

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2010年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标[2010]43号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订了《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2003。

本规范主要技术内容是:1.总则;2.术语和符号;3.基本规定;4.单桩竖向抗压静载试验;5.单桩竖向抗拔静载试验;6.单桩水平静载试验;7.钻芯法;8.低应变法;9.高应变法;10.声波透射法。

本规范修订的主要技术内容是:1.取消了工程桩承载力验收检测应通过统计得到承载力特征值的要求;2.修改了抗拔桩验收检测实施的有关要求;3.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;4.补充、修改了钻芯法桩身完整性判定方法;5.增加了低应变法检测时应进行辅助验证检测的要求;6.取消了高应变法对动测承载力检测值进行统计的要求;7.补充、修改了声波透射法现场测试和异常数据剔除的要求;8.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;9.修改了声波透射法多测线、多剖面的空间关联性判据;10.增加了滑动测微计测量桩身应变的方法。

本规范以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送中国建筑科学研究院(地址:北京市北三环东路30号,邮编:100013)。

本规范主编单位:中国建筑科学研究院

本规范参编单位：广东省建筑科学研究院
中冶建筑研究总院有限公司
福建省建筑科学研究院
中交上海三航科学研究院有限公司
辽宁省建设科学研究院
中国科学院武汉岩土力学研究所
机械工业勘察设计研究院
宁波三江检测有限公司
青海省建筑建材科学研究院
河南省建筑科学研究院

本规范主要起草人员：陈凡 徐天平 钟冬波 高文生
陈久照 滕延京 刘艳玲 关立军
施峰 吴锋 王敏权 张杰
郑建国 彭立新 蒋荣夫 高永强
赵海生

本规范主要审查人员：沈小克 张雁 顾国荣 顾宝和
刘金砺 顾晓鲁 刘松玉 束伟农
何玉珊 刘金光 谢昭晖 林奕禧

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
3.1	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	11
3.5	检测结果评价和检测报告	12
4	单桩竖向抗压静载试验	13
4.1	一般规定	13
4.2	设备仪器及其安装	13
4.3	现场检测	15
4.4	检测数据分析与判定	17
5	单桩竖向抗拔静载试验	19
5.1	一般规定	19
5.2	设备仪器及其安装	19
5.3	现场检测	20
5.4	检测数据分析与判定	21
6	单桩水平静载试验	23
6.1	一般规定	23
6.2	设备仪器及其安装	23
6.3	现场检测	24
6.4	检测数据分析与判定	25

7	钻芯法	28
7.1	一般规定	28
7.2	设备	28
7.3	现场检测	29
7.4	芯样试件截取与加工	29
7.5	芯样试件抗压强度试验	30
7.6	检测数据分析与判定	30
8	低应变法	35
8.1	一般规定	35
8.2	仪器设备	35
8.3	现场检测	35
8.4	检测数据分析与判定	37
9	高应变法	40
9.1	一般规定	40
9.2	仪器设备	40
9.3	现场检测	41
9.4	检测数据分析与判定	42
10	声波透射法	48
10.1	一般规定	48
10.2	仪器设备	48
10.3	声测管埋设	49
10.4	现场检测	50
10.5	检测数据分析与判定	51
附录 A	桩身内力测试	59
附录 B	混凝土桩桩头处理	63
附录 C	静载试验记录表	64
附录 D	钻芯法检测记录表	65
附录 E	芯样试件加工和测量	67
附录 F	高应变法传感器安装	69
附录 G	试打桩与打桩监控	72

本规范用词说明 74
引用标准名录 75

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	6
3.1	General Requirements	6
3.2	Testing Procedures	7
3.3	Selection of Test Methods, Number of Test Piles	9
3.4	Verification and Extended Tests	11
3.5	Test Results Assessment and Report	12
4	Vertical Compressive Static Load Test on Single Pile ...	13
4.1	General Requirements	13
4.2	Equipments and Installation	13
4.3	Field Test	15
4.4	Test Data Interpretation	17
5	Vertical Uplift Static Load Test on Single Pile	19
5.1	General Requirements	19
5.2	Equipments and Installation	19
5.3	Field Test	20
5.4	Test Data Interpretation	21
6	Lateral Static Load Test on Single Pile	23
6.1	General Requirements	23
6.2	Equipments and Installation	23
6.3	Field Test	24
6.4	Test Data Interpretation	25

7	Core Drilling Method	28
7.1	General Requirements	28
7.2	Equipments	28
7.3	Field Test	29
7.4	Interception and Processing of Core Sample	29
7.5	Compressive Strength Testing of Core Specimen	30
7.6	Test Data Interpretation	30
8	Low-strain Integrity Test	35
8.1	General Requirements	35
8.2	Equipments	35
8.3	Field Test	35
8.4	Test Data Interpretation	37
9	High-strain Dynamic Test	40
9.1	General Requirements	40
9.2	Equipments	40
9.3	Field Test	41
9.4	Test Data Interpretation	42
10	Cross-hole Sonic Logging	48
10.1	General Requirements	48
10.2	Equipments	48
10.3	Installation of Access Tubes	49
10.4	Field Test	50
10.5	Test Data Interpretation	51
Appendix A	Internal Force Testing of Pile Shaft	59
Appendix B	Head Treatment of Concrete Piles	63
Appendix C	Record Table of Static Load Test	64
Appendix D	Record Table of Core Drilling Test	65
Appendix E	Processing and Measurement of Core Specimens	67
Appendix F	Sensor Attachment for High-strain	

Dynamic Testing	69
Appendix G Trial Pile Driving and Driven Pile Installation Monitoring	72
Explanation of Wording in This Code	74
List of Quoted Standards	75

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

1 总 则

1.0.1 为了在桩基检测中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、数据准确、评价正确，为设计、施工及验收提供可靠依据，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于建筑工程桩基的承载力和桩身完整性的检测与评价。

1.0.3 桩基检测应根据各种检测方法的适用范围和特点，结合地基条件、桩型及施工质量可靠性、使用要求等因素，合理选择检测方法，正确判定检测结果。

1.0.4 建筑工程桩基检测除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

2.1.2 桩身完整性 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、松散等不良现象的统称。

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 testing

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，或在实测桩顶部的速度时程曲线同时，实测桩顶部的力时程曲线。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 testing

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。

2.2 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；

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值；

R_c ——凯司法单桩承载力计算值；

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。

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、桩身产生的轴力；

s ——桩顶竖向沉降、桩身竖向位移；

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_t ——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 ——测点下桩长；
 l' ——每检测剖面相应两声测管的外壁间净距离；
 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；
 ν_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。

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；
 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；
 v_0 —— 声速异常判断值；
 v_c —— 声速异常判断临界值；
 v_L —— 声速低限值；
 v_m —— 声速平均值；
 v_p —— 混凝土试件的声速平均值。

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。基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。当通过两种或两种以上检测方法的相互补充、验证，能有效提高基桩检测结果判定的可靠性时，应选择两种或两种以上的检测方法。

表 3.1.1 检测目的及检测方法

检测目的	检测方法
确定单桩竖向抗压极限承载力； 判定竖向抗压承载力是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩侧、桩端阻力，验证高应变法的单桩竖向抗压承载力检测结果	单桩竖向抗压静载试验
确定单桩竖向抗拔极限承载力； 判定竖向抗拔承载力是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩的抗拔侧阻力	单桩竖向抗拔静载试验
确定单桩水平临界荷载和极限承载力，推定土抗力参数； 判定水平承载力或水平位移是否满足设计要求； 通过桩身应变、位移测试，测定桩身弯矩	单桩水平静载试验
检测灌注桩桩长、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，判定桩身完整性类别	钻芯法
检测桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别	低应变法
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	高应变法
检测灌注桩桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别	声波透射法

3.1.2 当设计有要求或有下列情况之一时，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考的设计等级为乙级的桩基；
- 3 地基条件复杂、基桩施工质量可靠性低；
- 4 本地区采用的新桩型或采用新工艺成桩的桩基。

3.1.3 施工完成后的工程桩应进行单桩承载力和桩身完整性检测。

3.1.4 桩基工程除应在工程桩施工前和施工后进行基桩检测外，尚应根据工程需要，在施工过程中进行质量的检测与监测。

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。

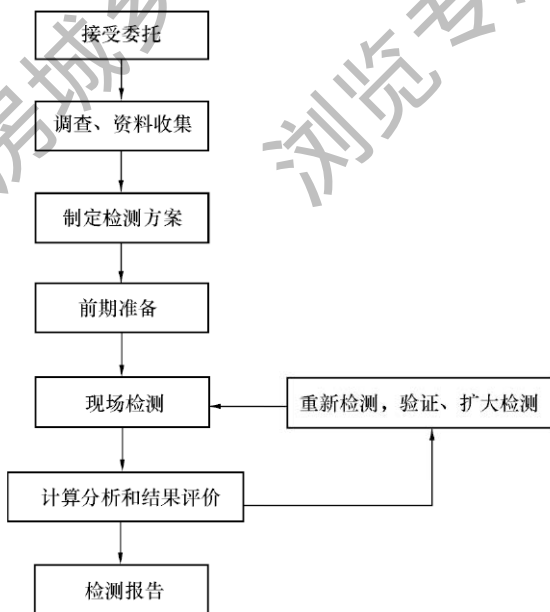


图 3.2.1 检测工作程序框图

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 检测方案的内容宜包括：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。

3.2.4 基桩检测用仪器设备应在检定或校准的有效期内；基桩检测前，应对仪器设备进行检查调试。

3.2.5 基桩检测开始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，受检桩混凝土强度不应低于设计强度的 70%，且不应低于 15MPa；

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

3 承载力检测前的休止时间，除应符合本条第 2 款的规定外，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

土的类型		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，宜符合下列规定：

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 除本条第 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 3.3.3~3.3.8 条的相关规定，且宜均匀或随机选择。

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基坑开挖至基底标高后进行。承载力检测时，宜在检测前、后，分别对受检桩、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，采用相应的静载试验方法确定单桩极限承载力，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。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。

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

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，应采用两种或两种以上的检测方法，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工程，检测数量不应少于总桩数的 30%，且不应少于 20 根；其他桩基工程，检测数量不应少于总桩数的

20%，且不应少于 10 根；

2 除符合本条上款规定外，每个柱下承台检测桩数不应少于 1 根；

3 大直径嵌岩灌注桩或设计等级为甲级的大直径灌注桩，应在本条第 1、2 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或钻芯法检测；

4 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，宜增加检测数量。

3.3.4 当符合下列条件之一时，应采用单桩竖向抗压静载试验进行承载力验收检测。检测数量不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的 1%，且不应少于 3 根；当总桩数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根。

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，但施工过程中变更了工艺参数或施工质量出现了异常；

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。

3.3.5 除本规范第 3.3.4 条规定外的工程桩，单桩竖向抗压承载力可按下列方式进行验收检测：

1 当采用单桩静载试验时，检测数量宜符合本规范第 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对比验证资料时，高应变法可作为本规范第 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，其检测数量宜符合本规范第 3.3.5 条第 2 款的规定。

3.3.7 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，检测应符合国家现行标准《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。

3.3.8 对设计有抗拔或水平力要求的桩基工程，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。

3.4 验证与扩大检测

3.4.1 单桩竖向抗压承载力验证应采用单桩竖向抗压静载试验。

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存在质量问题时，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桩身完整性类别的桩或Ⅲ类桩，可根据实际情况采用静载法、钻芯法、高应变法、开挖等方法进行验证检测。

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。

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。

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 7~10 章分别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受检桩的承载力检测值，并评价单桩承载力是否满足设计要求。

3.5.3 检测报告应包含下列内容：

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、结构形式，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。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，计算桩的分层侧阻力和端阻力。

4.1.2 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；当桩的承载力由桩身强度控制时，可按设计要求的加载量进行加载。

4.1.3 工程桩验收检测时，加载量不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2.0 倍。

4.2 设备仪器及其安装

4.2.1 试验加载设备宜采用液压千斤顶。当采用两台或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，且应符合下列规定：

- 1 加载反力装置提供的反力不得小于最大加载值的 1.2 倍；
- 2 加载反力装置的构件应满足承载力和变形的要求；
- 3 应对锚桩的桩侧土阻力、钢筋、接头进行验算，并满足抗拔承载力的要求；
- 4 工程桩作锚桩时，锚桩数量不宜少于 4 根，且应对锚桩上拔量进行监测；

5 压重宜在检测前一次加足，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。当通过并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压并换算荷载时，应根据千斤顶率定曲线进行荷载换算。荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度应优于或等于 0.5 级。试验用压力表、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的位移传感器或百分表，且应符合下列规定：

1 测量误差不得大于 0.1%FS，分度值/分辨力应优于或等于 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）的夹具及基准梁不得受气温、振动及其他外界因素的影响；当基准梁暴露在阳光下时，应采取遮挡措施。

4.2.5 沉降测定平面宜设置在桩顶以下 200mm 的位置，测点应固定在桩身上。

4.2.6 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 的规定。当试桩或锚桩为扩底桩或多支盘桩时，试桩与锚桩的中心距不应小于 2 倍扩大端直径。软土场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。

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

反力装置	距 离		
	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 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$
压重平台	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$
地锚装置	$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$

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 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 倍~3 倍宽影响范围内的地基土已进行加固处理的情况。

4.2.7 测试桩侧阻力、桩端阻力、桩身截面位移时，桩身内传感器、位移杆的埋设应符合本规范附录 A 的规定。

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 试验桩桩顶宜高出试坑底面，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，且采用逐级等量加载；分级荷载宜为最大加载值或预估极限承载力的 $1/10$ ，其中，第一级加载量可取分级荷载的 2 倍；

2 卸载应分级进行，每级卸载量宜取加载时分级荷载的 2 倍，且应逐级等量卸载；

3 加、卸载时，应使荷载传递均匀、连续、无冲击，且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 为设计提供依据的单桩竖向抗压静载试验应采用慢速维持荷载法。

4.3.5 慢速维持荷载法试验应符合下列规定：

1 每级荷载施加后，应分别按第 5min、15min、30min、

45min、60min 测读桩顶沉降量，以后每隔 30min 测读一次桩顶沉降量；

2 试桩沉降相对稳定标准：每一小时内的桩顶沉降量不得超过 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，可施加下一级荷载；

4 卸载时，每级荷载应维持 1h，分别按第 15min、30min、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，维持时间不得少于 3h，测读时间分别为第 15min、30min，以后每隔 30min 测读一次桩顶残余沉降量。

4.3.6 工程桩验收检测宜采用慢速维持荷载法。当有成熟的地区经验时，也可采用快速维持荷载法。

快速维持荷载法的每级荷载维持时间不应少于 1h，且当本级别荷载作用下的桩顶沉降速率收敛时，可施加下一级荷载。

4.3.7 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的沉降量的 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的沉降量的 2 倍，且经 24h 尚未达到本规范第 4.3.5 条第 2 款相对稳定标准；

3 已达到设计要求的最大加载值且桩顶沉降达到相对稳定标准；

4 工程桩作锚桩时，锚桩上拔量已达到允许值；

5 荷载-沉降曲线呈缓变型时，可加载至桩顶总沉降量 60mm~80mm；当桩端阻力尚未充分发挥时，可加载至桩顶累计沉降量超过 80mm。

4.3.8 检测数据宜按本规范表 C.0.1 的格式进行记录。

4.3.9 测试桩身应变和桩身截面位移时，数据的测读时间应符合本规范第 4.3.5 条的规定。

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；也可绘制其他辅助分析曲线；

2 当进行桩身应变和桩身截面位移测定时，应按本规范附录 A 的规定，整理测试数据，绘制桩身轴力分布图，计算不同土层的桩侧阻力和桩端阻力。

4.4.2 单桩竖向抗压极限承载力应按下列方法分析确定：

1 根据沉降随荷载变化的特征确定：对于陡降型 $Q-s$ 曲线，应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：应取 $s-\lg t$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；

3 符合本规范第 4.3.7 条第 2 款情况时，宜取前一级荷载值；

4 对于缓变型 $Q-s$ 曲线，宜根据桩顶总沉降量，取 s 等于 40mm 对应的荷载值；对 D (D 为桩端直径) 大于等于 800mm 的桩，可取 s 等于 $0.05D$ 对应的荷载值；当桩长大于 40m 时，宜考虑桩身弹性压缩；

5 不满足本条第 1~4 款情况时，桩的竖向抗压极限承载力宜取最大加载值。

4.4.3 为设计提供依据的单桩竖向抗压极限承载力的统计取值，应符合下列规定：

1 对参加算术平均的试验桩检测结果，当极差不超过平均值的 30% 时，可取其算术平均值为单桩竖向抗压极限承载力；当极差超过平均值的 30% 时，应分析原因，结合桩型、施工工艺、地基条件、基础形式等工程具体情况综合确定极限承载力；不能明确极差过大的原因时，宜增加试桩数量；

2 试验桩数量小于 3 根或桩基承台下的桩数不大于 3 根

时，应取低值。

4.4.4 单桩竖向抗压承载力特征值应按单桩竖向抗压极限承载力的 50%取值。

4.4.5 检测报告除应包括本规范第 3.5.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

- 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；
- 5 本规范第 4.4.1 条要求绘制的曲线；
- 6 承载力判定依据；
- 7 当进行分层侧阻力和端阻力测试时，应包括传感器类型、安装位置，轴力计算方法，各级荷载作用下的桩身轴力曲线，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。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，计算桩的分层抗拔侧阻力。

5.1.2 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。

5.1.3 检测时的抗拔桩受力状态，应与设计规定的受力状态一致。

5.1.4 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 试验加载设备宜采用液压千斤顶，加载方式应符合本规范第 4.2.1 条的规定。

5.2.2 试验反力系统宜采用反力桩提供支座反力，反力桩可采用工程桩；也可根据现场情况，采用地基提供支座反力。反力架的承载力应具有 1.2 倍的安全系数，并应符合下列规定：

1 采用反力桩提供支座反力时，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 测试桩侧抗拔侧阻力分布和桩端上拔位移时，桩身内传感器、桩端位移杆的埋设应符合本规范附录 A 的规定。

5.3 现场检测

5.3.1 对混凝土灌注桩、有接头的预制桩，宜在拔桩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，桩身中、下部位出现明显扩径的桩，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，可采用多循环加、卸载方法或恒载法。慢速维持荷载法的加、卸载分级以及桩顶上拔量的测读方式，应分别符合本规范第 4.3.3 条和第 4.3.5 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荷载作用下的上拔量 5 倍；

2 按桩顶上拔量控制，累计桩顶上拔量超过 100mm；

3 按钢筋抗拉强度控制，钢筋应力达到钢筋强度设计值，或某根钢筋拉断；

4 对于工程桩验收检测，达到设计或抗裂要求的最大上拔量或上拔荷载值。

5.3.4 检测数据可按本规范表 C.0.1 的格式进行记录。

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 4.3.5 条的规定。

5.4 检测数据分析与判定

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

5.4.2 单桩竖向抗拔极限承载力应按下列方法确定：

1 根据上拔量随荷载变化的特征确定：对陡变型 $U-\delta$ 曲线，应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：应取 $\delta-\lg t$ 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，应取前一级荷载值。

5.4.3 为设计提供依据的单桩竖向抗拔极限承载力，可按本规范第 4.4.3 条的统计方法确定。

5.4.4 当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；

3 钢筋应力达到设计强度值时对应的荷载。

5.4.5 单桩竖向抗拔承载力特征值应按单桩竖向抗拔极限承载力的 50% 取值。当工程桩不允许带裂缝工作时，应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 50% 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 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

1 临近受检桩桩位的代表性地质柱状图；

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；

- 4 本规范第 5.4.1 条要求绘制的曲线；
- 5 承载力判定依据；
- 6 当进行抗拔侧阻力测试时，应包括传感器类型、安装位置、轴力计算方法、各级荷载作用下的桩身轴力曲线，各土层的抗拔极限侧阻力。

6 单桩水平静载试验

6.1 一般规定

6.1.1 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。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，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。

6.1.2 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。

6.2 设备仪器及其安装

6.2.1 水平推力加载设备宜采用卧式千斤顶，其加载能力不得小于最大试验加载量的 1.2 倍。

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

6.2.3 荷载测量及其仪器的技术要求应符合本规范第 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；当千斤顶与试桩接触面的混凝土不密实或不平整时，应对其进行补强或补平处理。

6.2.4 桩的水平位移测量及其仪器的技术要求应符合本规范第 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。

6.2.5 位移测量的基准点设置不应受试验和其他因素的影响，

基准点应设置在与作用力方向垂直且与位移方向相反的试桩侧面，基准点与试桩净距不应小于1倍桩径。

6.2.6 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° 。地下10倍桩径或桩宽的深度范围内，桩身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倍桩径或桩宽的深度，测试断面间距可以加大。桩身内传感器的埋设应符合本规范附录A的规定。

6.3 现场检测

6.3.1 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按本规范第4章规定的慢速维持荷载法。当对试桩桩身横截面弯曲应变进行测量时，宜采用维持荷载法。

6.3.2 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，不应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、卸载分级以及水平位移的测读方式，应分别符合本规范第4.3.3条和第4.3.5条的规定。

6.3.3 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 $30\text{mm}\sim 40\text{mm}$ ；软土中的桩或大直径桩时可取高值；

3 水平位移达到设计要求的水平位移允许值。

6.3.4 检测数据可按本规范附录C表C.0.2的格式进行记录。

6.3.5 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。

6.4 检测数据分析与判定

6.4.1 检测数据的处理应符合下列规定：

1 采用单向多循环加载法时，应分别绘制水平力-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，应分别绘制水平力-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)。

6.4.2 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：

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

$$\alpha = \left(\frac{mb_0}{EI} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.4.2-2)$$

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})；

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

H ——作用于地面的水平力 (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， $b_0 = B + 1$ 。

6.4.3 对进行桩身横截面弯曲应变测定的试验，应绘制下列曲线，且应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。

6.4.4 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。

6.4.5 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。

6.4.6 为设计提供依据的水平极限承载力和水平临界荷载，可按本规范第 4.4.3 条的统计方法确定。

6.4.7 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，可取水平临界荷载的 0.75 倍作为单桩水平承载力特征值。

2 对钢筋混凝土预制桩、钢桩和桩身配筋率不小于 0.65% 的灌注桩，可取设计桩顶标高处水平位移所对应荷载的 0.75 倍作为单桩水平承载力特征值；水平位移可按下列规定取值：

- 1) 对水平位移敏感建筑物取 6mm；
- 2) 对水平位移不敏感建筑物取 10mm。

3 取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，且应满足桩身抗裂要求。

6.4.8 检测报告除应包括本规范第 3.5.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

- 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；
- 4 本规范第 6.4.1 条要求绘制的曲线；
- 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，应包括传感器类型、安装位置、内力计算方法以及本规范第 6.4.2 条要求的计算结果。

7 钻 芯 法

7.1 一 般 规 定

7.1.1 本方法适用于检测混凝土灌注桩的桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度和桩身完整性。当采用本方法判定或鉴别桩端持力层岩土性状时，钻探深度应满足设计要求。

7.1.2 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的桩的钻孔数量可为1个~2个孔，桩径为1.2m~1.6m的桩的钻孔数量宜为2个孔，桩径大于1.6m的桩的钻孔数量宜为3个孔；

2 当钻芯孔为1个时，宜在距桩中心10cm~15cm的位置开孔；当钻芯孔为2个或2个以上时，开孔位置宜在距桩中心 $0.15D\sim 0.25D$ 范围内均匀对称布置；

3 对桩端持力层的钻探，每根受检桩不应少于1个孔。

7.1.3 当选择钻芯法对桩身质量、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。

7.2 设 备

7.2.1 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。

7.2.2 基桩桩身混凝土钻芯检测，应采用单动双管钻具钻取芯样，严禁使用单动单管钻具。

7.2.3 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，且外径不宜小于100mm。

7.2.4 锯切芯样的锯切机应具有冷却系统和夹紧固定装置。芯样试件端面的补平器和磨平机，应满足芯样制作的要求。

7.3 现场检测

7.3.1 钻机设备安装必须周正、稳固、底座水平。钻机在钻进过程中不得发生倾斜、移位，钻进孔垂直度偏差不得大于0.5%。

7.3.2 每回次钻进进尺宜控制在1.5m内；钻至桩底时，宜采取减压、慢速钻进、干钻等适宜的方法和工艺，钻取沉渣并测定沉渣厚度；对桩底强风化岩层或土层，可采用标准贯入试验、动力触探等方法对桩端持力层的岩土性状进行鉴别。

7.3.3 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表D.0.1-1的格式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表D.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。

7.3.4 钻进结束后，应对芯样和钻探标示牌的全貌进行拍照。

7.3.5 当单桩质量评价满足设计要求时，应从钻进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，应封存钻进孔，留待处理。

7.4 芯样试件截取与加工

7.4.1 截取混凝土抗压芯样试件应符合下列规定：

1 当桩长小于10m时，每孔应截取2组芯样；当桩长为10m~30m时，每孔应截取3组芯样，当桩长大于30m时，每孔应截取芯样不少于4组；

2 上部芯样位置距桩顶设计标高不宜大于1倍桩径或超过2m，下部芯样位置距桩底不宜大于1倍桩径或超过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试验；

4 同一基桩的钻进孔数大于1个，且某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。

7.4.2 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，宜在各分层岩面取样。岩石芯样的加工和测量应符合本规范附录 E 的规定。

7.4.3 每组混凝土芯样应制作 3 个抗压试件。混凝土芯样试件的加工和测量应符合本规范附录 E 的规定。

7.5 芯样试件抗压强度试验

7.5.1 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标准》GB/T 50081 执行。

7.5.2 在混凝土芯样试件抗压强度试验中，当发现试件内混凝土粗骨料最大粒径大于 0.5 倍芯样试件平均直径，且强度值异常时，该试件的强度值不得参与统计平均。

7.5.3 混凝土芯样试件抗压强度应按下列公式计算：

$$f_{\text{cor}} = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (7.5.3)$$

式中： f_{cor} ——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）。

7.5.4 混凝土芯样试件抗压强度可根据本地区的强度折算系数进行修正。

7.5.5 桩底岩芯单轴抗压强度试验以及岩石单轴抗压强度标准值的确定，宜按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行。

7.6 检测数据分析与判定

7.6.1 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，作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，取其平均值作为该桩该深度处混凝土芯样试件抗压强度检测值；

3 取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，作为该桩混凝土芯样试件抗压强度检测值。

7.6.2 桩端持力层性状应根据持力层芯样特征，并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。

7.6.3 桩身完整性类别应结合钻芯孔数、现场混凝土芯样特征、芯样试件抗压强度试验结果，按本规范表 3.5.1 和表 7.6.3 所列特征进行综合判定。

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。当混凝土抗压强度满足设计要求时，可判为Ⅱ类；当混凝土抗压强度不满足设计要求或不能制作成芯样试件时，应判为Ⅳ类。

多于三个钻芯孔的基桩桩身完整性可类比表 7.6.3 的三孔特征进行判定。

表 7.6.3 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，芯样侧表面光滑、骨料分布均匀，芯样呈长柱状、断口吻合		
	芯样侧表面仅见少量气孔	局部芯样侧表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽，但在另一孔同一深度部位的芯样中未出现，否则应判为Ⅱ类	局部芯样侧表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽，但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现，否则应判为Ⅱ类

续表 7.6.3

类别	特 征		
	单 孔	两 孔	三 孔
II	<p>混凝土芯样连续、完整、胶结较好，芯样侧表面较光滑、骨料分布基本均匀，芯样呈柱状、断口基本吻合。有下列情况之一：</p>		
	<p>1 局部芯样侧表面有蜂窝麻面、沟槽或较多气孔；</p> <p>2 芯样侧表面蜂窝麻面严重、沟槽连续或局部芯样骨料分布极不均匀，但对应部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为Ⅲ类。</p>	<p>1 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，但在两孔同一深度部位的芯样中未同时出现；</p> <p>2 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，且在另一孔同一深度部位的芯样中同时出现，但该深度部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为Ⅲ类；</p> <p>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，否则应判为Ⅲ类或Ⅳ类</p>	<p>1 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现；</p> <p>2 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，且在任两孔或三孔同一深度部位的芯样中同时出现，但该深度部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为Ⅲ类；</p> <p>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，否则应判为Ⅲ类或Ⅳ类</p>

续表 7.6.3

类别	特 征		
	单 孔	两 孔	三 孔
Ⅲ	大部分混凝土芯样胶结较好, 无松散、夹泥现象。有下列情况之一:		大部分混凝土芯样胶结较好。有下列情况之一:
	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状; 2 局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状; 2 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 20cm, 且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 IV 类	1 芯样不连续、多呈短柱状或块状; 2 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 30cm, 且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 IV 类; 3 任一孔局部混凝土芯样松散段长度不大于 10cm, 且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 IV 类
Ⅳ	有下列情况之一:		
	1 因混凝土胶结质量差而难以钻进; 2 混凝土芯样任一段松散或夹泥; 3 局部混凝土芯样破碎长度大于 10cm	1 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进; 2 混凝土芯样任一段松散或夹泥; 3 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 20cm; 4 两孔同一深度部位的混凝土芯样破碎	1 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进; 2 混凝土芯样任一段松散或夹泥段长度大于 10cm; 3 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 30cm; 4 其中两孔在同一深度部位的混凝土芯样破碎、松散或夹泥

注: 当上一缺陷的底部位置标高与下一缺陷的顶部位置标高的高差小于 30cm 时, 可认定两缺陷处于同一深度部位。

7.6.4 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 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要求；
- 3 桩底持力层岩土性状（强度）或厚度不满足设计要求。

当桩基设计资料未作具体规定时，应按国家现行标准判定成桩质量。

7.6.5 检测报告除应包括本规范第 3.5.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

- 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 按本规范表 D.0.1-3 格式编制的每孔柱状图；
- 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。

8 低应变法

8.1 一般规定

8.1.1 本方法适用于检测混凝土桩的桩身完整性，判定桩身缺陷的程度及位置。桩的有效检测桩长范围应通过现场试验确定。

8.1.2 对桩身截面多变且变化幅度较大的灌注桩，应采用其他方法辅助验证低应变法检测的有效性。

8.2 仪器设备

8.2.1 检测仪器的主要技术性能指标应符合现行行业标准《基桩动测仪》JG/T 3055 的有关规定。

8.2.2 瞬态激振设备应包括能激发宽脉冲和窄脉冲的力锤和锤垫；力锤可装有力传感器；稳态激振设备应为电磁式稳态激振器，其激振力可调，扫频范围为 10Hz~2000Hz。

8.3 现场检测

8.3.1 受检桩应符合下列规定：

- 1 桩身强度应符合本规范第 3.2.5 条第 1 款的规定；
- 2 桩头的材质、强度应与桩身相同，桩头的截面尺寸不宜与桩身有明显差异；
- 3 桩顶面应平整、密实，并与桩轴线垂直。

8.3.2 测试参数设定，应符合下列规定：

- 1 时域信号记录的时间段长度应在 $2L/c$ 时刻后延续不少于 5ms；幅频信号分析的频率范围上限不应小于 2000Hz；
- 2 设定桩长应为桩顶测点至桩底的施工桩长，设定桩身截面积应为施工截面积；

- 3 桩身波速可根据本地区同类型桩的测试值初步设定；
- 4 采样时间间隔或采样频率应根据桩长、桩身波速和频域分辨率合理选择；时域信号采样点数不宜少于 1024 点；
- 5 传感器的设定值应按计量检定或校准结果设定。

8.3.3 测量传感器安装和激振操作，应符合下列规定：

- 1 安装传感器部位的混凝土应平整；传感器安装应与桩顶面垂直；用耦合剂粘结时，应具有足够的粘结强度；
- 2 激振点与测量传感器安装位置应避开钢筋笼的主筋影响；
- 3 激振方向应沿桩轴线方向；
- 4 瞬态激振应通过现场敲击试验，选择合适重量的激振力锤和软硬适宜的锤垫；宜用宽脉冲获取桩底或桩身下部缺陷反射信号，宜用窄脉冲获取桩身上部缺陷反射信号；
- 5 稳态激振应在每一个设定频率下获得稳定响应信号，并根据桩径、桩长及桩周土约束情况调整激振力大小。

8.3.4 信号采集和筛选，应符合下列规定：

- 1 根据桩径大小，桩心对称布置 2 个~4 个安装传感器的检测点；实心桩的激振点应选择桩中心，检测点宜在距桩中心 2/3 半径处；空心桩的激振点和检测点宜为桩壁厚的 1/2 处，激振点和检测点与桩中心连线形成的夹角宜为 90° ；
- 2 当桩径较大或桩上部横截面尺寸不规则时，除应按上款在规定的激振点和检测点位置采集信号外，尚应根据实测信号特征，改变激振点和检测点的位置采集信号；
- 3 不同检测点及多次实测时域信号一致性较差时，应分析原因，增加检测点数量；
- 4 信号不应失真和产生零漂，信号幅值不应大于测量系统的量程；
- 5 每个检测点记录的有效信号数不宜少于 3 个；
- 6 应根据实测信号反映的桩身完整性情况，确定采取变换激振点位置和增加检测点数量的方式再次测试，或结束测试。

8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 桩身波速平均值的确定，应符合下列规定：

1 当桩长已知、桩底反射信号明确时，应在地基条件、桩型、成桩工艺相同的基桩中，选取不少于 5 根Ⅰ类桩的桩身波速值，按下列公式计算其平均值：

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (8.4.1-1)$$

$$c_i = \frac{2000L}{\Delta T} \quad (8.4.1-2)$$

$$c_i = 2L \cdot \Delta f \quad (8.4.1-3)$$

式中： c_m ——桩身波速的平均值 (m/s)；

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

L ——测点下桩长 (m)；

ΔT ——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差 (ms)；

Δf ——幅频曲线上桩底相邻谐振峰间的频差 (Hz)；

n ——参加波速平均值计算的基桩数量 ($n \geq 5$)。

2 无法满足本条第 1 款要求时，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。

8.4.2 桩身缺陷位置应按下列公式计算：

$$x = \frac{1}{2000} \cdot \Delta t_x \cdot c \quad (8.4.2-1)$$

$$x = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\Delta f'} \quad (8.4.2-2)$$

式中： x ——桩身缺陷至传感器安装点的距离 (m)；

Δt_x ——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差 (ms)；

c ——受检桩的桩身波速 (m/s)，无法确定时可用桩身波速的平均值替代；

$\Delta f'$ ——幅频信号曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差 (Hz)。

8.4.3 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、地基条件、施工情况，按本规范表 3.5.1 和表 8.4.3 所列时域信号特征或幅频信号特征进行综合分析判定。

表 8.4.3 桩身完整性判定

类别	时域信号特征	幅频信号特征
I	2L/c 时刻前无缺陷反射波，有桩底反射波	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	桩底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$ ，轻微缺陷产生的谐振峰与桩底谐振峰之间的频差 $\Delta f' > c/2L$
III	有明显缺陷反射波，其他特征介于 II 类和 IV 类之间	
IV	2L/c 时刻前出现严重缺陷反射波或周期性反射波，无桩底反射波； 或因桩身浅部严重缺陷使波形呈现低频大振幅衰减振动，无桩底反射波	缺陷谐振峰排列基本等间距，相邻频差 $\Delta f' > c/2L$ ，无桩底谐振峰； 或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谐振峰，无桩底谐振峰

注：对同一场地、地基条件相近、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，可按本场地同条件下有桩底反射波的其他桩实测信号判定桩身完整性类别。

8.4.4 采用时域信号分析判定受检桩的完整性类别时，应结合成桩工艺和地基条件区分下列情况：

- 1 混凝土灌注桩桩身截面渐变后恢复至原桩径并在该阻抗突变处的反射，或扩径突变处的一次和二次反射；
- 2 桩侧局部强土阻力引起的混凝土预制桩负向反射及其二次反射；
- 3 采用部分挤土方式沉桩的大直径开口预应力管桩，桩孔内土芯闭塞部位的负向反射及其二次反射；

4 纵向尺寸效应使混凝土桩桩身阻抗突变处的反射波幅值降低。

当信号无畸变且不能根据信号直接分析桩身完整性时，可采用实测曲线拟合法辅助判定桩身完整性或借助实测导纳值、动刚度的相对高低辅助判定桩身完整性。

8.4.5 当按本规范第 8.3.3 条第 4 款的规定操作不能识别桩身浅部阻抗变化趋势时，应在测量桩顶速度响应的同时测量锤击力，根据实测力和速度信号起始峰的比例差异大小判断桩身浅部阻抗变化程度。

8.4.6 对于嵌岩桩，桩底时域反射信号为单一反射波且与锤击脉冲信号同向时，应采取钻芯法、静载试验或高应变法核验桩端嵌岩情况。

8.4.7 预制桩在 $2L/c$ 前出现异常反射，且不能判断该反射是正常接桩反射时，可按本规范第 3.4.3 条进行验证检测。

实测信号复杂，无规律，且无法对其进行合理解释时，桩身完整性判定宜结合其他检测方法进行。

8.4.8 低应变检测报告应给出桩身完整性检测的实测信号曲线。

8.4.9 检测报告除应包括本规范第 3.5.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

- 1 桩身波速取值；
- 2 桩身完整性描述、缺陷的位置及桩身完整性类别；

3 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。

9 高 应 变 法

9.1 一 般 规 定

9.1.1 本方法适用于检测基桩的竖向抗压承载力和桩身完整性；监测预制桩打入时的桩身应力和锤击能量传递比，为选择沉桩工艺参数及桩长提供依据。对于大直径扩底桩和预估 $Q-s$ 曲线具有缓变型特征的大直径灌注桩，不宜采用本方法进行竖向抗压承载力检测。

9.1.2 进行灌注桩的竖向抗压承载力检测时，应具有现场实测经验和本地区相近条件下的可靠对比验证资料。

9.2 仪 器 设 备

9.2.1 检测仪器的主要技术性能指标不应低于现行行业标准《基桩动测仪》JG/T 3055 规定的 2 级标准。

9.2.2 锤击设备可采用筒式柴油锤、液压锤、蒸汽锤等具有导向装置的打桩机械，但不得采用导杆式柴油锤、振动锤。

9.2.3 高应变检测专用锤击设备应具有稳固的导向装置。重锤应形状对称，高径（宽）比不得小于 1。

9.2.4 当采取落锤上安装加速度传感器的方式实测锤击力时，重锤的高径（宽）比应为 1.0~1.5。

9.2.5 采用高应变法进行承载力检测时，锤的重量与单桩竖向抗压承载力特征值的比值不得小于 0.02。

9.2.6 当作为承载力检测的灌注桩桩径大于 600mm 或混凝土桩桩长大于 30m 时，尚应对桩径或桩长增加引起的桩-锤匹配能力下降进行补偿，在符合本规范第 9.2.5 条规定的前提下进一步提高检测用锤的重量。

9.2.7 桩的贯入度可采用精密水准仪等仪器测定。

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 对于不满足本规范表 3.2.5 规定的休止时间的预制桩，应根据本地区经验，合理安排复打时间，确定承载力的时间效应；

2 桩顶面应平整，桩顶高度应满足锤击装置的要求，桩锤重心应与桩顶对中，锤击装置架立应垂直；

3 对不能承受锤击的桩头应进行加固处理，混凝土桩的桩头处理应符合本规范附录 B 的规定；

4 传感器的安装应符合本规范附录 F 的规定；

5 桩头顶部应设置桩垫，桩垫可采用 10mm~30mm 厚的木板或胶合板等材料。

9.3.2 参数设定和计算，应符合下列规定：

1 采样时间间隔宜为 $50\mu\text{s}$ ~ $200\mu\text{s}$ ，信号采样点数不宜少于 1024 点；

2 传感器的设定值应按计量检定或校准结果设定；

3 自由落锤安装加速度传感器测力时，力的设定值由加速度传感器设定值与重锤质量的乘积确定；

4 测点处的桩截面尺寸应按实际测量确定；

5 测点以下桩长和截面积可采用设计文件或施工记录提供的数据作为设定值；

6 桩身材料质量密度应按表 9.3.2 取值；

表 9.3.2 桩身材料质量密度 (t/m^3)

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

7 桩身波速可结合本地经验或按同场地同类型已检桩的平均波速初步设定，现场检测完成后应按本规范第 9.4.3 条进行调整；

8 桩身材料弹性模量应按下式计算：

$$E = \rho \cdot c^2 \quad (9.3.2)$$

式中： E ——桩身材料弹性模量 (kPa)；

c ——桩身应力波传播速度 (m/s)；

ρ ——桩身材料质量密度 (t/m^3)。

9.3.3 现场检测应符合下列规定：

1 交流供电的测试系统应接地良好，检测时测试系统应处于正常状态；

2 采用自由落锤为锤击设备时，应符合重锤低击原则，最大锤击落距不宜大于 2.5m；

3 试验目的为确定预制桩打桩过程中的桩身应力、沉桩设备匹配能力和选择桩长时，应按本规范附录 G 执行；

4 现场信号采集时，应检查采集信号的质量，并根据桩顶最大动位移、贯入度、桩身最大拉应力、桩身最大压应力、缺陷程度及其发展情况等，综合确定每根受检桩记录的有效锤击信号数量；

5 发现测试波形紊乱，应分析原因；桩身有明显缺陷或缺陷程度加剧，应停止检测。

9.3.4 承载力检测时应实测桩的贯入度，单击贯入度宜为 2mm~6mm。

9.4 检测数据分析与判定

9.4.1 检测承载力时选取锤击信号，宜取锤击能量较大的击次。

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

1 传感器安装处混凝土开裂或出现严重塑性变形使力曲线最终未归零；

2 严重锤击偏心，两侧力信号幅值相差超过 1 倍；

3 四通道测试数据不全。

9.4.3 桩底反射明显时，桩身波速可根据速度波第一峰起升沿

的起点到速度反射峰起升或下降沿的起点之间的时差与已知桩长值确定（图 9.4.3）；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。

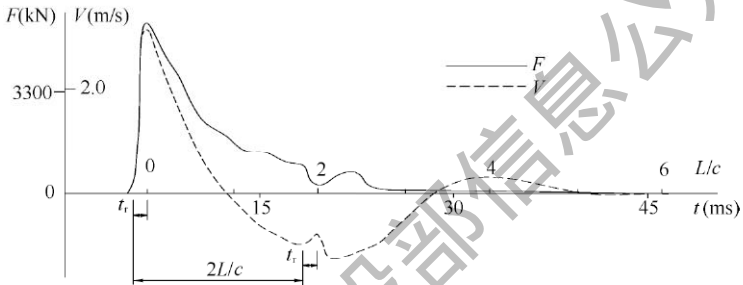


图 9.4.3 桩身波速的确定

9.4.4 桩身材料弹性模量和锤击力信号的调整应符合下列规定：

1 当测点处原设定波速随调整后的桩身波速改变时，相应的桩身材料弹性模量应按本规范式（9.3.2）重新计算；

2 对于采用应变传感器测量应变并由应变换算冲击力的方式，当原始力信号按速度单位存储时，桩身材料弹性模量调整后尚应对原始实测力值校正；

3 对于采用自由落锤安装加速度传感器实测锤击力的方式，当桩身材料弹性模量或桩身波速改变时，不得对原始实测力值进行调整，但应扣除响应传感器安装点以上的桩头惯性力影响。

9.4.5 高应变实测的力和速度信号第一峰起始段不成比例时，不得对实测力或速度信号进行调整。

9.4.6 承载力分析计算前，应结合地基条件、设计参数，对下列实测波形特征进行定性检查：

1 实测曲线特征反映出的桩承载性状；

2 桩身缺陷程度和位置，连续锤击时缺陷的扩大或逐步闭合情况。

9.4.7 出现下列情况之一时，应采用静载试验方法进一步验证：

1 桩身存在缺陷，无法判定桩的竖向承载力；

2 桩身缺陷对水平承载力有影响；
 3 触变效应的影响，预制桩在多次锤击下承载力下降；
 4 单击贯入度大，桩底同向反射强烈且反射峰较宽，侧阻力波、端阻力波反射弱，波形表现出的桩竖向承载性状明显与勘察报告中的地基条件不符合；

5 嵌岩桩桩底同向反射强烈，且在时间 $2L/c$ 后无明显端阻力反射；也可采用钻芯法核验。

9.4.8 采用凯司法判定中、小直径桩的承载力，应符合下列规定：

1 桩身材质、截面应基本均匀。

2 阻尼系数 J_c 宜根据同条件下静载试验结果校核，或应在已取得相近条件下可靠对比资料后，采用实测曲线拟合法确定 J_c 值，拟合计算的桩数不应少于检测总桩数的 30%，且不应少于 3 根。

3 在同一场地、地基条件相近和桩型及其截面积相同情况下， J_c 值的极差不宜大于平均值的 30%。

4 单桩承载力应按下列凯司法公式计算：

$$R_c = \frac{1}{2}(1 - J_c) \cdot [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] + \frac{1}{2}(1 + J_c) \cdot \left[F(t_1 + \frac{2L}{c}) - Z \cdot V(t_1 + \frac{2L}{c}) \right] \quad (9.4.8-1)$$

$$Z = \frac{E \cdot A}{c} \quad (9.4.8-2)$$

式中： R_c ——凯司法单桩承载力计算值（kN）；

J_c ——凯司法阻尼系数；

t_1 ——速度第一峰对应的时刻；

$F(t_1)$ —— t_1 时刻的锤击力（kN）；

$V(t_1)$ —— t_1 时刻的质点运动速度（m/s）；

Z ——桩身截面力学阻抗（kN·s/m）；

A ——桩身截面面积（m²）；

L ——测点下桩长（m）。

5 对于 $t_1 + 2L/c$ 时刻桩侧和桩端土阻力均已充分发挥的摩擦型桩，单桩竖向抗压承载力检测值可采用式 (9.4.8-1) 的计算值。

6 对于土阻力滞后于 $t_1 + 2L/c$ 时刻明显发挥或先于 $t_1 + 2L/c$ 时刻发挥并产生桩中上部强烈反弹这两种情况，宜分别采用下列方法对式 (9.4.8-1) 的计算值进行提高修正，得到单桩竖向抗压承载力检测值：

- 1) 将 t_1 延时，确定 R_c 的最大值；
- 2) 计入卸载回弹的土阻力，对 R_c 值进行修正。

9.4.9 采用实测曲线拟合法判定桩承载力，应符合下列规定：

1 所采用的力学模型应明确、合理，桩和土的力学模型应能分别反映桩和土的实际力学性状，模型参数的取值范围应能限定；

2 拟合分析选用的参数应在岩土工程的合理范围内；

3 曲线拟合时间段长度在 $t_1 + 2L/c$ 时刻后延续时间不应小于 20ms；对于柴油锤打桩信号，在 $t_1 + 2L/c$ 时刻后延续时间不应小于 30ms；

4 各单元所选用的土的最大弹性位移 s_q 值不应超过相应桩单元的最大计算位移值；

5 拟合完成时，土阻力响应区段的计算曲线与实测曲线应吻合，其他区段的曲线应基本吻合；

6 贯入度的计算值应与实测值接近。

9.4.10 单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应按本方法得到的单桩竖向抗压承载力检测值的 50% 取值。

9.4.11 桩身完整性可采用下列方法进行判定：

1 采用实测曲线拟合法判定时，拟合所选用的桩、土参数应符合本规范第 9.4.9 条第 1~2 款的规定；根据桩的成桩工艺，拟合时可采用桩身阻抗拟合或桩身裂隙以及混凝土预制桩的接桩缝隙拟合；

2 等截面桩且缺陷深度 x 以上部位的土阻力 R_x 未出现卸载

回弹时，桩身完整性系数 β 和桩身缺陷位置 x 应分别按下列公式计算，桩身完整性可按表 9.4.11 并结合经验判定。

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

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

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 (图 9.4.11)；

β ——桩身完整性系数，其值等于缺陷 x 处桩身截面阻抗与 x 以上桩身截面阻抗的比值。

表 9.4.11 桩身完整性判定

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

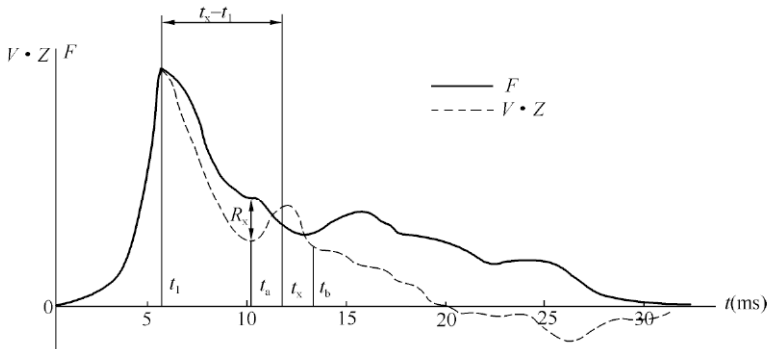


图 9.4.11 桩身完整性系数计算

9.4.12 出现下列情况之一时，桩身完整性宜按地基条件和施工工艺，结合实测曲线拟合法或其他检测方法综合判定：

- 1 桩身有扩径；
- 2 混凝土灌注桩桩身截面渐变或多变；
- 3 力和速度曲线在第一峰附近不成比例，桩身浅部有缺陷；
- 4 锤击力波上升缓慢；
- 5 本规范第 9.4.11 条第 2 款的情况：缺陷深度 x 以上部位的土阻力 R_x 出现卸载回弹。

9.4.13 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 的公式进行计算。

9.4.14 高应变检测报告应给出实测的力与速度信号曲线。

9.4.15 检测报告除应包括本规范第 3.5.3 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

- 1 计算中实际采用的桩身波速值和 J_s 值；
- 2 实测曲线拟合法所选用的各单元桩和土的模型参数、拟合曲线、土阻力沿桩身分布图；
- 3 实测贯入度；
- 4 试打桩和打桩监控所采用的桩锤型号、桩垫类型，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。

10 声波透射法

10.1 一般规定

10.1.1 本方法适用于混凝土灌注桩的桩身完整性检测，判定桩身缺陷的位置、范围和程度。对于桩径小于 0.6m 的桩，不宜采用本方法进行桩身完整性检测。

10.1.2 当出现下列情况之一时，不得采用本方法对整桩的桩身完整性进行评定：

- 1 声测管未沿桩身通长配置；
- 2 声测管堵塞导致检测数据不全；
- 3 声测管埋设数量不符合本规范第 10.3.2 条的规定。

10.2 仪器设备

10.2.1 声波发射与接收换能器应符合下列规定：

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

10.2.2 声波检测仪应具有下列功能：

- 1 实时显示和记录接收信号时程曲线以及频率测量或频谱分析；
- 2 最小采样时间间隔应小于等于 $0.5\mu\text{s}$ ，系统频带宽度应为 1kHz~200kHz，声波幅值测量相对误差应小于 5%，系统最大动态范围不得小于 100dB；
- 3 声波发射脉冲应为阶跃或矩形脉冲，电压幅值应为 200V~1000V；

- 4 首波实时显示；
- 5 自动记录声波发射与接收换能器位置。

10.3 声测管埋设

10.3.1 声测管埋设应符合下列规定：

- 1 声测管内径应大于换能器外径；
- 2 声测管应有足够的径向刚度，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，管口应高出混凝土顶面 100mm 以上；
- 4 浇灌混凝土前应将声测管有效固定。

10.3.2 声测管应沿钢筋笼内侧呈对称形状布置（图 10.3.2），并依次编号。声测管埋设数量应符合下列规定：

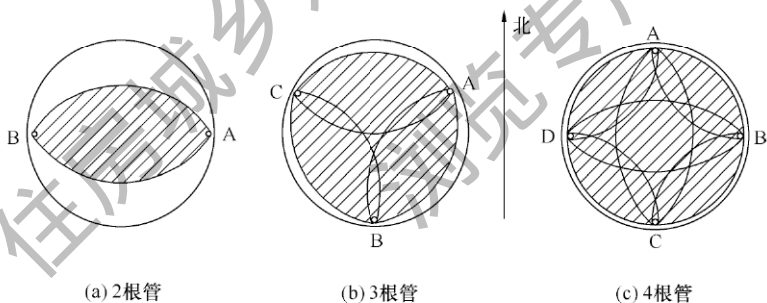


图 10.3.2 声测管布置示意图

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

- 1 桩径小于或等于 800mm 时，不得少于 2 根声测管；
- 2 桩径大于 800mm 且小于或等于 1600mm 时，不得少于 3 根声测管；
- 3 桩径大于 1600mm 时，不得少于 4 根声测管；

4 桩径大于 2500mm 时，宜增加预埋声测管数量。

10.4 现场检测

10.4.1 现场检测开始的时间除应符合本规范第 3.2.5 条第 1 款的规定外，尚应进行下列准备工作：

- 1 采用率定法确定仪器系统延迟时间；
- 2 计算声测管及耦合水层声时修正值；
- 3 在桩顶测量各声测管外壁间净距离；
- 4 将各声测管内注满清水，检查声测管畅通情况；换能器应能在声测管全程范围内正常升降。

10.4.2 现场平测和斜测应符合下列规定：

1 发射与接收声波换能器应通过深度标志分别置于两根声测管中；

2 平测时，声波发射与接收声波换能器应始终保持相同深度（图 10.4.2a）；斜测时，声波发射与接收换能器应始终保持固定高差（图 10.4.2b），且两个换能器中点连线的水平夹角不应大于 30° ；

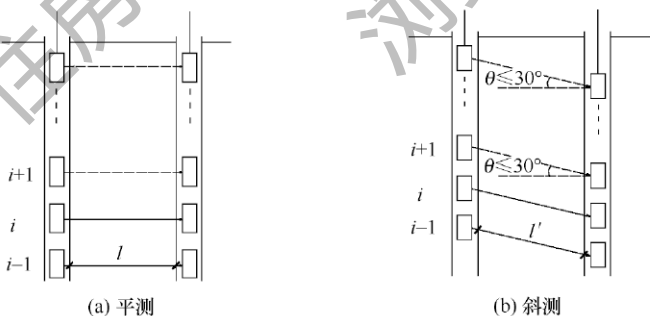


图 10.4.2 平测、斜测示意图

3 声波发射与接收换能器应从桩底向上同步提升，声测线间距不应大于 100mm；提升过程中，应校核换能器的深度和校正换能器的高差，并确保测试波形的稳定性，提升速度不宜大于 0.5m/s；

4 应实时显示、记录每条声测线的信号时程曲线，并读取首波声时、幅值；当需要采用信号主频值作为异常声测线辅助判据时，尚应读取信号的主频值；保存检测数据的同时，应保存波列图信息；

5 同一检测剖面的声测线间距、声波发射电压和仪器设置参数应保持不变。

10.4.3 在桩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 10.4.3）、交叉斜测、CT 影像技术等方式，进行复测和加密测试，确定缺陷的位置和空间分布范围，排除因声测管耦合不良等非桩身缺陷因素导致的异常声测线。采用扇形扫测时，两个换能器中点连线的水平夹角不应大于 40° 。

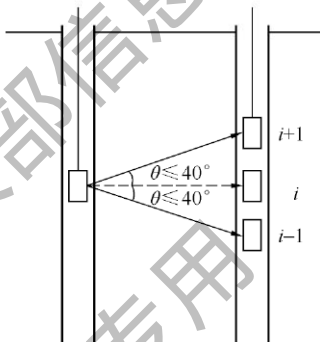


图 10.4.3 扇形扫测示意图

10.5 检测数据分析与判定

10.5.1 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无法进行合理修正时，检测数据不得作为评价桩身完整性的依据。

10.5.2 平测时各声测线的声时、声速、波幅及主频，应根据现场检测数据分别按下列公式计算，并绘制声速-深度曲线和波幅-深度曲线，也可绘制辅助的主频-深度曲线以及能量-深度曲线。

$$t_{ci}(j) = t_i(j) - t_0 - t' \quad (10.5.2-1)$$

$$v_i(j) = \frac{l'_i(j)}{t_{ci}(j)} \quad (10.5.2-2)$$

$$A_{pr}(j) = 20 \lg \frac{a_i(j)}{a_0} \quad (10.5.2-3)$$

$$f_i(j) = \frac{1000}{T_i(j)} \quad (10.5.2-4)$$

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

j ——检测剖面编号，按本规范第 10.3.2 条编组；

$t_{\alpha}(j)$ ——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' ——声测管及耦合水层声时修正值 (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)，当两声测管平行时，可取为两声测管管口的外壁间净距离；斜测时， $l'_i(j)$ 为声波发射和接收换能器各自中点对应的声测管外壁处之间的净距离，可由桩顶面两声测管的外壁间净距离和发射接收声波换能器的高差计算得到；

$v_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线声速 (km/s)；

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

$a_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线信号首波幅值 (V)；

a_0 ——零分贝信号幅值 (V)；

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

$T_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线信号周期 (μs)。

10.5.3 当采用平测或斜测时，第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值应按下列方法确定：

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

$$\begin{aligned} v_1(j) &\geq v_2(j) \geq \cdots v_k'(j) \geq \cdots v_{i-1}(j) \geq v_i(j) \geq v_{i+1}(j) \\ &\geq \cdots v_{n-k}(j) \geq \cdots v_{n-1}(j) \geq v_n(j) \end{aligned} \quad (10.5.3-1)$$

式中： $v_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线声速， $i = 1, 2, \dots, n$ ；
 n ——第 j 检测剖面的声测线总数；
 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 $v_i(j)$ 中 k 个最小数值和 k' 个最大数值后的其余数据，按下列公式进行统计计算：

$$v_{01}(j) = v_m(j) - \lambda \cdot s_x(j) \quad (10.5.3-2)$$

$$v_{02}(j) = v_m(j) + \lambda \cdot s_x(j) \quad (10.5.3-3)$$

$$v_m(j) = \frac{1}{n-k-k'} \sum_{i=k'+1}^{n-k} v_i(j) \quad (10.5.3-4)$$

$$s_x(j) = \sqrt{\frac{1}{n-k-k'-1} \sum_{i=k'+1}^{n-k} (v_i(j) - v_m(j))^2} \quad (10.5.3-5)$$

$$C_v(j) = \frac{s_x(j)}{v_m(j)} \quad (10.5.3-6)$$

式中： $v_{01}(j)$ ——第 j 剖面的声速异常小值判断值；
 $v_{02}(j)$ ——第 j 剖面的声速异常大值判断值；
 $v_m(j)$ —— $(n-k-k')$ 个数据的平均值；
 $s_x(j)$ —— $(n-k-k')$ 个数据的标准差；
 $C_v(j)$ —— $(n-k-k')$ 个数据的变异系数；
 λ ——由表 10.5.3 查得的与 $(n-k-k')$ 相对应的系数。

表 10.5.3 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

续表 10.5.3

$n-k-k'$	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 $v_{n-k}(j)$ 与异常小值判断值 $v_{01}(j)$ 进行比较，当 $v_{n-k}(j)$ 小于等于 $v_{01}(j)$ 时剔除最小数据；将最大数据 $v_{k+1}(j)$ 与异常大值判断值 $v_{02}(j)$ 进行比较，当 $v_{k+1}(j)$ 大于等于 $v_{02}(j)$ 时剔除最大数据；每次剔除一个数据，对剩余数据构成的数列，重复式 (10.5.3-2) ~ (10.5.3-5) 的计算步骤，直到下列两式成立：

$$v_{n-k}(j) > v_{01}(j) \quad (10.5.3-7)$$

$$v_{k+1}(j) < v_{02}(j) \quad (10.5.3-8)$$

4 第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值，应按下式

计算：

$$v_0(j) = \begin{cases} v_m(j)(1 - 0.015\lambda) & \text{当 } C_v(j) < 0.015 \text{ 时} \\ v_{01}(j) & \text{当 } 0.015 \leq C_v(j) \leq 0.045 \text{ 时} \\ v_m(j)(1 - 0.045\lambda) & \text{当 } C_v(j) > 0.045 \text{ 时} \end{cases} \quad (10.5.3-9)$$

式中： $v_0(j)$ ——第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值。

10.5.4 受检桩的声速异常判断临界值，应按下列方法确定：

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

2 当 $v_0(j)$ 大于 v_L 且小于 v_p 时

$$v_c(j) = v_0(j) \quad (10.5.4)$$

式中： $v_c(j)$ ——第 j 检测剖面的声速异常判断临界值；

$v_0(j)$ ——第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值。

3 当 $v_0(j)$ 小于等于 v_L 或 $v_0(j)$ 大于等于 v_p 时，应分析原因；第 j 检测剖面的声速异常判断临界值可按下列情况的声速异常判断临界值综合确定：

- 1) 同一根桩的其他检测剖面的声速异常判断临界值；
- 2) 与受检桩属同一工程、相同桩型且混凝土质量较稳定的其他桩的声速异常判断临界值。

4 对只有单个检测剖面的桩，其声速异常判断临界值等于检测剖面声速异常判断临界值；对具有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，作为该桩各声测线的声速异常判断临界值。

10.5.5 声速 $v_i(j)$ 异常应按下列式判定：

$$v_i(j) \leq v_c \quad (10.5.5)$$

10.5.6 波幅异常判断的临界值，应按下列公式计算：

$$A_m(j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{pj}(j) \quad (10.5.6-1)$$

$$A_c(j) = A_m(j) - 6 \quad (10.5.6-2)$$

波幅 $A_{pi}(j)$ 异常应按下式判定:

$$A_{pi}(j) < A_c(j) \quad (10.5.6-3)$$

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

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

$A_c(j)$ ——第 j 检测剖面波幅异常判断的临界值 (dB);

n ——第 j 检测剖面的声测线总数。

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

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

10.5.9 采用斜率法作为辅助异常声测线判据时, 声时-深度曲线上相邻两点的斜率与声时差的乘积 PSD 值应按下式计算。当 PSD 值在某深度处突变时, 宜结合波幅变化情况进行异常声测线判定。

$$PSD(j, i) = \frac{[t_{ci}(j) - t_{ci-1}(j)]^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (10.5.9)$$

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 ($\mu s^2/m$);

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

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

z_i ——第 i 声测线深度 (m);

z_{i-1} ——第 $i-1$ 声测线深度 (m)。

10.5.10 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。

10.5.11 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 和表 10.5.11 所列特征进行综合判定。

表 10.5.11 桩身完整性判定

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50%
II	存在声学参数轻微异常、波形轻微畸变的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,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50%; 存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在任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50%
III	存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,但在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的50%; 存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在任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50%; 存在声学参数严重异常、波形严重畸变或声速低于低限值的异常声测线,异常声测线在任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50%
IV	存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,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50%; 存在声学参数严重异常、波形严重畸变或声速低于低限值的异常声测线,异常声测线在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50%

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。

10.5.12 检测报告除应包括本规范第3.5.3条规定的内容外,尚应包括下列内容:

- 1 声测管布置图及声测剖面编号;
- 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、*PSD* 值或接收信号能量进行辅助分析判定时，应绘制相应的主频-深度曲线、*PSD* 曲线或能量-深度曲线；

4 各检测剖面实测波列图；

5 对加密测试、扇形扫测的有关情况说明；

6 当对管距进行修正时，应注明进行管距修正的范围及方法。

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 桩身内力测试宜根据测试目的、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。在地面处或地面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个~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根或1根以上的测管，测管内宜每隔1m设测标或测量断面一个。

A.0.5 应变传感器安装，可根据不同桩型选择下列方式：

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200M Ω 。

A.0.7 应变测量所用的仪器，宜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，并采用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 带有接长杆的弦式钢筋计宜焊接在主筋上，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。测管安装可根据下列情况采用不同的方法：

1 对钢管桩，可通过安装在测管上的测标与钢管桩的焊接，将测管固定在桩壁内侧；

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，用含膨润土的水泥浆充填测管与桩壁间的空隙；

3 对灌注桩，可在浇筑混凝土前将测管绑扎在主筋上，并应采取防止钢筋笼扭曲的措施。

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，应按下列公式对实测应变值进行导线电阻修正：

$$\text{采用半桥测量时：}\epsilon = \epsilon' \cdot \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (\text{A. 0. 13-1})$$

$$\text{采用全桥测量时：}\epsilon = \epsilon' \cdot \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \quad (\text{A. 0. 13-2})$$

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，应根据率定系数将钢筋计的实

测频率换算成力值，再将力值换算成与钢筋计断面处混凝土应变相等的钢筋应变变量。

3 采用滑动测微计测量时，应按下列公式计算应变值：

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

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

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 数据处理时，应删除异常测点数据，求出同一断面有效测点的应变平均值，并按按下式计算该断面处的桩身轴力：

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

式中： Q_i ——桩身第 i 断面处轴力 (kN)；

$\bar{\epsilon}_i$ ——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 (m^2)。

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

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

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

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 (m^2)。

6 桩身第 i 断面处的钢筋应力应按下列式计算:

$$\sigma_{s_i} = E_s \cdot \epsilon_{s_i} \quad (\text{A. 0. 13-8})$$

式中: σ_{s_i} ——桩身第 i 断面处的钢筋应力 (kPa);

E_s ——钢筋弹性模量 (kPa);

ϵ_{s_i} ——桩身第 i 断面处的钢筋应变。

A. 0. 14 指定桩身断面的沉降以及两个指定桩身断面之间的沉降差, 可采用位移杆测量。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** 混凝土桩应凿掉桩顶部的破碎层以及软弱或不密实的混凝土。
- B.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。
- 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。
- B.0.4** 距桩顶 1 倍桩径范围内，宜用厚度为 3mm~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 1 层~2 层，间距 60mm~100mm。
- B.0.5** 桩头混凝土强度等级宜比桩身混凝土提高 1 级~2 级，且不得低于 C30。
- B.0.6** 高应变法检测的桩头测点处截面尺寸应与原桩身截面尺寸相同。
- B.0.7** 桩顶应用水平尺找平。

附录 C 静载试验记录表

C.0.1 单桩竖向抗压静载试验的现场检测数据宜按表 C.0.1 的格式记录。

表 C.0.1 单桩竖向抗压静载试验记录表

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				本级沉降 (mm)	累计沉降 (mm)	备注
				1号	2号	3号	4号			

检测单位：

校核：

记录：

C.0.2 单桩水平静载试验的现场检测数据宜按表 C.0.2 的格式记录。

表 C.0.2 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 (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			

检测单位：

校核：

记录：

附录 D 钻芯法检测记录表

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

表 D.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 编号	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：	

表 D.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：

表 D.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	芯样强度深度(m)	备注
				□ □ □			

编制：

校核：

注：□代表芯样试件取样位置。

附录 E 芯样试件加工和测量

E.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。

E.0.2 锯切后的芯样试件不满足平整度及垂直度要求时，应选用下列方法进行端面加工：

1 在磨平机上磨平；

2 用水泥砂浆、水泥净浆、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的补平厚度不宜大于 5mm，硫磺胶泥或硫磺的补平厚度不宜大于 1.5mm。

E.0.3 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。

E.0.4 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观直径偏小的部位的直径，取其两次测量的算术平均值，精确至 0.5mm；

2 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。

E.0.5 芯样试件出现下列情况时，不得用作抗压或单轴抗压强度试验：

1 试件有裂缝或有其他较大缺陷时；

2 混凝土芯样试件内含有钢筋时；

3 混凝土芯样试件高度小于 0.95 d 或大于 1.05 d 时（ d 为芯样试件平均直径）；

- 4 岩石芯样试件高度小于 $2.0d$ 或大于 $2.5d$ 时；
- 5 沿试件高度任一直径与平均直径相差达 2mm 以上时；
- 6 试件端面的不平整度在 100mm 长度内超过 0.1mm 时；
- 7 试件端面与轴线的不垂直度超过 2° 时；
- 8 表观混凝土粗骨料最大粒径大于芯样试件平均直径 0.5 倍时。

附录 F 高应变法传感器安装

F.0.1 高应变法检测时的冲击响应可采用对称安装在桩顶下桩侧表面的加速度传感器测量；冲击力可按下列方式测量：

1 采用对称安装在桩顶下桩侧表面的应变传感器测量测点处的应变，并将应变换算成冲击力；

2 在自由落锤锤体顶面下对称安装加速度传感器直接测量冲击力。

F.0.2 在桩顶下桩侧表面安装应变传感器和加速度传感器（图 F.0.1a~图 F.0.1c）时，应符合下列规定：

1 应变传感器和加速度传感器，宜分别对称安装在距桩顶不小于 $2D$ 或 $2B$ 的桩侧表面处；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 D ；传感器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；

2 应变传感器与加速度传感器的中心应位于同一水平线上；同侧的应变传感器和加速度传感器间的水平距离不宜大于 80mm ；

3 各传感器的安装面材质应均匀、密实、平整；当传感器的安装面不平整时，可采用磨光机将其磨平；

4 安装传感器的螺栓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，传感器的敏感轴应与桩中心轴平行；锤击时传感器不得产生滑动；

5 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不应过大，锤击时传感器的可测轴向变形余量的绝对值应符合下列规定：

1) 混凝土桩不得小于 $1000\mu\epsilon$ ；

2) 钢桩不得小于 $1500\mu\epsilon$ 。

F.0.3 自由落锤锤体上安装加速度传感器（图 F.0.1d）时，除

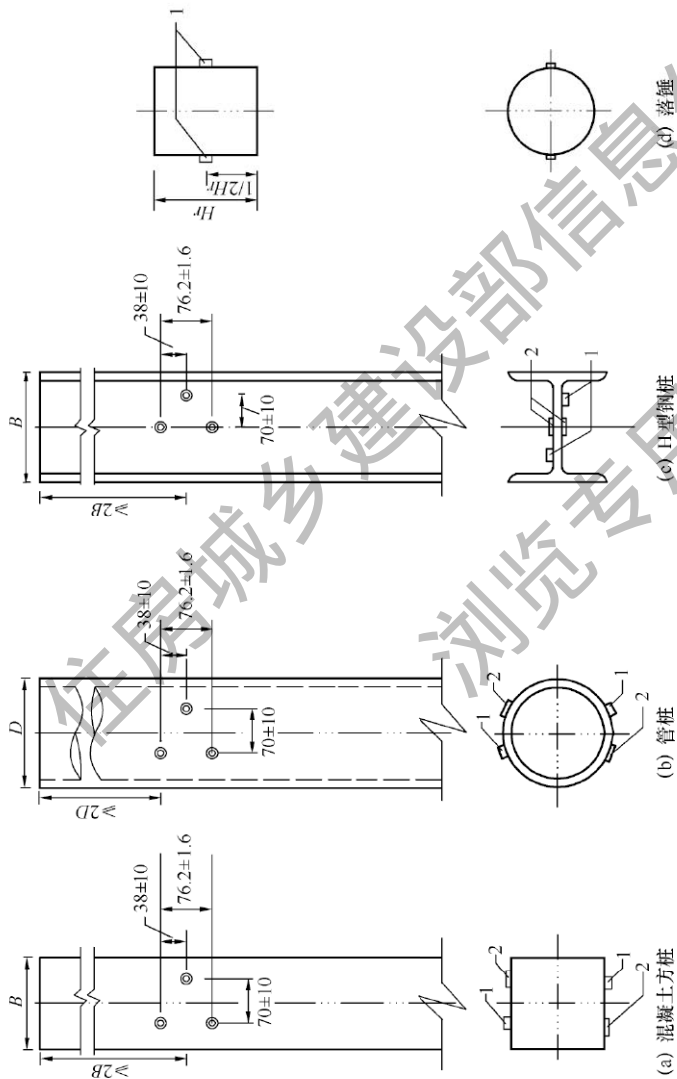


图 F.0.1 传感器安装示意图

注：图中尺寸单位为 mm。

1—加速度传感器；2—应变传感器；B—矩形桩的边宽；D—桩身外径；H—落锤锤体高度

应符合本规范第 F.0.2 条的有关规定外，尚应保证安装在桩侧表面的加速度传感器距桩顶的距离，不小于下列数值中的较大者：

- 1 $0.4H_r$ ；
- 2 D 或 B 。

F.0.4 当连续锤击监测时，应将传感器连接电缆有效固定。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

附录 G 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。

G.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。

G.1.3 采用试打桩预估桩的承载力应符合下列规定：

- 1 应通过试打桩复打试验确定桩的承载力恢复系数；
- 2 复打至初打的休止时间应符合本规范表 3.2.5 的规定；
- 3 试打桩数量不应少于 3 根。

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 监测应包括桩身锤击拉应力和锤击压应力两部分。

G.2.2 桩身锤击应力最大值监测宜符合下列规定：

- 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。

G.2.3 传感器安装点以下深度的桩身锤击拉应力应按下式计算：

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

式中： σ_t ——深度 x 处的桩身锤击拉应力 (kPa)；
 x ——传感器安装点至计算点的深度 (m)；
 A ——桩身截面面积 (m^2)。

G. 2. 4 最大桩身锤击拉应力出现的深度，应与式 (G. 2. 3) 确定的最大桩身锤击拉应力相对应。

G. 2. 5 最大桩身锤击压应力可按下式计算：

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{A} \quad (\text{G. 2. 5})$$

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

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：

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

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额定能量的比值确定。

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，在正常情况均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

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

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用