

上海市工程建设规范

建筑地基与基桩检测技术规程

Technical specifications for testing of building foundation and piles

DG/TJ 08—218—2017

J 10287—2017

主编单位：上海市建筑科学研究院(集团)有限公司

批准部门：上海市住房和城乡建设管理委员会

施行日期：2018年5月1日

版权所有，不得复制或翻印

同济大学出版社

2018 上海

## 上海市住房和城乡建设管理委员会文件

沪建标定〔2017〕981号

---

### 上海市住房和城乡建设管理委员会 关于批准《建筑地基与桩基检测技术规程》 为上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

由上海市建筑科学研究院(集团)有限公司主编的《建筑地基与桩基检测技术规程》，经我委审核，现批准为上海市工程建设规范，统一编号为 DG/TJ 08—218—2017，自 2018 年 5 月 1 日起实施。原《建筑桩基检测技术规程》(DGJ 08—218—2003)同时废止。

本规范由上海市住房和城乡建设管理委员会负责管理，上海市建筑科学研究院(集团)有限公司负责解释。

特此通知。

上海市住房和城乡建设管理委员会  
二〇一七年十一月六日

版权所有，不得转载翻印

## 前 言

根据上海市城乡建设和交通委员会《关于印发〈2012年上海市工程建设规范和标准设计编制计划〉的通知》(沪建交〔2012〕第281号)的要求,由上海市建筑科学研究院(集团)有限公司,会同相关单位对上海市工程建设规范《建筑基桩检测技术规程》(DGJ 08—218—2003)进行修编,编制组经过广泛调查研究,认真总结本市工程检测实践经验,参考有关国内外先进标准,在广泛征求意见的基础上,完成了本规程的修订。

本规程修订后共13章、8个附录,主要内容包括:1总则;2术语和符号;3基本规定;4单桩竖向抗压静载荷试验;5单桩竖向抗拔静载荷试验;6单桩水平静载荷试验;7天然地基静载荷试验;8复合地基静载荷试验;9高应变法;10低应变反射波法;11超声波透射法;12钻孔取芯法;13孔内摄像法;附录A~附录H。

本次主要修订的内容是:①增加了建筑地基承载力静载荷试验方法,将建筑工程支护结构中的一些相关检测要求增编入本规程,规程更名为《建筑地基与基桩检测技术规程》;②取消了验收检测中单桩极限承载力通过统计分析得到标准值的要求;③修改了单桩竖向抗压静载荷试验、单桩竖向抗拔静载荷试验及单桩水平静载荷试验检测实施的有关要求;④增加了天然地基静载荷试验章节、复合地基静载荷试验章节;⑤取消了低应变动测法中机械阻抗法的相关内容;⑥修改了超声波透射法检测实施的有关要求;⑦增加了孔内摄像法章节;⑧增加、补充和修改了附录A灌注桩成孔质量检测要点,附录B地下连续墙成槽检测要点,附录C试桩桩头处理,附录D桩身内力测试,附录E静载荷试验记录表,附录F高应变法试打桩与打桩监控,附录G仪器系统延时及声时



修正,附录 H 混凝土芯样试件加工和测量要求。

各单位及相关人员在执行本规程的过程中,请注意总结经验、积累资料,随时将有关意见或建议反馈至上海市建筑科学研究院(集团)有限公司(地址:上海市宛平南路 75 号;邮编:200032;E-mail:514958843@qq.com),或上海市建筑建材业市场管理总站(地址:上海市小木桥路 683 号;邮编:200032;E-mail:hzglk@shjjw.gov.cn),以便今后修订时参考。

**主编单位:**上海市建筑科学研究院(集团)有限公司

**参编单位:**中交上海港湾工程设计研究院有限公司

上海市建设工程检测行业协会

上海申元岩土工程有限公司

上海中测行工程检测咨询有限公司

上海新地海洋工程技术有限公司

上海众合检测应用技术研究有限公司

上海岩土工程勘察设计研究院有限公司

华东建筑设计研究院有限公司

上海悦欣仪器科技有限公司

上海闵衡建筑检测研究所有限公司

上海汇谷岩土工程技术有限公司

上海同济建设工程质量检测站

**主要起草人:**张学文 缪群 张林海 杨世如 姚建阳

徐骏 赵荣欣 顾伟园 吕东辉 唐坚

李廷军 徐宏实 王敏华 吴江斌

**主要审查人:**季沧江 王卫东 袁雅康 梁志荣 朱光裕

李耀良 高大钊

上海市建筑建材业市场管理总站

2017 年 10 月

## 目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	4
3	基本规定	8
3.1	一般规定	8
3.2	检测方法、检测数量及检测时间	8
3.3	综合检测	17
3.4	检测报告	17
4	单桩竖向抗压静载荷试验	19
4.1	一般规定	19
4.2	仪器设备及安装	19
4.3	检测方法	22
4.4	检测数据分析与判定	24
5	单桩竖向抗拔静载荷试验	27
5.1	一般规定	27
5.2	仪器设备及安装	27
5.3	检测方法	28
5.4	检测数据分析与判定	29
6	单桩水平静载荷试验	31
6.1	一般规定	31
6.2	仪器设备及安装	31
6.3	检测方法	33
6.4	检测数据分析与判定	37

7	天然地基静载荷试验	40
7.1	一般规定	40
7.2	仪器设备及安装	40
7.3	检测方法	41
7.4	检测数据分析与判定	42
8	复合地基静载荷试验	43
8.1	一般规定	43
8.2	仪器设备及安装	43
8.3	检测方法	44
8.4	检测数据分析与判定	45
9	高应变法	47
9.1	一般规定	47
9.2	仪器设备	47
9.3	检测方法	48
9.4	检测数据分析与判定	51
10	低应变反射波法	57
10.1	一般规定	57
10.2	仪器设备	57
10.3	检测方法	58
10.4	检测数据分析与判定	59
11	超声波透射法	62
11.1	一般规定	62
11.2	仪器设备	62
11.3	声测管埋设	63
11.4	检测方法	65
11.5	检测数据分析与判定	66
12	钻孔取芯法	74
12.1	一般规定	74
12.2	设备及安装	75

12.3	检测方法	76
12.4	检测数据分析与判定	78
13	孔内摄像法	80
13.1	一般规定	80
13.2	仪器设备	80
13.3	检测方法	80
13.4	检测数据分析与判定	81
附录 A	灌注桩成孔质量检测要点	82
附录 B	地下连续墙成槽检测要点	86
附录 C	试桩桩头处理	88
附录 D	桩身内力测试	90
附录 E	静载荷试验记录表	94
附录 F	高应变法试打桩与打桩监控	97
附录 G	仪器系统延时及声时修正	100
附录 H	混凝土芯样试件加工和测量要求	102
	本规程用词说明	105
	引用标准名录	106
	条文说明	107

## Contents

1	General provisions .....	1
2	Terms and symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	4
3	Basic requirements .....	8
3.1	General requirements .....	8
3.2	Testing methods, quantity and time .....	8
3.3	Multiple test .....	17
3.4	Test reports .....	17
4	Vertical compressive <b>static load test</b> on single pile .....	19
4.1	General <b>requirements</b> .....	19
4.2	Equipments and installation .....	19
4.3	<b>Test methods</b> .....	22
4.4	Test data analysis and judgement .....	24
5	Vertical uplift static load test on single pile .....	27
5.1	General requirements .....	27
5.2	Equipments and installation .....	27
5.3	Test methods .....	28
5.4	Test data analysis and judgement .....	29
6	Lateral static load test on single pile .....	31
6.1	General requirements .....	31
6.2	Equipments and installation .....	31
6.3	Test methods .....	33
6.4	Test data analysis and judgement .....	37

7	Vertical compressive static load test on natural foundation	40
7.1	General requirements	40
7.2	Equipments and installation	40
7.3	Test methods	41
7.4	Test data analysis and judgement	42
8	Vertical compressive static load test on composite foundation	43
8.1	General requirements	43
8.2	Equipments and installation	43
8.3	Test methods	44
8.4	Test data analysis and judgement	45
9	High strain dynamic pile test	47
9.1	General requirements	47
9.2	equipments	47
9.3	Test methods	48
9.4	Test data analysis and judgement	51
10	Low strain pulse-echo integrity pile test	57
10.1	General requirements	57
10.2	Equipments	57
10.3	Test methods	58
10.4	Test data analysis and judgement	59
11	Cross-hole ultro-sonic logging	62
11.1	General requirements	62
11.2	Equipments	62
11.3	Installation of access tubes	63
11.4	Test methods	65
11.5	Test data analysis and judgement	66
12	Core drilling method	74

12.1	General requirements	74
12.2	Equipments and installation	75
12.3	Test methods	76
12.4	Test data analysis and judgement	78
13	Testing method with in-hole imagine	80
13.1	General requirements	80
13.2	Equipments	80
13.3	Test methods	80
13.4	Test data analysis and judgement	81
Appendix A	Key points for hole quality test of bored piles	82
Appendix B	Key points for slurry trench test	86
Appendix C	Treatment of test piles caps	88
Appendix D	Internal force testing of pile shaft	90
Appendix E	Static load test recording tables	94
Appendix F	Trial pile driving and driven pile installation monitoring	97
Appendix G	Delay and sonic time correction of instrumental system	100
Appendix H	Processing and measurement of core specimens	102
	Explanation of wording in this code	105
	List of quoted standards	106
	Explanation of provisions	107

## 1 总 则

**1.0.1** 为了在建筑工程地基与桩基检测中,做到技术先进、经济合理、数据准确、评价正确、安全适用,为工程设计和竣工验收提供可靠依据,制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于本市建筑工程的地基承载力、桩基承载力和桩身完整性的检测与评价,以及支护结构桩身(墙体)质量的检测与评价。当技术条件相同时,也适用于本市市政工程的相关检测与评价。

**1.0.3** 建筑地基和桩基的检测应在充分了解场地工程地质条件、桩型、施工特点、施工质量可靠性、设计使用要求等情况的基础上,根据各种检测方法的适用范围和特点,合理选择检测方法,在考虑各种影响因素的基础上正确判定检测结果。

**1.0.4** 建筑地基与桩基的检测除应按本规程执行外,尚应符合国家和本市现行有关标准的规定。



## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

#### 2.1.2 桩身完整性或墙体质量 pile(diaphragm wall) integrity

桩(墙)的结构尺寸、连续性和桩身(墙体)材料一致性的综合性评价指标。

#### 2.1.3 桩身(墙体)缺陷 pile(diaphragm wall) defects

由于桩身(墙体)出现断裂、裂缝、夹泥、空洞、蜂窝、松散、接头脱开等现象引起桩身(墙体)结构承载力及耐久性降低,在不同程度上使桩身完整性或墙体质量变差的不良现象的统称。

#### 2.1.4 单桩静载荷试验 static loading test

按桩的使用功能,分别在桩顶上逐级施加竖向压力、竖向上拔力,或在桩侧与桩基承台底标高一致处施加水平力,实测桩的相应检测点随时间产生的沉降、上拔量或水平位移,以判定相应的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力或单桩水平承载力(水平位移)的试验方法。

#### 2.1.5 处理地基 treated ground

天然地基经加固处理后形成的人工地基。

#### 2.1.6 复合地基 composite subgrade, composite foundation

部分上体被增强或被置换而形成的由竖向增强体和周围地基土来共同承担荷载的地基。

#### 2.1.7 浅层平板静载荷试验 shallow plate loading test

对天然地基、处理后的地基表面采用刚性承压板逐级加载,

测定沉降量随时间的变化以确定其地基承载力的试验方法。

#### 2.1.8 高应变法 high-strain dynamic pile test

在桩顶施加一竖向冲击力,实测桩顶附近的力和加速度的时程响应,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。

#### 2.1.9 低应变反射波法 low-strain pulse-echo integrity pile test

在桩顶施加低能量冲击荷载,实测桩顶的速度(或同时实测力)时程响应,通过一维波动理论的时域和频域分析,判定桩身完整性的检测方法。

#### 2.1.10 超声波透射法 cross-hole sonic logging

通过在预埋声测管或钻孔中超声波的发射与接收,实测超声波在混凝土介质中传播时的声时、波幅和频率等声学参数的相对变化来判定桩身完整性或墙体质量的检测方法。

#### 2.1.11 钻芯法 core drilling method

通过钻取桩身(墙体)的芯样,检测桩身长度或墙体深度、桩身(墙体)混凝土强度、密实性和完整性、桩(墙)底的岩土性状的方法。

#### 2.1.12 沉渣 sediment

灌注桩成孔或地下连续墙成槽后,淤积于孔(槽)底部的非原状沉淀物。

#### 2.1.13 超声波法成孔(槽)检测 slurry trench test with ultrasonic method

采用超声波探头连续检测不同深度处的孔径(槽宽),根据记录仪同步绘制的孔壁(槽壁)形态图,判定孔径(槽宽)、孔深(槽深)、孔壁(槽壁)垂直度的检测方法。

#### 2.1.14 孔内摄像法 testing method with video monitor through the hole

沿预应力混凝土桩孔或灌注桩、地下连续墙的钻孔中,采用摄像及图像处理技术对孔壁进行拍摄及观察,识别桩身(墙体)

缺陷的位置、形式、程度的检测方法。

#### 2.1.15 微型桩 micropile

直径或边长不大于 300mm 的树根桩、混凝土预制桩或钢管桩。

#### 2.1.16 试成孔(槽) experimental drilling hole of cast-in-place pile or experimental groove of diaphragm wall

钻孔灌注桩(地下连续墙)在施工前,为核对地层资料和检验所选设备、机具,选择合理的施工工艺参数及监测孔(槽)壁的稳定性的试验性成孔(槽)。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 几何参数

$A$ ——桩身截面面积;

$B$ ——矩形截面桩的边长;

$b$ ——承压板的宽度或圆形承压板直径;

$b_0$ ——桩身计算宽度;

$D$ ——桩身直径(外径);

$d$ ——芯样试件的平均直径;

$d_1$ ——超声波透射法中预埋声测管外径;

$d_2$ ——超声波透射法中预埋声测管内径或钻孔直径;

$d'$ ——径向振动式换能器直径;

$z$ ——超声波透射法中声测线的深度;

$I$ ——桩身换算截面惯性矩;

$L$ ——测点位置到桩底的距离;

$l'$ ——超声波透射法中声测线处两根声测管外壁之间的净距离;

$x$ ——传感器安装位置距计算点或缺陷处的距离。

### 2.2.2 抗力和材料性能

$c$ ——桩身一维纵向应力波传播的速度(简称“桩身纵波波速”);

$c_i$ ——第  $i$  根桩的桩身纵波波速;

$c_n$ —— $n$  根桩桩身纵波波速的平均值;

$E$ ——桩身材料的弹性模量;

$f_{cu}$ ——混凝土芯样试件的抗压强度;

$G_s$ ——单桩自重设计值;

$m$ ——地基土水平抗力系数的比例系数;

$R_i$ ——第  $i$  根静载荷试桩竖向抗压极限承载力实测值;

$R_n$ —— $n$  根静载荷试桩单桩竖向抗压极限承载力实测值的平均值;

$R'_n$ —— $n$  根试桩实测极限承载力小值平均值;

$R_{min}$ —— $n$  根静载荷试桩单桩竖向抗压极限承载力实测值的最小值;

$R_{90}$ ——单桩竖向抗压极限承载力试验统计值;

$R_{sk}$ ——单桩抗拔试验中扣除单桩自重后的极限抗拔承载力标准值,可取单桩抗拔试验极限承载力扣除单桩自重后的试验统计值;

$R_s$ ——由凯司法计算的单桩竖向抗压承载力;

$R_t$ ——缺陷以上部位土阻力估算值;

$Z$ ——桩身截面力学阻抗;

$\rho$ ——桩身材料质量密度。

### 2.2.3 作用与作用效应

$F$ ——高应变动测法中的锤击力;

$H$ ——单桩水平静载荷试验中作用于桩身的水平力;

$P$ ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载;

$p$ ——承压板竖向抗压静载荷试验中施加于承压板上的竖向  
下压荷载;

$Q$ ——单桩竖向抗压静载荷试验中施加于桩顶的竖向  
下压

荷载；

$s$ ——单桩或承压板竖向抗压静载荷试验中桩顶或承压板沉降量；

$U$ ——单桩竖向抗拔静载荷试验中施加于桩顶的竖向上拔荷载；

$V$ ——高应变动测法中质点的运动速度；

$Y_0$ ——单桩水平静载荷试验中的水平位移；

$\delta$ ——单桩竖向抗拔试验中桩顶上拔量；

$\sigma_s$ ——桩身最大锤击压应力(kPa)；

$\sigma_c$ ——钢筋应力；

$\sigma_t$ ——桩身锤击拉应力。

#### 2.2.4 计算系数

$J_c$ ——凯司阻尼系数；

$a$ ——桩的水平变形系数；

$\beta$ ——高应变动测法中的桩身完整性系数；

$\lambda$ ——样本中不同统计个数对应的系数；

$v_s$ ——桩顶水平位移系数；

$\xi$ ——是与试桩数量有关的折减系数。

#### 2.2.5 其他

$A_n$ ——某一检测剖面声测线波幅平均值；

$A_s$ ——声测线的波幅值；

$a$ ——信号首波峰值电压；

$a_0$ ——零分贝信号峰值电压；

$C_v$ ——变异系数；

$f$ ——频率、声波信号主频；

$\Delta f$ ——低应变反射波法中频域分析时完整桩相邻波峰之间的频率差；

$\Delta f'$ ——缺陷桩幅频曲线上缺陷相邻谐振峰之间的频率差；

$g$ ——重力加速度；

- $n$ ——数目、样本数量；
- $PSD$ ——声时-深度曲线上相邻两点连线的斜率与声时差的乘积；
- $s_r$ ——标准差；
- $T$ ——信号周期；
- $\Delta T$ ——速度波第一峰与桩底反射波峰之间的时间差；
- $t_i$ ——桩底反射波到达传感器安装位置的时间、超声波透射法中第  $i$  声测线的声时测量值；
- $t_1$ ——速度波第一峰值对应的时刻；
- $t_2$ ——速度波中的缺陷的反射波对应的时刻；
- $\Delta t_2$ ——缺陷桩时域曲线上速度波第一峰值与缺陷的反射波峰值之间的时间差；
- $t_0$ ——超声波透射法中仪器设备的声时初读数；
- $t_r$ ——声时；
- $t'_r$ ——声测管及耦合水层声时修正值；
- $v$ ——检测剖面声测线声速；
- $v_0$ ——声速异常判断值；
- $v_c$ ——声速异常判断临界值；
- $v_l$ ——声速低限值；
- $v_m$ ——声速平均值；
- $v_s$ ——混凝土试件的声速平均值；
- $v_t$ ——预埋声测管材料声速；
- $v_w$ ——水的声速。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 桩基础中的工程桩施工完成后应进行单桩承载力和桩身完整性检测。

3.1.2 复合地基承载力的验收检测应采用竖向增强体单桩竖向抗压静载荷试验以及单桩或多桩复合地基竖向抗压静载荷试验，处理地基承载力验收检测应采用抗压静载荷试验。

3.1.3 建筑地基与基桩除应在施工完成后进行验收性检测外，尚宜根据工程需要在施工前进行为设计提供依据的试验性检测及在施工过程中进行质量检测与监测。

3.1.4 检测工作流程应按图 3.1.4 进行。

### 3.2 检测方法、检测数量及检测时间

3.2.1 应根据检测目的以及各种检测方法的特点和适用范围，综合考虑地质条件、施工质量的可靠性等因素按表 3.2.1 合理选择检测方法；当一种检测方法不能够确定检测结果时，应选用两种或两种以上方法进行检测，综合分析、判断；检测方法之间应能相互补充、验证，并能有效提高检测结果的可靠性。

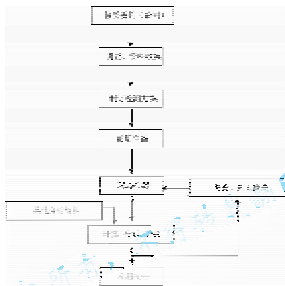


图 3.1.4 检测工作流程框图

表 3.2.1 检测方法 & 检测内容一览表

检测方法	检测目的及内容
单桩竖向抗压静载高试验	确定单桩竖向抗压极限承载力 检测单桩竖向抗压承载力是否满足设计要求 通过桩身内力、位移测试,计算桩侧、桩端阻力
单桩竖向抗拔静载高试验	确定单桩竖向抗拔极限承载力 检测单桩竖向抗拔承载力是否满足设计要求 通过桩身内力、位移测试,计算桩的抗拔侧阻力



续表 3.2.1

检测方法	检测目的及内容
单桩水平静载荷试验	确定单桩水平临界荷载和极限承载力, 推定土抗力参数 检测单桩水平承载力或水平位移是否满足设计要求 通过桩身内力、位移测试, 计算桩身弯矩
天然地基静载荷试验	确定天然地基极限承载力 检测天然地基承载力是否满足设计要求
处理地基静载荷试验	确定处理地基极限承载力 检测处理地基承载力是否满足设计要求
高应变法	检测单桩竖向抗压承载力是否满足设计要求 检测桩身缺陷及其位置, 判定桩身完整性类别 进行打桩监控
低应变法	检测桩身缺陷及其位置, 判定桩身完整性类别
超声波透射法	检测灌注桩桩身缺陷及其位置, 判定桩身完整性类别或墙体质量
钻芯法	检测灌注桩桩长、桩下连续桩端、桩身(混凝土)强度、桩身(混凝土)缺陷及位置、桩(端)部沉渣厚度, 判定桩身完整性类别或墙体质量, 判定或鉴别桩端(端部)持力层岩土性状
孔内摄像法	检测桩(墙)缺陷及位置
成孔质量检测	检测钻孔灌注桩成孔的孔径、孔深、垂直度及沉渣厚度是否满足设计要求
成槽质量检测	检测地下连续墙槽宽、槽深及槽壁垂直度等是否满足设计要求

3.2.2 当满足下列条件之一或设计有要求时, 宜在施工前采用单桩静载荷试验确定单桩极限承载力。为设计提供依据的试验性检测试桩数量不宜少于总桩数的 0.5%, 且不应少于 3 根。

- 1 18 层及以上的高层建筑。
- 2 对差异沉降有严格要求的建筑物。

- 3 场地和地基条件复杂的建筑物及坡地、岸边建筑物。
- 4 大面积的多层地下建筑物(如地下车库、商场、运动场等)。
- 5 桩基施工质量可靠性低的工程。
- 6 采用新桩型或新工艺的工程。
- 7 场地周边有城市生命线工程或优秀历史保护建筑物。

### 3.2.3 单桩竖向抗压承载力验收检测应符合下列规定:

1 对于符合本规程第 3.2.2 条规定条件之一的工程,应采用单桩竖向抗压静载荷试验进行承载力验收检测;单位工程内同一条件下试桩数量不应少于总桩数的 1%,且不应少于 3 根,当总桩数在 50 根以内时,不应少于 2 根。

2 对于本规程第 3.2.2 条规定以外工程,宜采用单桩竖向抗压静载荷试验进行承载力验收检测,检测数量应符合本规程第 3.2.3 条第 1 款的规定;也可采用以单桩静载荷试验为主、高应变法为辅相结合进行单桩竖向抗压承载力的验收检测,单位工程内同一条件下单桩静载荷验收检测试桩数量不应少于总桩数的 0.5%,且不应少于 3 根,高应变法检测试桩数量不应少于总桩数的 3%,且不应少于 5 根。

3 场地和地基条件简单、荷载分布均匀的三层及三层以下民用建筑及一般工业建筑、重要性较低的小型桥梁等不具备进行静载荷试验条件的工程,当有可靠工程经验时,也可直接采用高应变法进行单桩竖向抗压承载力验收检测,单位工程内同一条件下试桩数量不应少于总桩数的 5%,并不得少于 5 根,试桩应在桩身完整性普查基础上选择有代表性的桩。

3.2.4 单桩竖向抗拔或单桩水平承载力验收静载荷试验的检测数量应符合本规程第 3.2.3 条第 1 款的规定。预应力管桩作为抗拔桩时,应结合类似工程经验对桩身结构强度、接头部位的端板进行验算,并应在施工前进行单桩抗拔静载荷试验为设计提供依据。

3.2.5 单桩承载力和桩身完整性检测的受检桩应有代表性,验收性试桩的桩型尺寸、成(沉)桩工艺和质量检测标准应与工程桩一致。

3.2.6 单桩承载力试验开始前应先进行桩身完整性检测,有明显缺陷的桩不应作为提供承载力依据的试桩。承载力试验后宜对试(锚)桩进行桩身完整性检测。

3.2.7 建筑地基承载力静载荷试验检测方法和检测数量应符合下列规定:

1 当采用静载荷试验确定某一土层天然地基承载力时,应采用天然地基静载荷试验方法,同一条件下每个单体工程检测数量为每 500m<sup>2</sup> 不应少于 1 个点,且总点数不应少于 3 点;对于复杂场地或重要建筑地基应增加检测数量。

2 处理地基承载力静载荷试验方法及检测数量应按照表 3.2.7 执行;当静载荷试验作为施工前为设计提供依据或施工过程中的质量控制依据时,同一条件下每个单体工程的检测数量不应少于 3 点;当静载荷试验作为处理地基承载力验收检测的依据时,检测数量应按照表 3.2.7 执行;对复杂场地或重要建筑物应增加试验点数。

表 3.2.7 处理地基承载力静载荷试验检测方法及检测数量

序号	处理方法	检测方法	检测数量
1	换填法	按本规程第 7 章执行,采用天然地基静载荷试验方法,承压板面积不应小于 1m <sup>2</sup> ,对土方实地基承压板面积应根据旁点间距确定且不宜小于 2m <sup>2</sup>	每 500m <sup>2</sup> 不应少于 1 个点,且总点数不应少于 3 点。对强夯法检测点应在强夯点、强夯点之间均有布置。超过 5000m <sup>2</sup> 部分每 500m <sup>2</sup> 不应少于 1 点,大面积地基处理工程,测点数量可适当减少
2	强夯法		
3	强夯法		
4	注浆法		总样点总数的 1%,且不应少于 3 点

续表 3.2.7

序号	处理方法	检测方法	检测数量
5	水泥土搅拌桩	按本规程第 8 章执行,采用复合地基竖向增强体单桩竖向抗压静载荷试验方法以及单桩或多桩复合地基竖向抗压静载荷试验方法	复合地基静载荷试验数量为总桩数的 0.5%~1%,且不应少于 3 点;复合地基竖向增强体单桩竖向抗压载荷试验数量为总桩数的 0.5%~1%,且每个单体不应少于 3 根
6	锤(砂)石桩法		
7	强夯置换法		
8	旋喷桩		
9	微型桩(树根桩、预制桩、注浆钢管桩)	按本规程第 4 章执行,采用单桩竖向抗压静载荷试验方法	按本规程第 3.2.3 条第 1 款执行

**3.2.8** 灌注桩成孔检测方法应按本规程附录 A 执行,且应符合下列规定:

1 桩开始施工前应进行试成孔检测,检测数量应根据桩的设计要求、施工工艺、孔径孔深、工程规模和场地条件等综合确定,且不少于 2 个。

2 试桩应进行孔径、孔深、沉渣及垂直度检测,各项指标应符合本规程附录 A 中的规定,没有代表性的桩不应作为试桩。

3 一般工程成孔施工期间应随机、均匀进行成孔质量检测,抽检数量不应少于总桩数的 10%,超高层建筑可根据设计要求提高抽检比例。

4 逆作法一柱一桩竖向支承桩应 100% 进行成孔检测。

5 每次成孔检测完成后应及时提供书面简报。

**3.2.9** 地下连续墙成槽检测应按本规程附录 B 执行。

**3.2.10** 预制桩有试打桩监测要求时,同一条件下单位工程的试打桩数量不应少于 3 根。

**3.2.11** 基桩完整性检测数量应符合下列规定:

1 抽样原则:随机、均匀并应具有代表性。

2 低应变反射波法检测数量:对多节混凝土预制桩,抽检桩

数不应少于总桩数的 30%，并不得少于 10 根，单节混凝土预制桩，抽检数量可适当减小，但不应少于总桩数的 10%；灌注桩抽检数量必须大于总桩数的 50%；采用独立承台形式的桩基工程，应扩大抽检比例，每个独立承台抽检桩数不得少于 1 根；市政桥梁工程、一柱一桩基础形式的工程应 100% 进行检测；对有接头的抗拔预应力混凝土桩，宜 100% 进行检测；设计单位也可根据结构的重要性和可靠性，在此基础上增加检测比例。

3 超声波透射法、高应变法及钻孔取芯法的检测要求及检测数量宜根据设计要求和实际工程情况确定，采用超声波透射法进行桩身完整性检测时，其检测数量不宜少于总桩数的 10%，采用高应变法或钻芯法进行桩身完整性检测时，抽检数量不得少于总桩数的 5% 且不应少于 5 根；后注浆灌注桩超声波透射法的检测数量不宜少于总桩数的 20%；逆作法（柱、桩竖向支承桩）超声波透射法的检测数量不宜少于总桩数的 50%，上下同步施工时，竖向支承桩应 100% 采用超声波透射法检测桩身质量。

4 采用孔内摄像法应用于疑似缺陷桩的检测时，检测桩数量宜根据实际工程情况确定，不宜少于 3 根；检测结果作为桩身完整性验收依据时，检测数量应根据工程的具体情况综合分析确定。

3.2.12 对于兼作地下室外墙的地下连续墙，墙体质量检测方法及数量应符合下列规定：

1 在成墙后应采用超声波透射法检测墙体混凝土质量，检测墙段数不宜少于总墙段数的 20%，且不应少于 3 幅。

2 宜采用钻孔取芯法检测墙体混凝土质量和强度，检测墙段数不宜少于总墙段数的 1%，且不应少于 3 幅；单幅墙体钻孔取芯数量不应少于 2 个；钻孔取芯完成后应对取芯孔进行注浆填充密实。

3.2.13 对于兼作地下室外墙“桩墙合一”灌注桩排桩，检测方法 & 数量应符合下列规定：

1 桩身完整性检测比例应为 100%，其中超声波透射法检测比例不应低于总排桩数的 20%，且不应少于 5 根。

2 当对排桩的竖向承载力有要求时，可对其进行静载荷试验，检测比例不宜低于总排桩数的 1%，且不应少于 3 根。

3.2.14 用于地基处理的微型桩（树根桩、混凝土预制桩），低应变反射波法桩身完整性检测数量应符合本规程第 3.2.11 条第 2 款规定。

3.2.15 检测开始时间应符合下列规定：

1 当进行单桩承载力检测时，混凝土预制桩在沉桩后到进行试验时的休止时间不应少于桩周土体强度恢复或基本恢复的时间，黏性土不应少于 28d，砂质粉土、砂土不宜少于 14d；灌注桩应满足桩身混凝土养护所需要的时间及桩周土体强度恢复所需要的时间，不宜少于 28d，后注浆桩注浆完成后的休止时间不应少于 20d。

2 当进行桩身完整性或墙体质量检测时，休止时间可适当缩短，受检桩（墙）的混凝土强度不宜低于设计强度的 70% 且不低于 15MPa，休止时间不应小于 14d；预应力混凝土桩应在填芯及端板焊接钢筋前进行检测。

3 当采用钻芯法检测受检桩（墙）的混凝土强度时，受检桩（墙）的混凝土龄期应达到 28d 或同条件养护的试件强度达到设计强度。

4 处理地基的承载力检测开始时间应符合表 3.2.15 的规定。

表 3.2.15 处理地基的承载力检测开始时间

序号	处理方法	承载力检测休止时间
1	换填法	施工完成后
2	预压法	卸载 3d~5d 后
3	灌浆法	对黏性土地基不宜少于 28d，对粉性土、砂土地基不宜少于 14d；降水联合低能强夯地基不宜少于 28d

续表 3.2.15

序号	处理方法	承载力检测休止时间
4	注浆法	不宜少于 28d
5	水泥土搅拌桩	不宜少于 28d
6	碎(砂)石桩	对黏性土地基不宜少于 28d,对弱性土、砂土地基不宜少于 14d
7	强夯置换法	不宜少于 28d
8	旋喷桩	不宜少于 28d
9	微型桩(树根桩、簇刺桩、注浆钢管桩)	对黏性土地基不宜少于 28d,对弱性土、砂土地基不宜少于 14d

3.2.16 建筑地基承载力、单桩承载力检测应明确给出每个试验点或每根桩承载力的检测值。为设计提供依据的试验,应给出该单位工程同一条件下地基极限承载力或单桩极限承载力的统计值。验收检测应给出每个试验点或每根桩的承载力检测值是否满足设计要求的结论。

3.2.17 单桩完整性检测可采用低应变反射波法、高应变法、超声波透射法、钻孔取芯法、孔内摄像等方法,宜采用多种方法同时检测经综合分析后,按表 3.2.17 的规定进行完整性分类,对每根被检桩的完整性作出评价。

表 3.2.17 桩身完整性分类

桩身完整性类别	分类原则
I	无任何缺陷,桩身结构完整
II	有轻度缺陷,但不影响或基本不影响原设计的桩身结构承载力
III	有明显缺陷,影响原设计的桩身结构承载力
IV	有严重缺陷,严重影响原设计的桩身结构承载力

### 3.3 综合检测

3.3.1 在施工过程中发现施工质量有疑问的,必须进行检测,但其数量不应计入正常验收抽检的比例内。

3.3.2 低应变反射波法检测后,Ⅲ、Ⅳ类桩比例占抽检总数5%以上时,应以已检测相同的百分比扩大抽检,直至100%进行检测。

3.3.3 对低应变反射波法或超声波透射法检测中的Ⅲ类桩或不能明确完整性类别的桩,可根据实际情况采用高应变法、钻芯法、孔内摄像法等多种适宜的方法综合检测并分析,桩身浅部缺陷可采用开挖检测或验证。

3.3.4 对兼作地下室外墙“两墙合一”的地下连续墙及“桩墙合一”灌注桩排桩,当根据超声波透射法判定的墙体或桩身质量不合格时,宜采用钻芯法进行检测。

3.3.5 桩身完整性存在明显缺陷的Ⅲ类桩有承载力检测要求时,宜选用静载试验。

3.3.6 Ⅲ类、Ⅳ类桩工程处理后应进行检测,并评价是否满足设计要求。

### 3.4 检测报告

3.4.1 检测报告应包含以下内容:

1 工程项目信息:工程名称和地点,建设、勘察、设计、监理、施工单位名称;基础和上部的结构型式及层数;现场检测见证人相关信息。

2 桩基或地基处理相关资料:桩型(桩长、桩径),抗拔试桩的配筋数量、规格,桩顶标高,桩底标高,持力层,检测比例,总桩数等;地基处理的方法,处理范围及深度和试验土层名称、标



高、该土层的厚度、下卧层的状况及承载力设计值(或最大试验荷载)等。

3 地质条件描述:受检桩的持力层及桩侧土层分布柱状图、静探曲线及物理力学参数。

4 受检桩或地基处理的施工概况:成(沉)桩方法、地基处理方法、施工日期;对于灌注桩宜提供每根桩的充盈系数等原始数据,静载荷试桩的成孔质量检测曲线;对于混凝土预制桩则应提供沉桩的锤重(或压机型号)、最后 10 击贯入度(或最后的压桩力)、每根试桩的持力层及休止时间。

5 检测依据:应用的技术标准,设计文件。

6 仪器设备名称、型号;检定/校准日期及证书号;安装位置及数量,提供反力的方法,最大堆载量,地基土承受最大应力及相应试桩、锚桩(或支墩)距离。

7 检测目的,被检桩的数量,检测日期,受检桩抽检原则及抽检比例、受检桩的桩号、桩位分布图。

8 检测方法和原理,计算公式、检测过程叙述、检测数据、各桩的实测与计算分析曲线,严禁将实测结果外推。

9 检测结论。

## 4 单桩竖向抗压静载荷试验

### 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。当设计有要求时,可在桩身(端)埋设应力、应变传感器及沉降杆,测定桩身内力、桩周各土层的侧摩阻力、桩端土的端承力及桩身各截面的沉降量。

4.1.2 为设计提供依据的试桩,应加载至地基土破坏;当桩的承载力由桩身材料强度控制时,可按设计要求的最大试验荷载进行加载。

4.1.3 工程桩验收检测时,最大试验荷载应符合下列规定:

1 当单桩竖向承载力设计值按静载荷试验确定时,对混凝土预制桩最大试验荷载不应小于设计值的 1.8 倍,对灌注桩最大试验荷载不应小于设计值的 1.9 倍。

2 单桩竖向承载力设计值按承载力经验参数确定时,最大试验荷载不应小于设计值的 2 倍。

### 4.2 仪器设备及安装

4.2.1 加载设备宜采用液压千斤顶,且应符合下列规定:

千斤顶应放置在试桩横截面的形心。当采用 2 台以上千斤顶加载时,其型号、规格应一致,所有千斤顶应并联同步工作,其合力中心应与试桩轴心重合,千斤顶最大行程应能满足试验要求。

4.2.2 反力装置可根据现场条件选用锚桩横梁反力装置、压重

平台反力装置或锚桩压重联合反力装置(图 4.2.2),且应符合下列规定:

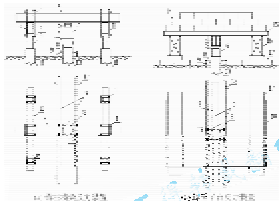


图 4.2.2 抗压静荷载试桩安装示意图

- 1—井字架;2—螺栓;3—主桩;4—主梁;5—钢垫块;6—千斤顶;7—承台;  
8—位移计;9—基座梁;10—副梁;11—锚桩;12—基准桩;13—试桩;  
14—压重块;15—副梁平台;16—支墩;17—垫块;18—压重平台

- 1 反力装置能提供的反力不应小于预估最大试验荷载的1.2倍。
- 2 反力装置结构各部件及连接件应满足承载力和变形要求。
- 3 应根据抗拔力要求对锚桩进行验算。
- 4 采用锚桩横梁反力装置时,锚桩数量不宜少于4根;当工程桩用作锚桩时,应确保试验完成后工程桩可以正常使用,并对锚桩上拔量进行监测。
- 5 在压重平台反力装置中,应确保消除压重平台对试验的影响,压重施加于地基土的压应力不应超过地基土承载力设计值

的 1.25 倍,同时采取措施避免支墩下地基土产生明显不均匀沉降;有条件时,宜利用工程桩作为堆载支点;压重宜在试验开始前一次加足,并均匀稳固地放置于压重平台上。

6 不得使用施工中使用的静力压桩机代替压重平台提供试验反力。

7 通常情况下,反力装置宜以试桩为中心呈对称分布。

4.2.3 荷载测量应符合下列规定:

1 宜采用放置于千斤顶上的荷重传感器直接测定,示值误差不应大于 $\pm 1\%$ 。

2 当通过并联于千斤顶油路上的压力表或数字压力计控制加载量时,荷载示值大小应根据千斤顶率定曲线或方程进行换算;液压千斤顶、油泵、压力表(数字压力计)宜作为一个系统进行检定或校准(包括加载及卸载),其系统的示值误差不应大于 $\pm 1\%$ 。

3 应合理选择液压千斤顶、荷重传感器、压力表(数字压力计)、油泵、油管;所选压力表的准确度不应低于 0.4 级,压力传感器准确度不应低于 0.5 级;试验用液压千斤顶、荷重传感器、压力表(数字压力计)、油泵、油管在最大加载时的压力不宜超过额定工作压力的 80%,且液压千斤顶、荷重传感器、压力表(数字压力计)不应小于额定工作压力的 20%。

4.2.4 沉降量测宜采用大量程的百分表或位移传感器,且应符合下列规定:

1 分度值或分辨力不应低于 0.01mm,测量误差不应大于 0.1%FS。

2 沉降测定平面离桩顶距离不应小于 0.5 倍桩径(或边长)且不小于 200mm,应在桩侧两个正交方向上对称布设 4 只百分表或位移传感器。

3 锚桩上拨量测点宜设置在锚桩桩顶混凝土面上,且每根锚桩不宜少于 1 个测点。

4 基准架应具有足够的刚度,其一端固定在基准桩上,另一端简支于基准桩上;基准桩打入地面以下深度不应小于 1m,严禁使用搁置在地表(面)的钢凳(或其他物体)作为基准桩。

5 试桩设备及量测仪表等应有遮挡设施,严禁日光直射基准架;试桩区域不应受冲击、振动等影响。

4.2.5 试桩、锚桩(或压重平台支墩)和基准桩之间的中心距离应符合表 4.2.5 的规定。

表 4.2.5 试桩、锚桩和基准桩之间的中心距离

反力装置	试桩与锚桩中心 (或压重平台支墩边)	试桩中心与 基准桩中心	基准桩中心与锚桩中 心(或压重平台支墩边)
锚桩横梁	$\geq 3D$ 且 $\geq 2.0m$	$\geq 4D$ 且 $\geq 2.0m$	$\geq 4D$ 且 $\geq 2.0m$
压重平台	$\geq 4D$ 且 $\geq 2.0m$	$\geq 4D$ 且 $\geq 2.0m$	$\geq 4D$ 且 $\geq 2.0m$

注:  $D$  为试桩、锚桩的设计直径或边长,当二者不一致时取其大值。

4.2.6 试桩桩头处理应按本规程附录 C 执行。

4.2.7 当有桩身内力及位移测试要求时,应按本规程附录 D 执行。

### 4.3 检测方法

4.3.1 为设计提供依据的单桩竖向抗压静载荷试验必须采用慢速维持荷载法。

4.3.2 工程桩验收检测时,宜采用慢速维持荷载法,当设计有要求时,也可采用快速维持荷载法;有特殊要求时也可采用多循环加载、卸载方法或恒载法。

4.3.3 试验加载、卸载要求应符合下列规定:

1 加载应分级进行,每级荷载级差不应大于预估极限承载力或最大试验荷载的 1/10,逐级等量加载,第一级可取 2 倍荷载级差。

2 卸载应分级进行,每级卸载值取加载时分级荷载的2倍,逐级等量卸载。

3 加载、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应保持数值稳定,其变化幅值不应超过分级荷载的10%。

**4.3.4 慢速维持荷载法试验应符合下列规定:**

1 每级荷载施加后按第5min,15min,30min,45min,60min测读桩顶沉降量,以后每隔30min测读一次,当桩顶沉降速率达到相对稳定标准时,施加下一级荷载。

2 试桩沉降相对稳定标准为每小时的桩顶沉降量不大于0.1mm,并连续出现两次(从分级荷载施加后的第30min开始,由1.5h三次30min沉降观测值计算)。

3 卸载时,每级荷载维持1h,按第5min,15min,30min,60min测读桩顶沉降量,卸载至零后测读残余沉降量不应少于3h,测读时间为5min,15min,30min,60min,以后每隔30min测读一次。

**4.3.5 快速维持荷载法试验应符合下列规定:**

1 除最后两级荷载,每级荷载加载后维持1h,按第5min,15min,30min,45min,60min测读桩顶沉降量,卸载时,每级荷载维持15min,测读时间为第5min,15min。

2 对最后两级荷载加载,应采用慢速法试桩的沉降相对稳定标准。

3 卸载至零后测读残余沉降量2h,测读时间为第5min,15min,30min,60min,90min,120min。

**4.3.6 当出现下列情况之一时,可终止加载:**

1 试桩在某级荷载作用下的桩顶沉降量大于前一级荷载沉降量的5倍。

2 试桩在某级荷载作用下的桩顶沉降量大于前一级的2倍,且经24h尚未稳定。

3 桩身出现明显破坏现象。

4 工程桩作锚桩时,锚桩上拔量已达到允许值,或已达到反力装置提供的最大试验荷载。

5 当荷载~沉降( $Q\sim s$ )曲线呈缓变形时应按总沉降量控制;桩长不大于40m时,桩顶总沉降量宜按100mm控制;桩长大于40m时,应考虑桩身压缩变形的影响。

6 对于灌注桩及有接头的混凝土预制桩,当符合本条第1或第2款,但未达到最大试验荷载且桩顶总沉降量小于100mm时,宜继续加载至满足总沉降量控制标准为止。

7 达到设计要求的最大试验荷载且桩顶沉降达到稳定。

4.3.7 试验概况及检测数据宜按本规程表 E.0.1~E.0.3 的格式进行记录整理,试验过程中发生的异常现象应作补充说明,并绘制荷载~沉降( $Q\sim s$ )曲线、沉降~时间对数( $s\sim \lg t$ )曲线及沉降~荷载对数( $s\sim \lg Q$ )曲线。

#### 4.4 检测数据分析与判定

4.4.1 单桩竖向抗压极限承载力可按下列方法综合确定:

1 取  $Q\sim s$  曲线发生明显陡降段的起始点所对应的荷载值。

2 取  $s\sim \lg t$  曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值。

3 符合本规程第 4.3.6 条第 2、第 3 款时,应取前一级荷载。

4 符合本规程第 4.3.6 条第 4 款且试桩桩顶沉降量未达到稳定时,应取前一级荷载。

5 对缓变型  $Q\sim s$  曲线宜按桩顶总沉降量确定;混凝土桩宜取沉降量为 40mm 对应的荷载值;对钢桩和桩长超过 40m 的混凝土桩,应考虑桩身弹性压缩量,所取用的桩顶总沉降量可适当加大。

6 不符合本条第 1~5 款情况时,可判定单桩竖向抗压极限承载力不小于最大试验荷载。

4.4.2 为设计提供依据的试桩,当各试桩条件相同时,单桩竖向抗压极限承载力试验统计值的确定应符合下列规定:

1 试桩结果统计计算应符合下列规定:

- 1) 按本规程第 4.4.1 条方法,确定  $n$  根试桩正常条件下极限承载力实测值  $R_i (i=1, 2, \dots, n)$ ;
- 2) 按下式计算  $n$  根试桩实测极限承载力平均值  $R_n$  及小值平均值  $R'_n$ :

$$R_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (4.4.2-1)$$

$$R'_n = \frac{R_n + R_{\min}}{2} \quad (4.4.2-2)$$

式中:  $R_{\min}$ ——实测值的最小值;

3) 按下式计算标准差  $S_v$  及变异系数  $C_v$ :

$$S_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 - nR_n^2}{n-1}} \quad (4.4.2-3)$$

$$C_v = \frac{S_v}{R_n} \quad (4.4.2-4)$$

2 当多根试桩结果差异较大 ( $C_v > 0.17$ ) 时,应分析差异过大的原因并结合工程具体情况进行综合评价;必要时将试验结果异常的试桩数量加倍进行扩大抽检,并对试验结果进行重新统计。

3 对于正常试验情况,单桩竖向抗压极限承载力试验统计值  $R_{ki}$  可按下式计算,  $\xi$  是与试桩数量有关的系数,由表 4.4.2 查得。

$$R_{ki} = R_n [1 - \xi(C_v - 0.17)] \quad (4.4.2-5)$$

式中:  $R_{ki}$ ——单桩竖向抗压极限承载力试验统计值 (kN), 当  $R_{ki} < R'_n$  时,取  $R_{ki} = R'_n$ ;

$C_v$ ——变异系数,当  $C_v < 0.17$  时,取  $C_v = 0.17$ 。



表 4.4.2 系数  $\xi$  与试桩数量的关系

试样数	3	4	5	6	7	8	9	10
$\xi$	1.67	1.29	0.95	0.82	0.73	0.67	0.62	0.58

- 4 当试桩数  $n$  等于 2 时,  $R_n$  取 2 根试桩结果的最小值。  
 5 对 3 桩及 3 桩以下承台的试桩,  $R_n$  取试桩结果的最小值。

版权所有，不得转载翻印

## 5 单桩竖向抗拔静载荷试验

### 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。当桩身埋设有应力、应变传感器或沉降杆时,可测定桩周各土层抗拔摩阻力或桩身各截面的上拔量。

5.1.2 抗拔静载荷试验预估最大试验荷载不应大于钢筋抗拉强度设计值。为设计提供依据的试桩,应加载至桩侧土体破坏或钢筋拉应力达到钢筋抗拉强度设计值;工程桩验收检测时,宜按不小于设计值的2倍、按设计要求确定最大试验荷载或最大上拔量限值、桩身抗裂要求确定最大试验荷载。

### 5.2 仪器设备及安装

5.2.1 加载设备应符合本规程第4.2.1条的规定。

5.2.2 反力装置宜采用工程桩提供支承反力(图5.2.2),也可采用地基土提供支承反力,反力装置除应满足本规程第4.2.2条有关规定外,尚应符合下列规定:

1 采用工程桩提供支承反力时,桩顶面应平整,抗压强度应能满足试验要求;支承桩与抗拔试桩的高差应满足试验设备及测试仪器安装的需求,对灌注桩应重新制作桩头。

2 采用地基土提供支承反力时,应符合本规程第4.2.2条第5款的规定。

3 试桩、支承桩(墩)及基准桩之间的距离应符合本规程第4.2.5条的规定。

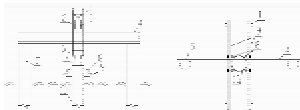


图 5.2.2 抗拔静载试验安装示意图

1—上钢梁；2—螺杆；3—千斤顶；4—钢索；5—反力桩；  
6—下钢梁；7—上筋；8—位移计；9—基横梁；10—试桩；11—基准桩

**5.2.3** 荷载测量及仪器的技术要求应符合本规程第 4.2.3 条的规定。

**5.2.4** 上拔量测量及仪器的技术要求应符合本规程第 4.2.4 条的规定。

**5.2.5** 上拔量测点宜设置在桩顶以下不小于 1 倍桩径的桩身上，不得直接设置在受拉钢筋上；对大直径灌注桩，上拔量测点也可直接设置在钢筋笼内侧的桩顶面混凝土上。

**5.2.6** 试验前应验算桩身抗拉强度，对有接头的混凝土预制桩还应验算接头抗拉强度。预应力混凝土管桩抗拔试桩桩头处理应按本规程附录 C 执行。

**5.2.7** 当有要求测试抗拔桩的侧阻力分布、桩身截面及桩端上拔量时，应按本规程附录 D 执行。

### 5.3 检测方法

**5.3.1** 试验应采用慢速维持荷载法，其加卸载要求、变形观测时间、相对稳定标准按本规程第 4.3.3、第 4.3.4 条的有关规定执行；当有特殊要求时，也可采用多循环加载、卸载方法或恒载法。

**5.3.2** 当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 在某级荷载作用下,桩顶上拔量大于前一级荷载作用下上拔量的 5 倍。

2 试桩的钢筋拉应力达到钢筋抗拉强度设计值或某根钢筋拉断。

3 对为设计提供依据的试桩,桩顶累计上拔量超过 100mm。

4 工程桩承载力验收检测时,达到设计要求的最大试验荷载,或最大上拔量限值、桩身抗裂要求确定的最大试验荷载,且桩顶上拔量达到相对稳定标准。

5.3.3 检测资料的整理应按本规程第 4.3.7 条的有关规定执行,并绘制上拔荷载~桩顶上拔量( $U \sim \delta$ )曲线、桩顶上拔量~时间( $\delta \sim \lg t$ )曲线及其他辅助分析曲线。

#### 5.4 检测数据分析与判定

5.4.1 单桩竖向抗拔极限承载力可按下列方法综合确定:

1 对于陡变形  $U \sim q$  曲线,取陡升起始点所对应的荷载值。

2 对于缓变形  $U \sim \delta$  曲线,取  $\delta \sim \lg t$  尾部显著弯曲的前一级荷载值。

3 当在某级荷载下抗拔钢筋断裂时,取其前一级荷载值。

4 不符合本条第 1~3 款情况时,可判定单桩竖向抗拔极限承载力不小于最大试验荷载。

5.4.2 对在最大上拔荷载作用下未出现本规程第 5.4.1 条第 1~3 款情况时的验收检测试桩,可判定单桩竖向抗拔极限承载力不小于下列情况之一所对应的荷载值:

1 钢筋拉应力达到抗拉强度设计值时对应的荷载。

2 设计要求的最大试验荷载,或按最大上拔量限值、桩身抗裂要求确定的最大试验荷载。

3 最大试验荷载。

5.4.3 为设计提供依据的试桩,当各试桩条件相同时,单桩抗拔

静荷载试验的极限承载力扣除单桩自重后按本规程第 4.4.2 条的有关规定确定试验统计值,并应根据下式判定单桩抗拔承载力是否满足设计要求。

$$R_{sd} = \frac{R_{sk}}{\gamma_s} + G_p \quad (5.4.3)$$

式中: $R_{sd}$ ——单桩抗拔承载力设计值(kN);

$\gamma_s$ ——桩的抗拔承载力分项系数,一般取 2.0;

$R_{sk}$ ——单桩抗拔试验中扣除单桩自重后的极限抗拔承载力标准值(kN),可取抗拔静荷载试验的极限承载力扣除单桩自重后的试验统计值,单桩自重地下水位以下应扣除浮力;

$G_p$ ——单桩自重设计值(kN),地下水位以下应扣除浮力。

版权所有，不得转载翻印

## 6 单桩水平静载荷试验

### 6.1 一般规定

6.1.1 本方法适用于检测桩顶自由的单桩水平承载力,推定地基土水平抗力系数的比例系数。当桩身埋设有应力、应变传感器时,可量测各级荷载作用下的桩身弯曲应变,计算桩身弯矩。

6.1.2 为设计提供依据时,应加载至桩顶出现较大水平位移或桩身结构破坏;工程桩验收检测时,最大试验荷载可按设计要求的加载量或水平位移允许值控制。

6.1.3 试桩周围地面不应有刚性地坪,不宜选择连续降雨期间进行试验;对钻孔灌注桩,当水平力作用点以下主要影响深度范围内试桩成孔孔径与设计孔径相差较大时,不宜作为水平承载力试桩。

### 6.2 仪器设备及安装

6.2.1 加载设备宜采用液压千斤顶,且应符合下列规定:

1 千斤顶应水平放置,施加水平作用力的作用点标高宜与实际工程的桩基承台底面标高一致。

2 采用千斤顶顶推施加水平荷载时,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,加载能力不应小于预估最大试验荷载的1.2倍。

3 为防止产生桩身局部破坏,试桩的力作用点处宜进行适当补平或补强。

6.2.2 反力装置可由邻近工程桩提供,也可另行设置,且应符合

下列规定：

1 反力结构的承载能力及其刚度应大于试桩的 1.2 倍。

2 当采用顶推法加载时，反力结构与试桩之间净距不应小于  $5D$ 。

3 当采用牵引法加载时，反力结构与试桩之间净距不应小于  $10D$ ，并不小于 6m。

**6.2.3** 荷载测量应符合本规程第 4.2.3 条的规定。

**6.2.4** 水平位移测量除应符合本规程第 4.2.4 条的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 在水平力作用面的桩侧面而设置 2 个水平位移测点，测点设置位置应对称分布在力作用线两侧。

2 当需要测定桩顶转角时，应在距水平力作用面以上 500mm 左右的桩侧面两侧设置水平位移测点，设置方法同本条第 1 款要求，量测相应位移，求得水平力作用平面以上的桩身转角。

3 基准桩设置不应受试验和其他因素的影响，其与试桩和反力结构的净距不宜小于  $5D$ ，当基准桩设置在加载轴线垂直方向上或试桩位移相反方向上时，净距可适当减小，但不应小于 2m；试验装置示意图见图 6.2.4。

**6.2.5** 量测桩身应变或应力的传感器埋设除应符合本规程附录 D 的要求外，尚应符合下列规定：

1 各测试断面的传感器应对称布置在力作用方向远离中性轴两侧的受拉、受压主筋或桩身上。

2 传感器布设纵断面与力作用线的夹角不宜大于  $10^\circ$ 。

3 在地面以下 10 倍桩径（或桩宽）深度范围内应加密测试断面，断面间距不宜超过 1 倍桩径，在预估桩身最大弯矩截面附近应适当加密。

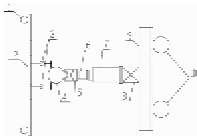


图 6.2.4 单桩水平静载荷试验装置示意图

1—基准桩；2—基准梁；3—百分表（位移传感器）；4—试桩；5—球铰；  
6—力传感器；7—千斤顶；8—垫块；9—反力梁；10—反力桩

### 6.3 检测方法

6.3.1 应根据工程桩实际受力特性选择合适的加载方法；单向多循环加卸载法、单向单循环恒速水平加载法及慢速维持荷载法，建筑工程宜采用单向多循环加卸载法，当需要测试桩身应力或应变时宜采用慢速维持荷载法。荷载分级不应大于预估水平力极限承载力或最大试验荷载的 1/10。

6.3.2 单向多循环加卸载法：每级荷载施加后，恒载 4min 后测读水平位移，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 次便完成一级荷载的试验观测。加载时间应尽量缩短，测量位移的间隔时间应严格准确，宜采用电子秒表或机械秒表测量，试验不得中途停歇。

6.3.3 单向单循环恒速水平加载法：每级荷载施加后，维持 20min，按第 5min、10min、15min、20min 测读；卸载时，每级荷载维持 10min，按第 5min、10min 测读，卸载到零时，维持 30min，按第 10min、20min、30min 测读；每级卸载量为对应加载量的 2 倍。



6.3.4 慢速维持荷载法的加卸载分级、试验方法及相对稳定标准应按本规程第 4.3.3、4.3.4 条的有关规定执行,加载时应逐级等量加载,第一级不宜取 2 倍荷载级差。

6.3.5 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(软土取 40mm)。
- 3 达到设计要求的最大试验荷载或最大水平位移值。

6.3.6 试验概况及现场试验记录宜按本规程附录 E.0.5~E.0.6 进行记录整理,试验过程中发生的异常现象应作补充说明。

6.3.7 应根据试验记录数据绘制试验成果曲线,见图 6.3.7-1~图 6.3.7-4。

1 采用单向多循环加卸载法:绘制水平力-时间-位移( $H-t-Y_0$ )曲线及水平力-位移梯度( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ )曲线。

2 采用单向单循环恒速水平加载法:绘制水平力-位移( $H-Y_0$ )曲线、水平力-位移梯度( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ )曲线及水平力-位移双对数曲线( $\lg H-\lg Y_0$ )。

3 采用慢速维持荷载法:绘制水平力-位移( $H-Y_0$ )曲线、水平力-位移梯度( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ )曲线、力作用点位移-时间对数( $Y_0-\lg t$ )曲线、水平力-位移双对数曲线( $\lg H-\lg Y_0$ )。

4 当进行桩身内力测试时,应绘制各级水平力作用下的桩身弯矩分布图、水平力-最大弯矩截面钢筋应力( $H-\sigma_s$ )曲线。

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

6.3.8 当桩顶自由且水平力作用位置位于地面处时, $m$  值应按下列公式确定:

$$m = \frac{(v_s \cdot H)^{\frac{2}{3}}}{b_s Y_0^{\frac{2}{3}} (EI)^{\frac{1}{3}}} \quad (6.3.8-1)$$

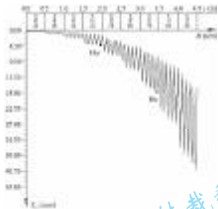


图 6.3.7-1  $H-X$  曲线

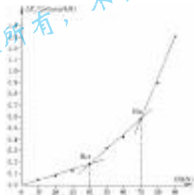


图 6.3.7-2  $H-\Delta Y_0/\Delta H$  曲线

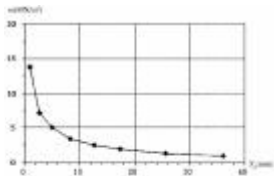


图 6.3.7-3  $Y_0-w$  曲线

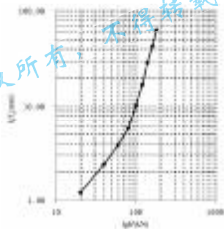


图 6.3.7-4  $\lg H-\lg Y_0$  曲线

$$a = \left( \frac{mb_0}{EI} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.3.8-2)$$

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

$a$ ——桩的水平变形系数( $\text{m}^{-1}$ );

$v_y$ ——桩顶水平位移系数,由式(6.3.8-2)试算  $a$ ,当  $ah \geq 4.0$  时( $h$  为桩的人土深度),  $v_y = 2.441$ ;

$H$ ——作用于桩身的水平力( $\text{kN}$ );

$Y_0$ ——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  $E$  为桩身材料弹性模量,  $I$  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 检测数据分析与判定

**6.4.1** 对工程桩进行单桩水平静荷载试验验收检测时,应提供该试桩的水平临界荷载,水平力作用标高处水平位移为  $10\text{mm}$ (对水平位移敏感建筑物取  $6\text{mm}$ )时所对应的水平承载力,或设计要求水平位移允许值所对应的水平承载力;为设计提供依据的试桩尚应提供该桩水平极限承载力或设计要求较大位移时的水平承载力。

**6.4.2** 单桩水平临界荷载的确定应符合下列规定:

1 取单向多循环加卸载法的水平力-时间-位移( $H-t-Y_0$ )曲线出现拐点的前一级荷载;或水平力-位移梯度( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ )曲线第一拐点对应的荷载。

2 取单向单循环恒速水平加载法的水平力-位移( $H-Y_0$ )曲线出现拐点的前一级荷载;或水平力-位移双对数曲线( $\lg H-\lg Y_0$ )

第一拐点对应的荷载。

3 取慢速维持荷载法的水平力-位移( $H-Y_0$ )曲线出现拐点的前一级荷载;或水平力-位移梯度( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ )曲线第一拐点对应的荷载、水平力-位移双对数曲线( $\lg H-\lg Y_0$ )曲线第一拐点对应的荷载。

4 取  $H-\sigma_c$  曲线第一拐点对应的水平荷载值。

6.4.3 单桩水平极限承载力的确定应符合下列规定:

1 取单向多循环加卸载法的水平力-时间-位移( $H-t-Y_0$ )曲线出现明显陡降的前一级荷载,或水平力-位移梯度( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ )曲线第二拐点对应的荷载。

2 取单向单循环恒速水平加载法的水平力-位移( $H-Y_0$ )曲线出现明显陡降的前一级荷载,或水平力-位移梯度( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ )曲线第二拐点对应的荷载、水平力-位移双对数曲线( $\lg H-\lg Y_0$ )第二拐点(钢桩取第一拐点)的对应的荷载。

3 取慢速维持荷载法的水平力-位移( $H-Y_0$ )曲线出现明显陡降的前一级荷载,或水平力-位移梯度( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ )曲线第二拐点对应的荷载、力作用点位移-时间对数( $Y_0-\lg t$ )曲线尾部出现明显弯曲的前一级荷载、水平力-位移双对数曲线( $\lg H-\lg Y_0$ )曲线第二拐点(钢桩取第一拐点)对应的荷载。

4 取桩身折断或钢筋屈服时的前一级水平荷载值。

6.4.4 为设计提供依据的试桩水平极限承载力和水平临界荷载应按本规程第 4.4.2 条有关规定确定试验统计值,工程桩验收检测时应根据下列规定判定单桩水平承载力是否满足设计要求:

1 对混凝土预制桩、钢桩及灌注桩,可取桩顶设计标高处水平位移为 10mm(对水平位移敏感的建筑物取 6mm)时所对应荷载的 0.75 倍为单桩水平承载力设计值。

2 对于 A 型和 AB 型预应力管桩,取水平临界荷载和桩顶标高处水平位移为 10mm(对水平位移敏感的建筑物取 6mm)时所对应荷载两者小值的 0.75 倍为单桩水平承载力设计值。

3 当桩身不允许开裂时,取水平临界荷载的 0.75 倍为单桩水平承载力设计值。

4 取设计要求的水平允许位移对应的荷载为单桩水平承载力设计值,且应满足桩身抗裂要求。

版权所有，不得转载翻印

## 7 天然地基静载荷试验

### 7.1 一般规定

7.1.1 本方法适用于确定浅部地基土层的承压板下应力主要影响范围内的承载力。试验应加载至地基破坏。

7.1.2 承压板应采用面积不小于  $0.5\text{m}^2$  的刚性板；板底应与基础底面标高一致，且应保持试验土层的原状结构和天然湿度；试坑长度和宽度应大于承压板宽度（或直径）的 3 倍，基准桩及加荷平台支点（或支承桩）宜设置在试坑之外，承压板下宜设置中粗砂找平层。

### 7.2 仪器设备及安装

7.2.1 加载设备应符合本规程第 4.2.1 条的规定，液压千斤顶的合力中心应与承压板中心重合。

7.2.2 反力装置可根据现场条件选用压重平台或其他形式反力装置，且应符合本规程第 4.2.2 条的有关要求。

7.2.3 荷载测量要求应符合本规程第 4.2.3 条的规定。

7.2.4 沉降测量除应符合本规程第 4.2.4 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 沉降测定平面应设置在承压板上，测点应在承压板两个正交方向上对称牢固设置。

2 承压板应有足够的强度和刚度，在试验过程中不应有翘曲变形。

## 7.3 检测方法

7.3.1 承压板放置前应在坑底预留 200mm~300mm 厚的原状土,将地下水降至检测标高后挖去预留土,平铺厚度不大于 20mm 的密实中粗砂,然后放置承压板进行检测。

7.3.2 在检测前应对仪表作如下检查:

1 液压千斤顶的合力中心是否与承压板的中心位置一致,压力表指针是否指零,压力传感器与仪器连接是否完好,仪器读数是否为零。

2 百分表或位移传感器与基准梁安装是否牢固,百分表指针或位移传感器读数与基准梁关联是否灵敏。

7.3.3 加载等级宜分为 10 级~12 级,加载方法采用慢速维持荷载法时,每次荷载施加第一小时内按第 5min, 15min, 30min, 45min, 60min 进行测读,以后每隔半小时测读一次,直至沉降达到相对稳定标准,每级荷载在其维持过程中,应保持加载量值的稳定,第一级不宜取 2 倍级差。

7.3.4 沉降相对稳定标准:每小时沉降量不超过 0.1mm,并连续出现 2 次。

7.3.5 预载:试验前宜进行预载,预载量宜等于上覆土自重。预载时间宜为 5min,预载后卸载至零重新调整位移测量仪表的初始读数至零。

7.3.6 卸载:卸载量可取加载量的 2 倍进行等量逐级卸载,每级荷载维持 30min,测读时间为第 5min, 15min, 30min。卸载至零后应测读稳定的残余沉降量,维持时间为 3h。

7.3.7 当出现下列情况之一时,即可终止加载:

- 1 沉降量急剧增大,土被挤出或承压板周围出现明显裂缝。
- 2 累计沉降量已大于承压板宽度(或直径)的 10%。
- 3 在某级荷载作用下承压板的沉降量大于前一级的 2 倍。



并经 24h 尚未稳定,同时累计沉降量达到承压板宽度(或直径)的 7%以上。

#### 7.4 检测数据分析与判定

7.4.1 极限承载力的确定应符合下列规定:

- 1 在  $p-s$  曲线上取明显陡降段的起始点所对应的荷载。
- 2 在  $s-\lg t$  曲线上取曲线尾部明显向下弯折的前一级所对应的荷载。
- 3 按累计沉降量确定:取  $s/b$  ( $b$  为承压板的宽度或直径)等于 0.07 所对应的荷载。

7.4.2 为设计提供依据的天然地基极限承载力统计值按照本规程第 4.4.2 条确定。

## 8 复合地基静载荷试验

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 本方法适用于复合地基竖向增强体单桩竖向抗压静载荷试验,以及竖向增强体单桩或多桩复合地基静载荷试验。水泥土搅拌桩、碎(砂)石桩、强夯置换、高压喷射注浆等方法处理后的地基承载力检测按竖向增强体单桩或多桩复合地基静载荷试验要求执行;预压、换填、强夯、注浆等方法处理后的地基承载力检测应按本规程第7章天然地基静载荷试验要求执行。承压板面积应按需检验土层的厚度确定,且不应小于 $1\text{m}^2$ ,对强夯地基不宜小于 $2\text{m}^2$ ;微型桩(树根桩、预制桩、注浆钢管桩)等应按本规程第4章单桩竖向抗压静载荷试验要求执行。

**8.1.2** 在地基处理的试验阶段、大面积施工过程中以及完成后等三个阶段,应通过地基处理检测为工程设计提供参数、控制和指导施工及对工程质量的检验提供依据。

**8.1.3** 试验阶段或为设计提供依据时应加载至地基破坏,工程验收阶段静载荷试验最大试验荷载应符合设计要求,并不小于设计值的2倍。

**8.1.4** 试验前应采取措施,防止试验场地地基土含水量变化或地基土扰动。

### 8.2 仪器设备及安装

**8.2.1** 竖向增强体单桩静载荷试验仪器设备及安装应符合本规程第4.2节相关条文的要求。

8.2.2 复合地基静载荷试验仪器设备及安装应符合本规程第7.2节相关条文的要求。

### 8.3 检测方法

8.3.1 试验应采用慢速维持荷载法,其加卸载要求按本规程第4.3.3条的相关条文执行,变形观测时间按本规程第4.3.4条执行,加载等级可分为8~12级,逐级等量加载,第一级不宜取2倍级差。加载测读按本规程第7.3.3条执行,卸载测读按本规程第7.3.6条执行。

8.3.2 竖向增强体单桩竖向静载荷试验应符合下列要求:

1 必须开挖到设计标高进行试桩,并对试桩表面清理后用不大于20mm厚的中粗砂找平。

2 沉降相对稳定标准:每小时的沉降不超过0.1mm,并连续出现2次。

3 荷载板尺寸应与桩体外形相匹配。

4 当出现下列条件之一时,可终止加载:

1) 在某级荷载作用下,本级桩顶沉降量大于前一级的5倍,或本级桩顶沉降量大于前一级的2倍,并经24h沉降尚未稳定;

2) 桩顶累计沉降量已达到荷载板直径的10%,且不小于100mm;

3) 竖向增强体桩身破坏,桩顶部变形急剧增大;

4) 达到设计要求的最大试验荷载,且桩顶沉降速率达到相对稳定标准。

8.3.3 竖向增强体复合地基静载荷试验应符合下列要求:

1 单桩复合地基静载荷试验的承压板可用圆形或方形,其面积应为一根桩承担处理的面积,单桩复合地基静载荷试验桩的中心(或形心)应与承压板中心保持一致,并与荷载作用点重合;

多桩复合地基静载荷试验的承压板可用圆形、方形或矩形,其尺寸按实际桩数所承担的处理面积确定。

2 试验板板底标高应与基础底面设计标高相同,承压板底面宜铺设中粗砂垫层,垫层厚度可取 50mm~150mm,桩身强度高时取大值。试验标高处的试坑长度和宽度不应小于承压板宽度或直径的 3 倍,基准桩及加荷平台支点(或支承桩)宜设置在试坑之外。

3 沉降相对稳定标准:水泥土桩、高压喷射注浆复合地基每小时沉降不超过 0.1mm,并连续出现 2 次;碎(砂)石桩、强夯置换墩复合地基每小时沉降不超过 0.25mm,并连续出现 2 次。

4 当出现下列条件之一时,可终止加载:

- 1) 沉降量急剧增大,土被挤出或压板周围出现明显裂缝;
- 2) 累计沉降量已大于承压板宽度(或直径)的 10%且不小于 100mm;
- 3) 在某级荷载作用下承压板的沉降量大于前一级的 2 倍,且经过 2h 尚未稳定;
- 4) 达到设计要求的最大试验荷载,且桩顶沉降速率达到相对稳定标准。

## 8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 竖向增强体单桩竖向静载荷试验极限承载力的确定应符合下列规定:

- 1 在  $Q-s$  曲线上取明显陡降段的起始点所对应荷载。
- 2 在  $s-lg s$  曲线上取曲线尾部明显向下弯折的前一级荷载。
- 3 按累计沉降量确定:水泥土桩、高压喷射注浆加固体可取  $s/D=0.05$  ( $D$  为桩身直径)所对应的荷载;碎(砂)石桩、强夯置换墩可取  $s/D=0.07$  所对应的荷载。

8.4.2 竖向增强体复合地基静载荷试验极限承载力的确定应符合

合下列规定：

- 1 在  $f-s$  曲线上取明显陡降段的起始点对应的荷载。
  - 2 在  $s-\lg t$  曲线上取曲线尾部明显向下弯折的前一级荷载。
  - 3 按累计沉降量确定；水泥土桩、高压喷射注浆复合地基取  $s/b=0.05$  所对应的荷载；碎（砂）石桩、强夯置换墩复合地基取  $s/b=0.07$  所对应的荷载（ $b$  为承压板的宽度）。
- 8.4.3** 为设计提供依据的复合地基竖向增强体单桩竖向抗压静载荷试验及复合地基承载力试验，极限承载力统计值可按照本规程第 4.4.2 条确定。

版权所有，不得转载翻印

## 9 高应变法

### 9.1 一般规定

9.1.1 本方法适用于检测基桩的竖向抗压承载力和桩身完整性;在混凝土预制桩及钢桩打桩过程中监测桩身应力和锤击效率,进而为选择沉桩工艺参数和确定桩长提供依据。

9.1.2 对灌注桩、超长混凝土预制桩及钢桩进行承载力检测时,应具有实测经验和相近条件下可靠的对比检测资料。

9.1.3 大直径扩底灌注桩、多支盘桩不宜采用本方法检测单桩竖向抗压承载力。

9.1.4 应采用实测曲线拟合法确定单桩抗压承载力。

### 9.2 仪器设备

9.2.1 检测仪器的主要技术性能指标不应低于现行行业标准《基桩动测仪》(JG/T 3055)中规定的二级标准要求,具有连续采集、快速自动存储、显示和处理分析信号的功能。信号采样点数不得少于1024点。

9.2.2 在检测过程中发现有异常的传感器应停止使用,并立即进行检查或重新校准,不合格的传感器必须报废。

9.2.3 高应变检测专用锤击设备应具有稳固的导向装置。

9.2.4 进行高应变承载力检测时,自由落锤的锤重不应小于试桩单桩竖向抗压承载力设计值的3.0%。柴油锤的锤重可适当减小,但不应小于试桩单桩竖向抗压承载力设计值的2.0%,对超长桩及长径比大的桩,锤重应适当加大。

9.2.5 重锤应材质均匀、形状对称、锤底平整,高径(宽)比不得小于1,并采用铸铁或铸钢制作。重锤宜整体铸造。

9.2.6 检测过程中,应采用精密水准仪等光学仪器实测桩身锤击贯入度。

### 9.3 检测方法

9.3.1 检测前的准备工作应符合下列规定:

1 桩的休止时间应符合本规程第3.2.15条的规定。

2 桩顶面应水平、平整,桩头露出高度应满足传感器安装的要求。

3 桩头应有足够的强度,对不能承受锤击的桩头应进行加固处理。加固部分的截面形状和截面大小宜与桩身截面形状和大小相同,加固部分的混凝土强度宜与桩身混凝土强度相同。混凝土桩头的加固处理可按照本规程附录C的相关要求执行。

4 检测锤起吊后,锤底面应处于水平状态,锤的中心轴线应与试桩的中心轴线重合。

5 检测时在锤与桩顶之间应设置垫层,垫层宜采用厚度相同材质均匀的纤维板、石棉板、木板,或均匀铺设黄砂,橡胶板不应作为垫层。

9.3.2 传感器安装方法见图9.3.2,并应符合下列规定:

1 在桩身两侧对称安装2只加速度传感器和2只应变传感器,传感器安装位置与桩顶之间的距离不宜小于2倍桩径(或桩边长);对大直径桩,可以适当缩小桩顶与传感器安装位置之间的距离,但不得小于1倍桩径(边长)。

2 应变传感器的中心位置应与加速度传感器处在同一截面处;同一侧的应变传感器与加速度传感器之间的水平间距不宜大于100mm。

3 传感器安装处的桩身表面应平整,且该截面附近无明显

缺损或截面突变。

4 固定传感器的螺栓孔应与桩的轴线垂直,固定后的应变传感器及加速度传感器应紧贴桩身,传感器中心轴线应与桩的轴线平行。

5 应变传感器在安装过程中应进行安装变形监测,安装后传感器的变形余量不应小于预估的试验中桩身变形量。

6 严禁使用单只应变传感器或单只加速度传感器进行检测。

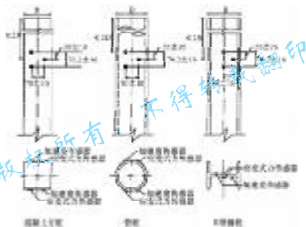


图 9.3.2 高应变传感器安装位置示意图(mm)

9.3.3 检测参数设定应符合下列规定:

1 应变传感器和加速度传感器的灵敏度设定值应按计量检定或校准结果设定。

2 桩身截面积、桩身材料纵波波速、桩身材料重度及桩材弹性模量等参数应根据测点处(传感器安装位置)桩的实际性状进



行设定,并符合下列规定:

- 1) 桩身材料的重度  $\gamma$  应根据测点处的材料性质,按表 9.3.3-1 取值;

表 9.3.3-1 桩身材料重度  $\gamma$  取值

桩型	灌注桩	混凝土预制方桩	预应力混凝土桩	钢管
重度(kN/m <sup>3</sup> )	24.0	24.5~25.0	25.0~26.0	78.5

- 2) 测点以下桩长为传感器安装位置到桩底的距离。可采用设计文件或施工记录所提供的数据;
- 3) 桩身纵波波速可根据桩身材料性质按表 9.3.3-2 取值范围进行初步设定;

表 9.3.3-2 纵波波速参考取值

桩型	灌注桩	混凝土预制方桩	预应力混凝土桩	钢管
纵波波速(m/s)	3300~3900	3500~4000	3800~4400	5100

注:当现场试验完成后,均应按纵波波速可按本规程第 9.1.7 条进行计算和测照。

- 4) 桩身材料弹性模量和桩身阻抗应分别通过下式计算:

$$E = \gamma c^2 / g \quad (9.3.3-1)$$

$$Z = EA / c \quad (9.3.3-2)$$

式中, $E$ ——桩身材料弹性模量(kPa);

$Z$ ——桩身材料力学阻抗(kN·s/m);

$c$ ——桩身纵向应力波的传播速度(m/s);

$\gamma$ ——桩身材料重度(kN/m<sup>3</sup>);

$A$ ——桩身横截面积(m<sup>2</sup>)。

3 检测仪器的采样频率宜为 10kHz 以上,信号采样点数不得少于 1024 点。采样时间长度不宜小于 100ms。对于超长桩,宜增加采样点数。

9.3.4 现场试验应符合下列规定:

- 1 检测前需认真检查仪器及传感器的工作状态,核查仪器

内设置的参数是否正确,经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,开始的几次锤击应使桩产生贯入度。

3 检测时应实测每次锤击下桩的贯入度,单击贯入度宜控制在 2mm~6mm。

9.3.5 当仅以桩身完整性为检测目的时,可适当减轻锤重或降低落距,但锤击力的大小应需满足能激发桩底或桩身明显缺陷处的反射信号。

9.3.6 试打桩和打桩监控应符合本规程附录 F 的规定。

9.3.7 实测波形应符合下列规定:

1 力和速度曲线在起始阶段应重合,两曲线的峰值应出现在同一时刻,且幅值应基本相等。

2 力和速度曲线在尾部应归零。

3 力和速度曲线应基本光滑,无振荡和低频噪音信号的叠加。

4 同一根桩的相邻锤击信号,应具有较好的一致性。

5 力和速度曲线在峰值后的  $0 < t < 2L/c$  时段内,应成比例逐渐分离。

## 9.4 检测数据分析与判定

9.4.1 高应变实测的力和速度曲线第一峰幅值起始比例失调时,不应进行比例调整。

9.4.2 每根被检桩的有效锤击信号宜根据贯入度、桩周土阻力发挥的程度以及实测信号质量综合判定。

9.4.3 检测承载力的锤击信号,宜取锤击能量较大的有效锤击信号。

9.4.4 桩身材料弹性模量和锤击力信号的调整应符合下列规定:

1 当测点处原设定的纵波波速随调整后的桩身纵波波速而改变时,桩身材料弹性模量和桩身材料力学阻抗应按公式(9.3.3-1)和公式(9.3.3-2)重新计算。

2 当桩身材料的弹性模量改变后,应对原始实测力重新计算。

9.4.5 当出现下列情况之一时,高应变锤击信号不应作为承载力分析计算依据:

1 传感器安装处混凝土开裂或出现严重塑性变形,使力曲线最终未归零。

2 桩身存在明显或严重缺陷。

3 四通道测试数据不全。

4 严重偏心锤击,两侧力信号幅值相差超过1倍。

9.4.6 下列情况宜采用静载荷试验进一步检测单桩承载力:

1 桩身存在明显或严重缺陷。

2 单击贯入度过大,桩底同向反射强烈,波形表现出的桩竖向抗压承载力性状与勘察报告中的地质条件明显不符。

9.4.7 根据实测信号确定桩身纵波波速应符合下列规定:

1 可根据下行波波形起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。

2 桩底反射信号不明显时,可根据桩长、混凝土纵波波速取值的合理性以及邻近桩的纵波波速等因素综合判定。

9.4.8 当打桩监控或承载力检测由于现场初步判定的需要,采用凯司法计算单桩承载力时,应符合下列规定:

1 凯司法用于混凝土预制桩、中小直径的灌注桩和钢桩,应有较可靠的地区经验。

2 桩身材质应基本均匀、截面应基本相等。

3 在同条件下同一场地桩型和截面积相同时, $J_c$ 值的极差与平均值之比不应大于30%。

4 在对长细比较大、桩身刚度较小的桩检测时,由于桩身上

部明显回弹造成  $2L/c$  之前速度曲线出现明显负值时,应考虑卸载回弹部分上阻力,并对  $R_s$  值进行修正。

9.4.9 凯司法应按下式计算单桩竖向抗压承载力:

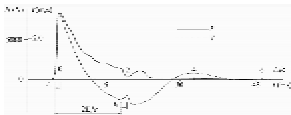


图 9.4.9 凯司法计算承载力图

$$R_s = \frac{1-J_c}{2} [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] + \frac{1+J_c}{2} \left[ F\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) - Z \cdot V\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) \right] \quad (9.4.9)$$

式中:  $R_s$ ——由凯司法计算的单桩竖向抗压承载力(kN);

$F(t_1)$ ——传感器安装截面处  $t_1$  时刻的锤击力(kN);

$V(t_1)$ ——传感器安装截面处  $t_1$  时刻质点的运动速度(m/s);

$Z$ ——桩身材料力学阻抗;

$L$ ——传感器安装位置到桩底的长度(m);

$J_c$ ——凯司阻尼系数,宜按表 9.4.9 取值。

表 9.4.9  $J_c$  参考值

土层类别	凯司阻尼系数 $J_c$
中砂、细砂	0.10~0.20
粉砂	0.20~0.40
粉土	0.30~0.50
黏性土	0.40~1.00

9.4.10 采用实测曲线拟合法计算承载力,应符合下列规定:

1 采用的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 曲线拟合长度在  $t_1 + 2L/c$  时刻后的延续时间不应少于 20ms,当用柴油锤打桩时,在  $t_1 + 2L/c$  时刻后的延续时间不应少于 30ms。

4 拟合结束时,土阻力响应区的计算曲线应与实测曲线吻合,其他拟合区段应基本吻合。

5 选用土的最大弹性变形值不得超过相应桩单元的最大位移值。

6 由拟合分析得出的贯入度计算值应与实测值接近。

9.4.11 桩身完整性判定应符合下列规定:

1 等截面桩且缺陷深度  $x$  以上部位土阻力  $R$  未出现卸载回弹时(图 9.4.11),桩身完整性系数  $\beta$  和桩身缺陷位置  $x$ ,应分别按照公式(9.4.11-1)及公式(9.4.11-2)计算。

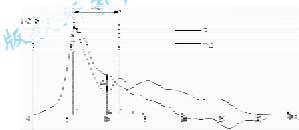


图 9.4.11 桩身完整性系数计算示意图

$$\beta = \frac{[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] - 2R_s + [F(t_2) - Z \cdot V(t_2)]}{[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] - [F(t_2) - Z \cdot V(t_2)]} \quad (9.4.11-1)$$

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  $x$  以上桩身截面阻抗之比；

$x$ ——传感器安装截面位置到缺陷处的距离(m)；

$t_1$ ——速度波第一峰值对应的时刻(ms)；

$t_2$ ——缺陷反射速度波峰值对应的时刻(ms)；

$c$ ——纵向应力波在桩内传播速度(m/s)；

$R_1$ ——缺陷以上部位土阻力估算值(kN)，其大小等于缺陷反射起始点时刻( $t_2$ )的锤击力减去该时刻速度与桩身材料阻抗乘积。

$$x = c \cdot \frac{t_2 - t_1}{2000} \quad (9.4.11-2)$$

2 桩身缺陷位置宜用实测的力波与速度波相比较的方法或采用上下行波方法，并结合公式(9.4.11-2)的计算结果进行确定。

3 桩身完整性应按表 9.4.11 并考虑桩身结构、地质资料、施工等因素结合经验进行综合判定。

表 9.4.11 高应变桩身完整性判定

桩身完整性类别	$\beta$ 值	缺陷程度
I	1.0	完整
II	$0.8 < \beta < 1.0$	轻度缺陷
III	$0.6 < \beta < 0.8$	明显缺陷
IV	$\beta < 0.6$	严重缺陷

9.4.12 符合下列情况之一，桩身完整性宜根据工程地质条件和桩的施工工艺，结合实测曲线拟合法或其他方法进行综合判定：

- 1 桩身有扩颈。
- 2 打入桩接桩有缝隙。
- 3 灌注桩桩身渐变或多变。
- 4 桩身浅部有缺陷。
- 5 等截面桩且缺陷深度  $x$  以上部位土阻力  $R_1$  出现了卸载

回弹。

**9.4.13** 检测报告除应按本规程第 3.4.3 条有关要求执行外，尚应包括：

- 1 实测贯入度。
- 2 锤重、落锤高度、最大顿击力、桩身完整性系数。
- 3 拟合曲线图、土阻力沿桩身分布图等。

**9.4.14** 高应变检测报告应给出每根桩的实测力和速度信号曲线。

版权所有，不得转载翻印

## 10 低应变反射波法

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 本方法适用于混凝土预制桩及灌注桩的桩身完整性检测,判定桩身是否存在缺陷、缺陷的程度及其位置。有效检测桩长应根据现场试验确定,大于 40m 的长桩宜按长径比不大于 50 控制。对任何类型的超长桩,使用时应有可靠的验证资料。必要时,应补充其他检测方法综合确定桩身完整性。

**10.1.2** 对同一工程中有疑义的桩,宜采用多种方法检测,并进行综合分析。

**10.1.3** 检测报告中应给出每根被检桩的实测信号曲线。

### 10.2 仪器设备

**10.2.1** 检测用的低应变反射波法检测仪主要技术性能指标应符合现行行业标准《基桩动测仪》(JG/T 3055)中规定的二级标准要求,具有信号滤波、放大、显示、储存和处理分析功能。

**10.2.2** 检测系统应由加速度传感器、放大器、滤波器、数据采集装置、波形显示记录器、特制手锤(或力棒)以及其他专用附件等组成(图 10.2.2),各组成部分技术性能指标应达到下列要求:

1 传感器:加速度传感器的频率范围宜为 5Hz~2000Hz,电压灵敏度宜不小于 100mV/g,量程应大于 20g。

2 放大器、滤波器:放大器宜采用带有积分器的电荷或电压放大器,增益宜大于 60dB 且可调,输入端的噪声电平应小于 3 $\mu$ V,频率范围应宽于 2Hz~5000Hz;滤波器的频率在 2000Hz



范围内可调。

3 数据采集和处理器:模/数(A/D)转换器的位数不低于12bit,采样频率不小于40kHz,单通道的采样点不应少于1024点,应具有时域、频域处理功能。

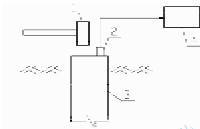


图 10.2.2 弹性波反射法检测桩图

1—手锤;2—传感器;3—检测桩;4—采集、显示、记录设备

10.2.3 瞬态激振应通过现场敲击试验,选择合适重量和材质的激振力锤及适宜的耦合材料,宜用低频脉冲波获取桩身下部缺陷的反射信号,用高频脉冲波获取桩身上部缺陷的反射信号。

### 10.3 检测方法

10.3.1 测试参数设定,应符合下列规定:

1 时域信号记录的时间段长度应在  $2L/c$  时刻后延续不应少于5ms;频域信号分析的频率范围上限不应小于2000Hz。

2 设定桩长应为桩顶测点至桩底的设计桩长。

3 桩身纵波波速可根据本地区同类型桩的统计值初步设定。

4 采样时间间隔或采样频率应根据桩长、桩身纵波波速和频率分辨率合理选择;时域信号采样点数不宜少于1024点。

**10.3.2** 灌注桩应整体截至设计标高,凿除桩头的疏松混凝土;桩头破损的混凝土预制桩应截除受损部分;检测前应形成平整、密实、水平的检测面,检测点和激振点宜用便携式砂轮机磨平。

**10.3.3** 传感器安装时,应确保安装平面与桩的中心轴线垂直;用适合的耦合剂粘结时,耦合剂厚度宜薄且应具有足够的粘结强度,粘结时保持检测面的干燥,确保检测过程中传感器不产生滑动和信号线抖动,严禁手持传感器进行检测。

**10.3.4** 激振点与测量传感器安装位置应避开钢筋笼的主筋影响,激振方向应沿桩轴线方向。

**10.3.5** 实心桩的激振点位置宜选择在桩顶中心,传感器安装点宜为距中心  $2/3$  半径处;预应力混凝土空心桩的激振点位置宜与传感器安装位置的水平夹角为  $90^\circ$ ,传感器安装位置宜在壁厚度的  $1/2$  处。

**10.3.6** 每根桩的测点不得少于 2 点,当桩径大于 800mm 时,测点应适当增加,并均匀分布,同一测点多次采集的实测波形应具有良好的一致性。

**10.3.7** 当桩径较大或桩上部截面尺寸不规则时,除按上述在规定的激振点和检测点位置采集信号外,尚应根据实测信号特征,适当改变激振点和检测点的位置采集信号。

**10.3.8** 不同检测点多次实测时域信号一致性差,应分析原因,消除干扰的影响,必要时也可增加检测点数量,应选择有代表性的信号,客观、全面评价该桩完整性。

**10.3.9** 信号不应失真和产生零漂,信号幅值不应超过测量系统的量程。

## 10.4 检测数据分析与判定

**10.4.1** 桩身纵波波速平均值及缺陷位置的确定应符合下列规定:

- 1 若完整桩的桩长为已知,桩底反射波信号明确,应力波沿

桩身轴线方向传播的纵波速度应按下列公式计算确定：

$$c = \frac{2L}{\Delta T} \quad (10.4.1-1)$$

$$c = 2L \cdot \Delta f \quad (10.4.1-2)$$

式中： $c$ ——桩身一维纵向应力波传播的速度(m/s)；

$L$ ——传感器安装位置到桩底的距离(m)；

$\Delta T$ ——完整桩时域曲线上速度波第一峰与桩底反射波峰之间的时间差(s)；

$\Delta f$ ——完整桩幅频曲线上桩底相邻谐振峰值之间频率差(Hz)。

2 应选取本工程同一条件下若干根有代表性的完整桩的纵波波速值，按下列公式计算桩身纵波波速平均值：

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (10.4.1-3)$$

式中： $c_m$ —— $n$ 根桩桩身纵波波速的平均值(m/s)；

$c_i$ ——第 $i$ 根桩的纵波速度(m/s)，且 $\frac{|c_i - c_m|}{c_m} \leq 5\%$ ；

$n$ ——完整桩的根数，应取 $n \geq 5$ 。

3 桩身缺陷位置应按下列公式计算确定：

$$X = \frac{1}{2} \cdot \Delta t_r \cdot c \quad (10.4.1-4)$$

$$X = \frac{c}{2\Delta f'} \quad (10.4.1-5)$$

$x$ ——传感器安装位置到桩身缺陷处的距离(m)；

$\Delta t_r$ ——缺陷桩时域曲线上速度波第一峰值与缺陷的反射波峰值之间的时间差(s)；

$c$ ——受检桩的桩身纵波波速(m/s)，无法确定时可用该工程桩身纵波波速的平均值代替；

$\Delta f'$ ——缺陷桩幅频曲线上缺陷相邻谐振峰之间的频率差(Hz)。

4 当无法满足本条第1、第2款要求时，纵波波速平均值可

根据本地区相同桩型、成(沉)桩工艺及类似工程地质条件下的其他桩基工程的实测经验值综合确定。

#### 10.4.2 桩身完整性的判定应符合下列规定:

1 根据反射波的时域特性和幅频特性分析结果,按本规程表 3.2.17 的规定和表 10.4.2 所列特征进行综合分析判定。

表 10.4.2 桩身完整性判定

类别	缺陷程度	时域特征	幅频信号特征
I	无缺陷	$2L/c$ 时刻前无缺陷反射波,桩底反射明显;波形规则、波列清晰,完整桩之间波形特征相联	桩底谱瓣峰排列基本等间距,其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$
II	轻度缺陷	$2L/c$ 时刻前有轻度缺陷反射波,桩底反射明显;桩底反射波受轻度缺陷反射波干扰,反射波的规律不如完整桩	桩底谱瓣峰排列基本等间距,其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$ ,轻微缺陷产生的谱瓣峰与桩底谱瓣峰之间的频差 $\Delta f' > c/2L$
III	明显缺陷	$2L/c$ 时刻前有明显缺陷反射波,桩底反射波不明显或无桩底反射	有明显缺陷谱瓣峰存在,其相邻频差 $\Delta f' > c/2L$ ,桩底谱瓣峰不明显或无桩底谱瓣峰
IV	严重缺陷	$2L/c$ 时刻前缺陷反射波强烈,且有二次甚至多次重复反射,无桩底反射	缺陷谱瓣峰排列基本等间距,相邻频差 $\Delta f' > c/2L$ ,无桩底谱瓣峰;或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谱瓣峰,频差 $\Delta f$ 较正常极大,无桩底谱瓣峰

2 对无桩底反射且  $2L/c$  时刻前无缺陷反射波(或有轻度缺陷反射波)的桩,桩身完整性类别划分应在分析无桩底反射波原因的基础上进行综合判定,必要时应补充其他方法检测综合确定。

## 11 超声波透射法

### 11.1 一般规定

11.1.1 本方法适用于桩径不小于 600mm 的灌注桩的桩身完整性检测,也适用于支护结构的灌注桩排桩、混凝土咬合桩和地下连续墙的桩身完整性或墙体质量的检测,判定桩身或墙体缺陷的位置、范围和程度。

11.1.2 当出现下列情况之一时,不得采用本方法对整桩桩身完整性或整幅墙墙体质量进行评定:

- 1 声测管未沿桩身(墙体)通长配置。
- 2 声测管埋设的数量少于本规程第 11.3.3 条及第 11.3.4 条的规定。
- 3 声测管堵塞导致检测数据不全。

### 11.2 仪器设备

11.2.1 超声波检测仪应符合下列规定:

- 1 具有实时显示、记录、储存和分析功能。
- 2 发射系统应能输出电压幅值为 200V~1000V 的阶跃或矩形短脉冲。
- 3 接收系统的频带宽度宜为 1kHz~200kHz,波幅测量相对误差小于 5%。
- 4 系统的最大动态范围不应小于 100dB,分辨率不宜低于 1dB。
- 5 声时测量范围宜在 0.5 $\mu$ s~5000 $\mu$ s 之间,分辨率不宜低

于  $0.1\mu\text{s}$ 。

6 应在温度  $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 、外接 220V 交流电压变化  $\pm 10\%$  或外接直流电压标称值变化  $\pm 5\%$  的环境下正常工作。

**11.2.2** 发射与接收换能器应符合下列规定：

- 1 圆柱状径向振动，沿径向无指向性。
- 2 外径小于声测管内径，有效工作段长度不得大于 150mm。
- 3 谐振频率宜为 30kHz~60kHz。
- 4 水密性应满足在 1MPa 水压下不渗水。
- 5 导线上应有深度标记。
- 6 宜配置扶正器。

### 11.3 声测管埋设

**11.3.1** 声测管应有足够的径向刚度，宜采用钢管或镀锌管，管内径大于换能器外径不宜小于 10mm。

**11.3.2** 声测管埋设应符合下列规定：

1 在安放钢筋笼时，应将声测管沿桩长或墙深方向绑扎在灌注桩或地下连续墙钢筋笼内侧，每节声测管的固定点不应少于 3 处，声测管之间应相互平行。

2 在无配筋部位，应制作三角形（或井字形）辅助钢筋支架固定声测管，以确保钢筋主筋及声测管相互平行。

3 声测管管身不得有破损，管内不得有异物且探头能在声测管内顺畅移动，宜采用外螺纹套管连接，连接处两段 1m 范围内应与钢筋笼进行绑扎固定，连接处内壁应平滑过渡、不渗浆。

4 声测管管底应较桩底或墙底略深，下端应用堵头封闭或用钢板焊封以避免渗浆。

5 声测管管口应高出桩顶或墙顶混凝土面 100mm 以上，且各管口标高宜一致，上端应加盖或用堵头封盖。

**11.3.3** 埋管超声波有效检测距离应根据现场实际情况确定，且

不宜大于 1700mm；声测管应依次编号，呈对称形状沿钢筋笼内刻布设(图 11.3.3)，其埋设数量应符合下列规定：

- 1 桩径小于或等于 800mm 时，不得少于 2 根声测管。
- 2 桩径大于 800mm 且小于或等于 1600mm 时，不得少于 3 根声测管。
- 3 桩径大于 1600mm 且小于或等于 2500mm 时，不得少于 4 根声测管。
- 4 桩径大于 2500mm 时，宜增加预埋声测管数量。

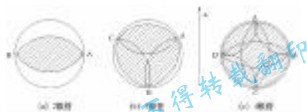


图 11.3.3 声测管埋设示意图

注：检测剖面组数(检测剖面序号为  $j$ )分别为：2 根管时，AB 剖面( $j=1$ )；3 根管时，AB 剖面( $j=1$ )，BC 剖面( $j=2$ )，CA 剖面( $j=3$ )；4 根管时，AB 剖面( $j=1$ )，BC 剖面( $j=2$ )，CD 剖面( $j=3$ )，DA 剖面( $j=4$ )，AC 剖面( $j=5$ )，BD 剖面( $j=6$ )。

**11.3.4 地下连续墙中声测管应依次编号，其埋设方式及数量宜根据单元槽段的平面形状和槽段长度确定，并应符合下列规定：**

- 1 相邻两根声测管的中心距离不宜大于 1700mm。
- 2 一字形单元槽段中的声测管埋设数量不宜少于 5 根。
- 3 L 形单元槽段中的声测管埋设数量不宜少于 5 根。
- 4 T 形单元槽段中的声测管埋设数量不宜少于 6 根。

## 11.4 检测方法

11.4.1 现场检测除开始时间应符合本规程第 3.2.15 条第 2 款的规定外,尚应进行下列准备工作:

- 1 向管内注满清水。
- 2 检查声测管的畅通情况及实际深度。
- 3 在桩顶测量各声测管的外径、内径以及各声测管外壁之间的净距离,精确至 1mm。
- 4 按照本规程附录 G 的要求,确定超声波检测仪系统延时及本工程的声时修正值。
- 5 确定本工程声测管的孔口标高。

11.4.2 现场检测应符合下列规定:

- 1 根据受检桩(或墙)的实际情况合理设定仪器参数和选择合适频率的换能器,一经选定,在同一桩(或墙)的检测过程中不得随意改变。
- 2 发射和接收换能器应以相同标高(图 11.4.2a)或保持固定高差(图 11.4.2b)从桩底或墙底向上同步提升,提升速度不宜大于 0.5m/s。采用斜测时,两个换能器中点连线的水平夹角不应大于 30°。
- 3 声测线间距不宜大于 100mm,每条声测线的两个换能器的高差变化不应超过 20mm,检测过程中应注意进行深度及高差校核。
- 4 实时显示、记录和储存每条声测线的信号时程曲线,测读首波声时、频率和波幅等声学参数。
- 5 对数据可疑的部位必须采用平测(图 11.4.2a)、斜测(图 11.4.2b)、交叉斜测及扇形扫测(图 11.4.2c)等方法进行复测或加密检测,确定缺陷的位置和范围;采用扇形扫测时,两个换能器中点连线的水平夹角不宜大于 40°。



6 当同一桩中埋有 3 根或 3 根以上声测管时,应以每 2 根声测管为一个检测剖面,对所有检测剖面进行检测;地下连续墙应以相邻声测管为一个检测剖面,对所有检测剖面进行检测。

7 声测管与注浆管共用时,应先做声测,而后灌浆,以确保声测管的有效性。



图 11.4.2 平测、斜测和扇形扫测示意图

## 11.5 检测数据分析与判定

11.5.1 当因声测管倾斜导致声测数据有规律地明显偏离正常值时,应对管距进行合理修正,然后对数据进行统计分析;当声测数据明显偏离正常值且无法进行合理修正时,不得作为评价整根桩桩身完整性的依据。

11.5.2 桩(或墙)身混凝土的声时  $t_a(j)$ 、声速  $v_a(j)$ 、波幅  $A_a(j)$  及主频  $f_a(j)$  应分别按下式计算,并绘制声速~深度曲线、波幅~深度曲线等。

$$t_a(j) = t_i(j) - t_0 - t' \quad (11.5.2-1)$$

$$v_a(j) = \frac{l'_i(j)}{t_a(j)} \quad (11.5.2-2)$$

$$A_a(j) = 20 \lg \frac{a_a(j)}{a_0} \quad (11.5.2-3)$$

$$f_i(j) = \frac{1000}{T_i(j)} \quad (11.5.2-4)$$

式中： $i$ ——声测线编号，应对每个检测剖面自下而上（或自上而下）连续编号；

$j$ ——检测剖面编号；

$t_{0i}(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线声时 ( $\mu\text{s}$ )；

$t_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线声时测量值 ( $\mu\text{s}$ )；

$t_0$ ——仪器系统延迟时间 ( $\mu\text{s}$ )；

$t'$ ——声测管及耦合水层声时修正值 ( $\mu\text{s}$ )；

$l'_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线的两声测管的外壁间净距离 (mm)，当两声测管平行时，可取为两声测管管口的外壁间净距离；斜测时， $l'_i(j)$  为声波发射和接收换能器各自中点对应的声测管外壁处之间的净距离。可由桩顶面两声测管的外壁间净距离和发射接收声波换能器的高差计算得到；

$v_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线声速 (km/s)；

$A_{0i}(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线的首波幅值 (dB)；

$a_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线信号首波幅值 (V)；

$a_0$ ——零分贝信号幅值 (V)；

$f_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线信号主频值 (kHz)，可经信号频谱分析得到；

$T_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线首波周期 ( $\mu\text{s}$ )。

**11.5.3** 第  $j$  检测剖面的声速异常判断概率统计值应按下列方法确定：

1 将第  $j$  检测剖面各声测线的声速值  $v_i(j)$  由大到小依次按下式排序：

$$v_1(j) \geq v_2(j) \geq \cdots v_i(j) \geq \cdots v_{i-1}(j) \geq v_i(j) \geq v_{i+1}(j) \geq \cdots v_{n-1}(j) \geq v_n(j) \quad (11.5.3-1)$$

式中： $v_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线声速， $i=1, 2, \cdots, n$ ；

$n$ ——第  $j$  检测剖面的声测线总数；

$k$ ——拟去掉的低声速值的数据个数,  $k=0, 1, 2, \dots, n$ ;

$k'$ ——拟去掉的高声速值的数据个数,  $k'=0, 1, 2, \dots, n$ 。

2 对逐一去掉  $v_i(j)$  中  $k$  个最小数值和  $k'$  个最大数值后的其余数据, 按下列公式进行统计计算:

$$v_{01}(j) = v_n(j) - \lambda \cdot s_x(j) \quad (11.5.3-2)$$

$$v_{02}(j) = v_n(j) + \lambda \cdot s_x(j) \quad (11.5.3-3)$$

$$v_n(j) = \frac{1}{n-k-k'} \sum_{i=k+1}^{n-k'} v_i(j) \quad (11.5.3-4)$$

$$s_x(j) = \sqrt{\frac{1}{n-k-k'-1} \sum_{i=k+1}^{n-k'} [v_i(j) - v_n(j)]^2} \quad (11.5.3-5)$$

$$C_v(j) = \frac{s_x(j)}{v_n(j)} \quad (11.5.3-6)$$

式中:  $v_{01}(j)$ ——第  $j$  剖面的声速异常小值判断值;

$v_{02}(j)$ ——第  $j$  剖面的声速异常大值判断值;

$v_n(j)$ —— $(n-k-k')$  个数据的平均值;

$S_x(j)$ —— $(n-k-k')$  个数据的标准差;

$C_v(j)$ —— $(n-k-k')$  个数据的变异系数;

$\lambda$ ——由表 11.5.3 查得的与  $(n-k-k')$  相对应的系数。

表 11.5.3 统计数据个数  $(n-k-k')$  与对应的  $\lambda$  值

$n-k-k'$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$\lambda$	1.28	1.33	1.38	1.43	1.47	1.50	1.53	1.56	1.59	1.62
$n-k-k'$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
$\lambda$	1.64	1.69	1.73	1.77	1.80	1.83	1.86	1.89	1.91	1.94

续表 11.5.3

$n-k-k'$	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
$\lambda$	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04	2.05	2.07	2.09	2.10	2.11
$n-k-k'$	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
$\lambda$	2.13	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22	2.23
$n-k-k'$	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
$\lambda$	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.29	2.30	2.31	2.32
$n-k-k'$	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
$\lambda$	2.33	2.34	2.36	2.38	2.39	2.41	2.42	2.43	2.45	2.46
$n-k-k'$	150	160	170	180	190	200	220	240	260	280
$\lambda$	2.47	2.50	2.52	2.54	2.56	2.58	2.59	2.61	2.67	2.69
$n-k-k'$	300	320	340	360	380	400	420	440	470	500
$\lambda$	2.73	2.74	2.76	2.77	2.79	2.81	2.82	2.84	2.86	2.88
$n-k-k'$	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
$\lambda$	2.91	2.94	2.96	2.98	3.00	3.02	3.04	3.06	3.08	3.09
$n-k-k'$	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
$\lambda$	3.12	3.14	3.17	3.19	3.21	3.23	3.24	3.26	3.28	3.29

3 按  $k=0, k'=0, k=1, k'=1, k=2, k'=2, \dots$  的顺序, 将参加统计的数列最小数据  $v_{n-k}(j)$  与异常小值判断值  $v_{01}(j)$  进行比较, 当  $v_{n-k}(j) \leq v_{01}(j)$  时剔除最小数据; 将最大数据  $v_{k+1}(j)$  与异常大值判断值  $v_{02}(j)$  进行比较, 当  $v_{k+1}(j) \geq v_{02}(j)$  时剔除最大数据; 每次剔除一个数据, 对剩余数据构成的数列, 重复式 (11.5.3-2)~式 (11.5.3-6) 的计算步骤, 直到下列两式成立:

$$v_{n-k}(j) > v_{01}(j) \quad (11.5.3-7)$$

$$v_{k+1}(j) > v_{02}(j) \quad (11.5.3-8)$$

4 第  $j$  检测剖面的声速异常判断概率统计值,按下式计算:

$$v_0(j) = \begin{cases} v_m(j)(1-0.015 \cdot \lambda) & \text{当 } C_c(j) < 0.015 \text{ 时} \\ v_{01}(j) & \text{当 } 0.015 \leq C_c(j) \leq 0.045 \text{ 时} \\ v_m(j)(1+0.045 \cdot \lambda) & \text{当 } C_c(j) > 0.045 \text{ 时} \end{cases} \quad (11.5.3-9)$$

式中:  $v_0(j)$ ——第  $j$  检测剖面的声速异常判断概率统计值。

**11.5.4** 受检桩的声速异常判断临界值,应按下列方法确定:

1 应根据本地区经验,结合预留同条件混凝土试件或钻芯法获取的芯样试件的抗压强度与声速对比试验,分别确定桩身混凝土声速低限值  $v_L$  和混凝土试件的声速平均值  $v_p$ 。

2 当  $v_0(j)$  大于  $v_L$  且小于  $v_p$  时

$$v_c(j) = v_0(j) \quad (11.5.4)$$

式中:  $v_c(j)$ ——第  $j$  检测剖面的声速异常判断临界值;

$v_0(j)$ ——第  $j$  检测剖面的声速异常判断概率统计值。

3 当  $v_0(j)$  小于等于  $v_L$  或  $v_0(j)$  大于等于  $v_p$  时,应分析原因:  $v_c(j)$  的取值可参考同一根桩的其他检测剖面的声速异常判断临界值或同一工程相同桩型,且混凝土质量较稳定的其他受检桩的声速异常判断临界值综合确定。

4 对只有单个检测剖面的桩,其声速异常判断临界值等于检测剖面声速异常判断临界值;对具有 3 个及 3 个以上检测剖面的桩,应取各个检测剖面声速异常判断临界值的算术平均值作为该桩各声测线的声速异常判断临界值。

**11.5.5** 声速  $v_c(j)$  异常应按下式判定:

$$v_c(j) \leq v_c \quad (11.5.5)$$

式中:  $v_c$ ——声速异常判断临界值。

**11.5.6** 采用斜率法作为判据时,声时~深度曲线上相邻两点的斜率与声时差的乘积 PSD 值应按下式计算。当 PSD 值在某深

度处突变时,宜结合波幅变化情况进行异常声测线判定。

$$PSD(j,i) = \frac{[t_{oi}(j) - t_{oi-1}(j)]^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (11.5.6)$$

式中, PSD——声时~深度曲线上相邻两点连线的斜率与声时差的乘积( $\mu s^2/m$ );

$t_{oi}(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线的声时( $\mu s$ );

$t_{oi-1}(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i-1$  声测线的声时( $\mu s$ );

$z_i$ ——第  $i$  声测线深度(m);

$z_{i-1}$ ——第  $i-1$  声测线深度(m)。

**11.5.7** 波幅异常判断的临界值,应按下列公式计算:

$$A_n(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{oi}(j) \quad (11.5.7-1)$$

$$A_c(j) = A_n(j) - 6 \quad (11.5.7-2)$$

波幅  $A_{oi}(j)$  异常应按下式判定:

$$A_{oi}(j) < A_c(j) \quad (11.5.7-3)$$

式中,  $A_n(j)$ ——第  $j$  检测剖面各声测线的波幅平均值(dB);

$A_{oi}(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线的波幅值;

$A_c(j)$ ——第  $j$  检测剖面波幅异常判断的临界值;

$n$ ——第  $j$  检测剖面的声测线总数。

**11.5.8** 桩身缺陷的空间分布范围,可根据以下情况判定:

- 1 桩身同一深度上各检测剖面桩身缺陷的分布。
- 2 复测和加密测试的结果。

**11.5.9** 桩身完整性类别应结合各声学参数的变化情况以及缺陷的位置和范围,按本规程表 3.2.17 的规定和表 11.5.9 所列特征进行综合判定。

表 11.5.9 桩身完整性评价

桩身完整性类别	缺陷特征	特征
I	无缺陷	各检测剖面的声学参数均无异常,接收波形正常
II	轻度缺陷	某一检测剖面个别声测线声学参数轻度异常,波形轻度畸变
III	明显缺陷	某一检测剖面连续多个声测线声学参数明显异常或同一深度的声测线多个剖面声学参数明显异常,波形明显畸变;局部混凝土产生出现低阻值异常
IV	严重缺陷	某一检测剖面连续多个声测线声学参数严重异常或同一深度的声测线多个剖面声学参数严重异常,波形严重畸变;桩身混凝土出现普遍低阻值异常

11.5.10 必要时,宜根据由公式(11.5.3-4)~公式(11.5.3-6)计算得到的声速变异系数评价桩身混凝土的均质性。

表 11.5.10 桩身混凝土均质性评价参考表

桩身混凝土均质性评价	变异系数 $C_v$
A	$0 \leq C_v < 0.05$
B	$0.05 \leq C_v < 0.10$
C	$0.10 \leq C_v < 0.15$
D	$0.15 \leq C_v < 1$

11.5.11 地下连续墙墙体质量判定应符合下列规定:

- 1 以每幅墙内的每一个检测剖面为基本单元进行判定。
- 2 单个检测剖面的墙体质量应按本规程第 11.5.9 条执行。

11.5.12 检测报告除应包括本规程第 3.4.1 条规定的内容外,尚应包括下列内容:

- 1 声测管布置图及声测管编号。

- 2 受检桩每个剖面的声速-深度曲线、波幅-深度曲线,绘制于同一坐标系内的 PSD 曲线及相应判据临界值所对应的标志线。
- 3 对加密测试,扇形扫测有关情况说明及相应曲线剖面图。

版权所有，不得转载翻印



## 12 钻孔取芯法

### 12.1 一般规定

**12.1.1** 本方法适用于直径不小于 600mm 的灌注桩桩身完整性和厚度不小于 600mm 的地下连续墙墙体质量的检测,也适用于作为基坑支护用的混凝土排桩和咬合灌注桩的完整性检测,检测桩身(墙体)缺陷及其位置、桩身(墙体)混凝土强度、桩(墙)底沉渣厚度,判定或鉴别桩端或墙底持力层岩土性状。

**12.1.2** 桩的钻孔数量和钻孔位置应符合下列规定:

1 桩径小于 1.2m 的桩钻 1 个孔,桩径为 1.2m~1.6m 的桩钻 2 个孔,桩径大于 1.6m 的桩钻 3 个孔。

2 当钻芯孔为一个时,宜在距桩中心 100mm~150mm 的位置开孔;当钻芯孔为 2 个或 2 个以上时,开孔位置宜在距桩中心  $0.15D \sim 0.25D$  ( $D$  为桩径)内均匀对称布置。

**12.1.3** 单幅地下连续墙的钻孔数量和钻孔位置应符合下列规定:

1 单幅槽段长度小于 4m 的地下连续墙钻 1 个孔,单幅槽段长度为 4m~6m 的地下连续墙钻 2 个孔,单幅槽段长度大于 6m 的地下连续墙钻 3 个孔。

2 取芯位置应避开桁架筋、加强筋及接驳器加筋;当钻芯孔为一个时,宜在槽段中心位置附近开孔;当钻芯孔为 2 个时,宜在距槽段接头 1.0m~1.5m 的范围内开孔;当钻芯孔为 2 个以上时,两端孔宜在距槽段接头 1.0m~1.5m 的范围内开孔,其他孔宜在两端孔之间均匀布置;当设计有要求时,也可将钻孔位置设在连续墙槽段接头处。

3 墙体取芯深度应根据设计要求确定,且不宜钻穿墙底。

**12.1.4 桩(墙)底持力层的钻探应符合下列规定:**

1 对桩底持力层的钻探,每根受检桩不应少于1个孔,钻探深度应满足设计要求;当设计无明确要求时,对承重地下连续墙,持力层的钻探深度不宜小于 $1.5D$ ,且不小于 $1\text{m}$ 。

2 对墙底持力层的钻探,每幅墙不宜少于1个孔,钻探深度应满足设计要求;当设计无明确要求时,对承重地下连续墙,持力层的钻探深度不宜小于 $1.0\text{m}$ ;对非承重地下连续墙,持力层的钻探深度不宜小于 $0.5\text{m}$ 。

**12.1.5** 本方法应结合低应变反射波法、超声波透射法等其他检测方法,全面分析、综合判定。

## 12.2 设备及安装

**12.2.1** 钻取混凝土芯样宜采用岩芯钻探液压高速钻机,钻机应配备取样器、钻杆以及相适宜的水泵、孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器和可捞取松软渣样的钻具。

**12.2.2** 钻取混凝土芯样应采用金刚石钻头,钻头外径不宜小于 $100\text{mm}$ ,应根据混凝土设计强度等级选择合适的金刚石粒度和浓度、胎体硬度等钻头参数。钻头胎体不得有肉眼可见的裂纹、缺边、少角、倾斜及喇叭口变形。基桩桩身混凝土钻芯检测可采用单动双管方式钻进取样,对桩身完整性或桩身混凝土强度存疑的,必须采用单动双管方式钻进取样。

**12.2.3** 钻机设备安装应周正、稳固、底座应水平,钻机立轴中心、天轮中心(天车前滑切点)、孔口中心应在同一铅垂线上,应确保钻芯过程中不发生倾斜、移位;当受检桩(墙)顶面与钻机底座距离较大时应安装孔口管,孔口管应垂直、牢固;开孔宜采用合金钻头;设备安装完毕后应进行试运转,在确认正常后方能开钻。

**12.2.4** 锯切混凝土芯样试件的锯切机应具有冷却系统和固定夹紧芯样的装置,配套使用的人造金刚石圆锯片刚度应满足锯

切芯样要求。

12.2.5 芯样试件端面的补平器或磨平机应符合芯样制作的要求。

## 12.3 检测方法

12.3.1 现场钻孔取芯应符合下列规定：

1 钻孔孔垂直度偏差不应大于 0.5%，当发现钻孔孔偏离桩身(墙体)或遇桩身(墙体)主筋受阻时，应立即停止钻进，并查找原因。

2 钻进过程中，应合理控制钻速和钻压，钻孔内循环水流不得中断，应根据回水含砂量及颜色调整钻进速度。

3 钻取混凝土芯样，每回次进尺宜控制在 1.0m~2.0m，钻至桩(墙)底时，应采取适宜的钻芯方法和工艺钻取沉渣并测定沉渣厚度。

4 提钻卸取芯样时，应拧卸钻头和扩孔器，严禁敲打卸芯。

5 钻取的混凝土芯样应自上而下按钻进回次顺序放入芯样箱中，每个钻孔应有一个芯样标识牌，每段芯样表面应清晰标明该段芯样的钻进回次数、本回次芯样总分段数及该芯样段序号；钻机操作人员应及时按表 12.3.1-1 记录钻进情况；试验人员应对混凝土芯样外观、桩端(墙底)沉渣以及持力层按表 12.3.1-2 作详细记录。

表 12.3.1-1 钻孔取芯法现场操作记录表

工程名称：

桩(墙)号：                      孔号：                      日期：    年    月    日

时间	钻进(m)				芯样编号	芯样长度(m)	残留芯样	取芯过程异常情况描述
	自	至	自	至				

取芯单位：

记录：

校核：

表 12.3.1-2 钻孔取芯现场芯样记录表

工程名称: 桩径(墙厚): 桩(墙)号:  
 检测日期: 钻孔孔号: 设计混凝土强度等级:

项目	分段(层) 深度(m)	芯样描述	取芯率 (%)	取芯编号	备注
				取芯深度	
桩身(墙体) 混凝土		混凝土钻进深度、芯样连续性、完整性、胶结情况、表面无剥蚀情况、嵌口吻合程度、混凝土芯是否为柱体、骨料大小分布情况,以及气孔蜂窝、麻面、沟槽、离析、破碎、夹泥、松散的情况			
桩(墙) 底沉渣		桩端(墙底)混凝土与持力层接触情况、沉渣厚度			
持力层		持力层钻进深度、土体描述			

取芯单位: 记录: 校核:

6 钻芯结束后,应对每个钻孔的芯样全貌进行拍照留存。

7 当芯样质量、沉渣厚度和持力层满足设计要求时,应采用不低于原桩身(墙体)强度的材料从钻孔孔底往上回灌封闭;当桩身(墙体)存在严重缺陷或沉渣厚度、持力层未满足要求时,钻芯孔应封存,留待处理。

### 12.3.2 芯样试件的截取与加工应符合下列规定:

#### 1 截取芯样试件应符合以下规定:

- 1) 当钻孔取芯深度不大于 30m 时,每孔截取 3 组芯样;当钻孔取芯深度大于 30m 时,应增加每孔截取芯样的组数,孔深每增加 10m(不足 10m 按 10m 计)、每孔截取芯样的增加组数不得少于 1 组;
- 2) 上部芯样位置距桩(墙)顶、下部芯样位置距桩(墙)底均不大于 1 倍桩径或墙厚且不大于 1m,中间芯样宜采用等间距截取;

3) 当缺陷位置能取样时,应截取 1 组芯样试件进行抗压强度试验;

4) 同一根受检桩中如果钻芯孔数大于 1 个,其中 1 孔在某深度存在缺陷,则应在其他孔的该深度处截取 1 组芯样试件进行抗压强度试验。

2 每组芯样应制作 3 个芯样试件。混凝土芯样试件应按本规程附录 H 进行加工和测量。

12.3.3 芯样试件的抗压强度试验应符合下列规定:

1 应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》GB/T 50081 的有关规定进行混凝土芯样试件的抗压强度试验。

2 混凝土芯样试件应在  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  的清水中浸泡 40h~48h,从水中取出后立即进行抗压强度试验。

3 试验时若发现混凝土芯样试件平均直径小于 2 倍试件内混凝土粗骨料最大粒径,且强度值异常时,则该试件的强度值无效,不参与统计计算。

4 芯样试件的抗压强度应按下列公式计算:

$$f_{cc} = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (12.3.3)$$

式中,  $f_{cc}$ ——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)。

## 12.4 检测数据分析与判定

12.4.1 混凝土芯样试件抗压强度按下列规定评价:

1 取一组 3 块芯样试件强度值的平均值为该组混凝土芯样试件抗压强度代表值。

2 同一受检桩同一深度有 2 组或 2 组以上混凝土芯样试件抗压强度代表值时,取其平均值为该桩该深度的混凝土芯样试件

抗压强度代表值。

3 受检桩中不同深度位置的各组混凝土芯样试件抗压强度代表值中的最小值为该桩混凝土芯样试件抗压强度代表值。

**12.4.2 桩身完整性类别**应结合钻芯孔数、现场混凝土芯样特征、芯样试件抗压强度试验结果,按本规程表 3.2.17 的规定和表 12.4.2 所列特征对桩身进行综合分析判定。

表 12.4.2 桩身完整性分类

类别	缺陷程度	特征
I	无缺陷	混凝土芯样连续完整,表面光滑,胶结好,骨料分布均匀,呈长柱状,断口吻合,仅见少量小气孔
II	轻度缺陷	混凝土芯样连续完整,胶结较好,骨料分布基本均匀,呈柱状,断口基本吻合,局部见轻度蜂窝、麻面、沟槽
III	明显缺陷	混凝土芯样局部胶结较差,破碎,骨料分布不均匀,多呈短柱状或块状,局部可见明显蜂窝、麻面、沟槽缺损
IV	严重缺陷	混凝土芯样胶结差,或见成分层、松散,严重离析,柱长、锥麻、空洞明显,不满足设计或规范要求

**12.4.3 钻芯孔**偏出桩身以外时,不得采用本方法对整桩完整性进行评价。

**12.4.4** 地下连续墙应按单幅检测墙体进行评价,并宜按本规程第 12.4.1~12.4.3 条执行。

**12.4.5** 检测报告除按本规程第 3.4 节有关要求执行外,还应包括:

- 1 钻芯设备情况。
- 2 检测数量、钻孔数量、开孔相对位置、每个孔钻芯进尺、总进尺、取芯率、芯样试件组数、持力层土性。
- 3 芯样试件单轴抗压强度试验结果。
- 4 每个钻孔的芯样全貌彩色照片。
- 5 异常情况说明。

## 13 孔内摄像法

### 13.1 一般规定

13.1.1 本方法适用于预应力混凝土桩及钻有竖向孔的灌注桩桩身完整性或地下连续墙墙体质量的检测。

13.1.2 受检桩的选择应符合下列规定：

- 1 沉桩过程中异常的桩。
- 2 施工过程中引起水平位移或上浮的桩。
- 3 其他检测方法检测难以判别的桩。
- 4 已发现缺陷，需准确确定缺陷的位置、范围及程度的桩。
- 5 设计方认为需要检测的桩。

13.1.3 本方法宜结合低应变、高应变、钻孔取芯检测、超声波透射法等方法综合评价桩身质量。

### 13.2 仪器设备

13.2.1 采用的仪器成像分辨率不应低于  $720 \times 576$  像素，具有动态图像及静态图像记录、存贮、拍摄的功能。

13.2.2 仪器应具有深度记录装置和摄像头定位装置，应具有  $360^\circ$  旋转拍摄功能。

13.2.3 检测前应对仪器设备进行检查调试和必要的尺寸校准。

### 13.3 检测方法

13.3.1 检测前应先将受检桩孔内的堵塞物和积水清除，清理的

深度范围应超过要求检测的深度。

**13.3.2** 检测过程中应能够全面、清晰地观察和记录基桩孔内的视频信息,检测示意图见图 13.3.2。

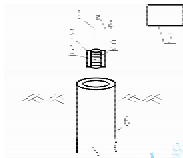


图 13.3.2 孔内摄像检测示意图

1—连接线缆;2—扶正器;3—摄像头;4—滑轮;  
5—辅助光源;6—检测桩;7—接收、显示、记录设备

**13.3.3** 应合理安排检测次数、行进速度和方向,对缺陷部位等重要位置除记录视频信息外还应拍摄照片,对可疑的缺陷位置应放慢行进速度进行重点检测。

#### 13.4 检测数据分析与判定

**13.4.1** 桩身缺陷应根据视频或照片确定。

**13.4.2** 定量表述缺陷尺寸时,应事先确定缺陷尺寸大小换算值或标定值。

**13.4.3** 缺陷的定量检测值应根据视频或照片并结合标定信息确定。

**13.4.4** 对于有缺陷的桩,检测结果应给出受检桩的孔内视频及各缺陷部位的照片。



## 附录 A 灌注桩成孔质量检测要点

**A.0.1** 本方法适用于钻孔灌注桩成孔的孔径、孔深、垂直度以及沉渣厚度检测,可分为试成孔检测及工程桩成孔检测,所使用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 电缆抗拉强度能满足仪器在孔内提升及下降的要求。
- 2 测量探头和地面主机应分别能在  $0\sim 50^{\circ}\text{C}$  和  $-10^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$  的温度环境下正常工作。
- 3 仪器的绝缘性能和水密性能应满足检测的要求。
- 4 应能及时显示和储存实测数据和曲线。

**A.0.2** 试成孔检测连续跟踪监测时间应根据桩长、桩径及施工工艺合理确定,不应少于 12h,每隔 3h~4h 测一次,每次应定向检测,比较不同测次孔径、孔深及沉渣等参数的变化,得出合理结论。

**A.0.3** 工程桩成孔检测应在一次清孔后进行,成孔质量检测结果应符合下列要求:任意断面孔径不得小于设计孔径;垂直度偏差不应大于 1%;孔深偏差( $0\sim +300$ )mm;二次清孔后沉渣厚度不大于 100mm。

**A.0.4** 接触式成孔检测设备一般由伞形孔径仪、专用测斜仪、沉渣检测仪和地面主机组成,且应符合下列规定:

- 1 伞形孔径仪应符合下列规定:
  - 1) 伞形孔径仪的测量杆不应少于 4 根,测量杆应能同时张开并具备足够的长度和张力以确保末端能接触孔壁,张开时在水平投影方向互呈  $90^{\circ}$  角;
  - 2) 当被测孔径小于 1.2m 时,孔径测量误差在  $\pm 15\text{mm}$  之间;当被测孔径不小于 1.2m 时,孔径测量误差在

±25mm之间；

3) 孔深测量精度优于0.3%。

2 专用测斜仪应符合下列规定：

1) 测量范围在 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ；

2) 测量误差在 $\pm 10'$ 之间；

3) 分辨率优于 $36''$ 。

3 沉渣检测仪应符合下列规定：

1) 一次清孔后采用视电阻率法测量沉渣的仪器，视电阻率测量误差不大于5%；

2) 探头的重量、截面积应能适应检测的要求。

A.0.5 非接触式成孔检测设备超声波法成孔检测测仪应符合下列规定：

1 孔径测量精度优于0.2%。

2 孔深测量精度优于0.3%。

A.0.6 孔深测量应符合下列规定：

1 采用孔深专用测量绳测量孔深时，测锤的端部垂球宜为圆锥体，质量不应小于1kg，每孔沿孔壁间隔布置不小于3个测点，取其最小值为测量孔深；测量时测绳距孔壁100mm~200mm，垂球应缓慢沉入孔内，接触孔底时，轻轻拉起垂球并放下，判断孔底位置。

2 采用伞型孔径仪、超声波法成孔检测仪测量孔深时，可根据孔径实时测试曲线中的孔深参数确定。

3 孔深测量结果应根据测量时孔口标高换算孔底标高，以判断孔深是否符合桩底设计标高的要求。

A.0.7 孔径测量应符合下列规定：

1 采用伞型孔径仪测量孔径应符合下列规定：

1) 孔径仪安置于孔口上方，保持检测过程中仪器位置固定，探头宜对准成孔中心；

2) 检查自动记录仪与探头的同步关系，确定桩孔深度起算

面与记录起始位置关系；

- 3) 孔径检测自孔底向孔口连续进行；
  - 4) 检测中探头应匀速提升，速度不应大于 10m/min，孔径变化较大处，应降低探头提升速度；
  - 5) 在孔径检测可疑测点周围，应加密测点进行复测，进一步确定桩径变化位置及范围；
  - 6) 对于异型钻孔（比如扩底桩等）不宜使用伞型孔径仪测量方法。
- 2 采用超声波法成孔检测仪测量孔径应符合下列规定：
- 1) 测量应在一清完成后，且孔中泥浆气泡基本消散后进行；
  - 2) 超声波法检测时，孔内泥浆性能应符合施工规范要求的指标；
  - 3) 超声波法成孔检测仪安置于孔口上方，检测过程中应保持仪器位置固定，探头宜对准成孔中心；
  - 4) 检测开始前设定仪器参数，检查自动记录仪与探头装置性能完好，利用护筒对仪器孔径测量参数进行标定；
  - 5) 孔径检测可自上而下或自下而上连续进行，也可双向同时测量；
  - 6) 检测中应保持探头平稳匀速运行，速度不应大于 12m/min；
  - 7) 超声波法孔径测量应正交两方向检测，并应标明检测剖面与轴线的方位关系；
  - 8) 在孔径检测可疑测点周围，应加密测点进行复测，进一步确定孔径变化位置及范围。

**A.0.8 成孔垂直度测量应符合下列规定：**

- 1 专用测斜仪采用顶角测量方法检测成孔垂直度，宜连续多点测量顶角及方位角，每个测点的间距不宜大于 5m，在顶角变化较大处宜加密检测点数，在接近孔底位置检测最后一个测点。

2 超声波法可根据孔径、深度实时测试曲线确定成孔垂直度。

**A.0.9** 孔底沉渣厚度测试应在二次清孔后、桩身混凝土灌注之前进行,可采用测锤法。

**A.0.10** 成孔质量检测报告应包括孔位平面布置图、每桩孔的测试记录图和现场检测记录表及典型地质柱状图等;原始记录及测试数据应齐全并归档,归档资料中应包含孔深-泥浆视电阻率曲线或孔深-探针阻力曲线等,试成孔的报告应以书面形式及时、准确提供相关单位。



版权所有, 不得转载翻印

## 附录 B 地下连续墙成槽检测要点

**B.0.1** 本方法适用于检测地下连续墙槽宽、槽深、槽壁垂直度。通过超声波探头连续测量各深度所对应的槽宽,同步实时绘制出的所测方向槽壁形态、数据或图形,判定槽宽、槽深、槽壁垂直度,各项技术指标应符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 地下连续墙成槽质量检验标准

项目名称	允许偏差		检测方法
深度	-9mm~+100mm		超声波法
槽宽	-9mm~+50mm		
垂直度	永久结构	≤1/300	电阻率法、探杆法、铅锤法
	临时结构	≤1/200	
沉渣厚度	永久结构	≤100mm	
	临时结构	≤200mm	

注:“-”指负偏差,“+”指正偏差,地下连续墙成槽宽允许偏差,只含负偏差任一检测断面“应为0”,正偏差按平均断面“宜小于等于50mm”。

**B.0.2** 地下连续墙作为基坑临时围护结构时,成槽质量的检测槽段数不宜少于总槽段数的20%,且不应少于10个槽段,每个槽段不应少于2个检测断面;地下连续墙兼作地下室永久结构时,每个槽段均应检测,且每个槽段不应少于2个检测断面。

**B.0.3** 地下连续墙的试成槽连续跟踪检测时间不应少于12h,每隔3h~4h检测一次,每次皆应进行槽宽、槽深、槽壁垂直度及沉渣厚度的检测,比较槽壁的变化情况。

**B.0.4** 超声波法成槽检测仪器设备技术要求应符合本规程附录A第A.0.7条的规定,超声波法成槽检测应在清槽完毕后、安放钢筋笼之前进行。

**B.0.5 成槽质量检测应符合下列规定：**

1 超声波检测仪运至现场开始检测前，应在有泥浆的导墙处进行校正检测，传感器所处深度应在泥浆面 400mm 以下，同时不能超过导墙的深度。

2 检测应在地下连续墙成槽完成、相邻槽段接头拔出且清槽完毕，静置 10min~15min 待泥浆内气泡基本消散后进行。

3 宜在导墙上放置承台板，将检测仪的孔口装置放置于承台板上，并调平稳定使仪器探头对准导墙中心轴线，用于检测的一组探头超声波发射面应与导墙平行。

4 在两槽段端头连接部位宜做 3 个方向检测，其余部位可做 2 个方向检测。

5 检测可从上到下，也可从下向上连续进行，应采用慢速测量，传感器在测量过程中的下放或提升速度应保持平稳、匀速，最大速度不宜超过 4m/min；必要时可进行从槽口至槽底再至槽口的往返测量。

6 现场检测记录图应有明显的刻度标记，能准确显示任何深度截面的槽宽及槽壁的形状；标记检测时间、设计槽宽、检测方向及槽底深度。

**B.0.6 槽底沉渣的检测应符合下列规定：**

1 沉渣检测应在地下连续墙成槽完成后、浇筑混凝土之前等几个重要的施工节点进行。

2 沉放钢筋笼前，宜采用视电阻率法、探针法或铅锤法；沉放钢筋笼后，宜采用铅锤法；视电阻率法应提供孔深~泥浆视电阻率曲线，探针法应提供孔深~探针阻力曲线。

3 每幅槽段每次应检测 2 个不同的位置，取其平均值作为槽段的沉渣厚度值。

**B.0.7** 在地下连续墙成槽完成后和下钢筋笼前，应对每幅槽段的泥浆比重、粘度、含砂率等指标进行检测，检测部位应分别位于液面以下 2m、槽深中部、槽底以上 2m 三个部位。

## 附录 C 试桩桩头处理

**C.0.1** 抗压试桩桩顶面必须保持平整,桩头截面尺寸、露出地面的高度应满足试验设备安装及设置量测仪表的要求。

**C.0.2** 灌注桩抗压试桩宜重新制作桩头并符合下列规定:

1 接桩时先凿除桩顶疏松混凝土,混凝土二次浇筑前应清洗交界面,并做好界面接浆处理。

2 桩头宜按原有桩身直径进行二次浇筑制作,桩身主筋应全部接长至桩顶混凝土保护层之下,各主筋应在同一高度上,在桩头(1.5~2)倍桩径范围内设置箍筋,箍筋间距不宜大于100mm,宜在桩头1倍桩径范围内设置2mm~5mm厚钢护筒抱箍,桩顶宜设置3层~5层双向钢筋网片,间距50mm~100mm。接桩部分中轴线应与原桩身中轴线重合,垂直度应满足要求。

3 桩头二次浇筑部分混凝土强度比原桩身混凝土设计强度提高不应少于一级且不得低于C30。

4 当试验荷载较大、千斤顶数量较多桩顶面大小不能满足摆放要求时,宜采用T型钢承台箱或将桩头适当扩大,桩头截面尺寸与配筋应满足加载受力要求,其配筋计算及构造措施可参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010)相关规定;桩头扩大部分应与地基土分开,且其中轴线应与原桩身中轴线重合。

5 灌注桩高应变法试桩桩头处理方法宜按本规程第C.0.2条相关条文执行。

**C.0.3** 预应力混凝土抗拔试桩宜采用填芯法处理桩头,填芯体长度及填芯体配筋数量应根据最大试验荷载计算确定,填芯体长度不宜小于 $8D$ ( $D$ 为管桩外径)且不应小于3.5m,填芯体钢筋笼主筋下端与略小于管桩内径的托板连接,主筋高出桩顶长度需满

足设备安装需要。填芯材料宜采用微膨胀混凝土或灌浆料,浇灌前应先清洗孔壁、清除内壁附着浮浆,并宜采用在内壁涂刷水泥净浆、混凝土界面剂等措施。

**C.0.4** 截桩后的预应力混凝土桩,静载荷试验或高应变试验时,除应按第 C.0.3 条相关要求采取填芯等修复处理措施外,尚宜设置环向钢抱箍对(1~2)倍桩径范围内的桩头进行加固,抱箍与桩身应贴合密实,间隙宜采用环氧树脂或水泥净浆充填。

版权所有，不得转载翻印



## 附录 D 桩身内力测试

**D.0.1** 桩身内力测试适用于桩身横截面尺寸基本相同或已知的桩。

**D.0.2** 桩身内力测试宜根据测试目的、试桩桩型及施工工艺选用电阻应变式传感器、振弦式传感器、滑动测微计或光纤式应变传感器等。

**D.0.3** 传感器测量断面应设置在两种不同性质土层的界面处，且应在桩顶以下(1~2)倍桩径和桩底以上1倍桩径的范围内设置。当土层较厚时，可在土层中间增加布置，测试断面处可对称埋设(2~4)个传感器，当桩径较大或试验要求较高时取高值。

**D.0.4** 桩顶以下(1~2)倍桩径处应设置一个断面作为传感器标定断面，应对称埋设4个传感器。

**D.0.5** 采用滑动测微计时，宜沿钢筋笼对称、平行预埋配套专用测管2根。测管固定于钢筋笼主筋上并随钢筋笼下放。测管内宜每隔1m设置一个测标，应确保测标同桩身位移协调一致，并保持测标清洁。

**D.0.6** 应变传感器安装应符合下列规定：

1 钢桩可将电阻应变计直接粘贴在桩身上，振弦式和光纤式传感器可采用焊接或螺栓连接固定在桩身上，并进行防潮绝缘防护。

2 混凝土桩宜采用焊接或绑焊将传感器固定在钢筋笼主筋上；对采用蒸汽养护或高压蒸养的混凝土预制桩，应选用耐高温的电阻应变计、粘合剂和导线。

**D.0.7** 采用分布式光纤测试应变时，应沿钢筋笼轴心对称的2根主筋上铺设光纤光缆，中间相连段沿底部加强箍筋走向铺设，

形成“U”字形回路,也可根据桩径大小和工程重要性,设置多个“U”形回路。分布式光纤应铺设于钢筋笼内侧,以主筋为载体固定于其上并保证沿主筋方向贴服平顺。

**D.0.8** 测试数据整理应符合下列规定:

1 采用电阻应变式传感器测量,但未采用六线制长线补偿时,应按下列公式对实测应变值进行导线电阻修正:

采用半桥测量时:

$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (\text{D.0.8-1})$$

采用全桥测量时:

$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \quad (\text{D.0.8-2})$$

式中: $\varepsilon$ ——修正后的应变值;

$\varepsilon'$ ——修正前的应变值;

$r$ ——导线电阻( $\Omega$ );

$R$ ——应变计电阻( $\Omega$ );

2 采用弦式钢筋计测量时,应根据率定系数将钢筋计的实测频率换算成力值,再将力值换算成与钢筋计安装断面处混凝土应变相等的钢筋应变值。

3 采用滑动测微计测量时,应按下列公式计算应变值:

$$e = (e' - z_0) \cdot K \quad (\text{D.0.8-3})$$

$$\varepsilon = e - e_0 \quad (\text{D.0.8-4})$$

式中: $e$ ——仪器读数修正值;

$e'$ ——仪器读数;

$z_0$ ——仪器零点;

$K$ ——率定系数;

$e$ ——应变值;

$e_0$ ——初始测试仪器读数修正值。

4 数据处理时,应删除异常测点数据,按下式计算该断面处的桩身轴力:

$$Q_i = \bar{\varepsilon}_i \cdot E_i \cdot A_i \quad (\text{D. 0. 8-5})$$

式中： $Q_i$ ——桩身第  $i$  断面处轴力(kN)；

$\bar{\varepsilon}_i$ ——第  $i$  断面处应变平均值；

$E_i$ ——第  $i$  断面处桩身材料弹性模量(kPa)；

$A_i$ ——第  $i$  断面处桩身截面面积( $\text{m}^2$ )。

5 每级试验荷载下，应将桩身不同断面处的轴力值制成表格，并绘制轴力分布图。桩侧土的分层侧阻力和桩端阻力应分别按下列公式计算：

$$q_{si} = \frac{Q_i - Q_{i+1}}{u_i \cdot l_i} \quad (\text{D. 0. 8-6})$$

$$q_p = \frac{Q_n}{A_0} \quad (\text{D. 0. 8-7})$$

式中： $q_{si}$ ——桩第  $i$  断面与  $i+1$  断面间侧阻力(kPa)；

$q_p$ ——桩的端阻力(kPa)；

$i$ ——桩检测断面顺序号， $i=1, 2, \dots, n$ ，并由桩顶以下从小到大排列；

$u_i$ ——第  $i$  个断面桩身周长(m)；

$l_i$ ——第  $i$  断面与第  $i+1$  断面之间的桩长(m)；

$Q_n$ ——桩端的轴力(kN)；

$A_0$ ——桩端面积( $\text{m}^2$ )。

6 桩身第  $i$  断面处的钢筋应力应按下式计算：

$$\sigma_{si} = E_s \cdot \varepsilon_{si} \quad (\text{D. 0. 8-8})$$

式中： $\sigma_{si}$ ——桩身第  $i$  断面处的钢筋应力(kPa)；

$E_s$ ——钢筋弹性模量(kPa)；

$\varepsilon_{si}$ ——桩身第  $i$  断面处的钢筋应变。

**D. 0. 9 桩身及桩端位移测试应符合下列规定：**

1 根据需进行位移测试的桩身断面位置，分别设置沉降管 and 沉降杆。

2 沉降管宜采用钢管，直径应满足沉降杆设置的要求，其内

径与沉降杆外径之差不宜小于10mm。沉降管应竖直固定在钢筋笼上,底端位于测试位置断面位置,并采取封底措施,顶端标高略高于试桩桩顶,设置前应预先考虑避开千斤顶摆放位置。沉降管随钢筋笼下放,当钢筋笼分节下放时,应保证接头处沉降管的连接质量,并控制沉降管的垂直度偏差。

3 沉降杆可采用具有一定刚度的钢管或钢杆,接头应紧密,下端固定在需测试断面,顶端高出外管100mm~200mm,并能与固定断面同步位移。沉降杆应具有一定的刚度,沉降杆接头处应光滑。

4 沉降杆数据的测读应与桩顶位移同步进行。

版权所有，不得转载翻印

## 附录 E 静载荷试验记录表

E.0.1 单桩竖向抗压静载荷试验概况表宜按表 E.0.1 格式记录。

表 E.0.1 单桩竖向抗压静载荷试验概况表

工程名称			
地点			
试验单位			
试验要求			
试桩编号		桩型	
成桩(沉桩)/试验日期		成桩(沉桩)工艺	
试桩桩长		工程桩桩长	
试桩截面尺寸		桩端持力层	
混凝土强度	设计	充盈系数/沉渣厚度 (累计锤击数/最后 10 锤的贯入度)	
	实际		
备注			

E.0.2 单桩竖向抗压静载荷试验现场记录表宜按表 E.0.2 格式记录。

表 E.0.2 单桩竖向抗压静载荷试验记录表

工程名称		试桩号		检测日期		备注		
加载级	维持荷载(kN)	位移计(百分表)读数					沉降量(mm)	
	测试时间	1#	2#	3#	4#	本次	不测	累计

试验:

记录:

复核:

**E.0.3 单桩竖向抗压静载荷试验汇总表**宜按表 E.0.3 格式记录。

表 E.0.3 单桩竖向抗压静载荷试验数据汇总表

工程名称				试桩桩号			
试桩桩长		截面尺寸		桩端持力层		测试日期	
序号	荷载(kN)	历时(min)				沉降(mm)	
		本级		累计		本级	
0							
1							
2~8							
9							
10							
最大沉降量				最大回弹量		回弹率	

**E.0.4 单桩竖向抗拔静载荷试验表式**可按表 E.0.1~E.0.3 执行。

**E.0.5 单桩水平静载荷试验概况表**宜按表 E.0.5 格式记录。

表 E.0.5 单桩水平静载荷试验概况表

工程名称			
地点			
试验单位			
试验要求			
试桩编号		桩型	
成桩(沉桩)/试验日期		成桩(沉桩)工艺	
试桩桩长		工程桩桩长	
试桩截面尺寸		试验标高/表层土质	
试验方法		混凝土强度设计值/实测值	
备注			

E.0.6 单桩水平静载试验现场记录表宜按表 E.0.6 格式记录。

表 E.0.6 单向多循环单桩水平静载试验记录表

试验号：

上下表距：

级别	测试时间 (h)	荷载 $H$ (kN)	本级 循环	水平位移值 $Y_0$ (mm)								$\Delta Y_0$ (mm)	$\Delta Y_0 / \Delta H$ (mm/kN)	
				加载				卸载						平均
				下表		上表		下表		上表				
				1	2	3	4	1	2	3	4			
1	0.1		1											
	0.2		2											
	0.3		3											
	0.4		4											
	0.5		5											
2	0.6		1											
	0.7		2											
	0.8		3											
	0.9		4											
	1.0		5											
3	1.1		1											
	1.2		2											
	1.3		3											
	1.4		4											
	1.5		5											

试验：

记录：

校核：

## 附录 F 高应变法试打桩与打桩监控

**F.0.1** 为评价工程桩的沉桩可行性,合理选择工程桩的桩型、桩长和桩端持力层,可选择试打桩监控。进行试打桩监控时应符合下列规定:

1 试打桩的桩型、位置和工程地质条件应具有代表性。

2 在沉桩过程中的不同入土深度,应连续采样或间隔一定深度采样;若是间隔采样,应根据土层确定采样深度间隔。当持力层较厚时,应在同一土层中进行多点采样,且每点采样不宜少于连续 5 锤波形,并记录每锤次所对应的桩底标高和桩身贯入度。

**F.0.2** 沉桩可能性应结合试打桩承载力及其对应的贯入度、锤击能量和锤跳高度等综合判定。

**F.0.3** 桩端进入持力层深度应根据试打桩结果的承载力与贯入度关系,结合场地岩土工程勘察报告综合判定。

**F.0.4** 采用试打桩预估桩的承载力应符合下列规定:

1 可在试打桩达到设计标高、终锤前连续检测,并以最终的 5 锤或 10 锤数据为检测承载力依据。

2 承载力恢复系数应通过复打试验确定。

3 复打至初打的休止时间应符合本规程第 3.2.15 条第 1 款的规定。

**F.0.5** 桩身锤击应力监测应符合下列规定:

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

2 桩身锤击应力监测应包括桩身锤击拉应力和锤击压应力两部分。



**F.0.6** 为测得桩身锤击应力最大值,监测时应符合下列规定:

1 桩身锤击拉应力宜在预计桩端进入软土层或桩端穿过硬土层进入软夹层时测试。

2 桩身锤击压应力宜在桩端进入硬土层或桩周土阻力较大时测试。

**F.0.7** 传感器安装点以下深度的桩身锤击拉应力应按下式计算:

$$\sigma_x = \frac{1}{2A} \left[ F \left( t_1 + \frac{2L}{c} \right) - Z \cdot V \left( t_1 + \frac{2L}{c} \right) + F \left( t_1 + \frac{2L-2x}{c} \right) + Z \cdot V \left( t_1 + \frac{2L-2x}{c} \right) \right] \quad (\text{F.0.7})$$

式中:  $\sigma_x$ ——深度  $x$  处的桩身锤击拉应力(kPa);  
 $x$ ——传感器安装位置到计算点的距离(m);  
 $A$ ——桩身截面面积( $\text{m}^2$ );  
 $t_1$ ——速度第一峰对应的时刻(ms);  
 $F(t_1 + 2L/c)$ ——传感器安装截面处  $t_1 + 2L/c$  时刻的锤击力(kN);  
 $V(t_1 + 2L/c)$ ——传感器安装截面处  $t_1 + 2L/c$  时刻质点的运动速度(m/s);  
 $c$ ——桩身应力波传播速度(m/s);  
 $L$ ——传感器安装位置以下桩长;  
 $Z$ ——桩身材料力学阻抗。

**F.0.8** 桩身最大锤击压应力可按下式计算:

$$\sigma_y = \frac{F_{\max}}{A} \quad (\text{F.0.8})$$

式中:  $\sigma_y$ ——桩身最大锤击压应力(kPa);

$A$ ——桩身截面面积( $\text{m}^2$ );

$F_{\max}$ ——实测的最大锤击力(kN)。

**F.0.9** 桩锤实际传递给桩的能量应按下式计算:

— 98 —

$$E_s = \int_0^{t_s} F \cdot V \cdot dt \quad (\text{F.0.9})$$

式中： $E_s$ ——桩锤实际传递给桩的能量(kJ)；

$F$ ——传感器安装截面处某一时刻的锤击力(kN)；

$V$ ——传感器安装截面处某一时刻质点的运动速度(m/s)；

$t_s$ ——采样结束的时刻(s)。

**F.0.10** 桩锤最大动能宜通过测定锤芯最大运动速度确定。

**F.0.11** 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。

**F.0.12** 在送桩器上安装传感器进行打桩监控检测，应符合下列规定：

- 1 送桩器的阻抗应与检测桩的桩身阻抗基本相同。
- 2 送桩器与桩头之间不得采用厚的垫层材料。
- 3 送桩器下平面应与桩头之间密合。
- 4 送桩器的中心轴线应与桩身中心轴线重合。

## 附录 G 仪器系统延时及声时修正

**G.0.1** 仪器系统延时  $t_0$  宜采用率定法确定；

将发射、接收换能器平行悬于清水中，逐次改变点源距离并测量相应声时，记录不少于 4 个点的声时数据并作线性回归的时距曲线：

$$t = t_0 + b \cdot l \quad (\text{G.0.1-1})$$

$$t_0 = \frac{(l_1 \cdot t_2 - l_2 \cdot t_1)}{(l_1 - l_2)} \quad (\text{G.0.1-2})$$

式中： $b$ ——直线斜率( $\mu\text{s}/\text{mm}$ )；

$l$ ——换能器表面净距离(mm)；

$t_0$ ——仪器系统延迟时间( $\mu\text{s}$ )；

$l_1, l_2$ ——分别表示两个换能器先后两次改变距离时内边缘的间距；

$t_1, t_2$ ——为其分别读取的相应声时值；

$t$ ——声时( $\mu\text{s}$ )。

**G.0.2** 用径向振动式换能器在钻孔中进行对测时，耦合水层声时修正值应按下式计算：

$$t' = \frac{d_2 - d'}{v_w} \quad (\text{G.0.2})$$

式中： $d_2$ ——钻孔内径(mm)；

$d'$ ——换能器外径(mm)；

$v_w$ ——水的声速(km/s)；

$t'$ ——声测管及耦合水层声时修正值( $\mu\text{s}$ )。

**G.0.3** 用径向振动式换能器在预埋声测管中检测时，声测管及耦合水层声时修正值应按下式计算：

$$t' = \frac{d_1 - d_2}{v_1} + \frac{d_2 - d'}{v_w} \quad (\text{G. 0. 3})$$

式中： $d_1$ ——声测管外径(mm)；

$d_2$ ——声测管内径(mm)；

$d'$ ——换能器外径(mm)；

$v_1$ ——声测管材料声速(km/s)，用钢管时  $v_1 = 5.90$ (km/s)；

$v_w$ ——水的声速(km/s)；按表 G. 0. 3 取值(根据有关资料，上海地下水恒温层埋深约 23m，平均温度 18. 2℃，建议取 1. 48km/s)；

$t'$ ——声测管及耦合水层声时修正值( $\mu\text{s}$ )，

表 G. 0. 3 水温与水声速关系

水温度(℃)	5	10	15	20	25	30
水声速(km/s)	1. 45	1. 46	1. 47	1. 48	1. 49	1. 50

## 附录 H 混凝土芯样试件加工和测量要求

**H.0.1** 锯切芯样前应将芯样固定,采用水冷作业方式进行锯切,锯切平面垂直于芯样轴线。

**H.0.2** 锯切后的芯样试件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 采用双端面磨平机磨平。

2 在专用补平器上补平不平整的端面,补平材料可采用水泥砂浆、水泥净浆,补平层厚度不宜大于 5mm。

3 补平层应与芯样结合牢固,抗压试验时补平层与芯样的结合面不得提前破坏。

**H.0.3** 试验前芯样试件几何尺寸的测量应符合下列要求:

1 平均直径:用游标卡尺在芯样试件表面直径偏小的部位(一般为中部)正交测量,取其算术平均值,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,沿端面按  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$  测量 4 次,精确至  $0.1^{\circ}$ ;也可采用其他专用设备量测。

4 平整度:用钢板尺或角尺紧靠芯样端面上,一面转动钢板尺,一面用塞尺测量与芯样端面之间的缝隙,两端面均需测量。

**H.0.4** 芯样试件尺寸偏差及外观质量出现下列情况时,不得用作抗压强度试验:

1 试件有裂缝或有其他较大缺陷。

2 试件内含有钢筋。

3 实测高径比( $h/d$ ,  $d$  为芯样试件平均直径)小于 0.95 或大于 1.05。

- 4 沿试件高度任一直径与平均直径相差大于 2mm。
- 5 端面不平整度在 100mm 长度内大于 0.1mm。
- 6 端面与轴线的垂直度误差大于  $1^\circ$ 。
- 7 表观混凝土粗骨料最大粒径大于  $0.5d$ 。

**H.0.5** 钻芯法检测混凝土无侧限抗压强度试验宜按表 H.0.5 记录。

版权所有，不得转载翻印

表 H.0.5 钻芯法检测混凝土芯样无侧限抗压强度试验原始记录表

工程名称		工程地址		工程编号	
委托单位		仪器型号及型号		取芯日期	
芯样试件 编号/龄期		试件投掷时间 (h): 温度		/	
设计抗压强度 (MPa)		试件高度 (mm)		不垂直度 (%)	
	30°	$d_1$	上端直径 (最大)	0°	
	180°	(平均)	下端直径 (最大)	60°	(最大)
	270°	$d_2$	平均直径 (最大)	180°	
	0°	$d_3$	$d_{max} - d$ (最大)	270°	
	180°	(平均)	$d_{min} - d$ (最大)	0°	
	270°	$d_4$	上端直径 (最大)	60°	(最大)
	0°	(平均)	下端直径 (最大)	180°	
	180°	$d_5$	平均直径 (最大)	270°	
	270°	$d_6$	$d_{max} - d$ (最大)	0°	
	0°	(平均)	$d_{min} - d$ (最大)	60°	(最大)
	180°	$d_7$	上端直径 (最大)	180°	
	270°	$d_8$	平均直径 (最大)	270°	
	0°	(平均)	$d_{max} - d$ (最大)	0°	
	180°	$d_9$	下端直径 (最大)	60°	(最大)
	270°	$d_{10}$	平均直径 (最大)	180°	
	0°	(平均)	$d_{min} - d$ (最大)	270°	
	180°	$d_{11}$	上端直径 (最大)	0°	
	270°	$d_{12}$	平均直径 (最大)	60°	(最大)
	0°	(平均)	$d_{max} - d$ (最大)	180°	
	180°	$d_{13}$	下端直径 (最大)	270°	
	270°	$d_{14}$	平均直径 (最大)	0°	
	0°	(平均)	$d_{min} - d$ (最大)	60°	(最大)
	180°	$d_{15}$	上端直径 (最大)	180°	
	270°	$d_{16}$	平均直径 (最大)	270°	
	0°	(平均)	$d_{max} - d$ (最大)	0°	
	180°	$d_{17}$	下端直径 (最大)	60°	(最大)
	270°	$d_{18}$	平均直径 (最大)	180°	
	0°	(平均)	$d_{min} - d$ (最大)	270°	
检测位置					

- 芯样试件要求:  $d_{10} \leq d \leq d_{16} \leq 1.05d$ ; 芯样一直接, 平均直径  $d_{avg} \pm 2mm$ ; ①两端面不平整度在 100mm 长度内  $\leq 0.1mm$ ; ②端部与轴线的不垂直度  $\leq 1^\circ$ ; ③表面能混凝土粗骨料最大粒径  $\leq 0.5d$ ; ④试件无蜂窝、裂缝或其他较大缺陷。
- 芯样试件应待混凝土强度达到设计龄期后立即进行试验。
- $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$  为表面直径偏小部位正交测量的直径;  $d_{max}, d_{min}$  为表面直径最大部位垂直测量的任一直径。

检测:

复核:

## 本规程用词说明

1 执行本规程条文时,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,在一定条件可以这样做的用词,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应按……执行”或“应符合……规定(或要求)”。



## 引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《普通混凝土力学性能试验方法》GB/T 50081
- 3 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 4 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 5 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 6 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 7 《建筑地基检测技术规范》JGJ 340—2015
- 8 《基桩动测仪》JG/T 3055
- 9 《地基基础设计规范》DGJ 08—11
- 10 《地基处理技术规范》DG/TJ 08—40
- 11 《基坑工程技术规范》DG/TJ 08—61