

山东省工程建设行业标准

DB37/T 5044— 2015

J 10232-2016

建筑桩基检测技术规范

Technical Code for Testing of Building Foundation Piles

2015—12—14 发布

2016—02—01 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省质量技术监督局

联合发布

山东省工程建设行业标准

建筑桩基检测技术规范

Technical Code for Testing of Building Foundation Piles

DB37/T 5044—2015

住房和城乡建设部备案号：**J10232—2016**

主编单位：山东省建筑科学研究院

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

施行日期：2016 年 2 月 1 日

2015 济南

前 言

本规范是根据山东省住房和城乡建设厅，山东省质量技术监督局《关于申报2014年工程建设标准制订、修订项目计划的通知》（鲁建标字[2014]1号）的要求，规范编制组经过广泛调查研究，认真总结国内外桩基工程基桩检测的实践经验和科研成果，并在广泛征求意见的基础上，修订了本规范。

本规范的主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、单桩竖向抗压静载试验（含慢速维持荷载法和快速维持荷载法）、单桩竖向抗拔静载试验、单桩自平衡静载试验、单桩水平静载试验、高应变法、低应变法、声波透射法、钻芯法及有关附录。

本规范修订的主要内容是：

- 1 进一步明确基桩检测方法选择原则及抽检数量的规定；
- 2 增加了单桩自平衡静载试验，快速维持荷载法检测基桩承载力的内容；
- 3 补充修改了钻芯法桩身质量的判定方法；
- 4 有条件放宽了单桩自平衡静载试验和大吨位堆载时支墩边与基准桩中心距离的要求；
- 5 除抗裂控制条件外，明确了抗拔桩验收检测时施加荷载的最低要求；修改了抗拔桩上拔量观测点的设置要求；
- 6 修改了水平静载试验要求以及水平承载力特征值的判定方法；
- 7 低应变法增加了对截面多变且变化幅度较大的灌注桩应进行辅助验证检测的要求，以及使用带力传感器的锤击设备进行浅部缺陷测试判定的要求；
- 8 增加了声波透射法现场自动检测及其仪器的相关要求；
- 9 在声波透射法中，考虑了声速异常符合正态分布的对称性，通过工程应用统计分析，将“单边剔除法”改为“双边剔除法”；
- 10 增加了采用变异系数对检测剖面声速异常判断概率统计值进行限定的要求；
- 11 对声波透射法的桩身完整性判定方法进行了调整，考虑了多测线、多剖面的参数的空间关联性；
- 12 附录A中增加了采用滑动测微计测量桩身应变的方法；

13 将原规范附录 G 关于声测管埋设要求的内容进行修改并纳入第 10 章；

14 修改了附录 H 有关芯样尺寸测量的要求。

本规范主编单位：山东省建筑科学研究院

本规范参加编写单位：德州市建设工程质量监督站

济宁市建设工程质量监督站

青岛市人民防空工程质量监督站

威海市建筑工程质量检测站

山东正元工程检测有限公司

山东铁正工程试验检测中心有限公司

山东省鲁建基础工程监测中心

青岛诚达工程检测有限公司

青岛海大建设工程检测鉴定中心

山东鑫国基础工程公司

本规范主要起草人员：宋义仲 张培学 高玉茂 徐 勇

刘炳强 鞠庆海 宋立玺 崔洪涛

苏振林 张明海 毛亚文 刘延廷

李 军 李 曦 张善法 鲁爱民

张省祥 王玉广 张茂辉 付 军

朱 锋 王振栋 王红兵 柴子栋

孔凡西 缪 伟 李书华 矫恒信

赵而玉 于克猛 张永俊 王 伟

本规范主要审查人员：刘俊岩 蒋世林 张 爽 孙剑平

马连仲 董全文 韩克胜 葛振刚

宋亦工

目次

1	总则	1
2	术语、符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
3.1	一般规定	6
3.2	检测工作程序	7
3.3	检测方法选择和检测数量	9
3.4	验证与扩大检测	10
3.5	检测结果评价和检测报告	11
4	单桩竖向抗压静载试验	13
4.1	一般规定	13
4.2	仪器设备及其安装	13
4.3	现场检测	15
4.4	检测数据分析与判定	16
5	单桩竖向抗拔静载试验	18
5.1	一般规定	18
5.2	设备仪器及其安装	18
5.3	现场检测	19
5.4	检测数据的分析与判定	19
6	单桩自平衡静载试验	21
6.1	一般规定	21
6.2	设备仪器及其安装	21
6.3	现场检测	22
6.4	检测数据的分析与判定	22
7	单桩水平静载试验	24
7.1	一般规定	24
7.2	设备仪器及其安装	24

7.3	现场检测.....	25
7.4	检测数据分析与判定.....	25
8	高应变法.....	28
8.1	一般规定.....	28
8.2	仪器设备.....	28
8.3	现场检测.....	28
8.4	检测数据分析与判定.....	30
9	低应变法.....	35
9.1	一般规定.....	35
9.2	仪器设备.....	35
9.3	现场检测.....	35
9.4	检测数据的分析判定.....	36
10	声波透射法.....	39
10.1	一般规定.....	39
10.2	仪器设备.....	39
10.3	现场检测.....	39
10.4	检测数据分析与判定.....	41
11	钻芯法.....	47
11.1	一般规定.....	47
11.2	设备.....	47
11.3	现场检测.....	47
11.4	芯样试件截取与加工.....	48
11.5	芯样试件抗压强度试验.....	49
11.6	检测数据的分析与判定.....	49
附录 A	桩身内力测试.....	52
附录 B	混凝土桩桩头处理.....	55
附录 C	静载试验记录表.....	56
附录 D	高应变法传感器安装.....	57
附录 E	试打桩与打桩监控.....	59
附录 F	钻芯法检测记录表.....	61
附录 G	声测管理设及编组.....	63

附录 H 芯样试件加工和测量.....	64
本规范用词说明.....	65
引用标准名录.....	66
附：条文说明.....	67

1 总 则

1.0.1 为保障桩基工程质量，统一基桩检测方法，为设计、施工、质量验收提供可靠依据，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于山东省区域内建筑基桩的承载力和桩身质量的检测与评价。

1.0.3 基桩承载力和桩身质量的检测与评价必须综合考虑勘察、设计、施工及机具工艺等因素，做到检测方法技术先进，安全适用，经济合理，结论正确。

1.0.4 基桩承载力和桩身质量的检测与评价除应执行本规范外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 基桩 Foundation pile

桩基础中的单桩。

2.1.2 桩身完整性 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。

2.1.3 桩身缺陷 Pile defects

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

2.1.4 静载试验 Static load 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或单桩水平承载力的试验方法。

2.1.5 钻芯法 Core drilling method

用钻机钻取芯样，检测桩长、桩身缺陷、桩底沉渣厚度以及桩身混凝土的强度，判定或鉴别桩端岩土性状的方法。

2.1.6 低应变法 Low-strain integrity test

采用低能量瞬态或稳态方式在桩顶激振，实测桩顶部的速度时程曲线或速度导纳曲线，通过波动理论的时域分析或频域分析，对桩身完整性进行判定的检测方法。

2.1.7 高应变法 High-strain dynamic test

用重锤冲击桩顶，实测桩顶附近或桩顶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。

2.1.8 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，对桩身完整性进行检测的方法。

2.1.9 桩身内力测试 Internal force testing of pile shaft

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

2.1.10 快速维持荷载法 fast test

相对于慢速维持荷载法而言，在静荷载作用下，每一小时加一级荷载，分析得到的基桩承载力的方法。

2.1.11 单桩自平衡静载试验 Self-balancing test

通过桩身某部位预埋荷载箱并施力，使得桩身向上和向下互为反力以达到力的平衡，分析得到单桩竖向承载力的试验方法。

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）；

E ——桩身材料弹性模量；

f_{cor} ——混凝土芯样试件抗压强度；

m ——地基土水平抗力系数的比例系数；

Q_u ——单桩竖向抗压极限承载力；

Q_u^u ——单桩自平衡静载试验确定的上段桩竖向抗拔极限承载力；

Q_u^d ——单桩自平衡静载试验确定的下段桩竖向抗压极限承载力；

Q_u^f ——由快速维持荷载法确定的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_c ——由凯司法判定的单桩竖向抗压承载力；

R_x ——缺陷以上部位土阻力的估计值；

Z ——桩身截面力学阻抗；

ρ ——桩身材料质量密度；

G ——单桩自平衡静载试验荷载箱上部桩自重。

2.2.2 作用与作用效应

F ——锤击力；

H ——单桩水平静载试验中作用于地面的水平力；

P ——芯样抗压试验测得的破坏荷载；
 Q ——单桩竖向抗压静载试验中施加的竖向荷载、桩身轴力；
 s ——桩顶竖向沉降、桩身竖向位移；
 s_u ——单桩自平衡静载试验确定的上段桩向上的竖向位移；
 s_d ——单桩自平衡静载试验确定的下段桩向下的竖向位移；
 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；
 Y_0 ——水平力作用点的水平位移；
 δ ——桩顶上拔量；
 σ_s ——钢筋应力；
 σ_c ——桩身锤击拉应力。

2.2.3 几何参数

A ——桩身截面面积；
 B ——矩形桩的边宽；
 b_0 ——桩身计算宽度；
 D ——桩身直径（外径）；
 d ——芯样试件的平均直径；
 I ——桩身换算截面惯性矩；
 l' ——每检测剖面相应两声测管的外壁间净距离；
 L ——测点下桩长；
 x ——传感器安装点至桩身缺陷或桩身某一位置的距离；
 z ——测线深度。

2.2.4 计算系数

J_c ——凯司法阻尼系数；
 α ——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；
 v_y ——桩顶水平位移系数；
 ξ ——混凝土芯样试件抗压强度折算系数；
 γ ——单桩自平衡静载试验上段桩抗拔极限承载力与抗压极限承载力的折算系数。

2.2.5 其他

- A_m ——某一检测剖面声测线波幅平均值；
- A_p ——声测线的波幅值；
- a ——信号首波峰值电压；
- a_0 ——零分贝信号峰值电压；
- c_m ——桩身波速的平均值；
- C_v ——变异系数；
- f ——频率、声波信号主频；
- n ——数目、样本数量；
- PSD ——声时-深度曲线上相邻两点连线的斜率与声时差的乘积；
- s_x ——标准差；
- T ——信号周期；
- t' ——声测管及耦合水层声时修正值；
- t_0 ——仪器系统延迟时间；
- t_1 ——速度第一峰对应的时刻；
- t_c ——声时；
- t_i ——时间、声时测量值；
- t_r ——速度或锤击力上升时间；
- t_x ——缺陷反射峰对应的时刻；
- v_0 ——声速的异常判断值；
- v_c ——声速的异常判断临界值；
- v_L ——声速低限值；
- v_m ——声速平均值；
- v_p ——混凝土试件的声速平均值；
- Δf ——幅频曲线上桩底相邻谐振峰间的频差；
- $\Delta f'$ ——幅频曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差；
- ΔT ——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差；
- Δt_x ——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 基桩检测可分为施工前为设计提供依据的试验桩检测和施工后为验收提供依据的工程桩检测。应根据检测目的、检测方法的适应性、桩基的设计条件、成桩工艺等，按表 3.1.1 合理选择检测方法，必要时应采用两种或多种检测方法。

表 3.1.1 检测方法 & 检测目的

检测方法	检测目的
单桩竖向抗压静载试验	确定单桩竖向抗压极限承载力； 判定竖向抗压承载力是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩侧、桩端阻力； 验证高应变法的单桩竖向抗压承载力检测结果
单桩竖向抗拔静载试验	确定单桩竖向抗拔极限承载力； 判定竖向抗拔承载力是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩的抗拔侧阻力
单桩自平衡静载试验	确定单桩竖向抗压极限承载力和单桩竖向抗拔承载力； 检测桩侧摩阻力和桩端阻力； 判定竖向抗压、抗拔承载力是否满足设计要求。
单桩水平静载试验	确定单桩水平临界荷载和极限承载力，推定土抗力参数； 判定水平承载力或水平位移是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩身弯矩
高应变法	判定单桩竖向抗压承载力是否满足设计要求； 检测桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别； 分析桩侧和桩端土阻力； 进行打桩过程监控
低应变法	检测桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别
声波透射法	检测灌注桩桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别
钻芯法	检测灌注桩桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度，判定或鉴别桩端持力层岩土性状。

3.1.2 当设计有要求或满足下列条件之一时，施工前应进行试验桩检测并确定单桩极限承载力：

- 1 设计等级为甲级的桩基；

- 2 无相关试桩资料可参照的设计等级为乙级的桩基；
 - 3 地基条件复杂、施工质量可靠性低的桩基；
 - 4 本地区采用的新桩型或新工艺成桩的桩基。
- 3.1.3** 施工完成后的工程桩应进行单桩承载力和桩身质量检测。
- 3.1.4** 桩基工程除应进行基桩检测外，尚应根据工程需要，在施工过程中进行质量检测与监测。

3.2 检测工作程序

3.2.1 检测工作应按图 3.2.1 的程序进行。

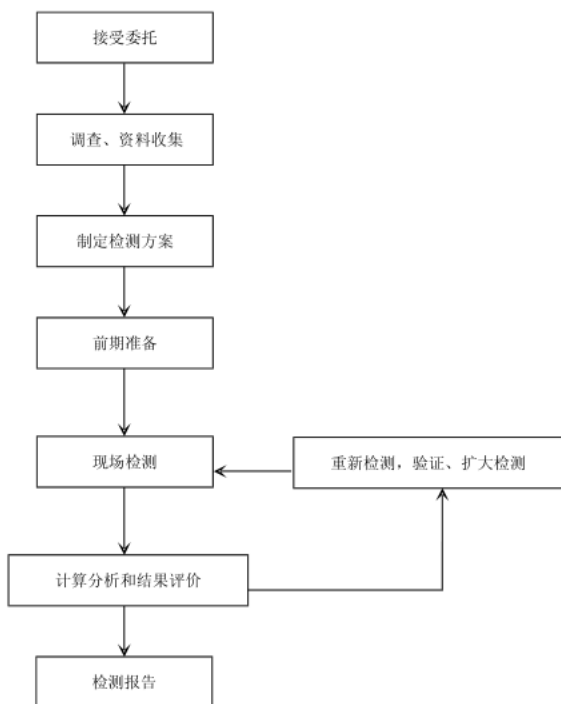


图 3.2.1 检测工作程序框图

3.2.2 调查、资料收集阶段宜包括下列内容：

1 收集被检测工程的岩土工程勘察资料、桩基设计文件、施工记录，了解施工工艺和施工中出现的异常情况；

2 委托方的具体要求；

3 检测项目现场实施的可行性。

3.2.3 检测方案宜包含以下内容：工程概况、地基条件、桩基设计要求、施工工艺、检测方法和数量、受检桩选取原则、检测进度以及所需的机械或人工配合及安全措施。

3.2.4 检测仪器设备宜具有自动加载、数据自动采集和实时上传功能并应在检定或校准的有效期内，检测前应对仪器设备检查调试。

3.2.5 检测开始时间应符合下列规定：

1 当采用低应变法、声波透射法或孔内摄像法检测时，受检桩混凝土强度不得低于设计强度的 70%，且不得小于 15MPa；

2 当采用钻芯法检测时，受检桩的混凝土龄期达到 28d 或受检桩同条件养护试件强度达到设计强度要求；

3 承载力检测前的休止时间除应达到本条第 2 款规定的桩身混凝土强度外，当无成熟的地区经验时，尚不应少于表 3.2.5 规定的时间。

表 3.2.5 休止时间

土的种类		休止时间 (d)
砂土		7
粉土		10
黏性土	非饱和	15
	饱和	25

注：对于泥浆护壁灌注桩，宜延长休止时间。

3.2.6 验收检测的受检桩选择应符合下列规定：

1 施工质量有疑问的桩；

2 局部地基条件出现异常的桩；

3 承载力验收检测时部分选择完整性检测中判定的Ⅲ类桩；

4 设计方认为重要的桩；

5 施工工艺不同的桩；

6 除上述第 1~3 款指定的受检桩外，其余受检桩的检测数量应符合本规范第 3.3.3~3.3.5 条的相关规定，且宜均匀或随机分布。

3.2.7 验收检测时，宜先进行桩身完整性检测，后进行承载力检测。桩身完整性检

测应在开挖至基底标高后进行,当采用锚桩提供反力时宜对锚桩进行桩身完整性检测。

3.2.8 当发现检测数据异常时,应查找原因,重新检测。

3.2.9 当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时,应采取有效的防护措施。

3.3 检测方法选择和检测数量

3.3.1 为设计提供依据的试验桩检测应依据设计确定的基桩受力状态采用相对应的静载试验方法确定单桩极限承载力;对高承载力或水上、坡地等特殊条件下灌注桩试验,可采用单桩自平衡静载试验。检测数量应满足设计要求,且在同一条件下不应少于 3 根;当预计工程桩总数小于 50 根时,检测数量不应少于 2 根。

3.3.2 打入式预制桩有下列要求之一时,应采用高应变法进行试打桩的打桩过程监测:

- 1 控制打桩过程中的桩身应力;
- 2 选择沉桩设备或确定工艺参数;
- 3 选择桩端持力层。

在相同施工工艺和相近地基条件下,试打桩数量不应少于 3 根。

3.3.3 混凝土桩的桩身完整性检测方法选择应符合本规范第 3.1.1 条的规定,当一种方法不能全面评价基桩完整性时,应采用两种或多种检测方法,检测数量应符合下列规定:

- 1 建筑桩基设计等级为甲级,或地基条件复杂、成桩质量可靠性较低的灌注桩,检测数量不应少于总桩数的 30%,且不得少于 20 根;
- 2 除前款规定外的桩基工程,检测数量不应少于总桩数的 20%,且不得少于 10 根;
- 3 除符合本条第 1~2 款规定外,每个柱下承台检测桩数不得少于 1 根;
- 4 大直径嵌岩灌注桩或设计等级为甲级的大直径灌注桩,应在上述三款规定的检测桩数范围内,按不少于总桩数 10%的比例采用声波透射法、钻芯法检测或孔内摄像法检测;

5 当符合本规范第 3.2.6 条第 1~2 款规定的桩数较多,或为了全面了解整个工程基桩的桩身完整性情况时,应适当增加检测数量及至所有桩全部检测。

3.3.4 当符合下列条件之一时,应采用慢速维持荷载法或快速维持荷载法进行单桩

承载力验收检测：

- 1 设计等级为甲级的桩基；
- 2 施工前未按本规范第 3.3.1 条进行单桩静载试验的工程；
- 3 施工前进行了单桩静载试验，但施工过程变更了工艺参数或施工质量出现异常情况；
- 4 地基条件复杂、桩施工质量可靠性低；
- 5 本地区采用的新桩型或新工艺；
- 6 施工过程中产生挤土上浮或偏位的群桩。

检测数量不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的 1%，且不少于 3 根；当总桩数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根。

3.3.5 对本规范第 3.3.4 条规定条件外的工程桩，可按以下方式进行单桩竖向抗压承载力验收检测：

- 1 当采用单桩静载试验时，检测数量应符合本规范第 3.3.4 条的规定；
- 2 预制桩和满足高应变法适用范围的灌注桩，可采用高应变法检测单桩竖向抗压承载力，检测数量不宜少于总桩数的 5%，且不得少于 5 根。

3.3.6 当有本地区相近条件的动静对比验证资料时，高应变法也可作为本规范第 3.3.4 条规定条件下单桩竖向抗压承载力验收检测的补充，检测数量宜按本规范第 3.3.5 条第 2 款规定执行。

3.3.7 设计对抗拔或水平力有要求的桩基工程，单桩承载力验收检测应采用单桩竖向抗拔或单桩水平静载试验，检测数量应符合本规范第 3.3.4 条的规定。

3.3.8 对于端承型大直径灌注桩，当受设备或现场条件限制无法检测单桩竖向抗压承载力时，可选择下列方式之一进行持力层核验：

- 1 采用钻芯法测定桩底沉渣厚度并钻取桩端持力层岩土芯样检验桩端持力层，检测数量不应少于总桩数的 10%，且不应少于 10 根；
- 2 采用深层平板载荷试验或岩基平板载荷试验，检测应符合《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定，检测数量不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根。

3.4 验证与扩大检测

3.4.1 当需要对单桩竖向抗压承载力进行验证时，验证方法应采用单桩竖向抗压

静载试验中的慢速维持荷载法。

3.4.2 桩身浅部缺陷可采用开挖验证。

3.4.3 桩身或接头存在裂隙的预制桩可采用高应变法验证，管桩可采用孔内摄像的方式验证。

3.4.4 单孔钻芯检测发现桩身混凝土质量问题时，宜在同一基桩增加钻孔验证并根据前后钻芯结果对受检桩重新评价。

3.4.5 对低应变法检测中不能明确完整性类别的桩或Ⅲ类桩，可根据实际情况采用静载法、钻芯法、高应变法、开挖等适宜的方法验证检测。

3.4.6 桩身混凝土实体强度可在桩顶浅部钻取芯样验证。

3.4.7 当采用低应变法、高应变法和声波透射法检测桩身完整性发现有Ⅲ、Ⅳ类桩存在，且检测数量覆盖的范围不能为补强或设计变更方案提供可靠依据时，宜采用原检测方法，在未检桩中继续扩大检测。当原检测方法为声波透射法时，可改用钻芯法或孔内摄像法。

3.4.8 当单桩承载力或钻芯法检测结果不满足设计要求时，应分析原因并扩大检测。

3.4.9 验证检测或扩大检测采用的方法和检测数量应得到工程建设有关方的确认。

3.5 检测结果评价和检测报告

3.5.1 桩身完整性检测结果评价，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 3.5.1 的规定，并按本规范第 9 章规定的技术内容划分。

表 3.5.1 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

3.5.2 工程桩承载力验收检测应给出每个受检桩的承载力检测值。若满足规范抽样条件及数量，应给出单项工程同一条件下单桩承载力特征值是否满足设计要求的结论。

3.5.3 检测报告应包含以下内容：

- 1 委托方名称，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，基础、结构型式，层数，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期；
- 2 地基条件描述；
- 3 受检桩的桩型、尺寸、桩号、桩位、桩顶标高和相关施工记录；
- 4 检测方法，检测仪器设备，检测过程叙述；
- 5 受检桩的检测数据，实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；
- 6 与检测内容相应的检测结论。

4 单桩竖向抗压静载试验

4.1 一般规定

4.1.1 本方法适用于检测单桩的竖向抗压承载力，分为慢速和快速维持荷载法。为设计提供依据的试验桩承载力检测应用慢速维持荷载法，工程桩承载力验收检测可用快速维持荷载法。

4.1.2 当桩身埋设有应变、位移传感器或位移杆时，可按本规范附录 A 测定桩身应变或桩身截面位移，并由此计算桩的分层侧阻力和端阻力。

4.1.3 为设计提供依据的试验桩，应加载至桩侧与桩端的岩土阻力达到极限状态；当桩的承载力以桩身强度控制时，可按设计要求的加载量进行。

4.1.4 工程桩承载力验收检测采用快速维持荷载法时，嵌岩桩试验最大加载量不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2.0 倍，其它桩型试验最大加载量不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2.2 倍。

4.2 仪器设备及其安装

4.2.1 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并联同步工作，且应符合下列规定：

- 1 采用的千斤顶型号、规格应相同；
- 2 千斤顶的合力中心应与受检桩的横截面形心重合。

4.2.2 加载反力装置可根据现场条件选择锚桩反力装置、压重平台反力装置、锚桩压重联合反力装置、地锚反力装置等，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加载值的 1.2 倍；
- 2 应对加载反力装置的全部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，锚桩数量不宜少于 4 根，并应对锚桩上拔量进行监测；

4 压重应在检测前一次加足，并均匀稳固地放置于平台上，且压重施加于地基的压应力不宜大于地基承载力特征值的 1.5 倍。有条件时宜利用工程桩作为堆载支点。

4.2.3 荷载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，根据千斤顶率定曲线换算荷载。荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度等级应优于或等于 0.5 级。试验用压力表、油泵、油管在最大加载时的压力不应超过规定工作压力的 80%。

4.2.4 沉降测量宜采用大量程位移传感器或百分表，并应符合下列规定：

- 1 最大允许误差不大于 0.1%FS，分度值/分辨率优于或等于 0.01mm；
- 2 直径或边宽大于 500mm 的桩，应在其两个方向对称安置 4 个位移测试仪表，直径或边宽小于等于 500mm 的桩可对称安置 2 个位移测试仪表；
- 3 基准梁应具有足够的刚度，梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；
- 4 固定和支撑位移计（百分表）的夹具及基准梁应避免气温、振动及其他外界因素的影响；当基准梁暴露在阳光下时，应进行有效遮挡。

4.2.5 沉降测定平面宜在桩顶 200mm 以下位置，测点应牢固地固定于桩身。

4.2.6 试桩、锚桩（压重平台支墩边）和基准桩之间的中心距离应符合表 4.2.6 规定。

表 4.2.6 试桩、锚桩（或压重平台支墩边）和基准桩之间的中心距离

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

注：1 D 为试桩、锚桩或地锚的设计直径或边宽，取其较大者。

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

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

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

4.2.7 当需要测试桩侧阻力、桩端阻力、桩身截面位移时，桩身内埋设传感器、位移杆应按本规范附录 A 执行。

4.3 现场检测

4.3.1 试验桩的桩型尺寸、成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

4.3.2 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 B 执行。

4.3.3 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；分级荷载宜为最大加载值或预估极限承载力的 1/10，其中第一级可取分级荷载的 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分级荷载的 $\pm 10\%$ 。

4.3.4 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 测读桩顶沉降量，以后每隔 30min 测读一次；

2 试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（从分级荷载施加后的第 30min 开始，按 1.5h 连续三次每 30min 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 15、30、60min 测读桩顶沉降量后，即可卸下一级荷载。卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间为 3h，测读时间为第 15、30min，以后每隔 30min 测读一次。

4.3.5 快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 10、20、40、60min 测读桩顶沉降量，以后每隔 20min 测读一次；

2 试桩沉降相对稳定标准：从分级荷载施加后第 20min 开始，每 20min 内的桩顶沉降量不超过 0.1mm，并连续出现两次；

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，按第 5、15 min 测读桩顶回弹后的沉降量，每级荷载维持 15min，即可卸下一级荷载。卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间为 60min，测读时间为第 5、15、30、60 min。

4.3.6 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 5 倍，且桩顶总沉降量超过 40mm；
- 2 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍，且经 24h 尚未达到相对稳定标准；
- 3 当荷载-沉降曲线呈缓变型时，可加载至桩顶总沉降量（60~80）mm；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。
- 4 当工程桩作锚桩时，锚桩上拔量已达到设计允许值或锚桩钢筋拉应力达到钢筋强度设计值；
- 5 已达到设计要求的最大加载值或特征值的 2.0~2.2 倍（快速维持荷载法取高值）且桩顶沉降达到相对稳定标准。

4.3.7 检测数据宜按本规范附录 C 附表 C.0.1 的格式记录。

4.3.8 测试桩身应变和桩身截面位移时，数据的测读时间宜在每级荷载加荷前、后各记录一次。

4.4 检测数据分析与判定

4.4.1 检测数据的处理应符合下列规定：

- 1 确定单桩竖向抗压承载力时，应绘制竖向荷载-沉降（ $Q-s$ ）曲线、沉降-时间对数（ $s-\lg t$ ）曲线，需要时也可绘制其他辅助分析所需曲线。
- 2 当进行桩身应变和桩身截面位移测定时，应整理出有关数据的记录表，并按本规范附录 A 绘制桩身轴力分布图、计算不同土层的分层侧阻力和端阻力值。

4.4.2 单桩竖向抗压极限承载力应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对应的荷载值；
- 2 根据沉降随时间变化的特征确定：取 $s-\lg t$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；
- 3 出现本规范第 4.3.6 条第 2 款情况，取前一级荷载值；
- 4 对于缓变型 $Q-s$ 曲线可根据桩顶总沉降量确定，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）对应的荷载值；当桩长大于 40m 时，宜考虑桩身弹性压缩；

- 5 当按本条第 1~4 款不能确定时, 桩的竖向抗压极限承载力宜取最大加载值。
- 4.4.3** 快速维持荷载法单桩竖向抗压极限承载力 Q_u^f 取值: 对于嵌岩桩取第 4.4.2 条确定值的 1.0 倍; 对于其它桩型取第 4.4.2 条确定值的 0.9 倍。
- 4.4.4** 参加统计的受检桩竖向抗压极限承载力统计取值应符合以下规定:
- 1 参加统计的试验结果满足极差不超过平均值的 30% 时, 取其平均值为单桩竖向抗压极限承载力;
 - 2 极差超过平均值的 30% 时, 应分析极差过大的原因, 结合桩型、施工工艺、地基条件、基础型式等工程具体情况综合确定极限承载力, 必要时可增加试桩数量;
 - 3 试验桩数量为 2 根或桩基承台下的桩数小于或等于 3 根时, 单桩竖向抗压极限承载力应取低值。
- 4.4.5** 单桩竖向抗压承载力特征值应取单桩竖向抗压极限承载力的 50%。
- 4.4.6** 检测报告除应包括本规范第 3.5.3 条内容外, 还应包括:
- 1 受检桩桩位对应的地质柱状图;
 - 2 受检桩和锚桩的尺寸、材料强度、配筋情况以及锚桩的数量;
 - 3 加载反力种类, 堆载法应指明堆载重量, 锚桩法应有反力梁布置平面图;
 - 4 加卸载方法, 荷载分级;
 - 5 本规范第 4.4.1 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;
 - 6 承载力判定依据;
 - 7 当进行分层侧阻力和端阻力测试时, 还应有传感器类型、安装位置, 轴力计算方法, 各级荷载下桩身轴力变化曲线, 各土层的桩侧极限侧阻力和桩端阻力。

5 单桩竖向抗拔静载试验

5.1 一般规定

5.1.1 本方法适用于检测单桩的竖向抗拔承载力。

5.1.2 当桩身埋设有应变、位移传感器或桩端埋设有位移测量杆时，可按本规范附录 A 测定桩身应变或桩端上拔量，并由此计算桩的分层抗拔侧阻力。

5.1.3 为设计提供依据的试验桩应加载至桩侧岩土阻力达到极限状态或桩身材料达到设计强度；工程桩验收检测时，施加的上拔荷载不得小于单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍或使桩顶产生的上拔量达到设计要求的限值。

当抗拔承载力受抗裂条件控制时，可按设计要求确定最大加载值。

5.1.4 检测时的抗拔桩受力状态，应与设计规定的受力状态相一致。

5.1.5 预估的最大试验荷载不得大于钢筋的设计强度。

5.2 设备仪器及其安装

5.2.1 抗拔桩试验加载装置宜采用油压千斤顶，加载方式应符合本规范第 4.2.1 条规定。

5.2.2 试验反力系统宜采用反力桩（或工程桩）提供支座反力，也可根据现场情况采用地基提供支座反力。反力架承载力应具有 1.2 倍的安全系数并符合下列规定：

1 采用反力桩（或工程桩）提供支座反力时，反力桩顶面应平整并具有足够的强度；

2 采用地基提供反力时，施加于地基的压应力不宜超过地基承载力特征值的 1.5 倍；反力梁的支点重心应与支座中心重合。

5.2.3 荷载测量及其仪器的技术要求应符合本规范第 4.2.3 条的规定。

5.2.4 上拔量测量及其仪器的技术要求应符合本规范第 4.2.4 条的规定。

5.2.5 上拔量测量点宜设置在桩顶以下不小于 1 倍桩径的桩身上，不得设置在受拉

钢筋上；对于大直径灌注桩，可设置在钢筋笼内侧的桩顶面混凝土上。

5.2.6 试桩、支座和基准桩之间的中心距离应符合表 4.2.6 的规定。

5.2.7 当需要测试桩侧抗拔侧阻力分布和桩端上拔位移时，桩身内埋设传感器或桩端埋设位移杆应按本规范附录 A 执行。

5.3 现场检测

5.3.1 对混凝土灌注桩、有接头的预制桩，宜在抗拔试验前采用低应变法检测受检桩的桩身完整性。为设计提供依据的抗拔灌注桩施工时应进行成孔质量检测，若发现桩身中、下部位有明显扩径的桩不宜作为抗拔试验桩；对有接头的预制桩，应复核接头强度。

5.3.2 单桩竖向抗拔静载试验应采用慢速维持荷载法。设计有要求时，也可采用多循环加、卸载方法或恒载法。慢速维持荷载法的加卸载分级、试验方法及稳定标准应符合本规范第 4.3.3 条、第 4.3.4 条和第 4.3.6 条的规定。

5.3.3 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1 在某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级上拔量的 5 倍；
- 2 按桩顶上拔量控制，桩顶累计上拔量超过 100mm；
- 3 按钢筋抗拉强度控制，钢筋应力达到钢筋强度设计值，或某根钢筋拉断；
- 4 对于工程桩验收检测，达到设计或抗裂要求的最大上拔量或上拔荷载值。

5.3.4 检测数据可按照本规范附录 C 附表 C.0.1 的格式记录。

5.3.5 测试桩身应变和桩端上拔位移时，数据的测读时间应符合本规范第 4.3.8 条的规定。

5.4 检测数据的分析与判定

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

5.4.2 单桩竖向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；
- 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 当在某级荷载下抗拔钢筋断裂时，取其前一级荷载值。

5.4.3 当工程桩验收检测的受检桩在最大上拔荷载作用下，未出现本规范第 5.4.2 条第 1~3 款情况时，单桩竖向抗拔极限承载力应按下列情况对应的荷载值取值：

- 1 设计要求最大上拔量控制值对应的荷载；
- 2 施加的最大荷载。

5.4.4 参加统计的受检桩竖向抗拔极限承载力统计取值应符合以下规定：

- 1 参加统计的试验结果满足极差不超过平均值的 30% 时，取其平均值为单桩竖向抗拔极限承载力；

- 2 当极差超过平均值的 30% 时，应分析极差过大的原因，结合桩型、施工工艺，地基条件，基础形式等综合确定单桩抗拔极限承载力，必要时可增加试桩数量。

5.4.5 单桩竖向抗拔承载力特征值应取单桩竖向抗拔极限承载力的 50%。当工程桩不允许带裂缝工作时，取桩身开裂的前一级荷载作为单桩竖向抗拔承载力特征值，并与按极限荷载一半取值确定的承载力特征值相比取低值。

5.4.6 检测报告除应包括本规范第 3.5.3 条内容外，还应包括：

- 1 受检桩桩位对应的地质柱状图；
- 2 受检桩尺寸（灌注桩宜标明孔径曲线）及配筋情况；
- 3 加卸载方法，荷载分级；
- 4 第 5.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 5 承载力判定依据；
- 6 当进行抗拔侧阻力测试时，应有传感器类型、安装位置、各级荷载下桩身轴力变化曲线，各土层中的抗拔极限侧阻力。

6 单桩自平衡静载试验

6.1 一般规定

6.1.1 本方法适用于粘性土、粉土、砂土、岩层中的人工挖孔桩、钻孔灌注桩、沉管灌注桩、预制桩等，尤其适用于水上试桩、坡地试桩、狭窄场地试桩、高承载力试桩等情况。

6.1.2 为设计提供依据的试验桩，应加载至破坏，当桩的承载力以桩身强度控制时，可按设计要求的加载值进行。

6.2 设备仪器及其安装

6.2.1 单桩自平衡静载试验加载采用专用的荷载箱，安放前应进行标定，荷载箱应平放安装于试桩中心，荷载箱位移方向与桩身轴线夹角不应大于 5° ，荷载箱极限加载能力应大于预估极限承载力的 1.5 倍。

6.2.2 荷载测量采用压力传感器测定油压。传感器的测量误差不应大于 1%，试验用压力表油泵、油管在最大加载时的压力不应超过规定工作压力的 80%。

6.2.3 试桩位移测量宜采用位移传感器或大量程百分表，并应符合下列规定：

- 1 测量误差不大于 $0.1\%FS$ ，分辨力优于或等于 $0.01mm$ 。
- 2 对于直径很大及有特殊要求的桩型，可对称增加各一组测试仪表。
- 3 测定桩向上、向下位移的位移棒应焊接牢固，保护位移棒的护管不得有孔洞，护管与位移棒应留有足够空隙。
- 4 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。
- 5 固定和支撑位移计（百分表）的夹具及基准梁应避免气温、振动及其他外界因素的影响。

6.2.4 试桩和基准桩之间的中心距离应大于等于 $3D$ 且不小于 $2.0m$ 。

6.2.5 荷载箱宜在成孔后混凝土浇灌前设置。护管与钢筋笼焊接成整体，保证其垂

直度和刚度，护管还应分别与荷载箱上下盖焊接，焊缝应满足强度要求，并确保护管不渗漏出泥浆。荷载箱放置处一般宜有加强措施，可配置加密钢筋网 2 层。

6.2.6 荷载箱放置位置应根据地质报告进行估算，当预估端阻力小于侧阻力时，荷载箱放置在桩身平衡点处，使上、下段桩的承载力相等以维持加载。当端阻力大于侧阻力时，可根据桩长径比、地质情况在桩顶堆放一定量的配重。

6.3 现场检测

6.3.1 试桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

6.3.2 检测若需要堆放一定数量配重以维持上下力的平衡，则混凝土桩头处理可按本规范附录 B 执行。

6.3.3 试验加卸载方式应符合本规范第 4.3.3 条的规定：

6.3.4 慢速和快速维持荷载法加荷试验步骤应分别符合本规范第 4.3.4 和 4.3.5 条的规定。

6.3.5 当出现下列情况之一时，可终止加载。

- 1 某级荷载作用下，桩位移量大于前一级荷载作用下位移量的 5 倍；
- 2 某级荷载作用下，桩位移量大于前一级荷载作用下位移量的 2 倍，且经 24 h 尚未达到相对稳定标准；
- 3 对于缓变型 $Q-s$ 曲线，可加载至桩向上向下位移量 40mm；
- 4 已达到设计要求的最大加载量；
- 5 已达到荷载箱的设计最大行程。

6.3.6 检测数据宜按本规范附录 C 附表 C.0.2 的格式记录。

6.3.7 测试桩侧阻力和桩端阻力时，测试数据的测读时间应符合第 4.3.8 条的规定。

6.4 检测数据的分析与判定

6.4.1 检测数据的整理应符合本规范第 4.4.1 条和第 5.4.1 条的规定。

6.4.2 上段桩极限承载力 Q_u^u ，下段桩极限承载力 Q_u^d 可按下列方法综合分析确定：

- 1 根据位移随荷载变化的特征确定：对于陡变（陡降或陡升）型 $Q-s$ 曲线，取其发生明显陡变的起始点对应的荷载值。
- 2 根据位移随时间变化的特征确定：取 $s-lgt$ 曲线尾部出现明显变化的前一级

荷载值。即下段桩取 $s_d\text{-}lgt$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值，上段桩取 $s_u\text{-}lgt$ 曲线尾部出现明显向上弯曲的前一级荷载值。

3 出现第 4.3.6 条第 2 款情况，取前一级荷载值。

4 对于缓变型 $Q\text{-}s$ 曲线可根据位移量确定，宜取 $s=40\text{mm}$ 对应的荷载值；当桩长大于 40m 时，宜考虑桩身弹性压缩量；对直径大于或等于 800mm 的桩，可取 $s=0.05D$ (D 为桩端直径) 对应的荷载值。

5 当按上述四款判定上、下段桩的极限承载力未达到极限时，取最大试验荷载值或荷载箱最大行程对应试验荷载值为极限承载力值。

6.4.3 单桩竖向抗压极限承载力 Q_u 可按下式确定：

$$\text{单桩竖向抗压极限承载力} \quad Q_u = \frac{Q_u^u - G}{\gamma} + Q_u^d \quad (6.4.3)$$

对于粘性土、粉土， $\gamma=0.8$ ；

对于砂土， $\gamma=0.7$ ；

对于岩石， $\gamma=1.0$ 。

6.4.4 参加统计的受检桩竖向抗压极限承载力统计值的取值应符合本规范第 4.4.4 条的规定：

6.4.5 单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应按单桩竖向抗压极限承载力统计值的 50% 取值。

6.4.6 检测报告除应包括本规范第 3.5.3 条内容外，还应包括：

- 1 计算的平衡点位置、荷载箱型号及生产厂家；
- 2 受检桩位对应的地质柱状图；
- 3 当进行分层摩阻力测试时，还应有传感器类型，安装位置，轴力计算方法，各级荷载下桩身轴力变化曲线，各土层的桩侧极限摩阻力和桩端阻力。

7 单桩水平静载试验

7.1 一般规定

7.1.1 本方法适用于在桩顶自由的试验条件下,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。

7.1.2 当桩身埋设有应变测量传感器时,可按本规范附录 A 测定桩身横截面的弯曲应变,并计算桩身弯矩以及确定钢筋混凝土桩受拉区混凝土开裂时对应的水平荷载。

7.1.3 为设计提供依据的试验桩宜加载至桩顶出现较大水平位移或桩身结构破坏;对工程桩抽样检测,可按设计要求的水平位移允许值控制加载。

7.2 设备仪器及其安装

7.2.1 水平推力加载设备宜采用卧式油压千斤顶,加载能力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍。

7.2.2 水平推力的反力可由相邻桩提供;当专门设置反力结构时,其承载能力和刚度应大于试验桩的 1.2 倍。

7.2.3 荷载测量及其仪器的技术要求应符合本规范第 4.2.3 条的规定;水平力作用点宜与实际工程的桩基承台底面标高一致;千斤顶和试验桩接触处应安置球形铰支座,千斤顶作用力应水平通过桩身轴线;千斤顶与试桩的接触处宜适当补强。

7.2.4 桩的水平位移测量及其仪器的技术要求应符合本规范第 4.2.4 条的有关规定。在水平力作用平面的受检桩两侧应对称安装两个位移计;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计。

7.2.5 位移测量的基准点设置不应受试验和其他因素的影响,基准点应设置在与作用力方向垂直且与位移方向相反的试桩侧面,基准点与试桩净距不应小于 1 倍桩径。

7.2.6 测量桩身应变时,各测试断面的测量传感器应沿受力方向对称布置在远离中

性轴的受拉和受压主筋上；埋设传感器的纵剖面与受力方向之间的夹角不得大于 10° 。在地面下 10 倍桩径（桩宽）以内的主要受力部分应加密测试断面，断面间距不宜超过 1 倍桩径；超过 10 倍桩径（桩宽）深度，测试断面间距可适当加大。桩身内埋设传感器应按本规范附录 A 执行。

7.3 现场检测

7.3.1 加载方法宜根据工程桩实际受力特性选用单向多循环加载法或本规范第 4 章规定的慢速维持荷载法。需要测量桩身横截面弯曲应变的试桩宜采用维持荷载法。

7.3.2 试验加卸载方式和水平位移测量应符合下列规定：

1 单向多循环加载法的分级荷载应不大于预估水平极限承载力或最大试验荷载的 1/10。每级荷载施加后，恒载 4min 后可测读水平位移，然后卸载至零，停 2min 测读残余水平位移，至此完成一个加卸载循环。如此循环 5 次，完成一级荷载的位移观测。试验不得中间停顿；

2 慢速维持荷载法的加卸载分级、试验方法及稳定标准应按本规范第 4.3.3 条、第 4.3.4 条和第 4.3.6 条有关规定执行。

7.3.3 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 $(30\sim40)\text{mm}$ （软土或大直径桩取 40mm ）；
- 3 水平位移达到设计要求的水平位移允许值。

7.3.4 检测数据可按本规范附录 C 附表 C.0.3 的格式记录。

7.3.5 测试桩身横截面弯曲应变时，数据的测读宜与水平位移测量同步。

7.4 检测数据分析与判定

7.4.1 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 绘制水平力、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 ($H-m$ 、 Y_0-m)。

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

$$m = \frac{(v_y \cdot H)^{\frac{5}{3}}}{b_0 Y_0^{\frac{5}{3}} (EI)^{\frac{2}{3}}} \quad (7.4.2-1)$$

$$\alpha = \left(\frac{mb_0}{EI} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (7.4.2-2)$$

式中 m ——地基土水平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 (7.4.2-2) 试算 α , 当 $\alpha h \geq 4.0$ 时 (h 为桩的入土深度), $v_y = 2.441$;

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 为桩身材料弹性模量, I 为桩身换算截面惯性矩;

b_0 ——桩身计算宽度 (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, $b_0 = B + 1$ 。

7.4.3 对进行桩身横截面弯矩应变测定的试验应绘制下列曲线, 并列表给出相应的数据:

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

7.4.4 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 $H-\sigma_s$ 曲线第一拐点对应的水平荷载值。

7.4.5 单桩水平极限承载力可按下列方法确定:

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

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。

7.4.6 参加统计的受检桩水平极限承载力和水平临界荷载统计取值应符合本规范第 4.4.4 条的规定。

7.4.7 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 当桩身不允许开裂或灌注桩的桩身配筋率小于 0.65% 时，取水平临界荷载的 0.75 倍为单桩水平承载力特征值；

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

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

7.4.8 检测报告除应包括本规范第 3.5.3 条内容外，还应包括：

1 受检桩桩位对应的地质柱状图；

2 受检桩的截面尺寸及配筋情况；

3 加卸载方法，荷载分级；

4 第 7.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；

5 承载力判定依据；

6 当进行钢筋应力测试并由此计算桩身弯矩时，应有传感器类型、安装位置、内力计算方法和第 7.4.3 条要求绘制的曲线及其对应的数据表。

8 高应变法

8.1 一般规定

8.1.1 本方法适用于检测单桩竖向抗压承载力及桩身完整性,也可用于打入式预制桩的沉桩监测。

8.1.2 本方法对现场灌注桩的承载力检测时,应具有现场实测经验或取得相近条件下可靠的动静对比资料。

8.2 仪器设备

8.2.1 检测仪器设备主要包括基桩动测仪、应变及加速度传感器、锤击设备,其性能指标应符合下列规定:

1 基桩动测仪的性能指标应不低于现行行业标准《基桩动测仪》JG/T3055 中规定的 2 级标准。应变传感器安装谐振频率不低于 2000Hz,加速度传感器安装谐振频率不低于 10000Hz;

2 锤击设备可采用打桩机或类似的落锤装置,锤击设备应具有稳定的导向机构。重锤应形状对称,锤底平整,其高径(宽)比应大于 1,其材质应为铸钢或铸铁。检测单桩承载力时重锤的重量应不小于单桩承载力特征值的 2%,当混凝土桩的直径大于 600mm 或桩长大于 30m 时,宜进一步提高检测用锤的重量。

8.2.2 单击贯入度可采用精密水准仪、激光变形仪等光学仪器测量。

8.3 现场检测

8.3.1 当检测桩的极限承载力时,桩身混凝土强度应达到设计要求,且桩置入土中的时间应满足有关最短休止期的规定。

8.3.2 检测前的准备工作应符合下列规定:

1 检测桩桩头应能承受重锤的冲击,桩头顶面应平整,桩头中轴线与下部桩身中轴线应重合,桩头截面与下部桩身截面应基本相同;

2 对不能承受重锤冲击的桩头应进行加固,以确保锤击能量的正常传递。混凝土桩头的处理方法应符合附录 A 的规定;

3 检测时应在桩顶铺设桩垫,桩垫应具有足够的硬度和厚度,一般可采用厚度为(10~30)mm的胶合板、木板、硬质橡胶板等材料,当采用厚度为(30~50)mm细砂作为桩垫时,应采取必要的措施保证垫层足够密实。现场检测时所采用桩垫的材质和厚度应根据具体情况调整确定;

4 检测传感器的安装应符合附录 D 的规定。

8.3.3 检测参数的设定应符合下列规定:

1 信号采集频率应为(5000~10000)Hz,短桩应采用高值,信号采样点数不宜少于1024点;

2 传感器的标定系数应按计量检定的结果进行设定;

3 桩的截面积与桩长应按以下规定进行设定:

(1)对预制桩,可根据施工记录的桩长和截面设定;

(2)对灌注桩,截面积应按测点处实际桩身的测量值设定,桩长应按实际钻孔记录设定。

4 桩身波速C应按以下规定进行设定:

(1)对于钢桩,波速值可设定为5120m/s;

(2)混凝土桩的桩身波速可根据同一工程其他桩的实测值或邻近工程的经验值进行初步设定,并宜按8.4.4条确定的桩身平均波速进行调整。

5 桩身质量密度 ρ 应根据检测桩的材质进行设定;

6 桩身弹性模量应按下式计算:

$$E = \rho \cdot c^2 \quad (8.3.3)$$

式中: E ——桩身材料弹性模量(kPa);

ρ ——桩身材料质量密度 t/m³;

c ——桩身弹性波波速(m/s)。

8.3.4 现场检测还应符合下列规定:

1 检测前应对仪器设备、电源、传感器的安装状况及应变传感器的初始值,设定的参数等进行全面检查,并做好现场原始记录,确认无误后方可进行检测;

2 锤击设备应稳定可靠,当采用自由落锤装置时,宜重锤低击,最大锤击落距不宜大于2.5m;

- 3 应实际测量单次锤击的贯入度，单击贯入度宜在（2~6）mm 之间；
- 4 及时检查所采集信号的质量，当发现信号异常，波形紊乱时，应停止检测，找出原因。

8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 检测承载力时选取的锤击信号应符合下列规定：

- 1 分析信号宜取锤击能量较大的击次；
- 2 力和加速度第一波峰起始点位置基本重合，峰值上升段应基本平行，力和加速度第一峰值时域坐标点应基本一致；
- 3 F、V 曲线光滑有序，无高频杂波，在 $0\sim 2L/C$ 时段内力和速度逐渐分离；
- 4 力和速度信号曲线最终归零；
- 5 对称两组的力和速度信号应基本一致，无偏心现象发生。

8.4.2 锤击后出现下列情况之一时，其信号不得作为分析计算的依据：

- 1 力和速度时域信号最终不归零；
- 2 锤击偏心，单侧力出现拉力；
- 3 传感器故障；
- 4 传感器安装不牢，受弯、受扭或传感器安装处混凝土开裂或有塑性变形。

8.4.3 高应变检测信号第一峰值比例失调，应分析比例失调的原因，不得随意进行比例调整。

8.4.4 分析计算前，应根据实测信号确定桩身平均波速：

- 1 桩底反射波信号明显时，可根据速度第一峰和反射峰之间的时间差与已知桩长来确定桩身平均波速；桩底反射信号不明显时，可根据速度第一峰上升沿的起点（或峰值点）到桩底反射峰上升沿的起点（或峰值点）与已知桩长确定（图 8.4.3.1），也可根据下行波上升沿的起点到上行波下降沿的起点之间的时差与已知桩长确定（图 8.4.3.2）；

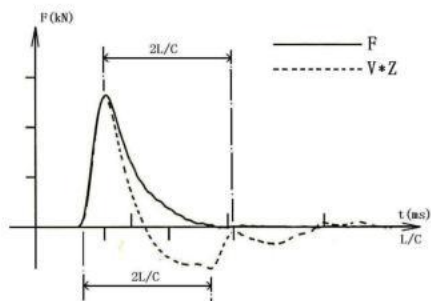


图 8.4.3.1 按速度峰确定桩身平均波速

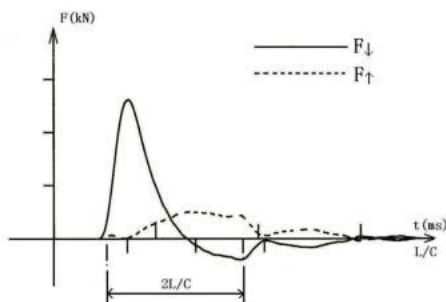


图 8.4.3.2 按上下行波确定桩身平均波速

2 当传感器安装位置的波速值采用桩身平均波速时,应对力和速度信号按相应的比例进行调整。

8.4.5 在计算单桩极限承载力之前,应先结合地质条件及桩的设计施工参数对实测曲线观察分析,对桩的岩土阻力分布及所反映的岩土性状、桩身缺陷及锤击作用下缺陷的发展情况进行初步判断。

8.4.6 采用实测曲线拟合法分析计算时应符合下列规定:

- 1 所采用的力学模型应能反映桩土体系的实际性状;
- 2 拟合时间段长度大于 $5L/C$, 并在 $2L/C$ 后不少于 20ms;
- 3 拟合分析选定的参数应在岩土工程的合理取值范围之内。各单元所选用的土的最大弹性位移 s_q 不得超过相应桩单元的最大计算位移值;
- 4 拟合完成时阻力影响主要时间段 ($2L/c$) 内计算曲线应与实测曲线吻合, 其

他时间段计算曲线应与实测曲线基本吻合，且曲线的总体拟合质量数应控制在合适的范围内。

5 单击贯入度的计算值应与实测值基本一致。

8.4.7 当桩身截面不变，材质均匀，且无明显桩身缺陷时，可采用凯斯法计算单桩极限承载力。其计算公式如下：

$$R_c = (1 - J_c)[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] / 2 + (1 + J_c)[F(t_2) - Z \cdot V(t_2)] / 2 \quad (8.4.7-1)$$

$$Z = \frac{E \cdot A}{c} \quad (8.4.7-2)$$

式中： R_c ——由凯斯法判定的单桩极限承载力（kN）；

J_c ——凯斯法阻尼系数；

t_1 ——速度第一峰值对应的时刻（ms）；

t_2 ——桩底反射波峰值对应时刻（ms）， $t_2 = t_1 + 2L/C$ ；

$F(t_1)$ 、 $F(t_2)$ —— t_1 、 t_2 时刻的锤击力（kN）；

$V(t_1)$ 、 $V(t_2)$ —— t_1 、 t_2 时刻的质点运动速度（m/s）；

Z ——桩身截面力学阻抗（kN·s/m）；

A ——桩身截面积（m²）；

L ——测点传感器以下桩长（m）。

8.4.8 采用凯斯法计算单桩的极限承载力时，阻尼系数 J_c 应通过相同条件下的动静对比试验确定。在无静载试验资料的情况下，应结合桩端土层情况通过实测曲线拟合法推定，拟合计算的桩数不应少于受检桩数的 30%，且不少于 3 根。相同条件下的桩所采用的阻尼系数极值之差不应大于其平均值的 30%。

8.4.9 当桩身存在缺陷高应变法难以确定桩的承载力或对高应变检测结果存在异议或争议时，应采用静载试验方法对桩的承载力进行验证。

8.4.10 桩身完整性评价一般可用实测曲线拟合法进行；对等截面桩，桩身第一缺陷可用桩身完整性系数进行评价。

8.4.11 当桩身存在浅部缺陷，力信号上升缓慢，力和速度信号比例失调，应用采用低应变法或开挖验证判定桩的完整性。

8.4.12 按桩身完整性系数进行桩身完整性评价时，应按表 8.4.12 执行：

表 8.4.12 桩身完整性分类表

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

表中:

$$\beta = \frac{F(t_1) + F(t_x) + Z \cdot [V(t_1) - V(t_x)] - 2\Delta R}{F(t_1) - F(t_x) + Z \cdot [V(t_1) + V(t_x)]} \quad (8.4.12)$$

式中: t_1 ——速度第一峰对应时刻 (ms);

t_x ——缺陷反射波峰值对应时刻 (ms);

ΔR ——缺陷位置以上桩侧土阻力的总和 (kN)。

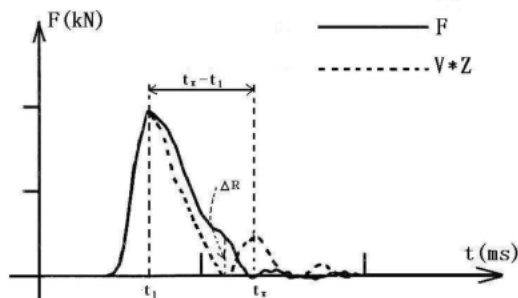


图 8.4.12 桩身完整性系数 BTA 值

8.4.13 桩身第一缺陷位置按下式计算:

$$x = C \cdot (t_x - t_1) / 2 \quad (8.4.13)$$

式中: x ——缺陷至传感器安装点的距离 (m);

C ——桩身平均波速 (m/s);

t_1 ——速度信号第一峰对应时刻

t_x ——缺陷反射波峰值对应时刻 (ms);

8.4.14 检测报告除应符合第 3.5.3 条规定外, 还应包括下列内容:

每根桩的实测曲线、参数取值、检测数据处理、分析方法和检测结果。对于实测曲线拟合法应包括: 拟合曲线、拟合质量系数、模拟的荷载—沉降曲线, 桩身阻

抗沿桩长的变化，土阻力沿桩长分布，选用的各桩单元的有关参数以及贯入度的实测值与计算值；凯斯法应包括测点处力与速度曲线，上、下行波曲线，总阻力、静阻力曲线，锤击能量及位移曲线。

9 低应变法

9.1 一般规定

9.1.1 本方法适用于检测混凝土桩的桩身完整性，判定桩身缺陷的位置及大小。

9.1.2 本方法对变截面桩的桩身完整性检测，宜结合其他检测方法综合判定桩的完整性类别。

9.2 仪器设备

9.2.1 检测所用仪器设备主要包括基桩动测仪，拾震传感器，敲击锤（或力棒），其性能指标应符合现行行业标准《基桩动测仪》JGJ/T3055 的有关规定。

9.2.2 应备有不同材质和重量的敲击锤（或力棒），以产生宽度不同的脉冲，用以检测直径不同的基桩或检测不同深度的缺陷。敲击锤可安装测力传感器用以辅助检测桩顶浅部缺陷。

9.3 现场检测

9.3.1 检测前的准备工作应符合下列规定：

- 1 现场灌注桩的混凝土强度应达到设计强度的 70%，且不小于 15Mpa；
- 2 检测桩顶面应平整，密实，并与桩身轴线基本垂直；
- 3 现场灌注桩应凿除桩顶浮浆至设计桩顶标高，受检桩桩头截面尺寸，混凝土材质，强度等均与下部桩身一致。桩头宜露出地面且高度不小于 5cm；
- 4 预应力管桩桩头板应与桩身连接紧密，否则应将桩头板割除；
- 5 桩顶出露钢筋笼对检测有影响时，应割除多余的钢筋笼；
- 6 检测时桩顶应清扫干净，不应有积水或其他杂物。

9.3.2 参数设定应符合下列规定：

1 检测桩长应按施工桩长设定，波速可按地区经验或按其他工程桩的实测波速值初步设定；

2 采样频率或采样时间间隔应根据桩长，波速等参数合理选取，使得桩底反射波信号处于显示屏上合适的位置，一般要求时域信号记录长度在 $2L/C$ 时刻后不少于 5ms；

3 传感器标定参数应按计量检定的结果设定；

4 信号的增益、滤波、放大等参数应根据桩底或缺陷反射波的清晰程度设定。

9.3.3 传感器的安装与锤击应符合下列规定：

1 根据桩的截面尺寸宜在桩顶对称布置 2-4 个检测点，检测点位置应尽量避免钢筋笼的主筋；

2 实心桩的敲击点应选在桩中心，实心桩检测点的位置与桩中心的距离宜为 $2/3R$ ，空心桩的敲击点与检测点应选在桩壁厚度的 $1/2$ 处，且检测点与敲击点呈 90° 夹角；

3 加速度传感器安装位置的混凝土应平整，应根据具体情况选用合适的耦合剂粘结传感器，传感器应垂直于桩顶面；

4 应根据现场敲击试验选择合适重量的敲击锤及锤垫，用以产生合适宽度的敲击脉冲，敲击锤的锤击方向应垂直于桩顶面。

9.3.4 检测信号的拾取应符合下列规定：

1 每个检测点应拾取不少于三次锤击的信号，信号应具有良好的重复性；

2 现场应对检测信号进行分析，并对检测桩的桩身完整性进行初步判断；

3 依次拾取各检测点的锤击信号，并检查波形信号的质量；

4 检测信号不应失真和零漂，信号幅值不应超出检测仪器的显示范围；

5 当信号质量差或重复性差时，应分析原因，或增加检测点数或重新进行检测。

9.4 检测数据的分析判定

9.4.1 对现场采集数据应进行筛选、滤波、放大等技术处理，使桩底或深部缺陷的反射波凸显在时域波形曲线上。

9.4.2 桩身完整性应以分析时域信号为主，根据反射波的波形，相位，幅度，并综合基桩的桩型、施工情况和地质条件分析确定。

9.4.3 对已知桩长而且桩底反射波明确的检测桩，应按下面的公式计算桩身波速：

$$C = \frac{2000L}{\Delta T} \quad (9.4.3)$$

式中：C——检测桩的桩身波速（m/s）；

L——测点以下的桩长（m）；

ΔT ——桩底反射波的到达时间（ms）。

9.4.4 对地基条件相同，设计施工参数相同的检测桩，可选择不少于 5 根有代表性的检测桩的桩身波速，统计计算桩身波速平均值。当不能进行桩身波速平均值的统计计算时，应根据地区性经验确定桩身波速平均值。

$$C_m = \frac{1}{n} \sum C_i \quad (9.4.4)$$

式中：C_m——桩身波速平均值（m/s）；

C_i——参与统计的第 i 根受检桩的桩身波速（m/s），且 $|C_i - C_m|/C_m \leq 5\%$ ；

n——参与统计的检测桩数量（n ≥ 5）。

9.4.5 桩身缺陷的位置可根据桩身波速平均值及缺陷反射波的到达时间按下面的公式计算确定。

$$X = \frac{C_m \cdot T_x}{2000} \quad (9.4.5)$$

式中：X——缺陷距离检测点的长度（m）；

T_x——缺陷反射波到达检测点的时间（ms）；

C_m——桩身波速平均值（m/s）。

9.4.6 桩身完整性类别的划分，应按表 9.4.6 执行：

表 9.4.6 桩身完整性类别

桩身完整性类别	分类原则
I 类桩	时域信号无缺陷反射波，波速正常，桩底反射波明显
II 类桩	时域信号有轻微的缺陷反射波，桩底反射波较明显，波速正常
III 类桩	时域信号特征介于 II 类桩和 IV 类桩之间
IV 类桩	时域信号有强烈的缺陷反射波或存在二次及以上的缺陷反射波，或波形呈低频大幅度衰减振动曲线形式，无桩底反射波。

9.4.7 下列情况下低应变法的桩身完整性评价应结合其他检测方法进行：

- 1 实测信号复杂，无规律，无法判定桩身完整性；

- 2 桩径渐变或多变的桩；
 - 3 桩身波速明显异常；
 - 4 嵌岩桩桩底反射波与敲击脉冲同向。
- 9.4.8** 检测报告除应包含第 3.5.3 条规定的内容外，还应包括：每根桩的实测曲线、参数取值、检测数据处理、分析方法和分析结果。

10 声波透射法

10.1 一般规定

10.1.1 本方法适用于已预埋两根或两根以上声测管的混凝土灌注桩的桩身完整性检测，本方法所检测桩的直径不宜小于 600mm。

10.2 仪器设备

10.2.1 声波检测仪应采用自动化声波检测仪，其性能应符合下列指标：

- 1 应能实时显示并记录检测波形，并具有频谱分析功能；
- 2 应具有自动和手动显示首波的功能；
- 3 应具有深度自动记录并可随时对深度进行校正的功能；
- 4 最小采样时间间隔小于或等于 $0.5\mu\text{s}$ ，系统频带宽度为 (1~200) kHz，声幅值测量相对误差小于 5%，系统最大动态范围不小于 100dB；
- 5 发射电压为 (200~1000) V 矩形或阶跃脉冲，且分档可调。

10.2.2 声波换能器应符合下列规定：

- 1 采用柱状径向振动的换能器，有效工作长度不大于 150mm，自振频率宜选用 (30~60) kHz；
- 2 水密性应满足在 1MPa 水压下不漏水；
- 3 换能器的连接导线上应标记深度。

10.3 现场检测

10.3.1 声测管的埋设应符合下列规定：

- 1 检测桩预埋声测管的数量应符合以下规定：桩径不大于 800mm 时不少于 2 根管，桩径大于 800mm 但小于或等于 1600mm 时不少于 3 根管，桩径大于 1600mm 时不少于 4 根管；
- 2 声测管宜采用钢质管，其内径应比声波换能器外径大 20mm 左右，声测管宜采用螺纹方式连接，且保证不漏水；

3 声测管应牢固地绑扎或焊接于钢筋笼的内侧,且相互平行,定位准确,管口宜高出桩顶面不小于 100mm;

4 声测管应下端封闭,上端加盖,管内无异物。

10.3.2 应采用水中率定的方法测定声波检测仪发射至接收系统的系统延迟时间 t_0 。

10.3.3 检测前的准备工作应符合下列规定:

1 打开声测管的上端,采用有效的方法检查声测管的通畅性,并在声测管中注满清水;

2 对声测管进行两两编组,测量并记录每组声测管外壁间的净距离;

3 通电并检查仪器工作状态。

10.3.4 按下式计算声时修正值 t' :

$$t' = \frac{D-d}{v_t} + \frac{d-d'}{v_w} \quad (10.3.4.1)$$

式中: D ——检测管外径 (mm);

d ——检测管内径 (mm);

d' ——换能器外径 (mm);

v_t ——检测管壁厚方向声速 (km/s);

v_w ——水的声速 (km/s);

t' ——声时修正值 (μs)。

10.3.5 现场平测和斜测应符合下列规定:

1 接收及发射换能器应在装设扶正器后置于检测管内,并能顺利提升及下降;

2 平测时上述发射与接收换能器应置于同一标高。斜测时发射与接收换能器应置于不同标高,其水平测角应小于 30° 并保持不变;

3 仪器应实时显示并记录每条测线的包含首波的波形曲线,首波应位于显示屏的中间位置,并记录每条测线的声时,声幅,主频等信息。

4 从桩底开始同步向上提升发射和接受换能器,换能器的提升速度应均匀稳定,保持波形稳定。声测线的间距应小于 100mm,检测过程中同一检测剖面的发射电压值应固定不变,放大器的增益值也应始终固定不变。

10.3.6 当发现桩身局部存在异常测点后,应采用加密测线、交叉斜测或扇形扫描,CT 影像技术等方式进一步检测,对桩身缺陷的大小和位置做进一步确认。

10.4 检测数据分析与判定

10.4.1 当采用现场平测，各测点的声时、声速，波幅、主频等声学数据应绘制成沿桩身的深度变化曲线，各声学参数的计算公式如下：

$$t_{ci} = t_i - t_0 - t' \quad (10.4.1-1)$$

$$v_i = \frac{l_i'}{t_{ci}} \quad (10.4.1-2)$$

$$A_{pi} = 20 \lg \frac{a_i}{a_0} \quad (10.4.1-3)$$

$$f_i = \frac{1000}{T_i} \quad (10.4.1-4)$$

当采用斜测或扫描测试时，测点间距应为两换能器中点连线的相应声测管外壁之间的净距离，应根据检测时两换能器的高差计算求出。

10.4.2 对声速（声时）曲线呈现有规律的曲线形状，同时可判断为是由声测管间距改变而造成的声时（声速）改变时，应对声测管间距通过高阶曲线拟合等方式进行合理修正，同时声速参数应以修正后的数据为准。

10.4.3 对现场平测或斜测的数据，声速异常判断概率统计值的计算过程如下：

1 将某检测剖面各声测线的声速值 v_i 由大到小依次排序，即：

$$v_1 \geq v_2 \geq \dots v_k \geq \dots v_{i-1} \geq v_i \geq v_{i+1} \geq \dots v_{n-k} \geq \dots v_{n-1} \geq v_n \quad (10.4.3-1)$$

式中： v_i ——第 i 声测线声速， $i=1, 2, \dots, n$ ；

n ——第 j 检测剖面的声测线总数；

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

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

2 对逐一去掉 v_i 中 k 个最小数值和 k' 个最大数值后的其余数据进行统计计算：

$$v_{01} = v_m - \lambda \cdot s_x \quad (10.4.3-2)$$

$$v_{02} = v_m + \lambda \cdot s_x \quad (10.4.3-3)$$

$$v_m = \frac{1}{n - k - k'} \sum_{i=k'+1}^{n-k} v_i \quad (10.4.3-4)$$

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-k-k'-1} \sum_{i=k'+1}^{n-k} (v_i - v_m)^2} \quad (10.4.3-5)$$

$$C_v = \frac{s_x}{v_m} \quad (10.4.3-6)$$

式中: v_{01} ——声速异常小值判断值;
 v_{02} ——声速异常大值判断值;
 v_m —— $(n-k-k')$ 个数据的平均值;
 s_x —— $(n-k-k')$ 个数据的标准差;
 C_v —— $(n-k-k')$ 个数据的变异系数;
 λ ——由表 11.4.3 查得的与 $(n-k-k')$ 相对应的系数。

表 10.4.3 统计数据个数 $(n-k-k')$ 与对应的 λ 值

$n-k-k'$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20
λ	1.28	1.33	1.38	1.43	1.47	1.50	1.53	1.56	1.59	1.64
$n-k-k'$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
λ	1.64	1.69	1.73	1.77	1.80	1.83	1.86	1.89	1.91	1.94
$n-k-k'$	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
λ	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04	2.05	2.07	2.09	2.10	2.11
$n-k-k'$	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
λ	2.13	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22	2.23
$n-k-k'$	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
λ	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.29	2.30	2.31	2.32
$n-k-k'$	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
λ	2.33	2.34	2.36	2.38	2.39	2.41	2.42	2.43	2.45	2.46
$n-k-k'$	150	160	170	180	190	200	220	240	260	280
λ	2.47	2.50	2.52	2.54	2.56	2.58	2.61	2.64	2.67	2.69
$n-k-k'$	300	320	340	360	380	400	420	440	470	500
λ	2.72	2.74	2.76	2.77	2.79	2.81	2.82	2.84	2.86	2.88
$n-k-k'$	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
λ	2.91	2.94	2.96	2.98	3.00	3.02	3.04	3.06	3.08	3.09
$n-k-k'$	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
λ	3.12	3.14	3.17	3.19	3.21	3.23	3.24	3.26	3.28	3.29

3 按 $k=0$ 、 $k'=0$ 、 $k=1$ 、 $k'=1$ 、 $k=2$ 、 $k'=2$ 的顺序, 将参加统计的数列最小数据 v_{n-k} 与异常小值判断值 v_{01} 进行比较, 当 $v_{n-k} \leq v_{01}$ 时剔除最小数据; 将最大数

据 $v_{k'+1}$ 与异常大值判断值 v_{02} 进行比较, 当 $v_{k'+1} \geq v_{02}$ 时剔除最大数据。每次剔除一个数据, 然后对剩余数据构成的数列重复式 (11.4.3-2) ~ (11.4.3-5) 的计算步骤, 直到下列两式成立:

$$v_{n-k} > v_{01} \quad (10.4.3-7)$$

$$v_{k'+1} < v_{02} \quad (10.4.3-8)$$

4 声速异常判断按下列方法确定:

$$v_0 = \begin{cases} v_m(1-0.015\lambda) & \text{当 } C_v < 0.015 \text{ 时} \\ v_{01}(j) & \text{当 } 0.015 \leq C_v \leq 0.045 \text{ 时} \\ v_m(1-0.045\lambda) & \text{当 } C_v > 0.045 \text{ 时} \end{cases} \quad (10.4.3-9)$$

式中: v_0 ——声速异常判断概率统计值。

10.4.4 受检桩的声速临界值应按下列方法确定:

1 根据本地区经验, 有条件地结合预留同条件混凝土试件或钻芯法获取的芯样试件的抗压强度与声速对比试验, 分别确定桩身混凝土声速的低限值 v_L 和平均值 v_p ;

2 当 $v_L < v_0 < v_p$ 时,

$$v_c = v_0 \quad (10.4.4)$$

式中: v_c ——声速异常判断临界值;

v_0 ——声速异常判断概率统计值。

3 当 $v_0 \leq v_L$ 或 $v_0 \geq v_p$ 时, 应分析原因, v_c 的取值可参考同一桩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的声速异常判断临界值综合确定;

4 对只有单个检测剖面的桩, 其声速异常判断临界值等于检测剖面声速异常判断临界值。对于三个及三个以上检测剖面的桩, 应取各个检测剖面声速异常判断临界值的算术平均值作为该桩各声测线声速异常判断临界值。

10.4.5 声速异常时的临界值判据为:

$$v_i \leq v_c \quad (10.4.5)$$

当式 (10.4.5) 成立时, 声速可判定为异常。

10.4.6 波幅异常判断的临界值应按下列公式计算:

$$A_m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{pi} \quad (10.4.6-1)$$

$$A_c = A_m - 6 \quad (10.4.6-2)$$

波幅异常的临界值判据为：

$$A_{pi} < A_c \quad (10.4.6-3)$$

式中：\$A_m\$——各声测线波幅平均值（dB）；

\$A_{pi}\$——第 \$i\$ 声测线的波幅值；

\$A_c\$——波幅异常判断的临界值；

\$n\$——声测线总数。

当式（10.4.6-3）成立时，波幅可判为异常。

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

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

10.4.9 当采用斜率法的声时-深度曲线上相邻两点的斜率与声时差的乘积 PSD 值作为辅助异常声测线判据时，PSD 值应按下列公式计算：

$$PSD(i) = \frac{[t_{ci} - t_{ci-1}]^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (10.4.9)$$

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

\$t_{ci}\$——第 \$i\$ 声测线声时（\$\mu s\$）；

\$t_{ci-1}\$——第 \$i-1\$ 声测线声时（\$\mu s\$）；

\$z_i\$——第 \$i\$ 声测线深度（m）；

\$z_{i-1}\$——第 \$i-1\$ 声测线深度（m）。

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。

10.4.10 桩身缺陷的空间分布范围可根据以下情况判定：

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

10.4.11 桩身完整性类别应结合桩身缺陷处声测线的声学特征、缺陷的空间分布范围按本规范表 3.5.1 的规定和表 10.4.11 的特征进行综合判定。

表 10.4.11 桩身完整性判定表

类别	特征
I	所有声测线声学参数无异常,接收波形正常; 存在声学参数轻微异常、波形轻微畸变的异常声测线,异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布,且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的一半
II	存在声学参数轻微异常、波形轻微畸变的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,或在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的一半; 存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布,且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的一半
III	存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,但在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的一半; 存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布,但在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的一半; 存在声学参数严重异常、波形严重畸变、或声速低于低限值的异常声测线,异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布,且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的一半
IV	存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,且在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的一半; 存在声学参数严重异常、波形严重畸变、或声速低于低限值的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,或在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的一半
注: 1 完整性类别由IV类往I类依次判定。 2 对于只有一个检测剖面的受检桩,桩身完整性判定应按该检测剖面代表桩全部横截面的情况对待。	

10.4.12 检测报告除应包含第 3.5.3 条的内容外,还应包括:

- 1 受检桩的截面尺寸、材料强度、配筋情况;
- 2 声测管的编号及排列图及各检测剖面编号;
- 3 每个检测剖面的声时(声速)深度曲线、波幅深度曲线,并绘制相应判据的临界值所对应的标志线;
- 4 当采用主频判据、PSD 判据,能量判据进行辅助分析判断时,应绘制相应的参数沿深度变化的曲线图;
- 5 各检测剖面的实测波列图;

- 6 有关加密测、交叉斜测，扇形扫描的情况说明；
- 7 当对管距进行修正时，应说明进行管距修正的范围及方法。

11 钻芯法

11.1 一般规定

11.1.1 本方法适用于检测混凝土灌注桩的桩长、桩底沉渣厚度和桩身完整性、推定桩身混凝土抗压强度，判定或鉴别桩端持力层岩土性状。

11.2 设 备

11.2.1 钻取芯样宜采用液压操纵的高速钻机，并配置适宜的水泵、孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器和可捞取松软渣样的钻具。

11.2.2 钻芯机应采用单动双管钻具，严禁使用单动单管钻具。

11.2.3 钻头应根据混凝土设计强度等级选用合适粒度、浓度、胎体硬度的金刚石钻头，钻头胎体不得有肉眼可见的裂纹，缺边，少角，倾斜及喇叭口变形，钻头胎体对钢体的同心度偏差不大于0.3mm，钻头的径向跳动不大于1.5mm。

11.2.4 切芯机应具有水冷却系统和牢固夹紧芯样的装置，并有防尘控噪措施；配套使用的人造金刚石锯片应有足够的刚度。

11.2.5 磨平机应具有水冷却系统和牢固夹紧芯样的装置，磨轮与芯样轴线应垂直，保证磨平后芯样端面与芯样轴线垂直。

11.2.6 补平仪应保证修补后芯样尺寸、平整度，垂直度达到规范对芯样抗压强度的检验要求。

11.2.7 用于检测芯样抗压强度的压力试验机应符合GB/T50081的要求。

11.2.8 用于对钻芯孔回灌注浆的注浆泵压力应不低于6.0MPa。

11.3 现场检测

11.3.1 每根受检桩的钻芯孔数和钻孔位置应符合下列规定：

1 桩径小于1.2m的桩钻1孔，桩径为（1.2~1.6）m的桩钻2孔，桩径为（1.6~2.0）m的桩钻3孔；桩径大于2.0m和异型桩长轴大于2.0m应适当增加钻孔数量，宜每增加0.5m增加钻孔1个；

2 当钻芯孔为一个时,宜在距桩中心(10~15)cm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(0.15~0.25) D 内均匀对称布置;

3 对桩端持力层的钻探,每根受检桩不应少于1孔,且钻探深度应满足设计要求。

11.3.2 当选择钻芯法对桩长、桩底沉渣、桩端持力层进行验证检测时,受检桩的钻芯孔数可为1孔。

11.3.3 钻机设备安装必须周正、稳固、底座水平。应确保钻机在钻芯过程中不发生倾斜、移位,钻芯孔垂直度偏差 $\leq 0.5\%$ 。

11.3.4 每回次进尺宜控制在1.5m内;当钻至桩底时,宜采取适宜的方法和工艺钻取沉渣并测定沉渣厚度,宜采用适宜的方法对桩端持力层岩土性状进行鉴别。

11.3.5 钻取的芯样应按回次顺序放进芯样箱中;钻机操作人员应按本规范附录F附表F.0.1-1的格式及时记录钻进情况和钻进异常情况,对芯样质量进行初步描述;检测人员应按本规范附录F附表F.0.1-2的格式对芯样混凝土、桩底沉渣以及桩端持力层详细编录。

11.3.6 钻芯结束后,应对芯样和钻探标示牌的全貌进行拍照。

11.3.7 当单桩质量评价满足设计要求时,应从钻芯孔孔底往上用水泥浆回灌封闭;当单桩质量评价不满足设计要求时,应封存钻芯孔,留待进一步检测与处理。

11.4 芯样试件截取与加工

11.4.1 截取混凝土抗压芯样试件应符合下列规定:

1 当桩长为(10~30)m时,每孔截取3组芯样;当桩长小于10m时,每孔可截取2组芯样,当桩长大于30m时,每孔截取不少于4组芯样;

2 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;

3 缺陷位置能取样时,应截取1组芯样进行混凝土抗压强度试验;

4 如果同一基桩的钻芯孔数大于1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1组芯样进行混凝土抗压强度试验;

5 当钻芯孔与桩体偏离时,芯样截取按钻芯孔偏离出桩体位置至桩顶距离按本条第1款。

11.4.2 当桩端持力层为中、微风化岩层且岩芯可制作成试件时,应在接近桩底部

位 1m 内截取岩石芯样；遇分层岩性时宜在各层取样。岩石芯样加工和测量应按本规范附录 H 执行。

11.4.3 每组钻取的混凝土芯样应制作成 3 个抗压试件。混凝土芯样试件应按附录 H 进行加工和测量。

11.5 芯样试件抗压强度试验

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

11.5.2 混凝土芯样试件抗压强度应按下列公式计算：

$$f_{\text{cor}} = \zeta \frac{4P}{\pi d^2} \quad (11.5.2)$$

式中： f_{cor} ——混凝土芯样试件抗压强度（MPa）；

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）；

ζ ——混凝土芯样试件抗压强度折算系数，按表 11.5.2 取值。

表 11.5.2 不同高径比芯样混凝土抗压强度换算系数

高径比	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05
芯样直径 70mm	0.683	0.710	0.740	0.772	0.807	0.845	0.887	0.934	1.000	1.043
芯样直径 100mm	0.718	0.744	0.771	0.801	0.833	0.868	0.906	0.948	1.000	1.043

11.5.3 桩底岩石单轴饱和抗压强度试验、岩石单轴饱和抗压强度标准值的确定应按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行。

11.6 检测数据的分析与判定

11.6.1 每根受检桩混凝土芯样试件抗压强度的确定应符合下列规定：

- 1 取一组 3 块试件强度值的平均值为该组混凝土芯样试件抗压强度检测值；
- 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检测值时，取其平均值为该桩该深度处混凝土芯样试件抗压强度检测值；
- 3 同一受检桩不同深度位置的混凝土芯样试件抗压强度检测值中的最小值为该桩混凝土芯样试件抗压强度检测值。

11.6.2 桩端持力层性状应根据持力层芯样特征、结合岩石芯样单轴抗压强度检测

值、动力触探或标准贯入试验结果进行综合判定或鉴别。

11.6.3 桩身完整性类别应结合钻芯孔数、现场混凝土芯样特征,按本规范表 3.5.1 的规定和表 11.6.3 的特征进行综合判定。

当混凝土出现分层现象时,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不能制作成芯样试件的,应判为Ⅳ类。

多于三个钻芯孔的基桩桩身完整性可参照本规范表 11.6.3 的三孔特征判定。

表 11.6.3 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,芯样侧面光滑、骨料分布均匀,芯样呈长柱状、断口吻合		
	芯样侧面表面仅见少量气孔	局部芯样侧面表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽,但在另一孔同一深度部位的芯样中未出现。	局部芯样侧面表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽,但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现。
II	混凝土芯样连续、完整、胶结较好,芯样侧面较光滑、骨料分布基本均匀,芯样呈柱状、断口基本吻合。有下列情况之一:		
	1 局部芯样侧面表面有蜂窝麻面、沟槽或较多气孔; 2 芯样侧面表面蜂窝麻面严重、沟槽连续或局部芯样骨料分布极不均匀。	1 芯样侧面表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,但在两孔同一深度部位的芯样中未同时出现; 2 芯样侧面表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,且在另一孔同一深度部位的芯样中同时出现。 3 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm,且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类。	1 芯样侧面表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现; 2 芯样侧面表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,且在任两孔或三孔同一深度部位的芯样中同时出现; 3 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm,且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类。
III	大部分混凝土芯样胶结较好,无松散、夹泥现象。有下列情况之一:		
	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状; 2 局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状; 2 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 20cm,且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类。	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状; 2 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 30cm,且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类。 3 任一孔局部混凝土芯样松散段长度不大于 10cm,且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类。

IV	有下列情况之一：		
	1 因混凝土胶结质量差而难以钻进；	1 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进；	1 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进；
	2 混凝土芯样任一段松散或夹泥；	2 混凝土芯样任一段松散或夹泥；	2 混凝土芯样任一段松散或夹泥；
	3 局部混凝土芯样破碎长度大于 10cm	3 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 20cm；	3 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 30cm；
		4 两孔同一深度部位的混凝土芯样破碎	4 其中两孔在同一深度部位的混凝土芯样破碎、松散或夹泥

注：若相邻缺陷底部位置与顶部位置高差小于 30cm，可认定两缺陷处于同一深度部位。

11.6.4 桩身质量由桩身完整性和芯样抗压强度来综合判定，应单根受检桩进行。

当出现下列情况之一时，应判定该受检桩不合格：

- 1 混凝土芯样试件抗压强度检测值小于混凝土设计强度等级；
- 2 桩长、桩底沉渣厚度不满足设计或规范要求；
- 3 桩底持力层岩土性状（强度）或厚度不满足设计或规范要求。

11.6.5 检测报告除应包括本规范第 3.5.3 条内容外，还应包括下列内容：

- 1 钻芯设备情况；
- 2 检测桩数、钻孔数量、开孔相对位置，架空高度、混凝土芯进尺、持力层进尺、总进尺，混凝土试件组数、岩石试件个数、圆锥动力触探或标准贯入试验结果；
- 3 按本规范附录 F 附表 F.0.1-3 的格式编制每孔的柱状图；
- 4 芯样单轴抗压强度试验结果；
- 5 芯样彩色照片；
- 6 异常情况说明。

附录 A 桩身内力测试

A.0.1 桩身内力测试适用于桩身横截面尺寸基本恒定或已知的桩。

A.0.2 桩身内力测试可根据测试目的、试验桩型及施工工艺选用电阻应变式传感器、振弦式传感器、滑动测微计或光纤式应变传感器。

A.0.3 传感器测量断面应设置在两种不同性质土层的界面处，且距桩顶和桩底的距离不宜小于 1 倍桩径。在地面处（或以上）应设置一个测量断面作为传感器标定断面。传感器标定断面处应对称设置 4 个传感器，其他测量断面处可对称埋设 2~4 个传感器，当桩径较大或试验要求较高时取高值。

A.0.4 采用滑动测微计时，可在桩身内通长埋设 1 根以上测管，测管内每隔 1m 设测标（测量断面）一个。

A.0.5 应变传感器安装方式可根据不同桩型分别选用：

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

2 混凝土桩可采用焊接或绑焊工艺将传感器固定在钢筋笼上，对采用蒸汽养护或高压蒸养的混凝土预制桩，应选用耐高温的电阻应变计、粘贴剂和导线。

A.0.6 电阻应变式传感器及其连接电缆应有可靠的防潮绝缘防护措施；正式测试前，传感器及电缆的系统绝缘电阻不得低于 200MΩ。

A.0.7 应变测量所用的仪器应具有多点自动测量功能，仪器的分辨力应优于或等于 $1\mu\epsilon$ 。

A.0.8 弦式钢筋计应按主筋直径大小选择。通过与之匹配的频率仪进行测量，频率仪的分辨力应优于或等于 1Hz，仪器的可测频率范围应大于桩在最大加载时的频率的 1.2 倍。使用前应对钢筋计逐个标定，得出压力（拉力）与频率之间的关系。

A.0.9 带有接长杆弦式钢筋计可焊接在主筋上；不宜采用螺纹连接。

A.0.10 滑动测微计测管的埋设应确保测标同桩身位移协调一致，并保持测标清洁，可视以下情况采用不同方法安装测管：

- 1 对钢管桩可将测标牢靠焊接在桩壁内侧；
- 2 对非高温养护预制桩可将测管预埋在预制桩中；管桩可在沉桩后将测管放入中心孔中，用含膨润土水泥浆充填测管与桩壁间的空隙；
- 3 对灌注桩，在浇筑混凝土前将测管绑扎在主筋上，并防止钢筋笼过度扭曲。

A.0.11 滑动测微计测试前后，应进行仪器标定，获得仪器零点和标定系数。

A.0.12 当桩身应变与桩身位移需要同时测量时，桩身位移测试应与桩身应变测试同步。

A.0.13 测试数据整理应符合下列规定：

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

$$\text{采用半桥测量时：} \quad \varepsilon = \varepsilon' \cdot \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (\text{A.0.13-1})$$

$$\text{采用全桥测量时：} \quad \varepsilon = \varepsilon' \cdot \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \quad (\text{A.0.13-2})$$

式中： ε ——修正后的应变值；

ε' ——修正前的应变值；

r ——导线电阻（ Ω ）；

R ——应变计电阻（ Ω ）。

2 采用弦式钢筋计测量时，将钢筋计实测频率通过率定系数换算成力，再计算成与钢筋计断面处的混凝土应变相等的钢筋应变值。

3 采用滑动测微计测量时，应按下列公式计算应变：

$$e = (e' - z_0) \cdot K \quad (\text{A.0.13-3})$$

$$\varepsilon = e - e_0 \quad (\text{A.0.13-4})$$

式中： e ——仪器读数修正值；

e' ——仪器读数；

z_0 ——仪器零点；

K ——率定系数；

ε ——应变值；

e_0 ——初始测试仪器读数修正值。

4 在数据整理过程中，应将异常测点删除，求出同一断面有效测点的应变平均值，并按下式计算该断面处桩身轴力：

$$Q_i = \bar{\varepsilon}_i \cdot E_i \cdot A_i \quad (\text{A.0.13-5})$$

式中： Q_i ——桩身第 i 断面处轴力（kN）；

$\bar{\varepsilon}_i$ ——第 i 断面处应变平均值，长期监测时应消除桩身徐变影响；

E_i ——第 i 断面处桩身材料弹性模量 (kPa)；当混凝土桩桩身测量断面与标定断面两者的材质、配筋一致时，应按标定断面处的应力与应变的比值确定；

A_i ——第 i 断面处桩身截面面积 (m²)。

5 按每级试验荷载下桩身不同断面处的轴力值制成表格，并绘制轴力分布图。再由桩顶极限荷载下对应的各断面轴力值计算桩侧土的分层极限侧阻力和极限端阻力：

$$q_{si} = \frac{Q_i - Q_{i+1}}{u \cdot l_i} \quad (\text{A.0.13-6})$$

$$q_p = \frac{Q_n}{A_0} \quad (\text{A.0.13-7})$$

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

q_p ——桩的端阻力 (kPa)；

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

u ——桩身周长 (m)；

l_i ——第 i 断面与第 $i+1$ 断面之间的桩长 (m)；

Q_n ——桩端的轴力 (kN)；

A_0 ——桩端面积 (m²)。

6 桩身第 i 断面处的钢筋应力可按下式计算：

$$\sigma_{si} = E_s \cdot \varepsilon_{si} \quad (\text{A.0.13-8})$$

式中： σ_{si} ——桩身第 i 断面处的钢筋应力 (kPa)；

E_s ——钢筋弹性模量 (kPa)；

ε_{si} ——桩身第 i 断面处的钢筋应变。

A.0.14 位移杆应具有一定的刚度，宜采用内外管形式：外管固定在桩身，内管下端固定在需测试断面，顶端高出外管 100mm~200mm，并能与测试断面同步位移。

A.0.15 测量位移杆位移的检测仪器应符合本规范第 4.2.4 条的规定。数据的测读应与桩顶位移测量同步。

附录 B 混凝土桩桩头处理

B.0.1 混凝土灌注桩必须先凿掉桩顶的浮浆层。

B.0.2 桩头顶面应水平、平整，桩头中轴线与桩身中轴线应重合。

B.0.3 桩头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。距桩顶 400mm 高度范围内，宜用厚度为 3~5mm 的钢板围裹，以下 1 倍桩径高度范围内设置箍筋，间距不宜大于 100mm。

B.0.4 重新制作受检桩桩头时，应按 B.0.3 的规定制作。

B.0.5 不需重新制作受检桩桩头时，桩顶混凝土应凿至坚硬混凝土，符合 B.0.2 与 B.0.3 的要求。对于桩径 600mm 及以下的桩可用直径 6.5mm 左右的钢筋在桩顶部缠裹拧紧，在 1 倍桩径高度范围内以间距 60mm 一圈的方式进行加固。

B.0.6 高应变法检测的桩头截面积应与原桩身截面积基本相同。

B.0.7 当检测桩头强度及截面尺寸均满足设计要求时，为增加桩头的抗冲击能力，可在桩顶下 1 倍桩径高度范围内围裹 5mm 厚钢板，并在桩身与围裹钢板之间填充高强灌浆料的方式对桩头进行加固。

附录 C 静载试验记录表

C.0.1 单桩竖向抗压、抗拔静载试验的现场检测数据宜按附表 C.0.1 的格式记录。

C.0.2 单桩自平衡静载试验现场检测数据宜按附表 C.0.2 的格式记录

C.0.3 单桩水平静载试验的现场检测数据宜按附表 C.0.3 的格式记录。

附表 C.0.1 单桩竖向抗压抗拔静载试验记录表

工程名称						桩号		日期		
加载级	油压 (MPa)	荷载 (kN)	测读 时间	位移计（百分表）读数				本级位 移 (mm)	累计位 移 (mm)	备 注
				1号	2号	3号	4号			

检测单位:

校核:

记录:

附表 C.0.2 单桩自平衡静载试验记录表

荷载 (kN)	观测时间 日/月/时 分	间隔时间 (min)	向上位移(mm)				向下位移(mm)			
			表1	表2	平均	累计	表1	表2	平均	累计

检测单位:

校核:

记录:

附表 C.0.3 单桩水平静载试验记录表

工程名称						桩号				日期				上下表距			
油压 (MP a)	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								

检测单位:

校核:

记录:

附录 D 高应变法传感器安装

D.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（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；

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 $0.5H_f$ 处（ H_f 为锤体高度）对称安装加速度传感器直接测量冲击力。

D.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 为受检桩的直径或边宽）；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 $0.4H_f$ 或 $1D$ ，并取两者高值。

D.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身表面，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 $\pm 1000\mu\epsilon$ ；

2) 钢桩应大于 $\pm 1500\mu\epsilon$ 。

D.0.4 当连续锤击监测时，应将传感器连接电缆有效固定。

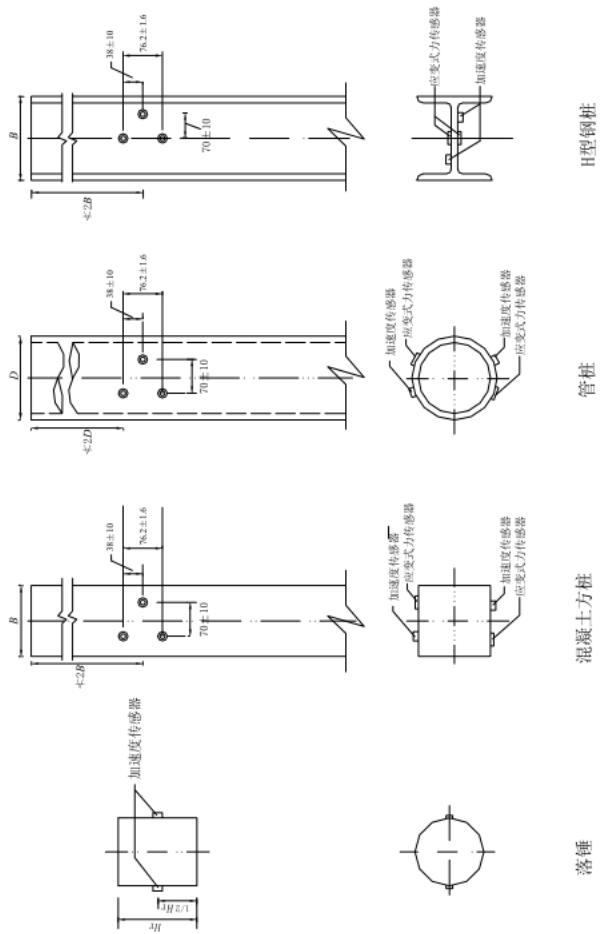


图 D.0.1 传感器安装示意图 (单位: mm)

附录 E 试打桩与打桩监控

E.1 试 打 桩

E.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基条件应具有代表性。
- 2 试打桩过程中，应按桩端进入的土层逐一进行测试；当持力层较厚时，应在同一土层中进行多次测试。

E.1.2 桩端持力层应根据试打桩的打桩阻力与贯入度的关系，结合场地岩土工程勘察报告综合判定。

E.1.3 采用试打桩预估桩的承载力应符合下列规定：

- 1 通过不少于 3 根试打桩复打试验确定桩的承载力恢复系数，复打至初打的休止时间应符合表 3.2.5 的规定；
- 2 利用初打结果预估的承载力值应小于或等于试打桩初打时测得的承载力与桩的承载力恢复系数的乘积。

E.2 桩身锤击应力监测

E.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。

E.2.2 为测得桩身锤击应力最大值，监测时宜符合下列规定：

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

E.2.3 最大桩身锤击拉应力可按下式计算：

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

式中 σ_{t} ——最大桩身锤击拉应力 (kPa);

附录 F 钻芯法检测记录表

F.0.1 钻芯法检测的现场操作记录和芯样编录应分别按附表 F.0.1-1、F.0.1-2 的格式记录；检测芯样综合柱状图应按附表 F.0.1-3 的格式记录和描述。

附表 F.0.1-1 钻芯法检测现场操作记录表

桩号		孔号			工程名称		
时间		钻进 (m)			芯样长度(m)	残留芯样	芯样初步描述及异常情况记录
自	至	自	至	计			
检测日期					机长：	记录：	页次：

附表 F.0.1-2 钻芯法检测芯样编录表

工程名称				日期		
桩号/钻芯孔号			桩径	混凝土设计强度等级		
项 目	分段 (层) 深度 (m)	芯样描述			取样编号 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）	

检测单位：

记录员：

检测人员：

附表 F.0.1-3 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	芯样强度 序号—— 深度 (m)	备注
				□ □ □			

编制：

校核：

注：□代表芯样试件取样位置。

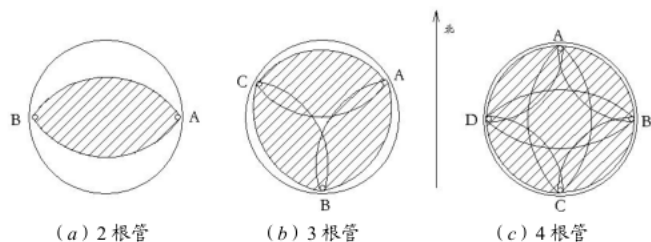
附录 G 声测管埋设及编组

G.0.1 声测管埋设应符合下列规定：

- 1 声测管内径应大于换能器外径；
- 2 声测管应有足够的径向刚度，声测管材料的温度系数应与混凝土接近；
- 3 声测管应下端封闭、上端加盖、管内无异物；声测管连接处应光滑过渡，管口高出混凝土顶面 100mm 以上；
- 4 浇灌混凝土前应将声测管有效固定。

G.0.2 声测管应沿钢筋笼内侧呈对称形状布置，并依次编号。声测管埋设数量应符合下列规定：

- 1 桩径小于或等于 800mm 时不少于 2 根管；
- 2 桩径大于 800mm 且小于或等于 1600mm 时不少于 3 根管；
- 3 桩径大于 1600mm 时不少于 4 根管；
- 4 桩径大于 2500mm 时宜增加预埋声测管数量。



注：检测剖面编组分别为：2 根管时，AB 剖面；3 根管时，1：AB 剖面，2：BC 剖面，3：CA 剖面；4 根管时，1：AB 剖面，2：BC 剖面，3：CD 剖面，4：DA 剖面，5：AC 剖面，6：BD 剖面

附录 H 芯样试件加工和测量

H.0.1 芯样加工时应将芯样固定，锯切平面垂直于芯样轴线。锯切过程中应淋水冷却金刚石圆锯片。

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：在相互垂直的两个位置上，用游标卡尺测量芯样表面直径偏小的部位的直径，取其两次测量的算术平均值，精确至 0.5mm。
- 2 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、混凝土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 混凝土芯样试件高度小于 $0.95d$ 或大于 $1.05d$ 时（ d 为芯样试件平均直径）；
- 2 岩石芯样试件高度小于 $2.0d$ 或大于 $2.5d$ 时；
- 3 沿试件高度任一直径与平均直径相差达 2mm 以上时；
- 4 试件端面的不平整度在 100mm 长度内超过 0.1mm 时；
- 5 试件端面与轴线的不垂直度超过 2° 时；
- 6 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：

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：

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：

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，采用“可”。

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

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 3 《建筑基桩检测技术规范》JGJ106
- 4 《普通混凝土力学性能试验方法》GB/T 50081
- 5 《基桩动测仪》JG/T 3055

山东省工程建设行业标准

建筑桩基检测技术规范

Technical Code for Testing of Building Foundation Piles

DB37/T 5044—2015

住房和城乡建设部备案号：**J10232—2016**

条文说明

目次

1 总则.....	70
3 基本规定.....	71
3.1 一般规定.....	71
3.2 检测工作程序.....	72
3.3 检测方法选择和检测数量.....	73
3.4 验证与扩大检测.....	75
3.5 检测结果评价和检测报告.....	76
4 单桩竖向抗压静载试验.....	77
4.1 一般规定.....	77
4.2 仪器设备及其安装.....	77
4.3 现场检测.....	79
4.4 检测数据分析与判定.....	80
5 单桩竖向抗拔静载试验.....	82
5.1 一般规定.....	82
5.2 设备仪器及其安装.....	82
5.3 现场检测.....	83
5.4 检测数据的分析与判定.....	84
6 单桩自平衡静载试验.....	85
6.1 一般规定.....	85
6.2 设备仪器及其安装.....	86
6.3 现场检测.....	87
6.4 检测数据的分析与判定.....	88
7 单桩水平静载试验.....	89
7.1 一般规定.....	89
7.2 设备仪器及其安装.....	89
7.3 现场检测.....	90
7.4 检测数据分析与判定.....	90
8 高应变法.....	92
8.1 一般规定.....	92

8.2	仪器设备.....	92
8.3	现场检测.....	93
8.4	检测数据分析与判定.....	94
9	低应变法.....	97
9.1	一般规定.....	97
9.2	仪器设备.....	97
9.3	现场检测.....	98
9.4	检测数据的分析判定.....	99
10	声波透射法.....	101
10.1	一般规定.....	101
10.2	仪器设备.....	101
10.3	现场检测.....	101
10.4	检测数据分析与判定.....	102
11	钻芯法.....	105
11.1	一般规定.....	105
11.2	设备.....	105
11.3	现场检测.....	106
11.4	芯样试件截取与加工.....	108
11.5	芯样试件抗压强度试验.....	111
11.6	检测数据的分析与判定.....	112

1 总 则

1.0.1 桩基础是我省建筑工程应用较为广泛的一种基础形式,其质量涉及到上部结构的安全。桩基工程质量除受岩土工程条件、基础与结构设计、桩土相互作用、施工工艺以及专业水平和经验等关联因素影响外,还具有施工隐蔽性高、容易产生质量隐患的特点。

2002 年版山东省桩基规范颁布实施以来十几年间,桩基检测技术不断发展,省住建厅相继颁布了山东省基桩竖向承载力快速检测技术规程、基桩承载力自平衡检测技术规程等数部建设工程标准。尤其是随着 2014 年新版行业标准建筑基桩检测技术规范的颁布实施,对基桩质量检测工作提出了新的要求。因此,在本省统一基桩检测方法,提高基桩检测工作的质量,为设计施工验收提供可靠依据,进而保证工程质量。

1.0.2 本规范适用于山东省境内建工行业建筑和市政桥梁桩基工程的试验与检测。具体分为施工前为设计提供依据的试验桩检测和施工后为验收提供依据的工程桩检测,主要检测参数为基桩的承载力和桩身质量(含桩身完整性)。评价是指按照本规范有关条款对单桩或分项工程基桩质量是否满足设计和专业施工技术规范的要求进行分析判断,并给出明确结论。

1.0.3 桩基工程的安全与单桩本身的质量直接相关,而地基条件、设计条件(桩的承载性状、桩的使用功能、桩型、基础和上部结构的型式等)和施工因素(成桩工艺、施工过程的质量控制、施工质量的均匀性、施工方法的可靠性等)不仅对单桩质量而且对整个桩基的正常使用均有影响。因此必须考虑勘察、设计、施工等因素。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 本条强调检测方法合理选择搭配，目的是提高检测结果的可靠性和检测过程的可操作性。

工程桩承载力验收检测方法，应根据基桩实际受力状态和设计要求合理选择。以竖向承压为主的基桩通常采用慢速维持荷载法和快速维持荷载法，对符合一定条件和方法适用范围工程，考虑到高应变法快速、经济和检测桩数覆盖面较大的特点，也可选用高应变法作为补充检测。例如条件相同、预制桩量大的桩基工程中，一部分桩可选用静载法检测，而另一部分可用高应变法检测，前者应作为后者的验证对比资料。对不具备条件进行静载试验的端承型大直径灌注桩，可采用钻芯法检查桩端持力层情况，也可采用深层载荷板试验进行核验。

桩身完整性检测方法有低应变法、声波透射法、高应变法和钻芯法，除中小直径灌注桩外，大直径灌注桩一般同时选用两种或多种的方法检测，使各种方法能相互补充印证，优势互补。另外，对设计等级高、地基条件复杂、施工质量变异性大的桩基，或低应变完整性判定可能有技术困难时，提倡采用直接法（静载试验、钻芯和开挖，管桩可采用孔内摄像）进行验证。

3.1.2 施工前进行试验桩检测并确定单桩极限承载力，目的是为设计单位选定桩型和桩端持力层、掌握桩侧桩端阻力分布并确定基桩承载力提供依据，同时也为施工单位在新的地基条件下设定并调整施工工艺参数进行必要的验证。考虑到桩基础选型、成桩工艺选择与地基条件、桩型和工法的成熟性密切相关，为在推广应用新桩型或新工艺过程中不断积累经验，使其能达到预期的质量和效益目标，规定本地区采用新桩型或新工艺也应在施工前进行试桩，建筑桩基设计等级的划分，按《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 执行。

3.1.3 工程桩的承载力和桩身质量（含桩身完整性）是《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 桩基验收中的主控项目，也是《建筑地基基础设计规范》

GB 50007 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 以强制性条文形式规定的必检项目。所以，桩基质量检测时，承载力和完整性两项内容密不可分，往往是通过低应变完整性普查找出桩基施工质量问题并得到对整体施工质量的大致估计，而工程桩承载力是否满足设计要求则需通过有代表性的单桩承载力检验来实现。

3.1.4 本条强调了施工过程中的检测，以便加强施工过程的质量控制，做到信息化施工。如：冲钻孔灌注桩施工中提倡进行孔径、孔斜、孔深、沉渣厚度和桩端岩性鉴别等项目的检验；对于打入式预制桩，提倡沉桩过程中的高应变监测等。

3.2 检测工作程序

3.2.1 在实际执行检测程序中，由于不可预知的原因，如委托要求的变化、现场调查情况与委托方介绍的不符，或在现场检测尚未全部完成就已发现质量问题而需要进一步排查，都可能使原检测方案中的检测数量、受检桩桩位、检测方法发生变化。检测方案并非一成不变，可根据实际情况动态调整。

3.2.2 为了正确地对桩基质量进行检测和评价，提高桩基检测工作的质量，做到有的放矢，应尽可能详细了解和搜集有关技术资料，并填写受检桩设计施工概况表。另外，有时委托方的介绍和提出的要求是笼统的、非技术性的，也需要通过调查来进一步明确委托方的具体要求和现场实施的可行性；有些情况下还需要检测技术人员到现场了解和搜集。

3.2.3 本条提出的检测方案内容为一般情况下包含的内容，某些情况下还需要包括桩头加固、处理方案以及场地开挖、道路、供电、照明等要求。有时检测方案还需要与委托方或设计方共同研究制定。任何检测活动都应该以满足安全为前提，所以检测方案里边应该包含安全生产措施。

3.2.4 检测所用仪器必须进行定期检定或校准，以保证桩基检测数据的准确可靠性和可追溯性。同时还应加强对测试仪器、配套设备的期间核查；发现问题后应重新检定或校准。

3.2.5 检测桩基质量时，应在接近其实际工作状态下进行，因此对桩身强度及其在各类土中的休止期做了具体规定。

桩的承载力包括两层涵义，即桩身结构承载力和支撑桩结构的地基岩土承载力，桩的破坏可能是桩身结构破坏或支撑桩结构的地基岩土承载力达到了极限状态，多数情况下桩的承载力受后者制约。如果混凝土强度过低，桩可能产生桩身结构破坏而

地基土承载力尚未完全发挥，桩身产生的压缩量较大，检测结果不能真正反映设计条件下桩的承载力与桩的变形情况。因此，对于承载力检测，应同时满足地基土休止时间和桩身混凝土龄期（或设计强度）双重规定。

3.2.6 施工后验收检测的最终目的是查明隐患、确保安全。为了在有限的检测数量中更能充分暴露桩基存在的质量问题，宜优先检测本条第 1~5 款所列的桩，其次再考虑随机性。

3.2.7 相对于静载试验而言，本规范规定的完整性检测（除钻芯法外）方法作为普查手段，具有速度快、费用较低和检测数量大的特点，容易发现桩基的整体施工质量问题，至少能为有针对性的选择静载试验提供依据。所以，完整性检测安排在静载试验之前是合理的。当基础埋深较大时，基坑开挖产生土体侧移将桩推断或机械开挖将桩碰断的现象时有发生，此时完整性检测应等到开挖至基底标高后进行。

竖向抗压静载试验中，有时会因桩身缺陷、桩身截面突变处应力集中、或桩身强度不足造成桩身结构破坏，有时也因锚桩质量问题而导致试桩失败或中途停顿，故建议在试桩前对试验桩和锚桩进行完整性检测，为分析桩身结构破坏的原因提供证据和确定锚桩能否正常使用。

3.2.8 测试数据异常通常是因测试人员误操作、仪器设备故障及现场准备不足造成的。用不正确的测试数据进行分析得出的结果必然不正确。对此，应及时分析原因，组织重新检测。

3.2.9 操作环境要求是按测量仪器设备对使用温湿度、电压波动、电磁干扰、振动冲击等现场环境条件的适应性规定的。

3.3 检测方法选择和检测数量

3.3.1 本条所说的“基桩受力状态”是指桩的承压、抗拔和水平三种受力状态。“地基条件、桩长相近，桩端持力层、桩型、桩径、沉桩工艺相同”即为本规范所指的“同一条件”。对于大型工程，“同一条件”可能包含若干个桩基分项（子分项）工程。同一桩基分项工程可能由两个或两个以上“同一条件”的桩组成，如直径 400mm 和 500mm 的两种规格的管桩应区别对待。

本条规定同一条件下的试桩数量不得少于一组 3 根，是保障合理评价试桩结果的低限要求。若实际中由于某些原因不足以设计提供可靠依据或设计另有要求时，可根据实际情况增加试桩数量。另外，如果施工时桩参数发生了较大变动或施工工艺发生了变化，应重新试桩。

单桩自平衡静载试验,由于需要在施工过程中预埋荷载箱,所以其承载力的检测不宜作为验收之用,所以列入本条中突出对设计提供依据之用。

3.3.2 本条要求进行打桩过程监控可减少桩的破损率和选择合理的入土深度,进而提高沉桩效率。

3.3.3 桩身完整性检测,应在保证准确全面判定的原则上,首选适用、快速、经济的检测方法。当一种方法不能全面评判基桩完整性时,应采用两种或多种检测方法组合进行检测。例如:(1)对多节预制桩,接头质量缺陷是较常见的问题。在无可靠验证对比资料和经验时,低应变法对不同形式的接头质量判定尺度较难掌握,所以对接头质量有怀疑时,宜采用低应变法与高应变法或孔内摄像相结合的方式检测。(2)中小直径灌注桩常采用低应变法,但大直径灌注桩一般设计承载力高,桩身质量是控制承载力的主要因素;随着桩径的增大和桩长超长,尺寸效应和有效检测深度对低应变法的影响加剧,而钻芯法、声透法恰好适合于大直径桩的检测(对于嵌岩桩,采用钻芯法可同时钻取桩端持力层岩芯和检测沉渣厚度)。同时,对大直径桩采用联合检测方式,多种方法并举,可以实现低应变法与钻芯法、声波透射法之间的相互补充或验证,优势互补,提高完整性检测的可靠性。

3.3.4 桩基工程属于一个单位工程的分部(子分部)工程中的分项工程,一般以分项工程单独验收。所以本规范将承载力验收检测的工程桩数量限定在分项工程内。本条同时规定了在何种条件下工程桩应进行单桩竖向抗压静载试验及检测数量下限。

采用挤土沉桩工艺时,由于土体的侧挤和隆起,质量问题(桩被挤断、拉断、上浮等)时有发生,尤其是大面积密集群桩施工,加上施打顺序不合理或打桩速率过快等不利因素,常引发严重的质量事故。有时施工前虽做过静载试验并以此作为设计依据,但因前期施工的试桩数量毕竟有限,挤土效应并未充分显现,施工后的单桩承载力与施工前的试桩结果相差甚远,对此应给予足够的重视。

3.3.5 预制桩和满足高应变法适用检测范围的灌注桩,可采用高应变法。高应变法作为一种以检测承载力为主的试验方法,在我省的应用已有十几年的历史,该技术的应用已基本成熟,特别适用于对工程桩承载力的检测,但应注意其适用范围不要盲目扩大,尚不能完全取代静载试验。该方法的可靠性的提高,在很大程度上取决于检测人员的技术水平和经验,绝非仅通过一定量的静动对比就能解决。

3.3.6 为了全面了解工程桩的承载力情况,使验收检测达到既安全又经济的目的,本条提出可采用高应变法作为静载试验的“补充”,但无完全代替静载试验之意。如

场地地基条件复杂、桩施工变异大，但按第 3.3.4 条规定的静载试桩数量很少，存在抽样数量不足代表性差的问题，此时在满足第 3.3.4 条规定的静载试桩数量的基础上，只能是额外增加高应变检测。

3.3.8 端承型大直径灌注桩任何一根桩承载力的失效，后果都不堪设想。由于试桩荷载大或场地限制，有时无法进行单桩竖向抗压承载力静载检测，即使单桩自平衡静载试验也无法实现。虽然本条所列方法如深层平板载荷试验、岩基载荷试验，终孔后混凝土灌注前的桩端持力层鉴别，成桩后的钻芯法沉渣厚度测定、桩端持力层钻芯鉴别（包括动力触探，标贯试验、岩芯试件抗压强度试验）等不应属于基桩检测的直接方法，补充上本条是为了检测方法的更加全面和完整。

3.4 验证与扩大检测

3.4.1~3.4.5 针对检测中出现的难于定论的情况，提出了验证检测原则。用准确可靠程度（或直观性）高的检测方法来复核准确可靠程度（或直观性）低的检测方法，称为验证检测。

应该指出：桩身完整性不符合要求和单桩承载力不满足设计要求是两个独立概念。完整性为Ⅰ类或Ⅱ类而承载力不满足设计要求显然存在结构安全隐患；竖向抗压承载力满足设计要求而完整性为Ⅲ类或Ⅳ类则可能存在安全和耐久性方面的隐患。如桩身出现水平整合型裂缝（灌注桩因挤土、开挖等原因也常出现）或断裂，低应变完整性为Ⅲ类或Ⅳ类，但高应变完整性可能为Ⅱ类，且竖向抗压承载力可能满足设计要求，但存在水平承载力和耐久性方面的隐患。

3.4.6 当需要验证运送至现场某批次混凝土强度、或对预留的试块强度和浇注后的混凝土强度有异议时，可按结构构件取芯的方式，验证评价桩身实体混凝土强度。注意本条提出的桩实体强度取芯验证与本规范第 11 章钻芯法有差别，前者只要按混凝土结构现场检测相关标准，在满足随机抽样的代表性和数量要求的条件下，可以给出具有保证率的检验批混凝土强度推定值；后者常因检测桩数少、缺乏代表性而仅对受检单桩的混凝土强度进行评价。

3.4.7~3.4.8 因初次抽样检测数量有限，当抽样检测中发现承载力不满足设计要求或完整性检测中Ⅲ、Ⅳ类桩比例较大时，应会同有关各方分析和判断桩基整体的质量情况，如果不能得出准确判断、为补强或设计变更方案提供可靠依据时，应扩大检测。扩大检测数量宜根据地基条件、桩基设计等级、桩型、施工质量变异性等因

素合理确定，并应得到建设工程有关各方的确认。

3.5 检测结果评价和检测报告

3.5.1 表 3.5.1 规定了桩身完整性类别划分标准，有利于对完整性检测结果的判定和采用。需要特别指出：分项工程施工质量验收时的检查项目很多，桩身完整性仅是主控检查项目之一，通常所有的检查项目都满足规定要求时才给出是否合格的结论，况且经设计复核或补强处理也会允许通过验收。

桩基整体施工质量问题的可由桩身完整性普查发现，如果不能就提供的完整性检测结果判断对桩承载力的影响程度，进而估计是否危及上部结构安全，那么在很大程度上就减少了桩身完整性检测的实际意义。桩的承载功能是通过桩身结构承载力实现的。完整性类别划分主要是根据缺陷程度，但这种划分不能机械地理解为不需考虑桩的设计条件和施工因素。综合判定能力对检测人员极为重要。

按表 3.5.1 和惯例，Ⅰ、Ⅱ类桩属于所谓“合格”桩，Ⅲ、Ⅳ类桩为“不合格”桩。对Ⅲ、Ⅳ类桩，工程上一般会采取措施进行处理，如对Ⅳ类桩的处理内容包括：补强、补桩、设计变更或由原设计单位复核是否可满足结构安全和使用功能要求；而对Ⅲ类桩，可能采用与处理Ⅳ类桩相同的方式，也可能采用其他更可靠的检测方法验证后再做决定。

3.5.2 工程基桩整体评价满足设计要求的必要条件应理解为：包括补强处理后复检在内的承载力和桩身质量应全部符合要求；而其充分条件是结合设计施工等因素，确定有限的抽检数量能具有代表性，能推断整体。若评价依据不充分，应增加抽检数量。检测单位在检测前应甲方、监理、施工方就抽检方案进行确认，以免其临时随意更改方案致使抽样缺乏代表性而影响检测结论。不满足评价的条件只能对单个桩确定是否满足设计要求而不能随意降低条件做出整体评价。

3.5.3 检测报告应根据所采用的检测方法和相应的检测内容出具检测结论。为使报告具有较强的可读性和内容完整，除要求报告用词规范、检测结论明确、必要的常规内容描述外，报告中还应包括检测原始记录信息或由其直接导出的信息，即检测报告应包含各受检桩的原始检测数据和曲线，并附有相关的计算分析数据和曲线。其它引用的资料诸如地基勘察资料和施工记录等都应该做为报告内容的组成部分出现，不能以对方没提供为借口而空缺。

4 单桩竖向抗压静载试验

4.1 一般规定

4.1.1 单桩抗压静载试验是检测基桩竖向抗压承载力最直观、最可靠的传统方法。快速维持荷载法检测除了加载实验步骤和终止加载条件与慢速法有异外，其它条款基本相同，所以本规范将快速维持荷载法统一纳入到本章中以使结构内容紧凑。本规范主要是以我国建筑工程中惯用的维持荷载法为主进行了技术规定。工程桩承载力验收检测除了可用慢速维持荷载法外，为节省时间提高效率，提倡使用快速维持荷载法。根据桩的使用环境、荷载条件及大量工程检测实践，在国内其他行业或国外，尚有循环荷载、等变形速率及特定荷载下长时间维持等方法。

4.1.2 通过在桩身埋设测试元件，并与桩的静载荷试验同步进行的桩身内力测试，是充分了解桩周土层侧阻力和桩底端阻力发挥特征的主要手段。

4.1.3 本条明确规定为设计提供依据的静载试验应加载至桩的承载极限状态甚至破坏，即试验应进行到能判定单桩极限承载力为止，以便为设计提供单桩承载力数据，更加经济的进行优化设计。对于以桩身强度控制承载力的端承型桩，当设计另有规定时，应按其规定进行试验。

4.1.4 采用快速维持荷载法对工程桩验收检测时，规定了加载量不应小于单桩承载力特征值的 2.2 倍，以保证足够的安全储备。

4.2 仪器设备及其安装

4.2.1 为防止加载偏心，单台千斤顶中心或多台千斤顶的合力中心应与反力装置的重心、桩横截面形心重合，并保证施力方向与桩顶面垂直。

4.2.2 对单桩极限承载力较小的摩擦桩可用地锚作反力；对岩面浅的嵌岩桩，可利用岩锚提供反力。

对于利用静力压桩机进行抗压静载试验的情况，由于压桩机支腿尺寸的限制，试验

场地狭小，如果压桩机支腿（视为压重平台支墩）、试桩、基准桩三者之间的距离不满足规范表 4.2.6 的规定，则不得使用压桩机作为反力装置进行静载试验。另外抱桩器液压系统在测桩过程中长时间工作不仅影响使用寿命，也会对检测数据造成不稳定的影响，所以，试验时不宜用抱桩器而用钢梁来实现反力的施加。

锚桩抗拔力由锚桩周围岩土的性质和桩身材料强度决定，抗拔力验算时应分别计算桩周围土体的抗拔承载力及桩身材料的抗拉承载力，结果取两者的小值。当工程桩作锚桩且设计对桩身有特殊要求时，应征得有关方同意后在实验过程中实时监控（监测上拔位移量或抗裂要求等）。

4.2.3 用荷重传感器测量荷载不需考虑千斤顶活塞摩擦对出力的影响，用油压表测量荷载则需通过率定换算千斤顶的出力。采用传感器测量荷重或油压，容易实现加卸荷与稳压自动化控制，且测量准确度较高。准确度等级一般是指仪器仪表测量值的最大允许误差。当油路工作压力较高时，有时出现油管爆裂、接头漏油、油泵加压不足造成千斤顶出力受限，压力表在超过其 $3/4$ 满量程时的示值误差增大。所以，应适当控制最大加荷时的油压，选用耐压高、工作压力大和量程大的油管、油泵和压力表。

4.2.4 对于大量程（50mm）百分表，计量检定规程规定：全程最大示值误差和回程误差应分别不超过 $40\mu\text{m}$ 和 $8\mu\text{m}$ ，相当于满量程最大允许测量误差不大于 $0.1\%\text{FS}$ 。基准桩应打入地面以下足够的深度，一般不小于 1m 。基准梁应一端固定，另一端简支，这是为减少温度变化引起的基准梁挠曲变形。在满足表 4.2.6 的规定条件下，基准梁不宜过长，并应采取有效遮挡措施，以减少温度变化和刮风下雨的影响，尤其在昼夜温差较大且白天有阳光照射时更应注意。

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

4.2.6 在受检桩加卸载过程中，荷载将通过锚桩（地锚）、压重平台支墩传至受检桩、基准桩周围地基土并使之变形，随着受检桩、锚桩和压重平台三者间相互距离缩小，土体变形对受检桩产生的附加应力和使基准桩产生变位的影响加剧。高层建筑物下的大直径桩试验荷载大、桩间净距小（最小中心距为 $3D$ ），往往受设备能力制约，采用锚桩法检测时，三者间的距离有时很难满足“不小于 $4D$ ”的要求，加长基准梁又难免气候环境影响。考虑到现场验收试验中的困难，且压重平台支墩桩下沉或锚桩上拔对基准桩、试桩的影响小于天然地基作为压重平台支墩对它们的影响，以及支墩下 2~3 倍宽影响范围内的地基进行加固后将减少对试桩和基准桩的影

响,故本规范中对部分间距的规定放宽为“不小于 3D”。因此,对群桩间距小于 4D 但大于等于 3D 时的试验现场,可尽量利用受检桩周边的工程桩作为压重平台的支墩或锚桩。

4.3 现场检测

4.3.1 施工前为设计提供依据的试验桩与工程桩只有在成桩工艺、桩型尺寸和施工质量控制标准完全一致的情况下,所出具的检测结论才有代表性。

4.3.2 为便于沉降测量仪表安装,试桩顶部宜高出试坑地面;为使试验桩受力条件与设计条件相同,试坑地面宜与承台底标高一致。对于工程桩验收检测,当桩身荷载水平较低时,允许采用水泥砂浆将桩顶抹平的简单桩头处理方法。

4.3.3 本条是对维持荷载法进行的原则性规定。

4.3.4 慢速维持荷载法是我国公认、且已沿用多年的标准试验方法,也是与桩基设计有关的行业或地方标准的设计参数规定值获取的最可信方法。

4.3.5 规定快速维持荷载法加载为每一小时一级,稳定标准为 0.1mm/20min 是采用了 1985 年 ISSMFE 推荐的试验方法。规范编制组在工程现场对检验桩在每级荷载施加后的对比试验中,采用快速维持荷载法沉降观测的读取时间确定为 10、20、30、40、60min,以后每隔 20min 测读一次,目的就是除满足判稳标准 0.1mm/20min 的时间间隔要求外,便于 30min 和 60min 的沉降值的比较。规范编制组对 26 组桩端嵌入基岩的检验桩试验统计比较,试验桩在加载后半小时和 1 小时沉降变化很小,变化幅度在 0~0.1mm 之间。因此,当桩端嵌入基岩时,为缩短试验时间,沉降观测时间缩短为每半小时一级是可行的,但考虑到现行规范的统一性,取消 30min 测读间隔,仍然要求持荷至少 1 小时。另外,在试验过程中,规范编制组还采用了在检验桩设计承载力特征值以前加载采取并级的方式,即为每级加载值取分级荷载的 2 倍,在采用此方案试验的 16 组检验桩中有 2 棵桩在设计特征值前已出现沉降急剧加大,沉降很难判稳的状况,所以在检验桩设计承载力特征值前采取盲目并级追求缩短试验时间的做法不科学而未被采纳。

快速维持荷载法由于每级荷载维持时间为 1h,各级荷载下的桩顶沉降相对慢速法确实要小一些,相对而言,这种差异是能接受的,因为如将慢速法的加荷速率与建筑物建造过程中的施工加载速率相比,显然,慢速法加荷速度已非常快了。资料表明:慢速法试桩得到的使用荷载对应的桩顶沉降与建筑物桩基在长期荷载作用

下的实际沉降相比，要小几倍到十几倍。

4.3.6 慢速维持荷载法每级荷载持载时间最少为 2h。对绝大多数桩基而言，为保证上部结构正常使用，控制桩基绝对沉降是第一位重要的，这也是地基基础按变形控制设计的基本原则。

当桩身存在水平整合型缝隙、桩端有沉渣或吊脚时，在较低竖向荷载时常出现本级荷载沉降超过上一级荷载对应沉降 5 倍的陡降，当缝隙闭合或桩端与硬持力层接触后，随着持载时间或荷载增加，变形梯度逐渐变缓；当桩身强度不足桩被压断时，也会出现陡降，但与前相反，随着沉降增加，荷载不能维持甚至大幅降低。所以，出现陡降后不宜立即卸荷，而应使桩下沉量超过 40mm 甚至 100mm，以利于判断造成陡降的原因。

非嵌岩的长（超长）桩和大直径（扩底）桩的 $Q-s$ 曲线一般呈缓变型，在桩顶沉降达到 40mm 时，桩端阻力一般不能充分发挥。前者由于长细比大，弹性压缩量大，桩顶沉降较大时，桩端位移还很小；后者虽桩端位移较大，但尚不足以使端阻力充分发挥。因此，放宽桩顶总沉降量控制标准是合理的。

采用锚桩试桩时，把锚桩是不是同时当工程桩用分成两种情况，分别对停止加载的条件作了规定，目的是保证试验的完整性而取得真实的数据。

4.4 检测数据分析与判定

4.4.1 除 $Q-s$ 、 $s-lgt$ 曲线外，还可绘制 $s-lgQ$ 曲线及其他分析曲线，同一工程的一批试桩曲线应按相同的沉降纵坐标比例绘制，满刻度沉降值不宜小于 40mm，当桩顶累计沉降量大于 40mm 时，可按总沉降量以 10mm 的整模数倍增加满刻度值，使结果直观、便于比较。

4.4.2 太沙基和 ISSMFE 指出：当沉降量达到桩径的 10% 时，才可能出现极限荷载；黏性土中端阻充分发挥所需的桩端位移为桩径的 4%~5%，而砂土中可能高到 15%。故本条第 4 款对缓变型 $Q-s$ 曲线，按 $s=0.05D$ 确定直径大于等于 800mm 桩的极限承载力大体上是保守的；且因 $D \geq 800\text{mm}$ 时定义为大直径桩，当 $D=800\text{mm}$ 时， $0.05D=40\text{mm}$ ，正好与中、小直径桩的取值标准衔接。

4.4.3 规范编制组在现场试验快慢对比试验组中选取了桩端在粘性土中 26 根，在砂土中 20 根，对比试验全部是在桩土条件相同的相邻桩上进行的。

分析结果见表 1

表 1 快速维持荷载法与慢速法极限承载力比较

桩端土类别	Q_u^f 比 Q_u^s 提高幅度
粘性土	0~10.2%
砂土	-1.7~9.8%

从表 1 中可以看出快速维持荷载法试验得出的极限承载力较慢速法基本上略高一些，其中桩端在粘性土中提高得要比桩端在砂土中提高得多。试验数据及分析表明，按检验桩的受力状况、土的性质分类更加科学，所以单桩竖向抗压极限承载力的确定对于摩擦型桩取试验值的 0.9 倍，对于端承型桩直接取试验值。

4.4.4 静载试验的桩数有限，而影响单桩承载力的因素复杂多变。为数有限的试验桩中常出现个别桩承载力过低或过高，若不是偶然原因造成，简单算术平均容易造成浪费或不安全。因此规定极差超过平均值的 30% 时，首先应分析、查明原因，结合工程实际综合确定。对桩数为 3 根或 3 根以下的柱下承台，或试桩数量仅为 2 根时，应取低值，以确保安全。对于仅通过少量试桩无法判明极差大的原因时，可增加试桩数量。

4.4.5 《建筑地基基础设计规范》规定的单桩竖向抗压承载力特征值是按单桩竖向抗压极限承载力除以安全系数 2 得到的。

4.4.6 本条规定了检测报告中应包含的一些内容，有利于委托方、设计及检测部门对报告的审查和分析。

5 单桩竖向抗拔静载试验

5.1 一般规定

5.1.1 单桩竖向抗拔静载试验是检测单桩竖向抗拔承载力最直观、可靠的方法。与本规范中抗压静载试验一样，抗拔桩试验也是采用了国内外惯用的维持荷载法，并规定应采用慢速维持荷载法。

5.1.3 当为设计提供依据时，应加载到能判别单桩抗拔极限承载力为止，或加载到桩身材料设计强度限值，这里所说的限值对钢筋混凝土桩而言，实则为钢筋的强度设计值。考虑到可能出现承载力变异和钢筋受力不均等情况，最好适当增加试桩的配筋量。工程桩验收检测时，要求加载量不低于单桩竖向抗拔承载力特征值 2 倍，旨在保证桩侧岩土阻力具有足够的安全储备。

当设计对抗拔桩有裂缝控制要求时，抗裂验算给出的荷载可能小于单桩竖向抗拔承载力特征值的 2 倍，因此试验时的最大上拔荷载只能按设计要求确定。设计对桩上拔量有要求时按设计规定。

5.1.4 抗拔桩的检测通常有两种实现方式，一是在桩顶施加拉力，此时桩身混凝土是受拉状态；另一种是从桩底施加向上的推力（如在桩底端预埋荷载箱），此时桩身混凝土是受压状态，两种施力方式的检测结果是有所差别的。已有实例表明：同条件的抗拔桩，桩底向上推的承载力远大于桩顶受拉时的承载力。

5.1.5 对于钢筋混凝土桩，最大试验荷载不得超过钢筋的强度设计值，以避免因钢筋拔断提前中止试验或出现安全事故。

5.2 设备仪器及其安装

5.2.1 本条的要求基本同第 4.2.1 条。因拔桩试验时多数情况下千斤顶安放在反力架上面，当采用二台以上千斤顶加载时，应采取一定的安全措施，防止千斤顶倾倒或其他意外事故发生。如预埋荷载箱在桩底端，应采取相应措施以满足本规范相关要求。

5.2.2 当采用地基作反力时，两边支座处的地基强度应相近，且两边支座与地面的接触面积宜相同，避免加载过程中两边沉降不均造成试桩偏心受拉。

5.2.5 桩顶上拔量测量平面必须在桩身位置，严禁在混凝土桩的受拉钢筋上设置位移观测点，避免因钢筋变形导致上拔量观测数据失实；为避免混凝土桩保护层开裂对上拔量测试的影响，上拔量观测点设置应避开混凝土明显破裂区域。对于大直径桩考虑到实际可操作性，上拔量观测点设置可在离开钢筋一定距离的桩顶混凝土硬实面上。

5.3 现场检测

5.3.1 本条包含以下四个方面内容：

在拔桩试验前，对混凝土灌注桩及有接头的预制桩采用低应变法检查桩身质量，目的是防止因试验桩自身质量问题而影响抗拔试验成果。

对抗拔试验的钻孔灌注桩在浇注混凝土前进行成孔检测，目的是查明桩身有无明显扩径现象或出现扩大头，因这类桩的抗拔承载力缺乏代表性，特别是扩大头桩及桩身中下部有明显扩径的桩，其抗拔极限承载力远远高于长度和桩径相同的非扩径桩，且相同荷载下的上拔量也有明显差别。

对有接头的预制桩应进行接头抗拉强度验算。对电焊接头的管桩除验算其主筋强度外，还要考虑主筋墩头的折减系数以及管节端板偏心受拉时的强度及稳定性。墩头折减系数可按有关规范取 0.92，而端板强度的验算则比较复杂，可按经验取一个较为安全的系数。

对于管桩抗拔试验，为防止接头处连接出现拉开的问题，可通过在桩管中放置一定长度的钢筋笼并浇筑混凝土来解决。

5.3.2 本条规定拔桩试验应采用慢速维持荷载法，其荷载分级、试验方法及稳定标准均同第 4.3.3 条、第 4.3.4 条和第 4.3.6 条有关规定。考虑到拔桩过程中对桩身混凝土开裂情况观测较为困难，本次规范修订将“仔细观察桩身混凝土开裂情况”的要求取消。

5.3.3 若在较小荷载下出现某级荷载的桩顶上拔量大于前一级荷载下的 5 倍时，应综合分析原因，必要时可继续加载，因混凝土桩当桩身出现多条环向裂缝后，桩顶位移可能会出现小的突变，而此时并非达到桩侧土的极限抗拔力。

对工程桩的验收检测，当设计对桩顶最大上拔量或裂缝控制有明确的荷载要求

时，应按设计要求执行。

5.4 检测数据的分析与判定

5.4.1 拔桩试验应绘制 $U-\delta$ 曲线和 $\delta-lgt$ 曲线，但当上述二种曲线难以判别结果时，也可以辅以 $\delta-lgU$ 曲线或 $lgU-lg\delta$ 曲线，以确定拐点位置。

5.4.2 本条前两款确定的抗拔极限承载力是土的极限抗拔阻力与桩（包括桩向上运动所带动的土体）的自重标准值两部分之和。第 3 款所指的“断裂”是因钢筋强度不够情况下的断裂。这要区分开因抗拔钢筋受力不均匀造成部分钢筋因受力太大而断裂的情况，此时应视该桩试验无效并改进措施进行再次试验或选择同一条件下相邻桩进行抗拔试验，不能将钢筋断裂前一级荷载作为极限荷载。

5.4.3 工程桩验收检测时，混凝土桩抗拔承载力可能受抗裂或钢筋强度制约，而土的抗拔阻力尚未充分发挥，只能取最大试验荷载或上拔量控制值所对应的荷载作为极限荷载，不能轻易外推。当然，在上拔量或抗裂要求不明确时，试验控制的最大加载值就是钢筋强度的设计值。

6 单桩自平衡静载试验

6.1 一般规定

6.1.1 单桩自平衡静载试验是在桩身某一平衡点位置埋设一个液压荷载箱，从桩顶通过高压油管对荷载箱内腔施加压力，在液压的作用下箱顶和箱底被推开，同时产生向上与向下的推力，从而调动桩周土的侧阻力和桩端阻力，加压直至破坏，将桩侧土摩阻力与桩端土阻力迭加可得到单桩抗压极限承载力。其测试原理见图 1.0.1，单桩自平衡静载试验具有许多优点：

1 试验装置简单。与传统锚桩法或堆载静载法相比，既不需要占用较大场地，也不需要上千吨的堆载物，不需要构筑庞大笨重的反力架，试桩的准备工作省时省力，试验时安全，无环境污染。

2 试验费用较省。虽然埋入的荷载箱为一次性投入，但与传统静载法相比可以省缺锚桩的费用和承力架的投入费用。节省大量的试验费用，一般可降低约 30%—50%，吨位越大，试验费用节省得越明显。

3 试验桩可利用。试验测试完毕后，通过压浆管对试桩底和压力空腔进行压力灌浆处理，就可作为工程桩使用，图 1 测试原理图这样也可以降低桩基工程的造价。

4 应用范围广泛。单桩自平衡静载试验不仅可用于普通施工场地的试桩，而且在水上试桩，坡地试桩，基坑底试桩，狭窄场地试桩，斜桩、嵌岩桩，高吨位试桩等情况下，更显其优越性。

5 利用桩的侧向阻力和端阻力互为反力，可测得桩侧阻力与端阻力。

单桩自平衡静载试验的原理是利用桩身反力的平衡实现对桩身的加载，与周围土的类型和桩施工工艺影响较小。近几年的实践表明，单桩自平衡静载试验适用于粘性土、粉土、砂土、岩层等地质情况中的人工挖孔桩、钻孔灌注桩、沉管灌注桩、预制桩等。尤其是对特殊工况如水上、坡地、基坑底、狭窄场地、超大承载力试桩

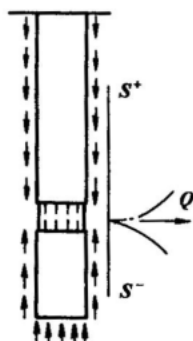


图 1 测试原理图

等有明显优越性。当埋设有测量桩身应力、应变、桩底反力的传感器或位移杆时，可测定桩的分层侧阻力和端阻力或桩身截面的位移量，这正是单桩自平衡静载试验的特点之一，具体桩身内力测试按附录 A 规定的方法执行。

6.2 设备仪器及其安装

6.2.1 单桩自平衡静载试验加载采用的荷载箱是一个及其重要的设备，因为它是在施工过程中预埋在桩身或桩端混凝土里，荷载箱的正常使用以及计量的准确是决定单桩自平衡静载试验检测成功的保证。荷载箱是一个特制的油压千斤顶，它主要由活塞、顶盖、底盖及箱壁四部分组成。它需要按照桩的类型，截面尺寸和荷载等级专门设计生产，必须防止漏油。荷载箱必须平放在桩中心，以防产生偏心轴向力。计算表明当荷载箱位移方向与桩身轴线方向夹角为 5° ，荷载箱在桩身轴线上产生的竖向力为施加力的 99.62%，所以确定为夹角小于 5° ，其偏心影响很小，可忽略不计。因为荷载箱埋入桩混凝土中为一次性设备，所以其设计加载能力一般要远超出要求加载力，同时由于预估单桩的极限承载力往往有偏差，不致于使试验因为荷载箱的设计加载能力不够而无法继续，所以要求荷载箱极限加载能力应大于预估极限承载力的 1.5 倍。要求再高的话可能就是一种浪费。

6.2.3 本条第 3 款强调的是位移棒、护管等都是要预埋在桩身混凝土里，施工不得有闪失。护管周身不得有空洞，护管焊接不得有缝隙，否则水泥浆渗入就会裹住位移棒而无法量测上下位移。

6.2.4 荷载箱一般布置在桩底或桩身中下部某个平衡点位置，向上的力仅为施加总力的一半，加载对地面位移的影响远小于传统静载试桩法的影响，因此试桩与基准桩的距离较传统方法要求略低。

6.2.5 在保证施工质量的情况下，可先浇筑荷载箱下的混凝土，然后安放荷载箱，再浇筑上部混凝土。位移棒的护管严禁有洞，以防水泥浆漏进包裹住位移棒。具体操作步骤如下：护管与钢筋笼焊接-位移棒安放在护管中-位移棒与荷载箱焊接-护管与荷载箱焊接-下放钢筋笼。

6.2.6 当预估端阻力大于侧阻力时，可在桩顶堆放一定量的配重以达到力的平衡。增加桩长可能会引起设计变更及审查的麻烦，桩端变小采取换算的办法可能会引起尺寸效应，所以都不提倡采用。

荷载箱放置位置决定单桩自平衡静载试验试桩能否顺利完成的关键，如图 2

所示分别为几种情况予以说明。图（1）是一般常用位置，即当桩身成孔后先在孔底稍作找平，然后放置荷载箱，此法适用于桩侧阻力与桩端阻力大致相等的情况，或端阻力大于侧阻力而试桩目的在于测定侧阻力极限值的情况。图（2）是将荷载箱放置于桩身中某一位置，此时如位置适当，则当荷载箱以下的桩侧阻力与桩端阻力之和达到极限值时，荷载箱以上的桩侧阻力同时达到极限值，这样上下段桩的承载力大致相等，确保测试中顺利加载。图（3）为钻孔桩抗拔试验的情况，由于抗拔桩必须测出整个桩身的侧阻力，故荷载箱必须摆在桩端，而桩端处无法提供需要的反力，故将试桩钻深，使加长部分桩侧阻力及桩端阻力提供所需的反力。图（4）为挖孔扩底抗拔试验的情况，荷载箱摆在扩大头底部进行抗拔试验。图（5）适用于大头桩或当预估桩端阻力小于桩侧阻力而要求测定桩侧阻力极限值的情况，此时将桩底扩大，将荷载箱置于扩大头上。图（6）适用于测定嵌岩桩嵌岩段的侧阻力与桩端阻力之和。如仍需测定上部覆盖土层的极限侧阻力，则可在嵌岩段试验后浇灌桩身上段混凝土，然后再进行试桩。图（7）适用于桩端阻力远大于桩侧阻力而又比较经济地测到桩极限承载力而采用模拟桩做法，用小直径桩测试单位面积承载力极限值，以求使上部侧摩阻力极限值得到充分发挥。图（8）若需测定两个或以上土层的侧阻力极限值，可先将混凝土浇灌至下层土的顶面进行测试而获及下土层土的数据，然后再浇灌上一土层进行测试，依次类推，从而获得整个桩身全长的侧阻力极限值。图（9）是采用二只荷载箱，一只放在桩下部，一只放在桩身某一部分，便可分别测出三段桩极限承载力。

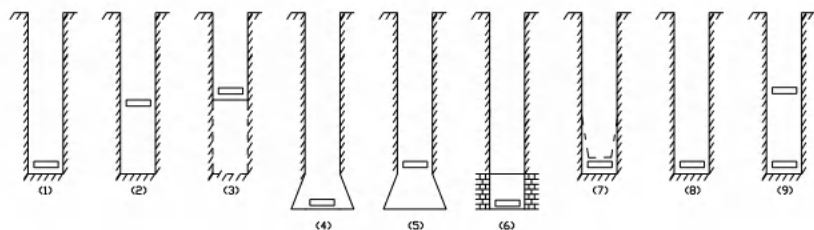


图 2 荷载箱放置部位

6.3 现场检测

6.3.1 本条是为使试桩具有代表性而提出的。

6.3.2 因为自平衡测试仪器设备都在地面上，为便于位移测量仪表的安装，试桩顶

部宜高出试坑地面；为使试验桩受力条件与设计条件一致，试坑地面宜与承台底标高一致。常规自平衡测试，桩头无需单独处理，当为增加侧摩阻力需要堆放一定数量配重检测时，混凝土桩头应进行处理。

6.3.4 明确试验加载采用维持荷载法，其它方法有待进一步研究探讨。

6.4 检测数据的分析与判定

6.4.2 世界各国按桩顶总沉降量确定极限承载力的规定差别较大，这和各国安全系数的取值大小、特别是上部结构对桩基沉降的要求有关。本条第4款对缓变型Q-s曲线，按 $s=0.05D$ 确定直径大于等于800mm桩的极限承载力大体上是保守的；且因 $D \geq 800\text{mm}$ 时定义为大直径桩，当 $D=800\text{mm}$ ， $0.05D=40\text{mm}$ ，正好与中、小直径桩的沉降标准相衔接。

6.4.3 单桩自平衡静载试验时，荷载箱上部桩身自重方向与桩侧阻力方向一致，故在判定桩侧阻力时应当排除。本法测出的上段桩的摩阻力方向是向下的，与常规静载试验所测桩摩阻力方向相反。传统方法加载时，侧阻力将使土层压密，而单桩自平衡静载试验加载时，上段桩侧阻力将使土层减压松散，故该法测出的桩摩阻力小于常规摩阻力，国内外大量的对比试验已证明了该点。

目前，国外对单桩自平衡静载试验测试值如何换算得出类似传统静载抗压桩承载力的方法不尽相同。有些国家将上、下两段实测值迭加作为桩抗压极限承载力，这样过于安全、保守。有些国家将上段摩阻力乘以1.5再与下段桩迭加而得到桩抗压极限承载力。

我国则将向上、向下摩阻力根据土性划分，对于粘性土，向下摩阻力为0.6~0.8向上摩阻力；对于砂土向下摩阻力为0.5~0.7向上摩阻力，本规程对于粘性土、粉土 γ 取0.8，对于砂土 γ 取0.7，对于岩土 γ 取1.0，可完全满足工程要求，而且是偏于安全的。

7 单桩水平静载试验

7.1 一般规定

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

桩的抗弯能力取决于桩和土的力学性能、桩的自由长度、抗弯刚度、桩宽、桩顶约束等因素。试验条件应尽可能和实际工作条件接近,将各种影响降低到最小的程度,使试验成果能尽量反映工程桩的实际情况。通常情况下,试验条件很难做到和工程桩的情况完全一致,此时应通过试验桩测得桩周土的地基反力特性,即地基土的水平抗力系数。它反映了桩在不同深度处桩侧土抗力和水平位移之间的关系,可视为土的固有特性。根据实际工程桩的情况(如不同桩顶约束、不同自由长度),用它确定土抗力大小,进而计算单桩的水平承载力和弯矩。因此,通过试验求得地基土的水平抗力系数具有更实际、更普遍的意义。

7.2 设备仪器及其安装

7.2.3 若水平力作用点位置高于基桩承台底标高,试验时在相对承台底面处产生附加弯矩,影响测试结果,也不利于将试验成果根据实际桩顶的约束予以修正。球形铰支座的作用是在试验过程中,保持作用力的方向始终水平和通过桩轴线,不随桩的倾斜或扭转而改变。

7.2.6 为保证各测试断面的应力最大值及相应弯矩的测量精度,试桩设置时应严格控制测点的纵剖面与力作用方向之间的偏差。对承受水平荷载的桩而言,桩的破坏是由于桩身弯矩引起的结构破坏。因此对中长桩而言,浅层土的性质起了重要作用,在这段范围内的弯矩变化也最大。为找出最大弯矩及其位置,应加密测试断面。

7.3 现场检测

7.3.1 单向多循环加载法，主要是为了模拟实际结构的受力形式。由于结构物承受的实际荷载异常复杂，所以当需考虑长期水平荷载作用影响时，宜采用第4章规定的慢速维持荷载法。由于单向多循环荷载的施加会给内力测试带来不稳定因素，为保证测试质量，建议采用本规范第4章规定的慢速或快速维持荷载法；此外水平试验桩通常以结构破坏为主，为缩短试验时间，也可参照港口工程桩基水平承载力试验方法，采用更短时间的快速维持荷载法。

7.3.3 对抗弯性能较差的长桩或中长桩而言，承受水平荷载桩的破坏特征是弯曲破坏，即桩身发生折断，此时试验自然终止。在工程桩水平承载力验收检测中，终止加载条件可按设计要求或标准规范规定的水平位移允许值控制。考虑软土的侧向约束能力较差以及大直径桩的抗弯刚度大等特点，终止加载的变形限可取上限值。

7.4 检测数据分析与判定

7.4.2 本条中的地基土水平抗力系数随深度增长的比例系数 m 值的计算公式仅适用于水平力作用点至试坑地面的桩自由长度为零时的情况。按桩、土相对刚度不同，水平荷载作用下的桩-土体系有两种工作状态和破坏机理，一种是“刚性短桩”，因转动或平移而破坏，相当于 $ah < 2.5$ 时的情况；另一种是工程中常见的“弹性长桩”，桩身产生挠曲变形，桩下段嵌固于土中不能转动，即本条中 $ah \geq 4.0$ 的情况。在 $2.5 \leq ah < 4.0$ 范围内，称为“有限长度的中长桩”。《建筑桩基技术规范》对中长桩的 v_y 变化给出了具体数值（见表2）。因此，在按式（7.4.2-1）计算 m 值时，应先试算 ah 值，以确定 ah 是否大于或等于 4.0，若在 2.5~4.0 范围以内，应调整 v_y 值重新计算 m 值（有些行业标准不考虑）。当 $ah < 2.5$ 时，式（6.4.2-1）不适用。

表2 桩顶水平位移系数 v_y

桩的换算埋深 ah	4.0	3.5	3.0	2.8	2.6	2.4
桩顶自由或铰接时的 v_y 值	2.441	2.502	2.727	2.905	3.163	3.526
注：当 $ah > 4.0$ 时取 $ah = 4.0$ 。						

试验得到的地基土水平抗力系数的比例系数 m 不是一个常量，而是随地面水平位移及荷载而变化的曲线。

7.4.4 对于混凝土长桩或中长桩，随着水平荷载的增加，桩侧土体的塑性区自上而

下逐渐开展扩大,最大弯矩断面向下移,最后形成桩身结构的破坏。所测水平临界荷载 H_{cr} 为桩身产生开裂前所对应的水平荷载。因为只有混凝土桩才会产生开裂,故只有混凝土桩才有临界荷载。

7.4.5 单桩水平极限承载力是对应于桩身折断或桩身钢筋应力达到屈服时的前一级水平荷载。

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

桩顶自由的单桩水平试验得到的承载力和弯矩仅代表试桩条件的情况,要得到符合实际工程桩嵌固条件的受力特性,需将试桩结果转化,而求得地基土水平抗力系数是实现这一转化的关键。考虑到水平荷载-位移关系的非线性且 m 值随荷载或位移增加而减小,有必要给出 $H-m$ 和 Y_0-m 曲线并按以下考虑确定 m 值:

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

与竖向抗压、抗拔桩不同,混凝土桩(除高配筋率桩外)在水平荷载作用下的破坏模式一般为弯曲破坏,极限承载力由桩身强度控制。在单桩水平承载力特征值 H_a 的确定上,不采用水平极限承载力除以某一固定安全系数的做法,而是把桩身强度、开裂或允许位移等条件作为控制因素。也正是因为水平承载桩的承载能力极限状态主要受桩身强度(抗弯刚度)制约,通过水平静载试验给出的极限承载力和极限弯矩对强度控制设计非常必要。

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

8 高应变法

8.1 一般规定

8.1.1 高应变法是在桩顶施加冲击荷载并且使桩土间产生足够的塑性位移,运用一维应力波理论分析计算单桩竖向抗压承载力,桩侧及桩端的阻力分布,桩身完整性,冲击过程中桩身内的拉、压应力等一系列方法的总称。通过打桩时在桩顶附近安装传感器对锤击过程进行跟踪分析,高应变法可实现打入式预制桩的沉桩监测。

高应变法通过对冲击荷载作用下的桩土体系的应力波分析获得检测桩的承载力及完整性数据,其结果的准确性在一定程度上依赖于分析人员的素质和经验,一般不能用于为设计提供单桩承载力依据的试验性检测。由于高应变法相对简便、快速,可方便地对工程桩进行随机抽检,因此高应变法大量的用于工程桩的验收性检测。

8.1.2 高应变法起源于打入式预制桩的施工监测和承载力预估,对于问题更为复杂的各种现场灌注桩的检测,检测分析人员的经验和素质就显得更为重要。一般情况下现场灌注桩的桩土体系更加复杂,其桩身截面可能多变,承载性状也存在不确定性,容易导致检测结果的准确性不够。因此现场灌注桩进行高应变检测时应该对所检测桩的承载力有足够的了解,或取得相近条件下可靠的动静对比资料。

8.2 仪器设备

8.2.1 基桩检测仪器应满足《基桩动测仪》JG/T3055的各项规定,工具式传感器安装后的最低谐振频率是对传感器安装可靠性的基本要求。为保证足够的冲击能量以及使桩身产生足够的位移量,应采取重锤低击的方式,锤重应保证最低不小于单桩承载力特征值的2%,对于各种大直径桩和长桩,锤重应取单桩承载力特征值的4%-6%或更大。为保证锤击过程的安全可靠,锤击设备应具有可靠的导向装置。

8.2.2 单击贯入度是衡量单桩承载力发挥程度的关键标志。从理论上来说可以通过对加速度二次积分得到单击贯入度,但由于传感器的性能以及采样时长的限制导致

积分的结果精度很差，当需要较为精确的单击贯入度数值时，应采取现场实测的方式取得贯入度的数据。由于高应变检测时的锤击振动对近距离安装的观测仪器及架设的基准梁产生影响，一般宜采用远距离架设的精密水准设备观测。

8.3 现场检测

8.3.1 预制桩打入或压入土中对桩周围土体强度产生破坏，短时间内单桩承载力明显降低。土体强度的恢复时间与土的性质相关。一般规定桩置入土中的最小休止期为：砂土 7d，粉土 10d，非饱和粘土 15d，饱和粘土 25d。对端承型桩，应以桩端持力层的土性来选择最小休止期，对摩擦型桩，当桩周围存在多层土体时，一般宜根据休止期最长的土层以及其对承载力影响的权重来综合考虑最小休止期。对端承摩擦桩或摩擦端承桩，休止期的选取也应遵循类似的原则。为防止出现桩身结构强度不足影响高应变检测结果，现场灌注桩必须达到设计强度等级后进行检测，若为提前进行检测而采取了加入早强剂等措施，检测时间也应满足最小休止期的规定。

8.3.2 对灌注桩的桩头以及破损的预制桩桩头都要进行加固处理，高应变检测时桩头不应开裂。桩垫的作用是缓冲重锤的冲击并将锤击能量有效地传递到桩身，桩垫应具有合适的硬度及厚度，应根据现场检测的锤击效果调整所用桩垫的材质及厚度。锤击过程中要及时观察检测信号的质量，对安装不良或存在异常的传感器要及时处理或更换。

8.3.3 短桩的信号长度短，提高采样频率可提高测试精度，高应变检测的桩身轴力 F 是通过应变传感器的实测应变值换算得到的 ($F=A E \epsilon$)，因此公式中所用到的参数将直接影响到检测结果的准确性。应对传感器的参数应进行定期校验，维修后应重新校验。当实际的桩身截面与设计存在差异时，应实测桩身截面并采用实测的值作为设定值。桩身弹性模量 E 为桩的动弹性模量， $E=\rho C^2$ ，质量密度 ρ 的取值范围变化不大，钢桩可取 7850kg/m³，预应力管桩 2550-2650 kg/m³，一般预制桩 2450-2550 kg/m³，现场灌注桩 2400-2450 kg/m³。波速 C 为检测点处桩身的一维应力波波速，一般可根据地区性经验及临近桩的检测结果对波速值进行初步设定，预应力管桩的取值范围大约为 4000-4200m/s，一般预制桩的取值范围大约为 3800-4000m/s，现场灌注桩的取值范围大约为 3600-3800m/s。现场具备条件时，也可在桩侧安装两个加速度计并采用低应变法对桩身波速进行检测。

8.3.4 传感器的敏感轴应平行于桩身轴线，应将桩身侧面的附土及不密实的混凝土

凿除并将桩身侧面磨平，应变传感器安装后的应变余量，对混凝土桩不应小于 $1000\mu\epsilon$ ，钢桩不应小于 $1500\mu\epsilon$ 。应在现场对检测平面的实际桩径及截面进行测量并做好记录。重锤与检测桩的轴线应重合，重锤的起吊与下落不产生偏斜，锤击落距可方便调整，当提高重锤落距或增加锤重时，应适当增加桩顶垫层的厚度。检测时应密切观察波形曲线，力信号的幅值，最大及最终位移值，存在桩身缺陷时应观察完整性系数的大小及变化等情况。采用自由落锤时宜根据现场情况对检测桩进行多次不同落距的锤击，以观察检测桩的桩身缺陷及桩侧桩端的阻力分布及激发情况。

8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 当锤击次数多应考虑到多次锤击可能引起的桩周土的强度降低，实际应用中可取击次靠前的锤击信号与锤击能量大的信号进行分析对比，综合确定桩的承载力。高应变检测结果的准确性完全依赖于检测信号的质量，信号的形态、幅值等可反应锤击过程中桩土的性状、锤击是否偏心、传感器安装是否良好、桩头的质量等，进行高应变分析计算前应准确判断检测信号的质量状况。

8.4.2 除非柴油锤的锤击可导致力和速度信号最终不归零，一般自由落锤信号力和速度很快归零，力和速度最终不归零一般反应了传感器和锤击不正常的情况。当单侧出现拉力时会严重违反一维应力波理论的基本假定，传感器安装不良或混凝土开裂均会导致检测结果无法预测。

8.4.3 桩身浅部存在缺陷或浅层土阻力大，混凝土的非线性，传感器的标定系数不准确，波速不准确等均会导致高应变信号第一峰比例失调。只有当因输入参数不准确可根据比例对检测信号进行调整，混凝土的非线性可适当降低力值的大小等，其他比例失调属于正常情况，不对信号进行调整。

8.4.4 根据本条的方法所确定桩身平均波速与传感器安装位置的波速值有不同的含义和不同的用途，前者是用来确定桩底反射波的到达时间，后者是计算测点位置的桩身刚度。测点位置的桩身波速可采用在桩侧安装两个加速度计用低应变法进行检测，也可根据地区经验设定，传感器安装位置的波速值可不同于平均波速。当原设定的传感器安装位置的波速值改变时，应对力和速度信号按相应的比例进行调整。

8.4.5 在高应变信号分析计算前，应根据检测波形特征对检测桩的承载及阻尼性

状，桩身缺陷情况有基本判断，这需要检测分析人员有坚实的理论知识和丰富的检测经验。

8.4.6 拟合分析应首先建立合理的桩土计算模型，然后运用波动理论对实测数据进行反演分析得到模型的参数，最后得到桩的承载力及其分布情况，并判断桩的完整性。反演分析一般以上行波（速度，力等）为输入边界条件，用数值计算的方法计算得到相应的上行波（力、速度）信号，通过不断的合理调整模型参数，使得计算曲线与实测曲线达到满意的吻合程度，这种满意一方面体现在曲线的一致性上，另一方面也体现在所选岩土参数的合理性上，而且通过对计算得到的最终位移与实测的单击贯入度应基本一致。

8.4.7 凯斯法是在桩土体系基本满足一维杆件应力波传播以及桩周土阻力在激发后能维持不变的条件下，通过对锤击过程的分析和推演得到的关于单桩承载力的解析计算公式。运用凯斯法得到单桩极限承载力，检测桩应满足等截面一维杆件要求，并且锤击的能量将桩周土的承载力全部激发。显然凯斯法比较适合于截面尺寸均匀的预制桩以及中小直径的灌注桩检测，当检测桩存在明显的桩身缺陷并且缺陷本身影响桩的承载力时，高应变法的检测结果可能存在较大的风险。

8.4.8 在很多情况下尤其是对于现场灌注桩的检测，凯斯阻尼系数已经蜕变成了无任何物理意义的经验系数，因此应该强调动静对比试验的同条件要求。当阻尼系数的变化范围较大时，应分析原因，适当增加静载荷检测桩数量或拟合计算的桩数量。

8.4.9 单桩的承载力是桩在静力荷载作用下的特性参数，当桩身存在明显缺陷时一般应采用静荷载试验的方法验证或确定桩的承载力。当高应变检测结果异常或表现出明显异常的桩土性状，或者对高应变结果产生争议，均应以静荷载试验的结果为准。

8.4.10 可根据实测曲线拟合法对桩身刚度拟合的结果与正常的桩身刚度进行比较评价桩身完整性。等截面桩的第一缺陷可以根据检测数据计算桩身完整性系数。

8.4.11 桩身存在浅部缺陷，在检测信号曲线上的表达就是速度峰值明显高于力信号峰值，或力信号上升缓慢，浅部缺陷对桩的承载力可能存在较大的影响，一般应进行处理。

8.4.12 目前高应变检测主要用来检测桩的竖向抗压承载力，对于大直径长桩的深部缺陷也可用高应变法进行检测和验证。规范所列公式是计算桩身第一缺陷的定量计算公式，当桩身存在距离第一缺陷较近的第二缺陷时，第二缺陷的反射波就会影响第一缺陷的计算，这是因为应力波上升沿会先于峰值到达。

8.4.13 桩身缺陷的位置也可采用波形上升沿的起点位置确定。

8.4.14 作为工程桩承载力验收检测重要的方法，检测报告应客观全面地记录高应变检测工作的实施及分析判断过程，这一方面是为了积累检测经验，同时也是为了监督检测过程，方便审查及核验检测结果。

9 低应变法

9.1 一般规定

9.1.1 基于一维应力波理论的反射波法，是根据反射波的相位、形态及幅度来推断可能存在的桩身缺陷的性质、类型和严重程度，并根据反射波到达桩顶的时间来推算缺陷的位置。由于检测信号的失真，以及桩土体系的复杂性，低应变法只能对桩身缺陷进行定性的分析，并且在很多情况下要借助更进一步的检测手段（如开挖、钻芯、高应变、静载试验）确定。用拟合软件对桩身完整性（刚度分布）进行的定量分析，要结合实际桩土条件，施工参数，以及检测经验综合运用。

9.1.2 对设计的变截面桩或实际桩身截面刚度存在明显变化（如桩孔直径多变或桩侧注浆的灌注桩）的桩，由于桩身截面的相对变化产生的反射波与桩身缺陷产生的反射波的叠加，增加了分析判断的难度。此时应结合低应变时域曲线的波形特点和基桩的设计施工参数进行综合判断，必要时可通过高应变检测，钻芯法检测、开挖验证或静载荷试验对低应变检测结果进行验证或修正。

9.2 仪器设备

9.2.1 国内通常采用压电式加速度传感器作为拾震传感器，其质量小，自振频率高。可用黄油、凡士林等胶粘材料将其粘于桩顶，也可用膨胀螺栓将其固定于桩侧。

9.2.2 根据弹性碰撞理论及实际的检测经验，质量小，弹性好的敲击锤敲击桩顶可产生高频窄脉冲，相反产生低频宽脉冲。脉冲宽度越小，对桩身缺陷越敏感，但脉冲窄衰减快，难以有效地检测深部缺陷。脉冲宽则衰减慢，可检测深部的桩身缺陷。实际工作中应根据桩径、桩长以及实测波形信号选择合适的敲击锤（或力棒）分别检测不同部位的桩身缺陷。敲击锤安装测力传感器用以实测敲击脉冲的力值，其主要目的是根据桩顶实测力与速度的相对大小来判别桩身浅部缺陷的性质。

9.3 现场检测

9.3.1 低应变检测桩头处理的好坏直接影响检测结果及桩身完整性判读, 桩头混凝土的材质、桩顶面的平整程度、桩头的形状及尺寸、桩顶面出露的钢筋笼以及桩顶面是否放有异物均会对检测曲线产生明显的影响。当低应变检测时已完成混凝土垫层的施工且垫层对低应变检测曲线有影响时, 应将桩周围的垫层凿除。当桩顶已施工有承台或联系梁(如基坑护坡桩), 可将加速度传感器安装于承台下的桩身侧面并距离承台底面不小于1倍桩直径。预应力管桩桩头板松动时会严重影响低应变检测曲线, 必要时应将其割除。

现场灌注桩成桩后的检测时间应满足本规范的要求, 否则桩身混凝土的均匀性不能达到检测的要求, 而且波速值也比正常混凝土明显偏低。

9.3.2 设定的桩长应是传感器安装平面到桩底的实际长度, 波速值一般先按地区性经验值设定或其他桩的实测值设定。有条件的话也可采用如下的方式在桩侧安装两个加速度传感器实测桩身波速。

在桩身侧面或围绕试桩开挖试坑, 开挖的深度应使桩身露出足够的长度。在桩身同一侧面的垂直线上清理出两个加速度传感器的安装点, 桩身波速可用如下的公式计算:

$$C = \frac{\Delta L}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

式中: C ——波速;

ΔL ——两加速度计之间的距离;

t_1 ——锤击脉冲到达第1个加速度计的时间;

t_2 ——锤击脉冲到达第2个加速度计的时间。

在采样点数相同的情况下, 提高采样频率, 则相应地提高了检测信号的精度, 但信号的总长度变短, 当采用双加速度计检测桩身波速时, 可适当地提高采样频率。

9.3.3 检测桩直径越大, 缺陷点的位置越靠近桩顶, 不同检测点之间的信号差异就越大, 一般应根据多个检测点的信号曲线特征综合评定检测桩的桩身完整性。检测点及敲击点都应避开钢筋笼主筋, 因为主筋的谐振会对检测信号产生明显的影响。将敲击点选在桩中心或空心桩的壁厚中心线上, 是为了减小桩顶驻波对检测信号的影响, 但当灌注桩中心混凝土质量较差时, 应将检测点选在其他的位置。耦合剂可根据气温等情况选用黄油, 凡士林或橡皮泥等, 粘结层应在保证粘结质量的前提下

尽可能薄。敲击锤及锤垫应根据反射波的清晰程度来选取。直径小的桩及桩身浅部缺陷应选用质量小一点的敲击锤，直径大的桩及桩身深部缺陷应选用质量大一点的敲击锤，。

9.3.4 现场检测时应随时观察检测信号曲线的质量。信号应具有良好的重复性，一般取三次锤击的信号平均值可减少随机误差及噪音的干扰。检测信号曲线上敲击脉冲的宽度、幅度以及桩底反射波在显示屏上的位置要符合本规范 10.3.2 条的要求。在现场应对检测桩的完整性进行初步判读，当检测信号复杂，重复性差，难以判读检测桩的完整性时，要及时处理。

9.4 检测数据的分析判定

9.4.3 桩长应为检测桩从桩顶检测面到桩端的长度，一般预制桩不包括桩尖的长度，灌注桩应为凿除浮浆后的桩顶面到桩底的长度。桩底反射波明确的含义为检测波形曲线上桩底反射波明显，波形正常，识别容易，桩底附近无因桩身缺陷或地层变化引起的反射波信号，波速计算结果应在正常合理的范围内。

9.4.4 进行波速统计的桩应为桩底反射波明显的 I 类检测桩，其波速检测值正常，参与统计的波速值与桩身波速平均值之差应小于桩身波速平均值 $\pm 5\%$ 。当桩底反射波不明显或波速值离散性过大，进行波速平均值的统计就没有实际意义。此时可根据地区性的检测经验以及桩身混凝土配比情况确定桩身波速的平均值,或采用在桩侧安装双加速度计的方式实测检测桩的桩身波速。

9.4.5 当检测桩存在明显的桩底反射波，桩底反射波与缺陷反射波应取同一波速值。当桩底反射波不明显时，可采用桩身平均波速计算缺陷位置，也可采用实测的桩身波速。

9.4.6 对检测曲线的分析，应综合考虑地质条件，桩型，施工工艺、临近工程的检测经验等。一般情况下桩身扩径对桩身结构承载力不会产生不利的影响，因此不属于桩身缺陷。当桩底反射波不明显时，应结合其他桩的检测结果或采用其他的检测方法综合判断检测桩的桩身完整性。

9.4.7 当信号复杂无法判读桩身完整性时，应分析原因，当桩身浅部存在影响检测信号的因素时，宜通过开挖检验或凿除浅部桩体后重新检测。深部的缺陷可通过钻芯、高应变或静载荷等方法验证，当嵌岩桩桩底同向反射明显时，应通过钻芯法核验桩底岩层性状及桩底沉渣厚度。

9.4.8 检测桩顶速度波形信号曲线，滤波、放大等参数的取值，桩身平均波速的计算与取值，可直观地反映检测结果的实际情况和分析判断的过程，也为后续的工作提供必要的参考。

10 声波透射法

10.1 一般规定

10.1.1 本方法要求在桩身中预埋至少两根声测管，在桩身钻孔中进行的声波检测不属于本方法讨论的范围。当桩径小于 600mm 时，钢筋笼的刚度也变得很小，声测管的耦合误差会变得很大而使检测的结果失效。

10.2 仪器设备

10.2.1 自动化的声波检测仪可大大地提高检测的速度，也可使检测结果的稳定性和可靠性获得充分地改善。在检测过程中由于换能器连接导线与深度记数轮之间摩擦力的改变而使记录的深度产生误差需要随时对记录的深度进行校正。

10.2.2 换能器的有效工作长度是指参与换能部分的有效轴向长度，该长度过大会改变桩身缺陷的影响区域同时也会增加检测结果的不确定性。

当缺陷尺寸小于声波波长时，声波会产生绕射而检测不到缺陷的存在，因此声波波长越小，声波透射法可检测的缺陷尺寸就越小。但波长小的声波频率高，衰减速度快，有效测距变短。选用 30kGZ-60kGZ 的频率，意味着声波的波长在 8-15cm，声波透射法所能检测到的缺陷最小尺寸在 10cm 左右。当桩径变大，测距变长时，应在换能器内安装前置放大器。

声波透射法用清水做耦合剂，1MPa 也就是 100m 水压的压力，一般工程基桩都在此深度范围内。现场检测时换能器一般先下放至桩底往上进行检测，换能器开始所处的深度要通过导线上的标记得到的。

10.3 现场检测

10.3.1 声测管的内径过大会导致换能器提升过程中产生较大的摆动，而过小也会

影响声波换能器的正常提升。一般钢质的声测管所具有的刚度和强度可保证在声测管设置和混凝土浇筑过程中不变形,不破损,同时由于钢材的温度系数和混凝土的接近,也可保证声测管与桩身混凝土之间粘结良好,不产生缝隙。经验表明,焊接声测管非常容易导致声测管堵塞,使检测工作无法进行。

10.3.2 水中率定可按下面的步骤进行: 1 将发射和接受换能器以相同的高度悬吊于清水中,测量换能器之间的距离(换能器外表面之间的净距离) l ,用声波检测仪检测声波的到达时间 t ,将换能器之间的距离依次增加10cm,并检测相应的声波到达时间。为保证检测结果的准确性,检测的次数不应少于5次。2 将所得到的数据绘制于以距离为横坐标,以声时为纵坐标的坐标纸上,通过各数据点做直线交时间轴于 t_0 点。则 t_0 即为系统的延迟时间。

10.3.3 应在放入换能器之前先检查声测管是否通畅,一般可采用下端拴有比换能器略长但直径相同的钢筋段的测绳检查,每根声测管均应通长检查,如有必要,应采取有效的措施对声测管进行扫孔。在同一工地对声测管的编号应按顺时针或逆时针的固定顺序进行,声测管的方向位置及编号均应按实际情况标注在图纸上,这样做的目的是有利于缺陷的进一步定位及后期加固措施的实施。

10.3.5 扶正器可保证换能器提升过程中保持稳定,不触碰声测管侧壁。斜测时两换能器的高度差不能过大,否则声波将不能被接受换能器所接收。检测过程中应随时注意显示屏上的波形信号,如发现信号异常,应减慢换能器的提升速度或暂停提升换能器。

10.3.6 平测发现测线异常区域后,应对该区域采用加密测线进行复测以进一步确定缺陷的情况。对桩身采用交叉斜测,对桩端采用扇形扫描,根据不同方向异常测线的交叉重叠原则对缺陷的空间范围进一步确定。

10.4 检测数据分析与判定

10.4.2 钢筋笼吊装过程以及桩身混凝土的浇注都有可能造成声测管的弯曲,使声测管间距呈现一种按空间曲线形状改变的变化规律,也使得声时(声速)曲线呈现有规律的变化。为使计算的声速参数更加准确,应先对声测管的间距进行合理修正,一般可采用高阶曲线分段拟合的方式对弯曲部位的声测管间距进行修正。

10.4.3 单根桩的桩身混凝土受水泥,骨料,现场浇筑等因素的影响,各测线的声速为按正态规律分布的离散数值,受环状钢筋及水平增强钢筋等的影响,不可避免

的存在超出正常波动范围的声速异常高值,在计算声速异常判断概率统计值的过程中,剔除异常高值和异常低值的双边剔除法可使剩余测线的声速值分布更符合正态分布规律,从而使声速异常判断概率统计值的计算比仅剔除声速异常低值的单边剔除法更符合实际情况。式 11.3.4-9 是对声速异常判断概率统计值的取值限定,对声速参数变异性过小 ($C_v < 0.015$) 的情况,取 $v_0 = v_m (1 - 0.015\lambda)$ 可降低声速异常判断概率统计值的取值,从而减少漏判的风险。对声速参数变异性过大 ($C_v > 0.045$) 的情况,取 $v_0 = v_m (1 - 0.045\lambda)$ 可提高声速异常判断概率统计值的取值,从而减少因数据离散性过大而把正常质量混凝土错判的概率。

10.4.4 桩身混凝土声速临界值的确定要综合考虑地区性的检测经验和同条件混凝土的声速参数,声速低限值及平均值的取值要考虑到检测混凝土的龄期对声速检测值的影响,当检测剖面存在多处缺陷,声速临界值的取值要参考其他检测剖面或混凝土质量较稳定的受检桩的声速异常判断临界值综合确定。对因声测管间距改变引起的声速检测值的异常及离散性变大,声速临界值的取值要考虑声测管间距修正的准确程度。

10.4.6 波幅的临界判据为检测剖面各测线波幅平均值的一半 ($20 \times \lg(2) = 6$)。由于波幅受仪器设备灵敏度及稳定性,声测管间距,发射能量等因素影响,不同检测剖面之间的波幅值不具有可比性,同时波幅值具有较大的变异性,因此在应用波幅判据时,应结合波形,主频等参数进行综合分析。

10.4.7 混凝土介质中声波信号的衰减也伴随着声波主频的降低,当混凝土介质存在明显缺陷时接受波的主频值会明显降低。由于主频值受各种非缺陷因素(如检测系统状态,声耦合状况,测距等)的影响较大,当采用主频值判据时,应结合声速,波幅等判据进行综合分析。

10.4.8 当采用接受信号的能量作为异常测线判据时,应约定某一足够时间段内的声波时域曲线的绝对值对时间的积分结果(或该时间段内波幅的平均值)作为比较的能量指标。当采用能量指标时,接收信号不应出现削波现象(超量程)。

10.4.9 PSD 为相邻测线声时差的平方除以两测线之间的距离,桩身缺陷边缘处的 PSD 值的增加比因声测管间距改变或桩身混凝土不均匀而产生的 PSD 值的增加要大的多,据此可以判断缺陷边缘处的异常声测线。在应用 PSD 判据时,要结合其他声参量进行综合分析。

10.4.10 声波透射法检测将测点(线)沿桩长布设,可对桩身质量进行全断面逐点(线)检测,并对可疑区域进行复测、加密细测,以及交叉斜测,CT 扫描等,进

一步确定缺陷的性质，大小，以及空间分布范围。

10.4.11 桩身完整性类别的划分应考虑的几个因素：(1)、声参数异常区域的空间分布及相对尺寸，(2)、声参数的异常程度，(3)、波形畸变的程度、(4)、声速是否低于低限值。

当多个检测剖面的检测结果中仅有少数剖面的声参数局部明显异常，或通过交叉斜测等方法确定的缺陷区域的空间尺寸较小时，此时可根据基桩设计荷载的大小及特征，根据缺陷不影响基桩承载力使用要求的原则可将该桩完整性类别划分为Ⅱ类，而少数剖面存在严重波形畸变或接受不到波形的情况应将该桩完整性类别划分为Ⅲ类。

10.4.12 实测波形可直观地呈现声波的畸变及衰减情况，波列图将每条测线的实测波形展现在同一图示内，有助于分析人员对桩身的缺陷情况进行直观的分析判定。

11 钻 芯 法

11.1 一 般 规 定

11.1.1 钻芯法是检测钻（冲）孔、人工挖孔等现浇混凝土灌注桩的成桩质量的一种有效手段，较少受场地条件的限制，特别适用于大直径混凝土灌注桩的成桩质量检测。钻芯法检测的主要目的有：

- 1 检测桩身混凝土质量情况，如桩身混凝土胶结状况、有无气孔、松散或断桩等，桩身混凝土强度是否符合设计要求；
- 2 桩底沉渣厚度是否符合设计或规范要求；
- 3 桩端持力层的岩土性状（强度）和厚度是否符合设计或规范要求；
- 4 混凝土灌注桩的桩长是否符合设计或规范要求。

受检桩长径比较大时，成孔的垂直度和钻芯孔的垂直度很难控制，钻芯孔容易偏离桩身，故要求受检桩长径比不宜大于 30。实际上，对于超长灌注桩的钻芯目前国内已可取芯达 70 余米深，所以，超长桩钻芯成败取决于基桩施工和钻芯两个工序的控制，并不是仅仅取决于钻芯。比如桩打斜了，远远超出施工验收规范要求，这时对长径比要求就没有意义。另外一种情况是，为检测混凝土灌注桩桩身中、上部的混凝土质量或仅仅为了探明桩底岩性和验证桩长而用小直径钻头取芯时，就很少考虑桩径和长细比的限制。

11.2 设 备

11.2.1 钻机宜采用岩芯钻探的液压高速钻机，并配有相应的钻塔和牢固的底座，操作灵活，固定和移动方便，并应有水冷却系统。

钻机设备参数应满足：额定最高转速不低于 790r/min；转速调节范围不少于 4 档；额定配用压力不低于 1.5MPa。

水泵的排水量宜为（50~160）L/min，泵压宜为（1.0~2.0）MPa。

孔口管、扶正稳定器（又称导向器）及可捞取松软渣样的钻具应根据需要选用。

桩较长时,应使用扶正稳定器确保钻芯孔的垂直度。桩顶面与钻机塔座高差较大时,宜安装孔口管,孔口管应垂直且牢固。

11.2.2 钻取芯样的真实程度与所用钻具有很大关系,进而直接影响桩身完整性的类别判定。为提高钻取桩身混凝土芯样的完整性,钻芯检测用钻具应为单动双管钻具,明确禁止使用单动单管钻具。

11.2.3 为了获得比较真实的芯样,要求钻芯法检测应采用金刚石或人造金刚石钻头,钻芯取样大致分为三类:钢粒钻进,硬质合金钻进和金刚石钻进。钢粒钻进磨损大,芯样易破碎;硬质合金钻进虽然孔壁与钻具间隙小,可取得的芯样直径大,但只适用于小于七级的岩石。所以此两种方法皆不适用于基桩的钻芯法检测。金刚石钻头切削刀细,破碎岩石平稳,钻具孔壁间隙小,破碎孔底环状面积小,因此钻芯法检测应采用金刚石钻进。

对钻头胎体对钢体的同心度偏差及钻头的径向跳动做出规定是为了保证所取芯样的完整度。芯样试件直径不宜小于骨料最大粒径的3倍,在任何情况下不得小于骨料最大粒径的2倍,否则试件强度的离散性较大。目前,钻头外径有76mm、91mm、101mm、110mm、130mm几种规格,从经济合理的角度综合考虑,应选用外径为101mm和110mm的钻头;当受检桩采用商品混凝土、骨料最大粒径小于30mm时,可选用外径为91mm的钻头;如果钻芯目的不是检测桩混凝土强度,可选用外径为76mm的钻头。

11.2.4~11.2.7 芯样制作分两部分,一部分是锯切芯样,另一部分是对芯样端部进行补平或磨平处理。锯切芯样可采用单面锯或双面锯,应尽可能保证芯样不缺角、两端面平行。对端面处理应优先采用磨平法。不过,当芯样混凝土强度低于15.0MPa或芯样混凝土遭受过冻害时,在磨平过程中由于端面砂粒因水冲刷和外力作用而剥落,会造成越磨越粗糙,此时最好采用补平法。补平材料中快硬水泥和环氧胶泥效果较好,且养护时间短,操作方便,应优先采用。

11.3 现场检测

11.3.1 当钻芯孔为一个时,规定宜在距桩中心(10~15)cm的位置开孔,一是考虑导管附近的混凝土质量相对较差、不具有代表性,二是方便验证时的钻孔位置布置。

为准确确定桩的中心点,桩头宜开挖裸露,否则应由经纬仪确定桩位中心点。

桩端持力层岩土性状的准确判断直接关系到受检桩的使用安全。《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定：嵌岩灌注桩要求按端承桩设计，桩端以下三倍桩径范围内无软弱夹层、断裂破碎带和洞隙分布，在桩底应力扩散范围内无岩体临空面。虽然施工前已进行了岩土工程勘察，但有时钻孔数量有限，对较复杂的地基条件，很难全面弄清岩石、土层的分布情况。因此，应对桩端持力层进行足够深度的钻探。

11.3.2 当采用钻芯法对桩长、桩身混凝土强度、桩身局部缺陷、桩底沉渣、桩端持力层进行验证检测时，应根据具体验证的目的进行检测。如验证桩身混凝土强度，可将桩作为单个构件，在桩顶浅部对单桩多孔或多桩钻取混凝土芯样，且当抽检桩的代表性和数量符合混凝土结构检测标准的相关要求时，可推定基桩的检测批次混凝土强度。如验证桩身局部缺陷，钻进深度可控制为缺陷以下（1~2）m 处，对芯样混凝土质量进行评价，必要时应进行芯样试件抗压强度试验。

11.3.3 钻芯设备应精心安装，钻机立轴中心、天轮中心（天车前沿切点）与孔口中心必须在同一铅垂线上。设备安装后，应进行试运转，检查钻机安装是否正确平稳，各联接处是否牢固，操纵手把是否灵活可靠，各运动部件是否转动灵活。在确认正常后方能开钻。钻进初始阶段应对钻机立轴进行校正，及时纠正立轴偏差，确保钻芯过程不发生倾斜、移位。

当出现钻芯孔与桩体偏离时，应立即停机记录并检查，分析原因。当有争议时，可进行钻孔测斜，以判断是受检桩还是钻芯孔倾斜超过规范或规定要求。

11.3.4 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及时调整钻进速度。

金刚石钻头、扩孔器与卡簧的配合和使用要求：金刚石钻头与岩芯管之间必须安有扩孔器，用以修正孔壁；扩孔器外径应比钻头外径大（0.3~0.5）mm，卡簧内径应比钻头内径小 0.3mm 左右；金刚石钻头和扩孔器应按外径先大后小的排列顺序使用，同时考虑钻头内径小的先用，内径大的后用。

钻至桩底时，为检测桩底沉渣或虚土厚度，应采用减压、慢速钻进。若遇钻具突降，应立即停钻，及时测量机上余尺，准确记录孔深及有关情况。

当持力层为中、微风化岩石时，可将桩底 0.5m 左右的混凝土芯样、0.5m 左右的持力层以及沉渣纳入同一回次。当持力层为强风化岩层或土层时，可采用合金钢钻头干钻的方法和工艺钻取沉渣并测定沉渣厚度。

对中、微风化岩的桩端持力层，可直接钻取岩芯鉴别；对强风化岩层或土层，可采用动力触探、标准贯入试验等方法鉴别。试验宜在距桩底 1m 内进行。

11.3.5 芯样取出后, 钻机操作人员应由上而下按回次顺序放进芯样箱中, 芯样侧表面上应清晰标明回次数、块号、本回次总块数(宜写成带分数的形式, 如 $2\frac{3}{5}$ 表示第2回次共有5块芯样, 本块芯样为第3块)。及时记录孔号、回次数、起至深度、块数、总块数、芯样质量的初步描述及钻进异常情况。

有条件时, 可采用孔内摄像辅助判断混凝土质量。

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

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

11.3.6 芯样和钻探标示牌的内容包括: 工程名称、桩号、钻芯孔号、芯样试件采取位置、桩长、孔深、检测单位名称等, 可将一部分内容在芯样上标识, 另一部分标识在指示牌上。对全貌拍完彩色照片后, 再截取芯样试件。

11.4 芯样试件截取与加工

11.4.1 以概率论为基础、用可靠性指标度量桩基的可靠度是比较科学的评价基桩强度的方法, 即在钻芯法受检桩的芯样中截取一批芯样试件进行抗压强度试验, 采用统计的方法判断混凝土强度是否满足设计要求。但在应用上存在以下一些困难: 一是由于基桩施工的特殊性, 评价单根受检桩的混凝土强度比评价整个桩基工程的混凝土强度更合理。二是混凝土桩应作为受力构件考虑, 薄弱部位的强度(结构承载力)能否满足使用要求, 直接关系到结构安全。综合多种因素考虑, 规定按上、中、下截取芯样试件。

一般来说, 蜂窝麻面、沟槽等缺陷部位的强度较正常胶结的混凝土芯样强度低, 无论是严把质量关, 尽可能查明质量隐患, 还是便于设计人员进行结构承载力验算, 都有必要对缺陷部位的芯样进行取样试验。因此, 缺陷位置能取样试验时, 应截取一组芯样进行混凝土抗压强度试验。

如果同一基桩的钻芯孔数大于一个, 其中一孔在某深度存在蜂窝麻面、沟槽、空洞等缺陷, 芯样试件强度可能不满足设计要求, 按多孔强度计算原则, 在其他孔

的相同深度部位取样进行抗压强度试验是非常必要的,在保证结构承载能力的前提下,能减少加固处理费用。

11.4.2 由于单个岩石芯样截取的长度至少是其直径的 2 倍,通常在桩底以下 1m 范围内很难截取 3 个完整芯样,因此本次修订取消了原规范截取岩石芯样试件数量为“一组 3 个”的要求。

为便于设计人员对端承力的验算,提供分层岩性的各层强度值是必要的。为保证岩石天然状态,拟截取的岩石芯样应及时密封包装后浸泡在水中,避免暴雨淋。

11.4.3 对于基桩混凝土芯样来说,为了避免试件强度的离散性较大,在选取芯样试件时,应观察芯样侧表面的表观混凝土粗骨料粒径,确保芯样试件平均直径不小于 2 倍表观混凝土粗骨料最大粒径。

关于确定芯样的合理直径范围,山东省建筑科学研究院结构分院进行了直径 75mm 和 100mm 两种芯样抗压强度的对比研究。在同一试件上分别钻取 75mm 和 100mm 两种直径芯样,磨平后进行抗压强度试验,设 $\lambda = \frac{\phi 100\text{mm 芯样抗压强度}}{\phi 75\text{mm 芯样抗压强度}}$, 结论如下:

(1) 总体上看,直径 75mm、100mm 两种直径芯样抗压强度相差不大,总体平均 λ 值接近 1,若按强度大小进行分段对比分析, λ 值随混凝土抗压强度增高而增大,分析结果可从表 3 中看出。

表 3 强度不同 λ 值变化对比

强度范围 (MPa)	芯样数量	λ 平均值	λ 标准差
10~40	624	0.9454	0.0892
40~60	1360	0.9918	0.1244
60~100	1306	1.0735	0.1012
10~100	3290	1.0092	0.1224

(2) 为研究石子粒径对 λ 值的影响,用 (10~20) mm、(10~30) mm、(20~40) mm 三种粒径碎石配制 C20、C30、C40 混凝土,混凝土实际强度为 20~55 MPa,对比结果见表 4。

表 4 不同石子粒径芯样抗压强度对比

碎石粒径 (mm)	10~20	20~30	30~40
λ 平均值	0.917	0.928	1.006

从表 3 可知,当芯样强度小于 60 MPa 时,75mm 芯样强度高于 100mm 芯样强度,即 λ 值小于 1;当芯样强度大于 60 MPa,75mm 芯样强度低于 100mm 芯样强度,即 λ 值大于 1。由表 4 可知, λ 值随石子粒径增大而增大,而 75mm 芯样强度在粗骨料粒径较大时,接近 100mm 芯样强度,这表明 75mm 芯样强度随粗骨料粒径增大

有明显降低，为保证检测结果统一，对芯样直径应加以限制，任何情况下，芯样直径应不小于粗骨料最大粒径的两倍。

(3) 泵送混凝土和非泵送混凝土对比，泵送混凝土 $\lambda=0.949$ ，和非泵送混凝土 $\lambda=0.964$ ， λ 值差异不明显，可认为芯样直径变化对泵送混凝土和非泵送混凝土影响一致。

(4) 直径 75mm 与直径 100mm 芯样强度离散性比较：一般认为直径 75mm 芯样比直径 100mm 芯样抗压强度离散性大，对同一试件上取出 75mm、100mm 两种直径芯样抗压强度标准差、变异系数对比见表 5。

表 5 不同直径变异系数对比

芯样直径 (mm)	标准差平均值 (MPa)	变异系数平均值
75	1.500	0.0283
100	1.392	0.0274

通过比较看出，直径 75mm 芯样比直径 100mm 芯样抗压强度标准差、变异系数仅稍大一点，对工程检测来说这些数据是比较满意的，因此，在实际工程检测时直径 75mm 芯样取代直径 100mm 芯样精度没有问题，但钻取的芯样数量可适当增加。

(5) 直径 75mm 与直径 100mm 芯样抗压强度换算关系：定量分析直径 75mm 与直径 100mm 芯样强度之间一一对应关系，将同一试件上取得的不同直径两组抗压强度平均值作为一对相关数据，以直径 75mm 芯样抗压强度为自变量，直径 100mm 芯样抗压强度为因变量，按最小二乘法进行线性回归，确定直径 75mm 与直径 100mm 芯样抗压强度换算关系，散点图回归曲线如图 3

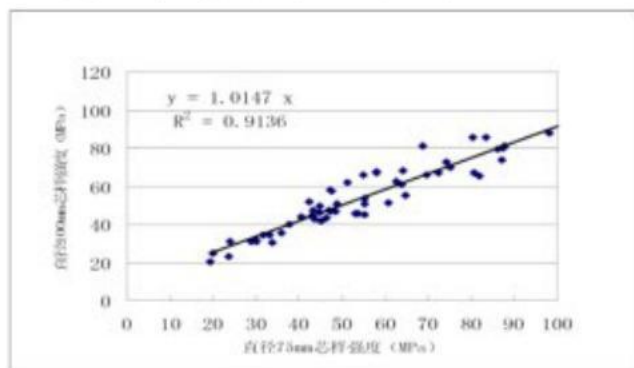


图 3 直径 75mm 与直径 100mm 芯样强度换算曲线

(6) 关于小高径比芯样混凝土抗压强度试验研究，结构分院将直径 100mm 与

直径 75mm 芯样按高径比分别为 0.6、0.8、1.0 进行对比试验, 得到研究结论如下:

(a) 芯样高径比控制在 0.95~1.05 范围内, 直径 75mm 和直径 100mm 芯样抗压强度值非常接近, 变异系数也非常接近, 可不进行尺寸修正。

(b) 同直径芯样高径比越小变异系数平均值越小, 说明减小芯样高径比芯样抗压强度值离散性减小, 采用小高径比芯样检测混凝土抗压强度是可行的。

(c) 芯样高径比与芯样抗压强度比有密切相关关系, 通过大量试验数据回归分析, 可确定不同芯样高径比与芯样抗压强度比之间换算关系。

附录 H 规定平均直径测量精确至 0.5mm; 沿试件高度任一直径与平均直径相差达 2mm 以上时不得用作抗压强度试验。这里作以下几点说明:

1 一方面要求直径测量误差小于 1mm, 另一方面允许不同高度处的直径相差大于 1mm, 增大了芯样试件强度的不确定度。考虑到钻芯过程对芯样直径的影响是强度低的地方直径偏小, 而抗压强度试验时直径偏小的地方容易破坏, 因此, 在测量芯样平均直径时宜选择表观直径偏小的芯样部位。

2 允许沿试件高度任一直径与平均直径相差达 2mm, 极端情况下, 芯样试件的最大直径与最小直径相差可达 4 mm, 此时固然满足规范规定, 但是, 当芯样侧面有明显波浪状时, 应检查钻机的性能, 钻头、扩孔器、卡簧是否合理配置, 机座是否安装稳固, 钻机立轴是否摆动过大, 提高钻机操作人员的技术水平等。

3 在诸多因素中, 芯样试件端面的平整度是一个重要的因素, 容易被检测人员忽视, 应引起足够的重视。

11.5 芯样试件抗压强度试验

11.5.1 芯样试件抗压强度试验时应合理选择压力机的量程和加荷速率, 保证试验精度。

根据桩的工作环境状态, 试件宜在 (15~25) °C 的清水中浸泡 (40~48) h 后进行抗压强度试验。芯样试件以自然干燥状态进行试验时, 应根据端面加工方法确定在室内自然干燥时间。

11.5.2 混凝土芯样试件的强度值不等于在施工现场取样、成型、同条件养护试块的抗压强度, 也不等于标准养护 28 天的试块抗压强度。

芯样试件抗压强度与同条件试块或标养试块抗压强度之间存在差别, 其原因主要是成型工艺和养护条件的不同, 山东省建筑科学研究院结构分院完成的科研项目

通过大量数据表明桩身混凝土芯样抗压强度并不低于控制混凝土材料质量的立方体试件抗压强度。也有外省份科研实测数据表明桩身混凝土芯样抗压强度低于控制混凝土材料质量的立方体试件抗压强度，但降低幅度存在较大的波动范围，所以目前不宜采用一个统一的折算系数来反映芯样强度与立方体强度的差异。还有待于进一步通过大量对比试验得出地方标准的芯样强度折算系数。本规范所确定混凝土芯样抗压强度值按照山东省地方标准《钻芯法检测混凝土抗压强度技术规程》DB37/T2368-2003 执行。

11.5.3 与工程地质钻探相比，桩端持力层钻芯的主要目的是判断或鉴别桩端持力层岩土性状，因单桩钻芯所能截取的完整岩芯数量有限，当岩石芯样单轴抗压强度试验仅仅是配合判断桩端持力层岩性时，检测报告中可不给出岩石单轴抗压强度标准值，只给出单个芯样单轴抗压强度检测值。

按岩土工程勘察的做法和《建筑地基基础设计规范》GB50007 的相关规定，需要在岩石的地质年代、名称、风化程度、矿物成分、结构、构造相同条件下至少钻取 6 个以上完整岩石芯样，才有可能确定岩石单轴抗压强度标准值。显然这项工作要通过多桩、多孔钻芯来完成。

岩土工程勘察提供的岩石单轴抗压强度值一般是在岩石饱和状态下得到的，因为水下成孔、灌注施工会不同程度造成岩石强度下降，故采用饱和强度是安全的做法。基桩钻芯法钻取岩芯相当于成桩后的验收检验，正常情况下应尽量使岩芯保持钻芯时的“天然”含水状态。只有明确要求提供岩石饱和单轴抗压强度标准值时，岩石芯样试件应在清水中浸泡不少于 12h 后进行试验。

11.6 检测数据的分析与判定

11.6.1 混凝土芯样试件抗压强度的离散性比混凝土标准试件要大，通过对几千组数据进行验算，证实取平均值作为检测值的方法可行。

同一根桩有两个或两个以上钻芯孔时，应综合考虑各孔芯样强度来评定桩身承载力。取同一深度部位各孔芯样试件抗压强度（每孔取一组混凝土芯样试件抗压强度检测值参与平均）的平均值作为该深度的混凝土芯样试件抗压强度检测值，是一种简便实用方法。

从设计角度考虑，桩身承载力受最薄弱部位的混凝土强度控制。因此，规定受检桩中不同深度位置的混凝土芯样试件抗压强度检测值中的最小值为该桩混凝土

芯样试件抗压强度检测值。

11.6.2 检测人员可能不熟悉岩土性状的描述和判定，建议有工程地质专业人员参与。

11.6.3 检测时实测桩长小于施工记录桩长时，按连续性涵义应判为Ⅳ类桩。

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

11.6.4 本次规范修订判定桩身混凝土质量除考虑桩身完整性外，还要考虑芯样试件抗压强度，限于目前测试技术水平，尚不能将桩身混凝土芯样强度是否满足设计要求与桩身完整性直接联系起来。当钻芯法没有要求检测桩身混凝土强度时，可单独按芯样外观特征判定桩身完整性类别，此情况下，有可能出现完整性为Ⅰ类桩但混凝土强度却不满足设计要求。但当要求检测桩混凝土强度时，可综合判定桩身混凝土质量类别，只要混凝土强度检测值小于混凝土设计强度等级，无论完整性是否良好均判定受检桩不满足设计要求。

判定受检桩是否满足设计要求除考虑桩长和芯样试件抗压强度检测值外，当设计有要求时，应判断桩底的沉渣厚度、持力层岩土性状（强度）或厚度是否满足设计要求，否则，应判断是否满足相关规范的要求。