 - J_c) \cdot \frac{1}{2} \cdot [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] + (1 + J_c) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[ F\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) - Z \cdot V\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) \right] \quad (7.4.8-1)$$

$$Z = \frac{E \cdot A}{c} \quad (7.4.8-2)$$

式中  $R_c$ ——凯司法判定的单桩竖向抗压承载力检测值(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)。

对于土阻力滞后于  $t_1+2L/c$  时刻明显发挥或先于  $t_1+2L/c$  时刻发挥并产生桩中上部强烈反弹的,宜分别采用下列方法对  $R_c$  值进行提高修正:

- 1 将  $t_1$  延时,确定  $R_c$  的最大值;
- 2 计入卸载回弹的土阻力,对  $R_c$  值进行修正。

7.4.9 当出现下列情况之一时,应采用静载法进一步验证:

- 1 桩身存在明显或严重缺陷,无法判定单桩承载力;
- 2 预制桩在多次锤击下承载力下降,触变效应明显;
- 3 单击贯入度大,桩底同相反射强烈且反射波峰较宽,侧阻力波、端阻力波反射弱,即信号表现出的竖向承载性状与桩周土分布情况明显不符;
- 4 嵌岩桩桩底同相反射强烈,且在  $2L/c$  时刻后无明显端阻力反射;
- 5 本标准第 7.3.5 条第 2、3、6 款情况时的受检桩;
- 6 对本标准第 7.3.5 条第 1、4、5 款情况时的信号检查或调整后信号质量仍未改善而停止检测的受检桩;
- 7 对承受水平方向荷载、采用高应变法检测桩身完整性后显示桩身缺陷对水平承载力有影响的受检桩。

7.4.10 单桩竖向抗压承载力特征值应按本方法得到的单桩承载力检测值的 50% 取值。

7.4.11 桩身完整性判定应符合下列规定:

- 1 采用实测曲线拟合法判定时,拟合所选用的桩土参数应符合本标准第 7.4.6 条第 1 款和第 2 款的规定;根据成桩工艺,拟合时可采用桩身阻抗拟合或桩身裂隙、混凝土预制桩的接桩缝隙拟合;
- 2 等截面桩且缺陷深度  $x$  以上部位的土阻力  $\Delta R$  未出现卸载回弹时,桩身完

完整性系数和桩身缺陷位置应分别按下列公式计算：

$$\beta = \frac{F(t_1) + F(t_x) + Z \cdot [V(t_1) - V(t_x)] - 2\Delta R}{F(t_1) - F(t_x) + Z \cdot [V(t_1) + V(t_x)]} \quad (7.4.11-1)$$

$$x = c \cdot \frac{t_x - t_1}{2000} \quad (7.4.11-2)$$

式中： $\beta$ ——桩身完整性系数，其值等于缺陷  $x$  处桩身截面阻抗与  $x$  以上桩身截面阻抗的比值；

$x$ ——桩身缺陷至传感器安装点的距离(m)；

$t_x$ ——缺陷反射峰对应的时刻(ms)；

$\Delta R$ ——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，取值方法见图 7.4.11；

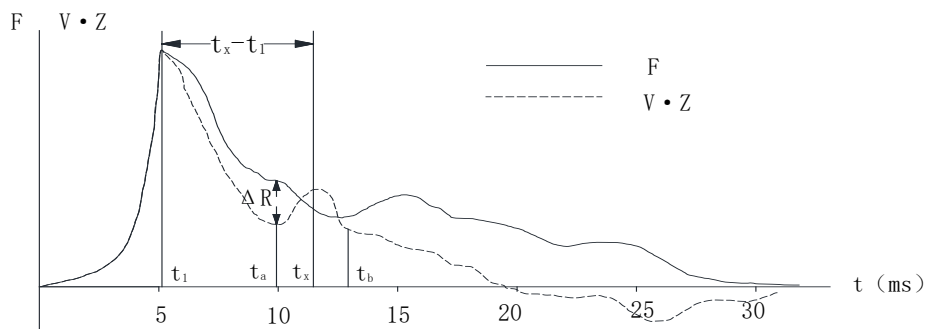


图 7.4.11 桩身完整性系数计算

3 桩身完整性类别可按表 3.6.2 和表 7.4.11 规定结合经验综合判定。

表 7.4.11 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	$\beta < 0.6$

7.4.12 出现下列情况之一时，桩身完整性判定宜按工程地质条件和施工工艺，结合实测曲线拟合法或其他检测方法综合进行：

1 桩身有扩颈；

2 混凝土灌注桩桩身截面渐变或多变；

3 力和速度信号在第一峰附近不成比例，桩身浅部有缺陷；

4 锤击力波上升缓慢；

5 和本标准第 7.4.11 条第 2 款的情况相应，在缺陷深度  $x$  以上部位的土阻力  $\Delta R$  出现了卸载回弹。

6 嵌岩桩桩底同相反射强烈，且在时间  $2L/c$  后无明显端阻力反射。

7.4.13 最大桩身锤击拉应力、压应力和桩锤实际传递给桩的能量应分别按本标准附录 D 的相应公式计算。

7.4.14 检测报告除应符合本标准第 3.6.6 条的规定外，还应包含以下内容：

1 实测的力与速度信号，并标注有测试日期；

2 桩身波速及  $J_c$  值；

3 实测贯入度；

4 单桩承载力检测值，并评价是否满足设计要求；

5 拟合曲线、各单元桩-土模型参数、土阻力沿桩身分布图；用作对比的抗压静载法检测结果；

6 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 本方法适用于检测混凝土桩的桩身完整性，检测桩身缺陷的程度及位置。

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 检测仪器主要技术性能应符合现行行业标准《基桩动测仪》JG/T 518 中 2 级标准的规定；应具有信号显示、储存和分析处理功能；宜具备数据远程实时传输功能。

8.2.2 应采用压电式加速度传感器，性能指标应符合下列规定：

- 1 灵敏度大于  $20\text{mV} / \text{g}$  或  $200\text{PC} / \text{g}$ ；
- 2 量程大于  $20\text{g}$ ；
- 3 固有频率大于  $30\text{kHz}$ ；
- 4 横向灵敏度小于  $5\%$ 。

8.2.3 瞬态激振设备应包括能激发宽脉冲和窄脉冲的手锤、力棒和锤垫，锤体可装有力传感器。

### 8.3 现场检测

8.3.1 受检桩应符合下列规定：

- 1 桩身强度应符合本标准第 3.3.4 条第 1 款的规定；
- 2 应凿除桩顶浮浆及松动部分，露出密实的混凝土，桩顶表面应平整、干净、无积水且与桩身轴线垂直，对于预应力混凝土管桩，当端板与桩身混凝土之间结合不紧密时，应对桩头进行处理；

- 3 桩头的材质、强度、截面尺寸应与桩身相同；
- 4 将桩顶表面上传感器安装点和激振点打磨成直径约为 100mm 且与桩轴线垂直的光滑平面；
- 5 当受检桩的桩侧与底板混凝土垫层浇筑成一体时，应确保垫层不对接收信号造成干扰。

#### 8.3.2 安装传感器及选择激振点应符合下列规定：

- 1 安装位置应远离纵筋，传感器应与桩顶面垂直，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 灌注桩的传感器安装点宜在距桩中心  $2/3$  半径处，激振点应在桩中心；管桩传感器安装点与激振点宜在  $1/2$  壁厚处，宜处于同一水平面上，且与桩中心连线形成的夹角为  $90^\circ$ 。

#### 8.3.3 用手锤或力棒激振应符合下列规定：

- 1 激振方向应沿桩身轴线方向；
- 2 根据桩长、缺陷所在位置的深浅，通过对比测试选择适当的手锤或力棒、调整激振脉冲宽度。宜采用宽脉冲获取深部缺陷或长桩桩底的反射信息；宜采用窄脉冲获取浅部缺陷或短桩桩底的反射信息；检测预制桩的浅部水平裂缝反射信息宜采用窄脉冲激振信号。

#### 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 采样时间间隔（或采样频率）应根据桩长、桩身波速和频域分辨率合理选择，时域信号采样点数不宜少于 1024 点；
- 4 时域信号记录的时间段长度应在  $2L/c$  时刻后延续不少于 5ms，频域信号分析的频率范围上限不应小于 2000Hz；
- 5 传感器的灵敏度系数应按检定或校准结果设定。

#### 8.3.5 信号采集和筛选应符合下列规定：

- 1 采集前应对电源、仪器、传感器、连线、接头等进行检查，确保检测系统

各部分之间连接正常；

2 桩直径小于或等于 800mm 时，每根桩不应少于 2 个检测点；桩直径大于 800mm 时，每根桩不应少于 3 个检测点；

3 每个检测点记录的有效信号数不宜少于 3 个，应对信号做叠加平均处理；

4 不同检测点及多次实测时域信号一致性较差时，应分析原因、增加检测点数量；

5 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；

6 检查判断实测信号反映的桩身完整性情况，据此决定是否需要进一步增加检测点、变换激振点和检测点位置。

## 8.4 检测结果

8.4.1 信号处理应符合下列规定：

1 低通滤波的截止频率不宜小于 2000Hz；

2 当桩底反射信号或深部缺陷反射信号较弱时，可采用指数放大，被放大的反射信号幅值不应大于速度波第一峰幅值的一半，进行指数放大后的信号尾部应基本归零；指数放大的范围宜大于  $2L/c$  的  $2/3$ ，指数放大倍数宜小于 20。

8.4.2 确定桩身波速应符合下列规定：

1 桩身波速可根据实测信号的特征按下列公式计算：

$$c = \frac{2000L}{t_r} \quad (8.4.2-1)$$

$$c = 2L \cdot \Delta f \quad (8.4.2-2)$$

式中  $c$ ——桩身波速（m/s）；

$L$ ——桩长（m）；

$t_r$ ——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差（ms）；

$\Delta f$ ——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按下式计算：

$$\bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (8.4.2-3)$$

式中  $\bar{c}$  ——桩身波速平均值(m/s);

$n$  ——参加桩身波速平均值计算的桩数,  $n \geq 5$ ;

$c_i$  ——第  $i$  根桩的桩身波速, 且  $|c_i - \bar{c}| / \bar{c}$  不宜大于 5%。

3 当无法按上款确定时, 桩身波速平均值可根据相同桩型及成桩工艺的其他桩基工程的实测值, 结合桩身混凝土强度等级和骨料品种综合确定。

8.4.3 桩身缺陷位置应按下列式计算:

$$x = \frac{1}{2000} c t_{rx} \quad (8.4.3-1)$$

$$x = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\Delta f'} \quad (8.4.3-2)$$

式中  $x$  ——桩身缺陷位置 (m);

$t_{rx}$  ——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差 (ms);

$c$  ——桩身波速 (m/s), 无法确定时用  $\bar{c}$  代替;

$\Delta f'$  ——幅频曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差 (Hz)。

8.4.4 受检桩的桩身完整性类别应结合缺陷位置和范围、接收信号衰减特性以及桩型、场地工程地质情况、施工工艺、施工记录, 按表 3.6.2 和表 8.4.4 规定综合判定。

**表 8.4.4 桩身完整性分类表**

类别	时域信号特征	频域信号特征
I	$2L/c$ 时刻前无缺陷反射波, 桩底反射波明显, 波速正常	桩底谐振峰排列基本等间距, 其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$
II	$2L/c$ 时刻前有轻微缺陷反射波, 桩底反射波较明显, 波速基本正常	桩底谐振峰排列基本等间距, 其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$ , 轻微缺陷产生的谐振峰与桩底谐振峰之间的频差 $\Delta f' > c/2L$
III	$2L/c$ 时刻前有明显缺陷反射波, 其他特征介于II类和IV类之间	

IV	$2L/c$ 时刻前有幅值很强的缺陷反射波或周期性反射波，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	缺陷谐振峰排列基本等间距，相邻频差 $\Delta f' > c/2L$ ，无桩底谐振峰； 或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谐振峰，无桩底谐振峰
----	---	--

注：当实测信号无桩底反射波出现时，应结合场地工程地质条件、桩型、施工工艺、检测经验等因素综合判定，宜采取其他检测方法验证检测。

8.4.5 出现下列情况时，桩身完整性类别应判定为III类：

- 1 对于混凝土预制桩，在接桩位置处有明显反射波，或在非接桩位置处有较明显反射波；
- 2 桩身波速明显异常。

8.4.6 对于夯扩桩、人工挖孔扩底桩、钻孔扩底桩等，应考虑桩的截面变化对接收信号的影响，综合分析波形、判定受检测桩的完整性类别。也可采用诸如信号拟合法等分析技术辅助判定。

8.4.7 出现下列情况之一时，桩身完整性类别可采取实测曲线拟合法辅助判定，并采取钻芯法、静载法或高应变法验证检测：

- 1 实测波形复杂，无规律，无法对其进行准确评价；
- 2 桩身截面渐变或多变、且变化幅度较大的混凝土灌注桩；
- 3 嵌岩桩桩底有同相反射信号。

8.4.8 检测报告除应符合本标准第 3.6.6 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 速度信号，并标注有滤波参数、缺陷位置及实测日期时间；
- 2 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，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；
- 3 桩身波速取值；
- 4 桩身完整性描述、缺陷的位置及桩身完整性类别。

## 9 超声法

### 9.1 一般规定

9.1.1 本方法适用于检测混凝土灌注桩的桩身完整性，检测桩身缺陷的位置、范围和程度。

9.1.2 当因声测管堵塞等原因导致采集的数据不齐全时，仅可对被检测部分的桩身完整性进行评价，不对受检桩桩身完整性进行整体评价。

### 9.2 仪器设备

9.2.1 超声检测仪应符合下列规定：

- 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  $0.5\mu\text{s}\sim 5000\mu\text{s}$ ，声时测量分辨力不宜低于  $0.1\mu\text{s}$ ；
- 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  $10\text{kHz}\sim 200\text{kHz}$ ，接收系统灵敏度宜高于  $50\mu\text{V}$ ，宜具有增益调节功能，总增益不宜低于  $80\text{dB}$ ；
- 6 发射系统宜输出  $200\text{V}\sim 1000\text{V}$  的矩形脉冲；
- 7 宜采用直流供电，宜配有备用电源；
- 8 宜具有自动记录发射与接收换能器位置的功能；
- 9 宜具备数据远程实时传输功能。

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换能器，谐振频率宜为  $30\text{kHz}\sim 60\text{kHz}$ ，有效长度宜小于  $150\text{mm}$ ；
- 2 接收换能器宜内装前置放大器；

3 换能器的水密性应满足在 1.2MPa 水压下不渗水，换能器的导线上应有深度标记，换能器宜安装扶正器。

## 9.3 现场检测

9.3.1 制作、安装声测管应符合本标准附录 E 的规定。

9.3.2 检测前的准备工作应符合下列规定：

- 1 检查仪器的各部分是否工作正常；
- 2 根据桩径大小选择适宜频率的换能器；
- 3 检查或测量检测仪器的系统延时和耦合层延时；
- 4 声测管应畅通，管内应注满清水；
- 5 测量两声测管外壁间的净距。

9.3.3 检测工作应符合下列规定：

1 调整超声检测仪参数，接收信号应具有较高的信噪比，信号首波波幅在显示器上应高度适中，同批桩平测、斜测过程中仪器的相关参数不应随意改变；

2 测线间距不宜大于 100mm，且同一测面应存储 20 条以上的测线的波形；

3 平测时，发射与接收换能器应保持相同深度；

4 斜测时，发射与接收换能器应保持固定高差，且两个换能器中心点连线的倾角不应大于 30°；

5 换能器应作等距离同步移动，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；

6 连续提升换能器时应匀速、缓慢、平稳、无抖动，提升速度不宜超过 0.5m/s；

7 以两个声测管组成一个测面，分别对所有测面进行检测。

9.3.4 对可疑测线应进行复测。宜用加密的平测、斜测、扇形扫测及 CT 成像法确定缺陷的位置和范围，加密测线的间距不宜大于 50mm；当采用扇形扫测时，两换能器中心点连线倾角不应大于 40°。

## 9.4 检测结果

9.4.1 对现场采集的数据，应按下列公式计算声时、声速、波幅值，绘制声速—深度曲线，波幅—深度曲线等。

$$t_{ci} = t_i - t_0 - t' \quad (9.4.1-1)$$

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

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

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

$t_i$ ——第  $i$  测线的总声时 ( $\mu\text{s}$ )；

$t_0$ ——系统延时 ( $\mu\text{s}$ )；

$t'$ ——耦合层延时 ( $\mu\text{s}$ )；

$D_c$ ——两根声测管外壁间的净距 ( $\text{mm}$ )；

$v_i$ ——混凝土中第  $i$  测线的声速 ( $\text{km/s}$ )；

$A_i$ ——第  $i$  测线的声波波幅值 ( $\text{dB}$ )；

$a_i$ ——第  $i$  测线的声波波幅值 ( $\text{V}$ )；

$a_0$ ——声波  $0\text{dB}$  波幅值 ( $\text{V}$ )。

9.4.2 应按下列公式计算各测面声速、波幅或主频的平均值、标准差和变异系数：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (9.4.2-1)$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \cdot \bar{X}^2}{n-1}} \quad (9.4.2-2)$$

$$C_v = \frac{s_x}{\bar{X}} \quad (9.4.2-3)$$

式中  $\bar{X}$ ——各测面声速、波幅或主频的平均值；

$X_i$ ——第  $i$  测线的声速、波幅或主频值；

$n$ ——参加统计的测线数；

$s_x$ ——各测面声速、波幅或主频的标准差；

$C_v$ ——各测面声速、波幅或主频的变异系数。

9.4.3 当因声测管倾斜导致声速数据规律性变化时，应先对管距进行合理修正，然后再对数据进行统计分析。当实测数据明显偏离正常值而又无法合理修正时，不得用于评价桩身完整性。

9.4.4 应根据检测效果、现场情况和检测经验选择临界值法、斜率法等缺陷判据。

9.4.5 采用临界值法判据时，将同一个测面全部  $n$  条测线的声速、波幅或主频  $X_i$  由大到下按顺序排列，即  $X_1 \geq X_2 \geq \dots \geq X_m \geq X_{m+1} \dots \geq X_{n-1} \geq X_n$ ，按公式(9.4.2-1)和公式(9.4.2-2)计算出  $\bar{X}$  及  $s_x$  值，并按下式计算异常小值判断值：

$$X_a = \bar{X} - \lambda_1 s_x \quad (9.4.5-1)$$

式中  $X_a$ ——声速、波幅或主频异常小值判断值；

$\lambda_1$ ——样本中不同样本总数对应的系数，按附录 F 中的规定取值。

将异常小值判断值  $X_a$  与最小数据  $X_n$  相比较：

当  $X_a < X_n$  时， $X_a$  即为异常情况的判断值；

当  $X_a \geq X_n$  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  $X_a$  小于最终参加统计的数据中的最小值为止，此  $X_a$  即为最终的异常小值判断值。

测面声速、波幅或主频临界值按下列方法确定：

$$X_{cr} = \begin{cases} \bar{X}(1-0.015\lambda_1) & \text{当 } C_v < 0.015 \text{ 时} \\ X_a & \text{当 } 0.015 \leq C_v \leq 0.045 \text{ 时} \\ \bar{X}(1-0.045\lambda_1) & \text{当 } C_v > 0.045 \text{ 时} \end{cases} \quad (9.4.5-2)$$

式中  $X_{cr}$ ——测面声速、波幅或主频临界值

将各测线声速、波幅或主频和对应的临界值相比较：

$$v_i < v_{cr} \quad (9.4.5-3)$$

$$A_i < A_{cr} \quad (9.4.5-4)$$

当同时满足式(9.4.5-3)和式(9.4.5-4)时该测线可判定为缺陷测线，仅满足式(9.4.5-3)时该测线可判定为可疑的缺陷测线，式(9.4.5-4)为辅助判据，还应同时结合主频和接收波波形等因素，进行综合分析判定。

9.4.6 采用斜率法判据时，应按下列公式计算相邻两测线声时的斜率和声时差值的乘积：

$$k \cdot \Delta t = \frac{(t_{ci} - t_{ci-1})^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (9.4.6-1)$$

$$\Delta t = t_{ci} - t_{ci-1} \quad (9.4.6-2)$$

$$k = \frac{t_{ci} - t_{ci-1}}{z_i - z_{i-1}} \quad (9.4.6-3)$$

式中： $k$ ——相邻两测线声时的斜率（ $\mu\text{s}/\text{m}$ ）；

$\Delta t$ ——相邻两测线声时的差值（ $\mu\text{s}$ ）；

$t_{ci}$ ——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（ $\text{m}$ ）；

$z_{i-1}$ ——第  $i-1$  测线的深度（ $\text{m}$ ）。

根据  $k \cdot \Delta t$  值在某深度处的突变，结合其余声学参数及接收波波形等因素，进行综合分析判定。

9.4.7 采用主频值判定时，根据主频-深度曲线上主频值的明显降低，结合其余声学参数及接收波波形等因素，进行综合分析判定。

9.4.8 受检桩的桩身完整性类别应根据缺陷的位置和范围、桩型、场地工程地质情况、施工工艺、施工记录、检测经验按表 3.6.2 和表 9.4.8 规定综合判定。

**表 9.4.8 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 个侧面有缺陷	某深度有 3~4 个侧面有缺陷
IV	某深度有 3 个侧面有缺陷	某深度有 5~6 个侧面有缺陷

9.4.9 检测报告除应符合本标准第 3.6.6 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 声测管布置平面图；
- 2 声速、波幅的平均值、标准差或变异系数，各侧面声速-深度曲线、波幅-深度曲线、临界值线；
- 3 各侧面实测波列图或影像图；
- 4 对进行过管距修正的侧面，应注明修正的范围及方法；
- 5 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桩身缺陷及位置、混凝土强度、桩长、沉渣厚度，鉴定桩端岩土层性状、判定桩身完整性类别。受检桩长径比不宜大于 30。

10.1.2 钻芯孔数、钻孔位置应符合下列规定：

1 桩径小于 1.6m 钻不少于 1 孔，桩径为 1.6m~2.0m 钻不少于 2 孔，桩径大于 2.0m 钻不少于 3 孔；

2 当选择钻芯法对桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣、桩端持力层进行验证检测时，受检桩的钻芯孔数可为 1 孔；对桩身完整性进行验证检测时，受检桩的钻芯孔数不宜少于 2 孔；

3 钻芯开孔位置宜在距桩中心 0.15~0.25 倍桩径内，且应对称分布；受检桩的长径比大于 30 且仅钻一孔时，可在桩中心位置开孔；应准确记录钻芯孔在桩顶面的位置。

10.1.3 钻入持力层深度应符合下列规定：

1 抗压桩每桩至少应有 1 孔钻入持力层 3 倍桩径，且不应小于 5m；其余钻孔不应小于 1m。对详勘阶段揭露的溶（土）洞发育的场地、或场地内有软弱夹层的，各钻孔均应钻入持力层 3 倍桩径，且不小于 5m；当设计有特殊要求的按设计要求执行。

2 对桩基工程抗拔桩、承受水平荷载的桩、基坑边坡支护等工程的支护桩，每个钻芯孔钻入桩端岩土层深度不宜小于 0.5m；

3 对非岩溶发育场地施工前已进行过原桩位超前钻探，已确认桩端持力层满足设计要求的桩，每个钻芯孔可仅钻至桩底 0.5m；当需要对岩石芯样取样时，钻入深度应满足取样要求。

## 10.2 仪器设备

10.2.1 宜采用液压高速钻机，钻机及其配套装置的主要技术性能应符合以下规定：

1 可钻进深度不小于 100m，钻杆直径宜为 50mm，钻杆应顺直并配有扶正装置；

2 回转器额定最高转速不低于 790r/min；转速调节范围不少于 4 档；立轴最大给进力不小于 15kN；

3 卷扬机最大提升能力不小于 11kN；

4 水泵最大排量不小于 50L/min，最大许用压力不小于 1.0MPa；

5 油泵额定压力不小于 8MPa；

6 柴油机额定功率不小于 10.3 kW；电动机额定功率不小于 11 kW。

10.2.2 宜使用单动双管钻具，并配备相应的扩孔器、短节、卡簧、卡簧座和可捞取松散渣样的钻具。

10.2.3 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；钻头外径不宜小于 101mm，内径不宜小于 82mm。

10.2.4 锯切芯样试件用的锯切机应配备冷却系统和夹紧固定装置，配套使用的金刚石锯片应有足够刚度。

10.2.5 修补芯样试件端面的磨平机和补平器的性能指标应满足芯样试件加工精度的要求。

10.2.6 钻孔测斜仪的分辨力应优于 $\pm 0.1^\circ$ 。

10.2.7 重型或超重型圆锥动力触探、标准贯入试验使用的仪器、设备应符合国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 中的规定。

## 10.3 现场检测

10.3.1 钻机设备应安装稳固、底座保持水平，应保证钻机在钻进过程中不倾斜、

不移位，钻芯孔垂直度允许偏差不得大于 0.5%。

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

10.3.3 钻进时应合理选择钻压、转速、泵压和泵量等工艺参数，在不同条件下应确保各参数之间的匹配。每回次钻进开始时应轻压、慢转，待钻头已达孔底正常进尺后，方可按正常工艺参数钻进。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泵量和钻进速度。

10.3.4 钻进过程中应观测钻取的芯样直径的变化，观察芯样侧表面的光滑程度，当芯样侧表面呈明显波浪状时应调整或更换钻机、钻头等机具。

10.3.5 钻至桩底时，应采取减压、慢速钻进或干钻等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鉴定。可按附录 H 采用孔内成像法做辅助判定。

10.3.6 钻取的芯样应按回次顺序，自上而下、由左向右排放在芯样箱中。钻机操作人员应在芯样侧面上标明回次数、块号、本回次总块数、回次累计长度。及时记录钻进情况、钻进异常情况，对芯样质量、桩底沉渣和桩端持力层性状进行初步描述。检测人员应对混凝土芯样、桩底沉渣以及桩端持力层性状复核确认，还应对各断口吻合情况进行核实，检查是否存在桩身裂缝。

10.3.7 根据各回次混凝土芯样累加长度，扣除桩顶设计标高以上超灌长度，计算受检桩的有效桩长，允许误差宜为 $\pm 5\text{cm}$ 。

10.3.8 钻芯结束后，应将标有桩长、孔深的芯样和标有工程名称、桩号、孔号、混凝土芯样长度、岩土芯样长度、检测单位名称的标识牌拍摄在同一张照片中。当桩长超过 30m 时，应按总回次的 1/2 分两张照片拍摄。

10.3.9 对于未见异常的钻芯孔，应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，必要时可采用孔内成像法辅助判断混凝土质量。

10.3.10 芯样截取应符合下列规定：

1 当有效桩长小于或等于 30m 时，每孔截取芯样不应少于 3 组（每组 3 块），当有效桩长大于 30m 时，不应少于 4 组（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 倍桩径且不大于 2m，下部一组芯样位置距桩底不宜大于 1 倍桩径且不大于 2m，中间组芯样宜等间距截取；同组芯样宜在 0.5m 长度范围内截取；

3 在较多气孔、蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀部位应增加截取 1 组芯样，钻孔数量多于 1 孔时，尚应在对应深度的其他各孔分别增加截取 1 组芯样。

10.3.11 每组芯样应制作 3 个芯样试件，芯样试件的制作和测量应符合本标准附录 G 的规定。

10.3.12 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 2h，从水中取出后应立即进行抗压强度试验。

10.3.13 芯样试件的抗压强度试验应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定。

10.3.14 在混凝土芯样试件抗压强度试验中，当发现试件内混凝土粗骨料最大粒径大于 0.5 倍芯样试件平均直径，且强度值异常时，该试件的强度值不得参与统计平均。

10.3.15 混凝土芯样试件抗压强度应按下式计算：

$$f_{cu} = \frac{4P}{0.88\pi d^2} \quad (10.3.15)$$

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)。

10.3.16 当设计有明确要求且桩端持力层为中、微风化岩的岩芯可制作成试件时，可在接近桩底部位 1m 内截取制作岩石芯样试件；遇分层岩性时，宜在各层岩面取样。应妥善保管岩样，保持其天然含水状态。

10.3.17 岩石芯样试件的制作和测量应符合本标准附录 G 的规定。宜按高径比 2:1 制作，当无法截取、制作时，可采用高径比 1:1 的试件。桩端岩石芯样试件单轴抗压强度试验时的加载速度、标准值计算等宜按照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 或广东省标准《建筑地基基础设计规范》DBJ 15-

31 的规定执行。岩石芯样试件单轴抗压强度应按下式计算。

$$f_{cu} = \psi \frac{4P}{\pi d^2} \quad (10.3.17)$$

式中  $f_{cu}$ ——岩石芯样试件单轴抗压强度(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)；

$\psi$ ——岩石芯样试件高径比换算系数，2:1 时取 1，1:1 时取 0.85。

## 10.4 检测结果

10.4.1 基桩质量评价应接单桩进行，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分别作出是否满足设计要求或规范规定的评价。

10.4.2 应提供受检桩检测桩长和施工桩长间的偏差。

10.4.3 当同一受检桩的钻芯检测孔为两个或两个以上时，桩底沉渣厚度宜按加权平均的计算方法确定；加权平均法计算确定桩底沉渣厚度应符合下列规定：将各钻芯孔的桩底沉渣厚度从小到大依次按下式排序：

$$\delta_1 \leq \delta_2 \leq \dots \leq \delta_n \quad (10.4.3-1)$$

按下式计算桩底沉渣厚度加权平均值：

$$\delta = (\delta_1 + 2\delta_2 + \dots + n\delta_n) / (1 + 2 + \dots + n) \quad (10.4.3-2)$$

式中： $\delta$ ——受检桩的桩底沉渣厚度；

$\delta_i$ ——第  $i$  钻芯孔的桩底沉渣厚度；

$n$ ——同一受检桩的钻芯检测孔数。

桩底的沉渣厚度允许值应符合设计及现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 或相关标准的规定。

10.4.4 桩端持力层岩土性状应根据持力层岩土芯样特征，也可结合岩石芯样试件单轴抗压强度、标准贯入试验或圆锥动力触探结果综合鉴定。

10.4.5 受检桩桩身混凝土强度确定及评定应符合以下规定：

- 1 单个钻孔某深度的混凝土芯样抗压强度为其 1 组 3 块芯样试件强度的平均值；
- 2 受检桩某深度的混凝土强度为此深度处各钻孔混凝土芯样抗压强度的平均值；
- 3 受检桩混凝土抗压强度为不同深度的混凝土强度中的最小值；
- 4 当检桩混凝土抗压强度大于或等于设计强度等级时，可评定为满足设计要求；否则应评定为不满足设计要求。

10.4.6 受检桩桩身完整性类别应根据现场各钻孔混凝土芯样特征，按表 3.6.2 和表 10.4.6 规定综合判定。

**表 10.4.6 桩身完整性分类表**

类别	特 征
I	单孔时混凝土芯样连续、完整、胶结好、表面光滑、骨料分布均匀、呈长柱状、断口吻合，芯样侧面仅见少量气孔； 两孔或三孔时局部芯样侧表面有少量气孔、麻面、蜂窝、沟槽，但在同一深度部位的芯样中未同时出现
II	一孔、两孔或三孔的同一深度部位的芯样侧表面有较多气孔，严重的蜂窝麻面、连续的沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀； 有一孔局部混凝土芯样破碎段长度小于或等于 10cm，且另外两孔的同一深度部位的混凝土芯样连续、完整、胶结好、表面光滑、骨料分布均匀、呈长柱状、断口吻合，芯样侧面仅见少量气孔
III	介于 II、IV 类之间； 存在水平裂缝
IV	有一孔（或二孔、三孔）因混凝土胶结质量差而难以钻进； 芯样任一段松散、夹泥； 芯样局部破碎段长度大于 10cm，且另外两孔的同一深度部位的混凝土芯样有严重的蜂窝麻面、连续的沟槽、破碎等缺陷
注：1 当上一缺陷的底部标高与下一缺陷的顶部标高的高差小于 30cm 时，可认为两缺陷处于同一深度位置。 2 有一孔局部混凝土芯样破碎时，桩径 1.6m~2.0m 的受检桩宜加钻 1 孔、桩径小于 1.6m 的宜加钻 2 孔至对应深度以下 1.0m~2.0m；应对全部三孔综合评定。	

10.4.7 钻芯孔偏出桩身时，仅对钻取芯样部分的桩身进行评价。

10.4.8 检测报告除应符合本标准第 3.6.6 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 钻芯设备名称、型号；
- 2 检测桩数、钻孔数量、混凝土进尺、桩端岩土层进尺、总进尺、混凝土芯样试件组数、岩石芯样试件个数；

- 3 混凝土芯样试件抗压强度试验结果；
- 4 圆锥动力触探、标准贯入试验等结果及岩石性状描述；
- 5 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；
- 6 异常情况说明。

## 11 界面钻芯法

### 11.1 一般规定

11.1.1 本方法适用于检测灌注桩桩端部分的混凝土性状、桩长、沉渣厚度、鉴定桩端岩土层性状。受检桩桩径不宜小于 800mm。

11.1.2 钻入持力层深度应符合本标准第 10.1.3 条的规定。

### 11.2 仪器设备

11.2.1 钻机及其配套装置的主要技术性能应符合本标准第 10.2.1 条的规定。

11.2.2 钻具、钻头的选用应符合本标准第 10.2.2 条、第 10.2.3 条的规定，当因界面管弯曲致钻头不能下放至管底时，可采用更小直径钻具、钻头。

### 11.3 现场检测

11.3.1 应在基桩施工过程的钢筋笼安装阶段同步安装界面管。界面管材质、制作安装应符合下列规定：

1 界面管应采用钢质管材，具有一定的强度和刚度，内径不宜小于 130mm，壁厚不宜小于 4mm；

2 制作钢筋笼时，宜将界面管绑扎在钢筋笼内侧，管底设置在钢筋笼底端以上 1m 左右、宜焊接定位钢筋，应采用焊接等可靠措施保证下放钢筋笼及灌注混凝土时管端不会下沉到岩土表面上。管顶宜与钢筋笼平齐。

3 每节钢管接长连接宜采用套管焊接、卡箍（带密封胶圈）连接或其他可靠方式连接；管底预先采用堵头或钢板焊封，上、下管应保持顺直，连接处不得渗浆；

4 吊放钢筋笼时，应防止界面管从定位钢筋处松动或脱落；

5 为防止钢筋笼上浮，吊放钢筋笼时，宜往界面钻芯管内注满清水。吊装完成后，管口应加盖堵头或用钢板焊封。

11.3.2 检测工作应符合下列规定：

1 钻机设备应安装稳固、底座保持水平；

2 钻进前空孔段钻杆可顺沿界面管快速下放。钻头到达界面管底，宜轻压、慢转、加大泵量，待钻穿封底钢板进入混凝土层后，可采用正常参数钻进。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泵量和钻进速度；

3 钻至桩底时，应采取减压、慢速钻进或干钻等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鉴定。可按附录 H 采用孔内成像法做辅助判定。

11.3.3 钻取的芯样应按顺序，自上而下、由左向右排放在芯样箱中。钻机操作人员应记录接入钻杆数量及长度，标明空孔段的长度；在芯样侧面上标明混凝土块数和累计长度，标明桩长。及时记录钻进情况，特别是钻进异常情况，并对芯样质量、桩底沉渣和桩端持力层性状进行初步描述。检测人员应对混凝土芯样，桩底沉渣以及桩端持力层性状复核确认，还应对各断口吻合情况进行核实。

11.3.4 可根据空孔段深度、界面管底混凝土芯样长度、桩顶设计标高以上超灌长度，计算受检桩的桩长，允许误差宜为 $\pm 5\text{cm}$ 。

11.3.5 钻芯结束后，应将标有桩长、空孔深度的芯样和标有工程名称、桩号、混凝土芯样长度、岩土芯样长度、检测单位名称的标识牌拍摄在同一张照片中。

11.3.6 界面管（孔）的回灌及处理可按本标准第 10.3.9 条的规定执行。

11.3.7 当设计有明确要求且持力层可截取岩石芯样时，应按照本标准第 10.3.16 条和第 10.3.17 条的规定取样、制作芯样试件及进行单轴抗压强度试验。

## 11.4 检测结果

11.4.1 应对每一根受检桩的界面管底到桩底部分的混凝土性状、桩长、桩底沉渣厚度和桩端持力层岩土性状分别作出是否满足设计要求或规范规定的评价。

11.4.2 应提供受检桩检测桩长和施工桩长间的偏差。

11.4.3 检测报告除应符合本标准第 3.6.6 条的规定外，还应包含以下内容：

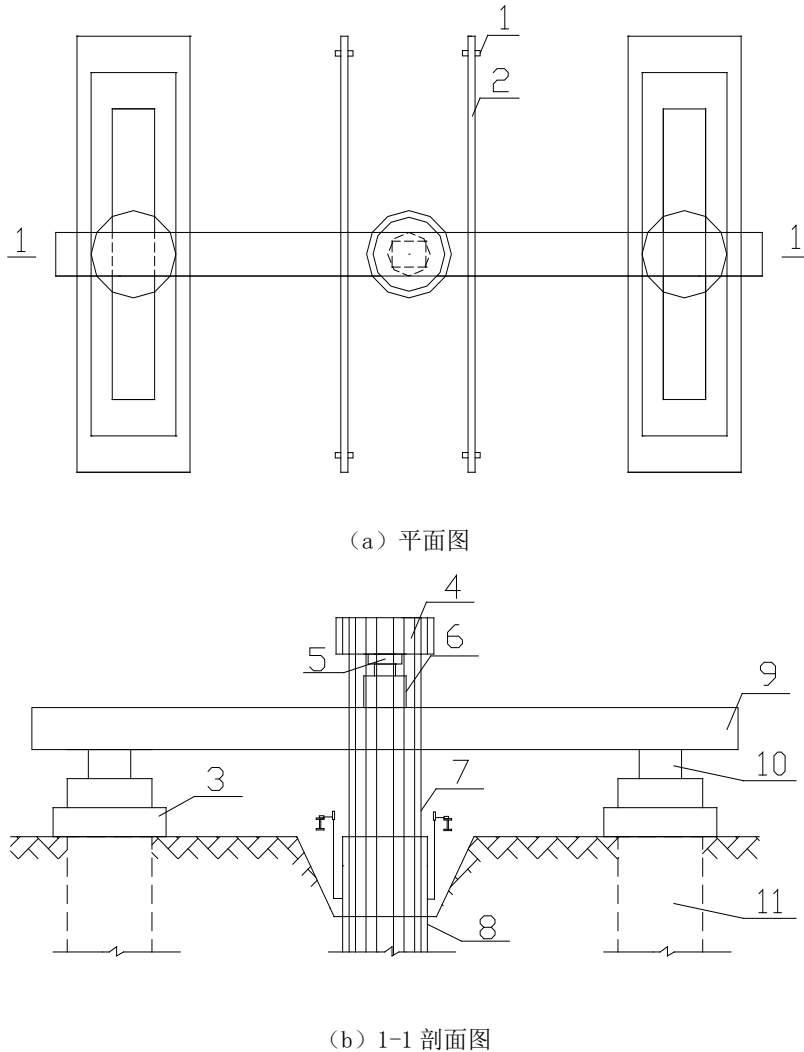
- 1 钻芯设备名称、型号；
- 2 检测桩数、钻孔数量、桩端持力层进尺；
- 3 圆锥动力触探、标准贯入试验等结果及岩石性状描述；
- 4 每根受检桩界面管管底以下钻孔的芯样柱状图、管顶在桩顶面的位置示意图和芯样照片；
- 5 异常情况说明。

## 附录 A 混凝土桩桩头处理要点

- A.0.1 应先凿除混凝土灌注桩桩顶浮浆，露出密实混凝土及足够长度的纵筋。
- A.0.2 调直各纵筋，并保持纵筋顶标高一致。桩顶应设置 2~3 层钢筋网片，网片间距宜为 50 mm ~100mm。
- A.0.3 桩帽混凝土强度宜高于桩身混凝土 1~2 个等级、且不得低于 C30。支模应形状规则、对称，桩帽截面中心应和原桩头重合。
- A.0.4 可在距桩顶 1.5 倍桩径范围内，加设 3mm~5mm 厚的钢套箍或箍筋，箍筋间距不宜大于 150mm。
- A.0.5 高应变法检测时，桩头测点处截面尺寸应与原桩身截面尺寸相同。

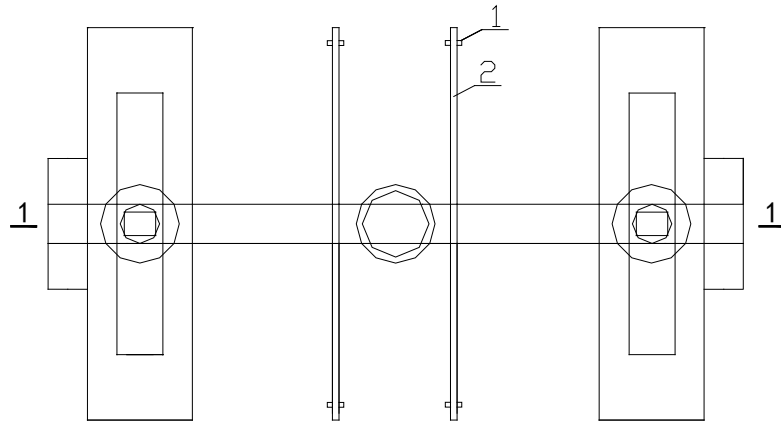
## 附录 B 抗拔试验反力系统连接装置

B.0.1 灌注桩抗拔试验时加载反力装置可参照图 B.0.1-1 或图 B.0.1-2 安装。连接构件和受检桩纵筋宜采用机械连接或焊接连接，并确保受检桩纵筋能均匀受力。加载反力装置的受力构件应满足承载力和变形的要求，其提供的反力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍。当使用锚具连接时，应有可靠遮挡措施阻拦突然失效的锚具或拉断的钢筋飞出。

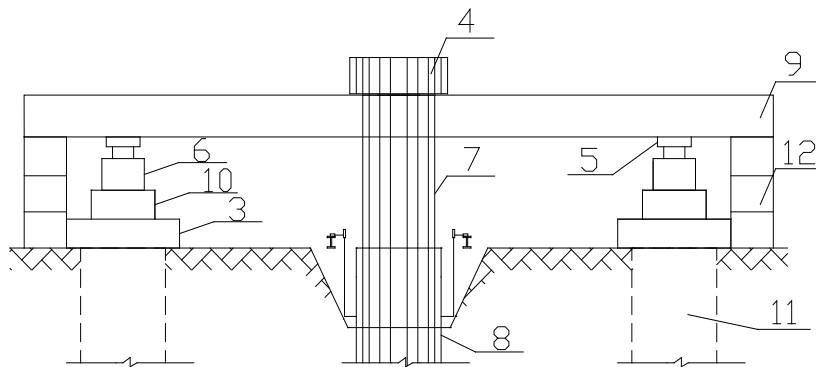


1—基准桩；2—基准梁；3—反力支墩；4—连接钢盘（反力钢盘）；5—钢垫板；  
6—千斤顶；7—连接钢筋；8—受检桩；9—主梁；10—支撑梁；11—反力桩

图 B.0.1-1 抗拔加载反力装置安装示意图（中间顶升）



(a) 平面图



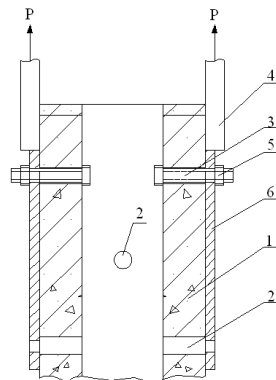
(b) 1-1 剖面图

1—基准桩；2—基准梁；3—反力支墩；4—连接钢盘（反力钢盘）；5—钢垫板；  
6—千斤顶；7—连接钢筋；8—受检桩；9—主梁；10—支撑梁；11—反力桩；12—主梁支墩

图 B.0.1-2 抗拔加载反力装置安装示意图（两边顶升）

B.0.2 混凝土管桩宜采用填芯法将受检桩和反力装置连接。填芯混凝土深度、连接钢筋或连接构件的强度应根据最大试验荷载计算。

B.0.3 混凝土管桩也可采用机械连接法（图 B.0.3）将受检桩和反力装置连接。



1—桩身；2—销孔（未插销）；3—钢销（或螺栓）；4—拉杆；5—螺母；6—柱面钢板

图 B.0.3 混凝土管桩机械连接法示意图

## 附录 C 高应变法传感器的安装要点

C.0.1 检测时应安装应变传感器和加速度传感器，且均不得少于2个（图 C.0.1）。

C.0.2 传感器应分别对称安装在距桩顶  $2d$  ( $2b$ ) 的桩侧表面处（ $d$  为受检桩的直径， $b$  为边宽）；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  $1d$  ( $1b$ )。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。

C.0.3 应变传感器与加速度传感器的中心应位于同一水平线上，同侧的应变传感器和加速度传感器间的水平距离不宜大于 80mm。

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

C.0.5 采用螺栓将传感器安装在预定位置，安装螺栓的钻孔应与桩侧表面垂直，安装完毕后传感器应紧贴桩身表面，传感器的中心轴应与桩中心轴保持平行。测试过程中传感器不得产生滑动。

C.0.6 安装应变传感器时要对其初始应变值进行监测。应变传感器的初始应变值不得超过所用检测仪器的规定值。安装完毕后传感器可测轴向应变余量，混凝土桩不得小于  $1000\mu\epsilon$ ，钢桩不得小于  $1500\mu\epsilon$ 。

C.0.7 当采用在自由落锤上安装加速度传感器实测锤击力的方式时，在自由落锤锤体  $0.5H_r$  处（ $H_r$  为锤体高度）对称安装加速度传感器；在桩顶下的桩侧表面对称安装加速度传感器，加速度传感器距桩顶的距离不得小于  $0.4H_r$  和  $1d$  ( $1b$ ) 两者中的高值。

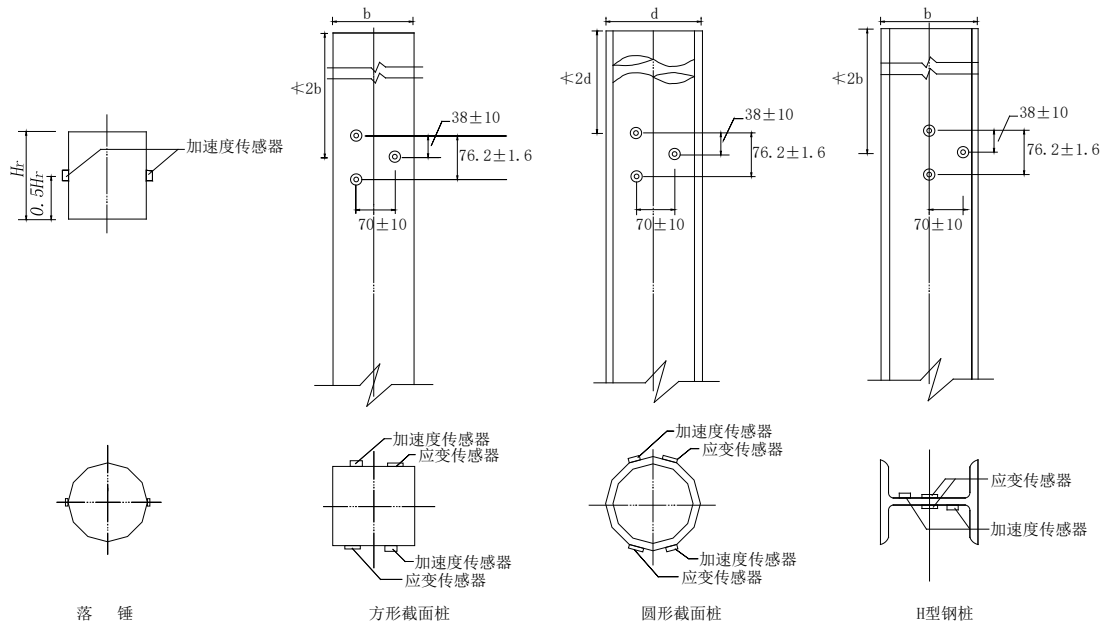


图 C.0.1 传感器安装 (单位: mm)

## 附录 D 试打桩与打桩监控

### D.1 试打桩

D.1.1 为选择工程桩的型号、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。

D.1.2 选择桩端持力层时，应综合试打桩的打桩阻力与贯入度关系结合场地岩土工程勘察报告分析确定。

D.1.3 采用试打桩判定单桩承载力时，应符合下列规定：

- 1 应通过试打桩复打试验确定桩的承载力恢复系数；
- 2 复打至初打的休止时间应符合本标准第 3.3.4 条的规定；
- 3 试打桩数量不应少于 3 根。

### D.2 桩身锤击应力监测

D.2.1 桩身锤击应力监测应符合下列规定：

- 1 被监测桩的型号、规格、材质应与工程桩拟采用的相同，施打机械的锤型、落距和垫层材料及状况应与预定的工程桩施工时的相同；
- 2 应监测桩身锤击拉应力和锤击压应力。

D.2.2 为测得桩身锤击应力最大值，监测宜符合下列规定：

- 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弱夹层时测试；
- 2 桩身锤击压应力宜在桩端进入硬土层或桩侧土阻力较大时测试。

D.2.3 传感器安装点以下某深度的桩身锤击拉应力应按下式计算：

$$\sigma_t = \frac{1}{2A} \left[ F \left( t_1 + \frac{2L}{c} \right) - Z \cdot V \left( t_1 + \frac{2L}{c} \right) + F \left( t_1 + \frac{2L-2x}{c} \right) + Z \cdot V \left( t_1 + \frac{2L-2x}{c} \right) \right] \quad (\text{D.2.3})$$

式中  $\sigma_t$ ——深度  $x$  处的桩身锤击拉应力 (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>)。

D.2.4 最大桩身锤击压应力可按下式计算：

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{A} \quad (\text{D.2.4})$$

式中  $\sigma_p$ ——最大桩身锤击压应力(kPa)；

$F_{\max}$ ——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坚硬土层对桩身锤击压应力的放大作用。

D.2.5 桩身最大锤击应力控制值应符合现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的有关规定。

### D.3 锤击能量监测

D.3.1 桩锤实际传递给桩的能量应按下式计算：

$$E_n = \int_0^{t_e} F \cdot V \cdot dt \quad (\text{D.3.1})$$

式中  $E_n$ ——桩锤实际传递给桩的能量 (kJ)；

$t_e$ ——采样结束的时刻 (s)。

D.3.2 桩锤最大动能宜通过测定锤芯最大运动速度确定。

D.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 E 声测管制安要点

E.0.1 声测管应采用钢质管材，外径宜为 50mm，壁厚不应小于 1.5mm（桩长大于 50m 的不应 1.8mm）。管身不得有裂缝、破损、弯曲或压扁等缺陷，内壁应光滑无结疤、毛刺。

E.0.2 声测管应具有足够的刚度。制安及灌注混凝土过程中不得弯折、变形。

E.0.3 声测管应沿钢筋笼内圆周对称分布，当桩径  $d \leq 800\text{mm}$  时，安装 2 根声测管；当  $800\text{mm} < d \leq 2000\text{mm}$  时，应安装 3 根声测管；当桩径  $d > 2000\text{mm}$  时应安装 4 根声测管。应自正北方向开始，按顺时针方向对声测管从“1”开始编号（图 E.0.3）。

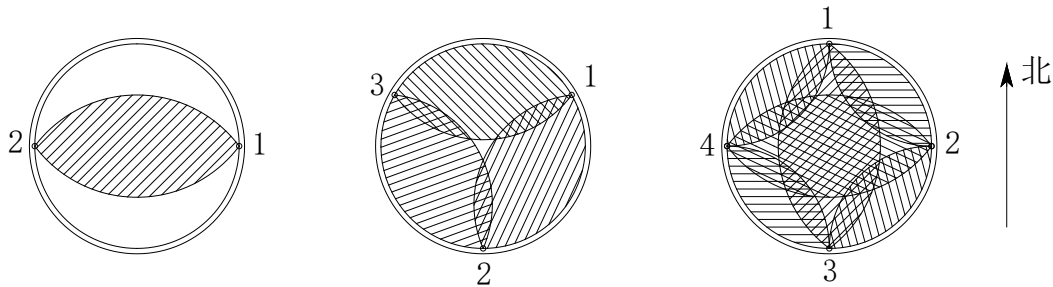


图 E.0.3 声测管布置图

E.0.4 对超大直径桩或非圆形截面桩应专门设计声测管布置、安装方式。

E.0.5 声测管底部应预先封闭，宜用堵头封闭或用钢板焊封。

E.0.6 每节钢管间应采用螺纹外套管或钳压式接头等方式连接，应保证连接处不渗浆。

E.0.7 可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，声测管应与桩身中轴线平行。

E.0.8 在桩身未配筋部位，应采取有效措施（比如延长部分纵筋）将声测管顺直安放至桩底（或延伸到地面）。

E.0.9 声测管底距离桩底不宜大于 50mm，管顶宜和钢筋笼平齐。上部应加盖或用堵头封闭，避免异物入内。

E.0.10 安装声测管、灌注混凝土时，应保护声测管不受损坏、不渗入浆液。

E.0.11 混凝土灌注完毕后及时检查管内是否有渗漏、堵管情况。如发生堵塞应及时疏通，可采用加重的探杆冲击并辅以高压水冲洗等方法。

## 附录 F 超声法中不同样本总数对应的系数

F.0.1 样本中不同样本总数对应的系数  $\lambda_1$  应根据表 F.0.1 中的规定取值。

**表 F.0.1 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

## 附录 G 芯样试件制作和测量

G.0.1 混凝土芯样试件的高径比应为 1:1；岩石芯样试件高径比应为 2:1，高度不足时方可按 1:1 制作。

G.0.2 锯割芯样应采用锯切机。锯切时应将芯样固定，锯切平面垂直于芯样轴线。锯切过程中应淋水冷却金刚石锯片。

G.0.3 当锯切后的芯样试件垂直度或端部平整度不能满足要求时，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）、硫磺胶泥（或硫磺）等材料在专用补平器上补平，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，补平层应与芯样试件牢固结合，单轴抗压强度试验时补平层与芯样试件的结合面不得提前破坏。

G.0.4 应对芯样试件的几何尺寸做如下测量：

1 平均直径：在试件表观直径偏小部位的两个相互垂直方向，用游标卡尺测量芯样的直径，取两次测量的算术平均值，精确至 0.5mm；

2 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：将钢板尺或角尺紧靠在芯样试件端面上，一面转动钢板尺，一面用塞尺测量与芯样试件端面之间的缝隙。

G.0.5 芯样试件出现下列情况时，不得用作抗压强度试验：

1 混凝土芯样试件内含有钢筋；

2 1:1 的混凝土或岩石芯样试件高度小于  $0.95d$  或大于  $1.05d$ （ $d$  为芯样试件平均直径）；

3 2:1 的岩石芯样试件高度小于  $1.95d$  或大于  $2.05d$ （ $d$  为芯样试件平均直径）；

4 沿试件高度方向任一直径与平均直径相差达 2mm 以上；

5 试件端面的不平整度在 80mm 长度内超过 0.1mm；

6 试件端面与轴线的不垂直度超过  $2^\circ$  ；

7 表观混凝土粗骨料最大粒径大于芯样试件平均直径 0.5 倍。

## 附录 H 孔内成像法

### H.1 一般规定

H.1.1 本方法适用于对灌注桩钻芯法检测结果的验证，可确定沉渣厚度、判别桩身缺陷位置及缺陷程度、鉴别桩端岩土层性状、测定桩长；也适用于检测混凝土管桩的桩身完整性，可判别桩身缺陷的位置、范围和程度。

### H.2 仪器设备

H.2.1 检测仪器应具备全孔壁成像及影像、深度的实时记录功能，可显示具有深度及方位角信息的平面展开图。

H.2.2 成像系统的性能指标应符合下列规定：

1 分辨率不应低于两百万像素；最大可测孔径时，孔壁的轴向、环向成像光学分辨率不低于 100pix/cm；

2 具有照度调节功能，最大可测孔径时，孔壁照度不宜低于 150lx；

3 应具备方位角识别记录功能；

4 应满足 1MPa 水压下能正常工作。

H.2.3 探头应配置居中器和电子罗盘，电子罗盘方位精度不应低于 1°。

H.2.4 应配置深度控制装置，控制精度不应低于 1mm，图像和视频标识深度与实际深度的偏差值不应大于总测试深度的 0.5%。

H.2.5 进行定量检测前，应对仪器所成图像的平面尺寸进行校准，宜对缺陷角度进行校准。校准宜在标记有已知宽度和间距的环状模拟缺陷的校准筒中进行。

H.2.6 图像分析软件应具备图像分析、描述、编辑、转换及打印输出等功能。

### H.3 现场检测

H.3.1 检测前宜对检测深度范围的孔壁进行清理。可先选用压力为 0.5MPa~2.0MPa 高压水清洗；当孔壁清洁度达不到要求时，宜采用机械清除法进行清理，应使用适宜硬度的接触物及合适的力度，不得损坏孔壁原表面；机械清理后宜

再次进行高压水清洗，清理产生的浊水宜采用清水置换出孔外。对桩底岩土界面宜使用清水置换法清理沉积物。

H.3.2 检测前根据孔径的大小选择适宜的探头。

H.3.3 检测工作应符合下列规定：

- 1 三角支架应稳固放置于孔口上方，调节支架使探头位于钻孔中心位置；
- 2 摄像头光源亮度应根据孔内环境合理确定，且在同一孔检测过程中宜保持不变；
- 3 摄像头宜平稳、不旋转、匀速移动，移动速度不应超过仪器使用说明书规定的最大移动速度；
- 4 应自上而下或自下而上单方向全面、清晰的记录孔内的图像；在疑似缺陷位置，可在全面检测后慢速（或静态）重点检测。

## H.4 检测结果

H.4.1 当需对缺陷进行定量分析时，应按照下列方法对现场采集的数据进行处理：

- 1 将图像展开为二维平面图像，环向转换为平面图形水平方向，轴向转换为平面图形的竖直方向；
- 2 缺陷环向占等于环向缺陷的长度除以钻孔周长；
- 3 将展开图水平向划分为 20 个等分格，对图像每个格中间缺陷竖向高度累加求和，再除以包含缺陷的格子数，即为轴向缺陷平均高度。

H.4.2 灌注桩桩身缺陷、桩底沉渣厚度、桩端持力层岩土性状可根据图像和视频信息结合钻芯法检测情况综合判定。

H.4.3 预制管桩桩身缺陷位置、范围和程度及其完整性类别可根据图像和视频信息结合低应变法检测情况综合判定。

## 附录 J 桩嵌岩深度声波反射法检测要点

J.0.1 本方法适用于检测混凝土灌注桩的嵌岩深度。

J.0.2 声波反射法检测仪器应符合下列规定：

- 1 具有信号自动采集、存储、测量、分析等功能；
- 2 接收放大系统的带宽范围宜为 10kHz~200kHz，接收系统灵敏度宜高于 50 $\mu$ V，具有增益调节功能，总增益不宜低于 80dB；
- 3 宜采用直流供电；
- 4 数据分析处理软件应具有滤波、相关分析、反褶积、模态分解等功能。

J.0.3 换能器应符合下列规定：

- 1 采用柱状径向振动、一发一收（或自发收）换能器；
- 2 宜内装有前置放大器；
- 3 谐振频率宜为 20kHz~60kHz；
- 4 水密性满足在 1MPa 水压下不渗水。

J.0.4 作为检测通道的桩身钻芯孔进入桩底岩土层的深度不宜小于 3m。

J.0.5 测试前，应首先测试受检桩桩身混凝土芯样、桩端持力层岩石芯样的声速  $v_c$ 、 $v_r$ 。

J.0.6 现场测试前宜对钻芯孔内的沉积物进行清洗、置换。

J.0.7 测量并记录桩顶面上钻孔在所处直径上的位置  $R_1$ 、 $R_2$ 。

J.0.8 宜从钻芯孔孔底向上测试，测试终止位置宜在桩顶或高出嵌岩面不小于 5 米。应准确记录测试起始深度和终止深度。

J.0.9 测点间距不宜大于 100mm，并储存全部波形。提升过程中应确保换能器的稳定性，提升速度不宜超过 0.1m/s；在岩土分层位置宜静态测试。

J.0.10 应采用数据分析处理软件消除现场采集信号的干扰成分，宜输出反射波调辉图。

J.0.11 根据接收信号，采用以下方法综合判定基桩嵌岩深度：

- 1 桩岩界面反射波相位判别法

根据波列图，进行反射波同相轴追踪，结合反射波波幅等反射波特征，判定基桩嵌岩位置。

## 2 能量反射系数法

根据归一化反射能量系数曲线变化特征，判定基桩嵌岩深度。

J.0.12 对信号特征不明显、初步判断嵌岩深度在临界深度附近的，宜通过桩侧钻探校核。

J.0.13 检测报告除应符合本标准第 3.6.6 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 受检混凝土桩的检测孔位置图；
- 2 受检桩反射波波列图、特征反射波调辉图、混凝土桩与岩（土）界面反射能量系数曲线图。

## 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

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用词，采用“可”。

2 条文中指明按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 2 《岩土工程勘察规范》 GB 50021
- 3 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202
- 4 《工程岩体试验方法标准》 GB/T 50266
- 5 《混凝土物理力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 6 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 7 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 8 《高层建筑岩土工程勘察标准》 JGJ 72
- 9 《基桩动测仪》 JG/T 518
- 10 《预应力混凝土管桩技术标准》 JGJ/T 406
- 11 《建筑地基基础设计规范》 DBJ 15-31
- 12 《建筑地基基础检测规范》 DBJ/T 15-60
- 13 《地基基础勘察设计规范》 SJG 01
- 14 《大直径灌注桩静载试验标准》 SJG 87