

DB32

江 苏 省 地 方 标 准

DB 32/T 3916—2020

建筑地基基础检测规程

Technical Code for Proof Testing of Foundations for Buildings

2020 - 12 - 21 发布

2021 - 05 - 01 实施

江苏省市场监督管理局
江苏省住房和城乡建设厅 发布

目 次

前言

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义.....	1
3.1 术语.....	4
3.2 符号.....	6
4 总则.....	7
5 基本规定.....	7
5.1 一般规定.....	8
5.2 检测工作程序.....	8
5.3 基桩检测.....	11
5.4 地基检测.....	11
5.5 基础锚杆检测.....	12
5.6 扩大检测与验证检测.....	12
5.7 检测记录与报告.....	13
6 单桩竖向抗压静载试验.....	13
6.1 适用范围.....	13
6.2 设备仪器及其安装.....	14
6.3 现场检测.....	16
6.4 检测数据分析与判定.....	16
6.5 检测报告.....	17
7 单桩竖向抗拔静载试验.....	17
7.1 适用范围.....	17
7.2 设备仪器及其安装.....	18
7.3 现场检测.....	19
7.4 检测数据的分析与判定.....	19
7.5 检测报告.....	20
8 单桩水平静载试验.....	20
8.1 适用范围.....	20
8.2 设备仪器及其安装.....	21
8.3 现场检测.....	21
8.4 检测数据分析与判定.....	21
8.5 检测报告.....	24
9 基础锚杆抗拔试验.....	24
9.1 适用范围.....	24
9.2 设备仪器及其安装.....	25
9.3 现场检测.....	26
9.4 检测数据分析与判定.....	26
9.5 检测报告.....	27

10 浅层平板载荷试验.....	27
10.1 适用范围.....	27
10.2 设备仪器及其安装.....	27
10.3 现场检测.....	28
10.4 检测数据分析与判定.....	29
10.5 检测报告.....	30
11 深层平板载荷试验.....	30
11.1 适用范围.....	30
11.2 设备仪器及其安装.....	30
11.3 现场检测.....	31
11.4 检测数据分析与判定.....	31
11.5 检测报告.....	31
12 岩石地基载荷试验.....	32
12.1 适用范围.....	32
12.2 设备仪器及其安装.....	32
12.3 现场检测.....	33
12.4 检测数据分析与判定.....	33
12.5 检测报告.....	33
13 圆锥动力触探试验.....	33
13.1 适用范围.....	33
13.2 设备仪器及其安装.....	34
13.3 现场检测.....	34
13.4 检测数据分析与判定.....	37
13.5 检测报告.....	38
14 静力触探试验.....	38
14.1 适用范围.....	38
14.2 设备仪器及其安装.....	39
14.3 现场检测.....	40
14.4 检测数据分析与判定.....	42
14.5 检测报告.....	41
15 标准贯入试验.....	42
15.1 适用范围.....	42
15.2 设备仪器及其安装.....	43
15.3 现场检测.....	44
15.4 检测数据分析与判定.....	44
15.5 检测报告.....	46
16 钻芯法.....	46
16.1 适用范围.....	46
16.2 仪器设备.....	47

16.3	现场检测.....	50
16.4	检测数据分析与判定.....	53
16.5	检测报告.....	54
17	低应变法.....	54
17.1	适用范围.....	54
17.2	仪器设备.....	54
17.3	现场检测.....	55
17.4	检测数据分析与评判.....	57
17.5	检测报告.....	57
18	声波透射法.....	57
18.1	适用范围.....	57
18.2	设备仪器.....	57
18.3	声测管埋设.....	59
18.4	现场检测.....	61
18.5	检测数据分析与判定.....	68
18.6	检测报告.....	68
19	高应变法.....	68
19.1	适用范围.....	68
19.2	设备仪器及其安装.....	69
19.3	现场检测.....	70
19.4	检测数据的分析与判定.....	74
19.5	检测报告.....	74
附录 A	(规范性附录) 建筑地基基础检测记录表格	75
附录 B	(规范性附录) 竖向承载力试件处理要点	81
附录 C	(规范性附录) 地基土试验数据统计方法.....	82
附录 D	(规范性附录) 圆锥动力触探锤击数修正.....	83
附录 E	(规范性附录) 高应变传感器安装.....	85
附录 F	(规范性附录) 试打桩与打桩监控.....	86
附录 G	(规范性附录) 孔内成像技术检查混凝土桩(墙)质量要点.....	88
附录 H	(规范性附录) 地下连续墙检测要点.....	89
附录 I	(规范性附录) 大直径桩端阻力载荷试验要点.....	91

前 言

本标准按 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由江苏省住房和城乡建设厅科技发展中心提出。

本标准由江苏省住房和城乡建设厅归口。

本标准起草单位：江苏省土木建筑学会、江苏省建筑工程质量检测中心有限公司、东南大学、江苏省建苑岩土工程勘测有限公司、中国建材检验认证集团徐州有限公司、南京南大工程检测有限公司。

本标准主要起草人：方平、李新忠、顾颖、孙正华、刘晔、唐新鸣、张永乐、季 鹏、姜永基、徐建龙、唐德高、侯玉宾、史晓伟、尹极、王鹏飞、唐祖萍、高敏洁、戴国亮、徐决华、姜涛、史宁、佟海山、李淼、王加新、樊勇。

建筑地基基础检测规程

1 范围

本规程适用于江苏省行政区域内建筑地基基础检测，市政工程可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50007 建筑地基基础设计规范

GB 50011 建筑抗震设计规范

GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法

GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收标准

JGJ 94 建筑桩基技术规范

JG/T 3055 基桩动测仪

JGJ/T 182 锚杆锚固质量无损检测技术规程

JGJ/T 401 锚杆检测与监测技术规程

DGJ32/TJ 154 水泥土试验方法

3 术语与定义

下列术语和符号适用于本标准。

3.1 术语

3.1.1

地基 ground, soils and rocks supporting a foundation

支承基础的土体或岩体。

3.1.2

天然地基 natural ground

在未经人工处理的天然土（岩）体上直接修筑基础的地基。可分为天然土地基和天然岩石地基。

3.1.3

复合地基 composite ground

部分土体被增强或被置换，而形成的由地基土和增强体共同承担荷载的人工地基。

3.1.4

处理地基 improved ground

通过采用人工方法提高承载力、改善变形性质或渗透性质后的地基，本规程中指除复合地基外的处理以后的地基。

3.1.5

桩基础 pile foundation

置于岩土中的桩和连接于桩顶端的承台共同组成的基础。

3.1.6

基桩 single pile

桩基础中的单桩。

3.1.7

基础锚杆 ground anchor for a foundation

将基础承受的荷载，通过锚杆的拉结作用传递到基础所处的稳定岩土层中去的锚杆。

3.1.8

标准贯入试验 standard penetration test (SPT)

用质量为 63.5kg 的穿心锤，以 76cm 的落距，将一定规格的贯入器，自钻孔底部预打 15cm，记录再打入 30cm 的锤击数，判定土的物理力学特性的一种原位试验方法。

3.1.9

圆锥动力触探试验 dynamic cone penetration test (DCP)

用一定质量的重锤，以一定高度的自由落距，将一定规格的圆锥形探头贯入土中，根据打入土中一定距离所需的锤击数，判定土的物理力学特性的一种原位试验方法。

3.1.10

静力触探试验 cone penetration test (CPT)

通过静力将标准圆锥形探头匀速压入土中，根据测定探头的贯入阻力，判定土的物理力学特性的一种原位试验方法。

3.1.11

岩石地基载荷试验 plate load test on rock

在岩石地基的表面逐级施加竖向压力，测量其随时间产生的沉降，以确定岩石地基的竖向抗压承载力的试验方法。

3.1.12

平板载荷试验 plate load test

在天然地基（含深部地基及大直径桩桩端土层）、处理地基、复合地基的表面逐级施加竖向压力，测量其随时间产生的沉降，以确定竖向抗压承载力的试验方法。

3.1.15

低应变法 low-strain pile integrity testing

采用低能量瞬态激振方式在桩顶激振，测量桩顶部的速度时程曲线，通过波动理论分析，对桩身完整性进行判定的检测方法。

3.1.14

高应变法 high-strain dynamic testing

用重锤冲击桩顶，测量基桩上部的速度和力时程曲线，通过波动理论分析，对单桩竖向抗压承载力和桩身完整性进行判定的检测方法。

3.1.15

声波透射法 cross-hole sonic logging

在预埋声测管之间发射并接收声波，通过实测声波在混凝土介质中传播的声时、频率和波幅衰减等声学参数的相对变化，对桩（墙）身完整性进行判定的检测方法。

3.1.16

钻芯法 core drilling

用钻芯设备钻取芯样，检测桩长（墙深）、桩（墙）身缺陷及其位置、桩（墙）底沉渣厚度以及桩（墙）身材料的强度，判定或鉴别持力层岩土性状，判定桩（墙）身完整性或均匀性的检测方法。

3.1.17

地下连续墙 diaphragm wall

在地下，采用机械分段成槽、安放钢筋笼、浇筑混凝土所形成的连续墙体或沉槽后放入预制墙段所形成的连续墙体。

3.1.18

孔内成像法 down-hole imaging

沿有竖向孔的现浇混凝土构件的孔道，采用成像技术对孔壁进行动态或静态的观察、记录，识别缺陷及其位置、形式、程度的检测方法。

3.1.19

单桩静载试验 static load test of a pile

在桩顶部逐级施加竖向压力、竖向上拔力或水平推力，观测桩顶部随时间产生的沉降、上拔位移或水平位移，直接确定相应的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力和单桩水平承载力的试验方法。

3.1.20

桩身内力测试 measuring of pile internal force

通过桩身应变、位移的测试，计算荷载作用下桩侧阻力、桩端阻力或桩身弯矩的试验方法。

3.1.21

桩（墙）身完整性 pile/wall integrity

反映桩（墙）身截面尺寸相对变化、桩（墙）身材料密实性和连续性的综合定性指标。

3.1.22

身缺陷 pile defects

使桩身完整性恶化，在一定程度上引起桩身结构强度和耐久性降低的桩身断裂、裂缝、缩颈、夹泥（杂物）、空洞、蜂窝、松散等现象的统称。

3.1.23

单桩承载力 bearing capacity of a single pile

指桩基础中基桩在不同使用状态下所能承受的荷载。

3.2 符号

3.2.1

抗力和材料性能

c ——桩身一维纵向应力波传播速度（简称桩身波速）；

C_u ——地基土不排水抗剪强度；

E ——桩身材料弹性模量；

E_0 ——土的变形模量；

f_{ak} ——地基土的承载力特征值；

f ——混凝土芯样试件抗压强度；

f_s ——双桥探头的侧壁摩阻力；

f_{spk} ——复合地基的承载力特征值；
 m ——地基土水平抗力系数的比例系数；
 N ——标准贯入试验锤击数；
 N_{10} ——轻型圆锥动力触探锤击数；
 $N_{63.5}$ ——重型圆锥动力触探锤击数；
 N_{120} ——超重型圆锥动力触探锤击数；
 p_s ——单桥探头的比贯入阻力；
 q_c ——双桥探头的锥尖阻力；
 Q_u ——单桩或锚杆的竖向抗压极限承载力；
 R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值；
 v ——桩身混凝土声速；
 Z ——桩身截面力学阻抗；
 μ ——土的泊松比；
 ρ ——桩身材料质量密度。

3.2.2

作用与作用效应

F ——锤击力；
 H ——单桩水平静载试验时作用于桩身的水平力；
 N_{max} ——锚杆的最大试验荷载；
 p ——平板载荷试验时施加于承压板表面单位面积上的竖向抗压荷载；
 Q ——单桩抗压试验时施加的竖向荷载、桩身产生的轴力、施加于锚杆轴向抗拉荷载；
 s ——沉降量；
 U ——单桩竖向抗拔静载试验时施加的上拔荷载；
 V ——质点运动速度；
 Y_0 ——单桩水平静载试验时水平力作用平面的桩身水平位移；
 δ ——单桩竖向抗拔静载试验时的桩顶上拔量；
 T_y ——基础锚杆抗拔承载力检测值。

3.2.3

几何参数

A ——桩身横截面面积；
 b ——矩形桩的边宽、承压板边宽；
 b_0 ——桩身计算宽度；

B ——支墩宽度；

d ——竖向增强体桩身直径、圆形承压板直径、基础锚杆直径、芯样试件的平均直径；

D ——桩身直径（外径）；

L ——桩长。

3.2.4

计算系数

J_c ——凯司法阻尼系数；

α ——修正系数、摩阻比(%)、桩的水平变形系数；

β ——高应变法桩身完整性系数；

λ ——样本中不同统计个数对应的系数；

ν_y ——桩顶水平位移系数；

ξ ——混凝土芯样试件抗压强度换算系数。

3.2.5

其它

A_c ——声波透射法波幅异常判断的临界值；

A_p ——声波波幅值；

a ——声波信号首波峰值电压；

f ——频率；

n ——样本数量；

T ——信号周期；

t ——时间；

v_0 ——声速的异常判断值；

v_{01} ——异常小值判断值；

v_{02} ——异常大值判断值；

v_c ——声速的异常判断临界值；

v_L ——桩身混凝土声速低限值；

γ_s ——统计修正系数；

Δf ——幅频曲线上谐振峰间的频差；

Δt ——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差。

4 总则

4.1 为规范建筑地基基础检测工作，保证检测工作科学、准确、客观、公正，为地基基础的设计、施工

及验收提供可靠依据，特制定本规程。

4.2 本规程中所列方法是建筑地基基础检测的基本方法。若同一工程的地基基础检测中还采用了其它方法并综合评价，应符合相关标准和规定的要求。

4.3 地基基础检测除符合本规程外，尚应符合国家和江苏省现行有关标准的规定。

5 基本规定

5.1 一般规定

5.1.1 地基基础工程应根据检测目的，考虑工程设计要求、地质条件、基础类型及施工工艺等因素，结合各种检测方法的适用范围和特点，合理选择检测方法。当单一检测方法不能满足工程需求或检测结论无法明确时，应采用多种方法。

5.1.2 地基基础检测的试样必须源自受检工程，采取见证的形式确定。试样应具有代表性，并符合相关检测方法的技术要求。

5.1.3 为设计提供承载力依据的检测，试样位置符合设计要求，试样数量不少于 3 根。

5.1.4 施工阶段的验收检测，应在施工完成后随机抽取试样，具体位置应均匀分布并考虑下列因素：

- 1) 设计方认为重要的；
- 2) 局部地质条件异常的；
- 3) 施工中有异常的；
- 4) 委托方认为必须选取的。

5.1.5 若不能在施工完成后随机抽取试样，施工时应预留足够的试样容量。检测数量为 2~3 时试样容量宜取其 3 倍且不少于 9；检测数量为 4~6 时试样容量宜取其 2.5 倍且不少于 12；检测数量为 7~10 时试样容量宜取其 2 倍且不少于 15；检测数量大于 10 时试件容量宜取其 1.5 倍且不少于 20。

5.1.6 验收检测的数量，应按下列原则确定：

- 1) 按单位工程相同条件下的地基基础计算；
- 2) 为设计提供依据的试验数量不计入验收检测的数量；
- 3) 符合相关检测方法的具体规定；
- 4) 地质条件较为复杂及有特殊要求的基础工程，应增加检测数量。

5.1.7 地基基础检测使用的计量器具应在检定（校准）的有效期内，性能符合相应检测方法的技术要求。

5.1.8 地基基础现场检测使用的自动检测仪器应具有自动采集、保存原始数据等功能，静载试验使用的检测仪器应具有实时远程传输功能。

5.1.9 检测机构应评估场地环境、外部干扰等因素对现场检测的影响，采取有效应对措施，确保人员安

全和设备正常。

5.2 检测工作程序

5.2.1 检测机构应提前收集和分析相关资料，至少包括下列内容：

- 1) 岩土工程勘察资料、地基基础设计图纸、施工工艺、施工记录，及施工过程中出现的异常情况；
- 2) 委托检测的要求、目的和内容；
- 3) 拟采用检测方法的可行性。

5.2.2 检测前，检测机构应编制检测方案，至少包括下列内容：

- 1) 工程概况、设计参数、委托内容；
- 2) 拟检测方法、依据的技术标准；
- 3) 试样位置、检测数量、检测设备、人员配置、安全措施等；
- 4) 现场检测需要相关方配合的内容及要求。

5.2.3 检测流程按图 1 进行。

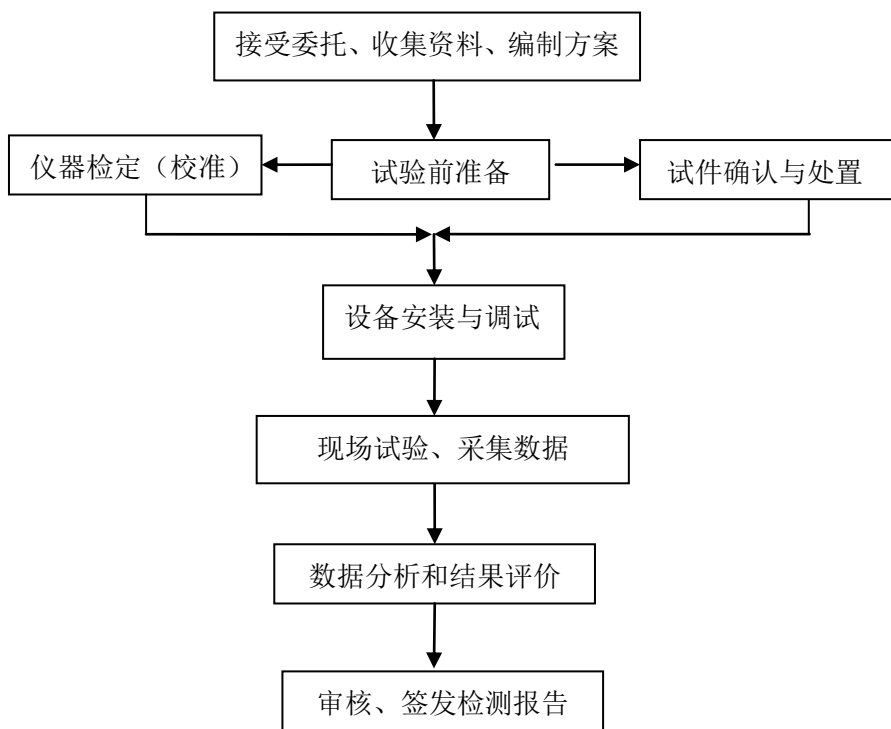


图 1 检测工作流程框图

5.2.4 地基基础检测方案、检测报告、原始记录等应建档保管。

5.3 基桩检测

5.3.1 基桩应进行单桩承载力和桩身完整性检测。应根据检测目的、桩基设计要求、成桩工艺，按表 1 合理选择检测方法。当通过两种或两种以上检测方法的相互补充、验证，能有效提高基桩检测结果的可靠性时，应选择两种或两种以上的检测方法。

表 1 常用基桩检测方法

检 测 目 的	检 测 方 法
确定单桩竖向抗压极限承载力； 判定竖向抗压承载力是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，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	单桩竖向抗压 静载试验
确定单桩竖向抗拔极限承载力； 判定竖向抗拔承载力是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩的抗拔侧阻力	单桩竖向抗拔 静载试验
确定单桩水平临界荷载和极限承载力，推定土抗力参数； 判定水平承载力或水平位移是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩身弯矩	单桩水平 静载试验
检测桩身缺陷及其位置、判定桩身完整性类别； 检测灌注桩桩长、桩身混凝土强度； 检测桩底沉渣厚度，判定或鉴别桩端持力层岩土性状	钻芯法
检测桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别； 判定单桩竖向抗压承载力是否满足设计要求； 分析桩侧和桩端土阻力；进行打桩过程监控	高应变法
检测桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别；	低应变法
检测混凝土灌注桩（地下连续墙）缺陷及其位置，判定桩身完整性类别	声波透射法

5.3.2 受检桩从成桩到开始试验的间歇时间 d 应符合下列规定：

1) 承载力检测：混凝土灌注桩达到 28d 或预留立方体试块强度达到设计强度；预制桩施工后，砂土不少于 7d，粉土不少于 10d，非饱和黏性土不少于 15d，饱和黏性土不少于 25d，桩端持力层为遇水易软化的风化岩层不少于 25d。对于泥浆护壁灌注桩的承载力检测，宜适当延长时间。

2) 完整性检测：采用低应变法或声波透射法时，不少于 7d 或桩身混凝土强度不低于设计强度等级的 70%且不小于 15MPa；采用钻芯法或高应变法时，达到 28d 或预留立方体试块强度达到设计强度。

5.3.3 单桩承载力验收检测，应符合下列规定：

1) 符合下列条件之一时，应采用单桩静载试验。单桩静载试验包括单桩竖向抗压承载力静载试验、

单桩竖向抗拔承载力静载试验和单桩水平承载力静载试验。检测数量不少于同条件下单位工程总桩数的 1%，且不少于 3 根；当总桩数在 50 根以内时，不少于 2 根；

- a 地基基础设计等级为甲级；
- b 场地地质条件复杂；
- c 采用“引孔法”施工的预制桩、或本地区采用的新桩型新工艺、或基桩施工中变更了施工工艺参数；
- d 施工出现可能影响单桩承载力的异常或桩身完整性Ⅲ类桩。

2) 同一单位工程相同条件下，已经具有为设计提供依据的静载荷试验、具有可靠的高应变法与静载荷试验比对资料，且符合高应变法适用范围，可采用高应变法随机检测单桩竖向抗压承载力，检测数量不少于总桩数的 5%，且不少于 10 根；

3) 同一单位工程相同条件下，已经具有为设计提供依据的静载荷试验、具有可靠的自平衡法与静载荷试验比对资料，且符合自平衡法适用范围，可采用自平衡法随机检测单桩竖向抗压承载力，检测数量不少于总桩数的 2%，且不少于 5 根。

5.3.4 对端承型大直径嵌岩桩或人工挖孔桩，当条件受限无法进行单桩静载试验时，按照国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 和《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定，采用下列方法进行持力层核验：

1) 深层平板载荷试验或岩石地基载荷试验或大直径桩端阻力载荷试验，检测数量不少于总桩数的 2%且不应少于 5 根（点）；

2) 钻芯法测定桩底沉渣厚度，并钻取桩端持力层岩土芯样检验桩端持力层，检测数量不少于同一持力层条件下总桩数的 10%且不应少于 10 根。

5.3.5 桩身完整性检测，应符合下列规定：

1) 采用低应变法，检测数量不应少于同条件下总桩数的 30%，且不少于 30 根，每个承台检测桩数不少于 1 根；对柱下四桩或四桩以上承台的工程，检测数量不少于承台内对应桩数的 30%；

2) 低应变法无法评判完整性类别的桩和疑似的Ⅲ类桩、Ⅳ类桩，都应采用多种方法检测，综合评判；

3) 对预制桩，还应采用高应变法或其它有效方法，检测数量不少于总桩数的 10%，且不少于 10 根。高应变法仅检测桩身（或接桩处）缺陷时，可不判定承载力；

4) 对灌注桩，还应采用声波透射法或钻芯法，检测数量不少于总桩数的 10%，且不少于 10 根。若声波透射法的检测数量不能满足以上要求时，应改用钻芯法或高应变法或其它有效方法。对一柱一桩端承灌注桩，钻芯法检测数量不少于总桩数的 50%，且不少于 30 根。

5.3.6 根据实测数据分析、综合评判每根受检桩的桩身完整性类别。桩身完整性分类应符合表 2 的规定，

并结合本规程第 14~17 章的技术内容划分。

表 2 桩身完整性分类

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

5.4 地基检测

5.4.1 地基检测包括确定地基承载力、变形指标和评价天然地基岩土性状、人工地基施工质量。

5.4.2 确定地基承载力和变形指标应采用静载荷试验；评价岩土性状、人工地基施工质量可选用标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、钻芯法等原位测试方法。

5.4.3 人工地基从施工结束到开始检测的间歇时间应符合设计要求，当设计无要求时应符合相关规范、标准等的规定。

5.4.4 采用钻芯法检测岩石地基时，单位工程检测数量不得少于 6 个孔，钻孔深度应满足设计要求，每孔芯样截取一组三个芯样试件。岩石地基特性复杂的工程应增加检测孔数。当岩石芯样无法制作成芯样试件时，应进行岩石地基载荷试验。对强风化岩、全风化岩应采用平板载荷试验，试验点数不应少于 3 点。

5.4.5 天然地基、处理地基的承载力检测，应采用平板载荷试验，检测数量为同条件每单位工程不应少于 3 点，每 500m² 地基面积不宜少于 1 个点。

5.4.6 复合地基（含增强体）应采用平板载荷试验方法进行单桩或多桩复合地基承载力检测，检测数量不应少于总桩数的 0.5%，且不应少于 3 处，对有粘结强度的复合地基增强体还应进行单桩竖向承载力检测，检测数量分别为增强体总数的 0.5%，且不得少于 3 根。施工工艺对桩间土承载力有影响时还宜进行桩间土承载力检测，同一条件下不少于 3 点。

5.4.7 复合地基中的竖向增强体施工质量检测，可采用钻芯法、标准贯入试验、圆锥动力触探试验等方法，检测数量不应少于增强体总数的 0.5%，且不得少于 3 根；材料强度不小于 C15 的增强体采用低应变法检测桩身完整性时，检测数量不应少于总桩数的 10%，且不得少于 10 根。

5.4.8 采用钻芯法检测水泥注浆加固地基时，检测数量为总孔数的 2~5%。

5.5 基础锚杆检测

5.5.1 基础锚杆的检测包括锚杆抗拔承载力基本实验、验收试验、锁定力检测和锚固质量无损检测。

5.5.2 抗拔承载力验收试验的检测数量不应少于同等条件下锚杆总数的 5%且不得少于 6 根，应优先选取地质条件复杂部位的锚杆和设计方认为重要的锚杆，其余受检锚杆宜随机选取，施工质量有疑问的锚杆应全数检测。

5.5.3 锚杆的锚固质量无损检测可按现行行业标准《锚杆锚固质量无损检测技术规程》JGJ/T 182 的规定执行。

5.5.4 锚杆基本试验和锁定力检测可按现行行业标准《锚杆检测与监测技术规程》JGJ/T 401 的规定执行。

5.6 扩大检测与验证检测

5.6.1 检测结果不符合设计文件或验收要求，应扩大检测并符合下列规定：

1) 单桩静载试验、平板载荷试验、钻芯法、低应变法、声波透射法、高应变法、锚杆验收检测等，扩大检测的数量不应少于不符合数量的 2 倍；

2) 动力触探试验、静力触探试验、标准贯入试验等，按不符合数量的 2 倍在原测孔附近扩大检测；

3) 除单桩静载试验、平板载荷试验、锚杆验收检测、动力触探试验、静力触探试验、标准贯入试验外，扩大检测也可选择其他有效方法。

5.6.2 当所采用的检测方法不能满足工程需求或检测结论无法明确时，应验证检测，并符合下列规定：

1) 采用单桩静载试验，验证单桩承载力；

2) 采用平板载荷试验，验证土（岩）层承载力和变形指标；

3) 采用高应变法、钻芯法、孔内摄像法或其它有效方法验证桩身完整性；

4) 可采用高应变法或水平荷载试验、竖向抗拔静载试验，验证预制桩桩身（或接桩处）缺陷；

5) 采用实体开挖，验证桩身缺陷。

5.6.3 扩大检测及验证检测所采用的方法和检测数量应及时报工程建设有关方。

5.7 检测记录与报告

5.7.1 地基基础检测的原始记录应真实、能复现检测过程，并经检测、复核人员签字确认。

5.7.2 原始记录不得随意修改。检测中发现异常时，应现场查明原因及时处置，并如实记载。

5.7.3 检测报告应结论准确，用词规范。

5.7.4 检测报告应至少包括下列内容：

1) 委托方名称，工程名称、地点，建设（监理）、勘察、设计和施工单位，基础类型，层数，设计要求，检测目的、检测依据、检测数量、检测时间；

- 2) 岩土工程勘察资料;
- 3) 受检桩(点)的编号、规格、位置和相关施工记录;
- 4) 检测方法、检测仪器设备、检测过程叙述;
- 5) 实测数据与计算分析曲线、表格和汇总结果;
- 6) 与检测方法相对应的检测结论;
- 7) 采用多种方法检测时, 应提供所有检测数据及综合评判结果;
- 8) 其它需要说明的事宜, 检测过程中的异常情况, 扩大检测、验证检测的相关情况(若有时)。

6 单桩竖向抗压静载试验

6.1 适用范围

- 6.1.1 本方法适用于检测单桩竖向抗压承载力。当桩身埋设有测量应变和位移的传感器时, 本法也可同时测定桩的分层侧阻力、端阻力或桩身截面的位移量。
- 6.1.2 为设计提供桩竖向抗压极限承载力的单桩静载试验, 应采用慢速维持荷载法, 试验应加载至极限状态, 或按设计的要求控制最大加载值。
- 6.1.3 工程桩验收检测, 最大加载值不应小于单桩竖向抗压承载力特征值的 2.0 倍或试验加载至设计要求的限值。
- 6.1.4 具有同一工程相同条件为设计提供的单桩竖向抗压极限承载力数据, 工程桩验收检测可采用快速维持荷载法。

6.2 设备仪器及其安装

- 6.2.1 静载试验加载反力装置可选择锚桩横梁反力装置、压重平台反力装置、锚桩压重联合反力装置。加载反力装置提供的试验反力不应小于最大加载量的 1.2 倍。
- 6.2.2 静载试验的荷载(Q)可以采用荷重传感器直接测量, 也可通过并联与液压千斤顶油路的压力表(数字压力计)测定的油压根据千斤顶率定曲线换算荷载。荷重传感器、压力表(数字压力计)的准确度应优于或等于 0.5 级。荷载的测量误差不大于满量程的 1%。

当组合采用两台及两台以上千斤顶时, 应符合下列规定:

- 1) 千斤顶型号、规格均相同;
 - 2) 千斤顶并联同步工作。
- 6.2.3 静载试验的位移(s)测量系统由位移测量仪表及安装夹具、基准桩、基准梁共同组成。位移测量应符合下列规定:
- 1) 位移测量仪表的测量误差不大于 0.1%FS、分辨力优于或等于 0.01mm;

- 2) 基准梁有效长度符合表 4.2.5 的规定，具有一定的刚度，且一端固定、另一端简支；
- 3) 位移测定平面宜在桩顶合适部位，对称设置 4 个测点，测点与桩身牢固结合；
- 4) 安装后的测量仪表，位移测量方向与桩身位移方向一致；
- 5) 采取有效防护措施，减少气温、振动、电磁场及其它外界因素对安装夹具及基准梁、基准桩的影响。

6.2.4 加载反力装置应符合下列规定：

- 1) 采用压重平台时，压重宜在检测前一次加足，并均匀稳固地放置于平台上，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，有条件时可利用工程桩作为压重平台的支点；
- 2) 采用工程桩作为锚桩时，锚桩数量不宜少于 4 根，作用于每根锚桩的拉力不大于其抗拔承载力特征值，并同步监测锚桩上拔量；
- 3) 安装后的反力装置重心、千斤顶合力中心、被测桩桩身竖向轴线应重合，保证系统合力中心方向垂直。

6.2.5 试桩、压重平台支墩边（锚桩）和基准桩之间的中心距离应符合表 5 表 3 规定。

表 3 试桩、压重平台支墩边（或锚桩）和基准桩之间的中心距离

距离 反力装置	试桩与 压重平台支墩边 (或锚桩)	试桩与 基准桩	基准桩与 压重平台支墩边 (或锚桩)
压重平台	$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $>$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$
锚桩横梁	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $>$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$

注：1 D 为试桩、锚桩的设计直径或边宽，取其较大者。

2 如试桩或锚桩为扩底桩或多支盘桩时，试桩与锚桩的中心距尚不应小于 2 倍扩大端直径。

3 括号内数值可用于工程桩验收检测时多排桩设计桩中心距离小于 $4D$ 或压重平台法支墩下 2~3 倍宽影响范围内的地基土已进行加固处理的情况。

4 在软土地压重平台堆载重量较大时宜增加支墩边与基准桩中心和试桩中心之间的距离，并在试验过程中观测基准桩的竖向位移。

6.3 现场检测

6.3.1 静载试验前后，应对试验桩（含锚桩）进行桩身完整性检测。

6.3.2 为设计提供依据的大直径灌注桩的静载试桩，应收集孔径、孔深、沉渣厚度及垂直度等资料。

6.3.3 试桩顶部宜高出试坑底面；试坑底面宜与桩承台底标高一致。桩顶处理按附录 B “竖向承载力试件处理要求” 执行。

6.3.4 试验的加、卸载应分级进行，分级荷载不得大于最大加载值或预估极限承载力的 1/10。为设计提

供依据的静载试验至预估极限承载力的 80%荷载级后，分级荷载可减半。试验中荷载的变化幅度应在分级荷载的 $\pm 10\%$ 范围内。

6.3.5 试验记录内容为即时时间、实测荷载和实时沉降。可选择不等时或等时记录方式：

- 1) 不等时记录方式，每级荷载施加后即记录一次，第 5、10、15、30、45、60min 各记录一次，以后每隔 30min 记录一次。
- 2) 等时记录方式，每级荷载施加后即记录一次，以后均按 5min 的间隔记录一次。
- 3) 记录格式见附录 A 中附表 A.0.1 单桩竖向抗压静载试验记录表。

6.3.6 慢速维持荷载法还应符合下列规定：

- 1) 逐级加卸载，其中第一级加载可取分级荷载的 2 倍。每级卸载量可取加载时分级荷载的 2 倍。
- 2) 沉降相对稳定标准：每级荷载作用下，桩顶沉降增量连续两次在每一小时内小于 0.1mm（从每级开始记录后的第 30min 开始计算）。
- 3) 当桩的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，即可卸下一级荷载。卸载至零后，继续记录至 3h。

6.3.7 快速维持荷载法应符合下列规定：

- 1) 逐级加卸载，第一级加载至分级荷载的 2 倍，第二级加载至分级荷载的 5 倍，第三级加载至分级荷载的 7 倍，第四级加载至分级荷载的 9 倍，第五级加载至分级荷载的 10 倍；卸载可分为三级，第一级卸载至分级荷载的 5 倍，第二级卸载至分级荷载的 2 倍，第三级卸载至零。
- 2) 沉降收敛条件：第一、二、三、四级荷载作用下，从开始记录后的第 40min 开始，连续两次出现后 10min 沉降增量小于等于前 10min 沉降增量；第五级荷载作用下，桩顶沉降增量连续两次在每一小时内小于 0.1mm（开始记录后的第 30min 开始计算）。
- 3) 当桩的沉降达到收敛条件时，再施加下一级荷载。
- 4) 卸载时，每级荷载维持 20min，即可卸下一级荷载。卸载至零后，继续记录 20min。

6.3.8 单桩竖向抗压静载试验出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1) 荷载-沉降（Q-s）曲线有可判定极限承载力的陡降段，且桩顶总沉降量超过 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，且连续 24h 尚未达到相对稳定标准或收敛条件；
- 3) 荷载-沉降曲线呈缓变型时，可加载至桩顶总沉降量 60~80mm；当桩端阻力尚未充分发挥时，可加载至桩顶累计沉降量超过 80mm；

4) 已达到设计要求（或验收要求）的最大加载值且桩顶沉降达到稳定标准或收敛条件；

5) 工程桩作锚桩时，锚桩上拔量已达到设计允许值。

6.3.9 测试桩身内力、应变和桩身截面位移时，应采用慢速维持荷载法。

6.4 检测数据分析与判定

6.4.1 检测数据的处理应符合下列规定：

1) 确定单桩竖向抗压承载力时，绘制竖向荷载-沉降（ $Q-s$ ）曲线、沉降-时间对数（ $s-\lg t$ ）曲线和其它辅助分析曲线；

2) 当进行桩身应变和桩身截面位移测定时，整理有关记录数据、绘制桩身轴力分布图、计算不同土层的分层侧阻力和端阻力值。

3) 单位工程同条件试桩的荷载-沉降（ $Q-s$ ）曲线采用相同的坐标比例绘制，满刻度沉降值不宜小于 50mm。

6.4.2 单桩竖向抗压极限承载力按下列条件综合分析确定：

1) $Q-s$ 曲线陡降明显，取陡降段起点对应的荷载值；

2) 某级荷载作用下桩的沉降量大于或等于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍，且经 24h 尚未达到相对稳定或收敛标准时，取前一级荷载值；

3) $Q-s$ 曲线呈缓变时，取桩的总沉降量 $s=40\text{mm}$ 对应的荷载值，对于 D （ D 为桩端直径）大于等于 800mm 的桩，可取 $s=0.05D$ 对应的荷载值；当桩长大于 40m 时，宜考虑桩身弹性压缩；

4) 按上述方法判断有困难时，结合其他辅助分析方法综合分析。对桩基沉降有特殊要求时，根据具体情况确定；

5) 当试验已达到设计要求（或验收要求）的最大加载值而未能出现 1)～4) 款条件时，可取最大试验荷载值。

6.4.3 为设计提供单桩竖向抗压极限承载力数据时，应按以下规定统计取值：

1) 同条件下，参加统计的试桩结果满足极差不超过平均值的 30% 时，取其平均值为单桩竖向抗压极限承载力；

2) 极差超过平均值的 30% 时，宜增加试桩数量并分析极差过大的原因，结合工程具体情况综合确定极限承载力；

3) 试验桩数小于 3 根或桩基承台下的桩数不大于 3 根时，取低值。

6.4.4 单桩竖向抗压承载力特征值应按单桩竖向抗压极限承载力除以安全系数 2 取值。

6.5 检测报告

6.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

6.5.2 检测报告还应包括以下内容：

- 1) 受检桩桩位对应的地质柱状图；
- 2) 试验反力装置的类型，采用压重平台时应注明试验荷重的重量，采用锚桩时应有锚桩布置平面图；
- 3) 受检桩及锚桩的尺寸、材料强度、锚桩数量及配筋；
- 4) 采用的试验方法、试验最大加载值、荷载分级；
- 5) 第 4.4.1 和 4.4.2 条要求绘制的 $Q-s$ 曲线、 $s-lgt$ 曲线及对应的数据表；
- 6) 单桩承载力及分析判定过程；
- 7) 验收检测，提供同条件单位工程的多根桩综合 $Q-s$ 曲线。

6.5.3 当进行分层摩阻力和端阻力测试时，检测报告还应包含传感器类型、安装位置，各土层的桩侧极限摩阻力、桩端阻力和轴力计算主要过程，各级荷载下桩身轴力变化曲线等信息。

7 单桩竖向抗拔静载试验

7.1 适用范围

7.1.1 本方法适用于检测单桩竖向抗拔承载力。当桩身埋设应变传感器或桩端埋设位移传感器、位移测量杆时，本法也可测定抗拔侧阻力或桩端上拔量。

7.1.2 单桩竖向抗拔静载试验应采用慢速维持荷载法或设计文件指定的方法。

7.1.3 为设计提供单桩竖向抗拔承载力数据时，应加载至桩侧土破坏或桩身材料达到设计强度。

7.1.4 工程桩验收检测，最大加载值可加载至设计要求的限值或不小于单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍。

7.1.5 当抗拔承载力受抗裂条件控制时，按设计要求确定最大试验荷载。

7.2 设备仪器及其安装

7.2.1 宜采用液压千斤顶加、卸载，并符合本规程第 4.2.1 条规定。

7.2.2 荷载测量应符合本规程第 4.2.2 条的规定。

7.2.3 上拔量的测量系统应符合本规程 4.2.3 条的规定。

7.2.4 加载装置的支座反力可由反力桩（或工程桩）或天然地基提供，见图 2。支座反力应符合下列规定：

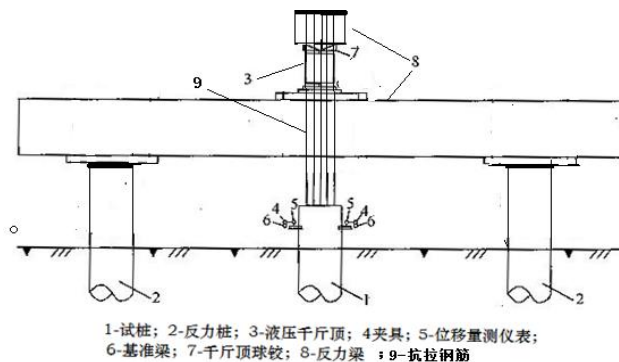


图 2 单桩竖向抗拔静载试验装置示意图

- 1) 支座反力能提供的反力应大于最大加载量的 1.2 倍；
 - 2) 反力梁的支点重心与支座中心重合；
 - 3) 由反力桩（或工程桩）提供时，桩顶面应平整并具有一定的强度。
 - 4) 由天然地基提供反力时，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。
- 7.2.5 灌注桩试验桩桩身受拉钢筋伸出桩顶长度不宜少于 $40d+500\text{mm}$ (d 为钢筋直径)。
- 7.2.6 桩钢筋按钢筋强度标准值计算的拉力值应大于预估极限承载力的 1.25 倍。当采用工程桩作试桩时，桩的配筋还应满足在最大试验荷载作用下桩的裂缝宽度控制条件，可采用分段配筋。
- 7.2.7 上拔量测量点与桩顶的距离宜不小于 1 倍桩径，严禁在桩的受拉钢筋上设置位移观测点。
- 7.2.8 试桩、支座和基准桩之间的间距应符合表 4.2.5 的规定。
- 7.2.9 安装后的加载反力装置重心、千斤顶合力中心、桩身竖向轴线应重合，保证系统合力中心方向垂直。
- 7.3 现场检测
- 7.3.1 抗拔试验前，钻孔灌注桩应提供施工时的成孔质量检测资料，有接头的预制桩应提供施工时的接头强度检测资料。对混凝土灌注桩，有明显扩径的桩不应作为抗拔试验桩。
- 7.3.2 采用慢速维持荷载法。荷载分级、荷载控制、记录格式和内容等应按本规程第 4.3.4 条和 4.3.5 条有关规定执行，同时还应符合以下规定：
- 1) 每级荷载施加后即记录一次，第 5、10、15、30、45、60min 各记录一次，以后每隔 30min 记录一次，并观察反力桩和桩周土的变形情况。
 - 2) 每级荷载作用下，桩的上拔增量连续两次在每一小时内小于 0.1mm（从每级开始记录后的第 30min 开始计算）时视为稳定。
 - 3) 当桩的上拔量达到相对稳定时，再施加下一级荷载。

4) 每级卸载值为加载值的 2 倍, 每级卸载后在第 15、30、60min 测读 3 次变形。全部卸载后, 在 3h 时测读一次。

7.3.3 当试验出现下列情况之一时, 可终止加载:

- 1) 钢筋应力达到桩受拉钢筋强度设计值, 或某根钢筋拉断;
- 2) 在某级荷载作用下, 上拔变形量陡增且总上拔量已超过 80mm;
- 3) 累计桩顶上拔量超过 100mm。

4) 工程桩验收检测时, 最大上拔荷载或最大上拔量达到设计要求; 当桩有抗裂要求时, 不应超过桩身抗裂要求对应的荷载。

7.4 检测数据的分析与判定

7.4.1 数据处理应绘制上拔荷载-桩顶上拔量 ($U-\delta$) 关系曲线和桩顶上拔量-时间对数 ($\delta-\lg t$) 关系曲线。

7.4.2 单桩竖向抗拔极限承载力可按下列方法综合确定:

- 1) 陡变型 $U-\delta$ 曲线, 取相应于陡升段起点的荷载值。
- 2) 缓变型 $U-\delta$ 曲线, 取 $\delta-\lg t$ 曲线尾部显著弯曲的前一级荷载值。
- 3) 试验荷载达到桩受拉钢筋强度标准值的 0.9 倍, 取其前一级荷载值。
- 4) 当试验已达到设计控制要求 (或验收要求) 的最大加载量而未能出现 5.3.3 条第 1)~3) 款情况时, 取最大试验荷载值。

7.4.3 单桩竖向抗拔极限承载力统计取值应符合本规程第 4.4.3 的有关规定。

7.4.4 单桩竖向抗拔承载力特征值应按下列方法确定:

- 1) 当桩身配筋能满足裂缝宽度设计要求时, 按单桩竖向抗拔极限承载力的一半取值;
- 2) 当桩身不允许带裂缝工作时, 取桩身开裂的前一级荷载;
- 3) 按设计允许的上拔变形量所对应的荷载取值。

7.5 检测报告

7.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

7.5.2 检测报告还应包括以下内容:

- 1) 受检桩桩位对应的地质柱状图;
- 2) 受检桩尺寸 (灌注桩宜有孔径曲线) 及配筋情况;
- 3) 加卸载方法, 荷载分级;
- 4) 第 5.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表;

5) 每根桩的承载力及承载力判定依据。

7.5.3 当测试抗拔侧阻力时，检测报告中还应包括传感器类型、安装位置，各土层的桩侧极限摩阻力，轴力计算方法，各级荷载作用下桩身轴力变化曲线等信息。

8 单桩水平静载试验

8.1 适用范围

8.1.1 本方法适用于检测桩顶自由时的单桩水平承载力；检测其它形式的水平承载力时可参照应用。本法也可推定地基土水平抗力系数的比例系数。

8.1.2 当桩身埋设有应变测量传感器时，本方法可测定桩身横截面的弯曲应变，并由此计算桩身弯矩以及确定钢筋混凝土桩受拉区混凝土开裂时对应的水平荷载。

8.1.3 单桩水平静载试验宜采用单向多循环加载法。当同时测量桩身应力或应变时应采用慢速维持荷载法。

8.1.4 为设计提供单桩水平承载力数据时，试验宜加载至桩顶出现较大水平位移或桩身结构破坏。

8.1.5 工程桩验收检测，按设计要求的水平位移允许值控制加载。

8.2 设备仪器及其安装

8.2.1 采用千斤顶顶推或采用牵引法施加水平力。采用的液压千斤顶应符合本规程第 4.2.1 条规定。

8.2.2 荷载测量应符合本规程第 4.2.2 条的规定。

8.2.3 桩的水平位移测量系统除符合本规程 4.2.3 条的有关规定外，还应符合以下规定：

- 1) 在力作用水平面的试桩两侧对称设置两个位移测点；
- 2) 当需要测量桩顶转角时，在力作用水平面以上 50cm 的试桩两侧对称设置两个测点；
- 3) 基准桩应设置在试桩及反力结构影响范围以外，当基准桩设置在垂直加荷轴线且与试桩位移相反的方向上，基准桩与试桩净距可适当减少，但不宜小于 2m。

8.2.4 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验桩的 1.2 倍，当采用顶推法加载时，反力结构与试桩之间的净距不应小于 3 倍桩径；采用牵引法加荷时，其净距不应小于 10 倍桩径。试验装置见图 3。并符合下列规定：

- 1) 水平力作用点宜与实际工程的桩基承台底面标高一致，试桩的垂直度偏差不宜大于 1%；
- 2) 千斤顶和试桩接触处应安置球形铰支座，千斤顶作用力应与桩试桩身竖向轴线垂直；
- 3) 千斤顶与试桩的接触处宜适当补强。

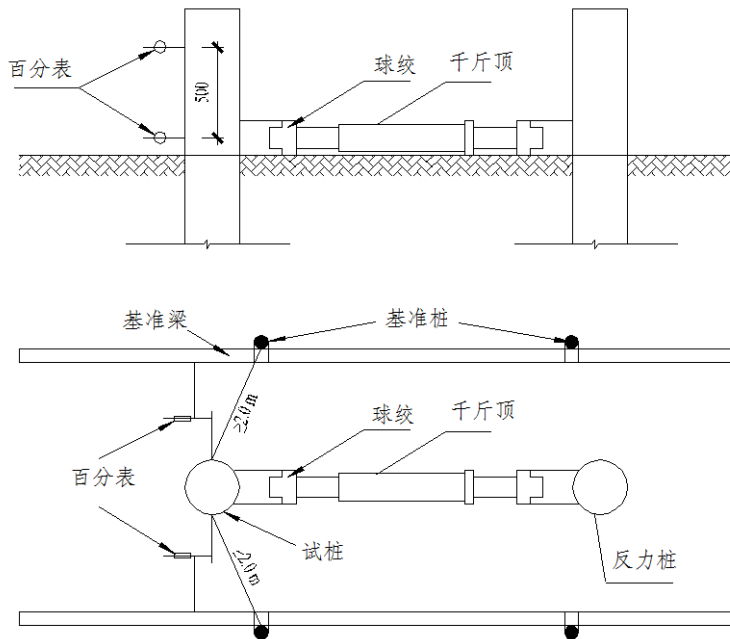


图 3 单桩水平静载装置示意图

8.2.5 测量桩身应变时，各测试断面的测量传感器应沿受力方向对称布置在远离中性轴的受拉和受压主筋上；埋设传感器的纵剖面与受力方向之间的夹角不得大于 10° 。在地面下 10 倍桩径（桩宽）的主要受力部分应加密测试断面，断面间距不宜超过 1 倍桩径；超过 10 倍桩径（桩宽）深度，测试断面间距可适当加大。桩身内埋设传感器的方法按有关规程执行。

8.3 现场检测

8.3.1 试验数据的记录格式和记录内容按本规程第 4.3.5 条有关规定执行。

8.3.2 水平静载试验应符合以下规定：

1) 单向多循环加载法的分级荷载应取预估水平极限承载力或最大试验荷载的 $1/10 \sim 1/15$ 。每级荷载施加后，维持恒载 4min 后记录一次，然后卸载至零，停 2min 再记录一次，至此完成一个加卸载循环。如此循环 5 次即完成一级荷载的位移记录。试验不得中间停顿。

2) 采用慢速维持荷载法时，加卸载分级及稳定标准按本规程第 4.3.4 条和 4.3.6 有关规定执行。

8.3.3 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1) 水平位移超过 30~40mm（软土或大直径桩取 40mm）；
- 2) 桩身折断；
- 3) 验收检测时，在恒定荷载作用下，水平位移达到设计要求的水平位移允许值。

8.3.4 测试桩身横截面弯曲应变时，宜与记录水平荷载和水平位移同步。

8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 检测数据的整理应符合下列规定：

- 1) 采用单向多循环加载法时绘制水平力-时间-位移 (H_0-t-X_0) 曲线 (见图 4) 和水平力-位移梯度

($H_0 - \Delta X_0 / \Delta H_0$) 曲线(见图 5)。

2) 采用慢速维持荷载法时绘制水平力-力作用点位移 ($H_0 - X_0$) 曲线、力作用点位移-时间对数 ($X_0 - \lg t$) 关系曲线和水平力-力作用点位移双对数 ($\lg H - \lg X_0$) 关系曲线。

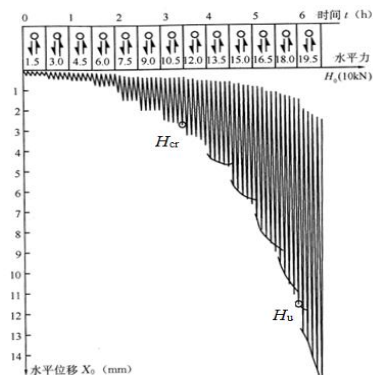


图 4 $H-t-X_0$ 曲线

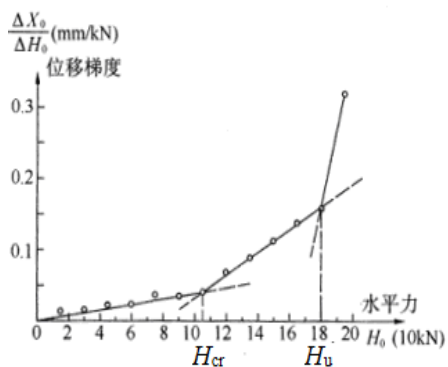


图 5 $H-\Delta X_0 / \Delta H_0$ 曲线

8.4.2 进行桩身横截面弯曲应变测定时, 应绘制下列曲线, 并列表给出相应的数据:

- 1) 各级水平力作用下的桩身弯矩分布图;
- 2) 水平力-最大弯矩截面钢筋拉应力 ($H_0 - \sigma_s$) 曲线见图 6。

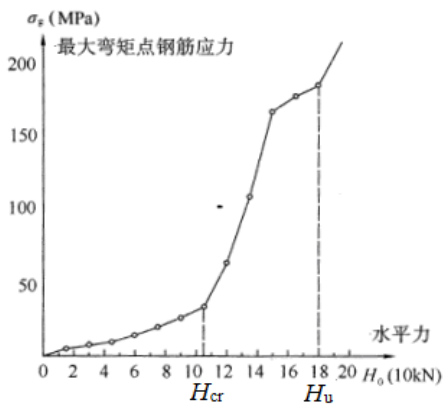


图 6 $H_0-\sigma_s$ 曲线

8.4.3 单桩水平临界荷载可按下列方法综合确定：

- 1) 单向多循环加载法时取 H_0-t-X_0 曲线或慢速维持荷载法时的 H_0-X_0 曲线出现拐点的前一级水平荷载值；
- 2) 取 $H_0-\Delta X_0/\Delta H_0$ 曲线或 $\lg H_0-\lg X_0$ 曲线上第一拐点对应的水平荷载值；
- 3) 取 $H_0-\sigma_s$ 曲线第一拐点对应的水平荷载值。

8.4.4 单桩水平极限承载力可按下列方法综合确定：

- 1) 单向多循环加载法时取 H_0-t-X_0 曲线明显陡变的前一级水平荷载，或慢速维持荷载法时取 H_0-X_0 曲线产生明显陡变的起始点对应的水平荷载；
- 2) 慢速维持荷载法时取 $X_0-\lg t$ 曲线尾部明显弯曲的前一级水平荷载值；
- 3) 取 $H_0-\Delta X_0/\Delta H_0$ 曲线或 $\lg H_0-\lg X_0$ 曲线第二拐点对应的水平荷载值；
- 4) 取桩身折断或受拉钢筋屈服时的前一级水平荷载值。

8.4.5 为设计提供单桩水平临界荷载和单桩水平极限承载力数据时，按本规程第 4.4.3 条的统计方法确定。

8.4.6 单桩水平承载力特征值的确定应按以下方法综合确定：

- 1) 单桩水平临界荷载 H_{cr} 可取 $H_0-\Delta X_0/\Delta H_0$ 曲线第一直线段终点或 $H_0-\sigma_s$ 曲线第一拐点对应的荷载值对应的荷载；
- 2) 当桩身不允许裂缝时，取水平临界荷载的 0.75 倍为单桩水平承载力特征值；
- 3) 当桩身允许裂缝时，取单桩水平极限承载力统计值除以安全系数 2 为单桩水平承载力特征值，且桩身裂缝宽度符合相应规范要求。
- 4) 当设计有水平允许位移值要求时，在符合桩身抗裂要求时可取对应的荷载作为单桩水平承载力特征值。

8.5 检测报告

8.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

8.5.2 检测报告还应包括以下内容：

- 1) 受检桩位置对应的地质柱状图；
- 2) 受检桩的截面尺寸及配筋情况；
- 3) 加卸载方法，荷载分级；
- 4) 第 6.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 5) 每根桩的承载力及承载力判定依据；

8.5.3 当进行钢筋应力测试并由此计算桩身弯矩时，检测报告中还应包括传感器类型、安装位置、内力计算方法和第 6.4.3 条要求绘制的曲线及其对应的数据表等信息。

9 基础锚杆抗拔试验

9.1 适用范围

9.1.1 本方法适用于基础锚杆的抗拔承载力验收检测。

9.1.2 基础锚杆抗拔试验应采用分级维持荷载法，也可采用多循环加卸载法。当采用多循环加卸载法时，试验方法应符合《锚杆检测与监测技术规程》JGJ/T401 第 7 章的有关规定。

9.2 设备仪器及其安装

9.2.1 试验宜采用液压千斤顶加卸载，荷载测量应符合本规程第 4.2.2 条。

9.2.2 试验位移测量系统除应符合本规程第 4.2.3 条的规定外，还应符合以下规定：

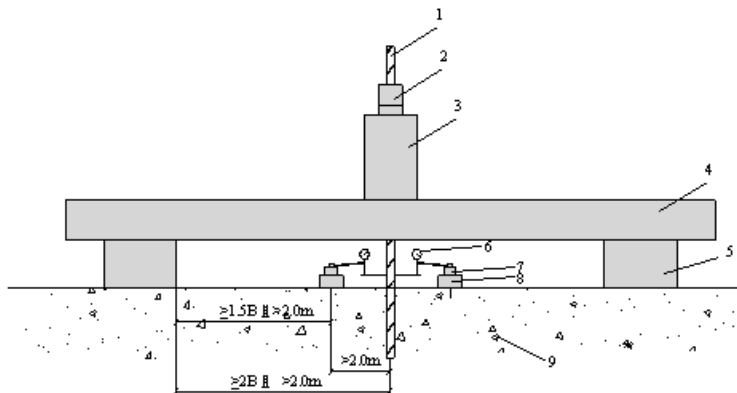
- 1) 位移测量仪表的基座应固定在基准梁上，不得安装在千斤顶上。
- 2) 位移测量方向应与锚杆的轴向变形方向一致。
- 3) 应对称安装 2 个位移测量仪表。
- 4) 基准桩、基准梁和固定位移测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其它外界因素的影响。

9.2.3 试验加载反力装置宜采用支座横梁反力装置，并应符合下列规定：

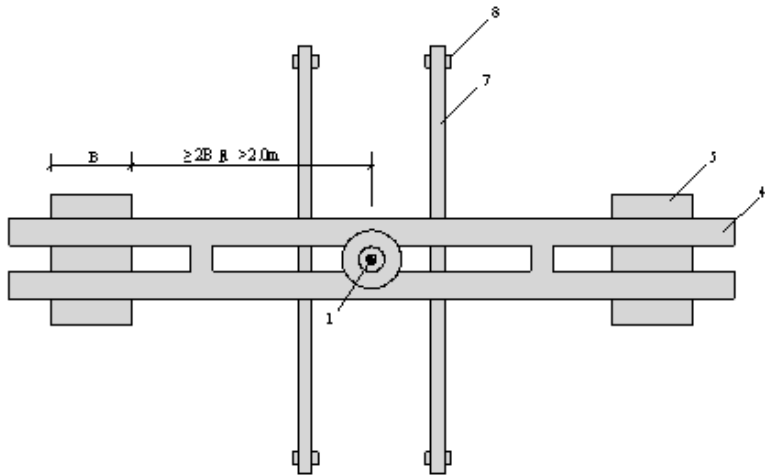
- 1) 加载反力装置能提供的反力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍；
- 2) 加载反力装置应满足承载力和变形的要求。

9.2.4 锚杆中心、反力支座边、基准桩中心之间的距离应满足以下规定：

- 1) 基准桩中心与锚杆中心的距离应大于 2.0m；
- 2) 基准桩中心与反力支座边的距离应大于等于 1.5B 且大于 2.0m；
- 3) 锚杆中心与反力支座边的距离应大于等于 2B 且大于 2.0m。
- 4) 锚杆抗拔试验支座横梁加载反力装置可按图 7 的形式进行安装。



(a) 立面图



(b) 平面图

图 7 锚杆抗拔试验支座横梁加载反力装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心千斤顶；4—主梁；5—反力支座；
6—位移测量仪表；7—基准梁；8—基准桩；9—垫层

9.2.5 加载反力装置中心、千斤顶合力中心与基础锚杆轴线应一致。

9.3 现场检测

9.3.1 现场试验时，基础锚杆自由段应与垫层、混凝土面层、支撑构件等脱离，处于独立受力状态。

9.3.2 基础锚杆抗拔验收检测时锚固段注浆体强度不应低于设计强度的 90%，或锚固段注浆体的龄期应达到 28d。

9.3.3 最大试验荷载 Q_{max} 不应小于设计要求的锚杆承载力特征值的 2.0 倍。

9.3.4 分级维持荷载法试验的加、卸载方法应符合表 4 的规定：

表 4 分级维持荷载法试验的加、卸载方法

加载荷载值	$0.2Q_{max}$	$0.3Q_{max}$	$0.4Q_{max}$	$0.5Q_{max}$	$0.6Q_{max}$	$0.7Q_{max}$	$0.8Q_{max}$	$0.9Q_{max}$	$1.0Q_{max}$
卸载荷载值	$0.8Q_{max}$	$0.6Q_{max}$	$0.4Q_{max}$	$0.2Q_{max}$	0	/	/	/	/

注：每级维持荷载的变化幅度不得超过分级荷载的 $\pm 10\%$ 。

9.3.5 分级维持荷载法试验还应符合以下规定：

- 1) 每级荷载施加完成后每隔 5min 测读一次位移；
- 2) 位移相对稳定标准：岩石锚杆在 30min 内的锚杆位移增量不大于 0.05mm，土层锚杆在 30min 内的锚杆位移增量不大于 0.10mm；锚固段设置于强风化岩中的锚杆应按土层锚杆的稳定标准执行；
- 3) 锚头位移达到相对稳定标准时，可继续施加下一级荷载；

4) 卸载时, 每级荷载维持 15min, 在第 5min、10min、15min 分别测读锚头位移。

9.3.6 当出现下列情况之一时, 即可终止加载:

- 1) 锚杆杆体破坏;
- 2) 分级维持荷载法中, 本级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的位移增量的 5 倍;
- 3) 土层锚杆在 3h 内、岩石锚杆在 2h 内, 锚头位移未达到相对稳定标准;
- 4) 已加载至最大试验荷载值, 且锚头位移达到位移相对稳定标准;
- 5) 多循环加卸载法试验中, 本次循环荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一循环荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍。

9.4 检测数据分析与判定

9.4.1 试验结果应包括每级荷载对应的锚头位移数据, 并应绘制锚杆荷载-位移 (Q-s) 曲线, 需要时也可绘制其它辅助分析曲线。

9.4.2 抗拔承载力检测值 (T_y) 应按下列方法分析确定:

- 1) 分级维持荷载法试验符合本规程第 7.3.6 条第 1)~3) 款情况时, 取终止加载的前一级荷载值;
- 2) 多循环加卸载法试验出现本规程第 7.3.6 条第 1)、3)、5) 款中任意一种情况时, 取前一循环最大试验荷载值;
- 3) 当出现本规程第 7.3.6 条第 4) 款情况时, 取最大试验荷载值。

9.4.3 合格锚杆的判定应符合下列规定:

- 1) 锚杆抗拔承载力检测值 T_y 不应小于设计要求的验收荷载值;
- 2) 当设计有要求时, 锚杆的变形和位移量应满足设计要求。

9.5 检测报告

9.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节的规定。

9.5.2 检测报告还应包括以下内容:

- 1) 基础锚杆类型、尺寸(锚杆孔径、锚杆自由段和锚固段的长度、杆体直径), 杆体材料及其强度, 注浆体材料及其强度;
- 2) 试验反力装置的类型;
- 3) 加卸载方法, 荷载分级;
- 4) 荷载-位移 (Q-s) 曲线及对应的数据表;

5) 基础锚杆抗拔承载力检测值及其是否满足设计要求的判定。

10 浅层平板载荷试验

10.1 适用范围

10.1.1 本方法适用于确定浅部天然地基、处理地基和各种复合地基在承压板下应力主要影响范围内的承载力和变形系数。

10.1.2 浅层平板载荷试验承压板面积不应小于 0.5 m^2 ；换填垫层和压实地基承压板面积不应小于 1.0 m^2 ，强夯地基承压板面积不应小于 2.0 m^2 。复合地基承压板面积应与实测单桩或多桩所承担的处理面积相等。板宽还不应小于换填深度的 $1/3$ 。

10.1.3 为设计提供承载力依据的载荷试验应加载到极限状态。工程验收检测的载荷试验应加载到不小于地基承载力特征值的 2 倍。

10.2 设备仪器及其安装

10.2.1 浅层平板载荷试验采用液压千斤顶加、卸载，并符合本规程第 4.2.1 条规定。承压板的材料、刚度应满足试验的要求，在最大荷载作用下不应出现翘曲变形。

10.2.2 荷载测量应符合本规程第 4.2.2 条的规定。

10.2.3 位移测量系统的要求除符合本规程 4.2.3 条的规定外，还应符合以下规定：

- 1 测点应对称设置于承压板上，各测点距承压板边缘的距离应一致。
- 2 承压板与压重平台支墩和基准桩的净距应符合表 5 规定：

表 5 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的净距

承压板及基准桩	承压板与压重平台支墩	基准桩与压重平台支墩
$>b$ 且 $>2.0\text{m}$	$>b$ 且 $>B$ 且 $>2.0\text{m}$	$>1.5B$ 且 $>2.0\text{m}$
注：b 为承压板边宽或直径 (m)，B 为支墩宽度 (m)		

10.3 现场检测

10.3.1 试坑底面应与设计标高一致，试坑宽度不应小于承压板宽度或直径的三倍。试验前，应保持试验土层和复合地基的原状结构和天然湿度。天然地基及处理地基试验点表面宜用粗砂或中砂找平，其厚度不超过 20mm ；复合地基试验面上宜铺设 $50\text{mm} \sim 150\text{mm}$ 厚度的粗砂或中砂垫层或按设计要求铺设褥垫层。

10.3.2 正式试验前宜进行预压。预压荷载宜为最大加载量的 5%，预压时间宜为 5min 。预压后卸载至

零，测读位移表的初始读数并应重新调零。

10.3.3 试验采用慢速维持荷载法。试验的荷载分级、荷载控制、记录格式和内容等按本规程第 4.3.4 条和 4.3.5 条有关规定执行。

10.3.4 试验还应符合以下规定：

1) 每级荷载施加后即记录一次，第 10、20、30、45、60min 各记录一次，以后每隔 30min 记录一次。

2) 每级荷载作用下，沉降增量连续两次在每一小时内小于 0.1mm 时（从每级开始记录后的第 30min 开始计算）视为稳定。

3) 当沉降量达到相对稳定时，再施加下一级荷载。

10.3.5 当出现下列情况之一时，即可终止加载：

- 1) 承压板周围的土明显地侧向挤出；
- 2) 沉降 s 急骤增大，荷载～沉降（ $p-s$ ）曲线出现陡降段；
- 3) 在某一级荷载下，24 小时内沉降速率不能达到稳定；
- 4) 累计沉降量与承压板宽度或直径之比大于或等于 0.06 且大于等于 150mm。
- 5) 已达到设计（验收）要求的最大试验荷载，且沉降稳定。

当满足前三种情况之一时，其对应的前一级荷载定为极限荷载。

10.4 检测数据分析与判定

10.4.1 根据原始记录绘制荷载-沉降（ $p-s$ ）曲线。

10.4.2 天然地基承载力特征值的确定应符合下列规定：

1) 当压力-沉降曲线上极限荷载能确定，而其值不小于对应比例界限的 2 倍时，可取比例界限；当其值小于对应比例界限的 2 倍时，可取极限荷载的一半。

2) 当 $p-s$ 曲线上无法确定比例界限时，取极限荷载的一半所对应的荷载值。

3) 当不能按上述二款要求确定时，可取 $s/b=0.01\sim0.015$ 所对应的荷载，但其值不应大于最大试验荷载的一半。承压板的宽度或直径大于 2m 时，按 2m 计算。

10.4.3 除复合地基外，处理后的地基承载力特征值的确定应符合下列规定：

- 1) 当压力-沉降曲线上有比例界限时，取该比例界限所对应的荷载值。
- 2) 当极限荷载小于对应比例界限的荷载值的 2 倍时，取极限荷载值的一半。
- 3) 当不能按上述两款要求确认时，可取 $s/b=0.01$ 所对应的荷载，但其值不应大于最大加载量的

一半。承压板的宽度或直径大于 2m 时，按 2m 计算。

10.4.4 复合地基承载力特征值的确定应符合下列规定：

1) 当 $p-s$ 曲线上极限荷载能确定，而其值不小于对应比例界限的 2 倍时，可取比例界限；当其值小于对应比例界限的 2 倍时，可取极限荷载的一半。

2) 当 $p-s$ 曲线是平缓的光滑曲线时，可按相对变形值确定；

a 对砂石桩、振冲桩复合地基或强夯置换墩：当以黏性土为主的地基，可取 s/b 等于 0.015 所对应的荷载；当以粉土或砂土为主的地基，可取 s/b 等于 0.01 所对应的荷载。

b 对土挤密桩、石灰桩或柱锤桩复合地基，可取 s/b 等于 0.012 所对应的荷载。对灰土挤密桩复合地基，可取 s/b 等于 0.008 所对应的荷载。

c 对水泥粉煤灰碎石桩或夯实水泥桩复合地基，当以卵石、圆砾、密实粗中砂为主的基地，可取 s/b 等于 0.008 所对应的荷载；当以粉性土、粉土为主的地基，可取 s/b 等于 0.01 所对应的荷载。

d 对水泥土搅拌桩或旋喷桩复合地基，可取 s/b 等于 0.006 所对应的荷载。

e 对刚性桩复合地基，可取 s/b 等于 0.008~0.01 所对应的荷载。

f 对有经验的地区，可按当地经验确定相对变形值。承压板的宽度或直径大于 2m 时，按 2m 计算。

按相对变形值确定的承载力特征值不应大于最大试验荷载的一半。

10.4.5 同一试验参加统计的试验点不应少于 3 点，各试验实测值的极差不得超过其平均值的 30%，取此平均值作为该地基承载力特征值。当极差超过平均值的 30% 时，应分析原因，结合工程具体情况确定，必要时增加试验点数量。

对于桩数少于 5 根的独立基础或桩数少于 3 排的条形基础，复合地基承载力特征值应取最低值。

10.5 检测报告

10.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

10.5.2 检测报告还应包括以下内容：

- 1) 受检位置对应的典型地质剖面图；
- 2) 检测地基类型，复合地基竖向增强体的平面布置图；
- 3) 采用的承压板的材质、尺寸；
- 4) 试验反力类型、试验装置平面图，采用压重平台时应注明试验荷重的重量；
- 5) 加载方法，加载分级；
- 6) $p-s$ 曲线及对应的数据表，与承载力判定有关的曲线及数据；

7) 承载力取值及判定依据。

11 深层平板载荷试验

11.1 适用范围

11.1.1 深层平板载荷试验可适用于确定深部地基土层及大直径桩桩端土层在承压板下应力主要影响范围内的承载力。

11.1.2 深层平板载荷试验的承压板采用直径为 800mm 的刚性板，当试井直径大于承压板直径时，紧靠承压板周围的外侧的土层高度不应少于 0.8m。

11.1.3 为设计提供承载力依据的载荷试验应加载到极限状态。工程验收检测的载荷试验应加载到不小于地基承载力特征值的 2 倍。

11.2 设备仪器及其安装

11.2.1 深层平板载荷试验采用油压千斤顶加、卸载，并符合本规程第 4.2.1 条规定。

11.2.2 荷载测量应符合本规程第 4.2.2 条的规定。

11.2.3 位移测量系统的要求除符合本规程 4.2.3 条的规定外，还应符合以下规定：

- 1) 对称安装 4 个位移测量仪表；
- 2) 沉降测定平面宜设置在承压板位置；
- 3) 传力柱中心与基准桩中心不应小于 2.0m 距离。

11.2.4 可采用压重平台反力装置，压力通过传力柱施加于承压板，除符合本规程 4.2.4 条有关规定外，还应符合下列规定：

- 1) 传力柱的中心应与承压板的中心重合且垂直支撑。
- 2) 传力柱和承压板的材料强度、刚度，应满足载荷试验的要求，在最大荷载作用下不应变形。
- 3) 承压板放置时，应保持试验土层的原状结构和天然湿度。

11.3 现场检测

11.3.1 深层平板载荷试验采用慢速维持荷载法。试验的荷载分级不小于 10 级，试验的荷载控制、记录格式和内容等按本规程第 4.3.4 条和 4.3.5 条有关规定执行。

11.3.2 深层平板载荷试验还应符合以下规定：

- 1) 每级加荷后即记录一次，第 10、20、30、45、60min 各记录一次，以后隔 30min 记录一次。
- 2) 每级荷载作用下，沉降增量连续两次在每一小时内小于 0.1mm（从每级开始记录后的第 30min 开始计算）时视为稳定。

3) 当沉降达到相对稳定时,再施加下一级荷载。

11.3.3 当出现下列情况之一时,可终止加载:

- 1) 沉降 s 急骤增大,荷载~沉降($p-s$)曲线上有可判定极限承载力的陡降段,且沉降量超过 $0.04d$ (d 为承压板直径);
- 2) 在某级荷载下,24 小时内沉降量不能达到相对稳定;
- 3) 本级沉降量大于前一级沉降量的 5 倍;
- 4) 当持力层土层坚硬,沉降量很小时,最大加载量不小于设计要求承载力特征值的 2 倍。

11.4 检测数据分析与判定

11.4.1 根据原始记录绘制荷载-沉降($p-s$)曲线。

11.4.2 承载力特征值的确定应符合下列规定:

- 1) 当 $p-s$ 曲线有比例界限时,取该比例界限所对应的荷载值为承载力特征值。
- 2) 满足 9.3.3 款中前三条终止加载条件之一时,其对应的前一级荷载确定为极限荷载,当该值小于对应比例界限的荷载值的 2 倍时,取极限荷载值的一半为承载力特征值。
- 3) 当不能按上述二款要求确定时,可取 $s/b=0.01\sim0.015$ 所对应的荷载,但其值不应大于最大加载量的一半。

11.4.3 同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点,当试验实测值的极差不超过平均值的 30%时,取此平均值作为该土层的地基承载力特征值。

11.5 检测报告

11.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

11.5.2 检测报告还应包括以下内容:

- 1) 试验点位对应的地质剖面图;
- 2) 试验点深部地基土层,或受检桩桩型、孔径、孔深、桩端土层描述;
- 3) 承压板材质及厚度、传力柱材质、规格、允许最大受力状况;
- 4) 试验反力类型、试验装置平面图,采用压重平台时应注明试验荷重的重量;
- 5) 加卸载方法,加载分级;
- 6) $p-s$ 曲线及对应的数据表,与承载力判定有关的曲线及数据;
- 7) 承载力取值及判定依据。

12 岩石地基载荷试验

12.1 适用范围

12.1.1 岩石地基载荷试验可适用于确定完整、较完整、较破碎岩石地基作为天然地基或桩基础持力层时的承载力。

12.1.2 采用圆形刚性承压板，直径为 300mm。

12.1.3 为设计提供承载力依据的载荷试验应加载至极限状态。工程验收检测的载荷试验应加载至设计岩石地基承载力特征值的 3 倍。

12.2 设备仪器及其安装

12.2.1 岩石地基载荷试验采用液压千斤顶加、卸载，并符合本规程第 4.2.1 条规定。

12.2.2 荷载测量应符合本规程第 4.2.2 条的规定。

12.2.3 位移测量系统的要求除符合本规程 4.2.3 条的规定外，还应符合以下规定：

- 1) 对称安装 2 个位移测量仪器；
- 2) 沉降测定平面宜设置在承压板位置；
- 3) 传力柱中心与基准桩中心不应小于 2.0m 距离。

12.2.4 采用压重平台反力装置，当岩石埋藏深度较大时，可采用钢筋混凝土桩作为传力柱。除应符合本规程 4.2.4 条有关规定外，还应符合下列规定：

- 1) 传力柱和承压板的材料强度、刚度，应满足载荷试验的要求，在最大荷载作用下不应变形；
- 2) 传力柱的轴线应垂直通过承压板中心；
- 3) 采用钢筋混凝土桩作为传力柱时，需采取措施消除桩身与土之间的摩擦力；
- 4) 放置承压板时，应保持试验岩层的天然湿度和状态。

12.3 现场检测

12.3.1 岩石地基载荷试验的加载方式采用慢速维持荷载法，荷载逐级递增直到破坏，然后分级卸载。荷载控制、记录格式和内容等应按本规程第 4.3.4 条和 4.3.5 条有关规定执行。

12.3.2 试验前，按预估极限承载力 5%预压，每 10min 记录一次，连续三次数据不变方可开始试验。试验还应符合以下规定：

- 1) 加载后立即记录一次，以后每隔 10min 记录一次。
- 2) 每级荷载作用下，连续三次沉降增量均不大于 0.01mm 时视为相对稳定。

3) 当沉降达到相对稳定时,再施加下一级荷载。

12.3.3 当出现下列情况之一时,即可终止加载:

- 1) 沉降量不断变化,在 24 小时内,沉降速率有增大的趋势;
- 2) 某级荷载无法维持或试验荷载不能保持稳定;
- 3) 试验荷载已达到设计岩石地基承载力特征值的 3 倍且能保持稳定。

12.3.4 卸载观测:每级卸载为分级荷载的两倍,每级卸载后,隔 10min 记录一次,记录三次后可卸下一级荷载。全部卸载后,当 30min 回弹量不大于 0.01mm 时,即认为达到稳定。

12.4 检测数据分析与判定

12.4.1 根据原始记录绘制荷载-沉降($p-s$)曲线。

12.4.2 岩石地基承载力的确定应符合以下规定:

- 1) 对应于 $p-s$ 曲线上起始直线段的终点为比例界限,符合 10.3.4 条第一、二款时的前一级荷载、或工程验收检测符合 10.3.4 条第三款时的试验荷载为极限荷载,将极限荷载除以 3 的安全系数,所得值与对应于比例界限的荷载相比较,取小值;
- 2) 每个场地荷载试验的数量不应少于 3 个,取小值作为岩石地基承载力特征值。
- 3) 岩石地基承载力不进行深宽修正。

12.5 检测报告

12.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

12.5.2 检测报告还应包括以下内容:

- 1) 试验点对应的地质剖面图和地基持力层描述;
- 2) 试验点的孔径、孔深和钻芯结论;
- 3) 承压板和传力柱材质、规格、允许最大受力状况;
- 4) 试验反力类型、试验装置平面图,采用压重平台时应注明试验荷重的重量;
- 5) 第 10.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表;
- 6) 承载力取值及判定依据。

13 圆锥动力触探试验

13.1 适用范围

13.1.1 本方法适用于检测天然地基岩土、处理地基或竖向增强体及周围地基土性状、地基处理的均匀性、效果等。

13.1.2 圆锥动力触探试验根据锤击能量分为轻型、重型和超重型三种，根据场地地质条件及地基处理的方法合理选择。

1) 轻型动力触探适用于浅部的填土、黏性土、粉土、粉砂、细砂及处理地基，也可以用于成桩 3d 内的水泥搅拌桩；

2) 重型动力触探适用于砂土、中密以下的碎石土、极软岩等原状岩土以及处理地基；也可用于检验砂石桩和初凝状态的水泥搅拌桩、旋喷桩、灰土桩、夯实水泥土桩、注浆加固地基的成桩质量、处理效果以及评价强夯置换效果及置换墩着底情况；

3) 超重型动力触探适用于密实和很密的碎石土、软岩、极软岩等原状岩土；也可用于检验砂石桩、柱锤冲扩桩等竖向增强体地基的成桩质量、处理效果以及评价强夯置换效果及置换墩着底情况。

13.2 设备仪器及其安装

13.2.1 动力触探仪由穿心锤、圆锥触探头和触探杆（包括锤座和导向杆）组成。其规格见表 6。

表 6 动力触探设备类型和规格

设备类型		轻型	重型	超重型
落锤	质量 (kg)	10±0.2	63.5±0.5	120±1.0
	落距 (cm)	50±2	76±2	100±2
探头	直径 (mm)	40	74	74
	截面积 (cm ²)	12.6	43	43
	圆锥角 (°)	60	60	60
触探杆	直径 (mm)	25	42	50~60
	每米质量 (kg)		<8	<15
	锤座质量 (kg)		10~15	

13.2.2 重型和超重型动力触探的落锤应采用自动脱钩装置。

13.2.3 触探杆应顺直，每节触探杆相对弯曲宜小于 0.5%，丝扣完好无裂纹。当探头直径磨损大于 2mm 或锥尖高度磨损大于 5mm 时应及时更换探头。

13.3 现场检测

13.3.1 现场检测环境条件应满足各类检测设备进退场要求和检测要求。

13.3.2 经人工处理的地基，应根据处理土的类型、增强体桩体材料组成及施工情况合理选择圆锥动力触探试验类型。

13.3.3 圆锥动力触探试验应在平整的场地上进行，试验点平面布设应符合下列规定：

1) 测试点应根据工程地质分区或加固处理分区均匀布置，并应具有代表性；

2) 复合地基的增强体施工质量检测, 测试点应布置在增强体的桩体中心附近; 桩间土的处理效果检测, 测试点的位置应在增强体间等边三角形或正方形的中心;

3) 评价强夯置换墩着底情况时, 测试点位置可选择在置换墩中心;

4) 评价地基处理效果时, 处理前、后的测试点的布置应考虑前后的一致性。

13.3.4 圆锥动力触探检测深度除应满足设计要求外, 尚应符合下列规定:

1) 天然地基检测深度应达到主要受力层深度以下;

2) 人工地基检测深度应达到加固深度以下0.5m;

3) 复合地基增强体及桩间土的检测深度应超过竖向增强体底部0.5m。

13.3.5 轻型动力触探

1) 先用轻便钻具钻至检测土层或增强体设计标高以上 30cm 处, 然后对所需检测土层或增强体连续进行触探;

2) 检测时穿心锤落距为 50cm, 使其自由下落。记录每打入土层或增强体中 30cm 时所需的锤击数;

3) 若需描述土层或增强体情况时, 可将触探杆拨出, 取下探头, 换贯入器或轻便钻头进行取样;

4) 如遇密实坚硬土层或增强体, 当贯入 30cm 所需锤击数超过 100 击或贯入 10cm 超过 30 击时, 即可停止试验。如需对下部土层或增强体进行试验时, 可用钻具穿透坚实土层后再贯入;

5) 本检测方法一般用于贯入深度小于 4m 的土层或增强体。

13.3.6 重型动力触探

1) 检测前检查钻机塔架或触探架是否安装平稳、垂直, 机具设备、部件是否完好; 检测过程中触探杆连接应紧固, 不得松动;

2) 锤击贯入时应采用自动脱钩装置, 使穿心锤自由下落, 落锤落距为 76cm。地面上的触探杆的高度不宜超过 1.5m, 防止锤击偏心、探杆倾斜和侧向晃动;

3) 贯入过程应连续进行, 锤击速率宜为 (15~30) 击/min。贯入过程中保持钻杆垂直度, 其最大偏斜度不应超过 2%;

4) 应及时记录试验段深度和每贯入 10cm 的锤击数。其方法可在触探杆上每隔 10cm 划出标记, 然后直接用仪器记录锤击数;

5) 每贯入 1m, 宜将探杆转动一圈半; 当贯入深度超过 10m, 每贯入 20cm 宜转动探杆一次; 对于一般砂、圆砾和卵石层或增强体, 触探深度不宜超过 15m, 超过该深度时, 需考虑触探杆的侧壁摩阻影响;

6) 当每贯入 10 cm 所需锤击数连续 3 次超过 50 击时, 可停止试验或改用钻探、超重型动力触探; 当遇有硬夹层时, 宜穿过硬夹层后继续试验;

7) 本检测方法也可在钻孔中分段进行。当钻探至试验段的起始深度时, 取出钻具, 换动力触探探头放入孔内进行动力触探试验。

13.3.7 超重型动力触探

1) 贯入时穿心锤落距为 100cm。贯入深度一般不宜超过 20m，超过该深度时，需考虑触探杆侧壁摩擦的影响；

2) 其它步骤可参照本规程 11.3.6 条中 1)～5) 款的规定进行。

13.3.8 各检测孔检测前应测量孔口标高，检测后应测量孔内地下水位。

13.3.9 轻型、重型和超重型动力触探试验数据可按本规范附录 A 表 A2.1、表 A2.2 和表 A2.3 的格式进行记录。

13.3.10 圆锥动力触探试验对人工地基进行检测的开始时间和检测数量见本规程 3.4 节有关条款。

13.4 检测数据分析与判定

13.4.1 重型及超重型动力触探锤击数应根据具体应用需要按本规程附录 D 的规定进行修正。

13.4.2 对于每个检测孔，圆锥动力触探试验的结果应绘制动力触探锤击数与试验深度关系曲线。

13.4.3 计算单孔分层贯入指标平均值时，应剔除超前和滞后影响范围内的异常值。

13.4.4 应根据各孔分层的贯入指标平均值，用厚度加权平均法计算场地分层贯入指标平均值，按附录 C 计算变异系数。

13.4.5 应根据不同深度的动力触探锤击数，采用算术平均法计算每个检测孔动力触探锤击数代表值。

13.4.6 地基土的分层和土类判定应根据动力触探锤击数沿深度的变化趋势，结合岩土工程勘察资料和地区经验综合确定。

13.4.7 地基土的岩土性状、地基处理的施工效果可根据单位工程各检测孔的动力触探锤击数、场地内同一土层的动力触探锤击数统计值及变异系数进行评价。地基处理的施工效果尚宜根据处理前后的检测结果进行对比评价。

13.4.8 当采用动力触探试验实测锤击数评价复合地基竖向增强体的施工质量时，宜对单各增强体的试验结果进行统计和评价。

13.4.9 评价砂土密实度、碎石土（桩）的密实度时，可用杆长修正后的平均击数 $N_{63.5}$ 按表 7、表 8、表 9、表 10 进行。

表7 砂土密实度按 $N_{63.5}$ 分类

$N_{63.5}$ (击)	$N_{63.5} \leq 4$	$4 < N_{63.5} \leq 6$	$6 < N_{63.5} \leq 9$	$N_{63.5} > 9$
密实度	松散	稍密	中密	密实

表8 碎石土密实度按 $N_{63.5}$ 分类

$N_{63.5}$ (击)	密实度	$N_{63.5}$ (击)	密实度
$N_{63.5} \leq 5$	松散	$10 < N_{63.5} \leq 20$	中密
$5 < N_{63.5} \leq 10$	稍密	$N_{63.5} > 20$	密实

注：本表适用于平均粒径小于或等于50mm，且最大粒径小于100mm 的碎石土。

对于平均粒径大于50mm，或最大粒径大于100mm 的碎石土，可用超重型动力触探。

表9 碎石桩密实度按 $N_{63.5}$ 分类

$N_{63.5}$ (击)	$N_{63.5} \leq 4$	$4 < N_{63.5} \leq 5$	$5 < N_{63.5} \leq 7$	$N_{63.5} > 7$
密实度	松散	稍密	中密	密实

表10 碎石土密实度按 N_{120} 分类

N_{120} (击)	密实度	N_{120} (击)	密实度
$N_{120} \leq 3$	松散	$11 < N_{120} \leq 14$	密实
$3 < N_{120} \leq 6$	稍密	$N_{120} > 14$	很密
$6 < N_{120} \leq 11$	中密	-	-

13.4.10 有地区经验时，可以利用圆锥动力触探的试验数据结合平板载荷试验结果初步判定地基土承载力特征值和变形指标。

13.4.11 对换填地基、预压处理地基、强夯处理地基、不加料振冲加密处理地基的承载力特征值和处理效果做初步评价时，应结合平板载荷试验结果按本规范第11.4.9条和第11.4.10条有关内容进行。

13.4.12 圆锥动力触探试验应给出每个检测孔（点）的检测结果和单位工程的主要土层的评价结果。

13.5 检测报告

13.5.1 检测报告应符合本规程第3.7节规定。

13.5.2 检测报告还应包括以下内容：

1) 圆锥动力触探锤击数与贯入深度关系曲线图（表），并进行土层划分。提供检测点平面图，场地典型地质剖面图或单孔柱状图；

2) 场地同一土层的圆锥动力触探击数统计值；

3) 提供下列试验要求的试验结果：

a 评价地基土的密实程度和均匀性；

b 评价复合地基竖向增强体的施工质量；

c 有地区经验时，结合平板载荷试验结果，初步判定地基土承载力特征值和变形指标建议值；

4) 给出检测结论，对人工地基的处理效果作出评价。

14 静力触探试验

14.1 适用范围

14.1.1 静力触探试验适用于判定软土、一般黏性土、粉土和砂土的天然地基及采用换填垫层、预压、

压实、挤密、夯实处理的人工地基的性状和评价地基处理效果。

14.1.2 静力触探试验的触探头按其结构和功能的不同，主要分为单桥触探头和双桥触探头两种。单桥静力触探可测定地基土的比贯入阻力（ p_s ）、双桥静力触探可测定地基土的锥尖阻力（ q_c ）和侧壁摩阻力（ f_s ），现场检测应根据检测对象和检测目的，结合地区经验合理选择探头类型。

14.2 设备仪器及其安装

14.2.1 静力触探试验的设备包括贯入设备、探头和量测记录仪器。

14.2.2 贯入设备分为加压装置（触探主机）和反力装置。

1) 加压装置的作用是将探头压入土层中，按加压方式不同常用的为手摇式轻型静力触探和全液压传动静力触探（分单缸和双缸两种）。触探主机应符合下列规定：

a) 应能匀速贯入，贯入速率为 (20 ± 5) mm/s，当使用孔压探头触探时，宜有保证贯入速率 20mm/s 的控制装置；

b) 贯入和起拔时，施力作用线应垂直机座基准面，垂直度应小于 $30'$ ；

c) 额定起拔力应大于额定贯入力的 120%。

2) 反力装置有三种形式：地锚；重物；触探车辆自重。

14.2.3 单桥触探头和双桥触探头的规格应符合表 11 的规定，且触探头的外形尺寸和结构应符合下列规定：

1) 锥头与摩擦筒应同心；

2) 双桥探头锥头等直径部分的高度，不应超过 3mm，摩擦筒与锥头的间距不应大于 10mm。

表11 单桥和双桥静力触探头规格

锥底 截面积 (cm^2)	锥底 直径 (mm)	锥角 ($^\circ$)	单桥触探头	双桥触探头	
			有效侧壁长度 (mm)	摩擦筒表面积 (cm^2)	摩擦筒长度 (mm)
10	35.7	60	57	150	153.7
				200	178.4
15	43.7	60	70	300	218.5

14.2.4 静力触探头应连同记录仪和电缆作为整个测试系统按要求进行定期率定。探头的技术性能应符合下列规定：

1) 在额定荷载下，检测总误差不应大于 3%FS，其中线性误差、重复性误差、滞后误差、归零误差均应小于 1%FS；

- 2) 传感器出厂时的对地绝缘电阻不应小于 500MΩ；在 300kPa 水压下恒压 2h 后，绝缘电阻应大于 50MΩ；
- 3) 探头在工作状态下，各部传感器的互扰值应小于本身额定测值的 0.3%；
- 4) 探头应能在-10℃～45℃的环境温度中正常工作，由于温度漂移而产生的量程误差，可按式计算，不应超过满量程的±1%：

$$\Delta V / V = \Delta t \cdot \eta \quad (12.2.4)$$

式中： ΔV ——温度变化所引起的误差（mV）；

V ——全量程的输出电压（mV）；

Δt ——触探过程中气温与地温引起触探头的最大温差（℃）；

η ——温漂系数，一般采用 0.005/℃。

14.2.5 量测记录仪器有电阻应变仪、自动记录绘图仪、数字式测力计和数据采集仪（静探微机）四种。记录仪应符合下列规定：

- 1) 仪器显示的有效最小分度值不应大于 0.05%FS；
- 2) 仪器按要求预热后，时漂应小于 0.1%FS/h，温漂应小于 0.01%FS/℃；
- 3) 工作环境温度应为-10℃～45℃；
- 4) 记录仪和电缆用于多功能探头触探时，应保证各传输信号互不干扰。

14.2.6 静力触探试验的讯号传输线应采用屏蔽电缆，双桥触探头两组桥路的讯号传输线宜分别屏蔽。

14.2.7 各种探头，自锥底起算，在 1m 长度范围内，与之连接的杆件直径不得大于探头直径；减摩阻器应在此范围以外（上）的位置加设。

14.2.8 触探杆应顺直，每节触探杆相对弯曲宜小于 0.5%，丝扣完好无裂纹。

14.2.9 探头储存应配备防潮、防震的专用探头箱（盒），并应存放于干燥、阴凉的处所。

14.3 现场检测

14.3.1 现场检测环境条件应满足静力触探设备进退场要求和检测要求。

14.3.2 静力触探测试应在平整的场地上进行，测试点应根据工程地质分区或加固处理分区均匀布置，并应具有代表性；当评价地基处理效果时，处理前、后的测试点应考虑前后的一致性。

14.3.3 静力触探测试深度除应满足设计要求外，尚应按下列规定执行：

- 1) 天然地基检测深度应达到主要受力层深度以下；
- 2) 人工地基检测深度应达到加固深度以下 0.5m；
- 3) 复合地基的桩间土检测深度应超过竖向增强体底部 0.5m。

14.3.4 静力触探设备的安装应符合下列要求：

- 1) 检测孔应避开地下电缆、管线及其它地下设施；
- 2) 应根据检测深度和表面土层的性质，选择适应的反力装置；
- 3) 静力触探设备安装应平稳、牢固。

14.3.5 静力触探头的选择与率定应符合下列要求：

- 1) 应根据土层性质和预估静力触探试验贯入阻力，选择分辨率合适的静力触探头；

2) 试验前,静力触探头应连同仪器、电缆在室内进行率定。测试时间超过三个月时,每三个月应对静力触探头率定一次;当现场测试发现异常情况时,应重新率定。率定结果应满足本规程第 12.2.5 条的技术性能要求。率定方法应符合《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 附录 D 的规定。

14.3.6 备用触探杆总长度应大于场地最大测试孔深度 2.0m。测试用电缆接触探杆连接顺序一次穿齐。

14.3.7 静力触探试验现场操作应符合下列规定:

1) 现场量测仪器应与率定触探头时的量测仪器相同,检查电源电压是否符合要求。贯入前,应连接量测仪器对触探头进行试压,检查顶柱、锥头、摩擦筒是否能正常工作;

2) 装卸触探头时,不应转动触探头;

3) 调平静探主机机座并用水平尺校准,保证探头能垂直贯入土中;

4) 先将触探头贯入土中 0.5~1.0m,然后提升 5~10cm,待量测仪器无明显零位漂移时,记录初始读数或调整零位,方能开始正式贯入;

5) 触探的贯入速率应控制在 (1.2 ± 0.3) m/min 范围内。在同一检测孔的试验过程中宜保持匀速贯入;加接探杆时,丝扣应上满,卸探杆时,不得转动下面的探杆,防止探头电缆压断、拉脱或扭曲;

6) 深度记录的误差不应超过触探深度的 $\pm 1\%$;

7) 当贯入深度超过 30m,或穿过厚层软土后再贯入硬土层时,应采取防止孔斜措施,或配置测斜探头,量测触探孔的偏斜角,校正土层界线的深度。

14.3.8 静力触探试验记录应符合下列规定:

1) 贯入过程中,在深度 10m 以内可每隔 2m~3m 提升探头一次,测读零漂值,调整零位;以后每隔 10m 测读一次;终止试验时,必须测读和记录零漂值;

2) 测读和记录贯入阻力的测点间距宜为 0.1m~0.2m,同一检测孔的测点间距应保持不变;

3) 及时核对记录深度与实际孔深的偏差;当有明显偏差时,应立即查明原因,采取纠正措施;

4) 及时准确记录贯入过程中发生的各种异常或影响正常贯入的情况。

14.3.9 当出现下列情况之一时,应终止试验:

1) 达到试验要求的贯入深度;

2) 试验记录显示异常,或触探头的贯入阻力达到额定荷载值;

3) 反力装置失效;

4) 触探杆的倾斜度超过 10° 。

14.3.10 试验完成后,应及时起拔触探头,并清洗干净,妥善保存,不应使触探头暴晒。严禁用电缆线提拉触探头。

14.3.11 采用人工记录时,静力触探试验数据可按本规范附录 A 附表 A3 的格式进行记录。

14.3.12 静力触探试验对人工地基进行检测的开始时间和检测数量见本规程 3.4 节有关条款。

14.4 检测数据分析与判定

14.4.1 出现下列情况时,应对试验数据进行处理:

1) 出现零位漂移超过满量程的 $\pm 1\%$ 且小于 $\pm 3\%$ 时,可按线性内插法校正;

2) 记录曲线上出现脱节现象时,应将停机前记录与重新开机后贯入 10cm 深度的记录连成圆滑的

曲线;

3) 记录深度与实际深度的误差超过 $\pm 1\%$ 时,可在出现误差的深度范围内,等距离调整。

12.4.2 单桥探头的比贯入阻力,双桥探头的锥尖阻力、侧壁摩阻力及摩阻比,应分别按下列公式计算:

$$p_s = K_p \cdot (\varepsilon_p - \varepsilon_0) \quad (12.4.2-1)$$

$$q_c = K_q \cdot (\varepsilon_q - \varepsilon_0) \quad (12.4.2-2)$$

$$f_s = K_f \cdot (\varepsilon_f - \varepsilon_0) \quad (12.4.2-3)$$

$$\alpha = f_s / q_c \times 100\% \quad (12.4.2-4)$$

式中: p_s ——单桥探头的比贯入阻力 (kPa);

q_c ——双桥探头的锥尖阻力 (kPa);

f_s ——双桥探头的侧壁摩阻力 (kPa);

α ——摩阻比 (%);

K_p ——单桥探头率定系数 (kPa/ μm);

K_q ——双桥探头的锥尖阻力率定系数 (kPa/ μm);

K_f ——双桥探头的侧壁摩阻力率定系数 (kPa/ μm);

ε_p ——单桥探头的比贯入阻力应变量 (μm);

ε_q ——双桥探头的锥尖阻力应变量 (μm);

ε_f ——双桥探头的侧壁摩阻力应变量 (μm);

ε_0 ——触探头的初始读数或零读数应变量 (μm)。

14.4.3 对于每个检测孔,采用单桥探头应整理并绘制比贯入阻力与深度的关系曲线,采用双桥探头应整理并绘制锥尖阻力、侧壁摩阻力、摩阻比与深度的关系曲线。

14.4.4 对土层力学分层,当采用单桥探头测试时,应根据比贯入阻力与深度的关系曲线进行;当采用双桥探头测试时,应以锥尖阻力与深度的关系曲线为主,结合侧壁摩阻力和摩阻比与深度的关系曲线进行。划分土层力学分层界线时,应考虑贯入阻力曲线中的超前和滞后现象,宜以超前和滞后的中点作为分界点。

14.4.5 土层划分应根据土层力学分层和地质分层综合确定,并应分层计算每个检测孔的比贯入阻力或锥尖阻力平均值,计算时应剔除个别异常数据及超前、滞后影响范围内的异常值。

14.4.6 应根据静力触探指标力学分层,结合岩土工程勘察报告相关资料和地区经验综合确定土层划分和土类判定。单位工程同一土层的比贯入阻力或锥尖阻力标准值,应根据各检测孔同一土层的平均值按本规程附录 C 计算确定。

14.4.7 原状地基土的性状可根据单位工程各检测孔的静力触探指标、场地同一土层的静力触探指标平均值和变异系数进行评价。处理地基土的处理效果可根据处理前后的检测结果对比进行评价。

14.4.8 静力触探试验应给出每个试验孔(点)的检测结果和单位工程的主要土层的评价结果。

14.5 检测报告

14.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

14.5.2 检测报告还应包括以下内容：

1) 锥尖阻力、侧壁摩阻力、摩阻比随深度的变化曲线，或比贯入阻力随深度的变化曲线，并进行土层划分。提供检测点平面图，场地典型地质剖面图或单孔柱状图；

2) 每个检测孔各土层的比贯入阻力或锥尖阻力平均值；

3) 场地同一土层的比贯入阻力或锥尖阻力标准值；

4) 有地区经验时，结合平板载荷试验结果，初步判定地基土承载力特征值和变形指标建议值；

5) 对检验地基处理加固效果的工程，应提供处理前后的锥尖阻力、侧壁摩阻力或比贯入阻力的对比曲线；

6) 给出检测结论，对人工地基的处理效果作出评价。

15 标准贯入试验

15.1 适用范围

15.1.1 标准贯入试验适用于判定砂土、粉土、黏性土和花岗岩残积土天然地基及采用换填垫层、压实、挤密、夯实、注浆加固等处理地基的岩土性状，评价地基处理效果以及砂土液化判别。也可以用于砂桩和初凝状态的水泥土搅拌桩、旋喷桩、灰土桩、夯实水泥土桩等竖向增强体的施工质量评价。

15.1.2 标准贯入试验可用于鉴别混凝土灌注桩和复合地基竖向增强体桩端持力层的岩土性状。

15.2 设备仪器及其安装

15.2.1 标准贯入试验设备由标准贯入器、钻杆、落锤（穿心锤）和锤垫组成。

15.2.2 标准贯入器的规格见表表 12。

表 12 标准贯入试验设备规格

落锤		锤的质量（kg）	63.5
		落距（cm）	76
贯入器	对开管	长度（mm）	>500
		外径（mm）	51
		内径（mm）	35
	管靴	长度（mm）	50～76
		刃口角度（°）	18～20
		刃口单刀厚度（mm）	1.6
钻杆		直径（mm）	42
		相对弯曲	<1/1000

15.2.3 锤垫：承受锤击的钢垫，附导向杆，两者总质量不超过 30kg 为宜。导向杆应平直，保持润滑，相对弯曲 $<1/1000$ 。

15.2.4 穿心锤应带有自动脱钩装置，进行标准贯入试验锤击时能自由下落。

15.2.5 标准贯入试验所用的穿心锤质量、导向杆和钻杆相对弯曲度应定期标定，使用前应对管靴刃口的完好性、钻杆相对弯曲度和连接丝扣、穿心锤导向杆相对弯曲度及表面的润滑程度进行检测，确保设备与机具完好。

15.3 现场检测

15.3.1 现场检测环境条件应满足各类检测设备进退场要求和检测要求。

15.3.2 标准贯入试验应在平整的场地上进行，试验点平面布设应符合下列要求：

- 1) 测试点应根据工程地质分区或加固处理分区均匀布置，并应具有代表性；
- 2) 复合地基桩间土测试点应布置在桩间等边三角形或正方形的中心；复合地基竖向增强体上可布设检测点；有检测加固土体的强度变化等特殊要求时，可布置在离桩边不同距离处；
- 3) 评价地基处理效果和消除液化的处理效果时，处理前、后的测试点布置应考虑位置的一致性。

15.3.3 标准贯入试验的检测深度除应满足设计要求外，尚应符合下列规定：

- 1) 天然地基检测深度应达到主要受力层深度以下；
- 2) 人工地基检测深度应达到加固深度以下 0.5m；
- 3) 复合地基桩间土及增强体的检测深度应超过竖向增强体底部 0.5m 。
- 4) 用于评价液化处理效果时，检测深度应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定。

15.3.4 标准贯入试验孔应采用回转钻进，当孔壁不稳定时，可用泥浆护壁或下套管护壁，试验深度须在套管底端 75cm 以下。标准贯入试验孔钻进和进行试验时，应保持孔内水位略高于地下水位。

15.3.5 试验孔钻至试验标高以上 15cm 处，应清除孔底残土后换用标准贯入器，贯入前应拧紧钻杆接头，将贯入器放入孔内，应避免冲击孔底。在确认试验深度、量得钻杆长度后再进行试验。

15.3.6 试验应采用自动脱钩的自由落锤法进行锤击，并应采取减小导向杆与穿心锤间的摩阻力、避免锤击时的偏心和侧向晃动以及保持贯入器、探杆、导向杆连接后的垂直度等措施。

15.3.7 标准贯入试验应符合下列规定：

- 1) 贯入器垂直打入试验土层中 15cm 不计击数；
- 2) 继续贯入，应记录每贯入 10cm 的锤击数，累计 30cm 的锤击数即为标准贯入击数；
- 3) 锤击速率应小于 30 击/min；
- 4) 当锤击数已达 50 击，而贯入深度未达到 30cm 时，宜终止试验，记录 50 击的实际贯入深度，应按式（15.3.7）换算成相当于贯入 30cm 的标准贯入试验实测锤击数：

$$N = 30 \times \frac{50}{\Delta S} \quad (15.3.7)$$

式中： N —— 标准贯入击数；

ΔS —— 50 击时的总贯入深度（cm）。

5) 贯入器拔出后，应对贯入器中的土样进行鉴别、描述、记录，并测量其长度。需测定黏粒含量或需对土样定名时，应留取土样，并包装编号，留待试验分析。

15.3.8 标准贯入试验点竖向间距应视工程特点、地层情况、加固目的确定，宜为 1.0m。同一检测孔的试验点间距宜相等。

15.3.9 各检测孔检测前应测量孔口标高，检测后应测量孔内地下水位。

15.3.10 标准贯入试验数据可按本规范附录 A 附表 A.0.4 的格式进行记录。

15.3.11 标准贯入试验对人工地基进行检测的开始时间和检测数量见本规程 3.4 节有关条款。

15.4 检测数据分析与判定

15.4.1 对于天然土地基、处理地基和复合地基桩间土，标准贯入试验成果应绘制标有工程地质柱状图的单孔标准贯入击数与深度关系曲线图。对于复合地基增强体应提供每个检测孔的锤击数与深度关系曲线图。

15.4.2 人工地基的标准贯入试验结果应提供每个检测孔的标准贯入试验实测锤击数和修正锤击数。

15.4.3 标准贯入试验锤击数可用于分析岩土性状，初步判定地基承载力，判别砂土和粉土液化，评价成桩的可能性桩身质量等， N 值的修正选取应根据建立统计关系时的具体情况来确定。

15.4.4 当须作杆长修正时，锤击数可按式（15.4.4）进行钻杆长度修正：

$$N' = \alpha N \quad (15.4.4)$$

式中： N' —— 标准贯入试验修正锤击数（击）；

α —— 触探杆长度修正系数，可按表 15 确定；

N —— 标准贯入试验实测贯入 30cm 的锤击数（击）。

表 15 标准贯入试验触探杆长度修正系数

触探杆长度（m）	≤3	6	9	12	15	18	21	25	30
修正系数 α	1.00	0.92	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70	0.68	0.65

15.4.5 各分层土的标准贯入锤击数代表值应取每个检测孔不同深度的标准贯入试验锤击数的平均值。

同一土层参加统计的试验点不应少于 3 个，当其极差不超过平均值的 30% 时，应取其平均值作为代表值；当极差超过平均值的 30% 时，应分析原因，结合工程实际判别，可增加试验点数量。

15.4.6 单位工程同一土层标准贯入试验实测锤击数标准值与修正后锤击数标准值，按本规程附录 C 的计算方法确定。统计时，应剔除异常值。

15.4.7 砂土、粉土、黏性土等地基土性状可根据标准贯入试验实测锤击数平均值或标准值和修正锤击数标准值按下列规定进行评价：

1) 砂土的密实度可根据标准贯入试验实测锤击数平均值 $\bar{N}$ 按表 14 分为松散、稍密、中密、密实；

表 14 砂土的密实度分类

实测锤击数平均值 $\bar{N}$	$\bar{N} \leq 10$	$10 < \bar{N} \leq 15$	$15 < \bar{N} \leq 30$	$\bar{N} > 30$
密实度	松散	稍密	中密	密实

2) 粉土的密实度可根据标准贯入试验实测锤击数标准值 N_k 按表 15 分为松散、稍密、中密、密实；

表 15 粉土的密实度分类

孔隙比 e	实测锤击数标准值 N_k	密实度
-----	$N_k \leq 5$	松散
$e > 0.9$	$5 < N_k \leq 10$	稍密
$0.75 \leq e \leq 0.9$	$10 < N_k \leq 15$	中密
$e < 0.75$	$N_k > 15$	密实

3 黏性土的状态可根据标准贯入试验修正后锤击数标准值 N'_k 按表 16 分为软塑、软可塑、硬可塑、硬塑、坚硬；

表 16 黏性土的状态分类

液性指数 I_L	修正后击数标准值 N'_k	状态
$0.75 < I_L \leq 1$	$2 < N'_k \leq 4$	软塑
$0.5 < I_L \leq 0.75$	$4 < N'_k \leq 8$	软可塑
$0.25 < I_L \leq 0.5$	$8 < N'_k \leq 14$	硬可塑
$0 < I_L \leq 0.25$	$14 < N'_k \leq 25$	硬塑
$I_L \leq 0$	$N'_k > 25$	坚硬

15.4.8 有地区经验时，可以利用标准贯入试验的锤击数结合平板载荷试验结果，初步判定地基土承载力特征值和变形指标。

15.4.9 地基处理效果可依据比对试验结果、地区经验和检测孔的标准贯入试验锤击数、同一土层的标准贯入试验锤击数标准值、变异系数等对下列地基做出相应评价：

- 1) 非碎石土换土垫层（粉质黏土、灰土、粉煤灰和砂垫层）的施工质量（密实度、均匀性）；
- 2) 压实、挤密地基、强夯地基、注浆地基等的均匀性；有条件时，可结合处理前的相关数据评价地基处理有效深度；
- 3) 消除砂土、粉土液化的地基处理效果，应按照设计要求或现行国家标准《建筑抗震设计规范》

GB 50011 规定进行评价。

15.4.10 复合地基增强体的施工质量可根据单桩检测孔的标准贯入锤击数作出相应评价，评价内容可包括桩身密实度和均匀性。

15.4.11 标准贯入试验应给出每个试验孔（点）的检测结果和单位工程的主要土层的评价结果。

15.5 检测报告

15.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

15.5.2 检测报告还应包括以下内容：

- 1) 标准贯入击数与深度的关系曲线，并进行土层划分。提供检测点平面图，场地典型地质剖面图或单孔柱状图；
- 2) 每个检测孔各土层的标准贯入击数平均值；
- 3) 场地同一土层的标准贯入击数标准值；
- 4) 有地区经验时，结合平板载荷试验结果，初步判定地基土承载力特征值和变形指标建议值；
- 5) 复合地基竖向增强体施工质量或桩间土处理效果评价；
- 6) 对检验地基处理加固效果的工程，应提供处理前后标准贯入击数与深度关系曲线的对比曲线；
- 7) 给出检测结论，对人工地基的处理效果作出评价。

16 钻芯法

16.1 适用范围

16.1.1 钻芯法适用于混凝土灌注桩与地下连续墙以及水泥土竖向增强体的实体长度、实体强度、沉渣厚度、桩（墙）身完整性或水泥土竖向增强体的均匀性的检测。

16.1.2 采用钻芯法对桩身质量、桩底沉渣、桩端持力层进行验证检测时，每根受检桩不应少于 1 个孔，钻孔深度应满足设计要求。

16.2 仪器设备

16.2.1 钻取芯样宜采用液压操纵的钻机。钻机设备参数应符合以下规定：

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

16.2.2 应采用单动双管钻具钻取芯样。

16.2.3 钻具配置相应的孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器和可捞取松软渣样的钻具。钻杆应顺直，直径宜为 50mm。钻头应根据混凝土或水泥土设计强度等级选用合适粒度、浓度、胎体硬度的钻头，且外径不宜小于 100mm。

16.2.4 水泵的排水量应为 50~160L/min，泵压应为 1.0~2.0MPa。

16.2.5 现场应配有水平尺、钢卷尺或皮尺，记录本和照相器材。

16.2.6 钻取的芯样应配有芯样箱或芯样槽，标签和封样材料。

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

16.2.8 芯样试件端面的补平器和磨平机应满足芯样制作的要求。

16.3 现场检测

16.3.1 受检桩（墙）的确定

1) 检测桩（墙）身混凝土强度时，混凝土龄期应达到 28 天或预留同条件养护的混凝土试块强度达到设计要求；仅检测桩（墙）身完整性与桩长（墙深）时，混凝土强度宜达到 15MPa 以上，且应在检测报告中注明。

2) 检测水泥土竖向增强体时，水泥土龄期宜达到 28 天。

3) 应根据桩位图、地质资料、结构构件部位的重要性和施工记录等资料随机选定检测桩。

16.3.2 钻芯孔数量和钻孔位置、钻探深度宜符合下列规定：

1) 对于混凝土桩，桩径小于 1.2m 的桩钻 1 个孔，桩径为 1.2~1.6m 的桩钻 2 个孔，桩径大于 1.6m 的桩钻 3 个孔。当钻芯孔为 1 个时，宜在距桩中心 10~15cm 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 0.15~0.25D 内均匀对称布置；

2) 对于混凝土连续墙，墙段长度小于等于 6m 时，每个墙段不少于 2 个钻孔；墙段长度大于 6m 时，每个墙段不少于 3 个钻孔，钻芯孔位置无特殊要求时，宜均匀对称分布；

3) 水泥土竖向增强体每根受检桩钻 1 个孔，宜在距离桩中心 10cm 的位置；

4) 对桩（墙）端持力层的钻探，每个受检体不应少于 1 个孔，且钻孔深度应满足设计要求；

5) 当采用钻芯法进行缺陷验证检测时，开孔位置应定在其它检测方法判定为缺陷位置的一侧，验证深度应超过预计缺陷底部位置深度不小于 1.5m；

6) 钻探深度应超过桩（墙）底以下不少于 0.5m 且不少于设计要求的深度。当需要对桩（墙）持力层进行检验时，应至少有一个孔钻至桩（墙）底以下不少于 3 倍桩径（墙宽）且不少于 5m。

16.3.3 开钻前准备

1) 收集场地水文工程地质、桩底持力层和桩周地层、桩位图、施工原始记录等相关资料，制定检测方案。

2) 确定检测桩的准确位置，桩头宜开挖裸露。

3) 平整场地以便钻机顺利就位。

4) 挖泥浆池以便泥浆泵正常工作形成循环泥浆。

16.3.4 钻机安装

1) 钻机设备安装必须周正、稳固、底座水平。应确保钻机在钻芯过程中不发生倾斜、移位，钻芯

孔垂直度偏差不大于 0.5%。

2) 当桩顶面与钻机底座的距离较大时,应安装孔口管,孔口管应垂直且牢固。

3) 钻机设备安装后,应进行试运转,在确认正常后方能开钻。

16.3.5 钻进要求

1) 金刚石钻头、扩孔器与卡簧的配合和使用要求:金刚石钻头与岩芯管之间必须安有扩孔器;扩孔器外径应比钻头外径大 0.3~0.5mm,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,同时考虑钻头内径小的先用,内径大的后用。

2) 金刚石钻进技术参数:

a 钻头压力:钻芯法的钻头压力应根据芯样的强度与胶结好坏而定,胶结好、强度高的钻头压力可大,相反的压力应小。

b 转速:回次初转速宜为 100 r/min 左右;正常钻进时可采用高转速,但芯样胶结强度低应采用低转速。

c 冲洗液量: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,冲洗液流量应为 60~120L/min。

3) 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钻进速度。

4) 钻进回次进尺长度,胶结良好的混凝土,宜控制在 1.5m 内;胶结不良层、断桩层等的回次进尺宜控制在 0.5m 左右;开孔钻进、桩底持力层面以上 1m 以内及持力层钻进,回次进尺以不超过 1m 为宜。

5) 钻至桩(墙)底时,宜采取减压、慢速钻进、干钻等适宜的钻芯方法和工艺,钻取沉渣并测定沉渣厚度,并采用适宜的方法对桩(墙)底持力层岩土性状进行鉴别。

6) 水泥土竖向增强体钻进时应严格控制回次进尺,每回次不宜超过 1.5m,采取正确的钻探及取样方法,尽量保持芯样的连续完整性。

16.3.6 取芯要求

1) 提钻卸取芯样时,应拧卸钻头和扩孔器,严禁敲打卸芯。

2) 钻取的芯样应由上而下按回次顺序放进芯样箱中,芯样侧面上应清晰标明回次数、块号、本回次总块数,并及时记录钻进情况和异常情况,记录钻进速度。

3) 对水泥土桩选取有代表性芯样样品进行无侧限抗压强度检测。当芯样高度和质量不能满足要求时,应重新钻取芯样;当取得的芯样不满足条件制成试验样品时,应在记录表内说明。

4) 钻芯过程中,应按本规程附录 A 中附表 A.0.5-1、A.0.5-2 和 A.0.5-3 的格式对芯样混凝土、水泥土,桩(墙)底沉渣以及桩(墙)底持力层详细编录,记录芯样采取率。

5) 水泥土芯样应及时密封保存,保证天然含水量和原状结构,并在 3d 内送试验室进行无侧限抗压强度试验。搬运和送样时应采取措施防止试样受到扰动和挤压。

6) 钻芯结束后,应对芯样和标有工程名称、桩号、钻芯孔号、芯样试件采取位置、桩长(墙深)、

孔深、检测单位名称的标示牌的全貌进行拍照。

7) 当混凝土或水泥土质量评价满足设计要求时，应从钻芯孔孔底往上用水泥浆回灌封闭；否则应封存钻芯孔，留待处理。

16.3.7 芯样试件截取与加工

1) 截取抗压芯样试件应符合下列规定：

a 当桩长（墙深）为 10~30m 时，每孔截取 3 组芯样；当桩长（墙深）小于 10m 时，每孔可取 2 组，当桩长（墙深）大于 30m 时，每孔不少于 4 组。

b 上部芯样位置距桩顶设计标高不宜大于 1 倍桩径（1 倍墙段宽度）或 1m，下部芯样位置距桩（墙）底不宜大于 1 倍桩径（1 倍墙段宽度）或 1m，中间芯样宜等间距截取。

c 缺陷位置能取样时，应截取一组芯样进行抗压试验。

d 当同一基桩（同一幅墙段）的钻芯孔数大于一个，其中一孔在某深度存在缺陷时，应在其它孔的该深度处截取芯样进行抗压试验。

e 水泥土竖向增强体受水平力时按每回次取样；当有止水功能时，水位以下部分应按每回次取样。每回次均至少取 1 个芯样。

2) 当桩（墙）底持力层为中，微风化岩层且岩芯可制作成试件时，应在接近桩（墙）底部位截取一组岩石芯样；遇分层岩性时宜在各层取样。

3) 每组芯样应制作三个芯样抗压试件。每块芯样应标明取样深度。在选择混凝土芯样试件时，应注意观察芯样侧面的表观混凝土粗骨料粒径及是否存在裂缝或其它缺陷等。

4) 按下列规定，将芯样试件加工成抗压强度试验所需的试件。

a 应采用双面锯切机把芯样试件锯切成一定长度，切割前应将芯样固定，并使金刚石圆锯片垂直于芯样轴线。锯切时的线速度以 40~45m/s 为宜。锯切过程中应把水嘴调整到合适的位置，以充分冷却金刚石锯片和芯样。

b 锯切后的芯样试件，当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：

(a) 在磨平机上磨平。

(b) 用水泥砂浆（或水泥净浆）或硫磺胶泥等材料在专用补平装置上补平。水泥砂浆（或水泥净浆）补平厚度不宜大于 5mm，硫磺胶泥补平厚度不宜大于 1.5mm。

5) 试验前，应对芯样试件的几何尺寸做下列测量：

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

b 芯样高度：用钢卷尺或钢板尺进行测量，精确至 1mm。

c 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°。

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

的缝隙。

6) 芯样试件尺寸偏差及外观质量等出现下列情况时，不得用作抗压强度试验：

- a 芯样试件高度小于 $0.95d$ 或大于 $1.05d$ 时（ d 为芯样试件平均直径）。
- b 沿试件高度任一直径与平均直径相差达 2mm 以上时。
- c 试件端面的不平整度在 100mm 长度内超过 0.1mm 时。
- d 试件端面与轴线的不垂直度超过 1° 时。
- e 芯样试件平均直径小于 2 倍表观混凝土粗骨料最大粒径时。
- f 试件有裂缝或有其它较大缺陷、芯样试件内含有钢筋。

16.3.8 芯样试件抗压强度试验

- 1) 芯样试件制作完毕可立即进行抗压强度试验。
- 2) 混凝土芯样试件的抗压强度试验应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》GB/T 50081 的有关规定执行。
- 3) 水泥土芯样试件的抗压强度试验应按《水泥土试验方法》DGJ32/TJ 154 的有关规定执行。
- 4) 当发现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，该试件的强度值不得参与统计平均。
- 5) 芯样试件抗压强度应按下列公式计算：

$$f = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (14.3.8)$$

式中 f ——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)；

6) 桩（墙）底岩芯单轴抗压强度试验可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 附录 J 执行。

7) 水泥土芯样试件的抗压强度试验宜以每秒 0.2~0.5MPa 的速度加荷(对软弱土样可适当降低加荷速度)，直至试样破坏，记录破坏荷载，精确到 0.1N。

16.4 检测数据分析与判定

16.4.1 混凝土芯样试件抗压强度代表值应按一组三块试件强度值的平均值确定。同一受检桩同一深度部位有两组或两组以上芯样试件抗压强度代表值时，取其平均值为该桩该深度处芯样试件抗压强度代表值。

16.4.2 取受检桩中不同深度位置的芯样试件抗压强度代表值中的最小值为该桩芯样试件抗压强度代表值。

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

16.4.4 桩身完整性应根据本规程表 3.3.6 桩身完整性分类原则，结合钻芯孔数、现场混凝土芯样特征、芯样单轴抗压强度试验结果，按表 17 的特征综合评价。

表 17 混凝土灌注桩身完整性评价

类别	特 征		
	单 孔	两 孔	三 孔
I	混凝土芯样连续、完整、胶结好，芯样侧表面光滑、骨料分布均匀，芯样呈长柱状、断口吻合		
	芯样侧表面仅见少量气孔	局部芯样侧表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽，但在另一孔同一深度部位的芯样中未出现，否则应判为 II 类	局部芯样侧表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽，但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现，否则应判为 II 类
II	混凝土芯样连续、完整、胶结较好，芯样侧表面较光滑、骨料分布基本均匀，芯样呈柱状、断口基本吻合。有下列情况之一：		
	1 局部芯样侧表面有蜂窝麻面、沟槽或较多气孔； 2 芯样侧表面蜂窝麻面严重、沟槽连续或局部芯样骨料分布极不均匀，但对应部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为 III 类	1 芯样侧表面有较多气孔、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，但在两孔同一深度部位的芯样中未同时出现； 2 芯样侧表面有较多气孔、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，且在另一孔同一深度部位的芯样中同时出现，但该深度部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为 III 类； 3 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm，且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观	1 芯样侧表面有较多气孔、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，但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现； 2 芯样侧表面有较多气孔、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，且在任两孔或三孔同一深度部位的芯样中同时出现，但该深度部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为 III 类； 3 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm，且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定

		判定完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 III 类或 IV 类	完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 III 类或 IV 类
III	大部分混凝土芯样胶结较好, 无松散、夹泥现象。有下列情况之一:	大部分混凝土芯样胶结较好。有下列情况之一:	
	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状; 2 局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状; 2 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 20cm, 且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 IV 类	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状; 2 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 30cm, 且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 IV 类; 3 任一孔局部混凝土芯样松散段长度不大于 10cm, 且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 IV 类
IV	有下列情况之一:		
	1 因混凝土胶结质量差而难以钻进; 2 混凝土芯样任一段松散或夹泥; 3 局部混凝土芯样破碎长度大于 10cm	1 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进; 2 混凝土芯样任一段松散或夹泥; 3 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 20cm; 4 两孔同一深度部位的混凝土芯样破碎	1 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进; 2 混凝土芯样任一段松散或夹泥段长度大于 10cm; 3 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 30cm; 4 其中两孔在同一深度部位的混凝土芯样破碎、松散或夹泥

注: 当上一缺陷的底部位位置标高与下一缺陷的顶部位置标高的高差小于 30cm 时, 可认定两缺陷处于同

一深度部位。

16.4.5 混凝土灌注桩成桩质量评判应按单桩进行。当出现下列情况之一时，应判定该受检桩不满足设计要求：

- 1) 混凝土桩身完整性类别为IV类的桩。
- 2) 受检桩混凝土芯样试件抗压强度代表值小于混凝土设计强度等级的桩。
- 3) 桩长、桩底沉渣厚度不满足设计或规范要求的桩。
- 4) 桩端持力层岩土性状（强度）或厚度未达到设计或规范要求的桩。

16.4.6 地下连续墙应按单幅墙段，按本规程 14.4.1~14.4.5 条款进行质量评判。

16.4.7 水泥土竖向增强体的桩身均匀性宜按照单桩并根据现场水泥土芯样特征进行综合评判。桩身均匀性评判标准应按照表 18 规定执行。

表 18 水泥土竖向增强体桩身均匀性评判标准

桩身均匀性描述	芯样特征
均匀性良好	芯样连续、完整，坚硬，搅拌均匀，呈柱状
均匀性一般	芯样基本完整，坚硬，搅拌基本均匀，呈柱状，部分呈块状
均匀性差	芯样胶结一般，呈柱状、块状，局部松散，搅拌不均匀

16.4.8 复合地基的水泥土竖向增强体的强度取水泥土芯样的无侧限抗压强度的标准值作为代表值，承受水平荷载的水泥土竖向增强体的强度取水泥土芯样的无侧限抗压强度的最小值作为代表值。

16.4.9 水泥土竖向增强体的桩底持力层性状根据持力层芯样特征、动力触探或标准贯入试验结果等综合评判。

16.4.10 钻芯孔偏出桩外时，仅对钻取芯样部分进行评判。

16.4.11 当出现下列情况之一时，应判定该竖向增强体不满足设计要求：

- 1) 竖向增强体长度不满足设计要求；
- 2) 芯样试件无侧限抗压强度代表值不满足设计要求；
- 3) 竖向增强体的均匀性差；
- 4) 桩端持力层岩土性状（强度）或厚度未达到设计或规范要求的桩。

16.5 检测报告

16.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

16.5.2 检测报告还应包括以下内容：

- 1) 钻芯设备情况;
- 2) 检测桩数、钻孔数量, 架空、芯样进尺、持力层进尺、总进尺, 桩身芯样试件组数。如需判断持力层性状则包含持力层芯样试件组数、动力触探或标准贯入试验结果;
- 3) 按本规程附录A中的表A. 0. 5-5的格式编制每孔的柱状图、钻孔在桩顶面的位置示意图和芯样彩色照片;
- 4) 根据设计(委托)要求给出桩长(增强体长度)、完整性评判(均匀性)或芯样单轴抗压强度试验的结果。

17 低应变法

17.1 适用范围

17.1.1 本方法适用于检测混凝土桩的桩身完整性, 桩身缺陷的程度及位置。

17.1.2 当被测桩的反射特征不能有效识别时, 应采用其他有效方法检测。

17.2 仪器设备

17.2.1 检测仪器的主要技术性能指标应符合《基桩动测仪》JG/T3055的有关规定, 且A/D转换器不得低于16bit, 具有信号显示、储存和处理分析功能。

17.2.2 传感器宜选用压电式加速度传感器, 电压灵敏度应大于100mv/g, 上限频率不小于5kHz。

17.2.3 瞬态激振设备包括能激发适用脉冲的力锤、力棒和锤垫, 力锤可加装测力传感器。

17.3 现场检测

17.3.1 被测桩应符合下列规定:

- 1) 桩身强度符合本规程第3.3.2条第2款的规定。
- 2) 桩身顶部的材质、强度、截面尺寸与桩身基本等同。
- 3) 桩顶面混凝土密实、平整、无积水并与桩轴线基本垂直。

17.3.2 检测参数设定应符合下列规定:

- 1) 采样频率或采样时间间隔应根据预设桩长、预设桩身波速合理选择; 时域信号采样点数不少于1024点;
- 2) 时域信号记录的时间段长度, 在 $2L/c$ 时刻后延续不少于5ms;
- 3) 传感器的灵敏度系数值应按计量检定(校准)结果设定;
- 4) 预设桩长为测点至桩底的距离;
- 5) 预设桩身波速可根据本地区同条件桩的波速平均值初步设定。

17.3.3 测量传感器安装和激振操作应符合下列规定：

- 1) 在桩顶面上均匀对称布置 2~4 个测点；
- 2) 传感器安装位置和激振点应避开钢筋笼的主筋影响，两者在同一水平面上并保持合适的距离；
- 3) 用耦合剂粘结传感器时，应具有足够的粘结强度，安装后的传感器与桩顶面垂直；
- 4) 采用力锤激振时其作用力方向与桩轴线方向平行，采用力棒激振时力棒应自由下落；
- 5) 通过现场敲击选择合适的激振模式，轻锤窄脉冲易获取桩身上部缺陷和短桩桩底的反射信息，重锤宽脉冲易获取桩身下部缺陷和长桩桩底的反射信息。

17.3.4 信号采集和筛选应符合下列规定：

- 1) 实测信号不失真、无零漂，信号幅值不超过检测仪器的量程；
- 2) 同一测点记录保存的有效信号特征应相似，数量不应少于 3 个；
- 3) 当信号一致性较差时，应分析原因，排除干扰，增加测点数量；
- 4) 现场能够根据时域信号特征，初步分析完整性。

17.4 检测数据分析与评判

17.4.1 被测桩的桩底反射，应根据时域曲线中 $2L/c$ 时刻的特征结合已知桩长确定。

17.4.2 桩身波速平均值及波速取值区间的确定应符合下列规定，并能够追溯：

- 1) 当桩长已知、桩底反射信号明确时，在地质条件相近、桩型和成桩工艺相同的同一单位工程的受检桩中，选取不少于 5 根 I 类桩的桩身波速值，按下式计算其平均值和波速取值区间：

$$\bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (15.4.2-1)$$

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (15.4.2-2)$$

$$c \in (c_{min}, c_{max}) \quad (15.4.2-3)$$

式中： L ——测点下桩长 (m)；

ΔT ——速度波入射波与桩底反射波峰间的时间差 (ms)；

n ——参加波速平均值计算的 I 类桩数量 ($n \geq 5$)；

c_m ——桩身波速值平均值 (m/s)；

c_i ——第 i 根受检桩的桩身波速值 (m/s)，且预制桩 $|c_i - c_m| / c_m$ 不宜大于 5%，灌注桩 $|c_i - c_m| / c_m$

不宜大于 10%;

$c \in (c_{min}, c_{max})$ 一波速取值区间; c_{min} 为最小值 c_{max} 为最大值

2) 当无法按上款确定时, 可根据本地区相同桩型及成桩工艺的其它工程的测试值综合确定 c_m 及波速取值区间。

3) 当桩身具备沿桩长方向间隔一定距离 ($\geq 2.0\text{m}$) 安置两个传感器的条件时, 可通过测量两个传感器的响应时差, 计算该桩段的波速值, 以该值代表整根桩的桩身波速值计算 c_m 及确定波速取值区间。

17.4.3 桩身缺陷位置应按下列公式计算:

$$x = \frac{1}{2000} \cdot \Delta t_x \cdot c \quad (15.4.3-1)$$

式中: x ——桩身缺陷至传感器安装点的距离 (m);

Δt_x ——速度波入射波与缺陷反射波峰间的时间差 (ms);

c ——受检桩的桩身波速 (m/s), 无法确定时用 c_m 值或波速区间内的值替代。

17.4.4 桩身完整性应根据本规程表 3.3.6 桩身完整性分类原则, 分析入射波和反射波的波形、相位、幅值及波的到达时间等参数, 以识别 $2L/c$ 时刻的特征为重点, 结合场地的岩土工程特征、设计桩型、成桩工艺、施工记录等因素, 按表 19 评判桩身完整性类别。

表 19 桩身完整性类别

类别	时域信号特征
I	有桩底反射信号, $2L/c$ 时刻前无缺陷反射波。
II	有桩底反射信号, $2L/c$ 时刻前出现轻微缺陷反射波。
III	$2L/c$ 时刻前出现明显缺陷反射, 桩底反射信号不明显。
IV	无桩底反射信号, $2L/c$ 时刻前出现幅值很大的缺陷反射波或周期性缺陷反射波或低频大振幅衰减振荡。

17.4.5 能够准确评判桩身完整性的桩, 其桩身波速值应在本工程波速取值区间内。

17.4.6 出现下列情况之一, 应采用其它有效方法检测:

1) 实测信号复杂或实测信号无反射特征, 无法准确识别 $2L/c$ 时刻;

2) 桩身存在疑似缺陷;

3) 有桩底反射且桩身波速值在波速取值区间内, 其对应的长度位置与设计、施工信息有明显偏差。

17.4.7 对于混凝土灌注桩, 应区分桩身截面渐变后恢复至原桩径并在该阻抗突变处的反射与扩径突变处的一次和二次反射。实测信号复杂时, 桩身可能存在不止一个阻抗变化截面 (包括桩身某一范围阻抗

渐变的情况)且变化幅度较大,应结合其它有效方法综合评判桩身完整性。

17.4.8 对于非单节混凝土预制桩,应区分桩周土约束很大或接桩处阻抗变化的反射与桩身缺陷的反射。实测信号复杂时,桩身可能存在多处接桩,应结合其它有效方法综合评判桩身完整性。

17.4.9 对于端承(嵌岩)桩,桩底反射信号与入射波同相时,应采取其它有效方法核验桩底端承状况。

17.5 检测报告

17.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

17.5.2 检测报告还应包括以下内容:

- 1) 每根桩的实测波形曲线(附图);
- 2) 本工程桩身波速平均值 C_m 和波速取值区间 $C \in (C_{max}, C_{min})$;
- 3) 对能够准确评判桩身完整性的桩,的实测波形曲线中应标注桩底(缺陷或接桩)反射波及到达时、对应的长度位置、指数或线性放大的范围及倍数、波速取值和桩身完整性类别;
- 4) 对实测信号复杂、难以识别 $2L/c$ 时刻和桩身缺陷(接桩)位置、无法评判完整性类别的桩,应逐一列出。

18 声波透射法

18.1 适用范围

18.1.1 本方法适用于检测具有声测通道的混凝土灌注桩(地下连续墙)的完整性检测,评判桩(墙)身缺陷的位置、范围和程度。

18.1.2 当声测通道有效长度小于混凝土灌注桩桩身长度(地下连续墙深度)时,不得采用本方法对桩身全长(地下连续墙全深度)的完整性评判。

18.2 设备仪器

18.2.1 声波发射与接收换能器应符合下列规定:

- 1) 圆柱状径向换能器沿径向振动应无指向性;
- 2) 外径小于声测管内径,有效工作段长度不得大于 150mm;
- 3) 谐振频率为 30kHz~60kHz;
- 4) 水密性应满足 1MPa 水压不渗水;
- 5) 应配置扶正器。

18.2.2 声波检测仪应符合下列要求:

- 1) 具有实时显示和记录接收信号的时程曲线以及频率测量或频谱分析的功能;
- 2) 最小采样时间间隔应小于等于 $0.5 \mu s$, 声波幅值测量相对误差应小于 5%, 系统频带宽度应为 1kHz~200kHz, 系统最大动态范围不得小于 100dB;

- 3) 声波发射脉冲为阶跃或矩形脉冲，电压幅值为 200V~1000V；
- 4) 具有首波实时显示功能；
- 5) 具有自动记录声波发射与接收换能器位置功能；
- 6) 连续工作时间不应小于 4 小时。

18.3 声测管埋设

18.3.1 声测管埋设应符合下列规定：

- 1) 声测管内径应大于换能器外径；
- 2) 声测管应采用钢管、镀锌管，壁厚不宜小于 2mm；
- 3) 声测管应下端封闭、上端加盖、管内无异物；声测管连接处应平顺过渡，管口高出混凝土顶面 100mm 以上；
- 4) 浇灌混凝土前应将声测管有效固定；
- 5) 声测管连接处应有足够水密性，在较高的静水压力下不漏浆。

18.3.2 声测管应沿钢筋笼内侧呈对称形状布置见图 8，并可按正北方向顺时针旋转依次编号，检测剖面、声测线和检测横截面的编组和编号见图 9。声测管埋设数量应符合下列要求：

- 1) 桩径 $D \leq 800\text{mm}$ ，不得少于 2 根声测管；
- 2) $800\text{mm} < D \leq 1600\text{mm}$ ，不得少于 3 根声测管；
- 3) $D > 1600\text{mm}$ ，不得少于 4 根声测管。

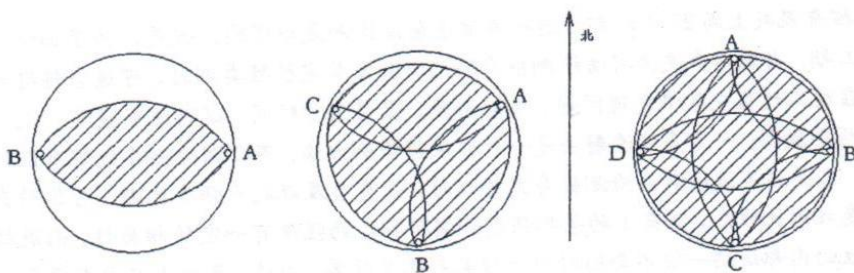
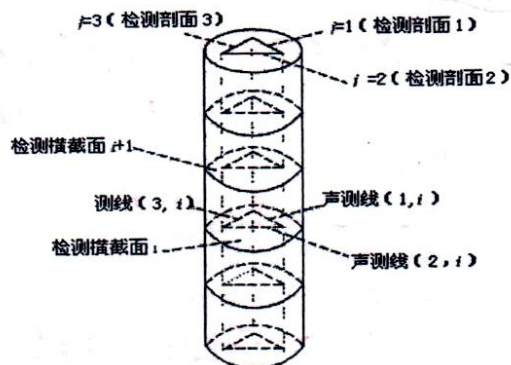


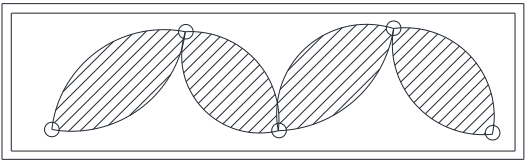
图 8 声测管布置示意



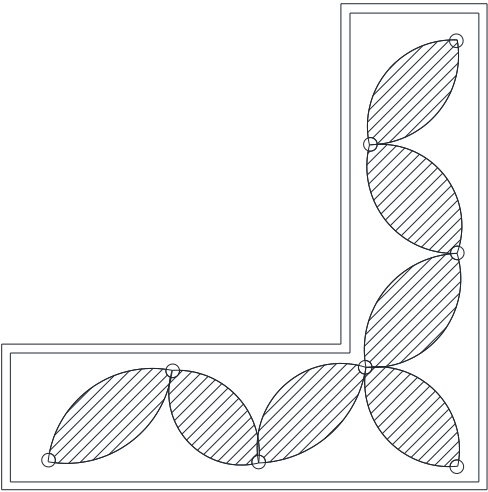
见图 9 检测剖面、声测线、检测横截面编组和编号示意图

注：检测剖面编组（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（ $j=6$ ）。

18.3.3 地下连续墙声测管的布置，当地下连续墙为直线型结构时，每幅墙段宜等间距埋设五根检测管，见图 10a）；当地下连续墙为 L 型结构时，每幅墙段宜等间距埋设八根检测管，见图 10b）。当地下连续墙设计尺寸较大导致相邻两根声测管间直线距离超过 1.5m 时，宜增加声测管数量。



a) 直槽段



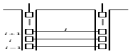
b) L 型槽段

图 10 地下连续墙声测管布置示意图

18.4 现场检测

18.4.1 现场检测前准备工作应符合下列规定：

- 1) 现场检测开始的时间应符合本规程第 3.3.2 条第 2 款的规定。
- 2) 采用率定法确定仪器系统延迟时间。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 点的声时数据并作线性回归的时距曲线：



(16.4.1-1)

式中: Δt_1 ——直线斜率 ($\mu\text{s}/\text{mm}$);

Δt_2 ——换能器表面近距离 (mm);

Δt_3 ——声时 (μs);

Δt_4 ——仪器系统延迟时间 (μs)。

3) 计算几何因素声时修正值。声测管及耦合水层声时修正值按下式计算:

$$\Delta t_5 = \frac{4L}{c_1 - c_2} \quad (16.4.1-2)$$

式中: D ——声测管外径 (mm);

d ——声测管内径 (mm);

D_1 ——换能器外径 (mm);

c_1 ——声测管材料声速 (km/s);

c_2 ——水的声速 (km/s);

Δt_5 ——声测管及耦合水层声时修正值 (μs)。

4) 在桩(槽段)顶测量相应声测管外壁间净距离,测试误差应小于 1%。

5) 将各声测管内注满清水,检查声测管畅通情况;换能器应能在声测管全程范围内正常升降。

18.4.2 现场平测和斜测应符合下列规定:

1) 将发射与接收声波换能器通过深度标志分别置于两个声测管道中。平测时,发射与接收声波换能器始终保持相同深度见图 11a;斜测时,发射与接收声波换能器始终保持固定高差见图 11b,且两个换能器中点连线的水平夹角不应大于 30° 。

2) 检测过程中,应将发射与接收声波换能器同步升降,声测线间距不应大于 100mm,并应及时校核换能器的深度。检测时应从桩底开始向上同步提升声波发射与接收换能器进行检测,提升过程中应根据桩的长短进行 1~3 次换能器高差校正,提升过程中应确保测试波形的稳定性,同步提升声波发射与接收换能器的提升速度不宜大于 0.5m/s。

3) 应实时显示、记录接收每条声测线信号时程曲线,读取首波声时、幅值、主频值,保存检测数据时应同时保存波列图信息。

4) 在同一受检桩（槽段）各检测剖面的平测或斜测过程中，声测线间距、声波发射电压和仪器设置参数应保持不变。

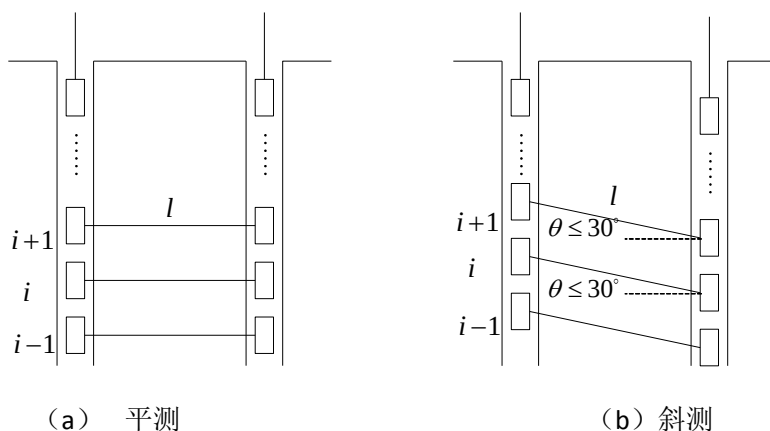


图 11 平测、斜测示意图

16.4.3 在桩身（槽段）质量可疑的声测线附近，应优先选用扇形扫测、交叉斜测等方式进行复测见图 12，也可采用加密测试、CT 影像技术等方式进行复测，进一步确定缺陷的位置和空间分布范围。采用扇形扫测时，两个换能器中点连线的水平夹角不应大于 40° ，交叉斜测时，发射与接收声波换能器始终保持固定高差，且两个换能器中点连线的水平夹角不应大于 30° 。

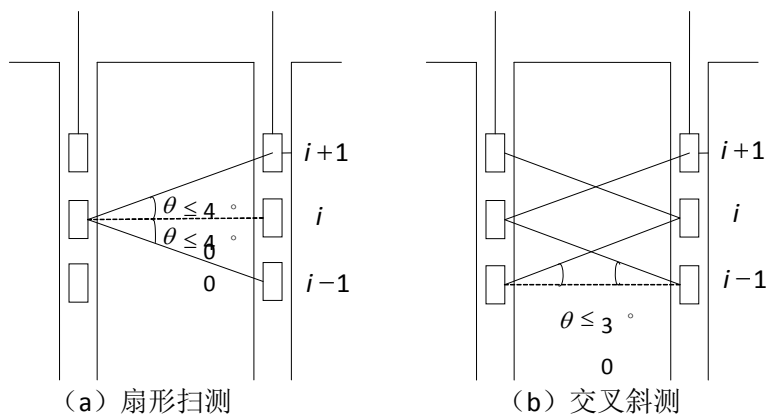


图 12 复测示意图

18.5 检测数据分析与判定

18.5.1 当因声测管倾斜导致声速数据有规律地偏高或偏低变化时，应先对管距进行合理修正，然后对数据进行统计分析。当实测数据明显有规律地偏离正常值而又无法进行合理修正，检测数据不得作为评

判桩身（槽段）完整性的依据。

18.5.2 当采用平测时，各声测线的声时 $t_{ci}(j)$ 、声速 $v_i(j)$ 、波幅 $A_{pi}(j)$ 、及主频 $f_i(j)$ 、应根据现场检测数据，按下列各式计算，并绘制声速—深度($v_i(j)-z$)曲线和波幅—深度($A_{pi}(j)-z$)曲线，需要时可绘制辅助的主频—深度($f_i(j)-z$)曲线以及能量—深度曲线：

$$t_{ci}(j) = t_i(j) - t_0 - t' \quad (16.5.2-1)$$

$$v_i(j) = \frac{l_i'(j)}{t_{ci}(j)} \quad (16.5.2-2)$$

$$A_{pi}(j) = 20 \lg \frac{a_i(j)}{a_0} \quad (16.5.2-3)$$

$$f_i(j) = \frac{1000}{T_i(j)} \quad (16.5.2-4)$$

式中：

- i — 声测线编号，应对每个监测剖面自下而上（或自上而下）连续编号；
- j — 检测剖面编号，按本规程第 16.3.2 条编组；
- $t_{ci}(j)$ — 第 j 检测剖面第 i 声测线声时（ μs ）；
- $t_i(j)$ — 第 j 检测剖面第 i 声测线声时测量值（ μs ）；
- t_0 — 仪器系统延迟时间（ μs ）；
- t' — 几何因素声时修正值（ μs ）；
- $l_i'(j)$ — 第 j 检测剖面第 i 声测线的两声侧管的外壁间净距离（mm），当两声测管基本平行时取为两声测管管口的外壁间净距离；
- $v_i(j)$ — 第 j 检测剖面第 i 声测线声速（km/m）；
- $A_{pi}(j)$ — 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 声测线信号首波峰值（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),
或由信号频谱分析求得主频;

$T_i(j)$ — 第 j 检测剖面第 i 声测线首波周期 (μs)。

18.5.3 当采用平测或斜测时, 第 j 检测剖面的声速异常判断的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 $v_i(j)$ 由大到小依次排序, 即:

$$v_1(j) \geq v_2(j) \geq \dots v_{i-1}(j) \geq v_i(j) \geq v_{i+1}(j) \geq \dots v_{n-k}(j) \geq \dots v_{n-1}(j) \geq v_n(j) \quad (16.5.3-1)$$

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

n — 第 j 检测剖面声测线总数;

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

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

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进行统计计算:

$$v_{01}(j) = v_m(j) - \lambda \cdot s_x(j) \quad (16.5.3-2)$$

$$v_{02}(j) = v_m(j) + \lambda \cdot s_x(j) \quad (16.5.3-3)$$

$$v_m(j) = \frac{1}{n-k-k'} \sum_{i=k'+1}^{n-k} v_i(j) \quad (16.5.3-4)$$

$$s_x(j) = \sqrt{\frac{1}{n-k-k'-1} \sum_{i=k'+1}^{n-k} (v_i(j) - v_m(j))^2} \quad (16.5.3-5)$$

$$C_v(j) = \frac{s_x(j)}{v_m(j)} \quad (16.5.3-6)$$

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;

$v_m(j)$ — $(n-k-k')$ 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;

λ — 由表 20 查得的与 $(n-k-k')$ 相对应的系数。

表 20 统计数据个数 $(n-k-k')$ 与对应的 λ 值

$n-k-k'$	10	11	12	13	14	15	16	18	18	19
λ	1.28	1.33	1.38	1.43	1.47	1.50	1.53	1.56	1.59	1.64
$n-k-k'$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
λ	1.64	1.69	1.73	1.77	1.80	1.83	1.86	1.89	1.91	1.94
$n-k-k'$	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
λ	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
λ	2.13	2.14	2.15	2.18	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
λ	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
λ	2.33	2.4	2.36	2.38	2.39	2.41	2.42	2.43	2.45	2.46
$n-k-k'$	150	160	180	180	190	200	220	240	260	280
λ	2.47	1.50	2.52	2.54	2.56	2.58	2.61	2.64	2.67	2.69
$n-k-k'$	300	320	340	360	380	400	420	440	470	500
λ	2.72	2.74	2.76	2.77	2.79	2.81	2.61	2.84	2.86	2.88
$n-k-k'$	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
λ	2.191	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	1800	1800	1900	2000
λ	3.12	3.14	3.18	3.19	3.21	3.23	3.24	3.26	3.28	3.29

3) 按 $k=0$ 、 $k'=0$ 、 $k=1$ 、 $k'=1$ 、 $k=2$ 、 $k'=2$... 的顺序, 将参加统计的数列最小数据 $v_{n-k}(j)$ 与异常判断值 $v_{01}(j)$ 进行比较, 当 $v_{n-k}(j) \leq v_{01}(j)$ 时, 则去掉最小数据; 将最大数据 $v_{n-k'}(j)$ 与 $v_{02}(j)$ 进行比较, 当 $V_{n-k'} \geq V_{02(j)}$ 时, 则去掉最大数据, 每次剔除一个数据, 然后对剩余数据构成的数列重复

式 (16.3.5-2) ~ (16.3.5-5) 的计算步骤, 直到下列两式成立:

$$v_{n-k}(j) > v_{01}(j) \quad (16.5.3-7)$$

$$v_{n-k}(j) < v_{02}(j) \quad (16.5.3-8)$$

4) 第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值按下列方法确定:

$$v_0(j) = \begin{cases} v_m(j)(1-0.015\lambda) & \text{当 } C_v(j) < 0.015 \text{ 时} \\ v_0(j) & \text{当 } 0.015 \leq C_v(j) \leq 0.045 \text{ 时} \\ v_m(j)(1-0.045\lambda) & \text{当 } C_v(j) > 0.045 \text{ 时} \end{cases} \quad (16.5.3-9)$$

式中: $v_0(j)$ ——第 j 检测剖面声速异常判断概率统计值。

18.5.4 受检桩 (槽段) 的声速临界值应按下列方法确定:

1) 根据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, 结合本地区经验, 分别确定桩身 (槽段) 混凝土声速的低限值 v_L 和平均值 v_p 。

$$2 \text{ 当 } v_L < v_0(j) < v_p \text{ 时, } v_c(j) = v_0(j) \quad (16.5.4-1)$$

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。

2) 当 $v_0(j) \leq v_L$ 或 $v_0(j) \geq v_p$ 时, 应分析原因, $v_c(j)$ 的取值可参考同一桩 (同一槽段) 的其它检测剖面的声速异常判断临界值或同一工程相同桩型的混凝土质量较稳定的受检桩 (或同一工程其它质量稳定的槽段) 的声速异常判断临界值综合确定。

3) 对只有单个检测剖面的桩 (槽段), 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。对于三个及三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声速异常判断临界值。

$$v_c = \frac{\sum_{j=1}^{m_s} v_c(j)}{m_s} \quad (16.5.4-2)$$

式中: v_c ——受检桩桩身或受检槽段墙身混凝土声速异常判断临界值;

m_s ——受检桩的检测剖面总数。

18.5.5 声速异常时的临界值判据为:

$$v_j(j) \leq v_c \quad (16.5.5)$$

当式(16.5.5)成立时,声速可判定为异常。

18.5.6 波幅异常判断的临界值应按下列公式计算。

$$A_{m(j)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{pi}(j) \quad (16.5.6-1)$$

$$A_c(j) = A_m(j) - 6 \quad (16.5.6-2)$$

波幅异常的临界值判断依据为:

$$A_{pi}(j) < A_c(j) \quad (16.5.6-3)$$

式中: $A_m(j)$ —第 j 检测剖面各声测线波幅平均值(dB);

$A_{pi}(j)$ —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。

当式(16.5.6-3)成立时,波幅可判为异常。

18.5.7 当采用信号主频值作为辅助异常声测线判据时,主频-深度曲线上主频值明显降低的声测线可判定为异常。

18.5.8 当采用接收信号的能量作为辅助异常声测线判据时,能量-深度曲线上接收信号能量明显降低可判定为异常。

18.5.9 当采用斜率法的 PSD 值作为辅助异常声测线判据时,PSD 值应按下列公式计算:

$$PSD(j,i) = \frac{[t_{ci}(j) - t_{ci-1}(j)]^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (16.5.9)$$

式中: $t_{ci}(j)$ —第 j 检测剖面第 i 声测线声时(μs);

$t_{ci-1}(j)$ —第 j 检测剖面第 $i-1$ 声测线声时(μs);

z_i —第 i 声测线深度(m);

z_{i-1} —第 $i-1$ 声测线深度(m)。

根据 PSD 值在某深度处的突变,结合波幅变化情况,进行异常声测线判定。

18.5.10 因声测管严重倾斜扭曲而不能对测距进行有效修正时，不应提供声波透射法检测结果。

18.5.11 桩（墙）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) 桩（墙）身同一检测剖面上桩（墙）身缺陷的分布；
- 3) 复测的结果。

18.5.12 桩身完整性应根据本规程表 3.3.6 桩身完整性分类原则，结合桩身缺陷的数量、缺陷处声测线的声学特征、缺陷的空间分布范围等，按照表 21 内容综合评判。

表 21 桩身完整性评判

类别	特 征
I	所有声测线声学参数无异常，接收波形正常； 存在声学参数轻微异常、波形轻微畸变的异常声测线，异常声测线在任意检测剖面的任一区段内纵向分布小于 100mm，且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的 50%
II	存在声学参数轻微异常、波形轻微畸变的异常声测线，异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向分布大于或等于 100mm，或在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的 50%； 存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线，异常声测线在任意检测剖面的任一区段内纵向分布小于 100mm，且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的 50%
III	存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线，异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向分布大于或等于 100mm，但在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的 50%； 存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线，异常声测线在任意检测剖面的任一区段内纵向分布小于 100mm，但在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的 50%； 存在声学参数严重异常、波形严重畸变或声速低于低限值的异常声测线，异常声测线在任意检测剖面的任一区段内纵向分布小于 100mm，且在任一深度横向

	分布的数量小于检测剖面数量的 50%
IV	存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线，异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向分布大于或等于 100mm，且在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的 50%； 存在声学参数严重异常、波形严重畸变或声速低于低限值的异常声测线，异常声测线在任意检测剖面的一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向分布大于或等于 100mm，或在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的 50%

18.5.13 地下连续墙以各墙段内的每一个检测剖面为基本单元，依据表 16.5.12 所列特征，评判每一个检测剖面的完整性。

18.6 检测报告

18.6.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

18.6.2 检测报告还应包括以下内容：

- 1) 声测管布置图及声测剖面编号；
- 2) 受检桩（槽段）每个检测剖面声速—深度曲线、波幅—深度曲线，并将相应判据临界值所对应的标志线绘制于同一个坐标系；
- 3) 当采用主频值、PSD 值、接收信号能量进行辅助分析评判时，绘制主频—深度曲线、PSD 曲线、能量—深度曲线；
- 4) 各检测剖面实测波列图；
- 5) 受检桩（槽段）完整性类别；
- 6) 当对声测通道间的距离进行修正时，应注明修正的范围及方法；
- 7) 当某个检测剖面的深度与施工桩长（或槽段施工深度）不一致时，应在报告中注明。必要时，对复测的有关情况进行说明；
- 8) 地下连续墙应给出每一个检测剖面的完整性类别。

19 高应变法

19.1 适用范围

19.1.1 本方法适用于检测等截面非嵌岩灌注桩、预制混凝土桩和钢桩的竖向抗压承载力、评判桩身完整性，也可监测预制桩打入时的桩身应力和锤击能量传递比，为沉桩工艺参数及桩长选择提供依据。

19.1.2 检测竖向抗压承载力时，应遵守本规程 3.3.4 条的规定。

19.2 设备仪器及其安装

19.2.1 检测仪器的主要技术性能指标不应低于《基桩动测仪》JG/T 3055 中表 1 规定的 2 级标准，且应具有保存、显示实测力与速度信号和信号处理与分析的功能。

19.2.2 采用应变传感器测力方式时，应在桩顶下桩侧表面分别对称安装应变传感器和加速度传感器，至少各两只。

19.2.3 除导杆式柴油锤、振动锤外，筒式柴油锤、液压锤、蒸汽锤等具有导向装置的打桩机械都可作为锤击设备。

19.2.4 高应变检测专用锤击设备应具有稳固的导向装置。重锤整体应材质均匀、形状对称、锤底平整，高径（宽）比不得小于 1，应采用铸铁或铸钢制作。若采用自由落锤安装加速度传感器测力方式时，锤的高径（宽）比应在 1.0～1.5 范围内。

19.2.5 检测单桩竖向抗压承载力时，重锤的重量应大于预估单桩竖向抗压承载力极限值的 1.0%～1.5%，桩径大于 800mm 或桩长大于 30m 时取高值。

19.2.6 采用有效方法实测桩顶贯入度。

19.3 现场检测

19.3.1 检测前的准备工作应符合下列规定：

- 1) 预制桩承载力的时间效应应通过复打确定。
- 2) 桩顶面应平整，桩顶高度应满足锤击装置的要求，桩锤重心应与桩顶对中，锤击装置架立应垂直。
- 3) 对不能承受锤击的桩头应加固处理，混凝土桩的桩头处理按本规程附录 B 执行。
- 4) 传感器的安装应符合本规程附录 E 的规定。
- 5) 桩顶应设置桩垫，桩垫可采用 10～30mm 厚的木板或胶合板等材料。

19.3.2 参数设定和计算应符合下列规定：

- 1) 采样时间间隔宜为 50～200 μ s，信号采样点数不宜少于 1024 点；
- 2) 传感器的设定值应按计量检定或校准结果设定；
- 3) 应变式传感器测量锤击力时，力的测量值 $F = A \cdot E \cdot \varepsilon$ ；

式中：F—锤击力；

A—测点处桩截面积，按实际测量确定；

E—桩材弹性模量；

ε —实测应变值。

4) 自由落锤安装加速度传感器测量锤击力时，力的测量值等于实测加速度值和重锤质量的乘积。

5) 测点以下桩长和截面积可采用施工记录提供的数据作为设定值。

桩身材料质量密度应按表 21 取值。

表 21 桩身材料质量密度 (t/m^3)

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

6) 桩身波速可结合本地经验或按同场地同类型已检桩的平均波速初步设定，现场检测完成后应按第 17.4.3 条调整。

7) 桩身材料弹性模量应按下式计算：

$$E = \rho \cdot c^2 \quad (17.3.2)$$

式中：E—桩身材料弹性模量 (kPa)；

c —桩身应力波传播速度 (m/s)；

ρ —桩身材料质量密度 (t/m^3)。

19.3.3 检测单桩竖向抗压承载力时应符合下列要求：

- 1) 采用自由落锤为锤击设备时，应重锤低击，最大锤击落距不宜大于 2.5m。
- 2) 实测桩的贯入度，单击贯入度宜在 2~6mm 之间。连续锤击时，监控实测贯入度的变化趋势。
- 3) 及时检查采集数据的质量，有效锤击信号应根据桩身实测有效能量、桩顶最大动位移、实测贯入度以及桩身最大拉、压应力和缺陷程度及其发展情况综合确定。
- 4) 发现测试波形紊乱，应分析原因；桩身有明显缺陷或缺陷程度加剧，应停止检测。

19.3.4 检测目的为确定预制桩打桩过程中的桩身应力、沉桩设备匹配能力和选择桩长时，应按本规程附录 F 执行。

19.4 检测数据的分析与判定

19.4.1 检测承载力时选取锤击信号，宜取第一击和第二击实测有效信号中选取锤击能量较大者。

19.4.2 当出现下列情况之一时，高应变锤击信号不得作为承载力分析计算的依据：

- 1) 传感器安装处混凝土开裂或出现严重塑性变形等使力曲线最终未归零。
- 2) 严重锤击偏心，两侧力信号幅值相差超过 1 倍。

3) 四通道测试数据不全。

19.4.3 桩底反射明显时，桩身平均波速可根据速度波第一峰起升沿的起点到速度反射峰起升（下降）沿的起点之间的时差与已知桩长值确定见图 13；桩底反射信号不明显时，可根据桩长、混凝土波速的合理取值范围以及邻近桩的桩身波速值综合确定。

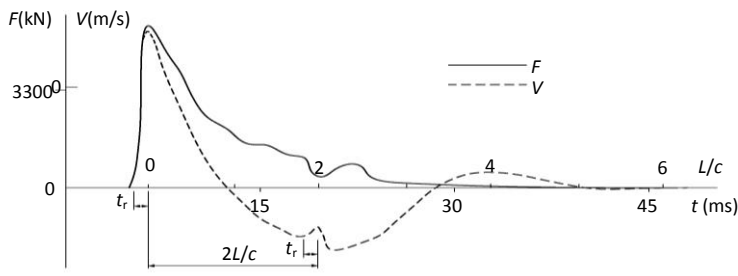


图 13 桩身波速的确定

19.4.4 必要时，桩身平均波速还应结合 17.4.3 条规定和已知桩长与下行波上升沿的起点到上行波下降沿的起点之间的时差确定。

19.4.5 高应变实测的力和速度信号第一峰起始比例失调时，不得进行比例调整。

19.4.6 承载力分析计算前，应结合地质条件、设计参数，对实测波形特征进行定性检查：

- 1) 实测曲线特征反映出的桩承载性状；
- 2) 观察桩身缺陷程度和位置，连续锤击时缺陷的扩大或逐步闭合情况。

19.4.7 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) 当测点处原设定波速随调整后的桩身波速改变时，相应的桩身材料弹性模量应按式（17.3.2）重新计算；
- 2) 应变式传感器测量锤击力，不得调整原始实测力值。

19.4.8 采用凯司法判定桩承载力，应符合下列规定：

- 1) 只限于中、小直径桩；
- 2) 桩身材质、截面应基本均匀；
- 3) 有可供参考的实测贯入度；
- 4) 阻尼系数 J_c 宜根据同条件下静载试验结果校核，或应在已取得相近条件下可靠对比资料后，采用实测曲线拟合法确定 J_c 值，拟合计算的桩数不应少于检测总桩数的 30%，且不应少于 3 根；
- 5) 在同一场地、地质条件相近和桩型及其截面积相同情况下， J_c 值的极差不宜大于平均值的 30%。

19.4.9 对于 $t_r + 2L/c$ 时刻桩侧和桩端土阻力均已充分发挥的摩擦型桩，可按以下凯司法公式的计算结

果，判定单桩承载力：

$$R_c = \frac{1}{2}(1 - J_c) \cdot [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] + \frac{1}{2}(1 + J_c) \cdot \left[F\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) - Z \cdot V\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) \right] \quad (17.4.9-1)$$

$$Z = \frac{E \cdot A}{c} \quad (17.4.9-2)$$

式中： R_c ——由凯司法计算的单桩竖向抗压承载力（kN）；

J_c ——凯司法阻尼系数；

t_1 ——速度第一峰对应的时刻（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 ——桩身截面面积（m²）；

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，宜分别采用以下两种方法对 R_c 值进行提高修正：

- 1) 适当将 t_1 延时，确定 R_c 的最大值。
- 2) 考虑卸载回弹部分土阻力对 R_c 值进行修正。

19.4.10 采用实测曲线拟合法判定桩承载力，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值不应超过相应桩单元的最大计算位移值；
- 5) 拟合完成时，土阻力响应区段的计算曲线与实测曲线应吻合，其它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。

19.4.11 以下情况应采用静载试验进一步验证：

- 1) 桩身存在缺陷，无法判定桩的竖向承载力；

- 2) 桩身有明显缺陷对结构承载能力有影响;
- 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峰较宽, 侧阻力波、端阻力波反射弱, 即波形表现出竖向承载性状明显与勘察报告中的地质条件不符合;
- 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, 也可采用钻芯法核验。

19.4.12 单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应按本方法得到的单桩承载力检测值的一半取值。

19.4.13 桩身完整性应根据本规程表 3.3.6 桩身完整性分类原则, 采用实测曲线拟合法或参照表 21 综合评判:

1) 采用实测曲线拟合法评判时, 拟合所选用的桩土参数应符合第 17.4.10 条第 1~2 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 (包括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 R_x 未出现卸载回弹时, 桩身完整性系数 β 和桩身缺陷位置 x 应分别按下列公式 (17.4.13-1) 和 (17.4.13-2) 计算;

$$\beta = \frac{F(t_1) + F(t_x) + Z \cdot [V(t_1) - V(t_x)] - 2R_x}{F(t_1) - F(t_x) + Z \cdot [V(t_1) + V(t_x)]} \quad (17.4.13-1)$$

$$x = c \cdot \frac{t_x - t_1}{2000} \quad (17.4.13-2) \text{ 式中: } t_x \text{ ——缺陷反射峰}$$

对应的时刻 (ms);

x ——桩身缺陷至传感器安装点的距离 (m);

R_x ——缺陷以上部位土阻力的估计值, 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 14;

β ——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。

表 21 桩身完整性系数

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

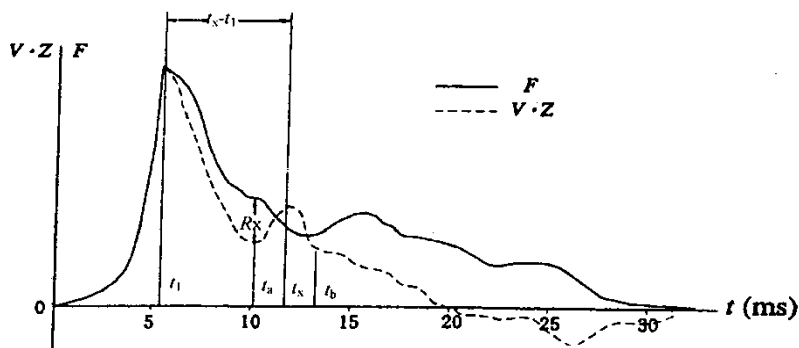


图 14 桩身完整性系数计算

19.4.14 出现下列情况之一时，桩身完整性宜按工程地质条件和施工工艺，结合实测曲线拟合法或其它有效方法综合评判：

- 1) 桩身有扩径；
- 2) 混凝土灌注桩桩身截面渐变或多变；
- 3) 力和速度曲线在峰值附近比例失调，桩身浅部有缺陷；
- 4) 锤击力波上升缓慢，力与速度曲线比例失调；
- 5) 本规程第 17.4.13 条第 2) 款的情况：缺陷深度 x 以上部位的土阻力 R_k 出现卸载回弹。

19.4.15 桩身最大锤击拉、压应力和桩锤实际传递给桩的能量应分别按本规程附录 F 相应公式计算。

19.5 检测报告

19.5.1 检测报告应符合本规程第 3.7 节规定。

19.5.2 检测报告应包括每根受检桩有效的 F/VZ 曲线及对应的实测桩顶贯入度、桩身完整性系数和类别。

19.5.3 仅评判桩身完整性时，应提供上下行波曲线及下行波上升沿的起点到上行波下降沿的起点之间的时差值。

19.5.4 检测报告还应包括以下内容：

- 1) 计算中实际采用的桩身波速取值；
- 2) 计算中实际采用的 J_c 值；实测曲线拟合法所选用的各单元桩土模型参数、拟合曲线、土阻力沿桩身分布图；
- 3) 检测单桩承载力时，每根受检桩的单桩承载力检测值；
- 4) 试打桩和打桩监控所采用的桩锤型号、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以及能量传递比随入土深度的变化。

附录 A

(规范性附录)

建筑地基基础检测记录表格

表 A1 单桩竖向抗压静载试验记录表

工程名称						桩号				日期			
加载级	实测内容							本级沉降 (mm)	累计沉降 (mm)	备注			
	时 刻	油压 (MPa)	荷载 (kN)	1#位移 (mm)	2#位移 (mm)	3#位 移 (mm)	4#位移 (mm)						

记录(检测)人

校核人

表 A2.1 轻型动力触探记录表

工程名称					地基类型		
检测孔号					工程地点		
设备编号					检测日期		
杆长 (m)	检测深度 (m)	贯入度 Δs (cm)	锤击数 n (击)	$N_{60}=n \times 30 / \Delta s$ (击/10cm)	土层定名 及描述	备注	

记录(检测)人

校核人

表 A2.2 重型动力触探记录表

工程名称					地基类型		
检测孔号					工程地点		
孔口标高					地下水位		
设备编号					检测日期		
探杆 总长 (m)	试验 深度 (m)	贯入度 (cm)	锤击数 n (击)	$N_{63.5}=n \times 10/s$ (击/10cm)	修正后击数 $N'_{63.5}=a \cdot N_{63.5}$ (击/10cm)	土层定名 及描述	备注

记录（检测）人

校核人

表 A2.3 超重型动力触探记录表

工程名称					地基类型		
检测孔号					工程地点		
孔口标高					地下水位		
设备编号					检测日期		
探杆 总长 (m)	试验 深度 (m)	贯入度 (cm)	锤击数 n (击)	$N_{120}=n \times 10/s$ (击/10cm)	修正后击数 $N'_{120}=a \cdot N_{120}$ (击/10cm)	土层定名 及描述	备注

记录（检测）人

校核人

表 A3 静力触探记录表

工程名称					地基类型				
检测孔号					工程地点				
孔口标高					地下水位				
探头类型					探头编号				
率定系数					日 期				
深度 (m)	读数	校正 后读 数	阻力 (kPa)	初读 数及 备注	深度 (m)	读数	校正 后读 数	阻力 (kPa)	初读 数及 备注

记录（检测）人

校核人

表 A4 标准贯入试验记录表

工程名称								地基类型				
检测孔号								工程地点				
孔口标高								地下水位				
设备编号								检测日期				
序号	试验深度 (m)	贯入度 Δ (cm)			对应于 Δ_i 的击数 N_i (击)			实测击数 N	修正击数 N'	探杆长度 (m)	土层定名及描述	备注
		Δ_1	Δ_2	Δ_3	N_1	N_2	N_3	(击/30cm)				
1												
2												
3												
4												

记录（检测）人

校核人

表A5. 1 钻芯法检测现场操作记录表

工程名称									
桩号				孔号				检测日期	
时间		钻进 (m)			钻进 速率 (m/h)	芯样 编号	芯样长度 (m)	残留 芯样	钻进异常情况 记录
自	至	自	至	计					

记录 (检测) 人

校核人

表A5. 2 混凝土桩钻芯法检测编录表

工程名称				检测日期			
桩号/钻芯孔号				桩径			混凝土设计强度等级
项 目	分段 (层)深度 (m)	芯样描述			取芯 率%	取样编号/取 样深度	备注
桩身 混凝土		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、混凝土芯是否为柱状、骨料大小分布情况, 以及气孔、空洞、蜂窝麻面、沟槽、破碎、夹泥、松散的情况					
桩底 沉渣		桩端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, 岩土名称、芯样颜色、结构构造、裂纹发育程度、坚硬及风化程度。分层岩层应分层描述。				(强风化或土层时的动力触探或标贯结果)	
记录 (检测):				校核:			

表A5. 3水泥土桩钻芯法检测芯样记录表

工程名称				检测日期		
桩号/钻芯孔号			桩径		水泥土设计强度等级	
项 目	分层深度 (m)	芯样描述		取芯率%	取样编号 取样深度	备注
桩身 水泥土		芯样是否连续、完整，坚硬程度，呈柱状、块状或松散状，搅拌是否均匀				
持力层		持力层钻进深度，岩土名称、芯样颜色、硬度、状态				
记录（检测）：				校核：		

表A5. 4水泥土无侧限抗压试验记录表

工程名称	芯样编号	取样深度 (m)	采样日期	平均直径 (cm)	芯样高度 (cm)	破坏压力 (kN)	无侧限抗压强度 (MPa)	芯样状态	备注
记录（检测）：						校核：			

表A5. 5钻芯法检测芯样综合柱状图

桩号/ 孔号		混凝土 设计强 度等级		桩顶 标高		开孔时间	
施工 桩长		设计 桩径		钻孔 深度		终孔时间	
层序 号	层底 标高. (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	混凝土/ 岩土芯柱 状图 (比例 尺)	桩身混 凝土、持 力层描 述	序号/ 芯样强 度/深 度 (m)	备注
				□ □ □			
注：□代表芯样试件取样位置。							
记录（检测）：				校核：			

表 A6 低应变检测现场记录表

工程名称：

共____页 第____页

序 号	桩 号	电子记录 文件名	施工 日期	桩顶 标高 (m)	桩底 标高 (m)	桩长 (上/下) (m)	桩径 (外/内) (m)	砼 灌注量 (m ³)	备注

记录（检测）：

校核：

附录 B

(规范性附录)

竖向承载力试件处理要点

B.1 对预制桩和预应力管桩，桩头质量正常、无破损时宜用钢板夹具箍紧桩头。

B.2 对混凝土灌注桩和桩顶已破损的预制桩，应先凿掉桩顶部的松散破碎层和软弱混凝土，至混凝土密实处，露出竖向钢筋，清理干净后重新浇注桩帽，并符合下列规定：

1 桩顶面水平、平整，桩帽中轴线与原桩身上部的中轴线应重合。

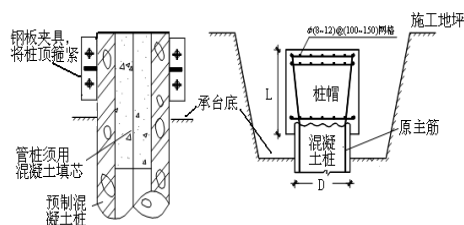
桩身主筋应全部直通至桩帽混凝土保护层之下，如原桩身露出主筋长度不够时，应焊接加长，使各竖向钢筋在同一高度上；

2 桩帽截面形状可为圆形或方形，静载荷试验时桩帽截面尺寸可大于原桩身，高应变检测时桩帽截面尺寸应等于原桩身。桩帽高度 L 控制在 1~2 倍桩径范围内，宜用厚度 3~5 mm 的钢板围裹或设置箍筋，间距不大于 100mm，上部设置钢筋网片 3~5 层，网筋为 $\Phi 6-8$ ，网格为 80 mm $\times$ 80 mm，网片间距 60~100mm；

3 桩帽的混凝土强度等级宜提高 1~2 级，且不得低于 C30。浇注时应振捣密实，在混凝土初凝前将桩顶面抹平，并用水平尺校核，保持桩帽顶面水平。

B.3 对已截桩的预应力管桩，应先用钢夹具箍住桩头，然后填混凝土芯，填芯高度一般为 1~2m，混凝土强度等级不应低于 C30，填芯后的桩顶面保持密实、水平。

B.4 技术处理后的试桩桩顶（桩帽顶面），静载荷试验宜高出承台底（或试坑底）30mm，高应变检测宜高出承台底（或试坑底）2 倍桩径。



竖向承载力试验（检测）对试件的处理示意图

附录 C

(规范性附录)

地基土试验数据统计方法

C.1 本附录方法适用于天然土地基和处理后地基的标准贯入、动力触探、静力触探等原位试验数据的标准值计算。

C.2 标准贯入、动力触探、静力触探等原位试验数据的标准值，应根据各检测点的试验结果，按单位工程进行统计计算。当试验结果需要进行深度修正时，应先进行深度修正。

C.3 原位试验数据的平均值、标准差和变异系数应按下列公式计算：

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i}{n} \quad (\text{C.0.3-1})$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \phi_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \phi_i)^2}{n} \right]} \quad (\text{C.0.3-2})$$

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\phi_m} \quad (\text{C.0.3-3})$$

式中： ϕ_i ——原位试验数据的试验值或试验修正值；当同一检测孔的同一分类土层中有多个检测点时，取其平均值；当难以按深度划分土层时，可根据原位试验结果沿深度的分布趋势自上而下划分（3-5）个深度范围进行统计；

ϕ_m ——原位试验数据的平均值；

σ_f ——原位试验数据的标准差；

δ ——原位试验数据的变异系数；

n ——参与统计的个数。

C.4 单位工程同一土层或同一深度范围的原位试验收据的标准值应按下列方法确定：

$$\phi_k = \gamma_s \phi_m \quad (\text{C.0.4-1})$$

$$\gamma_s = 1 - \left\{ \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right\} \delta \quad (\text{C.0.4-2})$$

式中： ϕ_k ——原位试验数据的标准值

γ_s ——统计修正系数

附录 D

(规范性附录)

圆锥动力触探锤击数修正

D.1 当采用重型圆锥动力触探推定地基土承载力或评判地基土密实度时，锤击数应按下式修正：

$$N'_{63.5} = \alpha_1 N_{63.5} \quad (\text{D.0.1})$$

式中：\$N'_{63.5}\$——经修正后的重型圆锥动力触探锤击数字；

\$N_{63.5}\$——实测重型圆锥动力触探锤击数；

\$\alpha_1\$——修正系数，按表 D.0.1 取值

表 D.0.1 重型触探试验的杆长修正系数 \$\alpha_1\$

\$N'_{63.5}\$ \$\alpha_1\$ 杆长 (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	\$\geq 50\$
\$\leq 2\$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84
6	0.93	0.90	0.88	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.75
8	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.71	0.67
10	0.88	0.83	0.79	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.61
12	0.85	0.79	0.75	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.55
14	0.82	0.76	0.71	0.66	0.62	0.58	0.56	0.53	0.50
16	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45
18	0.77	0.70	0.63	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40
20	0.75	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.36

D.2 当采用超重型圆锥动力触探评判碎石土（桩）密实度时，锤击数应按下式修正：

$$N'_{120} = \alpha_1 N_{120} \quad (\text{D.0.2})$$

式中：\$N'_{120}\$——经修正后的超重型圆锥动力触探锤击数字；

\$N_{120}\$——实测超重型圆锥动力触探锤击数；

\$\alpha_1\$——修正系数，按表 D.0.2 取值。

表 D.0.2 超重型触探试验的杆长修正系数 α_1

N'_{120} α_1 杆长 (m)	1	3	5	7	9	10	15	20	25	30	35	40
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.96	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88
3	0.94	0.88	0.86	0.85	0.84	0.84	0.85	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81
5	0.92	0.82	0.79	0.78	0.77	0.76	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72
7	0.90	0.78	0.75	0.74	0.73	0.71	0.71	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66
9	0.88	0.75	0.72	0.70	0.69	0.67	0.67	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62
11	0.87	0.73	0.69	0.67	0.66	0.64	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
13	0.86	0.71	0.67	0.65	0.64	0.61	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.55
15	0.86	0.69	0.65	0.63	0.59	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.54	0.53
17	0.85	0.68	0.63	0.61	0.60	0.57	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.50
19	0.84	0.66	0.62	0.60	0.58	0.56	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.48

附录 E

（规范性附录）

高应变传感器安装

E.1 在桩顶下桩侧表面分别对称安装应变传感器和测量加速度传感器，至少各两只。

E.2 应变传感器测量桩身测点处的应变换算成锤击力，加速度传感器测量桩身响应。传感器安装在距桩顶不小于 $2D$ 的桩侧表面处（ D 为试桩的直径或边宽）；对于大直径桩，传感器与桩顶之间的距离可适当减小，但不得小于 $1D$ 。

E.3 也可在自由落锤锤体 $0.5H_r$ 处（ H_r 为锤体高度）对称安装加速度传感器直接测量锤击力，在桩顶下桩侧表面处（距桩顶的距离不得小于 $0.4H_r$ 或 $1D$ ，并取两者高值）对称安装加速度传感器直接测量桩身响应。

E.4 传感器安装还应符合下列规定：

1 传感器不得安装在截面突变处附近。安装面处的材质和截面尺寸应与原桩身相同；

2 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 100mm 。安装完毕后，传感器的中心轴应与桩中心轴保持平行。安装时，对应变传感器初始值进行监视。安装后的应变传感器初始应变值不大于应变式传感器量程的 20% ，锤击时的可测轴向应变范围为：混凝土桩大于 $\pm 1000 \mu \varepsilon$ ，钢桩大于 $\pm 1500 \mu \varepsilon$ ；

3 各传感器的安装面材质应均匀、密实、平整，并与桩轴线平行；

4 安装螺栓的钻孔与桩侧表面垂直；安装完毕后的传感器应紧贴桩身表面，锤击时传感器不得产生滑动。

E.5 当连续锤击监测时，应将传感器连接电缆有效固定。

附录 F

(规范性附录)

试打桩与打桩监控

F.1 试打桩

F.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。

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

F.1.3 采用试打桩判定桩的承载力时，应符合下列规定：

- 1) 判定的承载力值应小于或等于试打桩时测得的桩侧和桩端静土阻力值之和与桩在地基土中的时间效应系数的乘积，并应进行复打校核；
- 2) 初打至复打的休止时间，砂土不少于 7d、粉土不少于 10d、非饱和黏性土不少于 15d、饱和黏性土不少于 25d。

F.2 桩身锤击应力监测

F.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) 应包括桩身锤击拉应力和锤击压应力两部分。

F.2.2 为测得桩身锤击应力最大值，监测时应符合下列规定：

- 1) 桩身锤击拉应力宜在预计桩端进入软土层或桩端穿过硬土层进入软夹层时测试；
- 2) 桩身锤击压应力宜在桩端进入硬土层或桩周土阻力较大时测试。

F.2.3 最大桩身锤击拉应力可按下式计算：

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

式中 σ_t ——最大桩身锤击拉应力 (kPa)；

x ——传感器安装点至计算点的距离 (m)；

A ——桩身截面面积 (m^2)。

F.2.4 最大桩身锤击压应力可按下式计算：

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

式中 σ_p ——最大桩身锤击压应力 (kPa)；

$F_{\max}$ ——实测的最大锤击力 (kN)。

F.2.5 桩身最大锤击应力控制值，应符合《建筑桩基技术规范》JCJ 94 中有关规定。

F.3 锤击能量监测

F.3.1 桩锤实际传递给桩的能量应按下式计算：

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

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。

F.3.2 桩锤最大动能宜通过测定锤芯最大运动速度确定。

F.3.3 桩锤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 G

(规范性附录)

孔内成像技术检查混凝土桩(墙)质量要点

G.1 一般规定

G.1.1 本方法采用孔内成像技术对预制空心桩孔内壁拍摄,检查桩孔内壁及接桩处的质量,识别缺陷及位置、程度,也适用于其它有预留孔(含钻孔,孔径宜 $>100\text{ mm}$)的混凝土桩(墙)质量检查。

G.1.2 受检桩宜选择:

- 1) 低应变法无法有效识别反射特征的桩;
- 2) 桩身已发现缺陷或疑似缺陷,需要确定缺陷及位置、程度的桩;
- 3) 钻芯法的检测结果出现争议的灌注桩;
- 4) 施工异常的桩,包括但不限于内壁渗水的闭口管桩、施工过程中引起水平位移或上浮的桩、深厚软土中的弯曲或受锤击拉应力影响较大的桩等;
- 5) 设计方认为重要的桩。

G.1.3 孔内成像设备应具有孔内提升、深度测量(分辨率 1 mm)和摄像头定位功能。

G.1.4 摄像头自带光源,防水能力 $>50\text{ m}$,成像分辨率不应低于 720×756 像素。

G.1.5 具有图形观察、记录保存、逐帧回放、分析打印功能。

G.1.6 深度、宽度、倾斜角度等量值应能溯源。

G.2 现场检测

G.2.1 检测前应对仪器设备检查调试。

G.2.2 清理孔内,保证孔内通道畅通,能全面、清晰地记录孔内的图像。清理范围应大于检测深度。

G.2.3 采用单镜头多次成像时,应合理安排次数、速度、角度、保证孔壁影像信息全面。

G.2.4 采用多镜头一次成像时,应针对可能的缺陷位置放慢速度重点拍摄。

G.3 数据分析及结果

G.3.1 根据现场视频、图像识别孔内缺陷。

G.3.2 孔内缺陷程度评判,可分为不可见缺陷、轻微缺陷(某一深度局部截面存在)、明显缺陷(某一深度全截面存在)、严重缺陷(某一深度错位)等。也可根据预先标定的缺陷尺寸模板,定量分析缺陷。

G.3.3 检查结果应包含孔内成像视频(连续)和关注部位的照片,当孔内有缺陷时,应包括各缺陷及深度、部位的照片、换算后的尺寸、缺陷程度评判等内容。

附录 H

(规范性附录)

地下连续墙检测要点

H.1 一般规定

H.1.1 地下连续墙检测分为成槽检测、墙体检测和接头检测。

H.1.2 成槽检测内容应包括槽深、槽宽、垂直度及沉渣厚度；墙体检测内容应包括墙体完整性、墙体混凝土强度、墙体深度、墙底沉渣厚度、持力层岩土性状；接头检测内容应包括接头刷壁质量和接头混凝土质量。

H.1.3 检测成槽段承载力时，应符合本规程第4章的有关规定。

H.1.4 检测墙体质量和接头质量，采用声波透射法时应符合本规程第16章的有关规定，按照表16.5.12所列特征进行综合评判；采用钻芯法时应符合本规程第14章的有关规定，按照表14.4.4所列特征进行综合评判。

H.1.5 地下连续墙的质量检验标准应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202的有关规定。

H.1.6 成槽检测的槽段、墙体检测的墙段的抽样应按下列原则确定：

- 1) 对施工质量有疑问的槽段、墙段；
- 2) 采用不同工艺施工的槽段、墙段；
- 3) 地下连续墙墙体转角处；
- 4) 设计认为重要结构部位的槽段、墙段；
- 5) 随机抽样，基本均匀分布，具有代表性。

H.1.7 墙体质量的开始检测时间应符合下列规定：

- 1) 当采用声波透射法检测时，受检墙段混凝土强度不应小于设计强度的70%，且不应低于20MPa；
- 2) 当采用钻芯法检测墙体时，受检墙段的混凝土龄期应达到28d或同条件养护试块强度应达到设计强度。

H.1.8 检测报告除应符合本规程第3.7节规定外，还应定包括下列内容：

- 1) 槽段（墙段）编号，槽段（墙段）设计和施工参数；
- 2) 检测结果中列表叙述所有被测槽段（墙段）的检测结果；
- 3) 附图附表中包括槽段（墙段）平面布置图、每槽段（墙段）的测试记录图和现场检测记录表。

H.2 墙体质量检测

H.2.1 施工完成后的地下连续墙应进行墙体质量检测。

H.2.2 声波透射法适用于已预埋声测管的地下连续墙墙体完整性检测，判定墙体缺陷的程度及位置。钻芯法适用于检测地下连续墙的墙体完整性、墙体混凝土强度、墙体深度、沉渣厚度和判定持力层性状。

H.2.3 采用声波透射法对墙体质量检测时，当地下连续墙作为永久结构时，每墙段均应进行声波透射法检测。其它受检墙段数量不应少于同条件下总墙段数的20%，且不得少于3幅墙段。预埋声测管的墙段总数不应少于受检墙段数量的1.3倍。

H.2.4 地下连续墙混凝土实体强度可在地下连续墙顶部取芯样验证。

H.2.5 地下连续墙经声波透射法检测不合格或对检测结果难以判定时，可采用钻芯法进行验证。

H.2.6 当采用声波透射法检测墙体混凝土完整性，Ⅲ类及Ⅳ类墙体数量达到2幅或2幅以上时，除进行复测外，尚应采用声波透射法在未检测墙体中进行扩大检测。当不具备声波透射法检测条件时可采用钻芯法，对于浅部存在缺陷处可采用开挖验证。

H.2.7 钻芯法检测结果无法判定时，可采用孔内成像技术检查。

H.3 接头质量检测

H.3.1 地下连续墙应进行成槽时的接头刷壁质量和成墙后接头混凝土的质量检测。

H.3.2 地下连续墙成槽后应对平行于墙身方向的接头垂直度进行检测，垂直度不宜大于1/300。当采用套铣接头时，垂直度不宜大于1/500。作为永久结构的地下连续墙平行于墙身方向的接头垂直度应全数检测；作为临时结构的地下连续墙，平行于墙身方向的接头垂直度检测数量为20%，且不少于3幅。

H.3.3 接头刷壁质量的检测可采用超声波法，并宜与成槽质量检测同时进行。

H.3.4 采用超声波法检测成槽的刷壁质量时，在接头处应做三方向检测。

H.3.5 现场检测记录图应有明显的刻度标记，能准确体现任何深度截面的接头处槽壁的形状。

H.3.6 接头混凝土质量可采用声波透射法检测。声波透射法可用于圆锁口管接头、工字钢接头、十字钢板接头、V形钢板接头、铰接接头、铣接头等混凝土接头以及金属接头，不宜用于橡胶接头。

H.3.7 对接头混凝土质量进行检测前应在相邻两幅地下连续墙接头处预埋声测管，

H.3.8 当声波透射法对接头混凝土质量无法检测时，可采用开挖或其它技术手段进行检测。

附录 I

(规范性附录)

大直径桩端阻力载荷试验要点

- I.1 大直径桩极限端阻力载荷试验应采用圆形刚性承压板，其直径为 0.8m。
- I.2 承压板应置于桩端持力层上，亦可在完成的后试井中在外径为 0.8 的钢环内直接浇灌混凝土制成，当试井直径大于承压板直径时，紧靠承压板周围外侧的土层高度不应小于 0.8m；承压板上用小于试井直径的钢管联结，延伸至地面进行加荷；亦可利用井壁护圈作反力加荷，沉降观测宜直接在底板上进行。
- I.3 加荷等级可按预估极限端阻力的 1/15~1/10 分级施加，最大荷载应达到破坏，且不应小于设计端阻力的两倍。
- I.4 在加每级荷载后的第一小时内，每隔 10min、10min、10min、15min、15min 观测一次，以后每隔 30min 观测一次。
- I.5 在每级荷载作用下，当连续 2h，每小时的沉降量小于 0.1mm 时，则认为已经稳定，可施加下一级荷载。
- I.6 符合下列条件之一时可终止加载：
- 1 当荷载沉降曲线上，有可判定极限端阻力的陡降段，且沉降量超过 $(0.04 \sim 0.06) d$ (d 为承压板直径)，压缩性小的岩土取小值，反之取大值；
 - 2 本级沉降量大于前一级沉降量的 5 倍；
 - 3 某级荷载作用下经 24h 沉降量尚不能达到稳定标准；
 - 4 当持力层岩土层坚硬，沉降量很小时，最大加载量已不小于设计端阻力 2 倍。
- I.7 卸载观测应符合下列规定：
- 1 卸载的每级荷载为加载每级荷载的 2 倍；
 - 2 每级卸载后，隔 15min、15min、30min 观测一次，即可卸下一级荷载；
 - 3 全部卸载后隔 3h~4h 再测读一次。
- I.8 端阻力特征值的确定应符合下列规定：
- 1 满足终止加载条件前三条之一时，其对应的前一级压力定为极限端阻力；
 - 2 当 $p-s$ 曲线有明显的比例界限时，取比例界限所对应压力为端阻力特征值，但其值不应大于最大加载量或极限端阻力的一半；
 - 3 当 $p-s$ 曲线无明显的拐点时，可取 $s = (0.008 \sim 0.015) d$ (对全风化、强风化、中等风化岩取

较小值，对黏性土取较大值，砂类土取中间值)所对应的 p 值，作为端阻力特征值，但其值不应大于最大加载量或极限端阻力的一半。

1.9 同一岩土层参加统计的试验点不应少于 3 点，当试验实测值的极差不超过平均值的 30%时，取此平均值作为极限端阻力或端阻力特征值。
