

广东省标准

建筑地基基础检测规范

(2007 .12 报批稿)

建筑地基基础检测规范编制组
2007. 12

前言

根据广东省建设厅粤建科函[2002]194号文的要求,广东省建筑科学研究院会同有关单位经过广泛调查研究,认真总结建筑地基基础检测的实践经验和科研成果,收集分析了《广东省桩基质量检测技术规定(试行)》(粤建科字[2000]137号)、《基桩反射波法检测规程》DBJ15-27-2000和《基桩和地下连续墙钻芯检验技术规程》DBJ15-28-2001实施以来的意见和建议,在广泛征求意见的基础上,制定本规范。

本规范共分十八章、八个附录。包括总则、术语和符号、基本规定、标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验、平板载荷试验、低应变法、高应变法、声波透射法、钻芯法、单桩竖向抗压静载试验、单桩竖向抗拔静载试验、单桩水平静载试验、支护锚杆验收试验、基础锚杆抗拔试验和沉降观测等。

本规范由广东省建筑科学研究院负责解释。在执行过程中,请各单位结合工程实践,认真总结经验,并将意见和建议寄送广州市先烈东路121号广东省建筑科学研究院(邮编:510500,传真:02087256379,Email:xtp@21cn.net)。

主编单位:广东省建筑科学研究院

参编单位:深圳市勘察研究院

广州市建筑科学研究院

广州铁路(集团)公司科学技术研究所

广东工业大学

广东省建设工程质量安全监督检测总站

深圳市工程质量检测中心

广州地区建设工程质量安全监督站

肇庆市建设工程质量检测站

广东省建筑设计研究院

广州市建设科技委办

主编:徐天平

参编:李广平 陈久照 肖 兵 吴裕锦 李彰明 钱春阳 刘南渊

朱远辉 邓 浩 曹华先 袁庆华 李 皓 杜 飞 廖建三

1	总则	错误！未定义书签。
2	术语和符号	错误！未定义书签。
2.1	术语	错误！未定义书签。
2.2	符号	错误！未定义书签。
3	基本规定	错误！未定义书签。
3.1	一般规定	错误！未定义书签。
3.2	地基检测规定	错误！未定义书签。
3.3	基桩及基础锚杆检测规定	错误！未定义书签。
3.4	支护工程检测规定	错误！未定义书签。
3.5	基础检测和沉降观测规定	错误！未定义书签。
3.6	验证与扩大检测	错误！未定义书签。
3.7	检测结果评价和检测报告	错误！未定义书签。
4	标准贯入试验	22
4.1	适用范围	22
4.2	设备	22
4.3	现场检测	22
4.4	检测数据分析与判定	23
5	圆锥动力触探试验	27
5.1	适用范围	27
5.2	设备	27
5.3	现场检测	27
5.4	检测数据分析与判定	28
6	静力触探试验	31
6.1	适用范围	31
6.2	仪器设备	31
6.3	现场检测	32
6.4	检测数据分析与判定	33
7	十字板剪切试验	36
7.1	适用范围	36
7.2	仪器设备	36
7.3	现场检测	37
7.4	检测数据分析与判定	38
8	平板载荷试验	41
8.1	适用范围	41

8.2	仪器设备及其安装	41
8.3	现场检测	42
8.4	检测数据分析与判定	43
9	低应变法	46
9.1	适用范围	46
9.2	仪器设备	46
9.3	现场检测	46
9.4	检测数据分析与判定	48
10	高应变法	53
10.1	适用范围	53
10.2	仪器设备	53
10.3	现场检测	53
10.4	检测数据分析与判定	55
11	声波透射法	59
11.1	适用范围	59
11.2	仪器设备	59
11.3	声测管埋设	59
11.4	现场检测	60
11.5	检测数据分析与判定	62
12	钻芯法	70
12.1	适用范围	70
12.2	设备	70
12.3	现场操作	70
12.4	芯样试件截取与加工	72
12.5	芯样试件抗压强度试验	72
12.6	检测数据分析与判定	73
13	单桩竖向抗压静载试验	76
13.1	适用范围	76
13.2	仪器设备及其安装	76
13.3	现场检测	77
13.4	检测数据分析与判定	79
14	单桩竖向抗拔静载试验	81
14.1	适用范围	81
14.2	仪器设备及其安装	81

14.3	现场检测	82
14.4	检测数据分析与判定	83
15	单桩水平静载试验	85
15.1	适用范围	85
15.2	仪器设备及其安装	85
15.3	现场检测	86
15.4	检测数据分析与判定	86
16	支护锚杆和土钉验收试验	89
16.1	适用范围	89
16.2	仪器设备及其安装	89
16.3	现场检测	90
16.4	检测数据分析与判定	92
17	基础锚杆抗拔试验	94
17.1	适用范围	94
17.2	仪器设备及其安装	94
17.3	现场检测	95
17.4	检测数据分析与判定	96
18	沉降观测	97
18.1	适用范围	97
18.2	观测等级及仪器设备	97
18.3	水准基点和观测点设置	99
18.4	现场观测	100
18.5	数据分析与评价	101
附录 A	建筑地基基础检测记录表格	103
附录 B	地基土试验数据统计计算方法	108
附录 C	圆锥动力触探锤击数修正	109
附录 D	静力触探头率定	111
附录 E	混凝土桩桩头处理	113
附录 F	高应变法传感器安装	114
附录 G	高应变法试打桩与打桩监控	116
附录 H	混凝土芯样试件加工和测量	118
	本规范用词说明	119

1 总则

1.0.1 为提高建筑地基基础检测水平，统一建筑地基基础检测方法，保证工程检测质量，做到安全适用、数据准确、技术先进、经济合理、环境保护，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于广东省的建筑工程地基基础验收检测。用于其它目的和其它行业的地基基础检测可参照执行。

1.0.3 建筑地基基础检测应综合考虑地质条件、地基基础设计等级、地基基础类型、施工质量可靠性、各种检测方法的特点和适用范围等因素，合理选择检测方法、确定检测数量。

1.0.4 建筑地基基础检测除应执行本规范外，尚应符合工程建设强制性标准条文。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 地基 subgrade, foundation soils

支承基础的土体或岩体。

2.1.2 天然地基 natural foundation, natural subgrade

在未经人工处理的天然土（岩）层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。

2.1.3 处理土地基 the foundation of treatment soils

为提高地基的承载力、改善变形性质或渗透性质，对土进行人工处理后的地基。处理土地基包括换填地基、预压处理地基、强夯处理地基、不加填料振冲加密处理地基、注浆地基等。

2.1.4 复合地基 composite subgrade, composite foundation

部分土体被增强或被置换形成增强体，由增强体和周围地基土共同承担荷载的地基。

2.1.5 桩基 foundation pile

桩基础中的单根桩。

2.1.6 锚杆 anchor

由设置于钻孔内、端部伸入稳定岩土层中的钢筋或钢绞线等抗拉材料与孔内注浆体组成的抗拉构件。

2.1.7 支护锚杆 retaining anchor

将围护结构所承受的侧向荷载，通过锚杆的拉结作用传递到周围的稳定岩土层中去的锚杆。

2.1.8 基础锚杆 foundation anchor

将基础承受的向上竖向荷载，通过锚杆的拉结作用传递到基础底部的稳定岩土层中去的锚杆。

2.1.9 土层锚杆 soil anchor

锚固段设置于土层中的锚杆。

2.1.10 岩石锚杆 rock anchor

锚固段设置于岩石中的锚杆。

2.1.11 土钉 soil nail

用来加固并同时锚固现场原位土体，依靠与土体之间的界面粘结力或摩擦力，在土体发生变形的条件下被动受力，并主要承受拉力作用的细长构件。

2.1.12 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，将标准规格的贯入器，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。

2.1.13 圆锥动力触探试验 dynamic penetration test (DPT)

用标准质量的重锤，以一定高度的自由落距，将标准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。

2.1.14 静力触探 cone penetration test (CPT)

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

2.1.15 十字板剪切试验 vane shear test (VST)

用插入土中的标准十字板探头，以一定速率扭转，量测土破坏时的抵抗力矩，测定土的不排水抗剪强度的一种原位试验方法。

2.1.16 平板载荷试验 plate loading test (PLT)

对天然地基、处理土地基、复合地基的表面逐级施加竖向压力，测量其沉降随时间的变化，以确定其承载能力的试验方法。

2.1.17 低应变法 low strain integrity testing

采用低能量瞬态激振方式在桩顶激振，实测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。

2.1.18 高应变法 high strain dynamic testing

用重锤冲击桩顶，实测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。

2.1.19 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，对桩身和地下连续墙墙体完整性进行判定的检测方法。

2.1.20 钻芯法 core drilling method

用钻机钻取复合地基竖向增强体、地下连续墙、混凝土灌注桩及其持力层的芯样，判定其完整性、芯样试件强度、底部沉渣厚度及持力层岩土性状的检测方法。

2.1.21 单桩静载试验 static loading test

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，以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。

2.1.22 沉降观测 settlement observation

测定建（构）筑物的沉降随时间的变化的观测方法。

2.1.23 桩身完整性 pile integrity

反映桩身截面尺寸相对变化、桩身材料密实性和连续性的综合定性指标。

2.1.24 桩身缺陷 pile defects

桩身断裂、裂缝、缩颈、夹泥（杂物）、空洞、蜂窝、松散等现象的统称。

2.1.25 声测线 wave measure line

某一检测剖面的两声测通道中的测点之间连线。

2.1.26 声测线完整性函数值 the function value of wave measure line' s integrity

依据声测线上接收声波声参数及波形畸变程度确定的数值，取值范围为 1~4, 它反映的是该声测线声场辐射区域的桩身混凝土质量。

2.1.27 桩身横截面完整性类别指数 the exponent of pile cross section' s integrity grade

综合横截面上各声测线的完整性函数值而得到的反映该横截面桩身混凝土完整性状况的指标，取值范围为 1~4。

2.2 符号

2.2.1 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 —— 桩身弹性模量；
 E_0 —— 地基变形模量；
 f_{ak} —— 地基承载力特征值；
 f_{cu} —— 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 —— 标准贯入试验修正锤击数；
 N' —— 标准贯入试验实测锤击数
 N_k —— 标准贯入试验锤击数标准值
 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；
 N_u —— 锚杆轴向受拉承载力设计值；
 p —— 地基承载力特征值；
 p_s —— 单桥探头的比贯入阻力；
 q_c —— 双桥探头的锥头阻力；
 Q_u —— 单桩竖向抗压极限承载力；
 R_a —— 单桩竖向抗压承载力特征值；
 R_t —— 锚杆抗拔承载力特征值；
 v —— 桩身混凝土声速；
 Z —— 桩身截面力学阻抗；
 μ —— 土的泊松比；
 ρ —— 桩身质量密度。

2.2.1 作用与作用效应

- F —— 锤击力；
 H —— 单桩水平静载试验中作用于桩身的水平力；

$N_{\max}$ —— 锚杆的最大试验荷载；
 P_f —— 剪损土体的总作用力；
 Q —— 施加于单桩和地基的竖向压力荷载，施加于锚杆的轴向拉力荷载；
 s —— 沉降量；
 U —— 单桩竖向抗拔静载试验中施加的上拔荷载；
 V —— 质点运动速度；
 V_0 —— 单桩水平静载试验中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中的桩顶上拔量、锚头位移。

2.2.3 几何参数

A —— 桩身横截面面积；
 b —— 矩形桩的边宽，承压板直径或边宽；
 b_0 —— 桩身计算宽度；
 B —— 支墩宽度，支座边宽；
 d —— 桩身直径（管桩外径），芯样试件的平均直径；
 L —— 桩长。

2.2.4 计算系数

A_c —— 声波透射法波幅异常判断的临界值；
 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。

2.2.5 其他

A_p —— 声波波幅；
 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；
- Δf ——频域曲线上相邻峰之间的频率差；
- Δt ——入射波波峰与反射波波峰之间的时间差。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 建筑地基基础工程验收应按本规范的规定进行质量检测。

3.1.2 建筑地基基础工程检测分为地基检测、基桩及基础锚杆检测、支护工程检测和基础检测。应根据检测目的合理选择检测方法。

1 地基检测。地基检测内容包括天然地基承载力、变形参数及岩土性状评价，处理土地基承载力、变形参数及施工质量评价，复合地基承载力、变形参数及复合地基增强体的施工质量评价。检测方法可选择平板载荷试验、钻芯法、标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验、土工试验、低应变法、深层平板载荷试验和岩基载荷试验。

2 基桩及基础锚杆检测。基桩及基础锚杆检测内容包括工程桩的桩身完整性和承载力检测、基础锚杆抗拔承载力检测。桩身完整性检测可采用钻芯法、声波透射法、高应变法和低应变法等。单桩竖向抗压承载力检测可采用单桩竖向抗压静载试验和高应变法，单桩竖向抗拔承载力检测可采用单桩竖向抗拔静载试验，单桩水平承载力检测可采用单桩水平静载试验，基础锚杆抗拔承载力检测可采用基础锚杆抗拔试验。

3 支护工程检测。支护工程检测内容包括土钉和支护锚杆抗拔力检测、土钉墙施工质量检测、水泥土墙墙身完整性检测、地下连续墙墙体质量检测、逆作拱墙的施工质量检测、用于支护的混凝土灌注桩的桩身完整性检测。检测方法可采用土钉和支护锚杆验收试验、钻芯法、声波透射法和低应变法。

4 基础检测。基础检测内容包括各类基础及桩基础承台的施工质量检测和建筑物沉降观测。各类基础及桩基础承台的施工质量检测可参照《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344-2004 采用结构钻芯法和回弹法。

3.1.3 检测工作的程序，应按图 3.1.3 进行。

3.1.4 调查、资料收集宜包括下列内容：

1 收集被检测工程的岩土工程勘察资料、地基基础设计及施工资料；了解施工工艺和施工中出现的异常情况。

2 进一步明确委托方的具体要求。

3 分析检测项目现场实施的可行性。

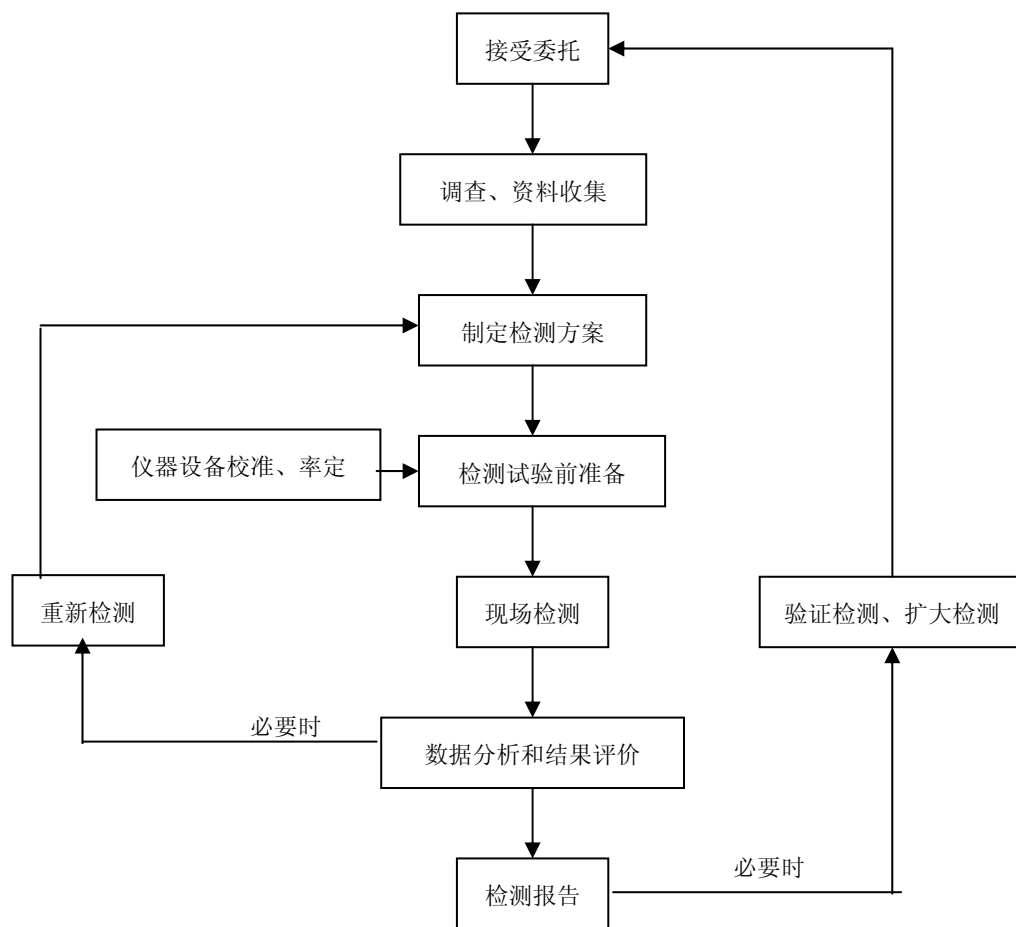


图 3.1.3 检测工作程序框图

3.1.5 检测单位应根据调查结果和确定的检测目的，选择检测方法，制定检测方案。检测方案宜包含以下内容：工程概况，检测方法及其所依据的规范标准，检测数量，抽样方案，所需的机械设备和人工配合，试验时间要求；必要时还应包括桩头开挖、加固、处理，场地平整，道路修筑，供水供电等要求。

根据现场试验结果，判断所选择的检测方法不能满足检测目的时，应重新选择检测方法，制定检测方案。不能完全满足检测目的的检测结果，不能计入抽检数量。

3.1.6 地基基础工程验收检测的抽检数量应按单位工程计算。当单位工程由若干个子单位工程组成时，抽检数量宜按子单位工程计算。

同一单位工程采用不同地基基础类型时，应分别确定检测方法和抽检数量；同一单位工程中采用不同桩型或不同地基处理方法的，宜分别确定检测方法和抽检数量。

小区工程中，地基基础设计等级为丙级，且各单位工程的工程桩总数少于 30 根或地基处理面积小于 300 m²，经工程质量各方责任主体共同确认，可将地质条件相近、施工工艺相同的若干个单位工程合并起来确定抽检数量，但应对各单位工程进行承载力抽检，承载力检测抽检数量：当采用单桩静载试验时不得少于 1 根、当采用高应变法时不得少于 2 根、当采用平板载荷试验时不得少于 2 点。

对地基处理面积超过 20000m²或工程桩总数超过 2000 根的大型单位工程，超过部分的抽检数量可适当减少，但不应少于相应规定检测数量的 50%。

对补桩、加固处理后的桩应进行抽检。

3.1.7 当发现检测数据异常或对检测结果有怀疑时，应查找原因，必要时重新检测。标准贯入试验、静力触探试验，圆锥动力触探试验、十字板剪切试验可在原试验孔附近重新选点进行试验，低应变法、高应变法、声波透射法可在原受检桩上重新进行检测。

3.1.8 检测用计量器具应进行校准。仪器设备性能应符合相应检测方法的技术要求。

仪器设备使用时应按校准结果设置相关参数。

检测前应对仪器设备检查调试，检测过程中应加强仪器设备检查，必要时在检测前和检测过程中应对仪器进行率定。

3.1.9 现场检测期间，除应执行本规范的有关规定外，还应遵守国家有关安全生产的规定；当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，应采取有效的措施，保证仪器设备的正常工作。

3.2 地基检测规定

3.2.1 天然土地基、处理土地基和复合地基应合理选择两种或两种以上的检测方法进行地基检测，并应符合先简后繁、先粗后细、先面后点的原则。

3.2.2 处理土地基和复合地基检测宜在合理间歇时间后进行。

3.2.3 地基检测抽检位置应按下列情况综合确定：

- 1 施工出现异常情况的部位；
- 2 设计认为重要的部位；
- 3 局部岩土特性复杂可能影响施工质量的部位；
- 4 当采取两种或两种以上检测方法时，应根据前一种方法的检测结果确定后一种方法的抽检位置；
- 5 同类地基的抽检位置宜均匀分布。

3.2.4 天然岩石地基应采用钻芯法进行抽检，单位工程抽检数量不得少于 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。天然岩石地基特性复杂的工程应增加抽样孔数。当岩石芯样无法制作成芯样试件时，应进行岩基载荷试验，对强风化岩、全风化岩宜采用平板载荷试验，试验点数不应少于 3 点。

3.2.5 天然土地基、处理土地基应进行平板载荷试验，单位工程抽检数量为每 500m² 不应少于 1 个点，且不得少于 3 点，对于复杂场地或重要建筑地基应增加抽检数量。

3.2.6 天然土地基、处理土地基在进行平板载荷试验前，应根据地基类型选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验等一种或一种以上的方法对地基处理质量或天然地基土性状进行普查，单位工程抽检数量为每 200 m² 不应少于 1 个孔，且不得少于 10 孔，每个独立柱基不得少于 1 孔，基槽每 20 延米不得少于 1 孔。检测深度应满足设计要求。

当无工程实践经验时，检测可按下列规定进行：

1 天然地基基槽（坑）开挖后，可采用标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验或其他方法对基槽（坑）进行检测。

2 换填地基（含灰土地基、砂和砂石地基、土工合成材料地基、粉煤灰地基）可采用圆锥动力触探试验或标准贯入试验进行检测。

换填地基必须分层进行压实系数检测，压实系数可采用《土工试验方法标准》GB/T 50123 中的环刀法、灌砂法、灌水法或其他方法进行检测，抽检数量：对大基坑每 50~100m² 面积内不得少于一个检测点；对基槽每 10~20m 不得少于 1 个检测点；每个独立柱基不得少于 1 个检测点。

3 预压地基可采用十字板剪切试验和室内土工试验进行检测。

4 强夯处理地基可采用原位测试和室内土工试验进行检测。

5 不加填料振冲加密处理地基可采用动力触探、标准贯入试验或其他方法进行检测。

6 注浆地基可采用标准贯入试验、钻芯法进行检测。

3.2.7 复合地基及强夯置换墩应进行复合地基平板载荷试验，单位工程抽检平板载荷试验点数量应为总桩（墩）数的 0.5%~1%，且不得少于 3 点。同一单位工程复合地基平板载荷试验形式可选择多桩复合地基平板载荷试验或单桩（墩）复合地基平板载荷试验，也可一部分试验点选择多桩复合地基平板载荷试验而另一部分试验点选择单桩复合地基平板载荷试验。

3.2.8 复合地基及强夯置换墩在进行平板载荷试验前，应采用合适的检测方法对复合地基的桩体施工质量进行检测，抽检数量：当采用标准贯入试验、圆锥动力触探试验等方法时，单位工程抽检数量应为总桩（墩）数的 0.5%~1%，且

不得少于 3 根；当采用单桩竖向抗压载荷试验、钻芯法时，抽检数量不应少于总桩数的 0.5%，且不得少于 3 根。检测方法和抽检数量还应符合下列规定：

- 1 水泥土搅拌桩和竖向承载旋喷桩应进行单桩竖向抗压载荷试验。
- 2 水泥土搅拌桩和高压喷射注浆加固体的施工质量应采用钻芯法进行检测。
- 3 水泥粉煤灰碎石桩应采用低应变法或钻芯法进行桩身完整性检测，低应变法的抽检数量不应少于总桩数的 10%。
- 4 振冲桩桩体质量应采用圆锥动力触探试验或单桩载荷试验等方法进行检测。对碎石桩桩体质量检测，应采用重型动力触探试验。
- 5 砂石桩桩体质量应采用圆锥动力触探试验等方法进行检测。砂石桩宜进行单桩载荷试验。
- 6 强夯置换地基应采用圆锥动力触探等方法进行检测。

3.2.9 当设计有要求时，应对复合地基桩间土和强夯置换墩间土进行抽检，检测方法和抽检数量宜参照本规范第 3.2.5 条和第 3.2.6 条的规定。

3.3 基桩及基础锚杆检测规定

3.3.1 工程桩验收应进行桩身完整性检测和单桩承载力检测。

宜先进行桩身完整性检测，后进行承载力检测；当基础埋深较大时，桩身完整性检测宜在基坑开挖至基底标高后进行。

3.3.2 从成桩到开始试验的间歇时间应符合下列规定：

- 1 当采用低应变法或声波透射法检测时，受检桩桩身混凝土强度不得低于设计强度等级的 70%或预留立方体试块强度不得小于 15MPa。
- 2 当采用钻芯法检测时，受检桩的混凝土龄期不得小于 28d 或预留立方体试块强度不得低于设计强度等级。
- 3 高应变法和静载试验的间歇时间：混凝土灌注桩的混凝土龄期不得小于 28d。预制桩（钢桩）在施工成桩后，对于砂土，不宜少于 7d；对于粉土，不宜少于 10d；对于非饱和粘性土，不宜少于 15d；对于饱和粘性土，不宜少于 25d；对于桩端持力层为遇水易软化的风化岩层，不应少于 25d。

3.3.3 桩身完整性和单桩承载力抽样检测的受检桩宜按下列情况综合确定：

- 1 施工质量有疑问的桩；
- 2 设计认为重要的桩；
- 3 局部地质条件出现异常的桩；
- 4 当采用两种或两种以上检测方法时，宜根据前一种检测方法的检测结果来确定后一种检测方法的受检桩；

5 同类型桩宜均匀分布。

3.3.4 混凝土灌注桩的桩身完整性检测的抽检数量应符合下列规定：

1 柱下三桩或三桩以下的承台，每个承台抽检桩数不得少于 1 根。

2 当满足下列条件之一时，柱下四桩或四桩以上承台抽检桩数不应少于相应总桩数的 30%，且单位工程抽检总桩数不得少于 20 根。

- 1) 地基基础设计等级为甲级的桩基工程；
- 2) 场地地质条件复杂的桩基工程；
- 3) 施工工艺导致施工质量可靠性低的桩基工程；
- 4) 本地区采用的新桩型或采用新工艺施工的桩基工程。

对于其它工程，柱下四桩或四桩以上承台抽检桩数不应少于相应总桩数的 20%，且单位工程抽检总桩数不得少于 10 根。

3 对于直径大于等于 800mm 的端承型混凝土灌注桩，应在上述两款规定的抽检桩数范围内，选用钻芯法或声波透射法对部分受检桩进行桩身完整性检测，抽检数量不应少于总桩数的 10%。

4 当检测数据难以评价整根受检桩的桩身质量，不能确定桩身完整性类别时，不得计入上述三款规定的抽检桩数范围内，应重新确定受检桩或重新选择检测方法，以确保抽检桩数满足本条的规定要求。

3.3.5 混凝土灌注桩的单桩竖向抗压承载力检测应符合下列规定：

1 采用静载试验时，抽检数量不应少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根；当总桩数在 50 根以内时，不得少于 2 根。采用高应变法时，抽检数量不应少于总桩数的 5%，且不得少于 5 根。

2 当符合下列条件之一时，应采用静载试验进行单桩竖向抗压承载力检测：

- 1) 地基基础设计等级为甲级的桩基工程；
- 2) 场地地质条件复杂的桩基工程；
- 3) 施工工艺导致施工质量可靠性低的桩基工程；
- 4) 桩身有明显缺陷，对桩身结构承载力有影响，采用完整性检测方法难以确定其影响程度；
- 5) 本地区采用的新桩型或采用新工艺施工的桩基工程；

3 对于直径大于等于 1500mm 的端承型混凝土灌注桩，经工程质量各方责任主体共同确认，因试验设备或现场条件限制，难以进行单桩竖向抗压承载力检测时，应进行桩身完整性检测和桩端持力层鉴别，检测方法应选择钻芯法、声波透射法、高应变法。总抽检桩数应符合本规范 3.3.4 条的规定，其中，钻芯法的抽检桩数不应少于总桩数的 10%，且不得少于 10 根。若成桩前已进行岩

基载荷试验（不少于 3 个点），总抽检桩数可减少 2 个百分点。

3.3.6 预制桩桩身完整性和单桩竖向抗压承载力检测应符合下列规定：

1 条件允许时，宜采用孔内摄像或将低压灯泡放入管桩内腔对桩身完整性进行检查。

2 符合下列条件之一的预制桩工程，应采用低应变法进行桩身完整性检测和静载试验进行单桩竖向抗压承载力检测，完整性检测数量不应少于总桩数的 20%，静载试验抽检数量不少于总桩数的 1%，且不少于 3 根，当总桩数在 50 根以内时，不得少于 2 根。

1) 场地地质条件为岩溶的桩基工程。

2) 非岩溶地区上覆土层为淤泥等软弱土层，其下直接为中风化岩、或微风化岩、或中风化岩面上只有较薄的强风化岩。

3) 桩端持力层为遇水易软化的风化岩层。

4) 采用“引孔法”施工的桩基工程。

3 对本条第 2 款规定以外的预制桩工程，应采用高应变法同时进行桩身完整性检测和单桩竖向抗压承载力检测，抽检桩数不应少于同条件下总桩数的 8%，且不得少于 10 根。地基基础设计等级为甲级和地质条件较为复杂的乙级管桩基础工程，抽检桩数应增加一个百分点。其中符合下列条件之一的桩基工程，抽检桩数可减少一个百分点：

1) 已按有关规范的规定对焊接接缝进行了抽检的桩基工程。

2) 对于已采用孔内摄像或低压灯泡进行桩身完整性检查、检查桩数超过工程桩总数的 80%且未发现明显质量缺陷的预应力管桩工程。

3) 采用机械接头的预应力管桩工程。

4) 施工过程中采用打桩自动记录设备进行施工记录的桩基工程。

注：当不采用高应变法进行抽检时，检测方法和抽检桩数应符合本条第 2 款的规定。

3.3.7 钢桩应采用高应变法和静载试验进行检测。高应变法抽检数量不应少于总桩数的 5%，且不得少于 10 根；静载试验抽检数量不应少于总桩数的 0.5%，且不得少于 3 根，当总桩数在 50 根以内时，不得少于 2 根。

3.3.8 采用高应变法进行打桩过程监测的工程桩或施工前进行静载试验的试验桩，如果试验桩施工工艺与工程桩施工工艺相同，桩身未破坏、且单桩竖向抗压承载力大于等于 2 倍单桩竖向抗压承载力特征值，这类桩的桩数的一半可计入同方法验收抽检数量。

3.3.9 对竖向抗拔承载力有设计要求的桩基工程，应进行单桩竖向抗拔静载试验。抽检桩数不应少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根。

3.3.10 对水平承载力有设计要求的桩基工程，应进行单桩水平荷载静载试验。

抽检桩数不应少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根。

3.3.11 基础锚杆应进行抗拔试验，抽检数量不应少于锚杆总数的 5%，且不得少于 6 根。

3.4 支护工程检测规定

3.4.1 支护锚杆应进行验收试验，抽检数量不应少于锚杆总数的 5%，且不得少于 6 根。

3.4.2 土钉墙质量验收应进行土钉抗拔力试验，抽检数量应为土钉总数的 0.5%~1%，且不得少于 10 根。墙面喷射混凝土厚度应进行检测，检测方法可采用钻孔法，抽检数量宜每 100m² 墙面积一组，每组不少于 3 点。

3.4.3 用于支护的混凝土灌注桩应进行桩身完整性检测，抽检数量不宜少于总桩数的 10%，且不得少于 10 根，检测方法可采用低应变法；当根据低应变法检测结果判定的桩身缺陷可能影响桩的水平承载力时，应采用钻芯法补充检测，抽检数量不宜少于总桩数的 2%，且不得少于 3 根。

3.4.4 应采用钻芯法对水泥土墙的墙身完整性进行检测，抽检数量不宜少于总桩数的 1%，且不得少于 5 根，并应截取芯样进行抗压强度试验。

3.4.5 地下连续墙墙体完整性应采用声波透射法、钻芯法检测。当地下连续墙作为永久性结构的一部分时，抽检数量不应少于总槽段数的 20%，且不得少于 3 个槽段；当地下连续墙作为临时性结构时，抽检数量不应少于总槽段数的 10%，且不得少于 3 个槽段。

3.4.6 应对逆作拱墙的施工质量进行检测，抽检数量为每 100m² 墙面一组，每组不应少于 3 点，检测方法可采用结构钻芯法。

3.5 基础检测和沉降观测规定

3.5.1 扩展基础、柱下条形基础、筏形基础和桩基础承台应进行混凝土强度检测，单位工程抽检数量不应少于构件总数的 10%，且不应少于 3 个构件。检测方法可采用钻芯法和回弹法；采用钻芯法检测时，每个构件钻芯样孔不应少于 3 个，每孔截取 1 个芯样试件，对于截面尺寸较小的构件不应少于 2 个孔。

3.5.2 钢筋混凝土基础和桩基础承台宜进行保护层厚度检测，单位工程抽检数量不宜少于构件总数的 10%。

3.5.3 下列建筑物应进行沉降观测直至沉降达到稳定标准：

- 1 地基基础设计等级为甲级的建筑物；
- 2 复合地基或软弱地基上的地基基础设计等级为乙级的建筑物；
- 3 基础有严重质量问题并经工程处理的建筑物；

- 4 受施工影响的邻近建筑物
- 5 受场地地下水等环境因素变化影响的建筑物；
- 6 改扩建工程和加层工程；
- 7 采取新型基础或新型结构的建筑物；
- 8 设计要求进行沉降观测的建筑物。

3.6 验证与扩大检测

3.6.1 当对检测结果有异议时，应在原试验点附近重新选点进行试验或在原受检桩上进行验证检测，验证检测的抽检数量宜根据实际情况确定。验证检测应符合下列规定：

- 1 可根据平板载荷试验结果，综合分析评价标准贯入试验、静力触探试验、圆锥动力触探试验、十字板剪切试验等地基承载力检测结果。
- 2 桩身浅部缺陷可采用开挖验证。
- 3 桩身或接头存在缺陷的预制桩可采用高应变法进行验证，必要时应进行水平荷载试验或竖向抗拔静载试验。
- 4 可采用钻芯法、高应变法验证低应变法检测结果。
- 5 对于声波透射法检测结果有异议时，可重新组织声波透射法检测，或在同一基桩进行钻芯法验证。
- 6 可在同一基桩增加钻孔验证钻芯法检测结果。
- 7 可采用单桩竖向抗压静载试验验证高应变法单桩承载力检测结果。

3.6.2 当检测结果不满足设计要求时，应进行扩大抽检。扩大抽检应采用原抽检用的检测方法或准确度更高的检测方法。当因未埋设声测管而无法采用声波透射法扩大检测时，应采用钻芯法。扩大抽检的数量宜按不满足设计要求的桩数加倍扩大抽检：

- 1 当平板载荷试验、锚杆及土钉试验、单桩承载力检测或钻芯法抽检结果不满足设计要求时，应按不满足设计要求的数量加倍扩大抽检。
- 2 当采用低应变法抽检桩身完整性所发现的Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于抽检桩数的 20%时，应按原抽检比例扩大抽检，当两次抽检的Ⅲ、Ⅳ类桩之和仍大于抽检桩数的 20%时，该批桩应全数检测。当Ⅲ、Ⅳ类桩之和不大于抽检桩数的 20%时，应研究确定处理方案或扩大抽检的方法和数量。
- 3 当采用高应变法和声波透射法抽检桩身完整性所发现的Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于抽检桩数的 20%时，应按原抽检比例扩大抽检。当Ⅲ、Ⅳ类桩之和不大于抽检桩数的 20%时，应研究确定处理方案或扩大抽检的方法和数量。
- 4 标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验等

方法抽检孔数超过 30%不满足设计要求时，应按不满足设计要求的孔数加倍扩大抽检，或适当增加平板载荷试验数量。

5 当扩展基础、柱下条形基础、筏形基础和桩基础承台的混凝土强度检测结果不满足设计要求时，应按不满足设计要求的数量加倍扩大抽检。检测方法宜采用钻芯法。

注：1、当预制桩检测结果不满足设计要求时，可采用全部复打或复压，然后重新按照本规范第 3.5 节的规定进行抽检；

2、当检测结果满足修改后的设计要求时，可以不进行扩大抽检。

3.6.3 验证检测和首次扩大抽检后，应根据检测结果，由监理单位或建设单位会同检测、勘察、设计、施工单位共同研究确定处理方案或进一步抽检的方法和数量。

当对检测结果有怀疑或有争议但又不具备重新检测和验证检测条件时，应由监理单位或建设单位会同检测、勘察、设计、施工单位共同研究确定处理方案。

3.7 检测结果评价和检测报告

3.7.1 标准贯入试验、静力触探试验，圆锥动力触探试验和十字板剪切试验应给出每个试验孔的检测结果和单位工程的主要土层的评价结果。

3.7.2 平板载荷试验应给出每个点的承载力特征值 and 单位工程的地基承载力特征值，并给出单位工程的地基承载力特征值是否满足设计要求的结论。

3.7.3 桩身完整性检测结果应给出每根受检桩的桩身完整性类别。桩身完整性分类应符合表 3.7.3 的规定，并按本规范第 9～12 章分别规定的技术内容划分。

表 3.7.3 桩身完整性分类表

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

注：1 应进一步确定 III 类桩桩身缺陷对桩身结构承载力的影响程度；

2 IV 类桩应进行工程处理。

3.7.4 工程桩承载力检测结果应给出每根受检桩的承载力是否满足设计要求的结论。

3.7.5 受检桩检测后可能影响该桩的正常使用时，应在检测报告中予以说明。

3.7.6 检测报告应结论准确、用词规范，对容易混淆的术语和概念应以本规范

为准。

3.7.7 检测报告应包含以下内容：

- 1 委托方名称，工程名称、工程地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，基础类型，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期；
- 2 主要岩土工程勘察资料；
- 3 检测对象的编号、位置和相关施工记录；
- 4 主要检测仪器设备；
- 5 检测方法；
- 6 实测与计算分析图表和检测数据汇总结果；
- 7 检测过程中的异常情况描述（必要时）；
- 8 检测结论。

4 标准贯入试验

4.1 适用范围

4.1.1 标准贯入试验可用于以下地基检测：

1 推定砂土、粉土、粘性土、花岗岩残积土等天然地基的地基承载力，鉴别其岩土性状。

2 推定非碎石土换填地基、强夯地基、预压地基、不加填料振冲加密处理地基、注浆处理地基等处理土地基的地基承载力，评价其地基处理效果。

3 评价复合地基增强体的施工质量。

4.1.2 标准贯入试验鉴别混凝土灌注桩桩端持力层岩土性状可参照本章执行。

4.2 设备

4.2.1 标准贯入试验的设备应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 标准贯入试验设备规格

落 锤		锤的质量（kg）	63. 5±0. 5
		落 距（cm）	76±2
贯入器	对开管	长 度（mm）	>500
		外 径（mm）	51±1
		内 径（mm）	35±1
	管 靴	长 度（mm）	50～76
		刃口角度（° ）	18～20
		刃口单刃厚度（mm）	2. 5
钻 杆		直 径（mm）	42～50
		相对弯曲	<0. 5%

4.2.2 应采用自动脱钩的自由落锤法进行标准贯入试验。

4.3 现场检测

4.3.1 标准贯入试验孔应采用回转钻进。标准贯入试验孔钻进时，应保持孔内水位略高于地下水位。当孔壁不稳定时，可用泥浆护壁。钻至试验标高以上 15cm 处，清除孔底残土后再进行试验。

4.3.2 标准贯入试验落锤高度为 76 ± 2 cm，锤击速率应小于 30 击/min。试验时，应保持贯入器、探杆、导向杆联接后的垂直度，减小导向杆与锤间的摩阻力，避免锤击偏心和侧向晃动。

4.3.3 贯入器打入土中 15cm 后,开始记录每打入 10cm 的锤击数,累计打入 30cm 的锤击数为标准贯入试验实测锤击数 N' 。当锤击数已达 50 击,而贯入深度未达 30cm 时,应记录 50 击的总贯入深度,按式 (4.3.3) 计算标准贯入试验实测锤击数 N' ,并终止试验。

$$N' = 30 \times \frac{50}{\Delta S} \quad (4.3.3)$$

式中 N' ——标准贯入试验实测锤击数;

ΔS ——50 击的总贯入深度 (cm)。

注:当鉴别混凝土灌注桩桩端持力层岩土性状时,标准贯入锤击数应达 100 击方可终止试验。

4.3.4 贯入器拔出后,应对贯入器中的土样进行鉴别描述。

4.3.5 每个检测孔的标准贯入试验次数不应少于 3 次,同一检测孔的标准贯入试验点间距宜为等间距,深度间距宜为 1.0~1.5m。

当鉴别混凝土灌注桩桩端持力层岩土性状时,宜在距桩底 1m 内进行标准贯入试验。

4.3.6 标准贯入试验数据可按附录 A 附表 A.0.1 的格式进行记录。

4.4 检测数据分析与判定

4.4.1 当确定地基承载力特征值时宜采用经过修正的标准贯入试验锤击数 N ,当判别砂土、粉土液化和鉴别土的岩土性状时宜采用标准贯入试验实测锤击数 N' 。当须作杆长修正时,锤击数应按式 (4.4.1) 进行钻杆长度修正。

$$N = \alpha N' \quad (4.4.1)$$

式中 N ——标准贯入试验修正锤击数;

N' ——标准贯入试验实测锤击数;

α ——触探杆长度修正系数,可按表 4.4.1 确定。

表 4.4.1 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
α	1.00	0.92	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70

4.4.2 对于天然土地基和处理土地基,标准贯入试验结果应提供每个检测孔的标准贯入试验修正锤击数 N (或标准贯入试验实测锤击数 N') 及土层分类与深度的关系曲线或表格。对于复合地基增强体,标准贯入试验结果应提供每个检测孔的标准贯入试验修正锤击数 N 与深度的关系曲线或表格。

4.4.3 应根据不同深度的标准贯入试验锤击数,采用平均值法计算每个检测孔

的标准贯入锤击数代表值。

4.4.4 单位工程同一土层的标准贯入锤击数标准值 N_k ，应根据各检测孔的同一土层的标准贯入试验锤击数平均值按附录 B 的计算方法确定。统计同一土层标准贯入试验锤击数平均值时，应剔除异常值。

4.4.5 砂土、粉土、粘性土、花岗岩残积土等岩土性状可根据标准贯入试验实测锤击数标准值按下列规定进行评价：

- 1 砂土的密实度可按表 4.4.5-1 分为松散、稍密、中密、密实。

表 4.4.5-1 砂土的密实度分类

标准贯入试验锤击数 N'	密实度
$N' \leq 10$	松散
$10 < N' \leq 15$	稍密
$15 < N' \leq 30$	中密
$N' > 30$	密实

- 2 粉土的密实度可按表 4.4.5-2 分为松散、稍密、中密、密实。

表 4.4.5-2 粉土的密实度分类

标准贯入试验锤击数 N'	密实度
$N' \leq 5$	松散
$5 < N' \leq 10$	稍密
$10 < N' \leq 15$	中密
$N' > 15$	密实

- 3 粘性土的状态可按表 4.4.5-3 分为流塑、软塑、可塑、硬塑、坚硬。

表 4.4.5-3 粘性土的状态分类

标准贯入试验锤击数 N'	状态
$N' \leq 2$	流塑
$2 < N' \leq 4$	软塑
$4 < N' \leq 18$	可塑
$18 < N' \leq 35$	硬塑
$N' > 35$	坚硬

- 4 花岗岩类岩石的风化程度可按表 4.4.5-4 确定。风化软岩可参照执行。

表 4.4.5-4 花岗岩类岩石的风化程度

标准贯入试验锤击数 N'	风化程度
$N' < 30$	残积土
$30 \leq N' < 50$	全风化

$N' \geq 50$	强风化
--------------	-----

5 桩端持力层岩土性状的判别可参照本条第 1-4 款执行。

4.4.6 砂土、粉土、粘性土、花岗岩残积土等地基土承载力特征值可根据标准贯入试验修正锤击数标准值 N_k 参照表 4.4.6-1~4.4.6-4 进行推定。

表 4.4.6-1 砂土承载力特征值 f_{ak} (kPa)

N_k 土的名称	10	20	30	50
中砂、粗砂	180	250	340	500
粉砂、细砂	140	180	250	340

表 4.4.6-2 粉土承载力特征值 f_{ak} (kPa)

N_k	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f_{ak}	105	125	145	165	185	205	225	245	265	285	305	325	345

表 4.4.6-3 粘性土承载力特征值 f_{ak} (kPa)

N_k	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
f_{ak}	105	145	190	235	280	325	370	430	515	600	680

表 4.4.6-4 花岗岩残积土（全风化岩）承载力特征值 f_{ak} (kPa)

N_k	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
f_{ak}	100	150	200	240	280	320	360	420	500	580	660

4.4.7 处理土地基的地基处理效果宜根据检测孔的标准贯入锤击数代表值、同一土层的标准贯入试验锤击数标准值做出相应的评价：

1 非碎石土换土垫层（粉质粘土、灰土、粉煤灰和砂垫层）的施工质量（密实度、均匀性）。

2 强夯地基、预压地基、不加填料振冲加密处理地基、注浆地基等处理土地基的均匀性；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 判定处理后的砂土、粉土液化应按照《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 执行。

4.4.8 非碎石土换填地基、预压处理地基、强夯处理地基、不加料振冲加密处理地基等处理土地基可参照本规范第4.4.6条推定地基承载力和本规范第4.4.5条判断岩土性状。

4.4.9 复合地基增强体的施工质量宜根据单桩检测孔的标准贯入锤击数代表值做出相应的评价，评价内容可包括桩身强度和均匀性。

4.4.10 检测报告除应包括本规范第3.7.8条内容外，还应包括下列内容：

- 1 标准贯入锤击数及土层分类与深度关系曲线；
- 2 每个检测孔的标准贯入锤击数代表值；
- 3 同一土层或同一深度范围的标准贯入锤击数标准值；
- 4 岩土性状分析或地基处理效果评价；
- 5 对地基（土）检测时，提供地基（土）承载力特征值。

5 圆锥动力触探试验

5.1 适用范围

5.1.1 圆锥动力触探试验可用于推定天然地基的地基承载力，鉴别其岩土性状；推定处理土地基的地基承载力，评价其地基处理效果；检验复合地基增强体的桩体成桩质量；评价强夯置换墩着底情况；鉴别混凝土灌注桩桩端持力层岩土性状。

5.1.2 圆锥动力触探试验的类型有轻型、重型和超重型三种。应根据地质条件合理选择圆锥动力触探试验类型。

5.1.3 轻型动力触探试验可用于推定换填地基、粘性土、粉土、粉砂、细砂及其处理土地基的地基土承载力，鉴别地基土性状，评价处理土地基的施工效果。重型动力触探试验可用于推定粘性土、粉土、砂土、中密以下的碎石土、极软岩及其处理土地基的地基土承载力，鉴别地基土岩土性状，评价处理土地基的施工效果；也可用于检验振冲桩、砂石桩的成桩质量。超重型动力触探试验可用于推定密实碎石土、极软岩和软岩等地基承载力。

5.2 设备

5.2.1 圆锥动力触探试验的设备规格应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 圆锥动力触探试验设备规格

类 型		轻 型	重 型	超 重 型
落 锤	锤的质量 (kg)	10.0±0.2	63.5±0.5	120±1
	落 距 (cm)	50±2	76±2	100±2
探 头	直 径 (mm)	40±1	74±1	74±1
	锥 角 (°)	60±2	60±2	60±2
探杆直径 (mm)		25±1	42~50	50~60

5.2.2 重型及超重型圆锥动力触探的落锤应采用自动脱钩装置。

5.2.3 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。

5.3 现场检测

5.3.1 圆锥动力触探试验应采用自由落锤。

5.3.2 圆锥动力触探试验应连续锤击贯入，锤击速率宜为 15~30 击/min。轻型动力触探锤的落距应为 50cm，重型动力触探锤的落距应为 76cm，超重型动力触探锤的落距应为 100cm。试验时，应避免锤击偏心和侧向晃动，圆锥动力触探孔

倾斜度不应大于 2%。

5.3.3 每贯入 1m，应将探杆转动一圈半。

5.3.4 应及时记录试验段深度和锤击数。轻型动力触探记录每贯入 30cm 的锤击数（记为 N_{10} ）；重型及超重型动力触探记录每贯入 10cm 的锤击数（分别记为 $N_{63.5}'$ 、 N_{120}' ）。

5.3.5 对于轻型动力触探，当 $N_{10} > 100$ 或贯入 15cm 的锤击数超过 50 时，可终止试验。贯入 15cm 时锤击数超过 50 时，轻型动力触探锤击数取为 2 倍的实际锤击数。

5.3.6 对于重型动力触探，当连续三次 $N_{63.5}' > 50$ 时，可终止试验或改用超重型动力触探。当有硬夹层时，宜穿过硬夹层后继续试验。

5.3.7 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。

5.3.8 圆锥动力触探试验数据可按附录 A 附表 A.0.2 的格式进行记录。

5.4 检测数据分析与判定

5.4.1 重型及超重型动力触探锤击数应按附录 C 的规定进行修正。

5.4.2 对于每个检测孔，动力触探试验结果宜绘制动力触探锤击数与试验深度关系曲线图表。

5.4.3 应根据不同深度的动力触探锤击数，采用平均值法计算每个检测孔的动力触探锤击数代表值。

5.4.4 单位工程同一土层的动力触探锤击数标准值，应根据各检测孔的同一土层的动力触探锤击数平均值按附录 B 的计算方法确定。统计同一土层动力触探锤击数平均值时，应剔除临界深度以内的数值、超前和滞后影响范围内的异常值。

应根据动力触探锤击数沿深度的分布趋势结合岩土工程勘探资料进行土层划分。

5.4.5 地基土的岩土性状、处理土地基的处理效果可根据单位工程各检测孔的动力触探锤击数代表值、同一土层的动力触探锤击数标准值、变异系数进行评价。处理土地基的处理效果宜根据处理前后的检测结果进行评价。

5.4.6 当采用圆锥动力触探试验实际锤击数评价复合地基竖向增强体的施工质量时，宜仅对单个增强体的试验结果进行统计和评价。

5.4.7 可参照表 5.4.7，根据轻型动力触探锤击数标准值，推定地基（土）承载力特征值。

表 5.4.7 N_{10} 轻型动力触探试验推定地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)

N_{10}	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
----------	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

一般粘性土地基	50	70	100	140	180	220	260	300	340	380
粘性素填土地基	60	80	95	110	120	130	140	150	160	170
粉土、粉细砂土地基	55	70	80	90	100	110	125	140	150	160

5.4.8 可参照表 5.4.8，根据重型动力触探锤击数标准值，推定地基（土）承载力特征值。

表 5.4.8 $N_{63.5}$ 重型动力触探试验推定地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)

$N_{63.5}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
一般粘性土地基	120	150	180	210	240	265	290	320	350	375	400	425	450	475	500
中砂、粗砂土地基	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640
粉砂、细砂土地基		75	100	125	150	175	200	225	250						

5.4.9 可参照表 5.4.9-1 ~5.4.9-6，根据重型或超重型动力触探锤击数标准值，评价粘性土状态，砂土、碎石土（桩）密实度和推定碎石土地基承载力特征值。

表 5.4.9-1 粘性土状态按 $N_{63.5}$ 分类

$N_{63.5}$	$N_{63.5} \leq 1.5$	$1.5 < N_{63.5} \leq 3$	$3 < N_{63.5} \leq 7.5$	$7.5 < N_{63.5} \leq 10$	$N_{63.5} > 10$
状态	流塑	软塑	可塑	硬塑	坚硬

表 5.4.9-2 砂土密实度按 $N_{63.5}$ 分类

修正后 $N_{63.5}$	$N_{63.5} \leq 4$	$4 < N_{63.5} \leq 6$	$6 < N_{63.5} \leq 9$	$N_{63.5} > 9$
密实度	松散	稍密	中密	密实

表 5.4.9-3 碎石土密实度按 $N_{63.5}$ 分类

$N_{63.5}$	密实度	$N_{63.5}$	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等于或小于 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 5.4.9 - 4 碎石桩密实度按 $N_{63.5}$ 分类

修正后 $N_{63.5}$	$N_{63.5} < 4$	$4 \leq N_{63.5} \leq 5$	$5 < N_{63.5} \leq 7$	$N_{63.5} > 7$
密实度	松散	稍密	中密	密实

表 5.4.9 - 5 碎石土密实度按 N_{120} 分类

N_{120}	密实度	N_{120}	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		

表 5.4.9 - 6 碎石土承载力特征值 f_{ak} (kPa)

密实度 土的名称	稍密	中密	密实
卵石	300~500	500~800	800~1000
碎石	200~400	400~700	700~900
圆砾	200~300	300~500	500~700
角砾	150~200	200~400	400~600

5.4.10 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可参照本规范第 5.4.7 和 5.4.8 条推定地基承载力特征值。

5.4.11 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括下列内容：

- 1 动力触探锤击数与贯入深度关系曲线图（表）；
- 2 每个检测孔的动力触探锤击数代表值；
- 3 同一土层的动力触探锤击数标准值；
- 4 提供地基（土）密实度和承载力特征值。

6 静力触探试验

6.1 适用范围

6.1.1 静力触探试验可用于推定软土、一般粘性土、粉土、砂土和含少量碎石及其经过强夯处理、预压处理等地基（土）承载力。

6.2 仪器设备

6.2.1 静力触探试验的触探头根据其结构和功能，主要分为单桥触探头和双桥触探头两种，单桥触探可测定比贯入阻力（ p_s ）、双桥触探可测定锥尖阻力（ q_c ）和侧壁摩阻力（ f_s ）。

6.2.2 单桥触探头和双桥触探头的规格应符合表 6.2.2 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 双桥探头的摩擦筒应紧挨锥头，当联结部位有倒角时，其倒角应为 45° ，且摩擦筒与锥头的间距不应大于 10mm。
- 3 双桥探头锥头等直径部分的高度，不应超过 3mm。

表 6.2.2 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	133.7
15	43.7	60	70	300	218.5
20	50.4	60	81	300	189.5

6.2.3 静力触探头应连同仪器、电缆进行定期率定，率定方法应符合附录 D 的规定。室内探头率定的非线性误差、重复性误差、滞后误差、温度漂移、归零误差均应小于 1%FS。现场归零误差应小于 3%，绝缘电阻不小于 $500\text{M}\Omega$ 。

6.2.4 静力触探试验的量测仪器宜采用专用的静力触探试验记录仪。仪器应能在温度 $-10^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$ 的环境中工作，温度漂移误差应小于 $0.01\%\text{FS}/^\circ\text{C}$ 。

6.2.5 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。

6.2.6 触探杆直径应小于触探头的锥底直径。

6.2.7 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。

6.3 现场检测

6.3.1 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。

6.3.2 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；当发现异常情况时，应重新率定。率定结果应满足本规范第 6.2.3 条的技术要求。率定方法应符合本规范附录 D 的规定。

6.3.3 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。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 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。

4 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。

6.3.4 静力触探试验记录应符合下列规定：

1 贯入过程中，可每隔 2~3m 提升探头一次，测读零漂值或调整零位。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 0.1~0.2m，同一检测孔的测点间距应保持不变。

3 应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 应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。

6.3.5 当出现下列情况之一时，应终止试验：

- 1 达到试验要求的测试深度；
- 2 触探头的贯入阻力达到额定荷载值；
- 3 反力装置失效；
- 4 静力触探孔倾斜度大于 2%。

6.3.6 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。

6.3.7 当采用人工记录时，静力触探试验数据可按附录 A 附表 A.0.3 的格式进行记录。

6.4 检测数据分析与判定

6.4.1 出现下列情况时，宜对试验数据进行处理：

- 1 出现零位漂移超过满量程的 $\pm 1\%$ 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。

6.4.2 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：

$$p_s = K_p \cdot (\varepsilon_p - \varepsilon_0) \quad (6.4.2-1)$$

$$q_c = K_q \cdot (\varepsilon_q - \varepsilon_0) \quad (6.4.2-2)$$

$$f_s = K_f \cdot (\varepsilon_f - \varepsilon_0) \quad (6.4.2-3)$$

$$\alpha = f_s / q_c \quad (6.4.2-4)$$

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/ $\mu\varepsilon$)；

K_q ——双桥探头的锥尖阻力率定系数 (kPa/ $\mu\varepsilon$)；

K_f ——双桥探头的侧壁摩阻力率定系数 (kPa/ $\mu\varepsilon$)；

ε_p ——单桥探头的比贯入阻力应变量 ($\mu\varepsilon$)；

ε_q ——双桥探头的锥尖阻力应变量 ($\mu\varepsilon$)；

ε_f ——双桥探头的侧壁摩阻力应变量 ($\mu\varepsilon$)；

ε_0 ——触探头的初始读数或零读数应变量 ($\mu\varepsilon$)。

6.4.3 对于每个检测孔，单桥探头应整理并绘制比贯入阻力与深度的关系曲线，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。

6.4.4 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土层力学分层。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土层力学分层。

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。

进行土层力学分层时，每层中最大贯入阻力与最小贯入阻力之比，不应超过表 6.4.4 的规定。

表 6.4.4 土层力学分层按贯入阻力变化幅度的分层标准

p_s 或 q_c (MPa)	最大贯入阻力与最小贯入阻力之比
≤ 1.0	1.0~1.5
1.0~3.0	1.5~2.0
≥ 3.0	2.0~2.5

6.4.5 应根据不同深度的静力触探试验结果，采用平均值法计算每个检测孔的比贯入阻力或锥尖阻力代表值。计算平均值和标准值时，应剔除临界深度以内的数值、超前和滞后影响范围内的异常值。

6.4.6 应根据土层力学分层和地质分层综合确定同一土层。单位工程同一土层的比贯入阻力或锥尖阻力标准值，应根据各检测孔的同一土层比贯入阻力或锥尖阻力平均值按附录 B 的计算方法确定。

6.4.7 静力触探结果宜结合平板载荷试验结果对地基（土）承载力特征值作出评价。当单独采用静力触探结果评价地基（土）时，可参照表 6.4.7-1~6.4.7-2（当采用 q_c 值时，取 $p_s=1.1q_c$ ），根据比贯入阻力或锥尖阻力标准值，推定地基（土）承载力特征值 f_{ak} 和变形模量 E_0 。

6.4.7-1 地基（土）承载力特征值 f_{ak} 与比贯入阻力或锥尖阻力标准值的关系（单位：kPa）

f_{ak}	p_s 适用范围	适用土类
$0.112p_s+5$	85~800	软土（淤泥、淤泥质土）
$0.02p_s+59.5$	1000~15000	粉细砂
$0.036p_s+76.6$	1000~10000	中粗砂
$0.036p_s+44.6$		粉土
$5.8p_s^{0.5}-46$	≤ 6000	一般粘性土
$0.091p_s+18.8$	2000~6000	老粘性土

6.4.7-2 变形模量 E_0 的经验关系（单位：MPa）

E_0	p_s 适用范围	适用土类
$6.03p_s^{1.45}+0.8$	0.085~2.5	软土、饱和粘性土 (Q_4)
$11.78p_s-4.69$	3~6	粘性土 (Q_1-Q_4)
$3.57p_s^{0.684}$	1~20	细砂、粉砂、粉土

6.4.8 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括下列内容：

- 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；
- 2 每个检测孔的比贯入阻力或锥尖阻力代表值；
- 3 同一土层的比贯入阻力或锥尖阻力标准值；
- 4 提供地基（土）变形模量参考值和承载力特征值。

7 十字板剪切试验

7.1 适用范围

7.1.1 十字板剪切试验可用于检测软粘性土及其预压处理地基的不排水抗剪强度和灵敏度。

7.2 仪器设备

7.2.1 十字板剪切仪根据其测力方式，主要分为机械式和电测式。

机械式十字板剪切仪是利用蜗轮旋转插入土层中的十字板头，由开口钢环测出抵抗力矩，计算土的抗剪强度。

电测式十字板剪切仪是通过在十字板头上连接处贴有电阻片的受扭力矩的传感器，用电阻应变仪测剪切扭力。

7.2.2 十字板形状宜为矩形，宽高比 1:2，板厚宜为 2~3mm；其规格应符合表 7.2.2 的规定。

表 7.2.2 十字板主要规格

板宽(B) (mm)	板高(H) (mm)	板厚 (mm)	刃角 (°)	轴杆直径 (mm)	面积比(%)
50	100	2	60	13	14
75	150	3	60	16	13

7.2.3 扭力测量设备的主要技术指标应符合表 7.2.3 的规定。

表 7.2.3 扭力测量设备主要技术指标

扭矩测量范围(Nm)	扭矩角测量范围(°)	扭转速率(°/min)
0~80	0~360	6~12

7.2.4 十字板剪切仪的性能指标应符合下列规定：

1 试验前，十字板探头应连同量测仪器、电缆进行率定，室内探头率定测力传感器的非线性误差、重复性误差、滞后误差、归零误差均应小于 1%FS，现场归零误差应小于 3%，温度漂移应小于 0.01%FS/℃，绝缘电阻不小于 500MΩ。

2 十字板剪切仪的测量精度应达到 1kPa。

3 仪器应能在温度-10℃~45℃的环境中工作。

7.2.5 十字板剪切试验的量测仪器宜采用专用的试验记录仪。

7.2.6 十字板剪切试验的讯号传输线应采用屏蔽电缆。

7.2.7 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。

7.3 现场检测

7.3.1 平整场地和安装仪器设备应符合下列规定：

- 1 检测孔应避开地下电缆、管线及其它地下设施；
- 2 当检测附近处地面不平时，应平整场地；
- 3 设备安装应平稳。

7.3.2 机械式十字板剪切仪试验操作应符合下列规定：

- 1 利用钻孔辅助设备成孔，将套管下至欲测深度以上 3~5 倍套管直径处，并清除孔内残土。
- 2 将十字板头、轴杆与探杆逐节连接并拧紧，然后下放孔内至十字板头与孔底接触。
- 3 接上导杆，将底座穿过导杆固定在套管上，用制紧螺丝拧紧，然后将十字板头压入土内欲测深度处；当试验深度处为较硬夹层时，应穿过该层再进行试验。十字板插入至试验深度后，至少应静止 3min，方可开始试验。
- 4 先提升导杆 2~3 厘米，使离合器脱离，用旋转手柄快速旋转导杆十余圈，使轴杆摩擦减至最低值，然后再合上离合器。
- 5 安装扭力测量设备，测读初始读数 P_0 。
- 6 施加扭力，以 6~12 度/min 的转速旋转，每 1~2 度测读数据一次。当出现峰值或稳定值后，再继续测读 1 min。其峰值或稳定值读数即为原状土剪切破坏时的读数 P_f 。
- 7 松开导杆夹具，测读初始读数 P'_0 或调整零位，再用扳手或管钳快速将钻杆反方向转动 6 圈，使十字板头周围土充分扰动，进行重塑土的试验，测得最大读数 P'_f 。
- 8 依次进行下一个测试深度处的剪切试验。
- 9 待全孔试验完毕后，逐节提取探杆与十字板头，清洗干净，检查各部件的完好程度，妥善保存，不应使板头暴晒。

7.3.3 电测式十字板剪切试验操作应符合下列规定：

- 1 十字板探头压入前，宜将探头的电缆线一次穿入需用的全部探杆。
- 2 现场量测仪器应与率定探头时的量测仪器相同。贯入前，应连接量测仪器对探头进行试力，检查探头是否能正常工作。
- 3 将十字板头直接缓慢贯入至欲测深度处，使用旋转装置卡盘卡住探杆；至少应静止 3min 后，测读初始读数 ε_0 或调整零位，方可开始正式试验。
- 4 施加扭力，以 6~12 度/min 的转速旋转，每 1~2 度测读数据一次。当出现峰值或稳定值后，再继续测读 1 min。其峰值或稳定值读数即为原状土剪切破坏时的读数 ε 。

5 松开导杆夹具，测读初始读数 ε'_0 或调整零位，再用扳手或管钳快速将钻杆反方向转动 6 圈，使十字板头周围土充分扰动，进行重塑土的试验，测得最大读数 ε' 。

6 依次进行下一个测试深度处的剪切试验。

7 待全孔试验完毕后，逐节提取探杆与十字板头，清洗干净，检查各部件的完好程度，妥善保管，不应使探头暴晒，严禁用电缆线提拉探头。

7.3.4 每个检测孔的十字板剪切试验次数不应少于 3 次，深度间距宜为 1.5~2.0m，深度间距最小值不应小于 0.8m。

7.3.5 十字板剪切试验记录应符合下列规定：

- 1 应记录初始读数、扭矩的峰值或稳定值；
- 2 十字板探头的编号、十字板常数 K_c 、率定系数；
- 3 及时记录贯入过程中发生的各种异常或影响正常贯入的情况。

7.3.6 当出现下列情况之一时，可终止试验：

- 1 达到检测要求的测试深度；
- 2 十字探头的阻力达到额定荷载值；
- 3 电信号陡变或消失；
- 4 探杆倾斜度超过 2%。

7.3.7 当采用人工记录时，十字板剪切试验数据可按附录 A 附表 A.0.4 的格式进行记录。

7.4 检测数据分析与判定

7.4.1 出现下列情况时，宜对试验数据进行处理：

- 1 出现零位漂移超过满量程的 $\pm 1\%$ 时，可按线性内插法校正。
- 2 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。

7.4.2 机械式十字板剪切仪的十字板常数 K_c 按下式计算：

$$K_c = \frac{2R}{\pi B^2 \left(\frac{B}{3} + H \right)} \quad (7.4.2)$$

式中 K_c ——机械式十字板剪切仪的十字板常数 ($1/\text{mm}^2$)；

R ——施力转盘半径 (mm)；

B —— 十字板板宽 (mm)；

H —— 十字板板高 (mm)。

7.4.3 地基土不排水抗剪强度 C_u 按下列公式计算:

$$C_u = 100K_c (P_f - P_0) \quad (7.4.3-1)$$

或

$$C_u = K (\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (7.4.3-2)$$

式中 C_u ——地基土不排水抗剪强度 (kPa), 精确至 0.1kPa;

P_f ——剪损土体的总作用力 (N);

P_0 ——轴杆与土体间的摩擦力和仪器机械阻力 (N);

K ——电测式十字板剪切仪的探头率定系数 (kPa/ $\mu\varepsilon$);

ε ——剪损土体的总作用力对应的应变测试仪读数 ($\mu\varepsilon$);

ε_0 ——初始读数 ($\mu\varepsilon$)。

7.4.4 地基土重塑土强度 C'_u 按下列公式计算:

$$C'_u = K_c (P'_f - P'_0) \quad (7.4.4-1)$$

或

$$C'_u = K (\varepsilon' - \varepsilon'_0) \quad (7.4.4-2)$$

式中 C'_u ——地基土重塑土强度 (kPa), 精确至 0.1kPa;

P'_f ——剪损重塑土体的总作用力 (N);

ε' ——剪损重塑土对应的最大应变值;

P'_0 、 ε'_0 ——重塑土强度测试前的初始读数。

7.4.5 土的灵敏度 C_t 按下式计算:

$$C_t = C_u / C'_u \quad (7.4.5)$$

式中 C_t ——土的灵敏度。

7.4.6 对于每个检测孔, 应计算不同测试深度的地基土的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度; 绘制地基土的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度与深度的关系图表。

需要时绘制不同检测孔、不同测试深度的抗剪强度与扭转角度的关系图表。

7.4.7 应根据不同深度的十字板剪切试验结果, 采用平均值法计算每个检测孔的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的代表值。

7.4.8 单位工程同一土层的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的标准值, 应根据各检测孔的同一土层的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度按附录 B 的计算方法确定。统计计算时应剔除异常值。

7.4.9 根据地基土的不排水抗剪强度、灵敏度及其变化对软土地基的固结情况及加固效果进行评价。

7.4.10 十字板剪力试验结果宜结合平板载荷试验结果对地基土承载力特征值作出评价。当单独采用十字板剪力试验统计结果评价地基（土）时，可根据不排水抗剪强度标准值，推定地基土承载力特征值。

7.4.11 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括下列内容：

- 1 地基土的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度与深度的关系图表；
- 2 每个检测孔的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的代表值；
- 3 同一土层的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的标准值。

8 平板载荷试验

8.1 适用范围

8.1.1 平板载荷试验适用于检测浅部天然地基、处理土地基和复合地基的承载力。

8.1.2 平板载荷试验可确定承压板下应力主要影响范围内天然地基、处理土地基和复合地基的承载力特征值和变形参数。

8.2 仪器设备及其安装

8.2.1 承压板应有足够刚度。承压板可采用圆形、正方形、矩形钢板或钢筋混凝土板。天然地基和处理土地基的承压板尺寸应根据所需评估的地基土的应力主要影响深度范围确定，承压板面积不应小于 0.5m^2 （软土不应小于 1.0m^2 ）。复合地基的承压板面积应等于受检桩（1 根或 1 根以上）所承担的面积，承压板形状宜根据受检桩的分布确定。

8.2.2 试验加载应采用油压千斤顶，千斤顶应位于桩的合力中心。当采用两台及两台以上千斤顶加载时，应符合下列规定：

- 1 千斤顶的规格、型号相同；
- 2 千斤顶的合力中心、承压板中心应在同一铅垂线上；
- 3 千斤顶应并联同步工作。

8.2.3 加载反力装置宜选择压重平台等反力装置，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 应对加载反力装置的主要受力构件进行强度和变形验算；
- 3 压重应在检测前一次加足，并均匀稳固地放置于平台上；
- 4 压重平台支墩施加于地基土上的压应力不宜大于地基土承载力特征值的 1.5 倍。

8.2.4 荷载测量可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定，或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶校准结果换算荷载。

8.2.5 宜采用位移传感器或大量程百分表进行承压板沉降测量，其安装应符合下列规定：

- 1 承压板面积大于等于 1m^2 时，应在其两个方向对称安置 4 个位移测量仪表，承压板面积小于 1m^2 时，可对称安置 2 个位移测量仪表。
- 2 位移测量仪表应安装在承压板上。各位移测量仪表在承压板上的安装点距承压板边缘的距离应一致，宜为 25~50mm。
- 3 应牢固设置基准桩，基准桩和基准梁应具有一定的刚度，梁的一端应固

定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；

4 基准桩、基准梁和固定沉降测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

8.2.6 试验仪器设备性能指标应符合下列规定：

- 1 压力传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级。
- 2 在最大试验荷载时，试验用油泵、油管的压力不应超过规定工作压力的 80%。
- 3 荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于最大试验荷载的 2.5 倍，且不应小于最大试验荷载的 1.2 倍。

4 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。

8.2.7 试验试坑宽度或直径不应小于承压板宽度或直径的三倍。试坑试验标高应与地基土基底设计标高、或复合地基桩顶设计标高一致。天然地基和处理土地基试验时，承压板底面下宜用中粗砂找平，其厚度不超过 20mm；复合地基试验时，承压板底面下应铺设中粗砂垫层，当设计无要求时，其厚度取 50~150mm，桩身强度高时取大值。

8.2.8 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的距离应符合表 8.2.8 的规定。

表 8.2.8 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的净距

承压板与基准桩	承压板与压重平台支墩	基准桩与压重平台支墩
$>b$ 且 $>2.0m$	$>b$ 且 $>B$ 且 $>2.0m$	$>1.5B$ 且 $>2.0m$
注：1 b 为承压板边宽或直径； B 为支墩宽度。 2 对大型平板载荷试验，当基准梁长度达到 12m 或以上，但其基准桩与承压板、压重平台支墩的距离仍不能满足上述要求时，应对基准桩位移进行监测。监测方法可采用二级基准梁系统、或采用分辨力可达到 0.1mm 的水准仪等仪器进行检测。		

8.2.9 试验前应采取措施，防止试验过程中场地地基土含水量的变化或地基土的扰动，影响试验效果。必要时，承压板周边应覆盖防水布。

8.3 现场检测

- 8.3.1 最大试验荷载等于最大试验压力与承压板面积的乘积，最大试验压力应不小于设计要求的地基承载力特征值的 2.0~2.5 倍。
- 8.3.2 正式试验前应进行预压。预压载荷为最大试验荷载的 5~10%。预压后卸载至零，测读位移测量仪表的初始读数或重新调整零位。
- 8.3.3 试验加卸载方式应符合下列规定：
- 1 加载应分级进行，采用逐级等量加载；分级荷载宜为最大试验荷载的 1/8~1/12，其中第一级荷载可取分级荷载的 2 倍；

- 2 卸载应分级进行,每级卸载量取加载时分级荷载的 2 倍,逐级等量卸载;
- 3 加、卸载时应使荷载传递均匀、连续、无冲击,每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过该级增减量的 $\pm 10\%$ 。

8.3.4 试验步骤应符合下列规定:

- 1 每级荷载施加后按第 5、15、30、45、60min 测读承压板的沉降量,以后每隔 30min 测读一次;
- 2 承压板沉降相对稳定标准:试验荷载小于等于特征值对应的荷载时每一小时内的承压板沉降量不超过 0.1mm,试验荷载大于特征值对应的荷载时每一小时内承压板沉降量不超过 0.25mm;
- 3 当承压板沉降速率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 30min,按第 5、15、30min 测读承压板沉降量;卸载至零并测读一次,2h 后再测读一次。

8.3.5 施加荷载未达到最大试验荷载,当出现下列情况之一时,应重新选择试验点进行试验:

- 1 由于加载系统漏油、反力支墩下沉等原因,无法施加荷载;
- 2 已达加载反力装置的最大加载量。

8.3.6 当出现下列情况之一时,可终止加载:

- 1 承压板周围的土明显地侧向挤出;
- 2 沉降急剧增大(本级荷载下的沉降量超过前级的 5 倍),荷载 - 沉降($p - s$)出现陡降段;
- 3 某级荷载作用下,24 小时内沉降速率未能达到相对稳定标准;
- 4 累计沉降量与承压板直径或宽度(矩形承压板取短边)之比大于或等于 0.06;
- 5 加载至最大试验荷载,承压板沉降速率达到相对稳定标准。

8.3.7 当采用人工记录时,平板载荷试验检测数据可按本规范附录 A 附表 A.0.5 的格式记录。

8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 确定地基承载力时,应绘制荷载 - 沉降($Q - s$)、沉降 - 时间对数($s - \lg t$)曲线,需要时也可绘制其他辅助分析曲线。

8.4.2 出现本规范第 8.3.6 条第 1、2、3 款情况时,天然地基、处理土地基或复合地基的极限承载力取为前一级荷载值。出现本规范第 8.3.6 条第 5 款情况时,天然地基、处理土地基或复合地基的极限承载力取大于等于试验最大试验荷载。

8.4.3 确定单个试验点的天然地基、处理土地基或复合地基承载力特征值应符合下列规定：

- 1 当 $Q-s$ 曲线上有比例界限时，取该比例界限所对应的荷载值；
- 2 当能确定极限荷载和比例界限，且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 出现本规范第 8.3.6 条第 5 款情况，且 $Q-s$ 曲线无法确定比例界限，承载力又未达到极限时，取最大试验荷载的一半所对应的荷载值；
- 4 当地基承载力特征值需要按地基变形取值时，可按表 8.4.3 对应的地基变形取值，但所取的承载力特征值不应大于最大试验荷载的 1/2。

表 8.4.3 天然地基、处理土地基及复合地基承载力特征值

地基类型	地基土性质	特征值对应的相对变形值 (s/b)
天然地基、处理土地基	高压缩性土	0.015
	中压缩性土	0.012
	低压压缩性土和砂土	0.01
强夯置换墩	以粘性土、粉质粘土为主的地基	0.01
振冲碎石桩复合地基、 砂石桩复合地基	以粘性土为主的地基	0.013
	以粉土、砂土为主的地基	0.009
水泥粉煤灰碎石桩复 合地基、素混凝土桩复 合地基	以卵石、圆砾、密实粗中砂为主	0.008
	以粘性土、粉土为主的地基	0.01
旋喷桩复合地基	以粘性土、粉质粘土为主的地基	0.007
水泥搅拌桩复合地基	以粘性土、粉质粘土为主的地基	0.005
注：1 s 为与承载力特征值对应的承压板的沉降量； b 为承压板的宽度或直径，当 b 大于 2m 时，按 2m 计算； 2 水泥搅拌桩复合地基用于小区道路工程时， s/b 可取 0.01。		

8.4.4 确定单位工程的天然地基、处理土地基及复合地基承载力特征值应符合下列规定：

- 1 同一条件下参加统计的试验点不应少于 3 点，当满足其极差不超过平均值的 30% 时，取其平均值作承载力的特征值。
- 2 当极差超过平均值的 30% 时，应分析极差过大的原因，结合工程具体情况综合确定。必要时可增加试验点数量。

8.4.5 天然地基、处理土地基或复合地基的变形模量按下式计算：

$$E_0 = I_0 (1 - \mu^2) pb/s \quad (8.4.5)$$

式中 E_0 —— 变形模量 (MPa) ；

I_0 —— 承压板形状系数，圆形取 0.785，方形取 0.886；

μ —— 土的泊松比（碎石土取 0.27，砂土取 0.30，粉土取 0.35，粉质粘土取 0.38，粘土取 0.42）；

b —— 承压板边宽或直径（m）；

p —— 地基承载力特征值（kPa）；

s —— 与承载力特征值对应的沉降量（mm）。

8.4.6 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括下列内容：

- 1 承压板形状及尺寸；
- 2 荷载分级；
- 3 本规范第 8.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 4 承载力判定依据；
- 5 每点的承载力特征值；
- 6 单位工程的承载力特征值。

9 低应变法

9.1 适用范围

9.1.1 低应变法适用于检测钢筋混凝土桩的桩身完整性，判定桩身缺陷的程度及位置。

水泥粉煤灰碎石桩、素混凝土桩的桩身完整性检测可参照本章执行。

9.1.2 低应变法的有效检测深度应通过现场试验确定。

9.2 仪器设备

9.2.1 检测仪器的主要技术性能指标应符合《基桩动测仪》JG/T 3055 的有关规定，具有信号显示、保存实测信号及分析处理功能。波形曲线必须有横、纵坐标刻度值。

9.2.2 信号采集系统应符合下列规定：

- 1 数据采集装置的模 - 数转换器不得低于 12 位；
- 2 采样时间间隔宜为 $20 \sim 100 \mu s$ ；
- 3 采样点数不应少于 1024 个。

9.2.3 测量桩顶响应的加速度计或磁电式速度传感器，其幅频曲线的有效范围应覆盖整个测试信号的主体频宽。

1 加速度传感器的性能指标应符合下列规定：

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

2 磁电式速度传感器的性能指标应符合下列规定：

- 1) 电压灵敏度大于 $200mV / cm / s$ ；
- 2) 固有频率小于 $30Hz$ ；
- 3) 安装谐振频率大于 $1500Hz$ 。

9.2.4 瞬态激振设备应包括能激发宽脉冲和窄脉冲的锤和锤垫；锤体可装有力传感器。

9.3 现场检测

9.3.1 受检桩的桩头处理应符合下列规定：

- 1 桩身强度应符合本规范第 3.3.2 条第 1 款的规定。
- 2 凿去桩顶浮浆、松散或破损部分，露出坚硬的混凝土表面，桩顶表面应

平整、干净、无积水且与桩轴线基本垂直。对于预应力管桩，当端板与桩身混凝土之间结合不紧密时，应对桩头进行处理。

3 桩头的材质、强度、截面尺寸应与桩身基本等同。

4 妨碍正常测试操作的桩顶外露钢筋应割掉。

5 当受检桩的桩侧与基础的混凝土垫层浇注成一体时，应在确保垫层不影响检测结果的情况下方可进行检测。

9.3.2 应通过现场对比测试，选择适当的锤型、锤重、锤垫材料、传感器安装方式。

9.3.3 测量传感器安装和锤击操作应符合下列规定：

1 传感器应安装在桩顶面，传感器安装点及其附近不得有缺损或裂缝。传感器可用黄油、橡皮泥、石膏等材料作为耦合剂与桩顶面粘接，或采取冲击钻打眼安装方式，不应采用手扶方式。安装完毕后的传感器必须与桩顶面保持垂直，且紧贴桩顶表面，在信号采集过程中不得产生滑移或松动。

2 对于实心桩，传感器安装点与锤击点的距离不宜小于桩径或矩形桩边宽的四分之一；当锤击点在桩顶中心时，传感器安装点与桩中心的距离宜为桩半径的三分之二（见图 9.3.3 - 1）。对于空心桩，锤击点和传感器安装点宜在桩壁厚的 1/2 处，传感器安装点、锤击点与桩顶面圆心构成的平面夹角宜为 90°（见图 9.3.3 - 2）。

3 锤击点与测量传感器安装点应避开钢筋笼的纵筋影响。

4 锤击方向应沿桩轴线方向。

5 应根据桩身长度、缺陷所在位置的深浅，调整锤击脉冲宽度。当检测长桩的桩底反射信息或深部缺陷时，冲击入射波脉冲应较宽；当检测短桩、桩的浅部缺陷以及预制桩的浅部水平裂缝时，冲击入射波脉冲应较窄。

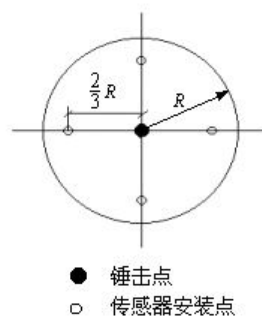


图 9.3.3 - 1 混凝土灌注桩传感器安装点、锤击点布置示意图



图 9.3.3 - 2 管桩传感器安装点、锤击点布置示意图

9.3.4 测试参数设定应符合下列规定：

- 1 合理设置采样时间间隔、采样点数、增益、模拟滤波、触发方式等，其中增益应结合激振方式通过现场对比试验确定。
- 2 时域信号分析的时间段长度应在 $2L/c$ 时刻后延续不少于 5ms；频域信号分析的频率范围上限不应小于 2000Hz。
- 3 设定桩长应为桩顶测点至桩底的施工桩长。
- 4 桩身波速可根据本地区同类型桩的测试值初步设定。
- 5 采样时间间隔或采样频率应根据桩长、桩身波速和频率分辨率合理选择。
- 6 传感器的灵敏度系数应按计量校准结果设定。

9.3.5 信号采集和筛选应符合下列规定：

- 1 每根桩不应少于 2 个检测点；桩直径大于 1200mm 时，每根桩不应少于 3 个检测点；
- 2 对检测信号应作叠加平均处理，每个检测点参与叠加平均处理的有效信号数量不宜少于 3 个。
- 3 检测时应随时检查采集信号的质量，判断实测信号是否反映桩身完整性特征。
- 4 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。
- 5 对于同一根受检桩，不同检测点及多次实测时域信号一致性较差，应分析原因，增加检测点数量。

9.4 检测数据分析与判定

9.4.1 信号处理应符合下列规定：

- 1 采用加速度传感器时，可选择不小于 2000Hz 的低通滤波对积分后的速度信号进行处理；采用速度传感器时，可选择不小于 1000Hz 的低通滤波对速度信号进行处理。

2 当桩底反射信号或深部缺陷反射信号较弱时,可采用指数放大,被放大的信号幅值不应大于入射波幅值的一半,进行指数放大后的波形尾部应基本回零。指数放大的范围宜大于 $2L/c$ 的三分之二,指数放大倍数宜小于 20。

3 当需要时,可使用旋转处理功能,使测试波形尾部基本位于零线附近。

9.4.2 同一桩基工程的基桩纵波波速平均值的确定应符合下列规定:

1 当桩长已知、桩底反射信号明确时,在地质条件相近、设计桩型、成桩工艺相同、同一单位施工的基桩中,选取不少于 5 根 I 类桩,按式 (9.4.2-2) 或 (9.4.2-3) 计算纵波波速,然后按式 (9.4.2-1) 计算基桩纵波波速平均值:

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (9.4.2-1)$$

$$c_i = \frac{2000L}{\Delta t} \quad (9.4.2-2)$$

$$c_i = 2L \cdot \Delta f \quad (9.4.2-3)$$

式中 c_m ——基桩纵波波速平均值 (m/s);

c_i ——第 i 根桩的桩身波速值 (m/s), 且 $|c_i - c_m| / c_m \leq 8\%$;

L ——测点下桩长 (m);

Δt ——桩底反射波波峰与入射波波峰之间的时间差 (ms)
(如图 9.4.2-1);

Δf ——频域曲线上桩底对应的相邻峰之间的频率差 (Hz)
(如图 9.4.2-2);

n ——参加波速平均值计算的基桩数量 ($n \geq 5$)。

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

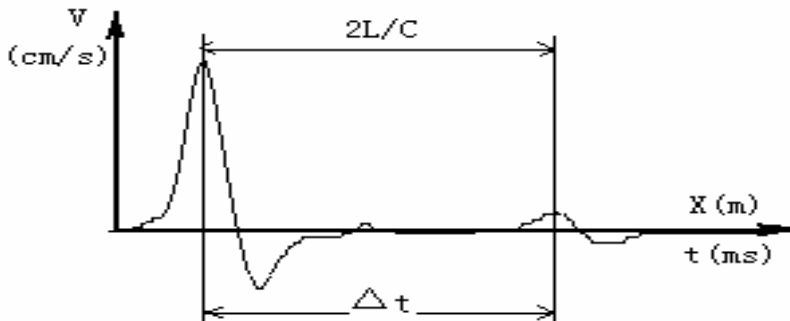


图 9.4.2-1 纵波波速时域计算示意图

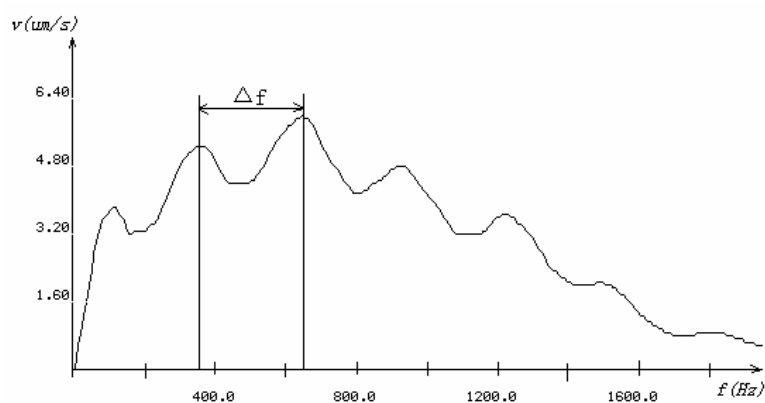


图 9.4.2 - 2 纵波波速频域计算示意图

9.4.3 桩身缺陷位置应按下列公式计算：

$$x = \frac{1}{2000} \cdot \Delta t_i \cdot c \quad (9.4.3-1)$$

$$x = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\Delta f_i} \quad (9.4.3-2)$$

式中 x —— 桩身缺陷至传感器安装点的距离 (m)；

Δt_i —— 入射波波峰与第 i 个缺陷反射波波峰之间的时间差 (ms)

(如图 9.4.3 - 1)；

c —— 受检桩的桩身波速 (m/s)，无法确定时用 c_m 值替代；

Δf_i —— 频域曲线上第 i 个缺陷对应的相邻峰之间的频率差 (kHz)

(如图 9.4.3 - 2)。

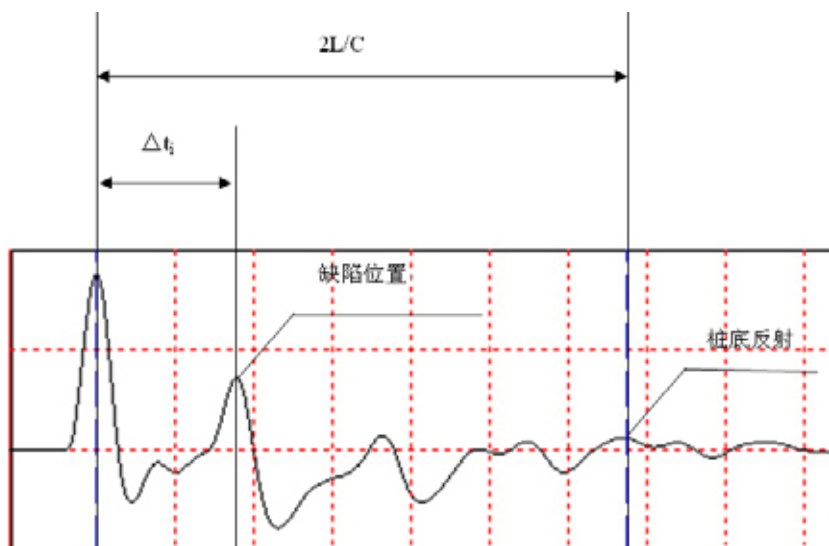


图 9.4.3 - 1 缺陷位置时域计算示意图

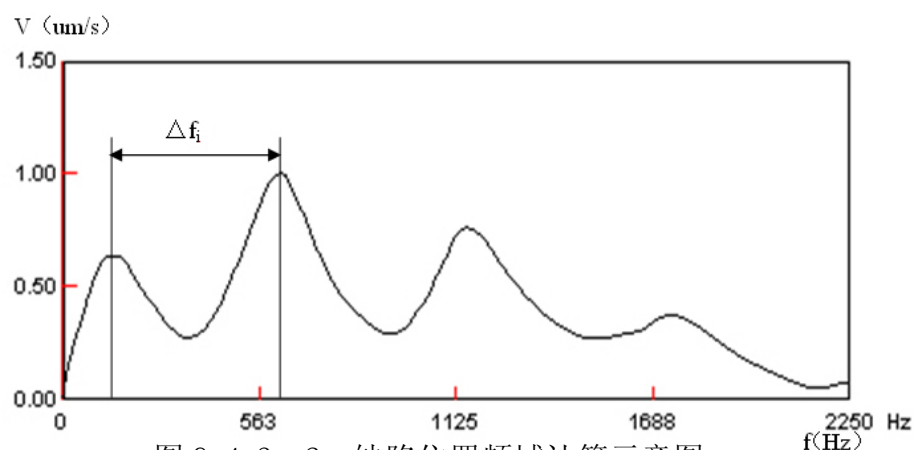


图 9.4.3 - 2 缺陷位置频域计算示意图

9.4.4 桩身完整性类别应结合缺陷出现的深度、测试信号衰减特性以及设计桩型、成桩工艺、地质条件、施工情况，按本规范表 3.7.3 的规定和表 9.4.4 所列实测时域或频域信号特征进行综合分析判定。

表 9.4.4 桩身完整性判定

类别	时域信号特征	频域信号特征
I	$2L/c$ 时刻前无缺陷反射波，有桩底反射波且波速正常	桩底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$
II	$2L/c$ 时刻前出现轻微缺陷反射波，有桩底反射波且波速正常	桩底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$ ，轻微缺陷产生的谐振峰与桩底谐振峰之间的频差 $\Delta f_i > c/2L$
III	有明显缺陷反射波，其他特征介于 II 类和 IV 类之间；或嵌岩桩桩底反射波与入射波相位相同	
IV	有下列情况之一者： 波速明显偏高； 波形呈现低频大振幅衰减振荡，无桩底反射波； 周期性缺陷反射波，无桩底反射波； $2L/c$ 时刻前出现幅值很大的缺陷反射波，无桩底反射波	缺陷谐振峰排列基本等间距，相邻频差 $\Delta f_i > c/2L$ ，无桩底谐振峰； 或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谐振峰，无桩底谐振峰
注：对同一场地、地质条件相近、桩型和成桩工艺相同的基桩，因桩端部分桩身阻抗与持力层阻抗相匹配导致实测信号无桩底反射波时，可参照本场地同条件下有桩底反射波或深部缺陷反射波的其他桩实测信号判定桩身完整性类别。		

9.4.5 出现下列情况时，桩身结构完整性应判为 III 类：

- 1 对于混凝土预制桩，反射波明显且反射波位置在接桩位置处；
- 2 嵌岩桩桩底有同向反射信号。

9.4.6 对于夯扩桩，人工挖孔扩底桩、钻（冲）孔扩底桩，沉管灌注复打桩等，应考虑桩的截面变化对测试结果的影响，综合分析波形，确定被检测桩的类别。必要时，可采用信号拟合分析技术辅助判断。

9.4.7 出现下列情况之一时，桩身结构完整性评价应结合其它检测方法进行：

- 1 实测波形复杂，无规律，无法对其进行准确评价；
- 2 桩身截面渐变或多变，且变化幅度较大的混凝土灌注桩；
- 3 根据施工记录桩长计算所得的桩身波速值明显偏低，且又缺乏可靠资料验证。

9.4.8 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括下列内容：

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

10 高应变法

10.1 适用范围

10.1.1 高应变法适用于检测基桩的竖向抗压承载力和桩身完整性；监测预制桩打桩过程中的桩身应力、锤击能量传递比，为选择沉桩设备、确定施工工艺参数和承载力的时间效应及施工桩长提供依据。

10.1.2 对于预估 $Q-s$ 曲线具有缓变型特征的大直径灌注桩，不宜采用高应变法进行竖向抗压承载力检测。

10.2 仪器设备

10.2.1 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分析处理的功能。

10.2.2 锤击设备应具有稳固的导向装置；打桩机械或类似的装置（导杆式柴油锤除外）都可作为锤击设备。

10.2.3 高应变法检测用重锤应材质均匀、形状对称、锤底平整，高径（宽）比不得小于 1，并采用铸铁或铸钢制作。当采取自由落锤安装加速度传感器的方式实测锤击力时，重锤应整体铸造，且高径（宽）比应在 1.0~1.5 范围内。

10.2.4 进行高应变法承载力检测时，锤的重量应大于单桩竖向抗压承载力特征值的 2.0%~3.0%，桩长大于 30m 或混凝土桩的桩径大于 600mm 时取高值。

10.2.5 当高应变法仅用于判定大直径混凝土灌注桩桩身完整性，锤的重量应大于单桩竖向抗压承载力特征值的 0.3%且大于 20kN。

10.2.6 桩的贯入度可采用精密水准仪测定。

10.3 现场检测

10.3.1 检测前的准备工作应符合下列规定：

1 桩顶面应平整，桩头应有足够的强度，确保在冲击过程中不发生开裂和塑变，对不能承受重锤冲击的桩头应加固处理，混凝土桩的桩头处理可参照本规范附录 E 执行。

2 露出的桩顶高度应满足传感器安装和锤击装置架设的要求，重锤纵轴线应与桩身纵轴线基本重合，锤击装置应竖直架立。

3 传感器的安装应符合本规范附录 F 的规定。

4 桩顶面与重锤之间应设置桩垫，桩垫可采用 10~30mm 厚的木板或胶合板等材料。

10.3.2 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 传感器的灵敏度系数应按计量校准结果设定。
- 3 自由落锤安装加速度传感器测力时，冲击力等于实测加速度与重锤质量的乘积。
- 4 测点处的桩横截面尺寸应按实测值确定，桩身波速、质量密度和弹性模量应按实际情况设定。
- 5 测点以下桩身截面积和桩长可采用设计文件或施工记录提供的数据作为设定值。
- 6 桩身质量密度可按表 10.3.2 取值。

表 10.3.2 桩身质量密度

桩的类型	钢桩	预制方桩	预应力管桩	混凝土灌注桩
质量密度 (t/m^3)	7.85	2.45~2.50	2.55~2.60	2.40

7 桩身波速可根据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本规范第 10.4.2 条修正。

8 桩身弹性模量应按下列公式计算：

$$E = \rho \cdot c^2 \quad (10.3.2)$$

式中 E ——桩身弹性模量 (kPa)；

c —— 桩身波速 (m/s)；

ρ —— 桩身质量密度 (t/m^3)。

10.3.3 试验目的为检测预制桩打桩过程中的桩身应力、沉桩设备匹配能力，确定施工工艺参数、承载力的时间效应以及选择桩长时，应按本规范附录 G 执行。

预制桩承载力的时间效应宜通过复打确定。

10.3.4 现场检测应符合下列要求：

- 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 承载力检测时宜实测桩的贯入度，单击贯入度宜在 2~6mm 之间。
- 3 检测时应及时检查采集数据的质量，桩身有明显缺陷或冲击使缺陷程度加剧时，应停止检测。
- 4 因触变效应使预制桩在多次锤击下承载力下降时，前两击锤击能量应足够大。
- 5 每根受检桩记录的有效实测信号应根据桩顶实测信号特征、最大动位移、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。

10.3.5 当出现下列情况之一时，宜重新试验：

- 1 实测力与速度曲线峰值比例失调时；
- 2 两侧力信号峰值相差一倍以上时；
- 3 传感器安装处混凝土开裂或出现严重塑性变形使力曲线明显未归零；
- 4 四通道测试数据不全；
- 5 测试波形紊乱。

10.4 检测数据分析与判定

10.4.1 判定单桩竖向抗压承载力时宜选取锤击能量较大的实测信号。

10.4.2 实测锤击信号的处理和分析应符合下列规定：

- 1 力和速度信号第一峰起始比例失调时，不得进行比例调整。
- 2 桩身波速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值确定（图 10.4.2）；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。

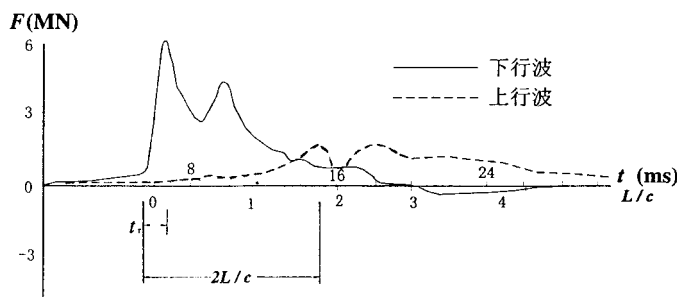


图 10.4.2 桩身波速的确定

3 当测点处原设定波速随调整后的桩身波速改变时，相应的桩身弹性模量应按式（10.3.2）重新计算；当采用应变式传感器测力时，还应对原实测力值校正。

4 承载力分析计算前，应结合地质条件、桩的设计参数和施工记录判断实测曲线特征反映出的桩承载性状；观察桩身缺陷程度和位置以及连续锤击时缺陷的扩大或逐步闭合情况。

10.4.3 判定单桩竖向抗压承载力可采用实测曲线拟合法和凯司法。

应从同一工程的各种桩型、各种施工工艺以及实测曲线中反映出来的各种完整性类别和承载性状的桩中分别选取有代表性的桩进行曲线拟合分析，拟合分析的桩数不应少于检测总桩数的 50%，且不得少于 5 根。其余检测桩可采用凯司法判定桩的承载力。

扩底灌注桩高应变法数据分析应采用曲线拟合法判定单桩承载力。

10.4.4 采用实测曲线拟合法判定桩承载力，应符合下列规定：

- 1 桩土力学模型的物理意义明确，应能反映桩土的实际力学性状。
- 2 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。
- 3 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。
- 4 土阻力分布应能体现受检桩的实际承载性状，拟合分析选用的参数应限定在岩土工程的合理范围内。
- 5 在同一场地，地质条件相近，桩型、施工工艺及桩截面积相同时，各受检桩的桩侧土弹限 Q_{skn} 、桩侧土阻尼 J_{skn} 、桩底土弹限 Q_{toe} 、桩底土阻尼 J_{toe} 的极差不宜大于其平均值的 30%。
- 6 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，其他区段的曲线应基本吻合。
- 7 贯入度的计算值应与实测值接近。

10.4.5 采用凯司法判定桩承载力，应符合下列规定：

- 1 桩径小于 800mm。
- 2 桩身材质、横截面应基本均匀。
- 3 阻尼系数 J_c 宜根据同条件下静载试验或实测曲线拟合法结果综合确定。
- 4 在同一场地、地质条件相近，桩型、施工工艺及其截面积相同情况下，各受检桩的 J_c 值的极差不宜大于其平均值的 30%。

10.4.6 凯司法判定单桩承载力可按下列公式计算：

$$R_c = \frac{1}{2}(1-J_c) \cdot [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] + \frac{1}{2}(1+J_c) \cdot \left[F\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) - Z \cdot V\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) \right] \quad (10.4.6-1)$$

$$Z = \frac{E \cdot A}{c} \quad (10.4.6-2)$$

式中 R_c —— 由凯司法判定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 —— 桩身横截面面积 (m²)；

L —— 测点下桩长 (m)。

注：公式 (10.4.6-1) 适用于 t_1+2L/c 时刻桩侧和桩端土阻力均已充分发挥的摩擦型桩。

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 时刻发挥并造成桩中上部侧阻力卸荷这两种情况，宜分别采用以下两种方法对 R_c 值进行增值修正：

- 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。

10.4.7 桩身完整性类别判定应符合下列规定：

1 采用实测曲线拟合法判定时，拟合分析选用的桩土参数应符合规范第 10.4.4 条的规定，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。桩身完整性系数 β 按下列公式计算：

$$\beta = Z_x / Z \tag{10.4.7-1}$$

式中 β —— 桩身完整性系数；

Z_x —— 桩身缺陷处的阻抗。

2 当采用凯司法时，对于等截面桩，桩身完整性系数 β 和桩身缺陷位置 x 应分别按下列公式计算：

$$\beta = \frac{[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] - 2R_x + [F(t_x) - Z \cdot V(t_x)]}{[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] - [F(t_x) - Z \cdot V(t_x)]} \tag{10.4.7-2}$$

$$x = c \cdot \frac{t_x - t_1}{2000} \tag{10.4.7-3}$$

式中 t_x —— 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 10.4.7。

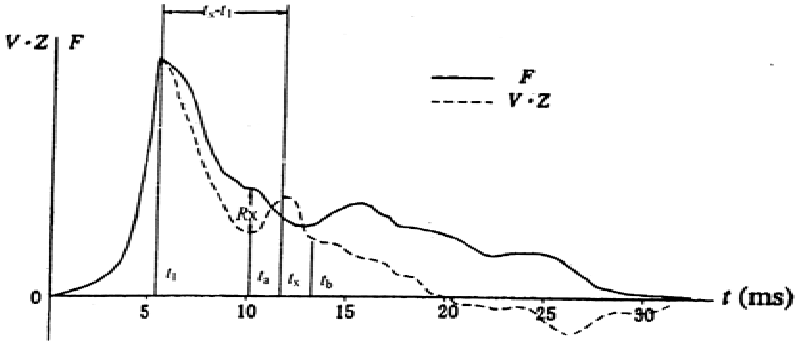


图 10.4.7 桩身完整性系数计算示意图

3 桩身完整性类别可按表 10.4.7 的规定并结合经验判定。

表 10.4.7 桩身完整性类别判定

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

III	$0.6 \leq \beta < 0.8$
IV	$\beta < 0.6$

10.4.8 出现下列情况之一时，宜采用实测曲线拟合法或结合其它检测方法对桩身完整性进行综合判定：

- 1 桩身有扩径的桩。
- 2 桩身截面渐变或多变的混凝土灌注桩。
- 3 力和速度曲线在峰值附近比例失调，桩身浅部有缺陷的桩。
- 4 锤击力波上升缓慢，力与速度曲线比例失调的桩。

10.4.9 出现下列情况之一时，不宜提供高应变法承载力检测结果，应采用静载试验确定或验证单桩承载力。

- 1 桩身存在严重缺陷，无法判断桩的竖向承载力。
- 2 桩身缺陷对水平承载力有影响。
- 3 单击贯入度大，桩底同向反射强烈，且反射峰较宽，侧阻力波、端阻力波反射弱。

- 4 嵌岩桩桩底同向反射强烈，且在时间 $2L/C$ 后无明显端阻力反射。

5 本规范第 10.3.5 条规定中要求重新检测，而现场不具备重新检测条件时。

10.4.10 当出现本规范第 10.4.9 条第 4 款描述的高应变信号特征时，也可采用钻芯法对受检桩进行核验。

10.4.11 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范附录 G 相应公式计算。

10.4.12 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括下列内容：

- 1 力与速度的实测信号；
- 2 桩身波速值和 J_c 值；
- 3 实测曲线拟合法所选用的各单元桩土模型参数、拟合曲线、模拟的静荷载 - 沉降曲线、土阻力沿桩身分布图；
- 4 试打桩和打桩监控所采用的桩锤型号、落距（或冲程）、锤垫类型，以及监测得到的锤击数、桩侧和桩端静阻力、桩身锤击拉应力和压应力、桩身完整性以及能量传递比随入土深度的变化（必要时）。

11 声波透射法

11.1 适用范围

11.1.1 声波透射法适用于混凝土灌注桩的桩身完整性、地下连续墙的墙身完整性检测，判定桩身或墙身缺陷的位置、范围和程度。

11.2 仪器设备

11.2.1 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，有效工作段长度不大于 150mm；
- 3 谐振频率为 30 ~60kHz；
- 4 水密性满足 1MPa 水压不渗水；
- 5 当测距较大时，宜选用带前置放大器的换能器。

11.2.2 声波换能器宜配置扶正器。

11.2.3 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功能。
- 2 声时测量精度优于或等于 $0.5\mu s$ ，声波幅值测量相对误差小于 5%，系统频带宽度为 1 ~200kHz，系统最大动态范围不小于 100dB。
- 3 声波发射脉冲为阶跃或矩形脉冲，电压幅值为 200~1000V。

11.3 声测管埋设

11.3.1 声测管埋设应符合下列规定：

- 1 声测管内径宜比换能器外径大 10mm 左右。
- 2 声测管应下端封闭、上端加盖、管内无异物；声测管连接处应光滑过渡，管口应高出混凝土顶面 100mm 以上，且各声测管管口高度宜一致。
- 3 浇灌混凝土前应采取适宜方法固定声测管，使之在浇灌混凝土后相互平行。

11.3.2 混凝土灌注桩中的声测管应沿钢筋笼内侧呈对称形状布置，声测管埋设数量应符合下列要求（ d 为受检桩设计桩径）：

- 1) $d \leq 800\text{mm}$ ，2 根管。
- 2) $800\text{mm} < d \leq 2000\text{mm}$ ，3 根管。
- 3) $d > 2000\text{mm}$ ，4 根管。

应自正北方向顺时针旋转对声测管依次编号（如图 11.3.2 所示），检测剖

面编组（检测剖面序号记为 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（ $j=6$ ）。

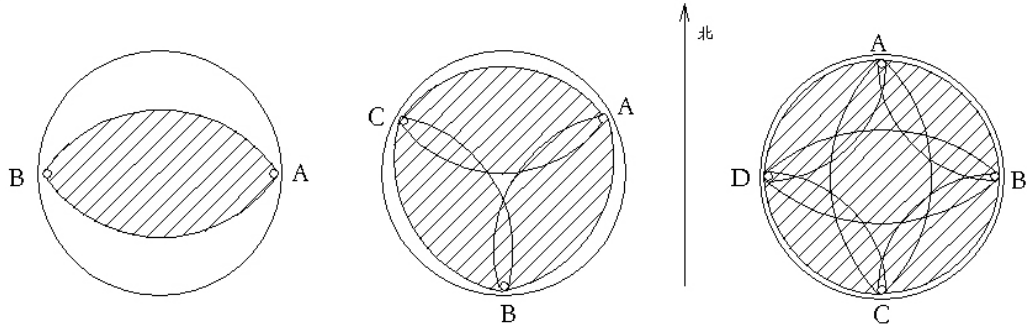


图 11.3.2 混凝土灌注桩声测管布置示意图

11.3.3 地下连续墙单个直槽段中的声测管埋设数量不应少于 4 根，声测管间距不宜大于 1.5m；对于转角槽段，声测管埋设数量不少于 3 根。声测管应沿钢筋笼内侧布置，边管宜靠近槽边。

应沿基坑的顺时针旋转方向对声测管依次编号（如图 11.3.3 所示），检测剖面编组（检测剖面序号记为 j ）分别为：AB 剖面（ $j=1$ ），BC 剖面（ $j=2$ ），CD 剖面（ $j=3$ ）。

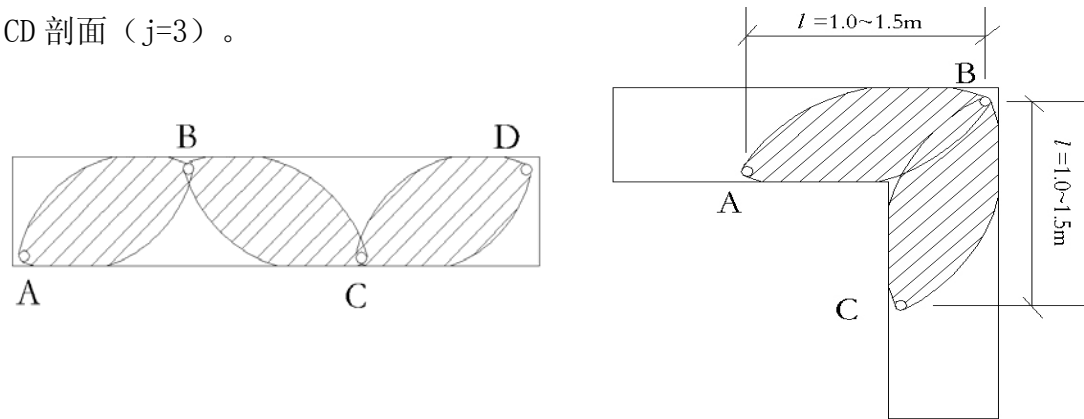


图 11.3.3 地下连续墙声测管布置示意图

11.4 现场检测

11.4.1 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满足本规范第 3.3.2 条第 1 款的要求。
- 2 采用率定法确定仪器系统延迟时间。
- 3 计算几何因素声时修正值。
- 4 在桩顶测量相应声测管外壁间净距离。
- 5 将各声测管内注满清水，检查声测管畅通情况，换能器应能在全程范围

内正常升降。

11.4.2 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的测点处。平测时，发射与接收声波换能器始终保持相同深度（图 11.4.2a）；斜测时，发射与接收声波换能器始终保持固定高差（图 11.4.2b），且两个换能器中点连线即声测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 200mm，并应及时校核换能器的深度。

3 对于每条声测线，应实时显示和记录接收信号的时程曲线，读取声时、首波幅值，当需要采用信号主频值作为异常点辅助判据时，还应读取信号主频值。

4 混凝土灌注桩完整性检测时，任意两根声测管组合成一个检测剖面，分别对所有检测剖面完成普查检测。

5 地下连续墙墙身完整性检测时，将同一槽段的相邻两根声测管组成一个检测剖面进行检测。

6 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。

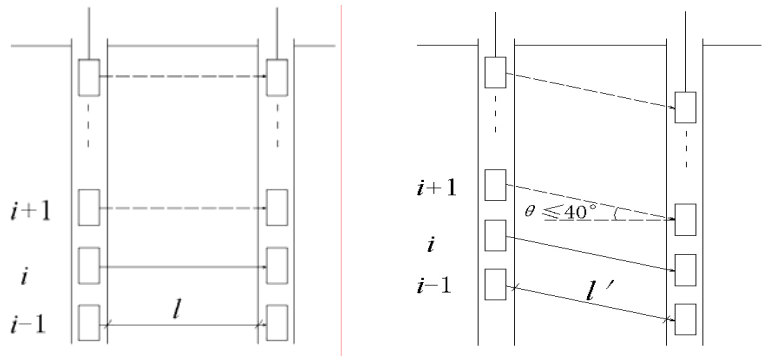


图 11.4.2 平测、斜测示意图

11.4.3 根据平测或斜测的结果，在桩身（墙身）质量可疑的声测线附近，应采用增加声测线或采用扇形扫测（图 11.4.3）等方式进行复测和加密测试，进一步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° 。

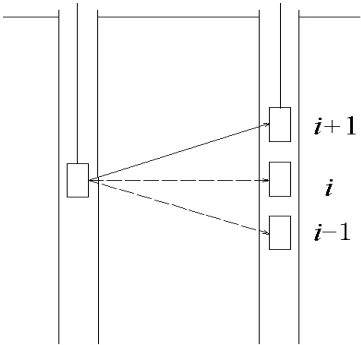


图 11.4.3 扇形扫测示意图

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。当实测数据明显偏离正常值而又未进行合理修正，检测数据不得作为评价完整性的依据。

11.5.2 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：

$$t_{ci}(j) = t_i(j) - t_0 - t' \quad (11.5.2-1)$$

$$v_i(j) = \frac{l'_i(j)}{t_{ci}(j)} \quad (11.5.2-2)$$

$$A_{pi}(j) = 20 \lg \frac{a_i(j)}{a_0} \quad (11.5.2-3)$$

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

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）进行连续编号；

j ——检测剖面编号，按本规范第 11.3.2 条进行编号；

$t_{ci}(j)$ ——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 声测线的两声测管的外壁间净距离（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/s）；

$A_{pi}(j)$ ——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)。

当采用斜测时, $l_i(j)$ 取声波换能器发射点对应的声测管外壁处与声波换能器接收点对应的声测管外壁处之间的净距离, 由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。

11.5.3 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:

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

式中 $v_i(j)$ —— 第 j 检测剖面第 i 声测线声速, i 为 $1 \sim n$;

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, $k=0, 1, 2, \cdots$;

l —— 拟去掉的高声速值的数据个数, $l=0, 1, 2, \cdots$ 。

2 对去掉 $v_i(j)$ 中 k 个最小数值和 l 个最大数值后的其余数据进行统计计算:

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

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

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

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

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;

$v_m(j)$ —— $(n-k-l)$ 个数据的平均值;

$s_x(j)$ —— $(n-k-l)$ 个数据的标准差;

λ —— 由表 11.5.3 查得的与 $(n-k-l)$ 相对应的系数。

表 11.5.3 统计数据个数 $(n-k-l)$ 与对应的 λ 值

$n-k-l$	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

$n-k-l$	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
$n-k-l$	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
λ	2.13	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22	2.23
$n-k-l$	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
$n-k-l$	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
λ	2.33	2.34	2.36	2.38	2.39	2.41	2.42	2.43	2.45	2.46
$n-k-l$	150	160	170	180	190	200	220	240	260	280
λ	2.47	2.50	2.52	2.54	2.56	2.58	2.61	2.64	2.67	2.69
$n-k-l$	300	320	340	360	380	400	420	440	470	500
λ	2.72	2.74	2.76	2.77	2.79	2.81	2.82	2.84	2.86	2.88

3 按 $k=0$ 、 $l=0$ 、 $k=1$ 、 $l=1$ 、 $k=2$ 、 $l=2$ ……的顺序，将参加统计的数列的最小数据 $v_{n-k}(j)$ 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 $v_{l+1}(j)$ 与 $v_{02}(j)$ 进行比较，当 $v_{l+1}(j) \geq v_{02}(j)$ 时去掉最大数据，然后对剩余数据构成的数列重复式 (11.5.3-2) ~ (11.5.3-5) 的计算步骤，直到下列两式成立：

$$v_{n-k}(j) > v_{01}(j) \quad (11.5.3-6)$$

$$v_{l+1}(j) < v_{02}(j) \quad (11.5.3-7)$$

此时， $v_{01}(j)$ 为第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值。

11.5.4 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，确定正常情况下桩身（墙身）混凝土声速的低限值 v_L ，平均值 v_p 。

2 当

$$v_L < v_{01}(j) < v_p \quad (11.5.4-1)$$

时，

$$v_c(j) = v_{01}(j) \quad (11.5.4-2)$$

式中 $v_c(j)$ ——第 j 检测剖面的声速异常判断临界值；

$v_{01}(j)$ ——第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值；

v_p ——由本条第 1 款确定的桩身（墙身）混凝土声速平均值；

v_L ——由本条第 1 款确定的桩身（墙身）混凝土声速低限值。

3 当 $v_{01}(j) \leq v_L$ 或 $v_{01}(j) \geq v_p$ 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。

4 对单个检测剖面的桩，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。对于三个及三个以上检测剖面的桩或地下连续墙每个槽段，应取各个检测剖面声速异常判断临界值的平均值作为该桩（槽段）各声测线声速异常判断临界值。

$$v_c = \frac{\sum_{j=1}^m v_c(j)}{m} \quad (11.5.4-3)$$

式中 v_c ——受检桩（槽段）桩身（墙身）混凝土声速异常判断临界值；

m ——受检桩（槽段）的检测剖面总数。

11.5.5 声测线声速异常程度可按表 11.5.5 进行判定。

表 11.5.5 声测线声速异常程度判定表

声测线声速 $v_i(j)$ (m/s)	声速异常程度
$v_i(j) > v_c$	无异常
$0.925 v_c < v_i(j) \leq v_c$	轻微异常
$0.85 v_c < v_i(j) \leq 0.925 v_c$	较明显异常
$0.75 v_c < v_i(j) \leq 0.85 v_c$	明显异常
$v_i(j) \leq 0.75 v_c$ 或 $v_i(j) \leq v_L$	严重异常

11.5.6 波幅异常判断的临界值应按下列公式计算：

$$A_m(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{pi}(j) \quad (11.5.6-1)$$

$$A_c(j) = A_m(j) - 6 \quad (11.5.6-2)$$

波幅异常的临界值判据为：

$$A_{pi}(j) < A_c(j) \quad (11.5.6-3)$$

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。

11.5.7 声测线波幅异常程度可按表 11.5.7 进行判定。

表 11.5.7 声测线波幅异常程度判定表

声测线波幅 $A_{pi}(j)$ (dB)	波幅异常程度
$A_{pi}(j) > A_c(j)$	无异常
$A_c(j) - 4 < A_{pi}(j) \leq A_c(j)$	轻微异常
$A_c(j) - 8 < A_{pi}(j) \leq A_c(j) - 4$	较明显异常
$A_c(j) - 12 < A_{pi}(j) \leq A_c(j) - 8$	明显异常
$A_{pi}(j) \leq A_c(j) - 12$	严重异常

11.5.8 依据桩身（墙身）混凝土声速和波幅参数的异常程度，结合实测波形的畸变程度以及斜测的结果，按表 11.5.8 所描述的特征确定各个检测剖面的各条声测线的完整性函数值。

表 11.5.8 声测线完整性函数值判定表

声测线完整性 函数 $I(j, i)$ 值	具备下列特征之一
1	声速和波幅参数均无异常，实测波形正常； 声速或波幅存在轻微异常，实测波形畸变不明显。
2	声速和波幅参数均存在轻微异常，实测波形畸变较明显； 声速或波幅存在较明显异常，实测波形畸变较明显。
3	声速和波幅参数均存在较明显异常，实测波形畸变明显； 声速或波幅存在明显异常，实测波形畸变明显。
4	声速和波幅参数均存在明显异常，实测波形畸变严重； 声速或波幅存在严重异常，实测波形畸变严重。

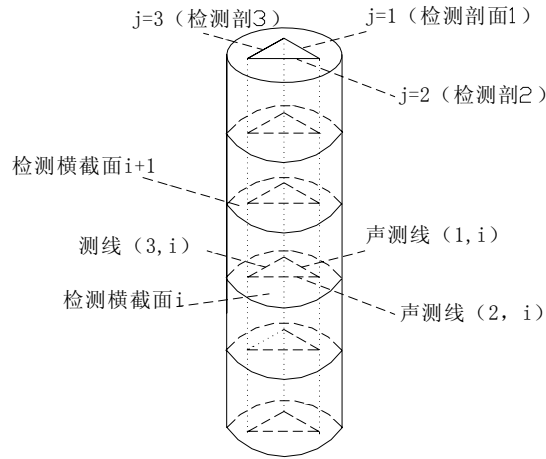


图 11.5.9 检测剖面、声测线、检测横截面划分示意图

11.5.9 桩身（墙身）各检测横截面(见图 11.5.9)的完整性类别指数应按下列方法确定：

1 当仅有一个检测剖面时：

$$K(i) = I(1, i) \quad (11.5.9-1)$$

地下连续墙每个槽段各个检测剖面对应的墙身横截面的完整性类别指数按式（11.5.9-1）确定。

2 当桩身有三个检测剖面时：

如果横截面内各条声测线完整性类别指数极差小于 2，则

$$K(i) = INT \left[\frac{\sum_{j=1}^3 I(j, i)}{3} + \frac{2}{3} \right] \quad (11.5.9-2)$$

如果横截面内各条声测线完整性类别指数极差大于或等于 2，则

$$K(i) = INT \left[\frac{\sum_{j=1}^3 I(j, i)}{3} \right] + 1 \quad (11.5.9-3)$$

3 当桩身有六个检测剖面时：

如果横截面内各条声测线完整性类别指数极差小于 2，则

$$K(i) = INT \left[\frac{2INT \left[\frac{1}{2} \{I(5, i) + I(6, i) + 1\} \right] + \sum_{j=1}^4 I(j, i)}{6} + \frac{2}{3} \right]$$

(11.5.9-4)

如果横截面内各条声测线完整性类别指数极差大于或等于 2，则

$$K(i) = INT \left[\frac{2INT \left[\frac{1}{2} \{I(5,i) + I(6,i) + 1\} \right] + \sum_{j=1}^4 I(j,i)}{6} \right] + 1 \quad (11.5.9-5)$$

式中 $K(i)$ ——受检桩第 i 个检测横截面的桩身完整性类别指数；

$I(j, i)$ ——第 j 个检测剖面第 i 条声测线的完整性函数值；

INT——取整函数。

11.5.10 桩身完整性类别应结合对桩身质量可疑点加密测试后确定的缺陷范围按本规范表 3.7.3 的规定和表 11.5.10 所描述的特征进行判定。

表 11.5.10 桩身完整性类别判定表

类别	特 征
I	桩身各检测横截面完整性类别指数均为 1。
II	桩身存在完整性类别指数为 2 的检测横截面。
III	桩身存在完整性类别指数为 3 的检测横截面； 在某深度 50cm 范围内检测横截面完整性类别指数均为 2。
IV	桩身存在完整性类别指数为 4 的检测横截面； 在某深度 50cm 范围内检测横截面完整性类别指数均为 3。
注：完整性类别由 IV 类往 I 类依次判定。	

11.5.11 当采用斜率法的 PSD 值作为辅助异常点判据时， PSD 值应按下列公式计算：

$$PSD(j, i) = \frac{[t_{ci}(j) - t_{ci-1}(j)]^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (11.5.11)$$

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。

11.5.12 地下连续墙完整性类别的判定应符合下列要求：

- 1 以各槽段内的每一个检测剖面为基本单元进行完整性判定；
- 2 每一个检测剖面的完整性判定可依据本规范第 11.5.8 至 11.5.10 条的规定按仅有一个检测剖面的桩的完整性判别方法进行判定。

11.5.13 当采用信号主频值作为异常点辅助判据时，主频－深度曲线上主频值明显降低可判定为异常。

11.5.14 声测管严重倾斜扭弯，不能进行有效斜管修正时，不宜提供声波透射法检测结果。

11.5.15 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括下列内容：

- 1 声测管布置图；
- 2 受检桩每个检测剖面声速－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 当采用主频值或 PSD 值进行辅助分析判定时，绘制主频－深度曲线或 PSD 曲线。
- 4 检测横截面完整性指数——深度曲线。
- 5 加密测试、扇形扫测的有关情况（必要时）。
- 6 各检测剖面实测波列图。

12 钻芯法

12.1 适用范围

12.1.1 钻芯法适用于检测混凝土灌注桩的桩长、桩身混凝土强度、桩身缺陷及其位置、桩底沉渣厚度，判定或鉴别桩底持力层岩土性状、判定桩身完整性类别。也可检测地下连续墙墙深、墙身混凝土强度、墙身缺陷及其位置、墙底沉渣厚度，判定或鉴别墙底岩土性状。

复合地基竖向增强体和支护工程中的排桩的桩身完整性、水泥土墙的墙身完整性、天然岩石地基的钻芯法检测可参照执行。

12.2 设备

12.2.1 钻取芯样应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 790 转 / 分。
- 2 转速调节范围不少于 4 档。
- 3 额定配用压力不低于 1.5MPa。

12.2.2 应采用单动双管钻具，并配备相应的孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器、及可捞取松软渣样的钻具。钻杆应顺直，直径宜为 50mm。

12.2.3 应根据混凝土设计强度等级选用合适粒度、浓度、胎体硬度的金刚石钻头，且外径不宜小于 100mm。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。

注：复合地基竖向增强体、水泥土墙、持力层为土的情况下可用合金钻头。

12.2.4 应选用排水量为 50~160L / min、泵压为 1.0~2.0MPa 的水泵。

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

12.2.6 芯样试件端面的补平器和磨平机应满足芯样制作的要求。

12.3 现场操作

12.3.1 每根受检桩的钻芯孔数和钻孔位置宜符合下列规定：

1 桩径小于 1.2m 的桩，不得少于 1 孔；桩径为 1.2~1.6m 的桩，不得少于 2 孔；桩径大于 1.6m 的桩，不得少于 3 孔。

2 当钻芯孔为一个时，宜在距桩中心 10~15cm 的位置开孔；当钻芯孔为两个或两个以上时，开孔位置宜在距桩中心 0.15d~0.25d 内均匀对称布置。

3 对桩底持力层的钻探，每根受检桩不得少于一孔，其钻探深度应满足设计要求，其它钻芯孔不宜少于 1.0m。对桩底持力层有夹层或岩溶的工程，每根

受检桩的每个钻芯孔对桩底持力层的钻探深度均应满足设计要求；当设计无明确要求时，桩底持力层的钻探深度不应小于 3 倍桩径，且不应少于 3m。桩底持力层稳定或已进行超前钻的工程，桩底持力层的钻探数量和深度可适当减少。

12.3.2 地下连续墙每个槽段的钻芯孔数和钻孔位置宜符合下列规定：

1 槽段长度小于 4m，每槽段钻 1 孔；槽段长度为 4~6m，每槽段钻 2 孔；槽段长度大于 6m，每槽段钻 3 孔。

2 当钻芯孔仅为一个时，宜在槽段中心位置开孔；当钻芯孔为两个时，宜在距槽段接头 1000~1500mm 的范围内开孔；当钻芯孔为两个以上时，两端孔宜在距槽段接头 1000~1500mm 的范围内开孔，其它钻孔宜在两端孔之间均匀布置。

3 对地下连续墙持力层的钻探，每个钻芯孔均不得少于 0.5m。地下连续墙每个槽段至少应有一孔钻至设计要求的深度。如设计未有明确要求时，对于承重地下连续墙，宜钻入持力层 3 倍墙厚且不应少于 3m；对于非承重地下连续墙，每个钻孔钻入持力层的深度不应少于 0.5m。

12.3.3 钻机设备安装应稳固、底座水平。钻机立轴中心、天轮中心（天车前沿切点）与孔口中心必须在同一铅垂线上。应确保钻机在钻芯过程中不发生倾斜、移位。

12.3.4 钻芯孔垂直度偏差应不大于 0.5%。当出现钻芯孔偏离桩身或墙体时，应立即停机，并查找原因。

12.3.5 当桩（墙）顶混凝土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。

12.3.6 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。

12.3.7 提钻卸取芯样时，应拧卸钻头和扩孔器，严禁敲打卸芯。

12.3.8 每回次进尺宜控制在 1.5m 内；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。对复合地基增强体钻芯时，每回次进尺宜控制在 1.2m 内。

12.3.9 应采用适宜的方法对桩（墙）底持力层岩土性状进行鉴别。

12.3.10 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，并应按本规范附录 A 附表 A.0.6-1 的格式及时记录钻进情况和钻进异常情况，对芯样质量做初步描述。

12.3.11 应按本规范附录 A 附表 A.0.6-2 的格式对芯样混凝土、桩（墙）底沉渣以及桩（墙）端持力层做详细编录。编录内容宜包括混凝土的胶结情况、骨料的分布情况、混凝土芯样表面的光滑程度、气孔大小、蜂窝、夹泥、松散、混凝土与持力层的接触情况、沉渣厚度以及端持力层的岩（土）特征等。

12.3.12 在截取芯样前，应对芯样和标有工程名称、桩号或连续墙槽段编号、钻芯孔号、芯样试件采取位置、桩长或墙深、孔深、检测单位名称的标示牌的全貌进行拍照。

12.3.13 当芯样质量、沉渣厚度和持力层满足设计要求时，应采用水泥浆从钻芯孔孔底往上回灌封闭，灌浆压力不小于 0.3MPa；否则应封存钻芯孔，留待处理。取样完毕剩余的芯样应移交委托单位妥善保存。

12.4 芯样试件截取与加工

12.4.1 截取混凝土抗压芯样试件应符合下列规定：

1 当单孔的混凝土芯样长度小于 10m 时，每孔截取 2 组芯样；当其长度为 10~30m 时，每孔截取 3 组芯样；当其长度大于 30m 时，每孔截取芯样不少于 4 组。上部芯样位置距桩顶设计标高不宜大于 1 倍桩径或 2m，下部芯样位置距桩底不宜大于 1 倍桩径或 2m，中间芯样宜等间距截取。

2 缺陷位置能取样时，每个缺陷位置应截取一组芯样进行混凝土抗压试验。

3 如果同一受检桩的钻芯孔数大于一个，其中一孔在某深度存在缺陷时，应在其他孔的该深度处截取芯样进行混凝土抗压试验。

12.4.2 当桩（墙）端持力层为中、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；如遇分层岩性时宜在各层取样。

12.4.3 复合地基竖向增强体和水泥土墙的芯样试件按每孔不少于 6 个截取。

12.4.4 每组芯样应制作三个芯样抗压试件。混凝土芯样试件应按附录 H 进行加工和测量。岩石、复合地基增强体等其它芯样的加工可参照执行。

12.5 芯样试件抗压强度试验

12.5.1 混凝土芯样试件制作完毕可立即进行抗压强度试验。岩石芯样试件应在清水中浸泡不少于 12h 后进行试验。

12.5.2 芯样试件的破坏荷载应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》GB / T 50081 - 2002 的有关规定确定。

12.5.3 混凝土芯样试件抗压强度试验后，若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，该试件的强度值无效，不参与统计平均。

混凝土芯样试件抗压强度应按下列公式计算：

$$f_{cu} = \xi \cdot \frac{4P}{\pi d^2} \quad (12.5.3)$$

式中 f_{cu} ——混凝土芯样试件抗压强度 (MPa), 精确至 0.1MPa;
 P —— 芯样试件抗压试验测得的破坏荷载 (N);
 d —— 芯样试件的平均直径 (mm);
 ξ —— 混凝土芯样试件抗压强度换算系数, 取 1/0.88。

12.5.4 持力层岩石芯样试件单轴抗压强度应按下列公式计算:

$$R = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (12.5.4)$$

式中 R —— 岩石芯样试件单轴抗压强度 (MPa), 精确至 0.1MPa;
 P —— 岩石芯样试件抗压试验测得的破坏荷载 (N);
 d —— 岩石芯样试件的平均直径 (mm)。

12.6 检测数据分析与判定

12.6.1 混凝土芯样试件抗压强度按下列规定评价:

- 1 取一组三块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部位有两组或两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处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。

12.6.2 每根受检桩桩底持力层的岩石芯样抗压强度按下列规定评价:

- 1 岩石芯样试件个数少于 3 个时, 只提供单个芯样试件强度值, 不应提供岩石芯样单轴抗压强度代表值。
- 2 当岩石芯样试件个数大于等于 3 个时, 若满足其极差不超过平均值的 30%, 取其平均值为岩石芯样试件单轴抗压强度代表值; 若极差超过平均值的 30%, 取其中最小值为岩石芯样试件单轴抗压强度代表值。
- 3 不同岩层宜分层评价。

12.6.3 桩底持力层性状应根据岩石芯样特征, 结合岩石芯样单轴抗压强度试验、圆锥动力触探或标准贯入试验结果, 综合判定桩底持力层岩土性状。

12.6.4 每根受检桩的桩身完整性类别应结合钻芯孔数、现场混凝土芯样特征、芯样试件单轴抗压强度试验结果, 按本规范表 3.7.3 的规定和表 12.6.4 的特征进行综合判定。

表 12.6.4 桩身完整性判定

类别	特征		
	单孔	两孔	三孔
I	混凝土芯样连续、完整、胶结好，芯样侧面表面光滑、骨料分布均匀，芯样呈长柱状、断口吻合。		
	芯样侧面仅见少量气孔。	局部芯样侧面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽，但在两孔的同一深度部位的芯样中未同时出现。	局部芯样侧面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽，但在三孔的同一深度部位的芯样中未同时出现。
II	混凝土芯样连续、完整、胶结较好，芯样侧面表面较光滑、骨料分布基本均匀，芯样呈柱状、断口基本吻合。		
	局部芯样侧面有蜂窝麻面、沟槽或较多气孔。 芯样骨料分布极不均匀、芯样侧面蜂窝麻面严重或沟槽连续；但对应部位的混凝土芯样试件抗压强度满足设计要求，否则应判为 III 类。	芯样侧面有较多气孔，连续的蜂窝麻面、沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，但在两孔的同一深度部位的芯样中未同时出现。 芯样侧面有较多气孔，连续的蜂窝麻面、沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，且在两孔的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代表值满足设计要求，否则应判为 III 类。 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm，且另一孔的同一深度部位的混凝土芯样质量完好，否则应判为 III 类。	芯样侧面有较多气孔，连续的蜂窝麻面、沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，但在三孔的同一深度部位的芯样中未同时出现。 芯样侧面有较多气孔，连续的蜂窝麻面、沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，且在三孔的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代表值满足设计要求，否则应判为 III 类。 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm，且另外两孔的同一深度部位的混凝土芯样质量完好，否则应判为 III 类。
III	大部分混凝土芯样胶结较好，无松散、夹泥现象，但有下列情况之一： 局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm。 芯样不连续完整、多呈短柱状或块状。	任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 20cm，且另一孔的同一深度部位的混凝土芯样质量完好，否则应判为 IV 类。	任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 30cm，且另外两孔的同一深度部位的混凝土芯样质量完好，否则应判为 IV 类。 任一孔局部混凝土芯样松散段长度不大于 10cm，且另外两孔的同一深度部位的混凝土芯样质量完好，否则应判为 IV 类。
IV	有下列情况之一： 因混凝土胶结质量差而难以钻进。 混凝土芯样任一段松散或夹泥。 局部混凝土芯样破碎长度大于 10cm。	有下列情况之一： 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进。 混凝土芯样任一段松散或夹泥。 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 20cm。 两孔在同一深度部位的混凝土芯样破碎。	有下列情况之一： 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进。 混凝土芯样任一段夹泥或松散段长度大于 10cm。 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 30cm。 其中两孔在同一深度部位的混凝土芯样破碎、夹泥或松散。
注：1、如果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，则定为两缺陷处于同一深度部位。 2、混凝土出现分层现象，宜截取分层部位的芯样进行抗压强度试验。抗压强度满足设计要求的，可判为 II 类；抗压强度不满足设计要求或未能制作成芯样试件的，应判为 IV 类。 3、存在水平裂缝的，应判为 III 类。 4、多于三孔的桩身完整性判断参照三孔。			

12.6.5 成桩质量评价应按单根受检桩进行。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 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 桩底持力层岩土性状（强度）或厚度未达到设计或规范要求的桩。

12.6.6 地下连续墙应按单个槽段参照本规范第 12.6.2～12.6.4 条评价。地下连续墙单个槽段的混凝土芯样试件抗压强度代表值为该槽段诸组混凝土芯样试件抗压强度代表值中的最小值。

12.6.7 钻芯孔偏出桩外时，仅对钻取芯样部分进行评价。

12.6.8 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括下列内容：

- 1 检测桩数、钻孔数量、开孔相对位置，架空、混凝土芯进尺、持力层进尺、总进尺，混凝土试件组数、岩石试件组数、圆锥动力触探或标准贯入试验结果；
- 2 按本规范附录 A 附表 A.0.6-3 的格式编制每孔的柱状图；
- 3 芯样单轴抗压强度试验结果；
- 4 芯样彩色照片；

13 单桩竖向抗压静载试验

13.1 适用范围

13.1.1 单桩竖向抗压静载试验适用于检测单桩的竖向抗压承载力，试验方法分为慢速维持荷载法和快速维持荷载法。

复合地基增强体单桩竖向抗压静载试验参照执行。

13.2 仪器设备及其安装

13.2.1 试验加载宜采用油压千斤顶。当采用两台及两台以上千斤顶加载时，应符合下列规定：

- 1 千斤顶规格、型号相同；
- 2 千斤顶的合力中心应与桩轴线重合；
- 3 千斤顶应并联同步工作。

13.2.2 加载反力装置可根据现场条件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，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 应对加载反力装置的主要构件进行强度和变形验算；
- 3 应对锚桩抗拔力（地基土、抗拔钢筋、桩的接头）进行验算；采用工程桩作锚桩时，锚桩数量不应少于 4 根，并应监测锚桩上拔量；
- 4 压重宜在检测前一次加足，并均匀稳固地放置于平台上；
- 5 压重平台支墩施加于地基土上的压应力不宜大于地基土承载力特征值的 1.5 倍。

13.2.3 宜采用自动化静载试验专用测试仪器，其性能指标应符合本规范第 13.2.6 条的规定。

13.2.4 荷载量测可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定，或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶校准结果换算荷载。

13.2.5 宜采用位移传感器或大量程百分表进行桩顶沉降测量，其安装应符合下列规定：

- 1 沉降测定平面宜在桩顶 200mm 以下位置，测点应固定于桩身混凝土上，位移测量仪表应固定于基准梁上；当有桩帽时，位移测量仪表也可直接安装在桩帽上；
- 2 直径或边宽大于 500mm 的桩，应在其两个方向对称安置 4 个位移测量仪表，直径或边宽小于等于 500mm 的桩可对称安置 2 个位移测量仪表；
- 3 应牢固设置基准桩，基准桩和基准梁应具有一定的刚度，梁的一端应固

定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；

4 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、振动及其他外界因素的影响。

13.2.6 试验仪器设备性能指标应符合下列规定：

- 1 压力传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级。
- 2 在试验荷载达到最大试验荷载时，试验用油泵、油管的工作压力不应超过额定工作压力的 80%。
- 3 荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于最大试验荷载的 2.5 倍，也不应小于最大试验荷载的 1.2 倍。
- 4 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。

13.2.7 受检桩、锚桩（或压重平台支墩）和基准桩之间的距离应符合表 13.2.7 规定。

表 13.2.7 受检桩、锚桩（或压重平台支墩）和基准桩之间的距离

反力装置	受检桩中心与锚桩中心	受检桩与压重平台支墩净距	受检桩中心与基准桩中心	基准桩中心与锚桩中心	基准桩与压重平台支墩净距
锚桩横梁	$\geq 3d$ 且 $> 2.0m$			$\geq 3d$ 且 $> 2.0m$	
压重平台			$\geq 3d$ 且 $> 2.0m$		
锚桩压重联合	$\geq 3d$ 且 $> 2.0m$	$\geq 1B$ 且 $> 1.5m$		$\geq 4d$ 且 $> 2.0m$	$\geq 1.5B$ 且 $> 2.0m$
注：1 d 为受检桩或锚桩的设计直径或边宽，取其较大者；如受检桩或锚桩为扩底桩时，受检桩与锚桩的中心距尚不应小于 2 倍扩大端直径。B 为支墩边宽，当 B 大于 2.5m 时取 2.5m。 2 对大直径桩静载试验，当基准梁长度达到 12m 或以上时，其基准桩与受检桩、锚桩（或压重平台支墩）之间的距离仍不能满足上述要求时，应对基准桩位移进行监测。监测方法可采用二级基准梁系统、或采用分辨力可达到 0.1mm 的水准仪等仪器进行检测。					

13.3 现场检测

13.3.1 对工程桩抽样检测时，最大试验荷载不应小于设计要求的单桩竖向抗压承载力特征值的 2.0 倍。

13.3.2 受检桩桩顶部宜高出试坑底面，试坑底面宜与桩承台底标高一致。混凝土桩头加固可按本规范附录 E 执行。

13.3.3 对工程桩用作锚桩的灌注桩和有接头的混凝土预制桩，静载试验前宜对其桩身完整性进行检测。

13.3.4 试验加卸载方式应符合下列规定：

1 分级荷载宜为最大试验荷载的 1/10。

2 加载应分级进行，采用逐级等量加载；其中慢速维持荷载法第一级荷载可取分级荷载的 2 倍，快速维持荷载法第一级荷载和第二级荷载可取分级荷载的 2 倍，以后的每级荷载取为分级荷载。

3 卸载应分级进行，逐级等量卸载，每级卸载量取分级荷载的 2 倍。其中第一级卸载量可视情况取分级荷载的 2~3 倍。

4 加、卸载时应使荷载传递均匀、连续、无冲击，每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过该级增减量的 $\pm 10\%$ 。

13.3.5 慢速维持荷载法的试验步骤应符合下列规定：

1 每级荷载施加后按第 5、15、30、45、60min 测读桩顶沉降量，以后每隔 30min 测读一次；

2 受检桩沉降相对稳定标准：每一小时内的桩顶沉降量不超过 0.1mm，并连续出现两次（由 1.5h 内的沉降观测值计算）；

3 当桩顶沉降速率达到相对稳定标准时，再施加下一级荷载；

4 卸载时，每级荷载维持 1h，按第 5、15、30、60min 测读桩顶沉降量；卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间为 3h，测读时间为第 5、15、30min，以后每隔 30min 测读一次。

13.3.6 快速维持荷载法的试验步骤应符合下列规定：

1 每级荷载施加后按第 5、15、30min 测读桩顶沉降量，以后每隔 15min 测读一次；

2 受检桩沉降相对收敛标准：加载时每级荷载维持时间不应少于一小时，最后 15min 时间间隔的桩顶沉降增量小于相邻 15min 时间间隔的桩顶沉降增量；

3 当桩顶沉降速率达到相对收敛标准时，再施加下一级荷载；

4 卸载时，每级荷载维持 15min，按第 5、15min 测读桩顶沉降量；卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间为 2h，测读时间为第 5、15、30min，以后每隔 30min 测读一次。

13.3.7 试验过程中，需要时可对位移测量仪表重新安装，但应符合下列规定：

1 由于不可预计的原因，基准桩或基准梁遭受破坏；

2 位移测量仪表接近满量程，预测难以继续进行桩顶沉降测量；

3 位移测量仪表重新安装后，应及时进行补充读数。

13.3.8 施加荷载未达到最大试验荷载，当出现下列情况之一而被迫终止加载时，试验结果不得作为验收依据，应重新进行试验：

1 由于加载系统漏油等原因，无法施加荷载；

2 已达加载反力装置的最大试验荷载；

3 当工程桩作锚桩时，锚桩上拔量已达到允许值。

注：依据试验结果应具有代表性的原则，确定是在原受检桩上重新试验还是重新选择受检桩进行试验。

13.3.9 当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 5 倍；

注：当桩顶沉降能稳定且总沉降量小于 40mm 时，宜加载至桩顶总沉降量超过 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，且经 24h 尚未达到稳定（收敛）标准；

3 当达不到极限荷载，已达到最大试验荷载，桩顶沉降速率达到相对稳定（收敛）标准；

4 当荷载 - 沉降曲线呈缓变型时，可加载至桩顶总沉降量 60~80mm；在特殊情况下，可根据具体要求加载至桩顶累计沉降量超过 80mm。

13.3.10 当采用人工记录时，单桩竖向抗压静载试验检测数据可按本规范附录 A 附表 A.0.7 的格式记录。

13.4 检测数据分析与判定

13.4.1 确定单桩竖向抗压承载力时，应绘制竖向荷载 - 沉降（ $Q-s$ ）关系曲线和沉降 - 时间对数（ $s-lgt$ ）关系曲线，需要时也可绘制 $s-lgQ$ 和 $lgs-lgQ$ 等其他辅助分析曲线。

13.4.2 单桩竖向抗压极限承载力 Q_u 可按下列方法综合分析确定：

1 根据沉降随荷载变化的特征确定：对于陡降型 $Q-s$ 曲线，取其发生明显陡降的起始点所对应的荷载值；

2 根据沉降随时间变化的特征确定：取 $s-lgt$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；

3 出现第 13.3.9 条第 2 款情况，取前一级荷载值；

4 出现第 13.3.9 条第 3 款情况，桩的竖向抗压极限承载力取大于等于最大试验荷载值；

5 对于缓变型 $Q-s$ 曲线可根据沉降量确定：对直径小于 800mm 的桩，宜取 $s=40\text{mm}$ 对应的荷载值；对直径大于或等于 800mm 的桩，可取 $s=0.05d$ （ d 为桩端直径）且 s 不大于 80mm 对应的荷载值。

当桩长大于 25m 时，宜考虑桩身弹性压缩量，但竖向抗压极限承载力对应的沉降量不得大于 80mm；

13.4.3 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括下列内容：

1 受检桩及锚桩的设计与施工资料、锚桩数量；

- 2 加载反力装置类型，堆载法应指明堆载重量，锚桩法应有反力梁布置示意图；
- 3 加卸载方法，荷载分级；
- 4 本规范第 13.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；与承载力判定有关的曲线及数据；
- 5 受检桩单桩竖向抗压极限承载力。

14 单桩竖向抗拔静载试验

14.1 适用范围

14.1.1 单桩竖向抗拔静载试验适用于检测单桩的竖向抗拔承载力。

14.2 仪器设备及其安装

14.2.1 试验加载宜采用油压千斤顶。当采用两台及两台以上千斤顶加载时，应符合下列规定：

- 1 千斤顶规格、型号相同；
- 2 千斤顶的合力中心应与桩轴线重合；
- 3 千斤顶应并联同步工作。

14.2.2 试验反力装置宜采用反力桩（工程桩可用作反力桩）提供支座反力，也可根据现场情况采用天然地基提供支座反力。反力装置应符合下列规定：

- 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 应对加载反力装置的主要构件进行强度和变形验算；
- 3 采用反力桩提供支座反力时，反力桩顶面应平整并具有足够的强度；
- 4 采用天然地基提供反力时，施加于地基土上的压应力不宜大于地基土承载力特征值的 1.5 倍。

14.2.3 荷载量测可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定；或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶校准结果换算荷载。

14.2.4 宜采用位移传感器或大量程百分表进行桩顶上拔量测量，其安装应符合下列规定：

- 1 上拔量测定平面宜与基础底标高一致，测点应固定于桩身混凝土上，条件许可时，也可固定在桩顶面上，位移测量仪表应固定于基准梁上；
- 2 直径或边宽大于 500mm 的桩，应在其两个方向对称安置 4 个位移测量仪表，直径或边宽小于等于 500mm 的桩可对称安置 2 个位移测量仪表；
- 3 应牢固设置基准桩，基准桩和基准梁应具有一定的刚度，梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；
- 4 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、振动及其他外界因素的影响。

14.2.5 试验仪器设备性能指标应符合下列规定：

- 1 压力传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级。
- 2 在试验荷载达到最大试验荷载时，试验用油泵、油管的压力不应超过规定工作压力的 80%。

3 荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于最大试验荷载的 2.5 倍，也不应小于最大试验荷载的 1.2 倍。

4 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。

14.2.6 受检桩、反力桩（或反力支墩）和基准桩之间的距离应符合表 14.2.6 规定。

表 14.2.6 受检桩、反力桩、反力支墩边和基准桩之间的距离

反力装置	受检桩中心 与反力桩中心	受检桩中心 与反力支墩边	受检桩中心 与基准桩中心	基准桩中心 与反力桩中心	基准桩中心 与反力支墩边
反力桩装置	≥3d 且 >2.0m		≥3d 且 >2.0m	≥3d 且 >2.0m	
反力支墩 装置		≥2B 且 >2.0m			≥1.5B 且 >2.0m
注：1 d—受检桩的设计直径，如受检桩为扩底桩时，d 为扩大端直径。B—反力支墩宽度。 2 对大直径桩静载试验，当基准梁长度达到 12m 或以上时，其基准桩与受检桩、反力桩（或反力支墩）之间的距离仍不能满足上述要求时，应对基准桩位移进行监测。监测方法可采用二级基准梁系统、或采用分辨力可达到 0.1mm 的水准仪等仪器进行检测。					

14.3 现场检测

14.3.1 对工程桩抽样检测时，最大试验荷载不应小于设计要求的单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍。对不允许带裂缝工作的工程桩，按设计要求确定最大试验荷载，最大试验荷载不应小于设计要求的单桩竖向抗拔承载力特征值。

14.3.2 试验前，受检桩桩头处理应符合下列规定：

1 受检桩应预留出足够主筋长度。必要时，混凝土灌注桩可用钢筋混凝土制作受检桩抗拔测试承台，管桩可进行插筋填芯处理。

2 试坑底面宜与桩承台底标高一致。受检桩顶露出试坑底面的高度不宜小于 600mm。

14.3.3 试验加卸载方式应符合下列规定：

1 加载应分级进行，采用逐级等量加载；分级荷载宜为最大试验荷载或预估极限承载力的 1/10，其中第一级荷载可取分级荷载的 2 倍。

2 卸载应分级进行，每级卸载量取分级荷载的 2 倍，逐级等量卸载。

3 加、卸载时应使荷载传递均匀、连续、无冲击，每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过该级增减量的 $\pm 10\%$ 。

14.3.4 单桩竖向抗拔静载试验应采用慢速维持荷载法，试验步骤应符合下列规定：

1 每级荷载施加后按第 5、15、30、45、60min 测读桩顶上拔量，以后每

隔 30min 测读一次；

2 受检桩上拔量相对稳定标准：每一小时内的桩顶上拔量不超过 0.1mm，并连续出现两次（由 1.5h 内的上拔量观测值计算）

3 当桩顶上拔量速率达到相对稳定标准时，再施加下一级荷载；

4 卸载时，每级荷载维持 1h，按第 5、15、30、60min 测读桩顶上拔量；卸载至零后，应测读桩顶残余上拔量，维持时间为 3h，测读时间为第 5、15、30min，以后每隔 30min 测读一次；

5 试验过程中应仔细观察桩身混凝土开裂情况。

14.3.5 施加荷载未达到最大试验荷载，当出现下列情况之一而被迫终止加载时，应重新进行试验：

1 由于加载系统漏油、反力支墩下沉等原因，无法施加荷载；

2 已达加载反力装置的最大试验荷载。

14.3.6 符合下列条件之一时，即可终止加载：

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，且累计上拔量大于 15mm；

2 当达不到极限荷载，已达到最大试验荷载，桩顶上拔量速率达到相对稳定标准；

3 按钢筋抗拉强度控制，桩顶上拔荷载达到钢筋强度标准值的 0.9 倍；

4 按桩顶上拔量控制，当累计桩顶上拔量超过 100mm 时。

14.3.7 单桩竖向抗拔静载试验检测数据可参照附录 A 附表 A.0.7 的格式记录。

14.4 检测数据分析与判定

14.4.1 确定受检桩单桩竖向抗拔承载力时，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，需要时可绘制其他辅助分析曲线。

14.4.2 受检桩单桩抗拔极限承载力可按下列方法确定：

1 根据上拔量随荷载变化的特征确定：对陡变型 $U-\delta$ 曲线，取陡升起始点对应的荷载值；

注：在某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级荷载作用下的上拔量的 5 倍，且累计上拔量不大于 15mm 时，可不按陡升段处理。

2 根据上拔量随时间变化的特征确定：取 $\delta-\lg t$ 曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的前一级荷载值；

3 出现本规范第 14.3.6 条第 1 款情况，取前一级荷载；

4 出现本规范第 14.3.6 条第 2 款情况，桩的竖向抗拔极限承载力取大于

等于最大试验荷载值；

5 当在某级荷载下桩身抗拔钢筋断裂时，取其前一级荷载值。

14.4.3 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括下列内容：

- 1 受检桩的桩径尺寸、材料强度、主筋情况；
- 2 加载反力装置类型、反力装置布置示意图；
- 3 受检桩单桩竖向抗拔极限承载力。

15 单桩水平静载试验

15.1 适用范围

15.1.1 单桩水平静载试验适用于检测单桩的水平承载力，推定地基土水平抗力系数的比例系数。

15.1.2 本方法适用于桩顶自由时的单桩水平静载试验；其他形式的水平静载试验可参照使用。

15.2 仪器设备及其安装

15.2.1 试验加载宜采用油压千斤顶。水平力作用点宜与实际工程的桩基承台底面标高一致；受检桩和千斤顶接触处应安置球形支座，千斤顶作用力应水平通过桩身轴线；与千斤顶接触的受检桩处宜适当补强。

15.2.2 水平推力的反力可由相邻桩提供；当专门设置反力结构时，其承载能力应大于最大试验荷载的 1.2 倍，且应有足够的刚度。反力桩与受检桩之间的净距不宜小于 2 倍受检桩直径。

15.2.3 荷载量测可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定；或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶校准结果换算荷载。

15.2.4 桩的水平位移测量宜采用位移传感器或大量程百分表，安装应符合下列规定：

1 在水平力作用平面的受检桩两侧应对称安装两个位移测量仪表；当需要测量桩顶转角时，尚应在水平力作用平面以上 50cm 的受检桩两侧对称安装两个位移测量仪表。

2 基准桩应设置在与加载时受检桩位移方向相反的受检桩侧面，基准桩与受检桩净距不应小于 1 倍桩径且不宜小于 2m。

3 应牢固设置基准桩，基准桩和基准梁应具有一定的刚度，梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；基准梁宜与水平作用力方向垂直。

4 基准桩、基准梁和固定位移测试仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

15.2.5 试验仪器设备性能指标应符合下列规定：

1 压力传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级。

2 在最大试验荷载时，试验用油泵、油管的压力不应超过规定工作压力的 80%。

3 荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于最大试验荷载的 2.5 倍，也不应小于最大试验荷载的 1.2 倍。

4 水平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；

15.3 现场检测

15.3.1 对工程桩抽样检测时，最大试验荷载不应小于设计要求的单桩水平承载力特征值的 2.0 倍。当对抗裂有要求时，可按设计要求的水平位移允许值控制加载。

15.3.2 加载方法应根据工程桩实际受力特性选用单向多循环加载法或本规范第 13 章规定的慢速维持荷载法。

15.3.3 采用单向多循环加载法时，试验加卸载方式和水平位移测量应符合下列规定：

1 加载应分级进行，采用逐级等量加载；单向多循环加载法的分级荷载宜为最大试验荷载的 1/10。

2 每级荷载施加后，维持荷载 4min 后可测读水平位移，然后卸载至零，停 2min 测读残余水平位移，至此完成一个加卸载循环。每级荷载如此循环 5 次后再施加下一级荷载。试验不得中间停顿。

15.3.4 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1 桩身折断；
- 2 水平位移超过 30~40mm（软土时取 40mm）；
- 3 当达不到极限荷载，已达到最大试验荷载，且对单向多循环加载法完成 5 次循环加卸载，对慢速维持荷载法其桩顶水平位移达到相对稳定标准；
- 4 水平位移达到设计要求的水平位移允许值。

15.3.5 单桩水平静载试验检测数据可按本规范附录 A 附表 A.0.8 的格式记录。

15.4 检测数据分析与判定

15.4.1 检测数据应按下列要求整理：

1 采用单向多循环加载法时应绘制水平力 - 时间 - 作用点位移 ($H - t - Y_0$) 关系曲线和水平力 - 位移梯度 ($H - \Delta Y_0 / \Delta H$) 关系曲线。

2 采用慢速维持荷载法时应绘制水平力 - 力作用点位移 ($H - Y_0$) 关系曲线、水平力 - 位移梯度 ($H - \Delta Y_0 / \Delta H$) 关系曲线、力作用点位移 - 时间对数 ($Y_0 - \lg t$) 关系曲线和水平力 - 力作用点位移双对数 ($\lg H - \lg Y_0$) 关系曲线。

3 必要时，绘制水平力 - 地基土水平抗力系数的比例系数的关系曲线 ($H - m$)、水平力作用点水平位移 - 地基土水平抗力系数的比例系数的关系曲线 ($Y_0 - m$)。

当桩顶自由且水平力作用位置位于地面处时， m 值可按下列公式确定：

$$m = \frac{(v_y \cdot H)^{\frac{5}{3}}}{b_0 Y_0^{\frac{5}{3}} (EI)^{\frac{2}{3}}} \quad (15.4.1 - 1)$$

$$\alpha = \left(\frac{mb_0}{EI} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (15.4.1 - 2)$$

式中 m ——地基土水平土抗力系数的比例系数 (kN/m^4)；

α ——桩的水平变形系数 (m^{-1})；

v_y ——桩顶水平位移系数，由式 (15.4.1-2) 试算 α ，当 $\alpha h \geq 4.0$ 时 (h 为桩的入土深度)，其值为 2.441；

H ——作用于地面的水平力 (kN)；

Y_0 ——水平力作用点的水平位移 (m)；

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

b_0 ——桩身计算宽度 (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， $b_0 = b + 1$ 。

15.4.2 单桩的水平临界荷载可按下列方法综合确定：

1 取单向多循环加载法时的 $H - t - Y_0$ 曲线或慢速维持荷载法时的 $H - Y_0$ 曲线出现拐点的前一级水平荷载值。

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

3 取 6~10mm 对应的水平荷载值 (软土取大值，硬土取小值)。当设计对位移有要求时，按设计要求取值。

15.4.3 单桩的水平极限承载力可根据下列方法综合确定：

1 取单向多循环加载法时的 $H - t - Y_0$ 曲线出现明显陡降的前一级荷载，或慢速维持荷载法时的 $H - Y_0$ 曲线产生明显陡降的起始点对应的水平荷载值。

2 取慢速维持荷载法时的 $Y_0 - \lg t$ 曲线尾部出现明显弯曲的前一级水平荷载值。

3 取 $H - \Delta Y_0 / \Delta H$ 曲线或 $\lg H - \lg Y_0$ 曲线上第二拐点对应的水平荷载值。

4 取桩身折断或受拉钢筋屈服时的前一级水平荷载值。

5 当出现 15.3.4 条第 3 款情况，桩的水平极限承载力取大于等于最大试验荷载值。

15.4.4 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 取水平临界荷载。

2 当按设计要求的水平允许位移控制且水平极限承载力不能确定时，取设计要求的水平允许位移所对应的水平荷载，并与水平临界荷载相比较取小值。

15.4.5 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容外，还应包括：

- 1 受检桩的截面尺寸及配筋情况；
- 2 试验方法，荷载分级；
- 3 第 15.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 4 受检桩单桩水平极限荷载或单桩水平承载力特征值。

16 支护锚杆和土钉验收试验

16.1 适用范围

16.1.1 采用接近于支护锚杆和土钉的实际工作条件的试验方法，确定支护锚杆和土钉在验收荷载作用下的工作性状，为工程验收提供依据。

16.1.2 本方法适用于基坑支护工程、边坡工程等拉力型锚杆（包括锚索）、土钉的验收。

16.1.3 支护锚杆基本试验和蠕变试验的仪器设备及安装宜按本规范执行，具体试验方法可参照《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-99、《建筑地基基础设计规范》GB50007—2002 和《建筑边坡技术规范》GB50330-2002 执行。

16.2 仪器设备及其安装

16.2.1 试验加载宜采用油压千斤顶，千斤顶的作用力方向应与土钉、支护锚杆轴线重合。

16.2.2 土钉、支护锚杆的验收试验的加载反力装置宜采用支座横梁反力装置，在下列条件下也可采用承压板式反力装置。

1 支护锚杆支撑体系中设置有连续墙、排桩、腰梁、圈梁等支撑构件，支撑构件能提供足够的加载反力。

2 土质边坡、基坑侧壁设置有足够厚度的混凝土面层，或在土钉、支护锚杆周围为试验而设置有足够厚度的混凝土面层，混凝土面层能提供足够的加载反力。

16.2.3 支座横梁反力装置应符合下列规定：

- 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 对加载反力装置的主要构件进行强度和变形验算；
- 3 支座底的压应力不宜大于支座底的岩土承载力特征值的 1.5 倍；
- 4 土钉、支护锚杆中心与支座边的距离应大于等于 $1B$ （ B 为支座边宽）且大于 1.0m。

16.2.4 承压板式反力装置应符合下列规定：

- 1 承压板应有足够的刚度，可由钢板或方木等制作而成。
- 2 承压板应有足够的面积，试验时支撑构件或混凝土面层不得破坏。

16.2.5 荷载量测可采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶校准结果换算荷载。

16.2.6 宜采用位移传感器或大量程百分表对土钉、支护锚杆位移进行测量，其安装应符合下列规定：

- 1 位移测量点应选择在非受力的土钉、**支护**锚杆杆体上或土钉、**支护**锚杆顶部，不得选择在千斤顶上。
- 2 应安装 1~2 个位移测试仪表。
- 3 位移测量方向应沿着土钉、**支护**锚杆的轴向变形方向。
- 4 基准桩中心与土钉、**支护**锚杆中心的距离应大于等于 $6d$ (d 为土钉、锚杆孔直径) 且大于 1.0m，基准桩中心与承压板（反力支座）边的距离应大于承压板（反力支座）边宽且大于 1.0m。
- 5 基准梁应具有足够的刚度，并应稳固地安置在基准桩上。
- 6 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、振动及其他外界因素的影响。

16.2.7 试验仪器设备性能指标应符合下列规定：

- 1 压力传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级。
- 2 在试验荷载达到最大试验荷载时，试验用油泵、油管的工作压力不应超过额定工作压力的 80%。
- 3 千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于试验要求的最大试验荷载的 2.5 倍、也不应小于试验要求的最大试验荷载的 1.2 倍。
- 4 **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。

16.3 现场检测

16.3.1 确定土钉、支护锚杆的最大试验荷载 $N_{\max}$ 应符合下列规定：

- 1 土钉、临时性**支护**锚杆的最大试验荷载应取其轴向受拉承载力设计值 N_u 的 1.0~1.2 倍或者其轴向受拉承载力特征值 R_t 的 1.2~1.5 倍。
- 2 永久性**支护**锚杆的最大试验荷载应取**支护**锚杆轴向受拉承载力设计值 N_u 的 1.2~1.5 倍或者**支护**锚杆轴向受拉承载力特征值 R_t 的 1.5~2.0 倍。
- 3 当设计有规定时按设计要求。

16.3.2 锚固体强度达到设计强度的 90%后方可进行试验。试验时，土钉、**支护**锚杆应与支撑构件或混凝土面层脱离，处于独立受力状态。

16.3.3 土钉、非预应力**支护**锚杆的验收试验应符合下列要求：

- 1 初始荷载取最大试验荷载的 0.1 倍。
- 2 采用维持荷载法，逐级加载。加、卸载等级和持荷时间应符合表 16.3.3 的规定。

表 16.3.3 土钉、非预应力支护锚杆验收试验的加荷等级和持荷时间规定

试验荷载	$0.1 N_{\max}$	$0.2 N_{\max}$	$0.4 N_{\max}$	$0.6 N_{\max}$	$0.8 N_{\max}$	$1.0 N_{\max}$
持荷时间 (min)	5	5	5	10	10	≥ 15

注：土钉加荷等级应在上表中增加 $0.9 N_{\max}$ 一级，持荷时间为 10min。

3 每级荷载施加后按第 1、5、10min 测读锚头位移，以后每间隔 5min 测读一次位移，每级荷载达到持荷时间并测读位移后施加下一级荷载。

4 位移相对稳定标准：最大试验荷载持荷时，后 5min 的位移增量小于前 5min 的位移增量，并连续出现两次。

5 达到相对稳定标准后，卸荷至初始荷载并测读位移。

6 在某级荷载作用下，由于土钉、非预应力支护锚杆的位移量不断增加，试验荷载无法维持，或者加载至最大试验荷载持荷时，连续 10 次测读位移均未达到相对稳定标准，可终止试验。

16.3.4 预应力支护锚杆的验收试验应符合下列规定：

1 试验前应解除预应力。

2 初始荷载取最大试验荷载的 0.1 倍。对钢绞线预应力锚杆，初始荷载也可取最大试验荷载的 0.3 倍。

3 采用维持荷载法，逐级加载。加荷等级和持荷时间应符合按表 16.3.4 的规定。

表 16.3.4 预应力支护锚杆验收试验的加荷等级和持荷时间

试验荷载	$0.10 N_{\max}$	$0.30 N_{\max}$	$0.50 N_{\max}$	$0.70 N_{\max}$	$0.80 N_{\max}$	$0.90 N_{\max}$	$1.0 N_{\max}$
持荷时间 (min)	10	10	10	10	10	10	≥ 10

4 每级荷载施加后按第 1、5、10min 测读锚头位移，每级荷载达到持荷时间并测读位移后施加下一级荷载。

5 位移相对稳定标准：最大试验荷载持荷时，当第 5、10min 测读的位移增量之和不大于 1.0mm 时，可卸载；否则应再维持 50min，并在第 15、20、25、30、45 和 60min 测读锚头位移。

6 达到相对稳定标准后，卸荷至初始荷载并测读位移。

7 在某级荷载作用下，由于预应力支护锚杆的位移量不收敛，试验荷载无法维持，可终止试验。

8 试验完成后，施工单位应按设计要求加载至锁定荷载锁定。

16.3.5 土钉、支护锚杆验收试验的试验数据可按附录 A 附表 A.0.9 的格式进

行记录。

16.4 检测数据分析与判定

16.4.1 试验结果应按每级荷载对应的锚头位移列表整理，并绘制荷载—位移（ $Q-\delta$ ）曲线，需要时可绘制其他辅助分析曲线。

16.4.2 最大试验荷载时，位移增量达到相对稳定标准，取最大试验荷载为土钉的抗拔力；当出现本规范第 16.3.3 条第 6 款时，取前一级荷载为土钉的抗拔力。

对同一条件的土钉进行统计分析，当满足下列条件时，判所检测的土钉验收试验结果满足设计要求：

- 1 抗拔力平均值应不小于设计抗拔力；
- 2 抗拔力最小值应不小于设计抗拔力的 0.9 倍。

16.4.3 当满足下列条件时，判所检测的非预应力支护锚杆验收试验结果满足设计要求：

- 1 在最大试验荷载持荷下，位移增量达到相对稳定标准。
- 2 支护锚杆试验从初始荷载至最大试验荷载所得的总弹性位移应小于自由段长度与 1/2 锚固段长度之和的杆体理论弹性伸长值（按式 16.4.4-3 计算）。
- 3 当设计有要求时，锚杆总位移量小于设计要求的最大位移要求。

16.4.4 当满足下列条件时，判所检测的预应力支护锚杆验收试验结果满足设计要求：

- 1 在最大试验荷载持荷下，第 5、10min 测读的位移增量之和不大干 1.0mm 或者第 10~60min 测读的位移增量之和不大干 2.0mm。
- 2 支护锚杆试验从初始荷载至最大试验荷载所得的总弹性位移应超过该荷载范围内自由段长度理论弹性伸长值（按式 16.4.4-1 计算）的 80%，且应小于自由段长度与 1/2 锚固段长度之和的杆体理论弹性伸长值（按式 16.4.4-3 计算）。

$$\Delta L_1 = \frac{0.9(0.7)N_{\max}L_1}{EA} \quad (16.4.4-1)$$

$$\Delta L_2 = \frac{0.9(0.7)N_{\max}L_2}{2EA} \quad (16.4.4-2)$$

$$\Delta L_3 = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (16.4.4-3)$$

式中 $N_{\max}$ ——最大试验荷载（kN）

ΔL_1 ——从初始荷载至最大试验荷载，支护锚杆自由段长度理论弹性伸长值（mm）；

ΔL_2 ——从初始荷载至最大试验荷载，1/2 锚固段长度的杆体理论弹性伸长值 (mm)；

ΔL_3 ——从初始荷载至最大试验荷载，**支护**锚杆自由段长度与 1/2 锚固段长度的杆体理论弹性伸长值 (mm)；

L_1 —— **支护**锚杆自由段长度 (m)；

L_2 —— **锚固段长度** (m)；

E —— 杆体弹性模量 (MPa)；

A —— 杆体横截面积 (m²)；

η 0.9 (0.7)——初始荷载取最大试验荷载的 0.1 倍时取 0.9，初始荷载取最大试验荷载的 0.3 倍时取 0.7。**(公式里面的 0.7 与 0.9 改用 η)**

支护锚杆从初始荷载至最大试验荷载所得的总弹性位移**为**最大试验荷载时的锚头总位移减去卸载至初始荷载时的残余位移。

16.4.5 检测报告除应包括本规范第 **3.7.8** 条内容以外，还应包括下列内容：

- 1 受检**支护**锚杆的尺寸 (**支护**锚杆孔径、锚杆长度和杆体直径、自由段长度和角度)，**受检土钉的尺寸** (**土钉直径、长度**)，杆体材料及材料强度；
- 2 加载反力装置；
- 3 加卸载方法，荷载分级；
- 4 第 16.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 5 土钉、**支护**锚杆验收标准。

17 基础锚杆抗拔试验

17.1 适用范围

17.1.1 采用接近于基础锚杆的实际工作条件的试验方法，检测基础锚杆的抗拔承载力，为工程验收提供依据。

17.1.2 本方法适用于抗拔基础锚杆的验收检测。

17.2 仪器设备及其安装

17.2.1 试验加载宜采用油压千斤顶，千斤顶的作用力方向应与基础锚杆轴线重合。

17.2.2 基础锚杆抗拔试验的加载反力装置应选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 对加载反力装置的主要构件进行强度和变形验算；
- 3 施加于支座下的地基应力不宜大于地基承载力特征值的 1.5 倍；
- 4 基础锚杆中心与支座边的距离应大于等于 $2B$ (B 为支座边宽) 且大于

2.0m。

17.2.3 荷载量测可采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶校准结果换算荷载。

17.2.4 宜采用位移传感器或大量程百分表进行锚头位移量测，其安装应符合下列规定：

1 位移测量点应选择在非受力基础锚杆杆体上或基础锚杆顶部，不得选择在千斤顶上。

2 应对称安置 2 个位移测量仪表；

3 基准桩中心与基础锚杆中心的距离应大于等于 $6d$ (d 为锚杆孔直径) 且大于 2.0m，基准桩中心与反力支座边的距离应大于等于 $1.5B$ (B 为反力支座边宽) 且大于 2.0m。

4 基准梁应具有足够的刚度，并应稳固地安置在基准桩上。

5 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、振动及其他外界因素的影响。

17.2.5 试验仪器设备性能指标应符合下列规定：

- 1 压力传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级。

2 在试验荷载达到最大试验荷载时, 试验用油泵、油管的工作压力不应超过额定工作压力的 80%。

3 千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于试验要求的最大试验荷载的 2.5 倍、也不应小于试验要求的最大试验荷载的 1.2 倍。

4 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。

17.3 现场检测

17.3.1 基础锚杆分为岩石锚杆、土层锚杆。锚固体强度达到设计强度后方可进行试验。试验时, 基础锚杆应与垫层等脱离, 处于独立受力状态。

17.3.2 基础锚杆抗拔试验的最大试验荷载不应小于设计要求的基础锚杆抗拔承载力特征值的 2.0 倍。

17.3.3 试验加卸载方式应符合下列规定:

1 加载应分级进行, 采用逐级等量加载, 分级荷载宜为最大试验荷载的 1/10。

2 卸载应分级进行, 每级卸载量取加载时分级荷载的 2 倍, 逐级等量卸载。

3 加、卸载时应使荷载传递均匀、连续、无冲击, 每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过该级增减量的 $\pm 10\%$ 。

17.3.4 试验步骤应符合下列规定:

1 每级荷载施加完毕后, 应立即测读位移量。岩石锚杆按每间隔 5min 测读一次; 土层锚杆按第 5、15、30、60min 测读位移量, 以后每隔 30min 测读位移量。

2 位移相对稳定标准: 30min 内岩石锚杆的锚头位移不大于 0.05mm, 土层锚杆一小时内的锚头位移不大于 0.50mm。

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, 按第 5、10、15min 测读锚头位移。

17.3.5 当出现下列情况之一时, 即可终止加载:

1 在某级荷载作用下, 锚头位移不收敛, 岩石锚杆在 1 小时或土层锚杆在 3 小时内未达到位移相对稳定标准;

2 在某级荷载作用下, 荷载无法维持稳定;

3 在某级荷载作用下, 基础锚杆杆体被拔断;

4 已达到最大试验荷载要求, 锚头位移达到位移相对稳定标准。

17.3.6 基础锚杆抗拔试验的试验数据可按附录 A 附表 A.0.9 的格式进行记录。

17.4 检测数据分析与判定

17.4.1 确定基础锚杆竖向抗拔承载力时，应绘制基础锚杆荷载-位移 ($Q-\delta$)、位移-时间对数 ($\delta-\lg t$) 曲线，需要时也可绘制其他辅助分析曲线。

17.4.2 基础锚杆极限抗拔承载力和抗拔承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 当符合本规范第 17.3.5 第 1、2、3 款时，应取终止加载的前一级荷载为该基础锚杆的极限抗拔力。

2 当符合本规范第 17.3.5 第 4 款时，应取最大试验荷载为该基础锚杆的极限抗拔力。

3 将基础锚杆极限抗拔力除以安全系数 2 即为该基础锚杆抗拔承载力特征值 R_t 。

17.4.3 检测报告除应包括本规范第 3.7.8 条内容以外，还应包括：

1 受检基础锚杆的尺寸（锚杆孔径、锚杆长度和杆体直径），杆体材料及材料强度，锚杆类型；

2 加载反力装置；

3 加卸载方法，荷载分级；

4 第 17.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；

5 基础锚杆抗拔承载力特征值。

18 沉降观测

18.1 适用范围

- 18.1.1 沉降观测可用于建筑工程地基基础和场地的沉降（包括隆起）测量。
- 18.1.2 当预制桩施工过程中出现隆起、上浮时，沉降观测可用于预制桩施工监测。
- 18.1.3 沉降观测能测定地基基础的沉降量，计算沉降差、沉降速度、基础倾斜，可反映地基基础实际变形。

18.2 观测等级及仪器设备

- 18.2.1 沉降观测的等级划分及其精度要求应符合表 18.2.1 的规定。

表 18.2.1 沉降观测等级划分及其精度要求

观测等级	观测点测站 高差中误差	适用范围
特级	$\pm 0.05\text{mm}$	特高精度要求的特种精密工程的沉降测量
一级	$\pm 0.15\text{mm}$	地基基础设计为甲级的建筑物的沉降测量、重大古建筑和特大型市政桥梁的沉降测量等
二级	$\pm 0.50\text{mm}$	地基基础设计为甲、乙级的建筑物的沉降测量，重要管线的沉降测量，地铁施工及运营的沉降测量，场地滑坡测量和大型市政桥梁的沉降测量等
三级	$\pm 1.50\text{mm}$	地基基础设计为乙、丙级的建筑物的沉降测量，建筑地面的沉降测量、一般管线的沉降测量和中小型市政桥梁的沉降测量等

- 18.2.2 沉降观测宜采用几何水准测量方法，并选用满足观测等级要求的水准仪。各观测等级几何水准测量的技术要求应符合表 18.2.2-1~18.2.2 的规定。

表 18.2.2-1 水准观测的仪器、视线长度、前后视距差和视线高度

观测	水准仪	水准尺	测量方法	视线	前后	前后视	视线
----	-----	-----	------	----	----	-----	----

等级	型 号			长度 (m)	视距 差 (m)	距累积 差 (m)	高度 (m)
特级	DSZ05	钢 瓦 合 金标尺、 条码尺	光学测微 法	≤ 10	≤ 0.3	≤ 0.5	≥ 0.8
一级	DS05			≤ 30	≤ 0.7	≤ 1.0	≥ 0.5
二级	DS1、DS05			≤ 50	≤ 2.0	≤ 3.0	≥ 0.3
三级	DS1、DS05、 DS3	区 格 式 木 质 标 尺 或 钢 瓦 合 金 标 尺、条 码 尺	中丝读数 法或光学 测微法	≤ 75	≤ 5.0	≤ 8.0	≥ 0.2

表 18.2.2-2 水准观测的限差 (mm)

观测等级		基辅分 划读数 之差	基辅分划 所测高差 之差	往返较差及 附和或环线 闭合差	单程双测 站所测高 差之差	检测已测 段所测高 差之差
特级		0.15	0.2	$\leq 0.1\sqrt{n}$	$\leq 0.07\sqrt{n}$	$\leq 0.15\sqrt{n}$
一级		0.3	0.5	$\leq 0.3\sqrt{n}$	$\leq 0.2\sqrt{n}$	$\leq 0.45\sqrt{n}$
二级		0.5	0.7	$\leq 1.0\sqrt{n}$	$\leq 0.7\sqrt{n}$	$\leq 1.5\sqrt{n}$
三 级	光学测微法	1.0	1.5	$\leq 3.0\sqrt{n}$	$\leq 2.0\sqrt{n}$	$\leq 4.5\sqrt{n}$
	中丝读数法	2.0	3.0			

注：表中 n 为测站数

18.2.3 水准仪、水准标尺除按 3.1.8 条的规定送检外，在使用前还应进行检查，使用过程中也应定期检查。检查结果应符合下列要求：

1 i 角对用于特级水准观测的仪器不得大于 $10''$ ，对用于一、二级水准观测的仪器不得大于 $15''$ ，对用于三级水准观测的仪器不得大于 $20''$ 。补偿式自动安平水准仪的补偿误差 Δ 。绝对值不得大于 $0.2''$ 。

2 水准标尺分划线的分米分划线误差和米分划线间隔真长与名义长度之差，对于线条式钢瓦合金标尺不应大于 0.1mm ，对于区格式木质标尺不应大于 0.5mm 。

18.3 水准基点和观测点设置

18.3.1 水准基点的设置应符合下列要求：

1 在一个观测区内，特级沉降观测水准基点应不少于四个，其他级别沉降观测不应少于三个。

2 水准基点应设置在建筑物所产生的压力影响范围以外。不应埋设在道路、仓库、河岸、新填土、将建设或堆料的地方以及受震动影响的范围之内。水准基点与建筑物之间的水平净距离宜为 20~40m，对普通工业与民用建筑物应不小于 15m，对较大型并略有振动的工业与民用建筑物应不小于 25m，对高层建筑物应不小于 30m。

水准基点应根据现场条件设置在进入基岩或低压缩性土层的基准桩上、附近沉降稳定的建（构）筑物上，也可利用附近已有的永久水准点。

3 水准基点的帽头宜用不锈钢或铜材制成，如用普通钢代替，应采取防锈措施。

4 水准基点应达到稳定后方可开始观测。

18.3.2 观测点应根据建筑结构特点和建筑地基变形特征并结合地质情况确定。观测点数量不宜少于 6 点，如有特殊要求，宜增设观测点。观测点宜设在下列位置：

1 建筑物的四角、核心筒的四角、大转角处及沿外墙每 10~20m 处或每隔 2~3 根柱基上。

2 宽度大于等于 15m 或小于 15m 而地质复杂地区的建筑物，在承重内隔墙中部设内墙点，在室内地面中心及四周设地面点。

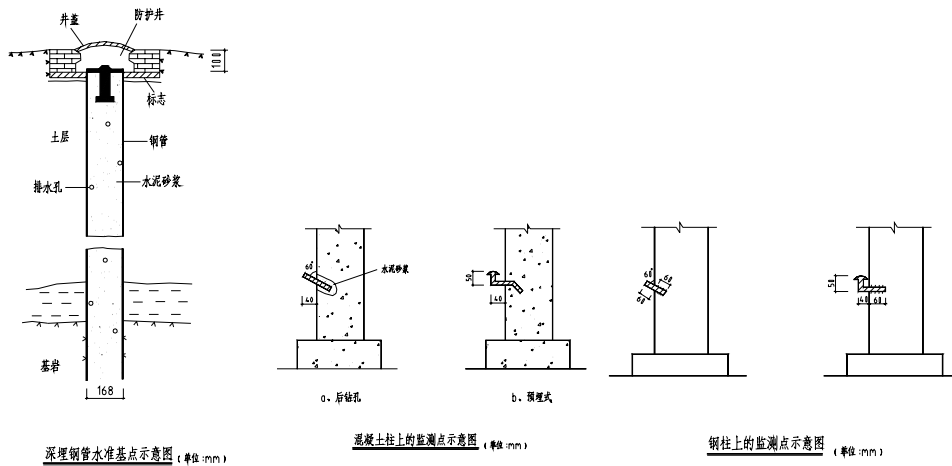
3 框架结构建筑物的每个或部分柱基上或沿纵横轴线上。

4 筏形基础或接近基础的结构部分之四角处及其中部位置。

5 重型设备基础和动力设备基础的四角、基础型式或埋深改变处以及地质条件变化处两侧。

6 设计有要求时按设计要求。

18.3.3 沉降观测的标志，可根据不同的建筑结构类型和建筑材料，采用墙（柱）标志、基础标志和隐蔽式标志等型式。各类标志的立尺部位应加工成半球形或有明显的突出点，并采取防腐防锈措施。标志的埋设位置应避开有碍设标与观测的障碍物，并应视立尺需要离开墙（柱）面和地面一定距离。水准基点可用钻孔埋设，观测点可用铆钉、膨胀螺栓、角钢等埋在混凝土中，或钢柱底座，突出的角隅（见图 18.3.3）。



18.4 现场观测

18.4.1 沉降观测应在基础施工完成后开始，首次测量(即零周期)应连续进行两次的独立观测，并取观测结果的中数作为测量初始值。

18.4.2 施工阶段的沉降观测频次应根据建筑物的地基类型和加荷情况确定：

1 装配式钢筋混凝土结构、砖砌外墙的单层或多层的工业厂房，按不同施工阶段，分别进行一次观测。

2 多层民用建筑物及其它工业建筑物，每施工完毕 1~3 层楼后观测一次；高层建筑物，每增加 3~5 层观测一次。

3 建筑物设备安装和装修各测一次。

4 建筑物完工交付使用前观测一次。

5 加固地基上的多层建筑逐层监测，高层每增加 2~3 层观测一次。

6 对于改扩建工程逐层监测。

7 施工过程中如出现停工，在停工时及重新开工时各观测一次。停工期间，视需要进行观测。

8 有特殊荷载要求的，视具体情况确定观测频次。

18.4.3 建筑物使用阶段观测频次应视地基类型和沉降速度大小而定。第一年观测频次宜为 3~4 次，第二年观测频次宜为 2~3 次，以后每年观测 1 次，直至稳定为止。有特殊要求者可调整观测频次。

18.4.4 在观测过程中，如有基础附近地面荷载突然增减、基础四周大量积水、长时间连续降雨等情况，应增加观测次数。当建筑物突然发生急剧沉降、不均匀沉降或严重裂缝时，应立即进行逐日或几天一次的连续观测。

18.4.5 现场观测应符合下列要求：

1 对同一观测对象宜采用相同的观测路线和观测方法，使用同一仪器和设备，并固定人员，在基本相同的环境和条件下工作。

2 应在标尺划分线呈像清晰和稳定的天气条件下进行观测，不得在日出后或日落前半个小时内、中午前后、风力大于四级、气温突变时进行观测。晴朗天气观测时，应采取遮阳措施。

3 数字水准仪使用前应进行预热，使用中应避免望远镜直接对着太阳，应避免振动等外界因素的影响。

4 每测段往测与返测的测站数均应为偶数，否则应加入标尺零点差改正。由往测转向返测时，两标尺应互换位置，并应重新整置仪器。在同一测站上观测时，不得两次调焦。转动仪器的倾斜螺旋和测微鼓时，其最后旋转方向，均应为旋进。

5 观测过程中应及时记录点位变动迹象、建筑物基础和墙体的裂缝等情况，并画出草图。

18.4.6 建筑物沉降稳定标准：应根据沉降量与时间关系曲线判定建筑物沉降稳定与否，具体取值宜参考地基土的压缩性确定。当最后 100d 的沉降速率小于 0.01~0.04mm/d，可认为已进入稳定阶段。

18.5 数据分析与评价

18.5.1 每一次观测结束后，应及时整理观测数据，并提交阶段沉降观测报告；工程竣工后，应提交工程竣工沉降观测报告；终止观测后，应提交沉降观测最终报告。

18.5.2 应以表格的形式整理全部观测点的观测数据，绘制时间~沉降曲线，并计算每个观测点的本次观测结果和累计沉降量，沉降速度。必要时可计算建筑物平均沉降、基础倾斜，局部倾斜、沉降差、基础相对弯曲等。

18.5.3 基础倾斜可按下式计算：

$$\alpha = (s_i - s_j) / L \quad (18.5.3)$$

式中： α ——基础倾斜；

s_i ——基础倾斜方向观测点 i 的沉降量 (mm)；

s_j ——基础倾斜方向观测点 j 的沉降量 (mm)；

L ——观测点 i，j 之间的距离 (mm)。

基础局部倾斜也可按上式计算。此时取砌体承重结构沿纵墙 6~10m 内基础

上两观测点 i , j 的沉降量为 s_i 、 s_j , 两点 i , j 间的距离为 L 。

18.5.4 基础相对弯曲可按式计算:

$$f_c = [2s_k - (s_i + s_j)] / L \quad (18.5.4)$$

式中 f_c ——基础相对弯曲

s_k ——基础中观测点 i , j 之间的中点 k 的沉降量 (mm);

L ——观测点 i 与 j 之间的距离 (mm)。

注:1 弯曲量以向上凸起为正, 反之为负。

2 柱基间吊车轨道等构件的倾斜也按上式计算。

18.5.5 根据建筑物基础的沉降量、沉降差、倾斜、局部倾斜, 按照《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 第 5.3.4 条所规定的地基变形允许值, 评价观测结果。

18.5.6 观测工作结束后, 应将观测结果编写出沉降观测报告, 沉降观测报告除应包括本规范第 3.7.8 条相关内容外, 还应包括:

- 1 沉降观测方法;
- 2 沉降观测结果表;
- 3 沉降观测结果分析及评价;
- 4 沉降观测点位分布图;
- 5 $v \sim t \sim s$ (沉降速度、时间、沉降量) 曲线图;
- 6 $p \sim t \sim s$ (荷载、时间、沉降量) 曲线图 (必要时);
- 7 建筑物沉降等值线图 (必要时)。

附录 A 建筑地基基础检测记录表格

A.0.1 标准贯入试验数据可按附表 A.0.1 的格式进行记录。表中的地基类型是指天然地基、换填地基、预压处理地基和强夯处理地基等类型（下同）。

附表 A.0.1 标准贯入试验记录表

工程名称：		地基类型：			
检测孔编号：		工程地点：		年	月 日
深度（m）	实际贯入深度（cm）	实测锤击数	修正锤击数	土样鉴别描述	备注
记录：		校核：		第 页	共 页

A.0.2 动力触探试验数据可按附表 A.0.2 的格式进行记录。

附表 A.0.2 圆锥动力触探试验记录表

工程名称：		地基类型：			
检测孔编号：		工程地点：		年	月 日
触探类型： N_{10} / $N_{63.5}$ / N_{120}					
深度（m）	实测锤击数	修正锤击数	土层描述	备注	
记录：		校核：		第 页	共 页

A.0.3 静力触探试验数据可按附表 A.0.3 的格式进行记录。

附表 A.0.3 静力触探试验记录表

工程名称：		地基类型：			
检测孔编号：		工程地点：		年	月 日
设备名称及编号：		探头编号及率定系数： $K_p=$		$K_q=$	$K_f=$
深度（m）	ε_p	ε_q	ε_f	备注	

记录:	校核:	第	页	共 页

A.0.4 十字板剪切试验数据可按附表 A.0.4 的格式进行记录。

附表 A.0.4 十字板试验记录表

工程名称:				地基类型:			
检测孔编号:				工程地点: 年 月 日			
十字板规格: D (mm) H (mm) K_c / K (1/mm ² , kPa/ $\mu \epsilon$)							
稳定水位:				钢环/传感器 编号:			
深度 (m)	原状土			重塑土			备注
	P_0 / ϵ_0	P_f / ϵ	C_u	P'_0 / ϵ'_0	P'_f / ϵ'	C'_u	
记录:	校核:	第	页	共	页		

A.0.5 当采用人工记录时,平板载荷试验数据可按附表 A.0.5 的格式进行记录。

附表 A.0.5 平板载荷试验记录表

工程名称:				地基类型:						
检测点编号:				压板尺寸:				年 月 日		
荷载 级别	油压 (MPa)	荷载 (kN)	测读 时间	沉降读数				本级沉降 (mm)	累计沉降 (mm)	备注
				1#	2#	3#	4#			
记录:	校核:	第	页	共	页					

A.0.6 钻芯法检测的现场操作记录和芯样编录应分别按附表 A.0.6-1、A.0.6-2 的格式记录;检测芯样综合柱状图应按附表 A.0.6-3 的格式记录和描

述。

附表 A.0.6 - 1 钻芯法检测现场操作记录表

桩号					工程名称	
孔号					检测日期	
时间	钻进 (m)				芯样长度 (m)	芯样初步描述及异常情况记录
自	至	自	至	计	芯样编号	残留芯样
						包括每回次芯样块数
机长:		记录:		第 页 共 页		

附表 A.0.6 - 2 钻芯法检测芯样编录表

工程名称:			桩径:		
桩号:		钻芯孔号:		年	月 日
项 目	分段 (层) 深度 (m)	芯样描述		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、裂隙发育程度、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:		校核:		第 页 共 页	

附表 A.0.6 - 3 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。							

A.0.7 当采用人工记录时，单桩竖向抗压静载试验的现场检测数据可按附表 A.0.7 的格式记录。单桩竖向抗拔静载试验的现场检测数据可参照此表格进行记录。

附表 A.0.7 单桩竖向抗压/抗拔静载试验记录表

工程名称：				桩号：				年 月 日		
荷载 级别	油压 (MPa)	荷载 (kN)	测读 时间	位移读数				本 级 位 移 (mm)	累 计 位 移 (mm)	备 注
				1#	2#	3#	4#			
记录：				校核：				第 页 共 页		

**备注：1 对抗压桩表中位移可更换为沉降，对抗拔桩表中位移可更换为上拔量；
2 对锚桩法中的锚桩上拔位移监测可参照此表格进行记录。**

A.0.8 单桩水平静载试验的现场检测数据可按附表 A.0.8 的格式记录。

附表 A. 0. 8 单桩水平静载试验记录表

工程名称:			桩号:		上下表距:		年 月 日					
油压 (MPa)	荷载 (kN)	观测 时间	循 环 数	加载		卸载		水平位移 (mm)		加载 上下表 读数差	转 角	备 注
				上 表	下 表	上 表	下 表	加 载	卸 载			
记录:			校核:				第 页 共 页					

备注: 采用慢速维持荷载法时, 现场检测数据可按附表 A. 0. 7 的格式记录。

A. 0. 9 支护锚杆、土钉验收试验的现场检测数据可按附表 A. 0. 10 的格式记录。

A. 0. 10 基础锚杆抗拔试验的现场检测数据可按附表 A. 0. 10 的格式记录。

表 A. 0. 10 基础锚杆抗拔试验记录表格

工程名称:			试验点编号:			年 月 日			
荷载 级别	油压 (MPa)	荷载 (kN)	测读 时间	上拔量读数 (mm)			上拔量 (mm)		备注
				表 1	表 2	平均	本次上拔量	累计上拔量	
记录:			校核:			第 页 共 页			

附录 B 地基土试验数据统计计算方法

B.0.1 该统计方法适用于天然土地基和处理土地基的标准贯入、动力触探、静力触探等原位试验数据的标准值。

B.0.2 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。

B.0.3 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：

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

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

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

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至下划分 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。

B.0.4 单位工程同一土层或同一深度范围的原位试验数据的标准值 ϕ_k 应按下列方法确定：

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

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

式中 ϕ_k ——原位试验数据的标准值；

γ_s ——统计修正系数；

n——单位工程的检测孔个数。

附录 C 圆锥动力触探锤击数修正

C.0.1 当采用重型圆锥动力触探推定地基土承载力或评价地基土密实时，锤击数应按式（C.0.1）修正：

$$N_{63.5} = \alpha \cdot N'_{63.5} \quad (\text{C.0.1})$$

式中 $N_{63.5}$ ——修正后的重型圆锥动力触探锤击数；

$N'_{63.5}$ ——实测重型圆锥动力触探锤击数；

α ——修正系数，按表 C.0.1 取值。

表 C.0.1 重型圆锥动力触探锤击数修正系数

$N'_{63.5}$ L (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	≥ 50
2	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

注：表中 L 为杆长。

C.0.2 当采用超重型圆锥动力触探评价碎石土（桩）密实时，锤击数 N_{120} 应按式（C.0.2）修正：

$$N_{120} = \alpha \cdot N'_{120} \quad (\text{C.0.2})$$

式中 N_{120} ——修正后的超重型圆锥动力触探锤击数；

N'_{120} ——实测超重型圆锥动力触探锤击数；

α ——修正系数，按表 C.0.2 取值。

表 C.0.2 超重型圆锥动力触探锤击数修正系数

$N_{63.5}$ L (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	0.84	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81
5	0.92	0.82	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72
7	0.90	0.78	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66
9	0.88	0.75	0.72	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62
11	0.87	0.73	0.69	0.67	0.66	0.66	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.53
13	0.86	0.71	0.67	0.65	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.55
15	0.84	0.69	0.65	0.63	0.62	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53
17	0.85	0.68	0.63	0.61	0.60	0.60	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.50
19	0.84	0.66	0.62	0.60	0.58	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.48

注：表中 L 为杆长。

附录 D 静力触探头率定

D.0.1 率定前的准备工作应符合下列规定：

- 1 率定用测力计或传感器，精度不应低于 3 级。
- 2 连接触探头和记录仪并统调平衡，当确认正常后，方可正式进行率定工作。
- 3 当采用电阻应变仪时，应将仪器的灵敏系数调至与触探头中传感器所贴的电阻应变片的灵敏系数相同。
- 4 触探头应垂直稳固放置在率定架上，并应不使电缆线受压。
- 5 对于新的触探头应反复（一般为 3~5 次）预压到额定载荷，以减少传感元件由于加工引起的残余应力。

D.0.2 率定方法应符合下列规定：

触探头的率定可分为固定桥压法和固定系数法两种，其率定方法和率定资料整理应符合下列要求：

1 固定桥压法

- 1) 选定量测仪器的供桥电压（电阻应变仪的桥压是固定的）。
- 2) 逐级加荷，一般每级为最大贯入力的 1/10。
- 3) 每级加荷均应标明输出电压值或测记相应的应变值。
- 4) 每次率定，加卸荷不得少于 3 遍，同时对顶柱式传感器还应转动顶柱至不同角度，观察载荷作用下读数的变化，其测定误差应小于满量程的 $\pm 1\%$ 或额定荷载下应变值的 $\pm 1\%$ 。
- 5) 计算每一级荷载下输出电压（或应变值）的平均值，绘制以荷载为纵坐标，输出电压值（或应变值）为横坐标的率定直线，其线性误差应符合附录一的规定。

2 触探头的适用温度为 $-10\sim+45^{\circ}\text{C}$ ，由于温度漂移而产生的量程误差，应不大于满量程的 $\pm 1\%$ 。算式如（D.0.2）：

$$\frac{\Delta V'}{V} = \Delta t \cdot \eta \quad (\text{D.0.2})$$

式中 $\Delta V'$ —— 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（ $^{\circ}\text{C}$ ）；

η —— 温飘系数，一般采用 $0.0005/^{\circ}\text{C}$ 。

3 探头一般在 3 个工程大气压（即 294kPa）下，保持 2h，其绝缘度不得下于 $500\text{M}\Omega$ 。

4 对于探头的分辨率，当采用电子电位差计测试时，每伏桥路电压下，仪器指针画线长度应不小于 0.05 mm；当以应变值显示时，仪表的显示值应不小于 10 个微应变。

5 双桥探头的两组桥路应互不干扰。触探过程中，上提触探头时，两个传感器均应处于不受力状态。摩擦筒应滑动灵活，不因侧向受力而被卡住。

附录 E 混凝土桩桩头处理

- E.0.1 混凝土桩应先凿掉桩顶部破碎的、强度较低的混凝土。
- E.0.2 桩头顶面应平整，桩头中轴线与桩身上部的中轴线应重合。
- E.0.3 桩身主筋应全部直通至桩顶混凝土保护层之下，各主筋应在同一高度上。必要时增加桩头主筋。
- E.0.4 距桩顶 1 倍桩径范围内，宜用厚度为 3~5mm 的钢板围裹或距桩顶 1.5 倍桩径范围内设置箍筋，间距不宜大于 100mm。桩顶应设置钢筋网片不少于 2~3 层，间距 60~100mm。
- E.0.5 桩头混凝土强度等级宜比桩身混凝土提高 1~2 级，且不得低于 C30。
- E.0.6 当采用高应变法检测时，传感器安装处截面尺寸应与原桩身截面尺寸相同。

附录 F 高应变法传感器安装

F.0.1 检测时至少应对称安装冲击力和冲击响应（质点运动速度）测量传感器各两个（传感器安装见图 F.0.1）。冲击力和响应测量可采取以下方式：

1 在桩顶下的桩侧表面分别对称安装加速度传感器和应变式力传感器，直接测量桩身测点处的响应和应变，并将应变换算成冲击力、将加速度信号积分为速度信号。

2 在桩顶下的桩侧表面对称安装加速传感器直接测量响应，在自由落锤锤体 0.5Hr 处（Hr 为锤体高度）对称安装加速度传感器直接测量冲击力。

F.0.2 在第 F.0.1 条第 1 款条件下，传感器宜分别对称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。安装面处的材质和截面尺寸应与原桩身相同，传感器不得安装在截面突变处附近。

在第 F.0.1 条第 2 款条件下，对称安装在桩侧表面的加速度传感器距桩顶的距离不得小于 0.4Hr 且不小于 1D。

F.0.3 在第 F.0.1 条第 1 款条件下，传感器安装尚应符合下列规定：

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

2 各传感器的安装面的材质应均匀、密实、平整，并与桩轴线平行，否则应采用磨光机将其磨平。

3 安装螺栓的钻孔应与桩侧表面垂直；安装完毕后的传感器应紧贴桩侧表面，锤击时传感器不得产生滑动。安装应变式传感器时应对其初始应变值进行监视，安装后的传感器初始应变值应能保证锤击时的可测轴向变形余量为：

1) 混凝土桩应大于 $\pm 1000 \mu \varepsilon$ ；

2) 钢桩应大于 $\pm 1500 \mu \varepsilon$ 。

F.0.4 当连续锤击监测时，应将传感器连接电缆有效固定。

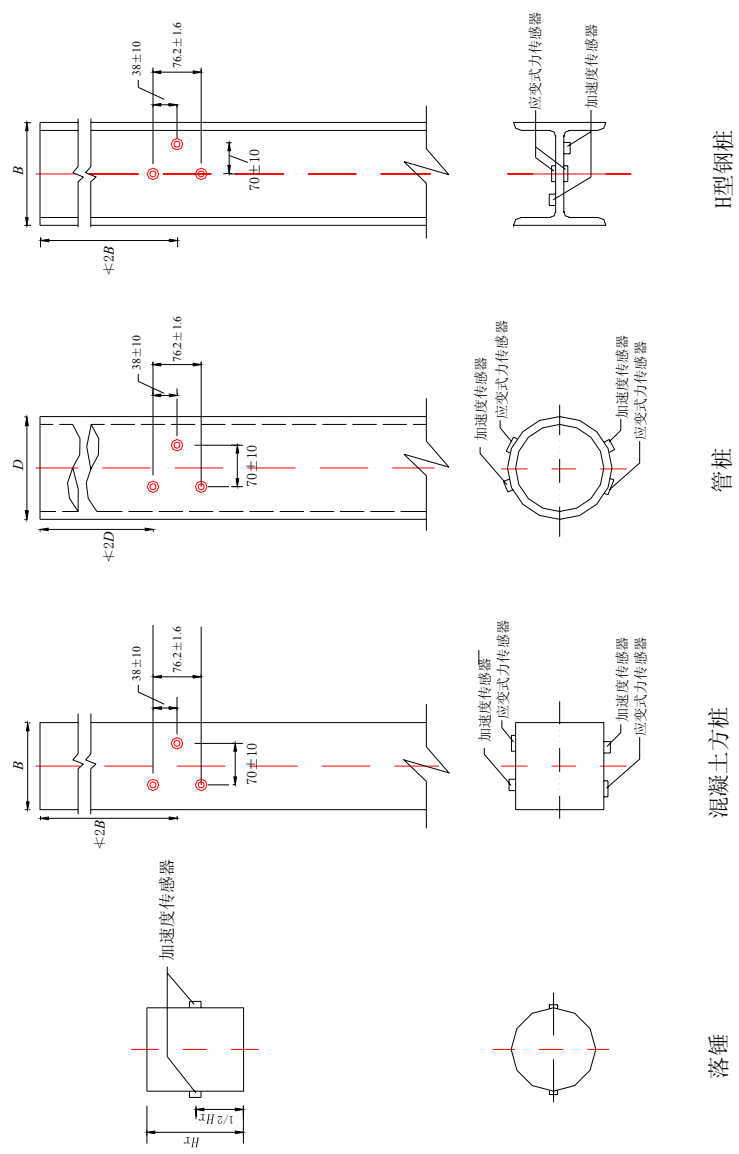


图 F.0.1 传感器安装示意图 (单位: mm)

附录 G 高应变法试打桩与打桩监控

G.1 试打桩

G.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，应按桩端进入的主要土层逐一进行测试；当持力层较厚时，应在同一土层中进行多次测试。

G.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。

G.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 复打至初打的休止时间应符合本规范第 3.3.2 条的规定。

G.2 桩身锤击应力监测

G.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。

G.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。

G.2.3 最大桩身锤击拉应力可按下式计算：

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

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 (m²)。

G.2.4 最大桩身锤击压应力可按下式计算：

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

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)。

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

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

G.3 锤击能量监测

G.3.1 桩锤实际传递给桩的能量应按下式计算：

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

式中 E_n ——桩锤实际传递给桩的能量 (kJ)；

t_e ——采样结束的时刻 (s)。

G.3.2 桩锤最大动能宜通过测定锤芯最大运动速度确定。

G.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 H 混凝土芯样试件加工和测量

H.0.1 宜采用双面锯切机加工芯样试件。加工时宜将芯样固定，锯切平面垂直于芯样轴线。锯切过程中宜淋水冷却金刚石圆锯片。

H.0.2 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：

1 在磨平机上磨平。

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

补平层应与芯样结合牢固，受压时补平层与芯样的结合面不得提前破坏。

H.0.3 试验前，应对芯样试件的几何尺寸做下列测量：

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

2 芯样高度：用钢卷尺或钢板尺进行测量，精确至 1mm。

3 垂直度：用游标量角器测量两个端面与母线的夹角，精确至 0.1° 。

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

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

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

2 沿试件高度任一直径与平均直径相差达 2mm 以上时；

3 试件端面的不平整度在 100mm 长度内超过 0.1mm 时；

4 试件端面与轴线的不垂直度超过 2° 时；

5 芯样试件平均直径小于 2 倍表观混凝土粗骨料最大粒径时。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本规范中指明应按其它有关标准、规范执行的写法为“应符合……要求或规定”或“应按……执行”。