

深圳市技术规范



SJG 09-2015

# 深圳市建筑基桩检测规程

Testing specification of building foundation piles  
in Shenzhen city

2015-03-25 发布

2015-03-25 实施

深圳市住房和城乡建设局 发布

# 深圳市技术规范

## 深圳市建筑基桩检测规程

Testing specification of building foundation piles  
in Shenzhen city

**SJG 09—2015**

主编单位：深圳市建设工程质量检测中心

批准部门：深圳市住房和建设局

施行日期：2015年3月25日

中国建筑工业出版社

深圳市技术规范  
深圳市建筑基桩检测规程

Testing specification of building foundation piles  
in Shenzhen city  
SJG 09 — 2015

\*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）  
各地新华书店、建筑书店经销  
北京红光制版公司制版  
北京同文印刷有限责任公司印刷

\*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：4 $\frac{1}{2}$  字数：122 千字  
2015 年 3 月第一版 2015 年 3 月第一次印刷  
定价：20.00 元

统一书号：15112·26406

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

# 深圳市住房和建设局关于印发 《深圳市建筑基桩检测规程》的通知

深建规〔2015〕3号

各有关单位：

为规范基桩检测方法和标准，保证基桩检测质量，根据《深圳市建设工程质量管理条例》以及相关法律、法规和技术标准的规定，结合我市实际，我局组织修订了《深圳市建筑基桩检测规程》，编号为 SJG 09—2015，自公布之日起施行，有效期 5 年，原《建筑基桩检测规程》SJG 09—2007 同时废止。现予以印发，请遵照执行。

深圳市住房和建设局

2015 年 3 月 25 日

# 前 言

根据深圳市住房和建设局《关于印发 2012 年深圳市工程建设标准规范制定修订计划的通知》（深建节能 [2012] 66 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，由深圳市建设工程质量检测中心会同有关质检、勘察、设计、科研等 11 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《建筑基桩检测规程》SJG 09—2007 进行了修订。

修订后的规程共分 10 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。

规程主要修订的技术内容如下：

1 基本规定中，对混凝土预制桩和灌注桩两大类，分别修订了抽样检测使用的方法和数量，明确了不同情形下最少的检测数量；增加了长桩界面钻芯的要求；强化了验证和扩大抽检的原则，结合工程质量问题的处理，明确了各责任主体在各环节的职责和工作程序；

2 单桩竖向抗压静载法中，对试验桩的试验给出了指引；增加了荷载—沉降曲线呈缓变型时的终止试验条件、细化了承载力检测值的判定标准；增加了确定单桩竖向抗压承载力特征值的规定；

3 单桩竖向抗拔静载法中，增加了对抗拔预制管桩桩顶连接可靠性的验证要求；增加了确定单桩竖向抗拔承载力特征值的规定；

4 单桩水平静载法中，增加了确定单桩水平承载力特征值的规定；

5 高应变法中，增加了上浮后的受检桩信号选取要求；

6 低应变法中，增加了频域分析计算方法；

7 超声法中，明确了对声测管倾斜时数据修正的原则；细化了侧面声学参数临界值的计算公式；

8 钻芯法中，细化了钻机主要技术性能的要求；明确了对测斜仪和原位试验设备的要求；修订了钻入持力层深度的规定；明确要求判断桩身裂缝；修改了混凝土芯样试件抗压强度试验的要求，增加了混凝土芯样试件抗压强度换算系数；增加了岩石芯样试件单轴抗压强度试验的要求和岩石芯样试件高径比换算系数；细化了桩身完整性分类表；

9 增加了附录 G《界面钻芯管制安要点》。

主 编 单 位：深圳市建设工程质量检测中心  
(地址：深圳市福田区振兴路 1 号；  
邮政编码：518031)

参 编 单 位：深圳市建设工程质量监督总站  
深圳市勘察研究院有限公司  
深圳冶建院建筑技术有限公司  
中国铁道科学研究院深圳研究设计院  
深圳市建筑科学研究院股份有限公司  
深圳市福田建设工程质量检测中心  
深圳市南山区建设工程质量监督检验站  
深圳市盐田区工程质量监督站  
深圳市宝安区工程质量监督检验站  
深圳市罗湖区建设工程质量检测中心  
深圳市光明新区建设工程质量安全监督站

主 要 起 草 人：刘南渊 杨 立 张道修 黄圭峰  
谢卫兵 肖 兵 王耀禧 蔡巧灵  
张臣琪 孟照辉 程庆阳 范少峰

袁广州 陈泽广 刘 学 江辉煌  
裴晓文 华洪勋 王琦玮 钟咏琴  
黄建辉

审查专家委员会成员：陈 凡 徐天平 钟冬波 谭学明  
李 瑜 刘小敏 金亚兵

# 目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
3.1	检测目的	6
3.2	检测机构、人员、仪器设备	6
3.3	检测前的准备	6
3.4	检测项目、方法和抽检数量	7
3.5	验证检测与扩大抽检	10
3.6	检测结果与报告	11
4	单桩竖向抗压静载法	13
4.1	一般规定	13
4.2	仪器设备	13
4.3	检测工作	15
4.4	检测结果	16
5	单桩竖向抗拔静载法	19
5.1	一般规定	19
5.2	仪器设备	19
5.3	检测工作	20
5.4	检测结果	20
6	单桩水平静载法	22
6.1	一般规定	22
6.2	仪器设备	22
6.3	检测工作	23
6.4	检测结果	23

7	高应变法	26
7.1	一般规定	26
7.2	仪器设备	26
7.3	检测工作	26
7.4	检测结果	29
8	低应变法	34
8.1	一般规定	34
8.2	仪器设备	34
8.3	检测工作	34
8.4	检测结果	36
9	超声法	39
9.1	一般规定	39
9.2	仪器设备	39
9.3	检测工作	40
9.4	检测结果	41
10	钻芯法	45
10.1	一般规定	45
10.2	仪器设备	46
10.3	检测工作	47
10.4	检测结果	49
	附录 A 混凝土桩桩头处理要点	52
	附录 B 高应变法传感器的安装要点	53
	附录 C 试打桩与打桩监控	55
	附录 D 声测管制安要点	57
	附录 E 超声法中不同样本总数对应的系数	59
	附录 F 芯样试件制作和测量	60
	附录 G 界面钻芯管制安要点	62
	本规程用词说明	63
	引用标准名录	64
	附：条文说明	65

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	3
3	Basic Requirements .....	6
3.1	Test purpose .....	6
3.2	Laboratory, tester and equipments .....	6
3.3	Preparation for test .....	6
3.4	Test items, selection of test method and sampling number .....	7
3.5	Verification and expanded test .....	10
3.6	Test results and test reports .....	11
4	Vertical Compressive Static Load Test on Single Pile .....	13
4.1	General requirements .....	13
4.2	Equipments .....	13
4.3	Field test .....	15
4.4	Test results .....	16
5	Vertical Uplift Static Load Test on Single Pile .....	19
5.1	General requirements .....	19
5.2	Equipments .....	19
5.3	Field test .....	20
5.4	Test results .....	20
6	Lateral Static Load Test on Single Pile .....	22
6.1	General requirements .....	22
6.2	Equipments .....	22
6.3	Field test .....	23

6.4	Test results	23
7	High-strain Dynamic Test	26
7.1	General requirements	26
7.2	Equipments	26
7.3	Field test	26
7.4	Test results	29
8	Low-strain Integrity Test	34
8.1	General requirements	34
8.2	Equipments	34
8.3	Field test	34
8.4	Test results	36
9	Ultrasonic Cross-hole Test	39
9.1	General requirements	39
9.2	Equipments	39
9.3	Field test	40
9.4	Test results	41
10	Core Drilling Method	45
10.1	General requirements	45
10.2	Equipments	46
10.3	Field test	47
10.4	Test results	49
Appendix A	Treatment of head of concrete pile	52
Appendix B	Installation of sensors for high-strain dynamic test	53
Appendix C	Trial driven pile and monitoring in driving	55
Appendix D	Installation of preformed access tube	57
Appendix E	The correlation coefficient table of the sample number for Ultrasonic Cross-hole Test	59

Appendix F Processing and measurement of core specimens .....	60
Appendix G Installation of interface coring tube .....	62
Explanation of wording in this specification .....	63
List of quoted standards .....	64
Addition; Explanation of provisions .....	65

# 1 总 则

**1.0.1** 为在基桩检测工作中，确保基桩检测质量，规范基桩检测方法和标准，做到安全适用、技术先进、数据准确、正确评价，为设计和施工验收提供依据，制订本规程。

**1.0.2** 本规程适用于深圳市建筑工程、市政工程和城市轨道交通工程的基桩检测。

**1.0.3** 基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** 基桩检测除应符合本规程规定外，尚应符合国家、省、市的现行有关技术标准、规范的规定。

## 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）、空洞、蜂窝、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

承载力现场试验的实测数据通过分析或综合分析所确定或判定的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

分析超声波在桩身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 interface coring

通过预先安装在钢筋笼内侧、管底在桩底标高以上 1m 的钢管通道，将钻具下放至管底后实施的钻芯法检测。

## 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；

$f_{cu}$ ——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；

$m$ ——地基土水平抗力系数的比例系数；

$R_c$ ——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。

### 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；

$Q$ ——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；  
 $b$ ——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、锚杆的设计直径或边宽；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；  
 $x$ ——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。

### 2.2.4 计算系数

$J_c$ ——凯司法阻尼系数；  
 $\alpha$ ——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；  
 $\nu_y$ ——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；  
 $t_0$  —— 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 对桩基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，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 从事桩基检测的机构和人员，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 用于桩基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 用于桩基检测工作的仪器设备应具有抗干扰的防护措施，宜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，其内容应包括：工程概况、工程地质条件、设计要求、施工工艺、检测目的、依据的标准及其检测方法、检测数量、所用仪器设备、检测人员、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 施工质量有怀疑的桩；

- 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不同施工单位施工的桩；
- 5 承载力检测时，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 钻芯检测时，应选取桩端持力层起伏变化较大区域、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 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指标时，可在满足受检桩的混凝土强度不应低于设计强度的 70%且不低于 20MPa 的条件下提前；

3 当对预制桩采用高应变法或静载法检测单桩承载力时，受检桩从成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；

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。当基础埋置较深时，桩身完整性检测宜在基坑开挖至基坑底标高后进行。

## 3.4 检测项目、方法和抽检数量

3.4.1 各类工程桩验收检测应进行桩身完整性和单桩承载力抽样检测。

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； 配合桩身内力测试，测定桩侧、桩端阻力； 验证高应变法的单桩竖向抗压承载力检测结果	静载法
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； 进行打桩过程监控	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； 鉴定桩端持力层岩土层性状； 判定桩身完整性类别	钻芯法

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 设计有要求；
- 2 工程地质条件复杂多变；
- 3 成桩工艺可靠性低；
- 4 采用新桩型、新工艺。

3.4.4 当预见到验收阶段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 低应变法	不应少于总桩数的 30%，且每个承台不应少于 1 根
2 静载法或高应变法	静载法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

- 注：1 当用高应变法检测单桩竖向抗压承载力时，应在同一单位工程做不少于 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并入检测报告中。
- 2 对市政工程、城市轨道交通工程的基桩应全数检测桩身完整性。

表 3.4.6-2 灌注桩抽样检测方法及数量

桩径(mm)	持力层、承载力	检测方法	抽检数量
<800	各类持力层和各种方向、大小的承载力	1 低应变法	不应少于总桩数的 30%，且每个承台不应少于 1 根
		2 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）
≥800	1 桩端持力层为强风化岩（或以上土层），且单桩竖向抗压承载力特征值 ≤ 10000kN 的抗压桩 2 单桩竖向抗拔承载力特征值 ≤ 5000kN 的抗拔桩 3 承受水平荷载的桩	1 低应变法或超声法	不应少于总桩数的 30%，且每个承台不应少于 1 根
		2 钻芯法	不应少于总桩数的 5%，且不应少于 5 根
		3 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）
	1 桩端持力层为中风化岩（或以下岩层），或单桩竖向抗压承载力特征值 > 10000kN 的抗压桩 2 单桩竖向抗拔承载力特征值 > 5000kN 的抗拔桩	1 低应变法或超声法	不应少于总桩数的 30%，且每个承台不应少于 1 根
2 钻芯法		不应少于总桩数的 15%，且不应少于 10 根（总桩数小于 30 根时，不应少于 5 根）	

- 注：1 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，应全部安装声测管。
- 2 长径比大于 35 时，应全部安装声测管；当桩径大于或等于 800mm 时，还应按 50% 的比例安装界面钻芯管，界面钻芯检测比例不应小于 25%。
- 3 当设计有要求且场地条件许可时，对单桩竖向抗压承载力特征值大于 10000kN，或单桩竖向抗拔承载力特征值大于 5000kN 的桩，也应采用静载法。
- 4 对设置在泥岩、炭质页岩等具较强软化性的软质岩，以及易遇水软化的硬质岩上的桩，应首选静载法来确定单桩竖向抗压承载力。
- 5 对市政工程、城市轨道交通工程的基桩应全数检测桩身完整性。

3.4.7 对桩基工程中部分桩径大于 800mm、有效桩长小于 6.0m 的桩（设计文件有时称为“墩”），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，也可采用孔内摄像方法验证；

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；

5 对钻芯法检测结果需进一步确认时，可在同一基桩增加钻孔验证，也可采用孔内摄像方法验证，条件允许时，可采用静载法验证承载力。

3.5.2 验证检测后应对被验证检测的桩进行综合评价。宜将可靠性高的方法的检测结果作为综合评价的主要依据。

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 扩大抽检应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、高应变法或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、高应变法或钻芯法检测的结果严重不满足设计要求时，应适当增加扩大抽检的倍数。

### 3.6 检测结果与报告

3.6.1 工程桩承载力检测，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 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 委托单位，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、结构形式，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。

**3.6.5** 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，最大加载量不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2.0 倍。
- 4.1.3 为设计提供依据的试验桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。试验应加载至桩侧与桩端的岩土阻力达到极限状态；当桩的承载力由桩身强度控制时，可按设计要求的最大加载量进行加载。
- 4.1.4 当桩身埋设有测定桩身应力、应变、桩端反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。

### 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，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。
- 4.2.2 可根据现场条件选择压重平台反力装置、锚桩（锚杆）横梁反力装置或锚桩（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 加载反力装置的构件应满足承载力和变形的要求；
  - 3 应验算锚桩（锚杆）、抗拔钢筋、桩接头的抗拔承载力；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。

4.2.3 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，再根据千斤顶额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 0.5 级。试验用荷重传感器、压力传感器、油泵、油管在最大加载量下的压力不宜超过各自规定最大工作压力的 90%。

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。

4.2.6 荷载测量和沉降测量应采用自动数据采集系统。

4.2.7 受检桩、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 4.2.7 的规定。

表 4.2.7 受检桩、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		
	受检桩中心与锚桩（锚杆）中心（或压重平台支墩边）	受检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 压重平台	$\geq 4(3)d$ 且 $> 2.0m$		

注：1  $d$  为受检桩、锚桩、锚杆的设计直径或边宽，取其较大者。

2 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  $4d$  或压重平台支墩下 2~3 倍宽影响范围内的地基土已进行加固处理的情况。

## 4.3 检测工作

**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规程附录 A 的规定。

**4.3.2** 对作为锚桩用的灌注桩和有接头的预制桩，检测前宜对其桩身完整性进行检测。对受检桩，检测前、后均宜进行桩身完整性检测。

**4.3.3** 有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 桩端持力层为强风化岩（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。

**4.3.4** 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检测，检测数量不应少于静载法检测总数量的 30%。当其检测结果满足设计要求时，其余的桩可采用快速维持荷载法检测。

**4.3.5** 检测加、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  $\pm 10\%$ 。

**4.3.6** 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。

**4.3.7 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,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。

**4.3.8 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;

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 80mm;

4 已达到最大加载量或锚桩(锚杆)最大抗拔力时。

## 4.4 检测结果

**4.4.1** 应绘制竖向荷载-沉降( $Q-s$ )、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 出现本规程第 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，在最大加载量下，未出现以上三款情况，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规程第 3.6.4 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、卸载方式，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 单桩承载力检测值，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，应在检测报告中说明。对缺陷桩的处理应按有关程序进行。

## 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，最大加载量不应小于设计要求的单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍，或使桩顶产生的上拔量达到设计要求的限值。若设计有明确要求，可按设计要求确定最大加载量。

5.1.3 为设计提供依据的抗拔灌注桩施工时宜进行成孔质量检测，桩孔中、下部位有明显扩径现象时（设计有扩径要求者除外），成桩后不宜作为抗拔试验桩。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。

5.1.4 预制管桩桩顶连接中配筋数量和长度、填芯混凝土要求应根据最大加载量验算或设计。

5.1.5 当受检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。

### 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 加载反力装置的支座反力宜由反力桩或工程桩提供，也可根据现场情况由天然地基提供。反力架系统应具有 1.2 倍的安全系数并符合下列规定：

1 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；

2 由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；反力梁支承面的中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 4.2.6 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 4.2.6 条的规定。

**5.2.5** 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，不得设置在受拉钢筋上；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。

**5.2.6** 受检桩、支座和基准桩之间的中心距离应符合本规程第 4.2.7 条的规定。

### 5.3 检测工作

**5.3.1** 对灌注桩、有接头的预制桩，宜在检测前、后采用低应变法检测受检桩的桩身完整性。

**5.3.2** 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、检测步骤应符合本规程第 4.3.5 条和第 4.3.6 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上拔量的 5 倍且累计上拔量大于 15mm；

2 按桩顶上拔量控制，累计桩顶上拔量超过 100mm；

3 按钢筋抗拉强度控制，钢筋应力达到钢筋强度设计值，或某根钢筋拉断；

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** 应绘制上拔荷载-桩顶上拔量 ( $U-\delta$ ) 关系曲线、桩顶上拔量-时间对数 ( $\delta-\lg t$ ) 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：在某级荷

载下  $U-\delta$  曲线发生明显陡升，取前一级上拔荷载值；

2 根据桩顶上拔量随时间变化的特征确定：取  $\delta-\lg t$  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值；

3 当在某级上拔荷载下抗拔钢筋断裂时，取其前一级上拔荷载值；

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：按本条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 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，可按本规程第 4.4.3 条的统计方法确定。

5.4.4 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。当工程桩不允许带裂缝工作时，承载力特征值取桩身开裂的前一级荷载与检测值的 50% 中的较小值。

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

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 受检桩尺寸（灌注桩宜绘制孔径曲线）及配筋情况；

3 加、卸载方式，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 单桩承载力检测值，并评价是否满足设计要求。

## 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 30mm（当桩侧上部为软土时取 40mm）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。

**6.2.2** 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 4.2.6 条的规定。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 50cm 的受检桩两侧对称安装两个位移传感器。

**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 宜在检测前、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。需要测量桩身横截面弯曲应变的受检桩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，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、试验步骤及稳定标准应符合本规程第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允许值，或达到设计要求的最大水平荷载值。

## 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( $H-t-Y_0$ )关系曲线和水平力-位移梯度( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ )关系曲线；

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( $H-Y_0$ )关系曲线、水平力-位移梯度( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ )关系曲线、力作用点的水平位移-时间对数( $Y_0-\lg t$ )关系曲线和水平

力-力作用点的水平位移双对数 ( $\lg H - \lg Y_0$ ) 关系曲线;

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的关系曲线 ( $H-m$ 、 $Y_0-m$ )。

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:

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

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

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 ( $\text{m}^{-1}$ );

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

$H$ ——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  $H-t-Y_0$  曲线或慢速维持荷载法时的  $H-Y_0$  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  $\lg H - \lg Y_0$  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分析确定:

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, 或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;

2 取慢速维持荷载法时的  $Y_0$ - $\lg t$  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  $\lg H-\lg Y_0$  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，可取最大加载量。

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 对钢筋混凝土预制桩、桩身配筋率不小于 0.65% 的灌注桩，取设计桩顶标高处水平位移为 10mm（对水平位移敏感建筑物取 6mm）所对应荷载的 0.75 倍为单桩水平承载力特征值；

3 按设计要求的水平允许位移对应的荷载作为单桩水平承载力特征值，但应同时满足桩身抗裂要求。

**6.4.6** 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 受检桩桩位对应的工程地质钻孔柱状图；

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 本规程第 6.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；

5 单桩承载力检测值，并评价是否满足设计要求。

## 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** 对采用挤土沉桩工艺施工的受检桩，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过上浮。当确认有上浮情况时应取第一击信号进行分析计算。

### 7.2 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/T 3055 中 2 级标准的规定。

**7.2.2** 单击下桩的贯入度可采用精密水准仪等仪器测量。

**7.2.3** 打桩机械或类似的装置（导杆式柴油锤、振动锤除外）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 1.0，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 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%，混凝土桩的桩径大于 600mm 或桩长大于 30m 时应大于 3.0%。

### 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锤架、传感器安装的要求，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 10mm~30mm 厚的木板或胶合板等匀质材料；

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。

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。

3 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，现场检测完成后再适当调整。

4 桩材质量密度的设定应符合下列规定：

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

2) 混凝土灌注桩为  $2.40\text{t}/\text{m}^3$ ；

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

4) 钢桩为  $7.85\text{t}/\text{m}^3$ 。

5 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 ( $\text{t}/\text{m}^3$ )。

6 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 应变传感器和加速度传感器灵敏度系数设定值应按检定

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、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 检测时应实测单次锤击下桩的贯入度，单击贯入度宜在 2mm~6mm 之间；

4 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%，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；

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 预制桩承载力的时间效应，应按本规程附录 C 的规定通过复打试验确定；

7 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后，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加剧；

5 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、桩身缺陷程度及其发展趋势,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一倍;
- 3 四通道信号不全。

7.4.3 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速度反射峰起升或下降沿的起点之间的时差与已知桩长确定波速(图7.4.3);

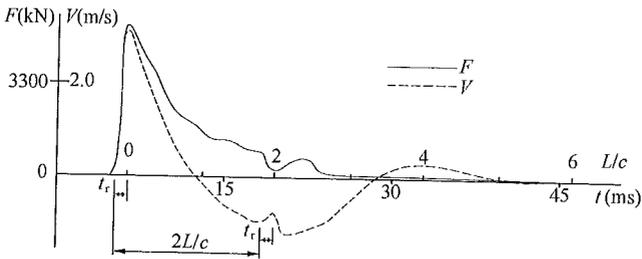


图 7.4.3 桩身波速的确定

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段不成比例时,不得对实测力或速度信号进行调整。

7.4.5 采用实测曲线拟合法分析计算单桩承载力检测值时应符合下列规定:

1 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;

2 拟合分析选用的参数应在岩土工程的合理范围内;

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。

7.4.6 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,桩身材质、截面基本均匀;

2  $J_c$  值宜通过不少于 3 根的静动对比试验,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、截面积相同情况下, $J_c$  值的极差不宜大于平均值的 30%。

7.4.7 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:

$$R_c = (1 - J_c) \cdot \frac{1}{2} \cdot [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] + (1 + J_c) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[ F\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) - Z \cdot V\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) \right] \quad (7.4.7-1)$$

$$Z = \frac{E \cdot A}{c} \quad (7.4.7-2)$$

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这两种情况, 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。

**7.4.8** 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 触变效应的影响, 预制桩在多次锤击下承载力下降;
- 4 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工程地质条件不相符;
- 5 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;

6 按本规程第 7.3.5 条规定检查、调整后信号质量仍未改善而停止检测的受检桩。

**7.4.9** 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。

**7.4.10** 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规程第 7.4.5 条第 1 款和第 2 款的规定; 根据桩的成桩工艺, 拟合时可采用桩身阻抗拟合或桩身裂隙以及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：

$$\beta = \frac{F(t_1) + F(t_x) + Z \cdot [V(t_1) - V(t_x)] - 2\Delta R}{F(t_1) - F(t_x) + Z \cdot [V(t_1) + V(t_x)]} \quad (7.4.10-1)$$

$$x = c \cdot \frac{t_x - t_1}{2000} \quad (7.4.10-2)$$

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值，取值方法见图 7.4.10；

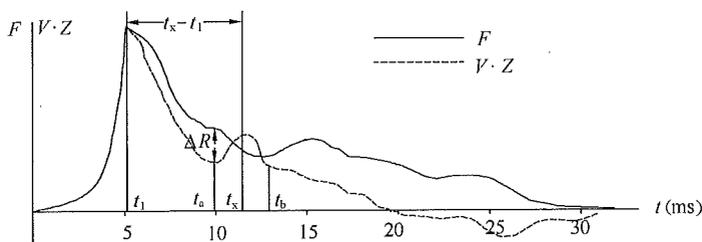


图 7.4.10 桩身完整性系数计算

3 桩身完整性类别可按表 3.6.2 和表 7.4.10 规定，并结合经验综合判定。

表 7.4.10 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	$\beta < 0.6$

7.4.11 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 力和速度曲线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 和本规程第 7.4.10 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。

7.4.12 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规程附录 C 的相应公式计算。

7.4.13 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 单桩承载力检测值，并评价是否满足设计要求；
- 5 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；

- 6 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/T 3055 中 2 级标准的规定。

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 20mV/g 或 200PC/g；
- 2 量程大于 20g；
- 3 固有频率大于 30kHz；
- 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 检测工作

8.3.1 受检桩应符合下列规定：

- 1 桩身强度应符合本规程第 3.3.4 条第 1 款的规定；
- 2 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 当受检桩的桩侧与基础的混凝土垫层浇筑成一体时，应确保垫层不影响检测结果。

**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，激振点位置应在桩中心；空心桩上激振点与传感器安装点宜在  $1/2$  壁厚处，宜处于同一水平面上，且与桩中心连线形成的夹角宜为  $90^\circ$ 。

**8.3.3 用手锤或力棒激振应符合下列规定：**

- 1 通过对比测试，选择适当的手锤或力棒；
- 2 激振方向应沿桩轴线方向。

**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数量或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震动, 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检测结果的影响，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 嵌岩桩桩底有同向反射信号。

**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 速度信号曲线；

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，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完整时，不应受检桩桩身完整性进行整体评价，仅可对被检测的部分进行评价。

### 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，宜配有备用电池；
- 8 宜具有自动记录发射与接收换能器位置的功能。

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的换能器，谐振频率宜为  $30\text{kHz}\sim 60\text{kHz}$ ，有效长度宜小于  $150\text{mm}$ ；
- 2 接收换能器宜内装有前置放大器；
- 3 换能器的水密性应满足在  $1\text{MPa}$  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 检测工作

9.3.1 制作、安装声测管应符合本规程附录 D 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，且两个换能器中点连线与水平线的夹角不应大于  $30^\circ$ ；

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，两换能器中点连线与水平线的夹角不应大于  $40^\circ$ 。

## 9.4 检测结果

9.4.1 根据现场采集的数据,应按下列公式计算声时、声速、声波波幅值,并应绘制声速-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 (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)。

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的修正，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  $X_i$  由大到小按顺序排列，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 E 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等因因素，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等因因素，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等因因素，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

**9.4.9** 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 声测管布置图；
- 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 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；
- 4 各侧面实测波列图或影像图；
- 5 对进行过管距修正的侧面，应注明修正的范围及方法。

## 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 35，桩径不宜小于 800mm。

**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 1 孔，桩径为 1.6m~2.0m 钻 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、桩身完整性、桩底沉渣、桩端持力层进行验证检测时，受检桩的钻芯孔数宜大于或等于 1 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；单孔且受检桩的长径比大于 35 时，宜在桩中心位置开孔；应详细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 承压桩每桩至少应有 1 孔钻至设计要求的桩端持力层深度，如设计无明确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 1m；

2 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，可钻至桩底 1m；

3 对抗拔桩、支护桩，每个钻芯孔钻入桩端岩土层深度不宜小于 1m；

4 对详勘阶段揭露的场地内有软弱夹层、断裂破碎带和溶（土）洞发育、风化球等不良工程地质条件的场地，各钻孔钻入持力层均不宜少于 5m。

**10.1.4** 当仅检测桩底沉渣厚度、鉴定桩端持力层的岩土性状时，可采用界面钻芯。制作、安装界面钻芯管应符合本规程附录G的规定。

## **10.2 仪器设备**

**10.2.1** 钻取芯样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；
- 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10.3kW；电动机额定功率不小于11kW。

**10.2.2** 钻取芯样应使用单动双管钻具，并配备相应的孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器和可捞取松软渣样的钻具。

**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100mm，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** 芯样试件端面加工使用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、标准贯入试验采用的仪器、设备应符合《岩土工程勘察规范》GB 50021中的规定。

## 10.3 检测工作

**10.3.1** 钻机设备应稳固安装，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、泵压和泵量等技术参数，在不同条件下应确保各参数之间的配合。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，方可采用正常参数钻进。每回次进尺宜控制在1.5m内。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。

**10.3.6** 钻取的芯样应按回次顺序，自上而下、由左向右排放进芯样箱中。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，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，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±5cm。

**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。

**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。

**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、严重蜂窝麻面、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规程附录 F 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《普通混凝土力学性能试验方法》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：

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

式中  $f_{\text{cu}}$ ——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规程附录 F 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式(10.3.17)计算。

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

式中  $f_{ru}$ ——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** 受检桩桩底的沉渣厚度应取各钻孔沉渣厚度的算术平均值。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规范》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应按以下方法确定：

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。

10.4.6 受检桩桩身完整性类别应根据现场各孔混凝土芯样特征，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** 钻芯孔偏出桩外时，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规程第 3.6.4 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 钻芯设备；
- 2 检测桩数、钻孔数量、混凝土进尺、桩端持力层进尺、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 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主筋。
- A.0.2** 调直各主筋，并保持主筋顶标高一致。桩顶应设置钢筋网片 2~3 层，网片间距宜为 60 mm ~100mm。
- A.0.3** 浇筑桩头混凝土，其强度等级宜高于桩身混凝土 1~2 个等级，且不得低于 C30。
- A.0.4** 检测前，宜在距桩顶 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 高应变法传感器的安装要点

- B.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(见图 B.0.1)。
- B.0.2** 传感器应分别对称安装在距桩顶  $2d(2b)$  的桩侧表面处( $d$  为受检桩的外径， $b$  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。
- B.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。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铅直，材质应均匀密实，否则应采用磨面手砂轮将其磨平。
- B.0.5** 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，安装应变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，应变传感器的初始应变值不得超过所用检测仪器的规定值，锤击时传感器的可测轴向变形余量的绝对值应符合下列规定：混凝土桩不得小于  $1000\mu\epsilon$ ；钢桩不得小于  $1500\mu\epsilon$ 。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  $0.5H_r$  处 ( $H_r$  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  $0.4H_r$  和  $1d(1b)$  两者中的高值。

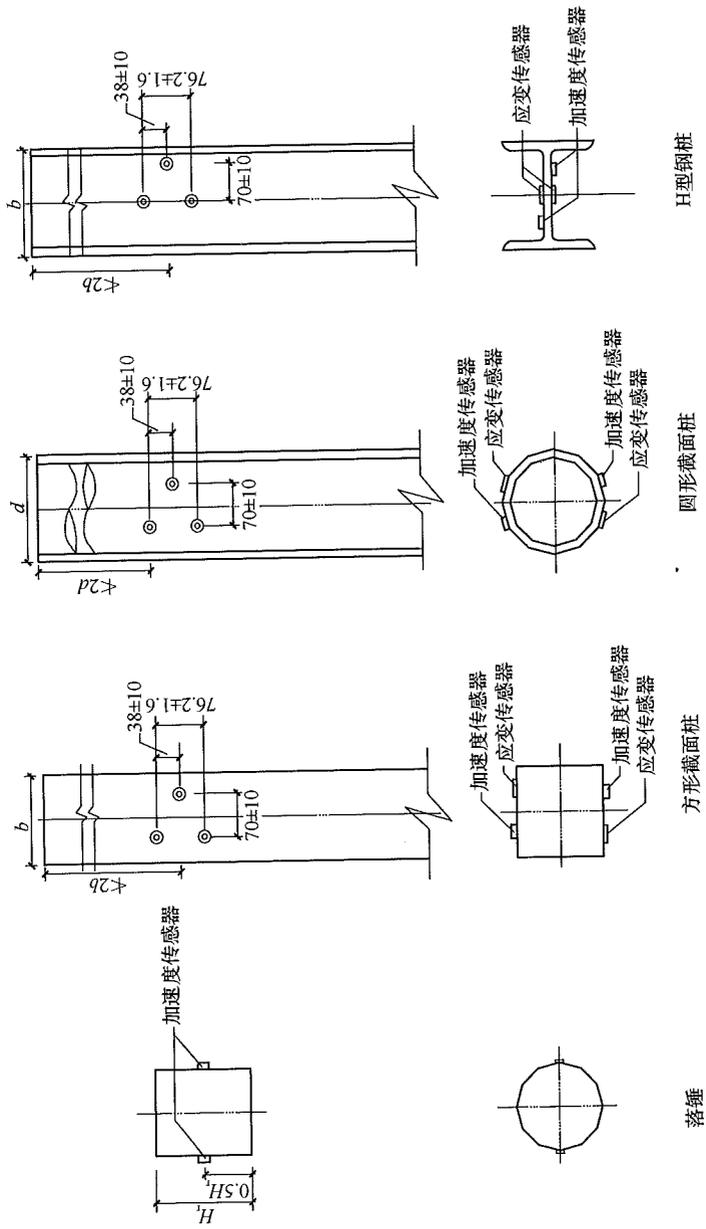


图 B.0.1 传感器安装 (单位: mm)

## 附录 C 试打桩与打桩监控

### C.1 试打桩

C.1.1 为选择工程桩的桩型、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的打桩阻力与贯入度关系，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 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规程第 3.3.4 条的规定；
- 3 试打桩数量不应少于 3 根。

### 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 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。

C.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：

$$\sigma_t = \frac{1}{2A} \left[ F(t_1 + \frac{2L}{c}) - Z \cdot V(t_1 + \frac{2L}{c}) + F(t_1 + \frac{2L-2x}{c}) + Z \cdot V(t_1 + \frac{2L-2x}{c}) \right] \quad (\text{C. 2. 3})$$

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 ( $\text{m}^2$ )。

**C. 2. 4** 最大桩身锤击压应力可按下式计算:

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{A} \quad (\text{C. 2. 4})$$

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硬层对桩身锤击压应力的放大作用。

**C. 2. 5** 桩身最大锤击应力控制值应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

### 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式计算:

$$E_n = \int_0^{t_e} F \cdot V \cdot dt \quad (\text{C. 3. 1})$$

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)。

**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 声测管制安要点

**D.0.1** 声测管应采用钢质管材，内径宜为 40mm~45mm，管身不得有破损，管内壁应光滑，应具有足够的强度和刚度，制安过程中不得损坏变形。

**D.0.2** 声测管应沿钢筋笼内圆周呈对称分布，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 D.0.2）。

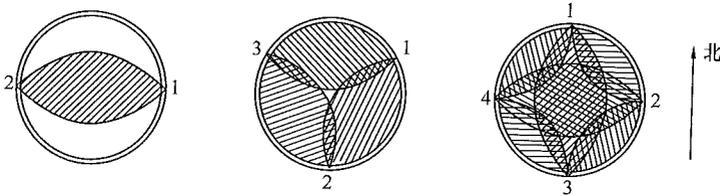


图 D.0.2 声测管布置图

**D.0.3** 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。

**D.0.4** 声测管底部应预先封闭，宜用堵头封闭或用钢板焊封。

**D.0.5** 每节钢管间应采用螺纹外套管接头连接或专用连接器连接，应保证连接处不渗浆。

**D.0.6** 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，声测管应与桩的轴线平行。

**D.0.7** 在桩身未配筋的部位，应采取有效措施将声测管顺直安

放至桩底。

**D.0.8** 声测管顶部标高宜平钢筋笼标高，上部应加盖或用堵头封闭，避免异物入内。

**D.0.9** 安装声测管、浇灌混凝土时，应保护声测管不受损坏、不渗入浆液。

## 附录 E 超声法中不同样本总数对应的系数

**E. 0. 1** 样本中不同样本总数对应的系数  $\lambda_1$  应根据表 E. 0. 1 中的规定取值。

表 E. 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 F 芯样试件制作和测量

**F.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。

**F.0.2** 芯样应采用锯切机锯切。锯切芯样时应将芯样固定，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。

**F.0.3** 当锯切后的芯样试件端部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）、硫黄胶泥（或硫黄）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，硫黄胶泥（或硫黄）补平厚度不宜大于 1.5mm，补平层应与芯样试件结合牢固，受压时补平层与芯样试件的结合面不得提前破坏。

**F.0.4** 应对芯样试件的几何尺寸做下列测量：

1 平均直径：在相互垂直的两个位置上，用游标卡尺测量芯样试件表观直径偏小的部位的直径，取其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  $0.1^\circ$ ；

4 平整度：用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。

**F.0.5** 芯样试件出现下列情况时，不得用作抗压或单轴抗压强度试验：

1 混凝土芯样试件内含有钢筋时；

2 1:1 的混凝土或岩石芯样试件高度小于  $0.95d$  或大于

1.  $0.05d$  时 ( $d$  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  $2.05d$  时  
( $d$  为芯样试件平均直径);

4 沿试件高度任一直径与平均直径相差达  $2\text{mm}$  以上时;

5 试件端面的不平整度在  $80\text{mm}$  长度内超过  $0.1\text{mm}$  时;

6 试件端面与轴线的不垂直度超过  $2^\circ$  时;

7 表观混凝土粗骨料最大粒径大于芯样试件平均直径  $0.5$  倍时。

## 附录 G 界面钻芯管制安要点

- G.0.1** 界面钻芯管应采用钢质管材，应具有一定的强度和刚度。内径不宜小于 130mm，壁厚不小于 4mm。
- G.0.2** 界面钻芯管底部应预先封闭，宜用堵头封闭或用钢板焊封。
- G.0.3** 制作钢筋笼时，宜将界面钻芯管绑扎在钢筋笼内侧。宜在钢筋笼底端以上 1m 左右，搭接焊折弯成“L”形的定位筋，宜将管底焊接在定位筋上。吊放钢筋笼时，应防止界面钻芯管从定位钢筋上脱落、下降至桩底岩面上。
- G.0.4** 每节钢管间宜采用套管焊接或其他可靠方式连接，上、下管应保持顺直，连接处不得渗浆。
- G.0.5** 下节管和上节管连接后，应采用焊接等连接方式，将上节管固定在钢筋笼上。
- G.0.6** 管顶部标高宜平钢筋笼标高，管口应加盖堵头或用钢板焊封。
- G.0.7** 在桩身未配筋的部位，应采取有效方法将界面钻芯管安装至桩底以上 1m。
- G.0.8** 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。

## 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规范》GB 50202
- 4 《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266
- 5 《普通混凝土力学性能试验方法》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规程》JGJ 72
- 9 《基桩动测仪》JG/T 3055
- 10 《建筑地基基础设计规范》DBJ 15—31
- 11 《建筑地基基础检测规范》DBJ 15—60
- 12 《地基基础勘察设计规范》SJG 01

深圳市技术规范

深圳市建筑基桩检测规程

**SJG 09 - 2015**

条文说明

## 修 订 说 明

《深圳市建筑基桩检测规程》SJG 09—2015，经深圳市住房和城乡建设局 2015 年 3 月 25 日以深建规〔2015〕3 号文批准、发布。

本规程是在《建筑基桩检测规程》SJG 09—2007 的基础上修订而成的。上一版的主编单位是深圳市建设工程质量检测中心，参编单位是深圳市建筑科学研究院、深圳市勘察研究院有限公司、深圳冶建院建筑技术有限公司、铁道部科学研究院深圳研究院设计研究院、深圳市福田建设工程质量检测中心、深圳市罗湖区建设工程质量检测中心、深圳市南山区建设工程质量监督检验站、深圳市盐田区工程质量监督检验站、深圳市龙岗区建设工程质量检测中心。主要起草人为高泉、刘南渊、杨立、肖兵、陈泽广、蔡巧灵、王耀禧、程庆阳、何维新、范少峰、裴晓文、张臣琪、刘学、江辉煌、袁广州、张玉霞。本次修订的主要技术内容是：1. 按预制桩和灌注桩，对基桩抽样检测方法及数量表进行了分类，强化和完善了部分检测要求；2. 强调了抗拔桩的检测要求；3. 加强了中小直径灌注桩的检测要求，在原来低应变法和静载法的基础上增加了钻芯法；4. 在国内首次提出界面取芯，以补充超长桩传统钻芯法难以钻至桩底的不足；5. 细化了钻芯法完整性评价表，修改了混凝土芯样试件强度计算公式，完善了桩身完整性类别评定细则，严格了岩样试件的高径比规定；6. 在静载法中，补充了试验桩承载力试验的相关规定，补充了特征值取值的相关规定；7. 吸纳了省标《建筑地基基础检测规范》DBJ 15—60—2008 和行标《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106—2014 中的部分规定。

本规程修订过程中，编制组对我市基桩检测现状进行了调查

研究，总结了《建筑基桩检测规程》SJG 09—2007 实施以来的实践经验、出现的问题，同时参考了国内的先进检测技术、方法标准，通过调研、征求意见，对增加和修订的内容进行反复讨论、分析、论证，开展专题研究和工程实例验证等工作，为本次规程修订提供了依据。

为便于广大工程检测、设计、施工、监理、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《深圳市建筑基桩检测规程》SJG 09—2015 编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明。对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

# 目 次

1 总则 .....	70
2 术语和符号 .....	72
2.1 术语 .....	72
3 基本规定 .....	73
3.1 检测目的 .....	73
3.2 检测机构、人员、仪器设备 .....	73
3.3 检测前的准备 .....	74
3.4 检测项目、方法和抽检数量 .....	75
3.5 验证检测与扩大抽检 .....	80
3.6 检测结果与报告 .....	81
4 单桩竖向抗压静载法 .....	83
4.1 一般规定 .....	83
4.2 仪器设备 .....	83
4.3 检测工作 .....	84
4.4 检测结果 .....	86
5 单桩竖向抗拔静载法 .....	88
5.1 一般规定 .....	88
5.2 仪器设备 .....	88
5.3 检测工作 .....	89
5.4 检测结果 .....	90
6 单桩水平静载法 .....	91
6.1 一般规定 .....	91
6.2 仪器设备 .....	91
6.3 检测工作 .....	92
6.4 检测结果 .....	92
7 高应变法 .....	95
7.1 一般规定 .....	95

7.2	仪器设备	96
7.3	检测工作	96
7.4	检测结果	99
8	低应变法	107
8.1	一般规定	107
8.2	仪器设备	108
8.3	检测工作	109
8.4	检测结果	111
9	超声法	118
9.1	一般规定	118
9.2	仪器设备	118
9.3	检测工作	119
9.4	检测结果	120
10	钻芯法	122
10.1	一般规定	122
10.2	仪器设备	124
10.3	检测工作	125
10.4	检测结果	132

# 1 总 则

**1.0.1** 本条主要说明编制本规程的目的和指导思想。近年来，城市建设迅速发展，大量建筑物、构筑物、市政工程和城市轨道交通工程多采用桩基础，而基桩检测对其安全、可靠性起着重要的作用，基桩检测的手段和方法也随着工程经验的积累和理论研究而趋于更加成熟和先进。为总结已有经验，提高检测和评价水平，统一检测的技术标准，特别是和现行国家标准相协调，深圳市住房和建设局适时地组织修订本规程。

**1.0.2** 本条主要阐明规程的适用范围，包括两个方面，适用的工程类别有建筑工程、市政工程和城市轨道交通工程，港口、码头、水利等工程的基桩检测可参照使用；检测对象是工程桩，目的是对工程桩的质量、安全、可靠性进行综合评价，并作为桩基工程设计、验收评定或处理的依据。

**1.0.3** 本条主要提出基桩检测工作的总要求或总原则。强调各种检测方法和综合评价都应充分了解勘察、设计、施工的全过程，并掌握场地工程地质条件、环境条件和已有经验。由于桩基工程是隐蔽工程，而每一种方法都具有其特长和不足，因此，因地制宜、因桩制宜、因时制宜选择检测方法、检测对象、检测数量是尤为重要的。

**1.0.4** 尚应符合的国家标准和地方标准系指本规程没有明确规定，而尚应符合的有关标准。对国家标准主要指现行的《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《混凝土强度检验评定标准》GBJ 107、《岩土工程勘察规范》GB 50021、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106、《高

层建筑岩土工程勘察规程》JGJ 72、《钻芯法检测混凝土强度技术规程》CECS 03、《基桩动测仪》JG/T 3055；对地方标准系指现行的广东省标准《建筑地基基础设计规范》DBJ 15—31、《建筑地基基础检测规范》DBJ 15—60 和深圳市标准《地基基础勘察设计规范》SJG 01。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

**2.1.1** 基桩的术语在《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中解释为“桩基础中的单桩”。在深圳市，大量的高层建筑均为一柱一桩形式。

**2.1.4** 承载力检测值是检测中实测、确定或判定的单桩承载力，其与极限承载力有区别。这是因为受检桩是工程桩，检测的目的是检验是否满足工程设计要求或为工程处理提供依据，静载法只需证实是否满足设计要求即可，不一定要达到极限状态，因此单桩承载力检测值有两种情况：①等于极限承载力；②小于极限承载力。对于情况①，试验最大加载量正好与桩的极限荷载相同或桩达到了极限状态；情况②是试验荷载已加至预定最大加载量，可以满足设计要求，但桩土体系的承载力仍有富余，尚未达到极限状态，此类情况在实际工程中较多出现。对高应变法判定的单桩承载力，因其荷载的作用方式、变形特性均与桩的实际工况相差较大，所以判定的单桩承载力也不是真正的极限承载力。因此，本规程提出用承载力检测值以概括之。

**2.1.6** 高应变法是实测桩顶部的力和速度信号，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，是间接方法，与静载法直接试桩有区别。因此，在使用时，要有静动对比资料，在无可靠经验的情况下更应注意。

**2.1.7** 通常，低应变法还包括其他多种方法，如机械阻抗法、动力参数法等，本规程低应变法特指反射波法。

## 3 基本规定

### 3.1 检测目的

**3.1.1** 桩基检测的结果是验收、设计和质量鉴定与加固的重要依据。按照本规程对桩基进行检测时，仅对受检桩的承载力、桩身完整性等项目做出评价，整个桩基工程的合格判定应按照验收规范的要求在验收阶段进行。

就检测实施阶段而言，一般有设计阶段、施工过程和验收阶段，有时还有旧基础、质量事故后和加固补强后的桩基检测等。本规程主要适用于设计、施工和验收阶段，其余用途的检测应依据有关规定可参照本规程执行。

### 3.2 检测机构、人员、仪器设备

**3.2.1** 根据广东省住房和城乡建设厅《关于进一步明确下放建设工程质量检测机构资质核准事项有关事宜的通知》（粤建质函[2012] 858号），建设工程质量检测资质统一由各市建设行政主管部门管理。因此，机构和人员资质、资格除了应符合国家、广东省的规定外，还应符合深圳市建设行政主管部门的要求。

**3.2.2** 检测所用仪器设备必须由法定计量检定机构进行定期检定或校准，且使用时必须在检定或校准的有效期内，这是我国《计量法》的要求，是桩基检测数据准确、可靠和可追溯的条件。需要指出的是，某些时候，虽然计量器具在有效计量检定或校准周期之内，但由于其工作环境较差，使用期间仍可能由于使用不当或环境恶劣等，造成计量器具受损或计量参数发生变化。因此，检测前宜对计量器具、配套设备进行检查或模拟测试。

**3.2.3** 为了保证检测工作安全、顺利地展开，确保检测结果准确可靠，对于不同的检测方法，有着不同的抗干扰要求，通常应

注意防止温湿度变化及振动、电源波动等因素对检测结果的影响。对静载法检测应有措施应对检测过程中的断电等原因引起的维荷超时、数据丢失等突发事件，还应有防止发生堆载失稳、平台垮塌等安全事故发生的措施。

### 3.3 检测前的准备

**3.3.1** 检测前收集本条所列的资料，有助于正确编制检测方案和选取受检桩，也有助于对检测结果进行分析，得出符合实际的结论。有条件时，可收集邻近桩基工程的资料。

**3.3.2** 检测前应对现场有足够了解，应做调查并根据调查结果编制检测方案。当有特殊要求时，检测方案还需要与委托方、设计方共同研究制定。本条提出的检测方案包含的内容为通常情况下的内容，某些情况下还需要包含诸如桩头加固、处理方案以及场地处理、道路、供电、照明等要求。

**3.3.3** 桩基是隐蔽工程，在工程结构中的地位十分重要，由于成桩质量难以直观检查，使用过程中再发现质量问题时难于处理。因此，受检桩的选取应坚持偏于安全、按最不利的原则综合确定，应考虑尽量减小对可能有质量隐患桩的漏检概率。同时也应兼顾检测造价和进度因素，抽检数量应限制在合理的范围之内。对此，在有限数量的抽检中最大限度地暴露基桩存在的质量隐患是抽样的一个重要原则。本规程采用下列原则综合考虑：施工质量有怀疑的桩；关键和重要部位的桩；因工程地质情况复杂可能影响施工质量的桩；采用不同施工工艺施工和由不同施工单位施工的桩；承载力或钻芯检测时，侧重桩身完整性、桩长、持力层、沉渣等不利影响因素。最后，还有随机性原则，即同情形桩宜均匀分布。

静载法和钻芯法受检桩的选取，宜由设计、勘察、施工、建设、监理和检测等单位共同讨论确定并形成会议纪要。

**3.3.4** 采用钻芯法仅检测桩身完整性、桩长、桩底沉渣厚度或桩端持力层，而不对桩身混凝土强度检测时，为加快检测进度，

可在 28d 龄期前开始进行。

从桩顶至桩端，分布有不同的土（岩）层，检测方法的开始时间主要由对承载力起控制作用的岩土性状决定。有经验时，检测开始时间可适当提前。对于泥浆护壁灌注桩的静载法，宜延长休止时间。

**3.3.5** 为了提高检测工作的效率，客观、准确地反映整个桩基工程的质量状况，宜先进行抽检比例大的方法，后进行抽检比例小的方法；宜先普查桩身完整性，后有针对性地单桩承载力静载法检测或钻芯法验证。通常各方法的检测先后顺序是，先低应变和超声，后钻芯、高应变和静载。当基础埋置较深时，基坑开挖产生土体侧移将桩身剪断、机械开挖使桩身受损的现象时有发生，故强调桩身完整性检测宜在基坑开挖至基坑底标高后进行。对现场条件限制，只能先进行静载法、后进行低应变法检测的工程项目，为确保基坑开挖不对桩身质量产生影响，应由有关责任主体召开专题会议议定，形成的会议纪要应和竣工资料一同存档。

### 3.4 检测项目、方法和抽检数量

**3.4.1** 工程桩的检测都应包含桩身完整性检测和单桩承载力检测两个方面，应采用不少于两种检测方法进行检测，应符合先简后繁、先粗后细、先面后点的原则，宜先完整性检测后承载力检测。对诸如逆作法现场、内支撑支护形式的基坑等场地不具备进行静载法检测单桩承载力条件的情况，应对桩底沉渣厚度、桩端持力层性状及桩身混凝土强度、桩长等检测以验证单桩承载能力。

**3.4.2** 为了合理使用各方法、充分发挥各种方法的优势，本条列举了每种方法包含的检测目的。具体选择检测方法时，应根据检测目的、内容和要求，结合各检测方法的适用范围和检测能力，考虑设计、工程地质条件、施工因素和工程重要性等情况确定，不允许超范围滥用。另外，还要考虑经济合理性，即在满足

正确评价的前提下，做到快速经济。

**3.4.3** 在诸如设计有要求、工程地质条件复杂多变、成桩工艺可靠性较低、采用新桩型新工艺等特殊情况时，桩基工程正式施工前应对试验桩进行承载力试验，以正确指导设计和施工。试验桩有在非工程桩桩位施作的纯试验桩，也有在工程桩桩位施作的，后者在成桩质量满足设计要求、单桩承载力试验后未破坏时，仍可用作实际工程桩。

**3.4.4** 为有效利用地下空间，本市基坑工程开挖深度加大，桩长变短，抗压、抗拔承载能力要求提高，而在基坑底标高处进行单桩竖向抗压、抗拔静载法检测，场地条件差、进退场困难、检测造价加大、检测周期变长，特别是靠近坑边的桩、电梯井下的桩、坡道下的桩、塔吊附近的桩、内支撑结构梁柱下的桩及逆作法现场等，更无堆载和反力架安置的场地条件。对此，为了同时兼顾质量验收和检测条件的要求，首先应在施工组织设计阶段充分考虑后期验收检测的要求，尽可能提供在基坑底标高处进行验收检测的条件。否则，应在正式施工前充分进行试验桩的抗压、抗拔承载力检测，包括桩身内力测试。另外，通过试验及时指导设计和施工，加强施工过程监控，以降低质量风险。

**3.4.5** 本规程中的“同类型桩”，对混凝土预制桩，可按沉桩工艺（锤击、静压）、桩径、设计承载力特征值等因素划分。对混凝土灌注桩，由于桩径和设计承载力特征值分布丰富多变，通常宜按成桩工艺、桩端持力层等因素划分。

类型划分时，承载力特征值可能包含承压、抗拔和水平三种受力状态，对混凝土灌注桩，在按桩端持力层类型划分的基础上，再划分到能区分三种受力状态为止，不再进一步按设计承载力特征值变化细分，对混凝土预制桩可细化至各设计承载力特征值。

对于端承型大直径灌注桩，当受设备或现场条件限制无法做竖向抗压静载试验时，可依据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 相关要求，按现行国家标准《建筑地基基础设计规

范》GB 50007 进行深层平板载荷试验、岩基载荷试验；或在其他条件相同的情况下进行小直径桩静载试验，通过桩身内力测试，确定岩土承载力参数，但此时尚应考虑到尺寸效应的影响。采用小直径试桩替代方案时，应先通过相关质量责任主体组织的技术论证。

试验桩场地的选择应有代表性，附近应有工程地质钻孔。设计提出侧阻和端阻测试要求时，应在试验桩施工中安装测试桩身应变或位移的器件，以得到试桩的分层阻力分布，为设计选择桩端持力层提供依据。试验桩的设计应符合试验目的要求，静载试验装置的设计和安装应符合试验安全的要求。

另外，施工时桩的参数发生了较大变动或施工工艺发生了变化，应重新试桩。

**3.4.6** 采用静载法检测预制桩、灌注桩时，抗压桩和抗拔桩因其桩身结构受力方向及承载力特征值不同，应分属不同类型桩。由于多数情况下抗压桩同时兼作抗拔桩，不应仅检测抗压承载力或抗拔承载力中的一种，而应分别进行抗压和抗拔静载法检测。在统计抗压桩和抗拔桩总数时，此类桩既要计入抗压桩总数，同时又要计入抗拔桩总数，再按本条规定计算抗压静载法和抗拔静载法抽检数量。水平受荷桩亦同。采用静载法以外的其余方法检测时可不重复计算。

关于预制桩的检测要求说明如下：由于多数场地沉桩时已送桩，开挖后的场地情况复杂，静载法较难实施，大多的静载法检测是在开挖前进行的。开挖前进行静载法检测时，受检桩的选取往往是有取向性的，通常是选配桩富裕的，沉桩后的实际桩顶会接近或高出施工场地地面标高，这些桩的收锤、终压标准往往会严格些，其静载法检测合格率高，甚至存在提前准备受检桩的现象。实际配桩短于应有桩长的，实际收锤、终压标准可能偏低，因其送桩深度较大，在开挖前不具备静载法检测条件，往往不被选作静载法检测。因此应加大对送桩深度大的桩的静载法检测覆盖范围，首先是强调静载法宜在场地开挖至桩顶标高处进行。其

次，应加强沉桩过程监控，加大打桩监控比例，加强对收锤贯入度、终压值控制标准执行情况的监督。对有抗浮要求的管桩，尚应密切注意低应变法反映出的首节桩的接头连接情况，对存在异常者，应采用单桩竖向抗拔静载法验证接头连接的可靠性。

关于灌注桩的检测要求说明如下：桩径小于 800mm 的桩为中小直径桩，其单桩竖向抗压承载力特征值一般小于 5000kN，单桩竖向抗拔承载力特征值一般小于 2000kN，这类桩通常都有条件做静载法检测。

桩径大于或等于 800mm 的桩为大直径桩。深圳市的实践表明，当混凝土灌注桩持力层设置在强风化岩（或以上土层），即如强风化、全风化、残积土等时，其实际抗压承载力往往比设计计算的承载力低很多。这类持力层设置在强风化岩（或以上土层）的抗压桩仅靠计算和钻芯法检测是不完备的，应该通过静载法来确定单桩竖向抗压承载力，或者至少有一部分桩应采用静载法确定。考虑近几年深圳市单桩承载力的提高和检测能力的增强，此次修订提高了静载法适用的单桩竖向抗压承载力特征值，即小于或等于 10000kN 的桩采用静载法，大于 10000kN 的桩采用钻芯法检测。当然，条件许可时，设置在强风化岩（或以上土层）、抗压承载力特征值大于 10000kN 的桩，通过静载法来确定单桩竖向抗压承载力会更加直观。

由于国内规范中静载法检测的数量均为总桩数的 1%，而灌注桩中因桩径变化范围大、施工质量不稳定，1%的比例显然存在较大风险，本市的实践也证明了这一点。故此次修订，对要求采用静载法检测的大直径桩，增加了 5%的钻芯法检测作为静载法检测的补充，以通过检测桩身混凝土强度和桩底沉渣厚度、鉴定桩端持力层岩土层性状，间接验证基桩的承载能力。而对中小直径灌注桩，因钻芯法较难实施，未要求补充钻芯法检测，但取消了 2007 版中的高应变法检测承载力，改为只能采用静载法检测承载力，这也相当于提高检测要求、降低了质量风险。取消高应变法的原因还在于其检测结果的多解性，特别是灌注桩，检测

结果在很大程度上受检测人员技术水平的影响。

另外，由于本市单体建筑朝高度高、体量大、埋置深的方向发展，单桩竖向抗拔承载能力要求不断提高。近年来的实践表明，大直径冲（钻）孔、旋挖灌注桩的竖向抗拔承载力极限值离散严重，有些桩型的竖向抗拔承载力极限值甚至还不到计算的特征值的 50%，即使桩端嵌入岩层一定深度，情况也是如此。以往，由于设计计算中有太大富余，以及检测设备的局限和现场条件限制等原因而忽视了灌注桩的抗拔承载力检测，本次修订特别明确提出应进行抗拔承载力验收检测，并从本市的实际出发，规定了应进行检测的抗拔承载力特征值的界限为 5000kN。对超过此界限且超过试验设备能力的，在特定情况下，也可采用自平衡法试验。自平衡抗拔力试验时桩身受压，而抗拔桩设计的受力状态是桩身受拉，桩身泊松效应相反，但受压时桩身扩径增加的摩阻力并不显著，且本市高承载力的大直径灌注桩，大多设计为桩径大于 1800mm 的嵌岩桩，此时抗拔力主要由桩身嵌入中风化、及至微风化岩层的嵌固力提供，自平衡法试验时造成桩侧抗拔（负）摩阻力增强占比很小。

对于桩径为 800mm~1600mm 的大直径灌注桩的完整性检测，低应变法与超声法均适用，可根据实际情况选择适合的检测方法。为了保证在桩径大于 1600mm 的桩上超声法检测的实施，也为了超声法补充或扩大抽检的需要，规定对于桩径大于 1600mm 的灌注桩应全部安装声测管。

参照其他行业相关规范的规定，本条规定市政工程、城市轨道交通工程的基桩，应全部检测桩身完整性。

虽然本条规定了各类桩应采用的检测方法，但由于某些具体施工工艺、基桩设计参数等可能会影响特定方法的检测效果，故选择检测方法时应综合考虑。比如，低应变法可能不适用于超长桩的检测，对此，可采用高应变法替代低应变法检测预制桩、采用孔内摄像方法辅助检查管桩、采用超声法替代低应变法检测灌注桩。再比如，灌注桩长径比较大时，施工时成孔的垂直度偏差

可能较大，钻芯法检测时钻芯孔的垂直度也难以控制，钻芯孔容易偏离桩身，对此应采用界面钻芯，以补充钻芯法检测桩底情况，或者，有条件时直接采用静载法检测单桩承载力。

不具备进行静载法检测单桩承载力条件时，相关责任主体和检测单位应对替代的检测方案进行说明。

### 3.5 验证检测与扩大抽检

**3.5.1** 验证检测是指，当检测者对桩身某个部位、某根桩、及对一批桩的异常检测结果有怀疑或非检测者对检测结果有异议，需进一步确认时，采用原方法以外的其他检测方法（钻芯法还可增加钻孔验证）来验证原检测结果。本条给出了验证检测应遵循的基本原则，即可靠性高的方法验证可靠性低的方法。

**3.5.2** 不同于在原受检桩上采用低应变法或超声法复检，同一基桩增加钻孔验证后，应同等对待各孔检测结果，客观、全面地综合评价。

**3.5.3、3.5.4** 扩大抽检，是指原抽检子样样本的检测结果不满足设计要求时，应扩大抽样比例使其更有代表性，以较大样本的检测结果来更真实地反映总体情况，减小质量问题漏检概率。

虽然在扩大抽检前可能已进行过个别桩的验证检测，但对扩大检测后出现的Ⅲ、Ⅳ类桩还宜进一步验证检测、复核承载能力。

扩大抽检的过程和质量问题处理的过程是密不可分的，因此建设单位应组织有关各方对检测结果不满足设计要求的情况进行原因分析、扩大抽检和综合评估三方面的工作。首先应依据检测、设计、勘察、施工等资料进行原因分析，推断同类不满足设计要求桩的可能分布。其次根据可能的原因、质量问题的严重程度和工程结构重要性制定扩大抽检方案，有针对性地扩大抽检；扩大抽检方案应包含扩大检测的方法、数量和桩位要求；在扩大抽检的过程中，应对产生问题的可能的原因进一步跟踪、分析、确认，及时调整扩大抽检方案，以使整个桩基工程不留质量隐

患。扩大抽检完成后，根据检测单位提供的全部检测结果，参考所有设计、施工、监理资料，由有关各方共同对全部桩基进行综合评估，设计单位以满足结构安全和使用功能要求为原则，提出处理方案。处理方案一般有：由原设计单位复核是否可满足结构安全和使用功能要求，或者是补桩（有原桩报废后在原桩位补桩，有原桩报废后在原桩侧补桩，有同时利用原桩的原桩侧补桩等方式）、加固补强等。处理应按照有关程序进行，应按设计单位出具的处理方案，监理单位全程监督施工单位实施。对加固、补强后基桩的验收检测，还应由建设、设计、勘察、监理、施工、检测单位共同研究确定验收检测方案，实施验收检测后，由各方共同综合评估、验收。

由于各检测方法各自的特点，虽然本规程第 3.5.4 条第 1 款中要求采用可靠性更高的检测方法扩大抽检，必要时也可同时辅以包括可靠性较低的其他方法分析判断。

本规程第 3.5.4 条第 2 款中，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，应加大比例继续扩大抽检，直至对全部基桩检测桩身完整性。

本规程第 3.5.4 条第 3 款中，静载法、高应变法或钻芯法检测的结果严重不满足设计要求的情况主要表现在单桩承载力极限值、桩端持力层性状、桩底沉渣、混凝土强度、桩身完整性等方面，如：单桩竖向抗压（拔）承载力极限值达不到设计的单桩承载力特征值，桩底沉渣超出标准要求的 5 倍，设计要求的桩端持力层为微（中）风化岩，而实际却为强（全）风化岩的情况均属于严重不满足设计要求。

### 3.6 检测结果与报告

**3.6.2** 应该指出，桩身完整性不符合要求和单桩承载力不满足设计要求是两个独立概念。完整性为Ⅰ类或Ⅱ类而承载力不满足设计要求，结构显然是不安全的；竖向抗压承载力满足设计要求而完整性为Ⅲ类或Ⅳ类则存在安全和耐久性方面的隐患。如桩身

出现水平整合型裂缝（灌注桩因挤土、开挖等原因时有出现）或断裂，低应变法判定完整性为Ⅲ类或Ⅳ类，但高应变法判定完整性可能为Ⅱ类，且竖向抗压承载力可能满足设计要求，但其水平承载力和耐久性方面存在隐患。

根据桩身有无缺陷及缺陷的严重程度，桩身完整性类别有Ⅰ类桩（桩身完整）、Ⅱ类桩（轻微缺陷）、Ⅲ类桩（明显缺陷）和Ⅳ类桩（严重缺陷）。显然，缺陷的严重程度和其对桩身承载力的影响程度是对等的。Ⅱ类桩可以理解为基础完整的桩，其桩身承载力基本能够正常发挥，但Ⅱ类桩比例较高时应选取部分核实单桩承载力。Ⅲ类桩的桩身承载力会受到一定影响，应进行验证或核实单桩承载力，或由设计等单位根据工程桩的具体情况而定。Ⅳ类桩有严重缺陷，对桩身承载力有很大影响，应进行处理，有时Ⅲ类桩也需要进行处理。缺陷桩的处理和整个桩基工程质量隐患的排查，实际上是质量问题处理工作中的内容，通常和验证检测、扩大抽检同步进行。

**3.6.3** 本条引用了《检测和校准实验室能力的通用要求》ISO/IEC 17025 中对检测报告的要求。

**3.6.4** 检测报告内容除应符合《检测和校准实验室能力的通用要求》ISO/IEC 17025 的有关规定外，还应包含桩基工程的特定信息。

**3.6.5** 本条的规定是计量认证和资质管理的要求。

## 4 单桩竖向抗压静载法

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 竖向抗压静载法是公认的确确定单桩竖向抗压承载力最直观、最可靠的传统方法。在国内外、在不同行业间，因基桩使用环境、工况的差异，有循环荷载法、等变形速率法及终级荷载长时间维持法等方法。本章主要对深圳市建筑工程中惯用的维持荷载法进行了技术规定。

**4.1.2** 对工程桩抽样检测，为具备足够的安全储备，规定了最大加载量不应小于单桩承载力特征值的 2.0 倍。

**4.1.3** 为设计提供依据的静载试验宜加载至极限状态，即试验应进行到能确定单桩极限承载力为止。

**4.1.4** 桩身内力测试可参照行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中的有关规定执行。

### 4.2 仪器设备

**4.2.1** 为防止加载偏心，千斤顶的合力中心应与反力装置的重心、桩轴线重合，并保证合力方向铅直。

**4.2.2** 加载反力装置的形式增加了锚杆反力装置。对单桩极限承载力较小的摩擦桩可用土层锚杆提供反力；对岩面浅的嵌岩桩，可利用岩石锚杆提供反力。采用压重平台反力装置，当荷载水平较高时，压重施加于地基的压应力较大，很容易引起地基较大变形，影响检测结果，更为甚者，存在较大安全隐患，此时宜制定地基处理方案，以满足检测的要求。

**4.2.3** 用荷重传感器和用压力传感器两种荷载测量方式的区别在于：前者采用荷重传感器测量每台千斤顶的出力，多台千斤顶并联工作时，由于各千斤顶的出力有差异，应在各千斤顶上均放

置荷重传感器。后者需通过率定曲线换算成千斤顶出力，这其中包含了千斤顶活塞摩擦力。采用压力传感器测定油压时，为保证测量精度和稳定性，可采用压力表同时监控和校核压力传感器，压力表精度等级应优于或等于 0.5 级。当油路工作压力较高时，有时出现油管爆裂、接头漏油、油泵加压不足造成千斤顶出力受限、压力表线性度变差等情况，所以应选用耐压高、工作压力大的油管、油泵和大量程压力表。

**4.2.4** 基准桩应打入地面以下足够的深度，通常不小于 1m。基准梁应一端固定，另一端简支，这是为减少温度变化引起的基准梁挠曲变形。基准梁不宜过长，并应采取有效遮挡措施，以减少温度变化和风雨的影响，尤其在阳光照射强烈、昼夜温差较大时更应注意。

**4.2.5** 沉降测定平面宜在千斤顶底座承压板以下的桩身位置，即不得在承压板上或千斤顶上设置沉降观测点，以避免因承压板变形导致沉降观测数据失实。

**4.2.7** 在检测加、卸载过程中，荷载将通过锚桩（锚杆）、压重平台支墩传至受检桩和基准桩周围地基土，并使之变形。随着试桩、基准桩和锚桩（或压重平台支墩）三者间相互距离的缩小，地基土变形对试桩、基准桩的附加应力和变位影响加剧。

关于压重平台支墩边与基准桩和试桩之间的最小间距问题，应区别两种情况对待，在场地土质较硬时，堆载引起的支墩及其周边地面沉降和试验加载引起的地面回弹均很小，但在软土地，大吨位堆载由于支墩影响范围大应特别重视。在远离支墩处，用水准仪或张紧的钢丝观测基准桩的竖向位移，也是可行的沉降测量的辅助手段。

### 4.3 检测工作

**4.3.1** 为便于安装位移传感器，受检桩顶部宜高出试坑底面；为使受检桩的受力条件与设计条件相同，试坑底面宜与承台底标

高一一致。对于工程桩抽样检测，当最大加载量较低时，允许采用水泥砂浆将桩顶找平的简单桩头处理方法。

**4.3.2** 本条主要是考虑在实际工程桩检测中，因锚桩质量问题而导致检测失败或中途停顿的情况时有发生，为此建议在检测前对灌注桩及有接头的预制桩进行桩身完整性检测，大致确定其能否作锚桩使用。对比检测前和检测后受检桩的桩身完整性，有助于分析静载法检测结果。

**4.3.3、4.3.4** 慢速维持荷载法是我国公认且已沿用多年的标准试验方法，也是衡量其他承载力检测方法的唯一标准。本市大量静载试验数据显示，桩端持力层设置在强风化岩（或以上土层）的灌注桩和采用静压工艺施工的预制桩，其竖向抗压静载法检测结果不满足设计要求的概率偏高， $Q-s$  曲线多呈缓变型，单级荷载作用下桩顶沉降稳定时间长。对于上述两类较易出现问题的桩和为设计提供依据的试验桩，一律不得采用快速维持荷载法。对于工程桩抽样检测，应首先针对成桩质量相对最不可靠的基桩采用慢速维持荷载法，当其检测结果满足设计要求后，方可选用快速维持荷载法检测其余基桩。这样，既能保证检测结果的可靠性，也能提高检测效率。

**4.3.6** 大量资料显示，静载试验首次稳定后，由于本市强烈阳光照射等其他因素的影响，基准梁易产生温度变形，经常导致荷载稳定过程中沉降缩小，这违背了桩-土体系受压的力学原理。而且，我市均采用静载测试仪进行静载试验，系统加压和补压由仪器自动控制，形成假稳定的概率非常小，要求连续两次相对稳定也是没有必要的。因此，本条第3款规定了慢速维持荷载法沉降首次相对稳定后即可施加下一级荷载。

**4.3.7** 在工程桩抽样检测中，国内某些行业或地方标准允许采用快速维持荷载法。部分标准未提出适宜的沉降相对稳定标准，本条对此作出了规定。

**4.3.8** 当桩身存在水平整合型缝隙、桩端有沉渣或吊脚时，在较低竖向荷载时常出现本级沉降超过上一级荷载对应沉降量5倍

的陡降，当缝隙闭合或桩端与硬持力层接触后，随着维荷时间延续、荷载增加，变形梯度逐渐变缓。可是当桩身强度不足而被压断，也会出现陡降，与前不同的是随着沉降增加，荷载不能维持甚至大幅降低。所以，出现陡降后不宜立即卸荷，而应看最终桩顶总沉降量是否超过 40mm，以大致判断造成陡降的原因。

## 4.4 检测结果

**4.4.1** 除  $Q-s$ 、 $s-lgt$  曲线外，还有  $s-lgQ$  曲线。为便于直观地比较结果，同一工程的全部受检桩的结果曲线应按相同的沉降纵坐标比例绘制，沉降纵坐标最大值不宜小于 40mm。

**4.4.2** 大量实践经验表明：当沉降量达到桩径的 10% 时，才可能出现极限荷载（太沙基和 ISSMFE）。黏性土中端阻充分发挥所需的桩端位移为桩径的 4%~5%，而砂土中至少达到 15%。故本条第 3 款对缓变型  $Q-s$  曲线，按  $s=0.05D$  确定直径大于或等于 800mm 桩的单桩竖向抗压极限承载力大体上是保守的。桩径在 800mm 以上的桩定义为大直径桩，当桩端直径  $D=800\text{mm}$  时， $0.05D=40\text{mm}$ ，正好与中、小直径桩的取值标准衔接。应该注意，世界各国按桩顶总沉降确定极限承载力的规定差别较大，这和各国安全系数的取值大小，特别是上部结构对桩基沉降的要求有关。

《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中，取缓变型  $Q-s$  曲线  $s=40\text{mm}$  对应的荷载值为单桩竖向抗压极限承载力，且该规范规定桩基沉降不得超过建筑物的沉降允许值。考虑到本市多采用端承型桩，故将 2007 版中的“ $s=0.05D$ （ $D$  为桩端直径）且  $s \leq 80\text{mm}$ ”改为“ $s \leq 60\text{mm}$  和  $s \leq 80\text{mm}$  两种情况”，前者适用于嵌岩桩，目的在于控制差异沉降，后者适用于非嵌岩桩，以与行标《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 和省标《建筑地基基础检测规范》DBJ 15—60 相协调。

关于桩身弹性压缩量，当进行桩身应变或位移测试时是可测

得的；缺乏测试数据时，可假设桩身轴力沿桩长倒梯形分布进行估算，或忽略端承力按倒三角形保守估算，计算公式为  $\frac{QL}{2EA}$ 。

**4.4.3** 本条只适用于为设计提供依据时的竖向抗压承载力检测值结果的统计，统计取值方法按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定执行。

**4.4.4** 在国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中，单桩竖向承载力特征值为单桩竖向极限承载力除以安全系数 2，行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 亦同，但区别在于，各规范对缓变型 Q-s 曲线确定极限承载力有区别，GB 50007 严于 JGJ 106。

本市大直径桩几乎都是端承型桩，即使是大直径扩底灌注桩也多以强风化岩为桩端持力层，正常时，多数桩在 2 倍特征值的荷载下，沉降不会太大，接近 60mm~80mm 比较少。按 60mm~80mm 合格的标准，可能存在同一结构下的端承桩，因个别桩的沉降太大，而出现较大差异沉降的情况。

静载法检测结果最终给出的是极限承载力，而设计布桩时，使用的是特征值。按照沉降控制设计原则，特征值对应的沉降不能太大，对此设计单位应根据结构要求予以验算、取值。可以参考行业标准《大直径扩底灌注桩技术规范》JGJ/T 225，对缓变型 Q-s 曲线，取 10mm 或 15mm 沉降对应的荷载作为单桩竖向承载力特征值。故此，当设计有明确要求时，可依据设计要求、相关规范确定单桩竖向抗压承载力特征值。

**4.4.5** 本条规定了检测报告中应包含的一些内容，避免检测报告过于简单，也有利于委托方、设计方及检测部门对报告的审查和分析。

## 5 单桩竖向抗拔静载法

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 单桩竖向抗拔静载法是确定单桩竖向抗拔承载力最直观、可靠的方法。

**5.1.2** 对工程桩抽样检测，最大加载量宜取设计要求的单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍，但考虑到有时设计未按 2.0 倍特征值配筋、工程桩桩身裂缝控制要求等特殊情况，在有足够的安全储备时，可按设计要求控制最大加载量。

**5.1.3** 对冲（钻）孔灌注桩，在灌注混凝土前进行成孔质量检测，目的是查明桩孔有无明显扩径现象或出现扩大头，因这类桩的抗拔承载力缺乏代表性，特别是有扩大头的桩及桩身中下部有明显扩颈的桩，其抗拔极限承载力远远高于长度和桩径相同的非扩颈桩，而且相同荷载下的上拔量也有明显差别。试验桩宜加载到能判别单桩抗拔极限承载力为止，或加载到桩身材料设计强度。

**5.1.4** 对预制管桩抗拔力的检测实际包括了两方面的内容，一是检测桩土之间的摩阻力，二是检测填芯混凝土和桩管内壁间的粘结力，而后者对于前者的发挥起着传递荷载的作用，在前者未充分发挥前，后者是不允许提前失效的。根据最大加载量，按照工程桩设计选用的参数验算或专门设计桩顶连接，就能在对桩土之间摩阻力检测的同时也对填芯混凝土和桩管内壁间的粘结力进行检测。

**5.1.5** 桩身内力测试可参照行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中的有关规定执行。

### 5.2 仪器设备

**5.2.1** 本条的要求基本同本规程第 4.2.1 条。因拔桩试验时千

斤顶安放在反力架上，当采用 2 台以上千斤顶加载时，应采取一定的安全措施，防止千斤顶倾倒等意外事故发生。

**5.2.2** 由桩提供反力时，桩顶的材料强度和桩的承载力应能满足加载的要求，为保证反力梁的稳定性，应注意反力桩顶面直径（或边长）不小于反力梁宽。当采用天然地基提供反力时，在加载带来的附加压应力作用下，地基土的压缩变形量不宜过大，以无明显变形为宜。另外，两边支座处的地基土强度应相近，两边支座与地面的接触面积宜相同，以避免加载过程中两边沉降不均造成受检桩偏心受拉。

**5.2.5** 桩顶上拔量测量平面必须在桩身位置，严禁在混凝土桩的受拉钢筋上设置位移观测点，以避免因钢筋变形导致上拔量观测数据失实；为防止混凝土桩保护层开裂对上拔量测量的影响，上拔量观测点应避开混凝土明显开裂区域设置。

**5.2.6** 为防止支座处地基沉降对基准桩的影响，基准桩与支座、试桩各自之间的间距应符合本规程第 4.2.7 条的规定（其中“压重平台支墩”相当于本条中的“支座”），同时基准桩应打入试坑地面以下足够深度，一般不小于 1m。

### 5.3 检测工作

**5.3.1** 在工程桩检测前，对灌注桩及有接头的预制桩采用低应变法检测桩身完整性（有时也需验算预制桩接头强度），目的是了解桩身完整性是否有可能对抗拔承载力产生影响，也便于对抗拔法检测结果的分析。

拔桩试验时，常因拉应力过大造成桩身开裂或破损，因此承载力检测完成后的桩身完整性检测比检测前更有价值。

**5.3.2** 如需循环加卸载可参照相关规程进行，如：《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ 72。在后几级加载等级时，有条件者宜仔细观察桩身混凝土开裂情况。

**5.3.3** 出现本条所列的四种情况之一时，可终止加载。若在较小荷载作用下，出现本级桩顶上拔量大于前一级荷载下的 5 倍，

而桩的累计上拔量却不大，受检桩自身结构承载力和桩周土承载力可能未发挥至极限，比如，有扩大头的桩，只有当桩顶产生一定上拔量后才会调动下部土体的抗拔承载力，所以要求有一定上拔量后才停止加载是合理的，故此这里增加了累计上拔量应大于15mm的限制条件。

## 5.4 检测结果

**5.4.1** 抗拔静载法与抗压静载法一样，应绘制  $U-\delta$  曲线、 $\delta-\lg t$  曲线，但当上述两种曲线难以判别时，也可以辅以  $\delta-\lg U$  曲线或  $\lg U-\lg \delta$  曲线，以确定拐点位置。

**5.4.2** 本条前两款确定的单桩竖向抗拔承载力检测值是土的极限抗拔阻力与桩（包括桩向上位移所带动的土体）的自重两部分之和。第3款所指的“断裂”是因钢筋强度不足产生的断裂。为设计提供依据的抗拔试验中，因抗拔钢筋受力不均匀，在桩顶上拔荷载接近钢筋强度标准值时，部分钢筋因受力太大而断裂，应视该试验无效并进行补充试验，不能将钢筋断裂前一级荷载作为极限荷载。工程桩抽样检测时，混凝土桩抗拔承载力可能受抗裂或钢筋强度制约，而土的抗拔阻力尚未发挥到极限，宜取最大加载量或取上拔量控制值对应的荷载作为单桩竖向抗拔承载力检测值，不宜外推。

## 6 单桩水平静载法

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 桩的水平静载法除了桩顶自由的试验外，还有带承台的水平静载试验（考虑承台的底面阻力和侧面抗力，充分反映桩基在水平力作用下的实际工作状态）、桩顶不能自由转动的不同约束条件及桩顶施加垂直荷载等试验方法，也有循环荷载的加载方法。这一切都可根据设计的特殊要求给予满足。

**6.1.2** 桩的抗弯能力取决于桩和土的力学性能、桩的自由长度、抗弯刚度、桩宽、桩顶约束等因素。试验条件应尽可能和实际工作条件接近，将各种差别的影响降低到最小的程度，使试验成果能尽量反映工程桩的实际情况。通常情况下，试验条件很难做到和工程桩的情况完全一致，此时应通过试验桩测得桩周土的地基反力特性，即地基土水平抗力系数。它反映了桩在不同深度处桩侧土抗力和水平位移之间的关系，可视为土的固有特性。根据实际工程桩的情况，参考《建筑桩基技术规范》JGJ 94，确定土抗力大小，进而计算单桩的水平承载力和弯矩。

### 6.2 仪器设备

**6.2.2** 当依据设计要求加载至桩身结构破坏时，反力桩或反力装置应能够提供相应的反力并具有相应的刚度。

**6.2.3** 水平力作用点位置不在桩基承台底面标高处时，由于边界条件的改变，试验时在相对承台底面处将产生附加弯矩，影响测试结果，也不利于将试验成果根据实际桩顶的约束予以修正。在试验过程中，必须使用球形铰支座以保持作用力的方向始终水平和通过桩轴线，不随桩的倾斜或扭转而改变。

## 6.3 检测工作

**6.3.1** 在检测前,采用低应变法检测桩身完整性,目的是了解桩身完整性是否有可能对水平承载力产生影响,也便于对水平法检测结果的分析。对于混凝土桩,常因推力过大造成桩身开裂或破损,因此水平承载力检测完成后的桩身完整性检测更重要。

**6.3.2** 单向多循环加载法,主要是为了模拟实际结构的受力形式。由于结构物承受的实际荷载异常复杂,所以当需考虑长期水平荷载作用影响时,宜采用本规程第4章规定的慢速维持荷载法。水平试验桩多为桩身结构破坏,为缩短试验时间,也可参照港口工程桩基水平承载力试验方法,采用更短时间的快速维持荷载法。

**6.3.4** 对抗弯性能较差的长桩或中长桩而言,承受水平荷载桩的破坏特征是弯曲破坏,即桩身发生折断,此时试验自然终止。在工程桩水平承载力验收检测中,终止加荷条件可按设计要求或标准规范规定的水平位移允许值控制。考虑软土的侧向约束能力较差以及大直径桩的抗弯刚度大等特点,终止加载的变形限可取上限值。对一般建筑物,水平允许变形为10mm;敏感建筑物或特殊使用要求的建筑物水平允许变形仅为6mm。

## 6.4 检测结果

**6.4.2** 本条中的地基土水平抗力系数随深度增大的比例系数  $m$  的计算公式仅适用于水平力作用点至试坑底面的桩自由长度为零时的情况。试验得到的地基土水平抗力系数的比例系数  $m$  不是一个常量,而是随地面水平位移及荷载而变化的曲线。按桩、土相对刚度不同,水平荷载作用下的桩-土体系有两种工作状态和破坏机理,一种是“刚性短桩”,因转动或平移而破坏,相当于  $\alpha h < 2.5$  时的情况;另一种是工程中常见的“弹性长桩”,桩身产生挠曲变形,桩下段嵌固于土中不能转动,即本条中  $\alpha h \geq 4.0$  的情况。在  $2.5 \leq \alpha h < 4.0$  范围内,称为“有限长度的中长桩”。

《建筑桩基技术规范》JGJ 94 对中长桩的  $\nu_y$  变化给出了具体数值 (见表 1)。因此, 在按公式 (6.4.2-1) 计算  $m$  值时, 应先试算  $ah$  值, 以确定  $ah$  是否大于或等于 4.0, 若在 2.5~4.0 范围以内, 应调整  $\nu_y$  值重新计算  $m$  值 (有些行业标准不考虑)。当  $ah < 2.5$  时, 公式 (6.4.2-1) 不适用。

表 1 桩顶水平位移系数  $\nu_y$

桩的换算埋深 $ah$	4.0	3.5	3.0	2.8	2.6	2.4
桩顶自由或铰接时的 $\nu_y$ 值	2.441	2.502	2.727	2.905	3.163	3.526

注: 当  $ah > 4.0$  时取  $ah = 4.0$ 。

**6.4.3** 对于混凝土长桩或中长桩, 随着水平荷载的增加, 桩侧土体的塑性区自上而下逐渐开展扩大, 最大弯矩断面下移, 最后形成桩身结构的破坏。所测水平临界荷载为桩身产生开裂前所对应的水平荷载。因为只有混凝土桩才会产生开裂, 故只有混凝土桩才有临界荷载。

**6.4.5** 单桩水平承载力特征值除与桩的材料强度、截面刚度、入土深度、土质条件、桩顶水平位移允许值有关外, 还与桩顶边界条件 (嵌固情况和桩顶竖向荷载大小) 有关。由于建筑工程基桩的桩顶嵌入承台深度通常较浅, 桩与承台连接的实际约束条件介于固接与铰接之间, 这种连接相对于桩顶完全自由时可减少桩顶位移, 相对于桩顶完全固接时可降低桩顶约束弯矩并重新分配桩身弯矩。如果桩顶完全固接, 水平承载力按位移控制时, 是桩顶自由时的 2.60 倍; 对较低配筋率的灌注桩按桩身强度 (开裂) 控制时, 由于桩顶弯矩的增加, 水平临界承载力是桩顶自由时的 0.83 倍。如果考虑桩顶竖向荷载作用, 混凝土桩的水平承载力将会产生变化, 桩顶荷载是压力, 其水平承载力增加, 反之减小。

桩顶自由的单桩水平试验得到的承载力和弯矩仅代表试桩条件的情况, 要得到符合实际工程桩嵌固条件的受力特性, 需将试桩结果转化, 而求得地基土水平抗力系数是实现这一转化的关

键。考虑到水平荷载-位移关系的非线性且  $m$  值随荷载或位移增加而减小，有必要给出  $H-m$  和  $Y_0-m$  曲线并按以下考虑确定  $m$  值：

- 1 可按设计给出的实际荷载或桩顶位移确定  $m$  值；
- 2 设计未作具体规定的，可取水平承载力特征值对应的  $m$  值。

与竖向抗压、抗拔桩不同，混凝土桩（除高配筋率桩外）在水平荷载作用下的破坏模式通常为弯曲破坏，极限承载力由桩身强度控制。在单桩水平承载力特征值的确定上，没有采用水平极限承载力除以安全系数的方法，而是把桩身强度、开裂或允许位移等条件作为控制因素。不过，也正是因为水平承载桩的承载能力极限状态主要受桩身强度（抗弯刚度）制约，通过水平静载试验给出的极限承载力和极限弯矩对强度控制设计非常必要。

抗裂要求不仅涉及桩身强度，也涉及桩的耐久性。虽然本条第3款可按设计要求的水平允许位移确定水平承载力，但根据《混凝土结构设计规范》GB 50010，只有裂缝控制等级为三级的构件，才允许出现裂缝，且桩所处的环境类别至少是二级以上（含二级），裂缝宽度限值为 0.2mm。因此，当裂缝控制等级为一、二级时，水平承载力特征值就不应超过水平临界荷载。

## 7 高应变法

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 本条描述了高应变法的适用范围。

判定单桩竖向抗压承载力和检测桩身完整性是高应变法的主要功能。这里的承载力是指岩土对桩的静土阻力，是在桩身材料强度满足桩身承载力的前提下得到的。所以要得到极限承载力，应使桩侧和桩端岩土阻力充分发挥，否则不能得到承载力的极限值。

高应变法检测桩身完整性时，由于其激发能量大、检测有效深度深的优点，特别在检测桩身水平整合型裂缝、预制桩接头缝隙等缺陷时，能够在分析这些“缺陷”是否影响竖向抗压承载力的基础上，更加合理地评价缺陷程度、完整性类别。

此外，高应变法还有以下几项功能：

1 用实测曲线拟合法分析时，可计算出桩身缺陷的位置及缺损程度、桩侧摩阻力、桩端阻力及阻力分布；

2 打桩监控，监测打桩过程中桩随入土深度的增加承载力的变化情况、桩身应力、裂缝等缺陷的发展情况及桩锤效率；

3 选择沉桩设备及工艺参数、选择合理的桩长及收锤标准。

**7.1.2** 采用挤土沉桩工艺，尤其是大面积密集群桩施工时，由于施打顺序不合理、打桩速率过快、土体的侧挤和隆起等不利因素，造成先期沉桩的上浮情况时有发生，因此对施工过程产生挤土效应群桩的高应变法检测应首先判断受检桩是否有上浮情况。当确认有上浮情况时，应取第一击信号进行分析计算，否则随着锤击次数的增加，受检桩上浮情况逐渐消除，承载力会逐渐提高。若采用第一击之后承载力检测值增加了的信号分析计算，可能会造成受检场地其他上浮桩漏检的状况，会产生较大的质量

隐患。

## 7.2 仪器设备

**7.2.1** 本条规定了检测仪器设备所应具备的基本功能和性能要求。建议根据实测经验合理选择加速度传感器的量程，宜选择量程大于预估最大冲击加速度的一倍以上，如钢桩，宜选取 $20000\text{m/s}^2 \sim 30000\text{m/s}^2$ 量程的加速度传感器。

**7.2.2** 现场检测时，重锤对桩的冲击也会使桩周土产生振动，因此不宜采用设置基准梁（桩）的方法实测贯入度，宜采用精密水准仪等光学仪器来测量。

**7.2.3** 现场检测时，对预制桩可用现场打桩机械或类似的装置作为锤击设备，但导杆式柴油锤除外，因其荷载上升时间过于缓慢，容易造成速度响应信号失真。其他桩型则应采用自由落锤，锤击设备宜具有稳固的导向装置。

由于组装锤的单片或扁平的强夯锤，下落时平稳性差且不容易导向，更易造成锤击偏心，影响测试质量，因此规定锤体高径（宽）比不得小于1.0。

**7.2.4** 对锤重的要求是为了保证检测时桩土之间产生足够大位移，激发出土的极限承载力，同时重锤低击能减小锤击偏心的影响，并防止桩顶应力过大而破损。当桩较长或桩径较大时，使桩侧阻力、桩端阻力充分发挥所需的位移更大，因此当混凝土桩的桩径大于600mm或桩长大于30m时，锤重应大于单桩竖向抗压承载力特征值的30%。

## 7.3 检测工作

**7.3.1** 桩头顶部设置桩垫是为了保护桩顶，避免击碎桩头，同时也为了得到良好的实测信号，桩垫应根据现场检测情况及时更换。

安装传感器在检测工作中十分重要，安装的好坏直接影响到信号的质量，传感器应由专业技术人员安装。传感器与桩顶之间

距离为  $2d$  或  $2b$  的限制是为了得到高质量的实测信号，同时也是为了保护传感器。

由于测点附近截面力学阻抗值的变化会对实测信号产生干扰，因此传感器安装面的材质和截面尺寸应与原桩身相同。对于桩头进行了修复或加固处理后的桩，传感器应尽可能安装在原桩身上。

深圳市承载力的时间效应比较明显。一般情况下成桩后承载力随时间而增长，并趋于稳定。承载力恢复系数目前尚无非常成熟的地区经验，因此工期紧、休止时间不够时，除非得到的单桩承载力已达到设计要求，否则检测时间应符合本规程第 3.3.4 条的规定。

### 7.3.2 本条规定了检测前参数的设定。

高应变法现场检测时实测的是桩顶部测点处的应变和加速度信号，然后根据设定的参数值计算出桩身应力和速度。因此，参数的设定应按测点处桩的性状来设定。

测点下桩长是传感器安装点至桩底的距离，不包括桩尖部分。

在时间、距离和波速三个量中，必须已知两个才能求出第三个。因此在检测前要尽可能掌握桩的实际长度。为了验证实际桩长，检测后应用计算得到的桩身波速对提供的桩长进行校核。

混凝土桩身波速大小除与桩身材质有关外，还和成桩工艺、龄期等有关。同一场地的灌注桩桩身波速有时相差也较大，所以应按本规程第 7.4.3 条的规定，采用桩底反射信号进行校核，用实测桩身波速作为设定值。混凝土桩桩身波速在  $3000\text{m/s} \sim 4500\text{m/s}$  之间；钢桩桩身波速取  $5120\text{m/s}$ 。

### 7.3.3 本条规定了现场检测的基本要求。

1 因传感器外壳与仪器外壳共地，当测试现场潮湿，传感器对地未绝缘时，交流供电时常会出现  $50\text{Hz}$  干扰，所以应使检测仪器良好接地或改用直流供电。

2 当采用自由落锤时，锤重及落距的选择也可采用波动理论预分析确定。规定重锤低击及最大锤击落距的限制是基于以下

几个方面的因素：

- 1) 锤击落距越高越容易产生锤击偏心；
- 2) 桩顶的最大锤击力只与锤冲击桩顶的初速度有关，与桩顶最大速度成正比，落距过大，桩顶初速度偏高，容易击碎桩头、造成桩尖破损，有时还会造成桩身拉裂；
- 3) 轻锤高击并不能有效提高桩锤传递给桩的能量和增大桩顶位移，锤击脉冲较窄，波传播的不均匀性，即桩身受力和运动的不均匀性（惯性效应）较明显，实测信号中的动阻力影响程度加剧，而与位移相关的静土阻力呈明显的分段发挥态势，致使承载力的测试分析误差增大；
- 4) 如将锤重增加到单桩极限承载力特征值的 10%~20% 以上，则可得到与静动法（STATNAMIC 法）相似的长持续力脉冲作用，此时，由于桩身中的波传播效应大大减弱，桩侧、桩端岩土阻力的发挥更接近静载作用时桩的荷载传递性状。

因此，“重锤低击”是保障高应变法判定承载力准确性的基本原则。

### 3 关于单击贯入度

单击贯入度是反映桩侧、桩端土阻力是否充分发挥的一个重要条件。要判定受检桩的极限承载力，测试时就应使桩周土产生一定的塑性变形。贯入度过小，即通常所说的“打不动”，使判定的承载力检测值低于极限值。但单击贯入度过大，会造成的桩周土扰动大，使高应变承载力分析所用的土的力学模型，对真实的桩-土互相作用的模拟接近程度等变差，此时激发出的承载力也不代表受检桩的极限承载力。因此本条要求单击贯入度控制在 2mm~6mm，是从保证承载力分析计算结果的可靠性出发的。虽然本条给出的贯入度的合适范围，但不能片面理解成在检测中应减小锤重使单击贯入度不超过 6mm，“6mm 贯入度”只是一

个统计参考值。

#### 4 桩身完整性检测

由于高应变法是通过实测岩土对桩的极限阻力来检测单桩承载力的，适用于常见的地基破坏模式，因此在检测单桩承载力时，应先检测桩身是否有缺陷。

**7.3.4** 对记录锤击信号数量的规定是为了确保采集到可靠的信号供后续分析。本条规定的锤击信号是指有效的锤击信号，即可用于后续分析的锤击信号。

高应变法检测成功的关键是信号质量以及信号中的信息是否充足。所以应根据每锤信号质量以及贯入度、动位移和大致的土阻力发挥情况，初步判别采集到的信息是否满足检测目的的要求。同时也要检查混凝土桩锤击拉、压应力和缺陷程度大小，以决定是否进一步锤击，避免桩头或桩身受损。自由落锤锤击时，锤的落距应由低到高逐步增加。打入式预制桩则按每次采集一阵（10击）信号进行判别。

**7.3.5** 检测现场情况复杂，经常存在各种不利影响。为确保采集到可靠的信号，检测人员应能正确判断信号质量，熟练地诊断检测系统的各类故障，排除干扰因素。如检测中及时检查信号质量、传感器的安装情况、测点处混凝土是否开裂等，这些都是采集到高质量信号的必要条件，应引起高度重视。

除柴油锤施打的长桩信号外，力或速度信号尾部应归零。如发现不归零现象，说明检测过程中的某一环节出现了问题，如混凝土桩，可能是传感器或传感器安装面处的混凝土受损，或传感器的安装等问题所致，应立即进行检查。

### 7.4 检测结果

**7.4.1** 高应变法之所以有生命力，表现在高应变信号不同于随机信号的可解释性，即使不采用复杂的数学计算和提炼，只要信号质量有保证，就能定性地反映桩的承载性状及其他相关的动力学问题。因此，承载力分析计算前，应由具有坚实理论基础和丰

富实践经验的高素质检测人员对信号进行定性检查和正确判断。

高应变法测得的是检测时激发出的土阻力值，要使土阻力充分激发，锤击能量应足够大，使单击贯入度在 2mm~6mm 之间，如锤击能量不足，单击贯入度偏小，无法测得极限承载力，此时只能作为检验性测试，即证明岩土阻力至少能达到的程度。

良好的锤击信号是取得正确分析结果的必要条件，所以在信号选取时，除了考虑锤击能量足够大，以使桩土间有一定的位移量外，还应对以下情况给予足够的重视：

- 1 对桩身有缺陷的桩，锤击使缺陷进一步发展；
- 2 连续打桩时桩周土的扰动及残余应力；
- 3 速度基线修正引起的误差；

4 对桩垫过厚和柴油锤的冷锤信号，应考虑因加速度测量系统的低频特性所造成的速度信号误差或严重失真。

所以信号选取时，要对以上各情况综合考虑。在保证锤击能量足以使土阻力充分发挥的前提下，也可能选取的不是锤击能量最大的那一击。当然，当确认受检桩存在上浮时应取第一击信号进行分析计算。

**7.4.2 锤击偏心**是指某一边力信号与另一边力信号的幅值不同，幅值相差超过一倍属严重偏心，其信号不得用于分析计算。因为锤击偏心很难避免，所以严禁用单道信号代替平均信号。

信号的质量除了与传感器安装好坏、锤击是否偏心、安装面混凝土是否开裂等因素有关外，还和混凝土的不均匀性和非线性有关。这些影响对应变式传感器测得的、经转换得到的力信号尤其敏感。混凝土的非线性表现为随着应变的增加，割线模量减小，并出现塑性变形，使力信号最终不归零。

现场检测时若传感器灵敏度系数和仪器增益设置无误，在分析时严禁将力或速度信号再重新标定。若有力和速度信号不重合等现象，应仔细分析，找出原因。

**7.4.3 桩身波速**是否正确，对总阻力的计算结果有直接的影响，而判定桩身波速所具备的必要条件是已知准确桩长，所以用高应

变法检测承载力时，预知实际桩长是试验结果是否正确的必要条件。就目前高应变检测技术的原理和水平来看，在对桩长毫无所知的情况下，错判的可能性是较大的。

桩底反射明显时，桩身波速也可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。

对桩底反射波峰变宽或有水平裂缝的桩，不应根据峰与峰间的时差来确定桩身波速。桩较短且锤击力信号上升缓慢时，可采用低应变法确定桩身波速。

当桩身波速按实测信号改变后，测点处的原设定桩身波速也按比例线性改变，弹性模量则应按平方的比例关系改变。当采用应变式传感器测力时，多数仪器并非直接保存实测应变值，有些是以速度（ $v = c \cdot \epsilon$ ）的单位存储。若弹性模量随桩身波速改变后，仪器不能自动修正以速度为单位存储的力信号，则应对原始实测力信号校正。

**7.4.4** 在多数情况下，正常施打的预制桩，力和速度信号第一峰应基本成比例。但在以下几种情况下不成比例属于正常：

- 1 桩浅部阻抗变化和土阻力影响；
- 2 采用应变式传感器测力时，测点处混凝土的非线性造成力值明显偏高；
- 3 锤击力信号上升缓慢或桩很短时，土阻力波或桩底反射波的影响。

除第2种情况减小力值，可避免计算的承载力过高外，其他情况随意调整比例均是对实测信号的歪曲，会产生虚假的结果。因此，禁止将实测力或速度信号重新标定，这一点必须引起重视。

**7.4.5** 从理论上讲，实测曲线拟合法是客观唯一的，但由于桩、土以及它们之间的相互作用等力学行为的复杂性，实际运用时还不能对各种桩型、成桩工艺、工程地质条件等都达到十分准确地求解桩的动力学和承载力问题的效果，所以采用实测曲线拟合法应注意下列问题：

## 1 关于桩与土模型：

- 1) 目前实测曲线拟合法采用的土的静阻力模型为理想弹 - 塑性模型或考虑土体硬化或软化的双线性模型。在加载阶段，土体变形小于或等于  $s_q$  时，土体在弹性范围工作；变形超过  $s_q$  后，进入塑性变形阶段（理想弹-塑性时，静阻力达到  $R_0$  后不再随位移增加而变化）。对于卸载阶段，同样要规定卸载路径的斜率和弹性位移限。
- 2) 土的动阻力模型，应采用与桩身质点运动速度成比例的线性黏滞阻尼模型。
- 3) 桩的力学模型通常采用一维杆件模型，桩单元划分应采用等时单元，即应力波通过每个单元的时间相等。为保证计算精度，不宜采用弹簧 - 质量块的离散模型。
- 4) 桩单元除考虑  $A$ 、 $E$ 、 $c$  等参数外，也可考虑桩身阻尼和裂隙。另外，也可考虑桩底的缝隙、开口桩或异形桩的土塞、残余应力影响和其他阻尼形式。
- 5) 所用模型的物理学概念应明确，参数取值应能限定，避免采用可使承载力计算结果产生较大变异的桩 - 土模型及参数。

2 拟合时应根据波形特征，结合施工和工程地质条件合理确定桩土参数取值。因为拟合所用的桩土参数的数量和类型繁多，参数各自和相互间耦合的影响非常复杂，而拟合结果并非唯一解，需通过综合比较判断进行参数选取或调整。正确选取或调整的要点是参数取值应在岩土工程的合理范围内。

3 自由落锤产生的力脉冲持续时间通常不超过 20ms，但柴油锤信号在主峰过后的尾部仍然能产生较长的低幅值延续；另外与位移相关的总静阻力会不同程度地滞后于  $2L/c$  发挥，当端承桩的端阻力发挥所需位移很大时，土阻力发挥将产生严重滞后，因此规定  $2L/c$  后延时足够的时间，使曲线拟合能包含土阻力响应区段的全部土阻力信息。由于同样的原因，曲线拟合质量系数

的计算方法也应考虑到这种滞后性。

4 为防止土阻力未充分发挥时的承载力外推, 设定的  $s_q$  值不应超过对应单元的最大计算位移值。若桩、土间相对位移不足以使桩周岩土阻力充分发挥, 则得出的承载力结果只能验证岩土阻力发挥的最低程度。贯入度的计算值与实测值是否接近, 是判断拟合选用参数, 特别是  $s_q$  值是否合理的辅助指标。

5 土阻力响应区是指信号上呈现的静土阻力信息较为突出的时间段。本条第 5 款特别强调此区段的拟合质量, 应避免只重信号头尾, 忽视中间土阻力响应区段拟合质量的错误做法, 应通过合理的加权方式计算总的拟合质量系数, 突出其影响。

7.4.6 凯司法的计算公式是在以下三个近似假定下推导出来的:

- 1 桩身阻抗基本恒定;
- 2 动阻力只与桩底质点运动速度成正比, 即全部动阻力集中于桩端;
- 3 土阻力在时刻  $t_1 + 2L/c$  已充分发挥。

显然, 它较适用于摩擦型的中、小直径预制桩和截面较均匀的灌注桩。由于凯司法的计算公式是在以上近似假定下得到的, 因此, 所有和假定不符的影响都将反映到阻尼系数  $J_c$  中去, 所以根据实际使用条件的不同, 该系数有两种不同的意义:

1 受检桩的实际情况完全符合近似假定时,  $J_c$  是桩端持力层的凯司阻尼系数, 主要取决于该土层的颗粒细度, 遵循随土中细粒含量增加阻尼系数增大的规律。

2 受检桩的实际情况不完全符合假定时,  $J_c$  将变成一个没有明确意义的综合调整系数, 综合反映受检桩在各个方面的特定条件。

由于凯司法在简化计算时所做的一些近似假定使得它的应用受到一定的限制, 为防止凯司法的不合理应用, 本条规定应采用动静对比试验或实测曲线拟合法确定阻尼系数  $J_c$ 。

7.4.7 凯司法判定单桩承载力检测值, 包括多种不同的算法, 需要使用者根据具体的条件加以选择和应用。凯司法除了公式

(7.4.7-1)的方法外,还有以下几种方法:

1 由于公式(7.4.7-1)给出的 $R_c$ 值与位移无关,仅包含 $t_1 + 2L/c$ 时刻之前所发挥的土阻力信息,通常除较短的摩擦桩外,土阻力在 $t_1 + 2L/c$ 时刻不会充分发挥,检测时岩土对桩的阻力是经过一定的时间才达到其最大值(尤以端承桩显著)。所以,需要采用将计算所取的 $t_1$ 位置向后延迟,以对与位移相关的土阻力滞后于 $t_1 + 2L/c$ 发挥的情况进行提高修正,得到土阻力的最大值,即最大阻力法(RMX法)。

2 桩身在 $t_1 + 2L/c$ 时刻之前产生向上的反弹,使桩身从顶部逐渐向下产生土阻力卸载(此时桩的中下部土阻力属于加载)。负阻力的影响使计算结果偏低,这对于桩较长、摩阻力较大而荷载作用持续时间相对较短的桩较为明显。因此,需要采用将桩中上部卸载的土阻力进行补偿提高修正的卸载法(RSU法)。

3 在桩尖速度为零时,动阻力也为零。取这个时刻来计算总阻力,就可以直接得到静阻力,而无需设定 $J_c$ 。因此得到两种“自动”法:RAU和RA2法。RAU法适用于端承型桩,RA2法适用于具有中等侧阻力的桩。

4 和最大阻力法相对应,通过 $t_1$ 位置向后延迟,得到土阻力的最小值,即最小阻力法(RMN法)。

各方法中,RMX法和RSU法判定单桩承载力,体现了高应变法波形分析的基本概念,即应充分考虑与位移相关的土阻力发挥状态和波传播效应,这也是实测曲线拟合法的精髓所在。

在应用凯司法判定单桩承载力时,应注意以下几个问题:

1 应用凯司法,首先必须准确确定 $t_2$  ( $t_2 = t_1 + 2L/c$ )时刻;

2 受检桩要基本符合凯司法的三个近似假定;

3 必须正确使用凯司法的阻尼系数;

4 正确选择具体的凯司算法。

7.4.8 当出现本条所述各种情况时,高应变法难于分析判定承载力和预示桩身结构破坏的可能性,建议采取验证检测。

7.4.10 用高应变法检测桩身完整性不如低应变法方便快捷，但它却有检测信号强，可对缺陷程度作出定量的计算，发现有缺陷后，可重复进行高能量冲击，观察缺陷的发展趋势等优点。由于高应变法和低应变法检测桩身完整性测出的都是桩身阻抗的变化，所以对桩身完整性的评价是桩身阻抗变化的评价，通常不宜判断缺陷的性质。只要激发的阻力不很大，可以对阻力分布作出假定，再采用实测曲线拟合法单纯地拟合桩身、分析桩身截面阻抗的变化，从而评价出桩身完整性。有些仪器配备了上述分析软件，拟合后能够直接输出桩身阻抗图。特别当实测信号复杂，有一个以上缺陷时，应采用实测曲线拟合法评价桩身完整性。采用实测曲线拟合法分析桩身扩颈、桩身截面渐变或多变的情况时应注意合理选择土参数。

为了正确应用桩身完整性系数，还应指出以下几点：

1 这种定量计算只适用于等截面桩最上面的第一个缺陷。当有轻微缺陷，并确认为水平裂缝（如预制桩的接头缝隙）时，裂缝宽度  $\delta_w$  可按下式计算：

$$\delta_w = \frac{1}{2} \int_{t_a}^{t_b} \left( V - \frac{F - \Delta R}{Z} \right) \cdot dt$$

2 由于计算  $\Delta R$  值的结果是粗略的，求得的  $\beta$  值也不会十分精确。当桩长大于 30m 时，由于土阻力提前卸载， $\beta$  值计算误差较大。当满足本条“等截面桩”和“土阻力未卸载回弹”的条件时， $\beta$  值计算公式为解析解，即  $\beta$  值测试属于直接法，在结果的可信度上，与属于半直接法的高应变法判定承载力是不同的。“土阻力未卸载回弹”限制条件是指：当土阻力  $\Delta R$  先于  $t_1 + 2x/c$  时刻发挥并产生桩中上部明显反弹时， $x$  以上桩段侧阻提前卸载造成  $\Delta R$  被低估， $\beta$  计算值被放大，不安全，因此公式 (7.4.10-1) 不适用。此种情况多在长桩存在深部缺陷时出现。

3 桩身完整性的类别除按表 7.4.10 规定外，还应结合实测信号特性、缺陷位置和范围、桩型、场地工程地质情况、施工工艺、施工记录、检测经验等综合判定。

**7.4.11** 采用实测曲线拟合法分析桩身扩颈、桩身截面渐变或多变的情况时应注意合理选择土参数。

高应变法锤击的荷载上升时间通常在  $1\text{ms}\sim 3\text{ms}$  范围，在桩身最上部区段存在“盲区”，冲击力的持续时间越长，“盲区”越长，缺陷位置离传感器安装面的距离过小时不能用  $\beta$  法判定。对桩身浅部缺陷，只能根据力和速度信号的比例失调程度来估计浅部缺陷程度，不能定量给出缺陷的具体部位，尤其是锤击力信号上升非常缓慢时大量耦合有土阻力影响的情况。对浅部缺陷桩，宜用低应变法检测并进行缺陷定位。

**7.4.12** 桩身锤击拉应力是混凝土预制桩施打抗裂控制的重要指标。在深厚软土地区，打桩初始侧阻和端阻虽小，但桩很长，桩锤能正常爆发起跳，桩底反射回来的上行拉力波的头部（拉应力幅值最大）与下行传播的锤击压力波尾部叠加，在桩身某一部位产生净拉应力。当拉应力超过混凝土抗拉强度时，引起桩身拉裂。开裂部位经常发生在桩的中上部，且桩愈长或锤击力持续时间愈短，最大拉应力出现部位就愈往下移。当桩进入硬土层后，随着打桩阻力的增加拉应力逐步减小，桩身压应力逐步增加，如果桩在易打情况下已出现拉应力水平裂缝，渐强的压应力在已有裂缝处产生应力集中，使裂缝处混凝土逐渐破碎并最终导致桩身断裂。

入射压力波遇桩身截面阻抗增大时，会引起小阻抗桩身压应力放大，破坏形态常为桩身纵向裂缝。有时，打桩过程中桩端碰上硬层（基岩、孤石、漂石等）表现出的突然贯入度骤减或拒锤，继续施打会造成桩身压应力过大而破坏。此时，最大压应力出现在接近桩端的部位。

## 8 低应变法

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 本规程中的低应变法只适用于检测桩身完整性，判定桩身缺陷的位置和程度。

目前，国内多数检测机构采用的低应变法均为反射波法（或瞬态时域分析法），反射波法以一维线弹性杆件为模型，波传播时满足一维杆平截面假设。因此瞬态激振脉冲有效高频分量的波长与杆的横向尺寸之比均宜大于5，桩身截面宜规则。

水泥土桩、CFG桩等桩身阻抗与桩周土的阻抗差异小，应力波在这类桩中传播时能量衰减快，因此，反射波法不适用于水泥土桩、CFG桩等类型桩的检测。还有，反射波法很难分析评价高压灌浆的补强效果，经过高压灌浆补强加固的桩，不宜采用本方法检测。

本方法对桩身缺陷程度只作定性判定。由于桩的尺寸效应、测试系统的幅频及相频响应、高频波的弥散、滤波等造成的实测波形畸变，以及桩侧土阻尼、土阻力和桩身阻尼的耦合影响，尽管利用实测曲线拟合法分析能给出定量的结果，但还不能达到精确定量的程度。

对于桩身不同类型的缺陷，反射波法测试信号中主要反映出桩身阻抗减小的信息，缺陷性质往往较难区分。例如，混凝土灌注桩出现的缩颈与局部松散、夹泥、空洞等，只凭测试信号很难区分。因此，对缺陷类型进行判定，应结合工程地质、施工情况综合分析，或采取钻芯法、超声法等判定。

**8.1.2** 由于受桩周土约束作用、桩身材料阻尼作用和桩身截面阻抗变化等，应力波在桩身传播过程中，其能量在逐渐衰减。若桩过长、桩身截面阻抗多变或变幅较大，应力波尚未反射回桩顶

甚至尚未传到桩底，其能量已完全衰减，致使仪器接收不到桩底反射信号，无法判定整根桩的桩身完整性。有效检测桩长还受桩土刚度比大小的制约，工程地质条件不同，施工工艺不同，有效检测桩长也不同。应通过现场试验，依据能否识别桩底反射波来确定有效检测桩长范围。

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

## 8.2 仪器设备

**8.2.1** 检测仪器中数据采集系统使用的 A/D 转换器有两个重要的指标：一是采样频率（采样频率是采样时间间隔的倒数），二是转换精度。采样频率的选择应能将桩底反射波完整地记录下来。A/D 转换器精度用二进制转换位数来衡量，目前均不低于 12 位，甚至有 16 位再加 8 位浮点放大，可达 24 位。

**8.2.2** 低应变法检测采用的传感器主要是压电式加速度传感器（国内多数厂家生产的仪器尚能兼容电磁式速度传感器），根据其结构特点和动态性能，当压电式传感器的可用上限频率在其安装谐振频率的 1/5 以下时，可保证较高的冲击测量精度，且在此范围内，相位误差几乎可以忽略。所以应尽量选用自振频率较高的加速度传感器。

对于桩顶瞬态响应测量，习惯上是 will 将加速度传感器的实测信号积分成速度曲线，并据此进行分析。实践表明：除采用小锤硬碰硬敲击外，速度信号中的有效高频成分一般在 2000Hz 以内。但这并不等于说，加速度传感器的频响线性段达到 2000Hz 就足够了。这是因为，原始加速度信号比积分后的速度信号中要包含更多和更尖的毛刺，高频尖峰毛刺的宽窄和多寡决定了它们在频谱上占据的频带宽窄和能量大小。事实上，对加速度信号的积分相当于低通滤波，这种滤波作用对尖峰毛刺特别明显。当加速度

传感器的频响线性段较窄时，就会造成信号失真。所以，在±10%幅频误差内，加速度传感器幅频线性段的高限不宜小于5000Hz，同时也应避免在桩顶表面凹凸不平时，不加锤垫用硬质材料锤直接敲击。

高阻尼电磁式速度传感器固有频率接近10Hz~20Hz之间时，幅频线性范围（误差±10%时）约在20Hz~1000Hz内，若要拓宽使用频带，理论上可通过提高阻尼比来实现。但从传感器的结构设计、制作以及可用性看却又难以做到。因此，若要提高高频测量上限，必须提高固有频率，势必造成低频段幅频特性恶化，反之亦然。同时，速度传感器在接近固有频率时使用，还存在因相位跃迁引起的相频非线性问题。此外由于速度传感器的体积和质量均较大，其二阶安装谐振频率很大程度上受安装条件影响，安装不良时会大幅下降并产生自身振荡，虽然可通过低通滤波将自振信号滤除，但在安装谐振频率附近的有用信息也将随之滤除。所以，反射波法中高频窄脉冲冲击响应测量不宜使用速度传感器。

**8.2.3 瞬态激振操作**应通过现场试验选择不同材质的锤头或锤垫，以获得低频宽脉冲或高频窄脉冲。除大直径桩外，冲击脉冲中的有效高频分量可选择不超过2000Hz（钟形力脉冲宽度为1ms，对应的高频截止分量约为2000Hz）。目前激振设备普遍使用的是手锤、力棒，其锤头或锤垫多数选用工程塑料、高强尼龙、铝、铜、铁、橡皮垫等材料，锤的质量为几百克至几十千克不等。

## 8.3 检测工作

**8.3.1 要采集到高质量的信号**，桩顶处理也是重要的环节。在传感器安装处的混凝土不得松动，以避免激振时传感器本身产生振荡、晃动、滑移。传感器安装点和激振点尽可能是光滑的平面，这样传感器与桩之间耦合就较为紧密，传感器的安装谐振频率较高。

检测时，桩顶外露的主筋可向外压弯，以不妨碍手锤正常敲击为宜。当受检桩的桩侧与基础的混凝土垫层浇筑成一体时，垫层对测试信号的影响主要与垫层的厚度、强度以及与桩侧结合的紧密程度有关。可通过对比试验确定垫层对测试信号的影响程度，决定是否进行处理。

**8.3.2** 若传感器安装在钢筋笼的主筋附近，激振时钢筋振动将产生干扰信号；耦合剂太厚，粘接强度较低，传感器的安装谐振频率低；试验证明手扶方式安装传感器，其安装谐振频率为500Hz~800Hz，明显低于采用粘接安装方式。

在检测敲击时，因尺寸效应，在桩顶部位将出现与桩的横向往振型相对应的高频干扰。当锤击脉冲变窄或桩径增加时，这种由三维尺寸效应引起的干扰加剧。传感器安装点与激振点距离和位置不同，所受干扰的程度各异。理论研究表明，按图1所示，即实心桩安装点在距桩中心约 $\frac{2}{3}$ 半径、空心桩安装点与激振点平面夹角等于或略大于 $90^\circ$ 时，所受干扰相对较小。另应注意，加大安装与激振两点距离或平面夹角将增大激振点与安装点响应信号时间差，造成桩身波速或缺陷定位误差加大。激振点与传感器安装点距离太近时，入射波后面往往紧跟着一个负向脉冲，影响浅部缺陷的分析判断。

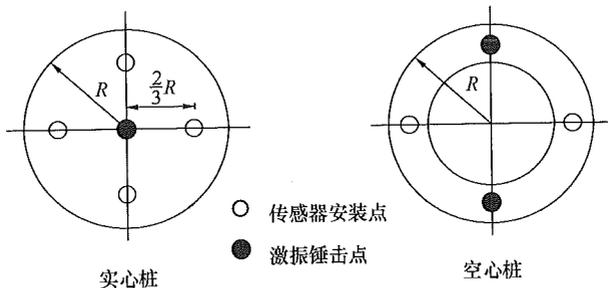


图1 激振点、传感器安装点位置示意图

**8.3.3** 通过改变锤的质量、材质及锤垫，可使冲击入射波脉冲宽度在0.5ms~3.5ms之间变化。冲击入射波脉冲较宽时，低频

分量较大，应力波衰减较慢；冲击入射波脉冲较窄时，高频成分较多，应力波衰减较快。因此，若要获得长桩的桩底反射信息或判断深部缺陷，冲击入射波脉冲应宽一些；当检测短桩或桩的浅部缺陷时，冲击入射波脉冲应窄一些。自由落体激振，可使能量集中，应力波规整。要求激振方向应沿桩轴线方向的目的是为了有效减少敲击时的水平分量。

**8.3.4** 从时域波形中找到桩底反射位置，仅仅是确定了桩底反射的时间，根据  $t_r = 2L/c$ ，只有已知桩长  $L$  才能计算波速  $c$ ，或已知波速  $c$  计算桩长  $L$ 。因此，桩长参数应以实际记录的施工桩长为依据，按测点至桩底的距离设定。测试前桩身波速可根据同类桩型的测试经验值初步设定，实际分析过程中应重新设定为由桩长计算的波速，或按本规程第 8.4.2 条确定的波速平均值。

对于时域信号，采样频率越高，则采集的数字信号越接近模拟信号，越有利于缺陷位置的准确判断。应在保证测得完整信号，即时段  $2L/c + 5\text{ms}$  和有 1024 个采样点的前提下，选用较高的采样频率或较小的采样时间间隔。但是，若要兼顾频域分辨率，则应按采样定理适当降低采样频率或增加采样点数。

**8.3.5** 桩径增大时，桩截面各部位的运动不均匀性也会增加，桩浅部的阻抗变化往往表现出明显的方向性。故应增加检测点数量，使检测结果能全面反映桩身结构完整性情况。叠加平均处理是提高实测信号信噪比的有效手段。

对于同一根桩不同检测点及多次的实测时域信号差别较大时，应综合受检桩的桩型特点、施工工艺和工程地质情况等，增加布置检测点进一步推断，亦可采取其他方法验证检测。

根据经验，当实测信号与该类型完整桩信号特征差异较大时，应增加检测点数量，或变换激振点及检测点位置。

## 8.4 检测结果

**8.4.1** 可采用低通滤波的方式对接收信号进行处理，减小噪声信号对测试效果的影响。指数放大是提高桩中、下部和桩底信号

识别能力的有效手段，指数放大倍数以 2~20 倍、能识别桩底反射信号为宜，过大的放大倍数会将干扰信号也放大，可能会使测试信号尾部明显不归零，影响桩身完整性的分析判断。

**8.4.2 完整桩信号有效信息成分应包括：**激振信号、土阻力反射波、桩底反射波以及正常的桩身波速。对于中、小直径桩，已知桩长，按速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差确定桩身波速。对于大直径桩，由于激振点和传感器安装点间的距离引起时间的滞后，按速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差确定的桩身波速比实际的高。在检测现场，通过对已知桩长的若干根完整桩的测试，计算出每根桩的桩身波速，取平均值后可得到该场地的桩身波速平均值  $\bar{c}$ 。

虽然波速与混凝土强度二者并不呈严格的函数关系，但考虑到二者整体趋势上呈正相关关系，且强度等级是现场最易得到的参考数据，故对于超长桩或无法明确找出桩底反射信号的桩，可根据经验并结合混凝土强度等级，综合确定波速平均值，或利用成桩工艺、桩型相同且桩长相对较短并能够找出桩底反射信号的桩确定的波速，作为波速平均值，表 2 选取不同混凝土强度等级的应力波波速经验值可供参考。

表 2 不同混凝土强度等级的应力波波速参考值

混凝土强度等级	应力波波速经验值范围 (m/s)
C20、C25、C30	3200~3800
C35、C40	3600~3900
C45	3800~4100
C50 及以上	3900~4400

**8.4.3** 因为设定波速有误差，本公式计算的桩身缺陷位置是有误差的。波速带来的缺陷位置误差为  $\Delta x = x \cdot \Delta c / c$  ( $\Delta c / c$  为波速相对误差)，如波速相对误差为 5%，缺陷位置为 10m 时，则误差有 0.5m；缺陷位置为 20m 时，则误差有 1.0m，影响较大。其次采用频域分析计算缺陷位置时，由于和采样周期及采样点数

相关的频域分辨率有限，会使缺陷位置的计算精度降低，频域分析法计算缺陷位置仅作参考。

对瞬态激振还存在另一种误差，即锤击后应力波主要以纵波形式直接沿桩身向下传播，同时在桩顶又主要以直达纵波、横波和表面波的形式沿径向传播。因锤击点与传感器安装点有一定的距离，接收点测到的直达峰总比锤击点处滞后，特别对大直径桩或直径较大的管桩，这种从锤击点起由近及远的时间线性滞后将明显增加。而波从缺陷或桩底以一维平面应力波反射回桩顶时，引起的桩顶面径向各点的质点运动却在同一时刻都是相同的，即不存在由近及远的时间滞后问题。严格地讲，按直达波峰-桩底反射峰确定的波速将比实际的高，若按“正确”的桩身波速确定缺陷位置将比实际的浅。另外桩身截面阻抗在纵向较长一段范围内变化较大时，将引起波的绕行距离增加，使“真实的一维杆波速”降低。基于以上两种原因，按照目前的锤击方式测桩，不可能精确地测到桩的“一维杆纵波波速”。

**8.4.4** 表 8.4.4 列出了根据实测时域或幅频信号特征、所划分的桩身完整性类别。完整桩典型的时域信号和速度幅频信号见图

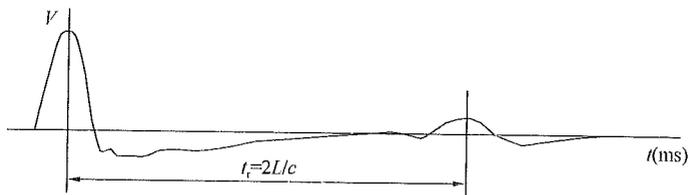


图 2 完整桩典型时域信号特征

2 和图 3，缺陷桩典型的时域信号和速度幅频信号见图 4 和图 5。判定桩身完整性类别首先是判断有没有缺陷反射波，其次是分析缺陷程度。

对完整桩分析判定时，从时域信号或频域曲线特征表现的信息判定，相对来说较简单直观。而分析缺陷桩信号要复杂些，实测信号既包含施工形成的缺陷产生的反射波，也包含因设计桩身

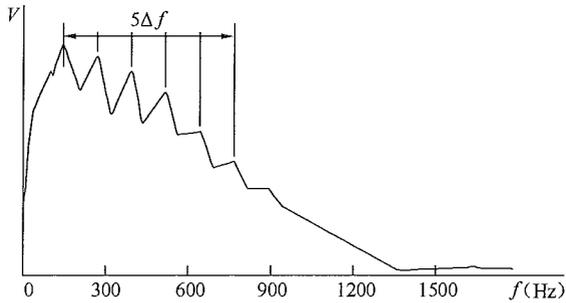


图3 完整桩典型速度幅频信号特征

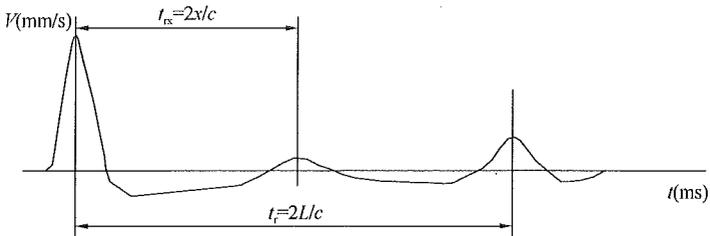


图4 缺陷桩典型时域信号特征

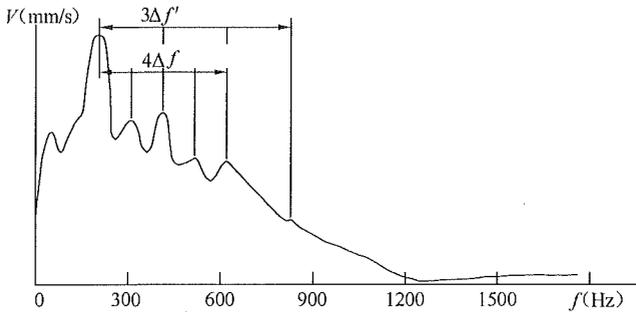


图5 缺陷桩典型速度幅频信号特征

构造或成桩工艺本身局限导致的不连续截面产生的反射波，例如预制桩的接缝、灌注桩的逐渐扩颈再缩回原桩径的渐变截面、地层硬夹层影响，再如，采用部分挤土方式沉桩的开口预应力管

桩，桩孔内土塞的影响等。因此，在分析测试信号时，应仔细区分哪些是缺陷反射波或缺陷谐振峰，哪些是因桩身构造、成桩工艺、土层影响造成的类似于缺陷的反射信号。

反射波的幅值大小除了和缺陷程度有关外，还和桩周土阻力、桩身阻尼大小及缺陷所处的深度有关。相同程度的缺陷因桩周土岩土性状不同或缺陷埋深不同，在测试信号中的幅值大小各异。因此，如何正确判定缺陷程度，特别是缺陷十分明显时，如何区分是Ⅲ类桩还是Ⅳ类桩，应仔细对照桩型、工程地质情况、施工情况结合经验综合分析判断；不仅如此，还应结合基础和上部结构对桩的承载安全性要求，考虑桩身承载力不足引发桩身结构破坏的可能性，进行缺陷类别划分，不宜单凭测试信号定论；在信号特征为Ⅲ类、Ⅳ类的桩中应按不同特征类型选取有代表性的桩，采取更可靠的检测方法验证，根据验证结果综合评定。

缺陷有多种形式：离析、松散、空洞、变颈、接缝、裂缝、断裂，以及单界面缺陷和多界面缺陷等。缺陷形式可根据施工记录、工程地质资料，结合经验综合分析判断。裂缝、接缝等突变型缺陷，所产生的反射波比较单一，缺陷反射信号由两部分组成，先有一个与入射波相位相同、形态相似的反射波，紧跟着一个与入射波相位相反，形态相似的反射波。突变型缩颈或离析等缺陷的第一个界面所产生的反射波与入射波相位相同，第二个界面所产生的反射波与入射波相位相反，反射波幅值越大，则缩颈或离析程度越严重。渐变的缩颈或离析所产生的反射波的幅值较小，脉冲宽度大于入射波脉冲宽度，渐变缺陷的反射波信号较难分析，相同的缺陷程度，突变缺陷所产生的反射波比渐变缺陷所产生的反射波要明显。

对于预应力管桩和预制方桩，若因焊接工艺或机械接头而存在施工接缝，可能会产生明显的反射波，在多数情况下，这类接缝不影响竖向抗压承载力，甚至对竖向抗拔承载力和水平承载力的影响都较小，判断这类反射波应慎重，宜结合其他检测方法进行评价。

要求受检桩有桩底反射信号，是保证不漏判桩身缺陷的必要条件。因此，本条规定 I、II 类桩应有桩底反射波。

表 8.4.4 没有列出桩身无缺陷或有轻微缺陷、同时也无桩底反射的这类信号特征的类别划分。事实上，测不到桩底信号这种情况受多种因素和条件影响，例如：

- 1 软土地区的超长桩，长细比很大；
- 2 桩周土约束很大，应力波衰减很快；
- 3 桩身阻抗与持力层阻抗匹配良好；
- 4 桩身截面阻抗显著突变或沿桩长渐变；
- 5 预制桩接头缝隙影响。

其实，在实际工程的检测中可发现，当缺陷靠近桩底部且属于渐变型的离析类型时，低应变法也无法测得桩底反射波。因此，针对实测信号无桩底反射波的情况，应结合经验、参照本场地同类型桩，综合分析或采用其他方法进一步检测桩身完整性。

**8.4.5** 混凝土预制桩采用焊接方式接桩，当焊接质量差时，在该位置会有明显的缺陷反射波；采用机械啮合接头时，在该连接位置有明显的缺陷反射波仍属正常。刚出厂的混凝土预制桩桩身是完整的，成桩后如在非接桩位置产生较明显的缺陷反射波，大部分情况是在成桩过程中桩身断裂或碎裂引起，可用孔内摄像方法进行核实。

对有桩底反射的桩，若实测波速不及表 2 中不同组别混凝土强度等级对应波速低限值的 80% 时，该桩的波速可视为异常，应及时查找原因，可用钻芯等方法验证。

**8.4.6** 对于因设计或施工工艺所产生的桩身阻抗随深度有明显变化的受检桩，应考虑阻抗变化对测试结果的影响程度，对受检桩的类别判定应进行综合评价。

**8.4.7** 由于工程地质情况复杂，施工桩型较多，成桩质量千差万别，反射波法未必能对每根受检桩都给出检测结果，因此，对于信号虽无异常反射，但并未测得桩底反射；实测波形无规律，无法用波动理论进行分析；由施工记录提供的桩长计算所得的桩

身波速值明显偏高或偏低，且又缺乏可靠资料验证；无法准确获得桩身质量的全部信息时，不应勉强判定受检桩的桩身完整性类别。

对嵌岩桩，桩底沉渣和桩端下存在软弱夹层、溶洞等是直接关系到该桩能否安全使用的关键因素。虽然本方法不能确定桩底情况，但理论上可以将嵌岩桩桩端视为杆件的固定端，并根据桩底反射波的方向判断桩端端承效果，也可通过导纳值、动刚度的相对高低提供辅助分析。采用本方法判定桩端嵌固效果差时，应采用钻芯法、静载法或高应变法等检测方法验证桩端嵌岩情况，确保基桩使用安全。

## 9 超 声 法

### 9.1 一 般 规 定

**9.1.1** 本规程中的超声法是声波透射法，即 A 型超声检测技术在混凝土灌注桩中的应用。主要检测桩身中是否存在缺陷，缺陷的性质、位置及范围，判定桩身完整性类别。

**9.1.2** 当因声测管接头渗浆、管内掉入石子及混凝土碎块、管身变形等原因导致不能对全部测面、全长度范围检测时，仅能对被检测的部分进行评价，未检测到的部分应采用其他可行方法，如钻芯法、低应变法等进行补充检测。

### 9.2 仪 器 设 备

**9.2.2** 换能器有效长度指换能元件的排列长度，该长度过大会漏判较小缺陷。

换能器的谐振频率越高，对缺陷检测的分辨力就越高，但同时衰减会加大、有效测距变短。选用换能器时，在保证有一定的接收灵敏度的前提下，原则上尽可能选择较高的频率。例如，采用 30kHz~60kHz 谐振频率范围的换能器，混凝土声速取为 4200m/s 时，声波波长在 7cm~14cm，即能检测到的缺陷尺寸约在分米量级。当测管间距较大或接收信号较弱时，应选用带前置放大器的接收换能器，其次宜采用低频换能器，但后者要以牺牲分辨力为代价。另外，提高换能器谐振频率，可使其外径进一步减少，这有利于换能器在声测管中顺畅升降，也使减小声测管管径成为可能。

因为检测时使用清水作为耦合剂，换能器在 1MPa 水压下不渗水也就相当于在约 100m 水深下不渗水，这可以满足常见工程桩检测要求。对于超长桩，宜再提高水密性指标。换能器配置扶

正器，是为了防止换能器在声测管内摆动影响声学参数的稳定性，特别是在连续、不停顿检测过程中更加有效。

### 9.3 检测工作

**9.3.2** 检测仪器的系统延时可用线性回归方法得到，即将接收换能器和发射换能器平行置于清水中，逐次改变换能器间的中心距并不少于 5 次，测量其中心距及超声波的声时，进行线性回归分析，得出直线方程：

$$t = t_0 + bl \quad (1)$$

式中  $t$ ——声时 ( $\mu\text{s}$ )；  
 $l$ ——换能器中心距 (mm)；  
 $b$ ——直线斜率 ( $\mu\text{s}/\text{mm}$ )；  
 $t_0$ ——系统延时 ( $\mu\text{s}$ )。

耦合层延时  $t'$  可由下式计算得出：

$$t' = \frac{D-d}{v_t} + \frac{d-d'}{v_w} \quad (2)$$

式中  $D$ ——声测管外径 (mm)；  
 $d$ ——声测管内径 (mm)；  
 $d'$ ——换能器外径 (mm)；  
 $v_t$ ——声测管厚度方向声速 (km/s)；  
 $v_w$ ——水的声速 (km/s)；  
 $t'$ ——耦合层延时 ( $\mu\text{s}$ )。

超声检测仪器系统延时  $t_0$  与耦合层延时  $t'$  之和  $t_0 + t'$  也可直接测量得出：将与预埋声测管同型号、规格的两节声测管平行绑扎在一起，垂直置于清水中，再将收、发换能器分别垂直放在声测管中心的同一水平位置，测读声时，此声时值即为  $t_0 + t'$ 。

**9.3.3、9.3.4** 为了满足数据统计时对最少样本数量的要求，规定同一测面应大于 20 条测线。对短桩且存在缺陷时，还应考虑到数据处理时，剔除异常数据后剩余数据不足 20 个的情况，对此，现场采集数据时，宜通过减小间距加密检测，加大后续数据

处理时的样本数量。

检测和数据采集应连续观测整个测面，重点检测可疑部位。经平测或斜测观测后，对测面有可疑声测线的部位，再采用减小测线间距加密检测、交叉斜测、扇测、CT 成像等方式检测，这样既可复核可疑声测线，又可以依据加密测试结果判定桩身缺陷的范围和空间分布。

## 9.4 检测结果

**9.4.3** 当声测管平行时，构成某一测面的两声测管在桩顶面的净距离  $D_c$  等于该测面所有测线处的声程，当声测管倾斜、弯曲时，各测线处的声程将不再相等，导致按公式 (9.4.1-2) 计算出的声速值偏离混凝土声速正常值。通常情况下声测管倾斜、弯曲造成的各测线处声程变化沿深度方向有一定规律，各条声测线的声速值呈规律性变化，此时可采用高阶曲线拟合等方法对各条测线处声程做合理修正，然后重新计算各测线的声速。理论推导和实测表明，采用钢质声测管，声测管间的倾斜造成各测线上的声程近似于线性变化，此时，可采用简单的线性修正方法。

当由于声测管倾斜、弯曲造成实测声速高于正常声速的 25% 时，不宜进行修正，不宜对该偏离段的完整性进行评定。各测线处的声速值沿深度方向变化无规律时，不得随意修正。

**9.4.5** 临界值法基于正常混凝土的声学参数服从正态分布的假设。因实测数据可能因声测管平行度不好等因素带有一定的系统误差，所以在数据处理之前宜采用合理的修正方法消除这种系统误差。为了提高计算效率，计算异常小值判断值  $X_a$  时，可不从最小值开始剔除，可从预设的某个初值开始。

**9.4.6** 斜率法可消除声测管不平行或混凝土不均匀等非缺陷因素的影响，突出异常部位。

**9.4.7** 超声在混凝土中传播时主频会向低端漂移，存在缺陷的混凝土致使接收波的主频比正常混凝土的主频低，这是由于正常的混凝土与存在缺陷的混凝土对超声波的“滤波作用”不同。接

收波主频明显降低反映了混凝土质量的低劣。但是由于发射和接受换能器幅频特性以及声耦合状态、声程等非缺陷因素的影响，主频测试值对缺陷没有波幅敏感，没有声速测试那么稳定，故在实际应用中，作为辅助判据。

**9.4.8** 表 9.4.8 中桩身完整性分类的主要原则是：完整性最差的部位决定本桩的桩身完整性类别；在同一横截面即同一深度上缺陷的数量愈多，则桩身完整性愈差；对深度范围小于 100mm 的缺陷可从轻评价；评价时宜考虑纵向即深度方向上缺陷的数量及分布情况。要比较客观地判定桩身完整性类别，还要结合缺陷的性质、位置、范围等因素综合判定。

另外，对声速临界值明显偏低的基桩应分析原因，宜进行桩身混凝土强度的检测。

**9.4.9** 在提供了声速 - 深度和波幅 - 深度曲线的基础上，还可提供  $k \cdot \Delta t$  - 深度曲线。各曲线应绘制于同一个坐标系。当采用主频、接受能量进行辅助分析判定时，应绘制主频-深度曲线、能量-深度曲线。

## 10 钻 芯 法

### 10.1 一 般 规 定

**10.1.1** 钻芯法是检测冲（钻）孔桩、旋挖桩、人工挖孔桩质量的一种有效手段，不受场地条件的限制，特别适用于大直径混凝土灌注桩的检测。钻芯法检测的主要目的有五个：

- 1 检测桩身缺陷及位置，判定桩身完整性类别；
- 2 检测桩身混凝土强度；
- 3 检测桩长；
- 4 检测桩底沉渣厚度；
- 5 鉴定桩端持力层的岩土性状、厚度。

受检桩长径比太大时，钻芯孔容易偏离桩身，故要求受检桩长径比不宜大于 35。另外由于桩径小于 800mm 的灌注桩，导管影响区域的混凝土质量相对较差，在中心开孔不具代表性，若避开中心开孔，又容易发生偏离桩身的情形，故受检桩桩径不宜小于 800mm。

**10.1.2** 关于混凝土灌注桩钻芯孔数、开孔位置的规定说明如下：

本规程基本规定中规定，钻芯法检测的数量不少于总桩数的 15%，远远超过行标 10% 的规定，其目的在于多钻桩，以更全面地反映整个桩基工程的施工质量，与此相应，为降低检测造价、加快检测进度，减少了每桩钻取的孔数，结合本市混凝土灌注桩长径比大的特点，规定桩径小于 1.6m 钻 1 孔，桩径为 1.6m~2.0m 钻 2 孔，桩径大于 2.0m 不少于 3 孔是比较适宜的。当然，对有缺陷的桩，在采用钻芯法验证过程中，会视需要增加钻芯孔数的。对桩径很大的巨型桩，钻芯孔数和各孔钻入持力层的深度的确定，应把握单位桩身截面上的孔数和本条规定相适应

的原则，同时宜结合桩端持力层的岩面起伏、风化程度变化、混凝土灌注的均匀程度等因素综合确定。

当采用钻芯法对桩长、桩身混凝土强度、桩身局部缺陷、桩底沉渣、桩端持力层进行验证检测时，可根据具体验证的目的、要求确定钻孔数量、开孔位置、钻取深度等，可不按本规程第 10.4 节进行单桩全面评价。如验证超声法、低应变法等判定的桩身局部缺陷时，可在其要求的方位开孔，钻进深度可控制到缺陷以下 1m~2m 处，宜进行芯样试件抗压强度试验。

当钻芯孔为 1 个且受检桩的长径比大于 35 时，在桩中心的位置开孔，是为了保证较小桩径、较大长径比的桩能顺利钻至桩端持力层，避免偏出桩外。在此情形下，对桩身完整性评价时，要适当考虑灌注时导管对中心部位混凝土完整性的不利影响，可以适当轻判。为准确确定桩的中心点，桩头宜开挖裸露，来不及开挖或不便开挖的桩，应用全站仪测出桩位中心。

### 10.1.3 关于混凝土灌注桩钻入持力层深度的规定说明如下：

桩端持力层岩土性状的准确鉴定直接关系到受检桩使用的安全。虽然施工前已进行岩土工程勘察，但有时钻孔数量有限，对较复杂的工程地质情况，很难全面弄清岩石、土层的分布情况。因此，应对桩端持力层进行足够深度的钻探。《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定：嵌岩灌注桩桩端以下 3 倍桩径且不小于 5m 范围内应无软弱夹层、断裂破碎带和洞穴分布，且在桩底应力扩散范围内应无岩体临空面。《建筑桩基技术规范》JGJ 94 也有类似规定。而深圳市标准《地基基础勘察设计规范》SJG 01 中规定，当桩端下压缩层范围内存在软弱下卧层时，桩端以下持力层的厚度不宜小于  $5d$ ，且不宜小于 4m。所以，本条规定每桩至少应有 1 孔钻至桩端持力层足够深度，并且按规范和设计要求中较严格的执行。

岩溶发育场地，大直径桩的桩端持力层往往存在局部的土洞、溶洞，由于施工勘察时多为 1 桩 1 孔，致使这些土洞、溶洞未充分揭露，在钻芯验收检测时常常还会被发现，为了尽可能地

消除隐患，不错过对可能存在的土洞、溶洞处理的最后时机，规定此类场地各钻芯孔均应钻入岩层足够深度，钻入深度和深圳市标准《地基础勘察设计规范》SJG 01 中规定一致。

**10.1.4** 界面钻芯是香港普遍采用的检测方式，在本市港方投资的多个轨道交通、房建项目上都已成功应用，此法非常适用于长径比大、桩径小的灌注桩的桩底情况检测。因此，对长径比大于 35、桩径小于 800mm 桩的桩底沉渣厚度检测、桩端持力层岩土性状的鉴定以及桩底混凝土完整性和强度的检测，宜采用界面钻芯，界面钻芯的结果评价应参照钻芯法结果评价的规定执行。但界面钻芯不能完全替代常规钻芯法检测，因为，桩底以上其余桩身部分混凝土完整性和强度的检测还应由钻芯法完成。

## 10.2 仪器设备

**10.2.1** 钻芯检测宜采用岩芯钻探使用的液压钻机，并配有相应的水泵和钻塔，钻塔底座应稳固、主轴振动要小。钻芯设备应有产品合格证。此次修订参照了最常用的 XY-1A-4 型钻机的总体性能及主要部件的关键参数。

**10.2.2** 钻取芯样（含中、微风岩）的真实程度与所用钻具有很大关系，直接影响到桩身完整性类别的判定。为提高取芯质量，钻芯检测用钻具应为单动双管钻具，不得使用单动单管钻具。孔口管、扶正稳定器（又称导向器）及可捞取松软渣样的钻具应根据需要选用。当桩顶面与钻机塔座距离大于 2m 时，宜安装孔口管，孔口管应垂直、牢固。当桩较长时，应使用扶正稳定器确保钻芯孔的垂直度。钻取强风化岩或土层时宜采用合金钢钻头。

**10.2.3** 钻芯取样的钻进方法主要有：金刚石钻进、硬质合金钻进、冲击钻进、冲击回转钻进等。金刚石钻进取芯质量好，钻进效率高。为了获得比较真实的芯样，基桩钻芯法检测应采用金刚石薄壁钻头钻取混凝土芯样。钻头胎体不得有肉眼可见的裂纹、缺边、少角、倾斜及喇叭形磨损。

目前，常见钻头外径有 76mm、91mm、101mm、110mm、

130mm 几种规格。采用较大直径钻头可避免钻取的试件强度值产生较大离散（一般要求芯样试件直径不宜小于骨料最大粒径的 3 倍、任何情况下不得小于骨料最大粒径的 2 倍）。但采用大直径钻头费用高、破损面大，故本规程规定选用外径为 101mm 的钻头。当骨料最大粒径小于 30mm 时，也可选用外径为 91mm 的钻头。当不检测混凝土强度时，还可选用外径为 76mm 的钻头。

**10.2.6** 为了对偏离桩身的钻孔的垂直度偏差作出判定，进而指导后续钻芯孔的开孔位置和钻进方向，宜使用测斜仪了解钻芯孔垂直度偏差。

**10.2.7** 对强风化岩层或土层的鉴定，宜采用原位试验结果判定，所使用的仪器设备应完全符合规范规定。

### 10.3 检测工作

**10.3.1** 应精心安装钻机，钻机立轴中心、天轮中心（天车前沿切点）与孔口中心必须在同一铅垂线上。设备安装后，应进行试运转，在确认正常后方能开钻。钻进初始阶段应对钻机立轴进行校正，及时纠正立轴偏差，确保钻芯过程不发生移位、倾斜。

当出现钻芯孔偏离桩身时，应立即停机记录，分析原因。可进行钻孔测斜，判定钻芯孔倾斜是否超过规定、分析受检桩是否倾斜。

**10.3.2** 桩顶面与钻塔底座距离大于 2m 时，宜安装孔口管。开孔宜采用合金钻头，开孔至 0.3m~0.5m 深度后安装孔口管，孔口管下入时应严格测量垂直度，然后固定。

**10.3.3** 基桩钻芯检测普遍采用金刚石钻进技术，其控制参数主要包括钻压、转速、泵压和泵量。它们之间是相互关联的，操作时要统筹兼顾，才能达到效率高、质量好、成本低、事故少的目的。

钻进中应合理掌握钻压，钻压应根据混凝土的强度与胶结好坏而定，胶结好、强度高的压力可大，相反压力应小。钻压应超

过混凝土或岩石的抗破碎强度，钻压过小，钻进效率低，钻压过大，钻头钻杆容易变形。

正常钻进时可以采用高转速，但胶结强度低的混凝土应采用低转速。转速和钻进效率有直接关系，提高转速受功率、钻具强度和钻机能力的限制，应合理把握，正常情况下是保证钻压，调整转速。回次初转速宜为 100r/min 左右。

钻芯法宜采用清水钻进，冲洗液量一般按钻头大小而定。钻头直径为 101mm 时，一般情况冲洗液流量应为 60L/min~120L/min。在泵量不变的条件下，泵压与水口、水槽的截面积成反比，研究表明，钻头内外侧保持约 0.3MPa 的压差，可保持水口处部分冲洗液通过刃部，迅速带走岩粉，并润滑和冷却金刚石。因此，合理调整泵量与泵压是必要的。

钻进中，可根据回水含砂量及颜色，发现钻进过程中的异常情况，判断是否有桩身缺陷，是否已钻至桩端持力层或者钻头已偏离桩身。

**10.3.4** 当芯样侧表面呈明显波浪状时，应检查钻机的工作状况，如机座是否安装稳固、钻机立轴是否摆动过大、操作人员的操作是否得当。检查钻头、扩孔器、卡簧的配置是否合理。

由于金刚石钻头与岩芯管之间安有用以修正孔壁的扩孔器，扩孔器外径应比钻头外径大 0.3mm~0.5mm，卡簧内径应比钻头内径小 0.3mm 左右，金刚石钻头和扩孔器应按外径先大后小的排列顺序使用，内径小的钻头先用，内径大的后用。

**10.3.5** 钻至接近桩底时（包括通过界面钻芯管钻至桩底时），为检测桩底沉渣或虚土厚度、鉴定桩端持力层岩土性状，应采用减压、慢速钻进。若遇钻具突降，应立即停钻，及时测量机上余尺，准确记录孔深及有关情况。

当持力层为中、微风化岩石时，可将桩底 0.5m 左右的混凝土芯样、0.5m 左右的持力层以及沉渣纳入同一回次，检测沉渣厚度、鉴定岩土性状。有条件时，可采用孔内摄像方法辅助判断沉渣厚度。

当持力层为强风化、全风化岩层或土层时，宜采用合金钢钻头干钻等适宜的钻芯工艺钻取沉渣并测定沉渣厚度，也可进行标准贯入试验，量取贯入器内沉渣厚度。标准贯入试验深度间距宜为1m，宜在距桩底0.5m内开始。参照桩底岩土层自上而下贯入度的变化情况，鉴定桩端持力层岩土性状，尤其应注意上部岩土层在卸荷和地下水浸泡作用下是否存在软化情况。可取样进行室内土工试验综合判定，也可通过检测剪切波波速、采用动力触探的方式，鉴定桩端持力层岩土性状。

**10.3.6** 钻机操作人员应及时记录孔号、回次数、起至深度、块数、总块数、芯样质量的初步描述及钻进异常情况。芯样取出后，应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（宜写成带分数的形式，如 $2\frac{3}{5}$ 表示第2回次共有5块芯样，本块芯样为第3块）。

对桩身混凝土芯样的描述包括桩身混凝土钻进深度，芯样连续性、完整性、胶结情况、表面光滑情况、断口吻合程度、混凝土芯样是否为柱状、骨料大小分布情况，气孔、麻面、蜂窝、沟槽、破碎、夹泥、松散的情况，以及取样编号和取样位置。

对桩端持力层的描述包括持力层钻进深度，岩土名称、芯样颜色、结构构造、裂隙发育程度、坚硬及风化程度，以及取样编号和取样位置，标准贯入试验或圆锥动力触探位置和结果。分层岩层应分别描述。

必要时，可采用孔内摄像方法辅助判断混凝土质量。

最后还要关注桩身裂缝问题。桩身裂缝对桩耐久性影响较大，对桩的长期工作性能，特别是抗拔和水平承载性能产生严重影响，因为其难以被发现，在现场检测过程中应特别引起重视。现场检测时，检测人员应仔细检查断口吻合情况，区分原生裂缝（施工过程形成的不连续界面或者养护过程混凝土收缩等原因形成）和次生裂缝（钻进或提取芯样时扭断及受剪产生），当桩身有原生裂缝时，循环冷却水会将钻芯过程中产生的石粉渣带入裂

缝中，可以观察到断口中存在白色的石粉渣，且断口吻合程度不佳。如是次生裂缝，断口处无石粉渣，且断口较尖锐、吻合程度好。由于低应变法对裂缝比较敏感，宜以低应变法检测结果为依据，钻取芯样寻找裂缝，应仔细核实低应变法检测反映出的存在明显缺陷反射信号桩的芯样断口形态和位置，判定是否存在裂缝。相反，对钻芯前未进行低应变法检测的、芯样显示可能存在裂缝的桩，也可以补充低应变法检测以帮助分析判断。此外可采用压水试验验证，即钻取两个孔后，从一个钻孔将钻头压入时，另一个钻孔会不断冒水出来，这说明两个钻孔是连通的，存在裂缝。此外，当裂缝较大时钻芯过程中会发生掉钻现象，应密切观察钻进过程。有条件时，采用孔内摄像方法直观检查。

**10.3.8** 应先拍彩色照片，后截取芯样试件。拍照前应用清水淋湿芯样。取样完毕，剩余的芯样宜移交委托单位妥善保存。

**10.3.9** 钻芯工作完毕，应按有关规定办理见证认可手续，验收符合设计要求时，应及时对钻芯孔（包括界面钻芯孔及钢管）进行回灌封闭，确保基桩工作性能。可采用水泥浆，也可采用水泥砂浆或细骨料混凝土回灌封闭。由于正常钻孔孔壁光滑、密实，故此次修订未再按上版要求采用压力注浆，也能达到密封效果。

**10.3.10** 混凝土桩应作为竖向受力构件，薄弱部位的强度（桩身结构承载能力）能否满足使用要求直接关系到结构安全。通常情况下，麻面、蜂窝、沟槽等缺陷部位的强度较正常胶结的混凝土强度低，无论是严把质量关、尽可能查明质量隐患，还是便于设计人员进行桩身结构承载力验算，都有必要对缺陷部位的芯样进行取样试验。因此，缺陷位置能取样试验时，应截取一组芯样进行混凝土抗压试验。

同一基桩的钻芯孔数大于1个，其中1孔在某深度存在麻面、蜂窝、沟槽等缺陷，芯样试件强度可能不满足设计要求，按本规程第10.4.5条的多孔强度平均原则，在其他孔的相同深度部位取样进行抗压试验是非常必要的，可在保证结构承载能力的前提下，减少加固处理费用。对于芯样任一段松散、夹泥，或局

部破碎长度大于 10cm 且另外一孔（两孔）的同一深度部位的混凝土芯样存在麻面、蜂窝、沟槽、破碎等缺陷时，因该桩完整性属于Ⅳ类，可不在缺陷深度取样；如果 1 孔破碎长度大于 10cm 且另外一孔（两孔）的同一深度部位的混凝土芯样完整时，因该桩完整性属于Ⅲ类，为了后续质量问题处理工作的需要，可在完整的一孔（两孔）同一深度部位取样进行抗压试验。

**10.3.11** 由于基桩混凝土芯样试件可选择的余地较大，因此，为了避免试件强度的离散性较大，通常的要求是，选取芯样试件时，应观察芯样试件侧表面的表观混凝土粗骨料粒径，确保芯样试件平均直径不小于 2 倍表观混凝土粗骨料最大粒径，也不能含有钢筋。

由于芯样试件抗压试验时直径偏小的地方先破坏，因此，在测量芯样试件平均直径时宜选择表观直径偏小的芯样试件部位。

**10.3.12** 根据桩的工作环境状态，以及深圳市建设工程质量检测中心和深圳市建筑科学研究院 2006 年的混凝土芯样试件吸水率试验结果，芯样试件宜在  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  的清水中浸泡 12h 后进行抗压强度试验。但考虑到芯样在钻取、制作和试验等环节均存在使芯样强度产生负偏差的因素，同时也为了保障工期，允许芯样试件制作完毕浸泡不少于 2h 进行抗压强度试验。

**10.3.13** 芯样试件抗压强度试验破坏时的最大压力值与混凝土标准试件明显不同，芯样试件抗压强度试验时应合理选择压力机的量程和加荷速率，保证试验精度。

**10.3.14** 当出现截取芯样未能制作成合格的试件时，应重新截取芯样试件进行抗压强度试验。如条件不具备，可将另外两块强度的平均值作为该组混凝土芯样试件抗压强度值，并在报告中予以说明。

**10.3.15** 混凝土芯样试件的强度不等于在施工现场取样、成型、同条件养护试块的抗压强度，也不等于标准养护 28d 的试块抗压强度。此次修订，依据广东省标准《建筑地基基础检测规范》DBJ 15—60，将芯样试件抗压强度除以 0.88 的系数换算得到标

准立方体试块的抗压强度代表值。

**10.3.16** 当设计认为对端承力有必要进行验算时，可按分层岩性截取制作芯样试件进行抗压强度试验。由于单个岩石芯样试件截取的理想长度宜大于直径的 2 倍（芯样长度不足时方可按 1 倍截取），通常在桩底以下 1m 范围内很难截取制作 3 个完整芯样试件，因此本次修订取消了原规程截取“1 组”的要求。

也便于设计人员对端承力的验算，宜保持岩石的天然含水状态，截取的芯样应及时密封包装后浸泡在水中，避免暴晒、雨淋，尤其是软岩。

由于和桩底接触部位的岩石对单桩抗压承载力影响最为关键，应尽可能采取此部分岩样进行抗压试验。

**10.3.17** 按岩土工程勘察的做法和《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相关规定，需要在岩石的地质年代、名称、风化程度、矿物成分、结构、构造相同条件下至少制作 6 个以上完整岩石芯样试件，才有可能确定岩石单轴抗压强度标准值。显然这项工作要通过多桩、多孔钻芯来完成。与勘察钻探相比，钻芯法检测基桩钻取桩端持力层的主要目的是鉴定桩端岩土层性状，而单桩钻芯所能截取的完整岩芯数量有限，当岩石芯样试件单轴抗压强度试验仅仅是配合判定桩端岩土层岩性时，检测报告中可不给出岩石单轴抗压强度标准值，只给出单个芯样试件单轴抗压强度值。当要求提供岩石饱和单轴抗压强度标准值时，可按国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、广东省标准《建筑地基基础设计规范》DBJ 15-31 的规定，通过多桩、多孔钻芯取得。

关于岩石芯样含水率问题。岩土工程勘察提供的岩石单轴抗压强度值通常是在岩石饱和状态下得到的，因为水下成孔、灌注施工会不同程度造成岩石强度下降，故采用饱和强度是安全的做法。基桩钻芯法钻取岩芯是成桩后的验收检验，正常情况下应尽量使岩芯保持钻芯时的“天然”含水状态，可不进行饱和处理，尤其是软质岩。只有明确要求提供岩石饱和单轴抗压强度标准值时，硬质岩岩石芯样试件应在清水中浸泡不少于 12h 后进行试

验，软质岩可保持天然湿度试验。这也是和国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、广东省标准《建筑地基基础设计规范》DBJ 15 - 31 以及国家标准《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266 相协调的。

关于岩样的直径及高径比问题。在国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中，要求岩样尺寸一般为  $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，即通常讲的“2 : 1 的小芯样”。在国家标准《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266 中也规定，试件直径宜为 48mm~54mm，高径比宜为 2.0~2.5。同样在深圳市标准《地基基础勘察设计规范》SJG 01 中要求岩样尺寸一般为  $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 。

关于直径。在基桩钻芯法检测中，为了提高桩身混凝土的采取率、岩样获得率和岩石质量指标 (RQD)，现场普遍采用较大直径的 101mm 外径 83mm 内径的单动双管钻具和金刚石钻头，钻取的芯样直径约 83mm。钻进操作时还要求“当持力层为中、微风化岩石时，可将桩底 0.5m 左右的混凝土芯样、0.5m 左右的持力层以及沉渣纳入同一回次”，亦即在钻头入岩约 0.5m 深度时不宜更换钻头。再者，实际上由于桩长、进尺等偏差，很难实现钻头刚入岩即换小直径钻头的愿望。还有，考虑到岩石属不均质体，为降低其节理、裂隙等结构面对岩样试件抗压强度的影响，为减小不同试件间强度的离散，宜采用较大直径的钻头。再有，当其他条件相同时，不同直径对抗压强度的影响可以忽略。综合以上多种因素，本规程未要求采用“小钻头”钻取岩样。

关于高径比，为了能和现行相关标准相协调，应在条件允许时，尽可能采用高径比为 2 : 1 的芯样试件。当无法采取、制作时，方可采用 1 : 1 的试件，抗压试验后再进行换算。结合深圳市的实践经验取 0.85 的换算系数较合理且偏安全。对此，说明如下：

在最早的中国工程建设标准化委员会标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》CECS 03 : 88 中将高径比为 2 : 1 的混凝土芯样试件强度换算成 1 : 1 的时，乘以 1.24 的系数，亦即将高径比

为 1 : 1 的混凝土芯样试件强度换算成 2 : 1 的时, 乘以 0.81 的系数。在中国铁道出版社 1995 年 1 月第 2 版的《工程地质试验手册(修订版)》中, 表 4.3.5 中提供的统计数据表明, 高径比为 2 : 1 的岩石芯样试件强度是高径比 1 : 1 的 0.85~0.90 倍。在交通行业标准《公路工程岩石试验规程》JTG E41 - 2005 中提出了将任意高径比的抗压强度  $R$  换算成高径比为 2 : 1 的标准强度值  $R_e$  的公式:

$$R_e = \frac{8R}{7 + 2D/H} \quad (3)$$

即以上标准采用了 0.89 的换算系数把高径比为 1 : 1 的岩石芯样试件强度换算成了 2 : 1 的。

综合以上各因素, 本规程取用 0.85 的换算系数。

## 10.4 检测结果

**10.4.1** 本规程中的高应变法、低应变法和超声法都能判定桩身完整性类别, 判定时还都需考察平均波速(声速), 但限于目前测试技术水平, 仍然存在漏判的情况, 即存在完整性判定为 I 类的桩, 桩身混凝土强度不满足设计要求的可能。钻芯法也存在类似的情况, 即从钻取的芯样外观特征可判定为 I 类的桩, 后续的强度试验却有不满设计要求的出现。完整性为 IV 类的桩肯定存在局部的, 且影响桩身承载力的低质混凝土, 即桩身混凝土强度达不到设计强度等级, 可以明确该桩不满足设计要求。因此, 本法应对 5 个基本指标、参数都做出评价, 缺一不可。

**10.4.2** 对于抗拔桩、承受水平荷载的桩, 最小桩长是重要设计指标。对于嵌岩桩, 桩端是否进入设计岩层及嵌入的深度和实际桩长密切相关, 可根据受检桩的有效长度, 结合详勘、施工勘察、受检桩侧补勘、施工记录等其他资料, 综合分析判断嵌岩情况。

**10.4.3** 桩底沉渣厚度允许值在不同行业、不同规范、不同的承载性状、不同桩型、不同施工工艺中不尽相同, 应区别对待。例

如深圳市标准《地基基础勘察设计规范》SJG 01 规定，钻（冲）孔灌注桩为端承桩时沉渣允许值为 50mm、摩擦桩时允许值为 80mm、抗拔（或抗水平力）桩时允许值为 150mm，挖孔桩为端承桩时允许值为 40mm、摩擦桩时允许值为 50mm、抗拔（或抗水平力）桩时允许值为 100mm。

**10.4.4** 桩端持力层岩土性状的描述，应符合《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

**10.4.5** 虽然桩身轴力上大下小，但从安全角度考虑，桩身承载力受最薄弱部位的混凝土强度控制。因此规定，取受检桩全长中混凝土抗压强度的最小值为该桩混凝土抗压强度。

**10.4.6** 为了和行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 — 2014 协调，本次修订对原桩身完整性分类表进行了充实、细化。

桩身完整性和混凝土强度及本法的其他 3 个评定指标虽然独立提出，但完整性和强度最终都统一到桩身承载力这个设计要求上了，这 2 个指标和沉渣厚度、桩端持力层性状（有时还有最小桩长）对最终的合格判定都具有“一票否决”的作用。钻芯法与高应变法、低应变法和超声法不同，属于直接法，其对桩身完整性类别的判定是通过对比芯样外观特征观察得出的，如观感差而判为Ⅳ类的桩，桩身承载力肯定是达不到设计要求的，但凭观感判为Ⅰ、Ⅱ类的桩，桩身承载力也不能肯定就满足设计要求，因还需要由强度判据确认。表 10.4.6 将完整性和强度分开，分别作为独立的判定条件，来判定桩身承载力，既便于现场操作又不会漏判、误判。例如两种极端情况，对于芯样外观判为Ⅰ类的桩，后续强度检测不满足设计要求，最终整桩评定时也是判为不合格，即未漏判；对于芯样外观判为Ⅲ类的桩，即使后续强度满足设计要求，由于耐久性方面的原因，应加固补强，也不能判为合格，也未错判。

表 10.4.6 中的桩身完整性分类是针对缺陷是否影响桩身承载力及影响程度的原则规定的，不论何种类型缺陷，都表明桩身混凝土质量差，即存在低强度区这一共性。

通过芯样特征对桩身完整性分类，有比其他无损检测方法更直观的一面，也有 1 孔之见代表性差的一面，适当增加钻孔数量可以使判定更客观些。表 10.4.6 中主要是针对常规桩径下、单桩钻孔数量不超过 3 个（包括加孔至 3 个）时的情况制定的，因为常规桩径下，按照本规程第 10.1.2 条规定，单根桩钻孔数量达到 3 孔时，应能客观地判定出完整性类别。当还允许继续加孔验证时，宜根据各孔反映的缺陷位置、范围和性质结合桩型、场地工程地质情况、施工工艺、施工记录等综合判定桩身完整性类别。注意，不同孔的芯样在同一深度部位均存在缺陷时，该位置存在安全隐患的可能性大，桩身完整性类别应判差些。

对芯样任一段松散、夹泥或分层的受检桩，应进行工程处理，以确保质量。

当存在水平裂缝时，可结合水平荷载设计要求和水平裂缝深度进行综合判断：当桩受水平荷载较大且水平裂缝位于桩上部时应判为Ⅳ类桩；当设计对水平承载力无要求且水平裂缝位于桩下部时可判为Ⅱ类桩；其他情况可判为Ⅲ类。

**10.4.8** 应说明采用的钻芯设备的型号、钻头类型、直径等。设计有要求时，还应包含岩石芯样试件个数及抗压强度试验结果、圆锥动力触探、标准贯入试验结果。



1 5 1 1 2 2 6 4 0 6

统一书号：15112 · 26406  
定 价： 20.00 元