

上海市工程建设规范

建筑基桩检测技术规范

Technical specification for testing of building foundation piles

DGJ08 - 218 - 2003

J10287-2003

2003 上海



上海市工程建设规范

建筑基桩检测技术规程

Technical specification for testing of building foundation piles

DGJ08 - 218 - 2003

主编单位：上海市建筑科学研究院

批准部门：上海市建设和管理委员会

施行日期：2003年12月1日

2003 上海

上海市建设和管理委员会

沪建建[2003]709 号

关于批准《建筑基桩检测技术规程》为 上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

由上海市建筑科学研究院主编的《建筑基桩检测技术规程》经有关专家审查和我委审核，现批准为上海市工程建设规范，其中 3.0.1,4.3.2,7.2.4,7.3.7,7.4.3,7.4.10,8.1.5 为强制性条文。该规程统一编号为 DGJ08-218-2003，自 2003 年 12 月 1 日起实施，原《钻孔灌注桩动力测试技术规程》（DBJ08-218-96）同时废止。

该规程由上海市建设工程标准定额管理总站负责组织实施，上海科学市建筑研究院负责解释。

上海市建设和管理委员会

二〇〇三年九月十二日

前 言

本规程是根据上海市建设和管理委员会沪建建(2000)第0214号文的要求,对上海市工程建设规范《钻孔灌注桩动力测试技术规程》DBJ08-218-96进行修编,上海市建筑科学研究院会同有关单位在修编的过程中,认真总结时间经验,以多种方式广泛征求了本市有关单位和专家的意见,同时增编了其他各种有关单桩实验方法,形成了一本较完整的桩基础检测的地方标准,最后由上海市建设和管理委员会科学技术委员会组织有关专家审查定稿,更名为《建筑基桩检测技术规程》。

本规程对上海地区建筑工程的基桩质量提供了各种基本检测方法,并对其评价作了系统、详细的规定,对确保基桩的质量有着十分重要的意义。

本规程共分十章,主要内容包括:总则、术语、符号、基本规定、单桩竖向抗压静载荷实验、单桩竖向抗拔静载荷实验、单桩水平静载荷实验、高应变法、低应变法、超声波透射法和钻孔取芯法等。

各单位在执行本规程的过程中,请注意总结经验,积累资料,随时将有关意见或建议,函寄至上海市建筑科学研究院(地址:宛平南路75号,邮编:200032),以便今后修订时参考。

主编单位:上海市建筑科学研究院

参编单位:上海港湾工程设计研究院

同济大学

上海市建设工程质量检测中心

申元岩土工程有限公司

上海岩土工程勘察设计研究院

上海市建工设计研究院

上海新地海洋工程技术有限公司

上海市岩土工程检测中心

主要起草人:季沧江 朱光裕 祝龙根 顾家杨 林维正
缪群 周炜 张林海 侯瑜玉 徐尚恺
魏汝南 张忠良 张海霞 吴庭翔 姚建阳
杨世如 吕东辉 刘航

上海市建设工程标准定额管理站

二〇〇三年六月

1 总 则

- 1.0.1 为确保建筑工程基桩的质量并为工程设计及验收提供可靠的依据,特制订本规程。
- 1.0.2 本规程适用于在本市建筑工程中应用的各种混凝土预制桩、灌注桩和钢桩的质量检测和评价。
- 1.0.3 基桩检测的质量评价必须根据实测实验结果,在考虑各种因素,影响的基础上综合分析判定,切实做到技术先进、安全适用、经济合理、评价准确。
- 1.0.4 建筑基桩质量检测除应执行本规程外,尚应符合国家和本市现行有关强制性标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 基桩

桩基础中的单桩。

2.1.2 桩身完整性

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 静载实验

按桩的使用功能，分别在桩顶逐级施加轴向压力、轴向上拔力或在桩基承台底面标高一致处施加水平力，观测桩的相应检测点随时间产生的沉降、上拔位移或水平位移，判定相应的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力及单桩水平承载力的实验方法。

2.1.4 高应变法

在桩顶沿轴向施加一冲击力，使桩产生足够的贯入度，实测由此产生的桩身质点应力和加速度的响应，通过波动理论分析，判定单桩竖向抗压承载力及桩身完整性的检测方法。

2.1.5 低应变法

在桩顶施加低能量荷载，实测桩顶速度（或同时实测力）的响应，通过时域和频域分析，判定桩身的完整性的检测方法。

2.1.6 超声波透射法

通过实测超声波在混凝土介质中传播时的声速、波幅等参数的变化，判定桩身混凝土是否存在缺陷的方法。

2.1.7 钻孔取芯法

通过钻取桩身芯样，检测桩长、桩身混凝土强度、密实性和连续性、桩底沉渣厚度判定桩身混凝土是否存在缺陷的方法。

2.2 符号

2.2.1 几何参数

A----桩身截面积

D----桩身直径

d----芯样试件平均直径

d_1 ----超声波透射法中预埋声测管外径

d_2 ----超声波透射法中预埋声测管内径

H----超声波透射法中测点与桩顶的距离

(h_i-h_{i-1}) ---- 超声波透射法中相邻两测点之间的深度差

L----完整桩的桩长

l_i ----超声波透射法中测点*i*处二根声测管之间的净距

L_{ri} ----第*i*根桩桩身缺陷处距桩顶的距离

X----传感器安装截面位置到缺陷处的距离

2. 2. 2 抗力和材料性能

C----桩身纵向应力波传播的速度（简称纵波波速），低应变机械阻抗法中表示振动波在桩中纵波传播速度；超声波透射法中表示声波在混凝土灌注桩中传播的速度；

C_i ----第*i*根桩的桩身纵波波速

\bar{C} ----*n* 根桩的平均纵波波速

C_g ----预埋声测管材料声速

C_w ----水的声速

E----桩身材料的弹性模量

f_{cu} ----混凝土芯样试件抗压强度

m_x ----超声波透射法中测点处混凝土声学参数的平均值

R_i ----第*i*根静载试桩竖向抗压极限承载力实测值

R_k ----单桩竖向抗压极限承载力的标准值

R_m ---- n 根静载试桩单桩竖向抗压极限承载力实测值的平均值

R_{min} ---- n 根静载试桩单桩竖向抗压极限承载力实测值的最小值

ΔR ----缺陷以上部位土阻力的估计值

R_s ----由凯司法判定的单桩竖向抗压承载力

X_i ----超声波透射法中第 i 点混凝土声学参数测量值

X_0 ----超声波透射法中计算出混凝土声学参数异常情况判断值

Z ----桩身截面力学阻抗，在超声波透射法中表示相邻测点的斜率和声时差的乘积

ρ ----桩身材料质量密度

2. 2. 3 作用与作用效应

F ----高应变动测法中的锤击力，低应变机械阻抗法中表示桩顶的作用力

H_0 ----单桩水平静载荷实验中作用于桩身的水平力

K_d ----低应变机械阻抗法中实测动刚度

N ----低应变机械阻抗法中实测导纳几何平均值

P ----低应变机械阻抗法中导纳曲线的极小值

Q ----单桩竖向抗压静荷载实验中施加于桩顶的竖向荷载，低应变机械阻抗法中导纳曲线的极大值

S ----桩顶沉降量

U ----单桩竖向抗拔实验中施加于桩顶的竖向上拔荷载

V ----高应变动测法中质点的运动速度，低应变机械阻抗法中，桩顶质

点的振动速度

$|V/F|_m$ ----低应变机械阻抗法中导纳曲线初始直线部分 m 处的导纳

Y_0 ----单桩水平静载试验中的水平位移

Δ ----单桩竖向抗拔试验中桩顶上拔位移

σ_g ----钢筋应力

2. 2. 4 其他

A_i ----超声波透射法中第 i 点处的波幅

C_x ----离差系数

f ----低应变机械阻抗法中的激振频率

Δf ----低应变机械阻抗法中导纳曲线两个相邻波峰（或波谷）之间的频差，低应变弹性波法中频域分析时完整桩相邻波峰之间的频差

Δf_{ri} ----缺陷桩相邻波峰之间的频差

g ----重力加速度

J_c ----凯司阻尼系数

S_x ----标准差

t ----桩底反射波到达桩顶的时间

t_1 ----速度波第一峰值对应的时间

t_{ri} ----第 i 个缺陷的反射波到达桩顶的时间

t_x ----速度波中的缺陷的发射波对应的时刻

t_i ----超声波透射法中测点 i 处的原始声时值

t_0 ----超声波透射法中仪器设备的声时初读数

t_{00} ----超声波透射法中声时初读数

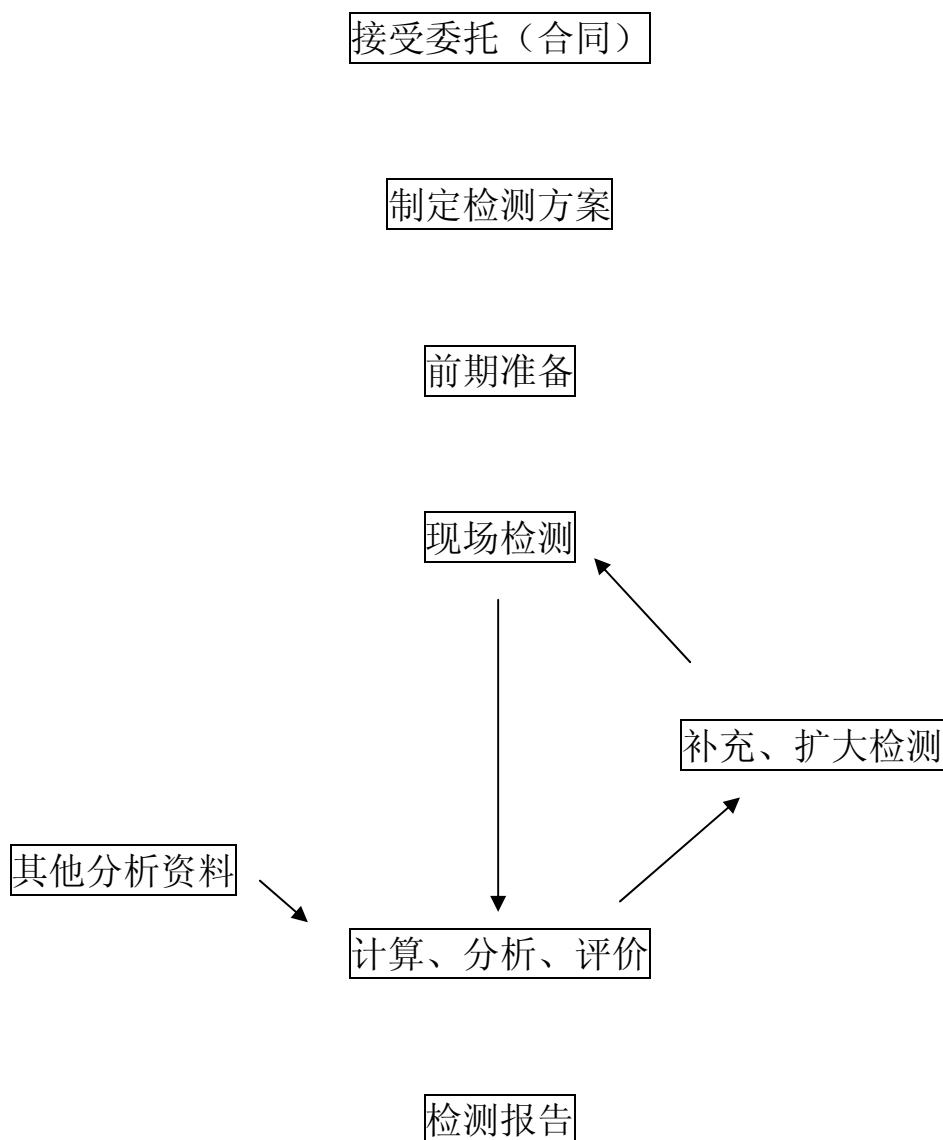
β ----高应变动测法中的桩身完整性系数

ξ ----折减系数

3 基本规定

3.0.1 工程桩应进行单桩承载力和桩身完整性检测

3.0.2 检测工作的程序，应按下列框图进行：



3.0.3 试验使用的量测仪表，其精度必须满足试验要求，应每年经国家法定计量单位进行检定并开具合格证，检测用的计量器具必须在

有效计量检定周期内。

3.0.4 检测方法应根据各种方法的特点和适用范围，综合考虑地质条件、施工质量的可靠性等因素进行合理选择；单桩承载力和桩身完整性检测的受检桩，应有足够的代表性，成（沉）桩工艺和质量检测标准应与工程桩一致。

3.0.5 单桩竖向抗压承载力检测可采用静荷载试验法或高应变动测法。

3.0.6 在进行单桩承载力检测时，预制桩在成桩后到进行试验时的间歇时间（休止期）不应少于桩周土体强度恢复或基本恢复的时间，持力层为粘性土，应为 28d 以上，砂质粉土、砂性土宜为 14d 以上，灌注桩应满足桩身混凝土养护所需要的时间及桩周土体强度恢复需要的时间，宜为成桩后 28d；桩身完整性检测时，休止期可以适当缩短，但灌注桩不得少于 14d。

3.0.7 单桩完整性检测可采用低应变法、高应变法、超声波透射法、钻孔取芯法，宜采用多种方法同时检测综合分析后，按表 3.0.7 规定进行完整性分类，对每根被检桩的完整性作出评价。

表 3.0.7 桩身完整性判定表

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

3.0.8 单桩承载力检测应明确给出每根桩承载力的检测值，据此并结合整个工程桩身完整性检测的结果，给出该单位工程同一条件下的单桩极限承载力标准值是否满足设计要求的结论。

3.0.9 当抽样检测中发现承载力不满足设计要求或 III、IV 类桩比例较大时，应分别按本规程第 4.4.3 条、第 8.1.4 条有关规定进行复检；对 III 类桩应进一步检测，核实单桩承载力；对 IV 类桩应进行工程处理；事故工程的单桩承载力验收性检测时，应在桩身完整性检测分类的基础上进行，并综合评价。

3. 0. 10 检测报告应包含以下内容：

- 1 工程名称和地点，建设、勘察、设计、监理、施工单位名称；基础和上部的结构型式及层数；设计要求；检测目的；被检桩的数量；成（沉）桩日期及检测日期；
- 2 地质条件描述，受检桩的持力层及桩侧土层分布柱状图、静探曲线及物理力学参数；
- 3 检测应用的标准；
- 4 受检桩抽检原则及抽检比例、受检桩的桩号、桩位分布图；
- 5 受检桩施工概况：对于灌注桩应提供成桩方法，每根桩的充盈系数等原始数据，静载试桩的成孔质量检测曲线；对于预制桩则应提供沉桩的锤重（或压机型号）、最后 10 击贯入度（或最后的压桩力）；
- 6 仪器设备名称、型号；标定日期及证书号；安装位置及数量；
- 7 检测方法和原理、计算公式、检测数据、各桩的实测与计算分析曲线；
- 8 检测结论以及责任人签名、单位公章。

3. 0. 11 检测报告应文字简练、用词规范；结论应科学、严谨、准确；一切应以试验数据为基础，不得将实测曲线外推确定的承载力作为检测结论。

3. 0. 12 检测机构必须具有基桩检测的资质，并通过计量认证；检测人员应经过培训上岗，对个人资质有要求的检测项目，应持有相应的资质证书。

4 单桩竖向抗压静载荷试验

4. 1 一般规定

4. 1. 1 本试验方法是确定单桩竖向抗压承载力，当埋设有桩身应力、应变、桩底反力测量传感器或位移测量杆时，可测定桩周各土层的侧摩阻力、端阻力或截面的沉降量。

4. 1. 2 为提供设计依据的试验桩，应加载至地基土破坏；为工程验收而进行抽样检测的试验桩，最大加载量不应少于单桩竖向抗压承载力设计值的 1.6 倍。

4. 1. 3 抽样数量：在本规程第 4. 4. 3 条规定的条件下，单位工程内同一条件下试桩数量不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根，工程总桩数在 50 根以内时，不应少于 2 根；在其他条件下，采用静载荷试验确定单桩抗压承载力时，检测数量宜按本条文执行。

4. 2 仪器设备及安装

4. 2. 1 试验宜采用油压千斤顶加载，当采用两台以上千斤顶加载时，其型号、规格应该一致，所有千斤顶应并联同步工作，其合力中心应与桩的中轴线重合；加载反力装置可根据现场条件，选用锚桩横梁反力装置、压重平台反力装置或锚桩压重联合反力装置（图 4. 2. 1），所采用的反力装置提供的反力不应小于预估最大荷载的 1.2 倍，并应分别验算各部件的结构强度和变形；在压重平台反力装置中，应确保消除压重平台对试验的影响，压重施加于地基土的压应力不应超过地基土极限承载力标准值的 0.6 倍，压重平台的支墩与试桩和基准桩的净距应足够大，有条件时，宜利用工程桩作为堆载支点。

图 4. 2. 1 单桩竖向抗压静载试验装置

(a) 锚桩横梁反力装置

(b) 压重平台反力装置

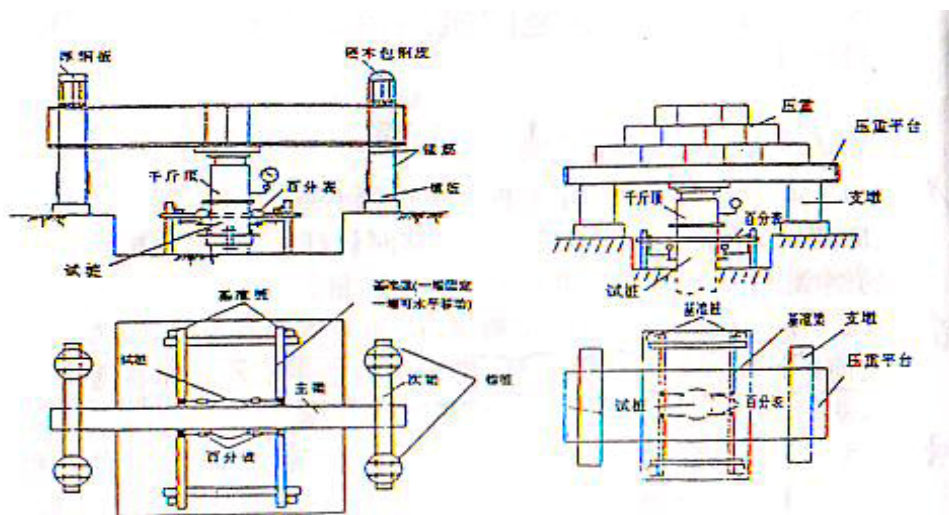


图 4. 2. 1 单桩竖向抗压静载试验装置

4. 2. 2 荷载量测应采用应力环、应变式压力传感器直接测定，也可用精度不低于 0.4 级的精密压力表测定；沉降量测宜采用 4 只测读精度

为0.01mm的电测位移计或大量程百分表，对称安置在桩侧2个正交直径的方向上，沉降测定平面离桩顶距离不应少于0.5倍桩径（或边长）且不少于200mm；每根锚桩至少应检测1点测点应置于锚桩桩顶混凝土面上。

4. 2. 3 基准梁应具有足够的刚度，一端固定在基准桩上，另一端应可沿梁方向水平移动；试桩设备及量测仪表等应有遮挡设施，严禁日光直射基准梁；试桩区域应不受冲击、振动等影响；基准桩应打入地面以下至少1m，严禁使用搁置在地表（面）的钢凳（或其他物体）作为基准桩。

4. 2. 4 试桩、锚桩（或严重平台支墩）和基准桩之间的中心距离应符合表4. 2. 4规定。

表4. 2. 4 试桩、锚桩和基准桩之间的中心距离

反力装置	试桩与锚桩中心 (或压重平台支墩处)	试桩中心与基 准桩中心	基准桩中心与锚桩中心 (或压重平台支墩处)
锚桩横梁	≥3D且>2.0m	≥4D且>2.0m	≥4D且>2.0m
压重平台	≥4D且>2.0m	≥4D且>2.0m	≥4D且>2.0m

4. 2. 5 灌注桩的试桩，在成孔后混凝土灌注前，必须进行孔径、孔深、沉渣厚度及垂直度检测，各项技术指标应满足附录（A）的要求，没有代表性的桩不应作为试桩；一般钻孔灌注桩工程，应随机、均匀抽检数量不少于总数的10%进行成孔质量检测。

4. 2. 6 试桩桩顶必须保持平整，露出地面的长度应满足设置量测仪表的要求；对于打入桩，如桩顶破坏，应按原设计修复；对于灌注桩，应凿除桩顶强度较低的混凝土，所有主筋均需接至桩顶保护层下，并在此范围内设置加强箍筋及3-5层钢筋网片，桩顶的混凝土强度不低于桩身混凝土强度且不低于C30，接桩处的桩身截面积应与原桩身截面积相同，且中心轴应重合。

4. 2. 7 对灌注桩和有接头的混凝土预制桩，在试桩开始前，应采用低应变进行桩身完整性检测。

4. 3 检测方法

4. 3. 1 上海地区宜采用慢速维持荷载法和加速维持荷载法。

1 慢速维持荷载法：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，当桩顶沉降相对稳定标准为每一小时的桩顶沉降量不大于0.1mm，并连续出现两次（由1.5h三次30min沉降观测值计算）；卸载时，每级荷载维持1h，按第5、15、30、60min测读桩顶沉降量，卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，测读时间为5、15、30、60min，以后每隔30min测读一次，一般维持3h，对有特殊要求的试桩，沉降观测时间可另行确定。

2 快速维持荷载法：每级荷载加载后维持1h，按第5、15、30、45、60min测读桩顶沉降量，卸载时，每级荷载维持15min，测读时间为5、15min，卸载至零后测读残余沉降量两小时，测读时间为第5、15、30、60、90、120min；当采用快速维持荷载法时，对最后一级（或二级）荷载，应判据其沉降的收敛性。

4.3.2 为设计提供依据的竖向抗压静载荷试验应采用慢速维持荷载法。

4.3.3 单位工程内且在同一条件下的工程桩，当符合下列条件之一时，应采用静载荷试验法中的慢速维持荷载法对工程进行验收性检测。

- 1 重要的工业与民用建筑物；
- 2 18层以上的高层建筑；
- 3 体型复杂，层数相差超过10层的高低层连成一体建筑物；
- 4 大体积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场等）。
- 5 对地基变形有特殊要求的建筑物；
- 6 二层及二层以上地下室的基坑工程；
- 7 地质条件复杂，基桩施工质量可靠性低的工程；
- 8 采用新桩型或新工艺的工程；
- 9 挤土群桩施工产生明显挤土效应的工程。

当有充分经验和相近条件下可靠的对比资料时，也可采用高应变法对上述范围内的工程桩进行补充验收性检测，并应以静载荷试验法为评定标准。

4.3.4 试验加、卸载要求：宜按试桩预估最大试验荷载的1/10-1/12为加载级差，逐级等量加载，第一级可取二倍加载级差；卸载应分级进行，每级卸载值取加载值的2倍，逐级等量卸载；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应保持数值稳定，其变化幅度不应超过分级荷载的10%。

4. 3. 5 当出现下列情况之一时，可终止加载。

- 1 试桩在某级荷载作用下的沉降量大于前一级荷载沉降量的5倍；
- 2 试桩在某级荷载作用下的沉降量大于前一级的2倍，且经24h尚未稳定；
- 3 达到设计要求的最大加载量且沉降达到稳定，或已达到反力装置提供的最大加载量或桩身出现明显破坏现象；
- 4 当荷载—沉降曲线呈缓变形时应按总沉降量控制：桩长小于、等于40m，总沉降量宜按60-80mm控制；桩长大于40m时，可根据具体要求控制至100mm以上；
- 5 对于灌注桩及有接头的预制桩，当满足本条1、2款，但未达到最大加载量时，宜继续加荷至满足总沉降量达到100mm以上的要求。

4. 3. 6 试验概况及检测数据宜整理成表格形式（表4. 3. 6-1、表4. 3. 6-2、表4. 3. 6-3），试验过程中发生的异常现象应作补充说明，并绘制Q-S、S-lgt曲线及其他辅助分析曲线（图4. 3. 6）。

表4. 3. 6-1 单桩竖向静载荷试验概况表

工程名称			地点		试验单位	
试桩编号			桩型		成桩（沉桩） 日期/试验日期	
成桩（沉桩） 工艺			桩断层尺寸		试桩长度	
			桩尖持力层		工程桩长度	
混凝土 强度	设计		充盈系数		备注	
	实际		沉渣厚度			
			累计锤击数			
			最后10锤的贯入度			

表4. 3. 6-2 单桩竖向静载试验记录表

工程名称				试桩号			检测日期			
加载级	桩顶荷载 (kN)	测读时间	位移计（百分表）读数				沉降量（mm）			备注
			1#	2#	3#	4#	本次	本级	累计	

试验：

记录：

校核：

表4. 3. 6-2 单桩竖向静载试验记录表

工程名称		试桩桩型		试桩桩号		试桩桩长	截面尺寸		
							桩尖持力层		
试验方法		加荷装置		成桩(沉桩)日期		试验日期			
试验终止原因									
判别极限荷载									
序号	荷载(kN)	历时 (min)		沉降 (mm)					
		本级	累计	本级	累计				
0									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
最大沉降量				最大回弹量			回弹率		

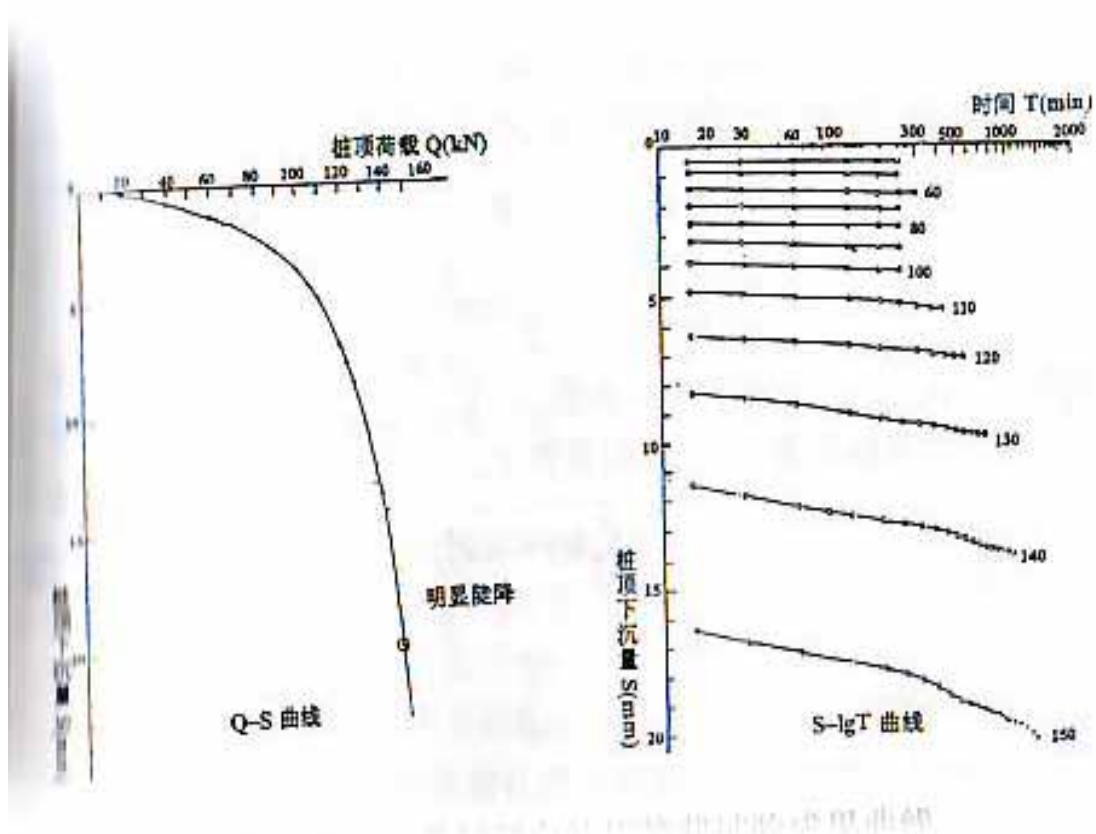


图 4.3.6 单桩竖向抗压静载试验成果曲线

4.3 检测数据分析与判定

4.4.1 试桩竖向抗压极限承载力可按下列方法综合确定：

- 1 取 Q-S 曲线发生明显陡降的起始点所对应的荷载值；
- 2 取 S-lgt 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；
- 3 对缓变型 Q-S 曲线按总沉降量确定：混凝土桩宜取 $S=40\text{mm}$ 对应的荷载值；当桩长大于 40m 时，应考虑桩身弹性压缩变形的影响；钢桩宜取 $S=100\text{mm}$ 对应的荷载力为极限承载力，当桩长超过 40m 时，桩长每增加 10m 沉降量相应增加 10mm 。

4.4.2 当各试桩条件相同时，单桩竖向抗压极限承载力标准宜按下列步骤确定：

- 1 计算试桩结果统计特征值

1) 按 4. 4. 1 条规定确定 n 根正常条件下试桩的极限承载力实测值 R_i ;

2) 计算 n 根试桩实测极限承载力平均值 R_m 及小值平均值 R'_m :

$$R_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad 4. 4. 2-1$$

$$R'_m = (R_m + R_{\min}) / 2 \quad 4. 4. 2-2$$

式中 R_{\min} ---实测值的最小值 (kN)

3) 计算标准差 S_x 及离差系数 C_x

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 - nR_m^2}{n-1}} \quad 4. 4. 2-3$$

$$C_x = S_x / R_m \quad 4. 4. 2-4$$

2 确定单桩竖向抗压极限承载力标准值 R_k

$$R_k = R_m [1 - \xi (C_x - 0.17)] \quad 4. 4. 2-5$$

式中 R_k ---单桩竖向抗压极限承载力标准值 (kN), 当 $R_k < R'_m$ 时

取 $R_k = R'_m$;

C_x ---离差系数, 当 $C_x < 0.17$ 时取 $C_x = 0.17$;

ξ ---与试桩数有关的系数, 由表 4. 4. 2 查得。

表 4. 4. 2 系数 ξ 与试桩数量关系表

试桩数	3	4	5	6	7	8	9	10
ξ	1. 67	1. 20	0. 95	0. 82	0. 73	0. 67	0. 62	0. 58

3 当试桩数 $n=2$ 时, R_k 应取二根试桩结果的小值。

4. 4. 3 当多根试桩结果差异较大 ($C_x > 0.17$) 时, 应分析差异过大的原因并结合工程具体情况综合评价, 必要时应按不满足设计要求的桩数加倍扩大抽检。

5 单桩竖向抗拔静载试验

5.1 一般规定

5.1.1 本试验是确定单桩竖向抗拔承载力，当桩身埋设有应力、应变测量传感器或位移测量杆时，可测定桩侧抗拔摩阻力或桩身截面的上拔量。

5.1.2 为提供设计依据的试验桩，应加载至桩侧土体破坏；为工程验收而进行抽样检测的试验桩，最大加载量不应小于单桩抗拔承载力设计值的 1.6 倍，也可按设计提出的桩身抗裂要求控制。

5.1.3 对接桩质量有明显缺陷的多节预制桩或充盈系数偏大、桩身中下部位有明显扩径且没有代表性的灌注桩均不应作为试桩。

5.1.4 试桩数量应按照本规程第 4.1.3 条有关规定执行。

5.2 仪器设备及安装

5.2.1 试验加载装置：宜采用油压千斤顶加载，千斤顶的反力装置可根据现场情况确定，应尽量利用工程桩为锚桩提供反力。

5.2.2 一般要求除应符合本规程第 4.2.1、4.2.2、4.2.3、4.2.4、4.2.5、4.2.7 条有关要求外，尚应注意对锚桩的桩顶处理。

5.3 检测方法

5.3.1 试验应采用慢速维持荷载法，对加卸载要求、变形观测时间、相对稳定标准按本规程第 4.3.1、4.3.4 条有关规定执行；当有特殊要求时，也可采用多循环加卸载法等其他方法。

5.3.2 当出现下列条件之一时，可终止加载：

1 在某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级荷载作用下上拔量的 5 倍；

2 在某级荷载作用下，试桩的钢筋拉应力达到钢筋抗拉强度标准值的 0.9 倍；

3 混凝土预制桩或灌注桩累计桩顶上拔量超过 30mm；钢桩累计上拔量超过 100mm；

4 达到设计要求的最大上拔荷载值且上拔位移量达到稳定。

5.3.3 检测资料的整理参照本规程第4.3.6条有关规定执行，并绘制上拔荷载 U -桩顶上拔位移 Δ - $\lg t$ （时间）曲线及其他辅助分析曲线。

5.4 检测数据分析与判定

5.4.1 试桩的极限抗拔承载力可按下列方法综合确定：

1 对于陡变形 U - Δ 曲线，取陡升起始点荷载为极限荷载；

2 对于缓变形 U - Δ 曲线，取 Δ - $\lg t$ 曲线尾部显著弯曲的前一级荷载为极限荷载；

3 当在某级荷载下抗拔钢筋断裂时，取其前一级荷载为该桩的极限荷载。

5.4.2 极限抗拔承载力标准值的确定：按本规程第4.4.2条有关规定执行；当多根试桩结果差异较大时，按本规程第4.4.3条有关规定执行。

6 单桩水平静载荷试验

6.1 一般规定

6.1.1 本试验方法适用于桩顶自由的单桩，确定水平承载力和桩侧地基土水平抗力系数；当桩身埋设有应变测量传感器时，可量测相应水平荷载作用下的桩身应力和弯矩；其他形式的水平静载试验可参照使用。

6.1.2 为提供设计依据时，应加载至桩侧土体破坏或桩身结构破坏；对工程桩进行检验和评价时，最大加载量不应小于单桩水平承载力设计值的1.6倍，也可按设计提出的最大水平位移控制。

6.1.3 检测要求条件除应符合本规程第4.2.3条、第4.2.5条、第4.2.7条外，试桩位置应根据工程地质条件、设计要求和类似工程的经验等因素综合确定；施加水平作用力的作用点宜与实际工程的桩基承台底面标高一致；

6.1.4 试桩应具有代表性，其试验数量应根据设计要求及工程地质

条件确定，不应少于 2 根。

6.2 仪器设备及安装

6.2.1 水平荷载测量及其仪器的技术要求应符合本规程第 4.2.2 条的有关规定；水平推力加载装置宜采用油压千斤顶，加载能力应为预估最大试验荷载的 1.25 倍-1.5 倍；

当采用千斤顶施加水平荷载时，千斤顶和试桩接触处宜安装一球形铰座，以保证千斤顶作用力能水平通过桩身轴线；为防止产生桩身局部破坏，千斤顶与试桩的接触处应适当补强。

6.2.2 桩的水平位移宜采用测读精度为 0.01mm 大量程的百分表（或移位计）测量；每根试桩在力的作用水平面上和该平面以上 500mm 左右各安一只或两只百分表（或移位计）以测量相应测点的位移，求得水平作用以上桩身的转角；试验装置示意图如图 6.2.2。

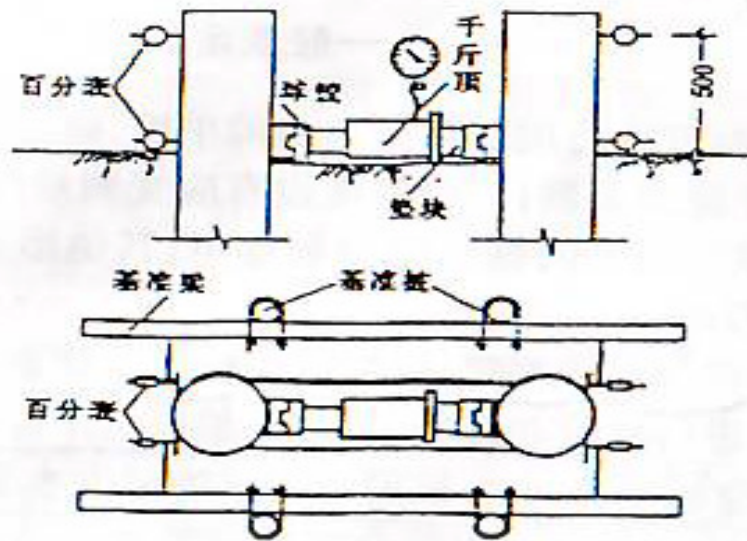


图 6.2.2 单桩水平静载试验装置

图 6.2.2 单桩水平静载试验装置

6.2.3 量测桩身应力时，各测试断面的测定应远离轴心呈对称布置在受拉和受压主筋上，在主要受力部分应加密测试断面，且断面间距不宜超过 1 倍桩径。

6.2.4 反力结构的承载力及其刚度应大于试桩的 1.25-1.5 倍，当

采用顶推法加荷时，反力结构与试桩之间净距不应小于 5D；当采用牵引法加荷时，其净距不少于 10D，并不小于 6m。

6.2.5 基准点设置应不受试验和其他因素的影响，其与试桩和反力结构的净距不宜少于 5D，当基准点设置在与加荷轴垂直方向上或试桩位移相反方向上时，间距可以适当减少，但不应少于 2m。

6.3 检测方法

6.3.1 应根据工程桩实际受力特性选择合适的加载方法，宜采用单向多循环加卸载法或单向单循环恒速水平加载法，也可按工程需要采用其他加载方法；荷载分级宜取预估最大水平力的 1/10-1/12 作为加载级差。

6.3.2 单向多循环加卸载法：每级荷载施加后，恒载 4min 测读水平位，然后卸载至零，停 2min 测读残余水平位移，至此完成一个加卸载循环，如此循环 5 次便完成一级荷载的试验观测；加载时间应尽量缩短，测量位移的间隔时间应严格准确，试验不得中途停歇。

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

6.3.4 当出现下列条件之一时，试桩可终止加载：

- 1 当桩身折断或水平位移超过 30-40mm（软土取 40mm）时；
- 2 达到设计要求的最大加载量或最大水平位移时。

6.3.5 试验概况宜整理成表格形式（表 4.3.6-1），试验过程中发生的异常现象应作补充说明，试验记录宜按表 6.3.5 认真、正确记录，并绘制有关试验成果曲线（图 6.3.5）。

1 单向多循环加卸载法：一般绘制水平力-时间-位移（ H_0-t-Y_0 ）、水平力-位移梯度（ $H_0-\Delta Y_0/\Delta H_0$ ）曲线；

2 单向单循环恒速水平加载法：一般绘制水平力-位移（ H_0-Y_0 ）曲线及水平力-位移双对数曲线（ $\lg H_0-\lg Y_0$ ）；

3 当埋设有应力或应变传感器时，尚应绘制各级水平力作用下的桩身弯矩分布图及水平力-最大弯矩截面钢筋应力（ $H_0-\sigma_g$ ）曲线，

并列表给出相应数据。

图 6. 3. 5 单桩水平静载试验记录表

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			

试验:

记录:

校核:

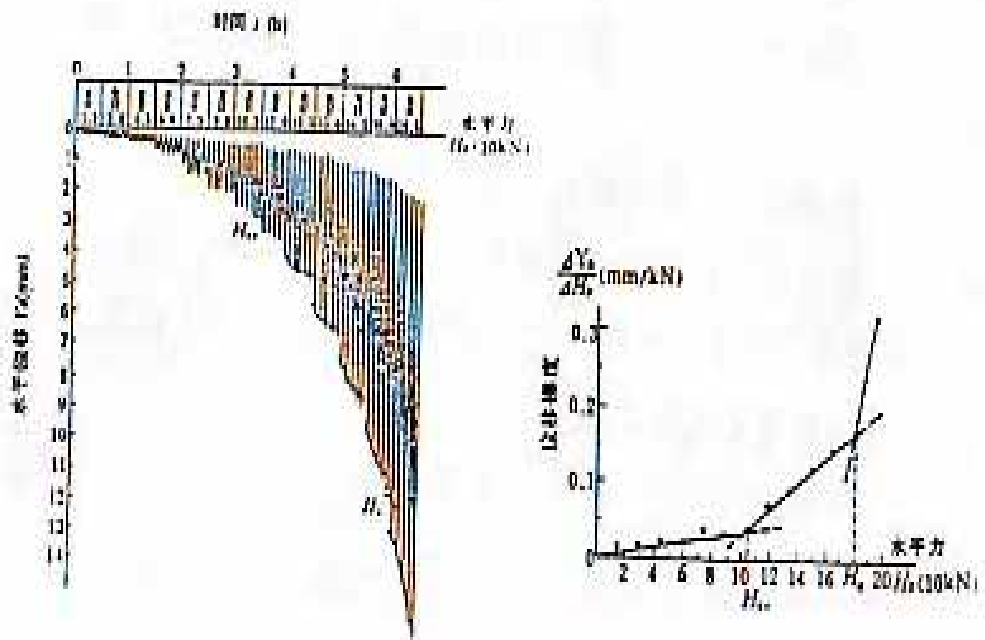


图 6. 3. 5 单向多循环加卸载法水平静载试验成果曲线

6. 4 检测数据分析与判定

6. 4. 1 试桩水平极限承载力的确定:

1 单向多循环加卸载法：可根据 H_0-t-Y_0 曲线产生明显陡降的前一级荷载或 $H_0-\Delta Y_0/\Delta H_0$ 曲线第二直线段的终点对应的荷载综合确定；

2 单向单循环恒速水平加载法：可根据 H_0-Y_0 曲线产生明显陡降的前一级荷载或 $\lg H_0-\lg Y_0$ 曲线上第二转折点的前一级荷载综合确定；

3 取桩身折断或钢筋屈服时的前一级荷载。

6.4.2 极限水平承载力标准值的确定：按本规程第4.4.2条有关规定执行；当多根试桩结果差异较大时，按本规程4.4.3条有关规定执行。

6.4.3 地基土水平抗力系数的确定可以参照国家有关标准执行。

7 高应变法

7.1 一般规定

7.1.1 高应变检测主要用于对工程设计进行校验和为工程验收而进行的现场试验，对多支盘灌注桩、大直径扩底桩、以及具有缓变型Q-S曲线的大直径灌注桩均不宜采用本方法检测单桩竖向抗压承载力；对于灌注桩及超长钢桩进行承载力检测时，应具有一定的实测经验和相近条件下可靠的对比验证资料。

7.1.2 高应变检测具有下列功能：

1 检测单桩竖向抗压承载力，采用实测曲线拟合分析时。可以得到桩侧土阻力的分布和桩端土阻力；当冲击力足够大、充分发挥桩周土阻力时，可测得单桩竖向抗压极限承载力；

2 检测桩身结构完整性，判断桩身质量及缺损位置；

3 在混凝土预制桩及钢桩打桩过程中检测桩身应力，进行锤击效率监测，为选择沉桩工艺参数和确定桩长提供依据。

7.1.3 高应变检测桩应具有代表性，灌注桩的试桩应符合本规程第4.2.5条，的要求；单位工程内同一条件下，试桩数量不宜少于总桩数的5%，并不应少于5根，其中采用实测曲线似合法进行分析的试桩数量不应少于检测总桩数的50%，并不应少于5根，工程地质条件复杂，或对工程桩施工质量有疑问时，应增加试桩数量；当采用高应变方法进行打桩过程监测时，在相同工艺和相似地质条件下，不应少于2根。

7. 1. 4 试验宜在地面上进行；在基坑内进行时，必须充分考虑试验的安全性。

7. 2 仪器设备及安装

7. 2. 1 检测仪器的主要技术性能指标应符合《基桩动测仪》(JG/T3055)中规定的二级标准要求，具有连续采集、快速自动存储、显示和处理分析信号的功能；仪器的采样频率必须达到 10000Hz 以上，信号采样点数不少于 1024 点，记录、处理和数据显示的装置必须有能力对应变、加速度和时间进行内部标定。

7. 2. 2 检测使用的传感器，要求标定精度达到 2%以上；在检测过程中发现有异常的传感器应停止使用，并立即进行检查或重新标定，不合格的传感器必须报废，严禁使用未经标定的传感器。

7. 2. 3 加速度传感器的安装谐振频率不应少于 10000Hz，且加速度在 0-10000m/s²范围内呈线性的加速度计。

7. 2. 4 高应变检测用的重锤应材质均匀、形状对称、锤底平整，高径（宽）比不得小于 1，并采用铸铁或铸钢制作，进行高应变承载力检测时，锤重应不小于预估单桩极限承载力的 1.5%。

7. 2. 5 重锤宜整体铸造，当采用多片组合锤时，单片厚不应小于 25mm，单片之间必须用拉杆连接并紧固，严禁垫入其他物体；在进行高应变承载力检测时，最大落距不宜大于 2.5m，宜重锤低击，开始的几次锤击应使桩产生贯入度并应采用精密水准仪等光学仪器测定。

7. 2. 6 测量桩顶锤击力用的工具式应变传感器宜采用螺栓固定在桩身侧面，且安装谐振频率不应小于 2000Hz；应变传感器应在桩身材料变形的范围内呈线性；在将实测应变转换成力计算时，应采用传感器安装位置处的桩身截面面积和桩身材料的弹性模量。

7. 2. 7 传感器安装

1 每次检测时应在桩身两侧对称安装两只加速度传感器和两只应变传感器，它们与桩顶之间的距离不宜小于 2 倍桩径（或桩边长）；对大直径桩，可以适当缩小桩顶与传感器之间的距离，但不得小于 1 倍桩径；严禁使用单只应变传感器或单只加速度传感器进行检测。

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

3 传感器安装处的桩身表面必须平整，且该截面附近无明显缺损或截面突变；固定传感器的螺栓孔应与桩轴线垂直，固定后的应变传感器及加速度传感器应紧贴桩身，传感器中心轴应与桩的中心轴平

行；应变传感器在安装过程中要对其初始值进行监测，不得超过该传感器的允许初始变形值。

7.3 检测方法

7.3.1 当被检桩为钻孔灌注桩或桩顶已破碎的混凝土预制桩时，检测前必须按本规程第4.2.6条的规定对桩顶进行加固。

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

7.3.3 每次检测前需认真检查仪器及传感器的工作状态，核查仪器内设置的参数是否正确，经确认无误后方可进行检测。

7.3.4 检测前的参数设定应符合下列规定：

1 测点处的桩身截面积、桩长、桩身材料波速、质量密度等均应按实际数值设定；

2 桩身材料弹性模量应通过下式计算：

$$E = \rho \cdot C^2$$

式中 E——桩身材料弹性模量 (KPa)

C——桩身应力波的传播速度 (m/s)

ρ ——桩身材料质量密度 (t/m^3)

7.3.5 应变和加速度必须随时间连续测定和采样，采样频率应为5-10kHz，采样时间间隔宜为50-200 μ s，采样长度必须满足计算、分析的要求。

7.3.6 在对试验桩进行高应变检测时，应同时量测每次锤击下桩的有效贯入度，为使桩侧及桩底阻力充分发挥，单击贯入度宜控制在2.0-6.0mm；检测过程中应不断比较桩身材料实测阻抗与理论阻抗的关系。

7.3.7 高应变实测的力和速度信号第一峰起始比例失调时，应立即停锤检查，不得进行比例调整。

7.3.8 在对灌注桩检测时，每根被检桩的有效锤击次数宜根据每锤贯入度、桩周土阻力发挥的程度以及实测信号质量综合判别决定。

7.3.9 对混凝土预制桩和钢桩检测时，应区别下列不同情况：

1 在不同入土深度，检测土阻力及桩身锤击应力时，应在沉桩过程中连续采样或间隔采样；若是间隔采样，应根据土层确定采样时间，且每次采样不宜少于连续5锤波形，并记录对应的桩底标高和贯入

度；

2 在沉桩达到设计标高、检测地基土对桩的支承力时，可在打桩终锤前连续检测，并以最终的 5 锤或 10 锤数据为依据；预制桩承载力的时间效应应通过同一根桩、在相同桩底标高时的初、复打值对比后确定。

7. 4 检测数据分析与判定

7. 4. 1 实测波形应符合下列基本要求：

1 在曲线起始阶段 F、V 曲线应重合，一般情况下其峰值应出现在同一时刻并幅值基本相等；

2 在曲线尾部 F、V 曲线应归零（取样时间不应小于 100ms）；

3 曲线基本光滑、无振荡和低频噪音信号叠加；

4 同一根桩的相邻锤击信号，实测曲线具有较好的一致性；

5 在 $0 < t < \frac{2L}{C}$ 时段内，F、V 曲线应逐渐分离。

7. 4. 2 根据实测信号确定桩身波速的方法：

1 可根据下列波波起升沿的起点到上行波下降沿的起点之间的时差与已知桩长确定；

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

7. 4. 3 当出现下列情况之一时，高应变锤击信号不得作为承载力分析计算依据：

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 严重偏心锤击，两侧力信号幅值相差超过 1 倍；

3 触变效应的影响，预制桩在多次锤击下承载力下降；

4 四通道测试数据不全。

7. 4. 4 下列情况不宜采用高应变法确定承载力：

1 桩身存在明显严重缺陷；

2 单击贯入度过大，桩底同向相反射强烈。

7. 4. 5 采用凯司法判定单桩竖向抗压承载力，应符合下列规定：

1 凯司法适用于预制桩，中小直径的钻孔灌注桩和钢桩，且应有较可靠的地区经验；

2 桩身材质应基本均匀，截面应基本相等；

3 凯司阻尼系数 J_c 值宜通过同一工程中同一根桩的动静对比试验得出;当不具备动静对比试验条件时,应采用实测曲线拟合法确定(拟合桩数应满足本规程第 7.1.3 条的要求);在同条件下同一场所桩型和截面积相同时, J_c 值的极差与平均值之比应不大于 30%;

4 凯司法判定单桩竖向抗压承载力公式如下(图 7.4.5):

$$R_s = \frac{1 - J_c}{2} [F(t_1)] + zV(t_1) + \frac{1 + J_c}{2} [F(t_1 + \frac{2L}{C}) - zV(t_1 + \frac{2L}{C})]$$

式中 R_s —由凯司法判定的单桩竖向抗压承载力 (kN)

$F(t_1)$ —传感器安装截面处 t_1 时刻的锤击力 (kN)

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

Z —桩身材料阻抗 $z=AE/C$, A 为桩身截面积, E 为桩身材料的弹性模量, C 为应力波在桩身中的传播速度;

L —测点以下桩长 (m);

J_c —凯司阻尼系数, 可参考表 7.4.5;

表 7.4.5 J_c 参考值

土层类别	凯司阻尼系数 J_c
中砂, 细砂	0.10-0.20
粉砂	0.20-0.40
粉土	0.30-0.50
粘性土	0.40-1.0

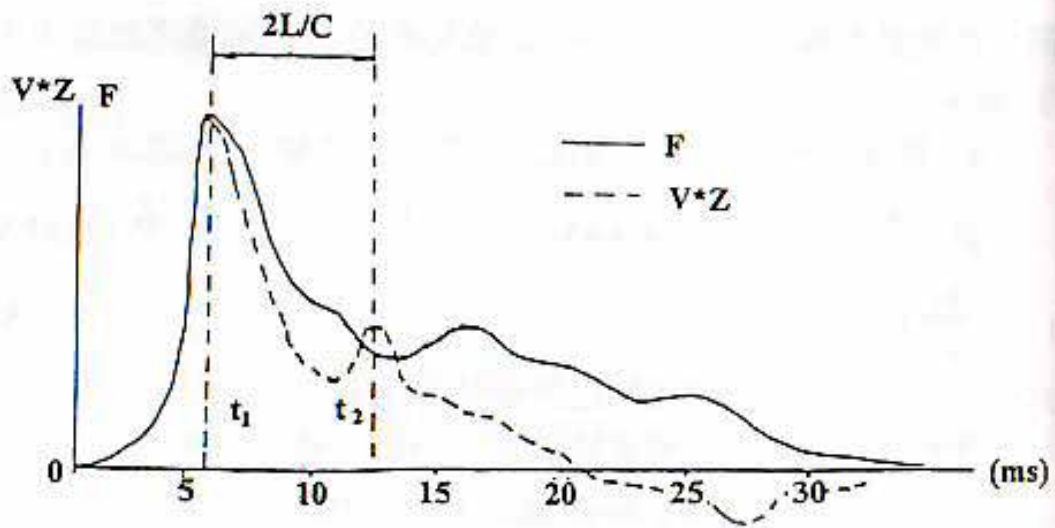


图 7.4.5 凯司法判定承载力计算图

5 在对长细比较大，桩身刚度较小的桩检测时，由于桩身上部明显回弹造成 $2L/C$ 之前速度曲线出现明显负值时，应考虑对 RS 值进行修正。

7.4.6 采用实测曲线拟合法判定单桩竖向抗压承载力，应符合下列规定：

- 1 采用的力学模型应能反映实际性状；
- 2 拟合使用的土参数应在合理范围内，选用土的最大弹性变形值不得超过相应桩单元的最大位移值；
- 3 曲线拟合长度在 t_1+2L/C 时刻后的延续时间不应少于 20ms，当用柴油锤打桩时，曲线拟合长度应适当增加；拟合结束时，土阻力响应区的计算曲线必须与实测曲线吻合，其它拟合区段应基本吻合；拟合完成时的拟合系数，混凝土预制桩和钢桩不宜大于 3%，钻孔灌注桩不宜大于 5%；
- 4 由拟合分析得出的贯入度计算值应与实测值基本一致。

7.4.7 桩身完整性判定

- 1 桩身缺陷位置宜用实测力波与速度波相比较的方法或分离上、下波的方法，也可通过实测曲线拟合法确定；
- 2 对于等截面桩，桩身完整性按本规程表 3.0.7 的规定，参照表 7.4.7 并结合经验判定；桩身完整性系数 β 值和桩身缺陷位置 X 应分别按下式计算。

$$\beta = \frac{[F(t_1) + zV(t_1)] - 2\Delta R + [F(t_x) - zV(t_x)]}{[F(t_1) + zV(t_1)] - [F(t_x) - zV(t_x)]} \quad (7.4.7-1)$$

$$X = C(t_x - t_1) / 2 \quad (7.4.7-2)$$

X---传感器安装截面位置到缺陷处的距离(m)

t_1 ---速度波第一峰值对应的时刻(ms)

t_x ---缺陷反射速度波峰值对应的时刻(ms)

C---纵向应力波在桩内传播速度(m/s)

ΔR ---缺陷以上部位土阻力估算值(kN),其大小等于缺陷反射起始点时刻(t_a)的锤击力减去该时刻速度与桩身材料阻抗乘积(图7.4.7)

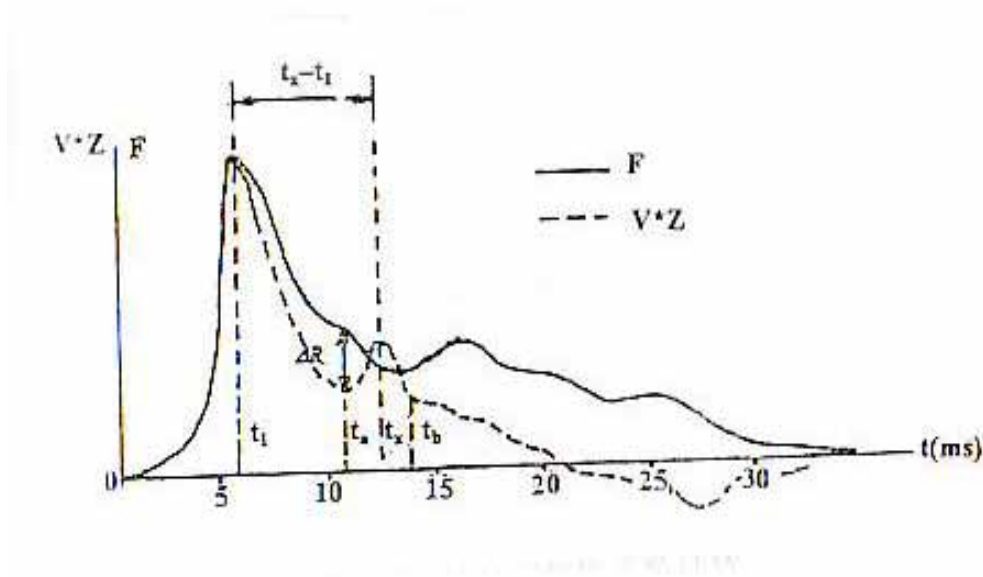


图 7.4.7 桩身完整性系数计算

表 7.4.7 桩身完整性判定表

桩身完整性类别	缺陷程度	值
	无缺陷	1.0
	轻微缺陷	0.8 $\beta < 1.0$
	明显缺陷	0.6 $\beta < 0.8$
	严重缺陷	$\beta < 0.6$

7.4.8 单桩竖向抗压承载力标准值的确定,应按本规程第4.4.2条、第4.4.3条有关规定执行。

7.4.9 检测报告除按本规程第3.0.10条有关要求执行外,尚应包

括：实测贯入度；计算中实际采用的桩身波速值、 J_c 值和拟合系数值等。

7. 4. 10 高应变检测报告应给出实测的力和速度信号曲线。

8 低应变动测法

8. 1 一般规定

8. 1. 1 本方法适用于在上海地区应用的各种混凝土预制桩、灌注桩的完整性检测，判定桩身是否存在缺陷、缺陷的程度及其位置。

8. 1. 2 本方法检测缺陷的有效深度，40m 以上的长桩宜按长径比不大 50 控制，对任何类型的超长桩，宜慎重使用。

8. 1. 3 为了保证检测质量，对同一工程中的有疑异的桩，宜采用多种方法检测，并进行综合分析。

8. 1. 4 抽样原则及检测数量

1 抽样原则：随机、均匀并有足够的代表性

2 检测数量：对有接头的多节混凝土预制桩，抽检数量不应少于总数量的 30%，并不得少于 10 根，单节混凝土预制桩，抽检数量可适当减少，但不应少于总桩数的 10%，灌注桩抽检数量必须大于总桩数的 50%；采用独立承台形式的桩基工程，应扩大抽检比例，每个独立承台抽检桩数不得少于 1 根；桥梁工程、一柱一桩结构形式的工程应进行普测；设计单位也可根据结构的重要性和可靠性，在此基础上增加检测比例；动测以后 III、IV 类桩比例过高时（占抽检总数 5% 以上），应以相同的百分比扩大抽检，直至普测。

3 在施工过程中发现有疑问的桩必须进行检测，但其数量不应计入正常抽检的比例中；

4 检测桩的具体桩位宜由设计会同监理共同决定，由检测方具体执行。

8. 1. 5 检测报告中应给出每根被检桩的完整性检测实测信号曲线。

8. 2 仪器设备及安装

8. 2. 1 检测用的低应变检测仪主要技术性能指标应符合《基桩动测仪》(JG/T3055) 中规定的二级标准要求，具有信号滤波、放大、显示、储存和处理分析功能。

8. 2. 2 应通过对比试验选择不同重量和材质的特制手锤（或激振器）进行轴向激振，原则上用低频脉冲波获取桩身下部缺陷的反射信号，

频脉冲波获取桩身上部缺陷的反射讯号。

8.2.3 检测前应凿去桩上部疏松的混凝土并截至设计标高，形成平整、密实、水平的检测面，检测点和激振点宜用便携式砂轮机磨平。

8.2.4 实心桩的激振点位置宜选择在桩顶中心，传感器安装点宜为夹角 $2/3$ 半径处；空心桩的激振点位置宜与传感器安装位置的水平夹角为 90° ，传感安装位置宜在壁厚度的 $1/2$ 处；每根桩的测点不得少于 2 点，当桩径大于 800mm 时，测点应适当增加，并均匀分布；同一测点多次采集的实测波形应具有良好的一致性，当接受分析系统所在位置与被测桩相距较远时，应注意避免各种干扰。

8.2.5 传感器安装时，应确保安装平面与桩的中心轴线垂直；用耦合剂黏结时，应确保检测过程中传感器不产生滑动和信号线抖动，严禁手持传感器进行检测。

8.3 检测方法

8.3.1 上海地区宜用弹性波反射法和机械阻抗法。

8.3.2 弹性波反射法

检测系统应由加速度传感器、放大器、滤波器、数据采集装置、波形显示记录器、特制手锤（或力棒）以及其他专用附件等组成（图 8.3.2）；各组成部分技术性能指标应达到下列要求：

1 传感器：加速度传感器的频率范围宜为 5-2000Hz，电荷灵敏度为 30-100PC/g，电压灵敏度大于 100mv/g，量程应大于 100g；

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

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

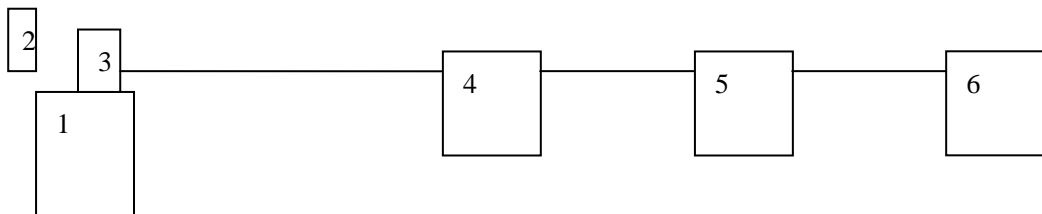


图 8.3.2 弹性波反射法检测框图

- | | | |
|---------------|----------|-----------|
| 1 被检桩 | 2 手锤 | 3 加速度传感器 |
| 4 放大器、滤波器、积分器 | 5 数据采集装置 | 6 显示、记录设备 |

8.3.3 机械阻抗法

检测系统应有传感器（加速度或速度）、放大器、分析仪、激振设备等组成（图 8.3.3），其技术性能指标应达到下列要求：

- 1 激振器（或力棒）的频率范围：电动式激振器宜为 10-5000Hz，（力锤宜为 1-5000Hz），最大激振力：电动式激振器不小于 200N（力锤不小于 300N）；
- 2 力传感器或阻抗头：频率范围宜为 1-10000Hz；
- 3 加速度传感器：频率范围宜为 1-10000Hz；
- 4 放大器：要求应与传感器匹配，宜采用带有积分器的电荷放大器或电压放大器；
- 5 分析仪：宜采用动态信号分析仪，频率范围为 1-20000Hz；动态范围宜大于 80dB；在时域力脉冲宽度 τ 内宜取得 5 个采样点，在频域导纳谐振峰带宽 ΔF 内宜取 5 个数据点；通道数应大于 2。

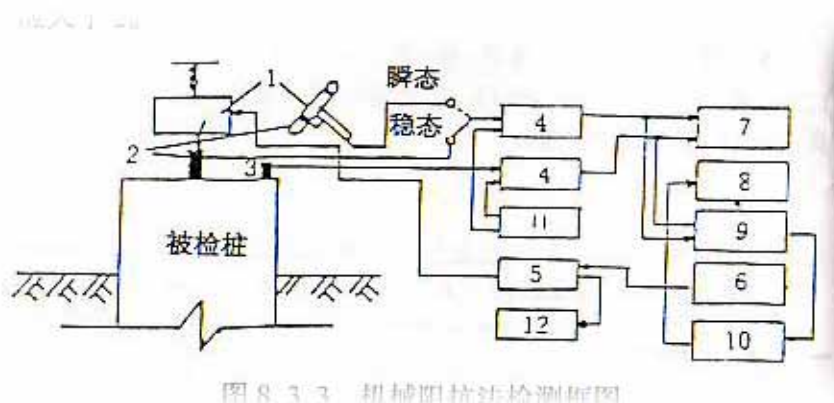


图 8.3.3 机械阻抗法检测框图

- | | | | |
|---------|---------|----------|--------|
| 1 激振设备 | 2 传感器 | 3 加速度传感器 | 4 放大器 |
| 5 功率放大器 | 6 信号发生器 | 7 磁带器 | 8 绘图器 |
| 9 信号分析器 | 10 计算器 | 11 电源 | 12 电压表 |

8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 弹性波反射法

1 根据反射波与入射波的波形特征、幅值、相位、频率的比较，对混凝土桩的完整性进行分析，若完整桩桩底反射波信号到达桩顶的时间为 t ，按下式计算应力波沿桩身轴线方向传播的纵波速度 C ：

$$C=2L/t \quad (8.4.1-1)$$

式中 L ---完整桩桩长 (m)

t ---桩底反射波到达桩顶的时间 (s)

完整桩的平均纵波速度,可选取本工程有代表性的若干根完整桩的检测结果,按下式计算:

$$\bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (8.4.1-2)$$

式中 \bar{c} --- n 根桩桩身纵波速度的平均值 (m/s);

C_i ---第 i 根桩的纵波速度 (m/s), 且 $|C_i - \bar{c}| / \bar{c} \leq 5\%$;

n ---完整桩的根数, 应大于等于 5;

第 i 根桩的桩身缺陷距桩顶的距离 L_{ri} 可按下式计算:

$$L_{ri} = \bar{c} \cdot t_{ri} / 2 \quad (8.4.1-3)$$

式中 L_{ri} ---第 i 根桩桩身缺陷处距桩顶的距离 (m)

t_{ri} ---第 i 根桩缺陷的反射波到达桩顶的时间 (s)

2 完整性判别除应对反射波的时域特征作分析外, 还宜同时对反射波的频域特征进行分析, 以提高判别结果的正确性, 根据完整桩的幅频曲线, 纵波速度 C 可按下式计算:

$$C = 2L\Delta f \quad (8.4.1-4)$$

式中 Δf ---完整桩相邻波峰之间频差 (Hz)

第 i 根桩的桩身缺陷距桩顶的距离 L_{ri} 可按下式计算:

$$L_{ri} = \bar{c} / 2\Delta f_{ri} \quad (8.4.1-5)$$

式中 Δf_{ri} --- 缺陷桩相邻波峰之间频差的平均值 (Hz)

3 桩身完整性的判定

根据反射波的时域特性和频域特性分析结果, 按本规程表 3.0.7 的规定和表 8.4.1 所列特征进行综合分析判定;

表 8.4.1 桩身完整性判定表

桩身完整性类别	缺陷程度	特征
I	无缺陷	2L/C 时刻无缺陷反射波, 桩底反射明显; 波形规则、波列清晰、完整桩之间波形特征相似, 幅频曲线正常;

II	轻度缺陷	2L/C 时刻有轻度缺陷反射波，桩底反射明显；桩底反射波受轻度缺陷发射波的干涉，反射波的规律不如完整桩；
III	明显缺陷	2L/C 时刻有明显缺陷反射波，桩底反射不明显或无桩底反射；幅频曲线有明显的峰-谷状多次起伏；
IV	严重缺陷	2L/C 时刻缺陷反射波强烈，且有二次甚至多次重复反射；无桩底反射；幅频曲线有十分深凹的峰-谷状多次起伏。

对无桩底发射且 2L/C 时刻前无缺陷发射波（或有轻微缺陷发射波）的桩，桩身完整性类别划分应在分析无桩底反射波原因的基础上进行综合判定。

8.4.2 机械阻抗法

1 计算公式：

$$\text{实测振动纵波波速: } C = 2L\Delta f \quad (8.4.2-1)$$

$$\text{实测导纳几何平均值: } N = \sqrt{PQ} \quad (8.4.2-2)$$

$$\text{实测刚度: } K_d = 2\Pi f_m / |V/F|_m \quad (8.4.2-3)$$

$$\text{导纳理论值: } N_c = 1/\rho \cdot A \cdot C \quad (8.4.2-4)$$

式中 L---完整桩的桩长 (m)

Δf ---导纳曲线中，两个相邻波峰（或波谷）之间的频差 (Hz)

P---导纳曲线中的极小值 (m/KN·s)

Q---导纳曲线中的极大值 (m/KN·s)

V---桩顶振动速度 (m/s)

C---振动波在桩中的纵波传播速度 (m/s)

F---作用力 (KN)

ρ ---桩身混凝土质量密度 (kg/m³)

A---桩身截面面积 (m²)

f_m ---导纳曲线初始直线部分处的激振频率 (Hz)

2 桩身完整性的判定：

根据实测幅频特性分析结果，按本规程表 3.0.7 的规定和表 8.4.2 所列特征进行综合分析判定。

表 8.4.2 桩身完整性判定表

桩身完整性类别	缺陷程度	特 征
I	无缺陷	动刚度 K_d 大于全桩区动刚度的均值 \overline{Kd} ；导纳几何平均值 N 小于导纳理论值 N_c 且小于全桩区的均值 \overline{N} ；纵波波速 C 大于全桩区纵波波速的均值 \overline{C} ；导纳曲线谱形状特征正常，导纳曲线谱中只有完整桩振动特性峰反映。
II	轻度缺陷	动刚度 K_d 大于等于全桩区动刚度的均值 \overline{Kd} ；导纳几何平均值 N 小于等于导纳理论值 N_c 且小于等于全桩区的均值 \overline{N} ；纵波波速 C 大于等于全桩区纵波波速的均值 \overline{C} ；导纳曲线谱形状特征正常，导纳曲线谱中有轻度缺陷桩振动特性峰反映。
III	明显缺陷	动刚度 K_d 小于等于全桩区动刚度的均值 \overline{Kd} ；导纳几何平均值 N 大于等于导纳理论值 N_c 且大于等于全桩区的均值 \overline{N} ；纵波波速 C 小于等于全桩区纵波波速的均值 \overline{C} ；导纳曲线谱形状特征正常，导纳曲线谱中有明显缺陷桩振动特性峰反映。
IV	严重缺陷	动刚度 K_d 小于全桩区动刚度的均值 \overline{Kd} ；导纳几何平均值 N 大于导纳理论值 N_c 且大于全桩区的均值 \overline{N} ；纵波波速 C 小于全桩区纵波波速的均值 \overline{C} ；导纳曲线谱形状特征正常，导纳曲线谱形状特征明显异常，导纳曲线谱中只有严重缺陷桩振动特性峰反映。

9 超声波透射法

9.1 一般规定

9.1.1 本方法适用于检测直径不小于 600mm 灌注桩桩身混凝土的缺陷并定位。

9.1.2 本方法宜结合低应变、高应变、钻孔取芯检测等方法综合评定桩身质量。

9.2 仪器设备及安装

9.2.1 检测仪应符合下列要求：

1 应使用计算机控制且具有自动数据采集功能，波形显示连续、稳定的超声波检测仪；UPS 输入电压范围应为 170-250V，停电时电池供电持续时间不应小于 5min；

- 2 声时测量范围宜在 0.5–5000 μs 之间,其精度不宜低于 0.1 μs ;
- 3 应具有自动波幅测量功能,整机动态范围宜大于 80dB,不宜低于 1dB;
- 4 应具有自动频率测量功能;
- 5 接收放大系统的频带宽度宜为 10–200kHz,接收系统灵敏度宜高于 30 μV ,且具有增益调节功能;
- 6 发射系统应能输出电压为 200–1000V 的矩形脉冲;
- 7 应能在温度 0–50 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度小于 90%、交流供电电压在 220V \pm 10%、直流供电电压标称值变化 \pm 5%的环境下正常工作。

9.2.2 换能器应符合下列规定:

- 1 换能器应采用柱状径向振动换能器,其谐振频率宜为 20–60kHz,有效长度宜不小于 200mm;
- 2 接收换能器宜内装安置放大器,频带宽度宜为 10–200 的 kHz;
- 3 换能器的水密性应满足 1MPa 水压下不漏水;
- 4 换能器导线上应有深度标记;
- 5 换能器两端宜安装扶正器。

9.2.3 被检桩应按本规程附录 B 中的要求,预埋声测管。

9.3 检测方法

9.3.1 检测前的准备

- 1 了解有关技术资料及施工资料;
- 2 打开声测管塞子,向管内注满清水;
- 3 采用一段直径略大于换能器的圆钢作疏通吊锤,逐根检查声测管的畅通情况及实际深度;
- 4 用钢卷尺测量各测管之间的净距离,精确至 1mm;
- 5 检测前应对超声检测仪及柱状径向振动式换能器进行校验,并按照本规程附录 C 的要求,测量声时初读数 t_{00}

9.3.2 现场检测步骤

- 1 连接所有仪器设备,检查电源供电情况;
- 2 根据桩径大小合理设定仪器参数和选择合适频率的换能器,一经选定,在同批桩的检测过程中不得随意改变;
- 3 将发射和接收换能器分别置于两个声测孔的顶部或底部,以同

一高度或相差一定高程等距离同步移动,逐点测读声学参数并记录换能器所处深度,每个测点的两个探头高差变化不应超过 20mm,并经常注意进行深度校核。

9.3.3 测点间距宜为 200-250mm;在普测的基础上,对数据可疑的部位应复测或加密检测,采用平测、斜测、交叉斜测及扇形扫测等方法,确定缺陷的位置和范围。

9.3.4 当同一桩中埋有三根或三根以上声测管时,应以每两根为一个测试剖面,分别对所有剖面进行检测。

9.3.5 对桩身质量可疑的测点,必要时宜用超声波穿透层析成像技术(附录 D)进行复检以进一步确定桩身缺陷的位置和范围。

9.4 检测数据分析和判定

9.4.1 数据处理

1 桩身混凝土的声时(t_{ic}),声速(C_i)和幅度 A_i 分别按下式计算:

$$t_{ic} = t_i - t_{oo} \quad (9.4.1-1)$$

$$C_i = l_i / t_{ic} \quad (9.4.1-2)$$

$$A_i = 201g \frac{100000}{a_i} \quad (9.4.1-3)$$

式中 t_{oo} ---声时初读数(μs)

t_i ---测点*i*的原始声时值(μs)

l_i ---测点*i*处两根声测管之间的净距离(mm)

a_i ---测点*i*处信号波幅值(mv)

A_i ---测点*i*处波幅值(dB)

2 频率(f_i):由数字式超声仪FFT直接读取

9.4.2 桩身混凝土缺陷可疑点判断方法

1 概率法:将同一桩的声速、波幅值按下列要求进行计算和异常值判断,当某一测点的一个或多个声学参数被判为异常值,则存在缺陷的可疑点。

1)同一检测剖面内各测点混凝土声学参数平均值(m_x)和标准差(s_x)的计算:

$$m_x = \frac{1}{n} \sum X_i \quad (9.4.2-1)$$

$$s_x = \sqrt{(\sum x_i^2 - n m_x^2)/(n-1)} \quad (9.4.2-2)$$

式中 X_i ---第 i 点的声学参数测量值

n ---参与统计的测点数

2) 异常数据可按下列方法判定:

将同一检测剖面内各测点的波幅值或声速值有大到小按顺序排列, 即 $X_1 \geq X_2 \geq \dots \geq X_{n-1} \geq X_n \geq X_{n+1} \dots$, 将排在后面明显小的数据视为可疑, 再将这些可疑数据中最大的一个 (假定 X_n) 连同其前面的数据按 (9.4.2-1), (9.4.2-2) 式计算出 m_x 及 s_x 值, 并代入 (9.4.2-3) 式计算出异常情况的判断值 (X_0):

$$X_0 = m_x - \lambda_1 \cdot s_x \quad (9.4.2-3)$$

式中 λ_1 ---由表 9.4.2 查得与 n 相对应的系数;

将判断值 (X_0) 与可疑数据的最大值 (X_n) 相比较, 如 X_n 小于或等于 X_0 , 则 X_n 及排列于其后的各数据均为异常值, 然后去掉 X_n , 再用 X_1 --- X_{n-1} 重复进行计算和判别, 直至判不出异常值为止; 当 X_n 大于 X_0 , 应再 X_{n+1} 放进去 重新进行计算和判别;

当判出异常测点时, 可根据异常测点的分布情况, 按 (9.4.2-4) 式进一步判别其相邻测点是否异常。

$$X_0 = m_x - \lambda_3 \cdot s_x \quad (9.4.2-4)$$

式中 λ_3 按表 9.4.2 取值。

表 9.4.2 统计数的个数 n 与对应的 λ_1 、 λ_3

n	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
λ_1	1.65	1.69	1.73	1.77	1.80	1.83	1.86	1.89	1.92	1.94
λ_3	1.05	1.07	1.09	1.11	1.12	1.14	1.16	1.17	1.18	1.19
n	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
λ_1	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04	2.05	2.07	2.09	2.10	2.12
λ_3	1.20	1.22	1.23	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.30	1.31
n	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
λ_1	2.13	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22	2.23

λ_3	1.31	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36	1.36	1.37	1.38	1.39
n	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
λ_1	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.30	2.30	2.31	2.31
λ_3	1.39	1.40	1.41	1.42	1.42	1.43	1.44	1.45	1.45	1.45
n	100	105	110	115	120	125	130	140	150	160
λ_1	2.32	2.35	2.36	2.38	2.40	2.41	2.43	2.45	2.48	2.50
λ_3	1.46	1.47	1.48	1.49	1.51	1.54	1.54	1.56	1.58	1.59

2 斜率法：用声时 (t_c) ---深度曲线 (H) 曲线相邻测点的斜率K和相邻两点声时差值 ΔT 的乘积 (Z)，绘制Z-H曲线，根据Z-H曲线的突变位置，并结合波幅值得变化情况可判定存在缺陷的可疑点或可疑地区的边界；

$$K = (t_i - t_{i-1}) / (h_i - h_{i-1}) \quad (9.4.2-5)$$

$$Z = K\Delta T = (t_i - t_{i-1})^2 / (h_i - h_{i-1}) \quad (9.4.2-5)$$

式中 $t_i - t_{i-1}$ 、 $h_i - h_{i-1}$ ---分别代表相邻两测点的声时差和深度差。

9.4.3 结合判断方法绘制相应声学参数（声速、波幅、斜率和声时差乘积）---深度曲线。

9.4.4 根据可疑测点的分布及数值大小综合分析，判断缺陷的位置和范围。

9.4.5 当采用声速评价单桩混凝土质量均质性时，可按本规程第9.4.2条第一款的方法计算声速的平均值 (m_x)，标准差 (s_x) 和离差系数 ($C_x = s_x/m_x$)；根据声速的离差系数可评价灌注桩混凝土均质值性。

表 9.4.5 采用声速评价灌注桩混凝土均质性参考表

桩身混凝土均质性评价	离差系数 C_x
A	$0 \leq C_x < 0.05$
B	$0.05 \leq C_x < 0.10$

C	$0.10 \leq C_x < 0.15$
D	$0.15 \leq C_x < 1$

9.4.6 缺陷的性质应根据各声学参数的变化情况及缺陷的位置和范围进行综合判断，按本规程表 3.0.7 的规定和表 9.4.6 所列特征进行综合分析判定：

表 9.4.6 桩身完整性评价

桩身完整性类别	缺陷特征	特 征
I	无缺陷	各检测剖面的声学参数均无异常；
II	轻度缺陷	某一检测剖面个别测点的声学参数轻度异常；
III	明显缺陷	某一检测剖面连续多个测点的声学参数明显异常 或同一深度的测点多个剖面声学参数明显异常； 局部混凝土声速出现低限值异常；
IV	严重缺陷	某一检测剖面连续多个测点的声学参数严重异常 或同一深度的测点多个剖面声学参数严重异常； 桩身混凝土声速出现普遍低限值异常。

10 钻孔取芯法

10.1 一般规定

10.1.1 本方法适用于桩径小于 600mm 的混凝土灌注桩，检测桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度、桩底持力层岩土性状。

10.1.2 本方法应结合高应变、低应变、超声波透射法等其他方法，全面分析综合判定。

10.2 设备及安装

10.2.1 采用的液压高速钻机应具有足够的刚度，振动小、操作灵活、容易固定的特点；采用的单位双管钻具钻杆必须顺直，钻杆直径宜为 50mm，并配备有相应的孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器以及可捞取松软渣样的钻具。

10.2.2 采用的金刚石钻头外径不得小于 100mm，应根据混凝土设计强度等级选择合适的金刚石粒度和浓度、胎体硬度等钻头参数。

10.2.3 应选用排水量为 50-160L/min, 泵压为 1.0-2.0MPa 的水泵。

10.2.4 锯切芯样试件用的锯切机应具有冷却系统和固定夹紧芯样的装置, 配套使用的人造金刚石圆锯片应有足够刚度。

10.2.5 钻机设备安装必须周正、稳固、底座应水平, 钻机立轴中心、天轮中心(天车前沿切点)、孔口中心必须在同一铅垂线上, 应确保钻芯过程中不发生倾斜、移位; 当桩顶与钻机底座距离较大时应安装孔口管, 孔口管应垂直、牢固; 开孔宜采用合金钻头。

10.3 取芯方法要点

10.3.1 现场取芯

1 钻孔定位应根据每根桩的钻芯孔数确定, 当钻芯孔数为一个孔时, 宜在距桩中心 100-150mm 的位置开孔, 当钻芯孔为两个或两个以上孔时, 开孔位置宜在距中心 $1/4$ — $1/6$ 桩径处均匀对称布置; 对桩底持力层的钻探, 每桩应不少于一孔, 且钻探深度应满足设计要求;

2 抽芯时, 钻芯孔垂直度偏差不应大于 0.5%, 钻孔内循环水流不得中断, 应根据回水含沙量及颜色调整钻进速度; 提钻卸取芯样时, 应拧卸钻头和扩孔器, 严禁敲打卸芯; 每次进尺控制在 1.5-2.0mm; 钻至桩底时, 应采取适宜的钻芯办法和工艺钻取沉渣并测定沉渣厚度。

3 钻取的芯样应由上而下按回次顺序放进芯样箱中, 芯样侧面应清晰标明回次数、块号、本回次总块数; 钻孔操作人员应及时记录钻进情况(表 10.3.1-1); 试验人员应对混凝土、桩底沉渣以及桩底持力层作详细记录(表 10.3.1-2)。

4 钻探取样完毕后, 钻芯应采用 0.5-1.0MPa 压力、从孔底往上用水泥砂浆或水泥净浆回灌封闭; 当桩身存在严重缺陷, 或桩底沉渣、持力层未满足要求时, 则钻芯孔应封存, 留待处理。

10.3.2 芯样试件的截取与加工

1 混凝土抗压芯样试件应按以下规定截取:

当桩长不大于 30m 时, 每孔截取 3 组芯样; 当桩长大于 30m 时, 每孔截取芯样不少于 4 组。

上部芯样位置距桩顶、下部芯样位置距桩底均不大于 1 倍桩径, 中间芯样宜采用等间距截取, 芯样试件端面应采用专用的补平器和磨平机补平或磨平; 当缺陷位置能取样试验时, 必须截取一组芯样进行混凝土抗压试验;

2 如果同一根桩的钻芯孔数大于一个，其中一孔在某深度存在缺陷，则必须在其他孔的该深度处取样进行混凝土抗压试验；

3 每组芯样应制作三个芯样抗压试件，芯样试件加工要求应按上海市工程建设规范《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(DG/TJ08-002)有关条文执行；

10.3.3 芯样的抗压强度试验

1 芯样抗压试件完成后，应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》GBJ81 种立方体抗压强度试验的有关规定进行抗压试验；

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

2 芯样试件应在 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的清水中浸泡 40-48h，从水中取出后进行抗压试验；

3 混凝土芯样试件抗压强度应按下列公式计算：

$$f_{cu} = 4F / \pi d^2 \quad (10.3-3)$$

式中 f_{cu} ---混凝土芯样试件抗压强度 (MPa)，精确至 0.1MPa；

F---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)。

10.4 检测数据分析和判定

10.4.1 取一组三块芯样试件强度值的平均值为该组混凝土芯样试件抗压强度代表值；同一受检桩同一深度有多组混凝土芯样试件抗压强度代表值时，取其平均值为该桩该深度的混凝土芯样试件抗压强度代表值。

10.4.2 被检桩中不同深度位置的各组混凝土芯样，其试件抗压强度代表值中最小值为该桩混凝土芯样试件抗压强度代表值。

10.4.3 应根据现场混凝土芯样特征并结合芯样记录，按本规程表 3.0.7 的规定和表 10.4.3 所列特征对桩身进行综合分析判定。

表 10.4.3 桩身完整性分类表

类别	缺陷特征	特 征
I	无缺陷	混凝土芯样连续完整、表面光滑、胶结好、骨料分布均匀、呈长柱状、断口吻合，仅见少量小气孔；

II	轻度缺陷	混凝土芯样连续完整、胶结较好、骨料分布不均匀、呈柱状、断口基本吻合，局部见蜂窝、麻面、沟槽；
III	明显缺陷	混凝土芯样局部胶结较差、骨料分布不均匀、多呈短柱状或块状，局部蜂窝、麻面、沟槽连续；
IV	严重缺陷	混凝土芯样胶结差、夹泥或分层，松散，严重离析，桩长、桩底沉渣明显不满足设计或规范要求。

10.4.1 检测报告除按本规程第 3.0.10 条有关要求执行外，尚应包括：

- 1 钻芯设备情况；
- 2 钻孔数量、每个孔混凝土钻芯尺寸、总进尺、混凝土试件组数；
- 3 混凝土芯样试件抗压强度试验报告；
- 4 异常情况说明。

表 10.3.3-1 钻孔取芯法现场操作记录表

工程名称：

桩号：

孔号：

日期： 年 月 日

时间		钻进 (mm)			芯样 编号	芯样长 度 (m)	残留芯 样	取芯过程异常 情况描述
自	至	自	至	计				

取芯单位：

记录：

校核：

表 10.3.1-2 钻孔取芯法现场芯样记录表

工程名称：

桩径：

桩号：

检测日期：

钻芯孔号：

设计混凝土强度等级：

项目	分段 (层) 深度 (m)	芯样描述	取芯 率 (%)	取样编号 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、混凝土芯是否为柱体、骨料大小分布情况，以及气孔蜂窝、麻面、沟槽、离析、破碎、夹泥、松散情况			
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、土性描述			

取芯单位：

记录：

校核：

附录 A 成孔质量检测要点

A. 0.1 钻孔灌注桩的成孔质量检测包括孔径、孔深、垂直度及沉渣厚度四方面的内容。

各项技术指标应符合表 A. 0.1 的规定。

表 A. 0.1 成孔允许偏差及检测方法

项目名称	允许偏差	检测方法
孔径（承重桩）	-0 +0.14D	用 JJT 型井径仪 或超声波测井仪
垂直度	≤1%桩长	用 JJT 型测斜仪 或超声波测井仪
孔深（承重桩）	-0 +300mm	核定钻头和 kg 钻杆长度
沉渣厚度（承重桩）	≤100mm	二次清孔结束后用带圆锥形测锤的标准水平测绳测定，测锤重量不应小于 1kg

注：1 D——桩的设计直径

2 桩径允许偏差，正值指平均断面负值仅指个别断面。

A. 0.2 本市范围内的钻孔灌注桩工程，在开始正式施工前，必须进行试成孔试验，数量不得少于 2 个，其目的是：

1 核对地质资料，检验所选设备、机具，选择合理的施工工艺和

参数;

2 监测孔壁的稳定;

连续跟踪监测时间宜为 12h, 每间隔 3-4h 监测一次, 比较数次实测孔径曲线、孔深、沉渣厚度的变化, 得出合理的结论。

附录 B 超声检测管埋设要点

B.0.1 超声波测管(简称声测管)是检测过程中换能器移动通道, 其材料应具有一定的强度和刚度, 宜采用焊接钢管(镀锌管或不镀锌管), 内径宜为 50-55mm, 管身不得有破损, 管内不得有异物。

B.0.2 根据桩径大小预埋声测管, 桩径不大于 800mm 宜对称埋两根管; 桩径大于 800mm 小于等于 2000mm, 宜埋三根, 按等边三角形布置; 桩径大于 2000mm 以上宜埋四根, 按正方形布置, 如图 B.0.2 所示; 测管之间应保持平行。

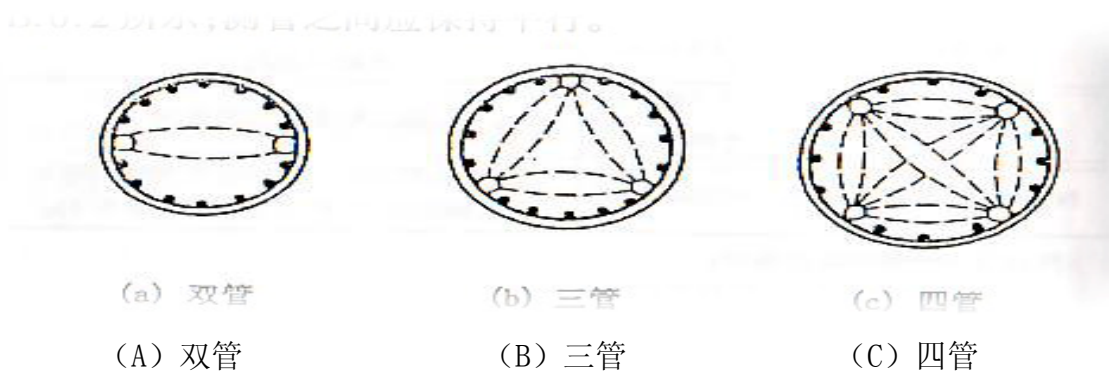


图 B.0.2 声测管埋设示意图

B.0.3 声测管底部应预先封闭, 宜用堵头封闭或用钢板焊封, 以保证不漏浆。

B.0.4 每节钢管宜采用螺纹外套管接头连接, 应保证连接处不渗浆。

B.0.5 在安放钢筋笼时应将声测管焊接或绑孔在钢筋笼内侧, 每节声测管在钢筋笼上的固定点不应少于三处, 声测管之间应相互平行。

B.0.6 在桩身未配筋的部位, 应制作三角形(或井字形)钢筋支架用于固定声测管。

B.0.7 声测管顶部高出桩顶的距离不应少于 0.5m。

B.0.8 埋设完后再声测管管口应立即加盖或堵头, 以免异物入内。

附录C 径向振动式换能器声时初读数 (t_{00}) 的测量

C.0.1 将两个径向振动式换能器保持其轴线相互平行,置于清水中同一水平高度,逐次调节两个换能器轴线间距,并测量其内边缘之间的距离 l_1 和读数相应的声时值 t_1 ,由仪器、换能器及高频电缆所产生的声时初读数 t_0 应按下式计算:

$$t_0 = (L_1 \cdot t_2 - L_2 \cdot t_1) / (L_1 - L_2) \quad (\text{C.0.1})$$

式中 L_1 、 L_2 分别表示两个换能器先后两次调节时内边缘的间距; t_1 、 t_2 为其分别读取的相应声时值;

用径向振动式换能器在钻孔中进行对测比时,声时初读数应按下式计算:

$$t_{00} = t_0 + (d_1 - d_2) / C_g + (d_2 - d_1) / C_w \quad (\text{C.0.2})$$

式中 t_{00} ---孔中测试的声时初读数 (μs);

t_0 ---仪器设备的声时初读数 (μs);

d ---径向振动式换能器直径 (mm);

d_1 ---预埋声测管的外径或钻孔直径 (mm);

d_2 ---预埋声测管的内径 (mm);

C_w ---水的声速 (km/s); 按表C.0.1取值。

C_g ---预埋声测管所用材料的声速 (km/s); 用钢管时 $C_g=5.90$ (km/s)。

表 C.0.1 水温与水声速关系表

水温度 ($^{\circ}\text{C}$)	5	10	15	20	25	30
水声速 (km/s)	1.45	1.46	1.47	1.48	1.49	1.50

附录D 超声波穿透层析成像技术 (CT 技术)

D.0.1 适用范围

超声波 CT 技术是应用于检测直径大于、等于 600mm 灌注桩桩身混凝土缺陷的成像技术。

D.0.2 检测方法

CT 技术是利用计算机对穿透混凝土的超声波走势信息进行处理、重建混凝土内部超声波速度图像的一种反演技术;

为了检查某桩内部混凝土的质量,在桩的埋设管内布置测点进行

穿透法检测，一般将被测桩的剖面分成若干个等面积的小网格，预置各网格单元的初始值，计算各网格单元参数，根据检测结果，按射线逐条循环进行迭代修正，直到满足收敛条件，得出测区内的波速分布值，上述过程可由专用计算机程序完成。

D.0.3 仪器设备

- 1 超声波仪器应采用数字式超声波，声时精度宜为 $0.1\mu\text{s}$ ，发射和接收范围要求 5-10m，能自动收集数据，具有存储、计算处理功能；
- 2 超声波换能器的频率宜选取 20-40kHz；
- 3 发射功率较大，能穿透 10m 左右；
- 4 接收换能器宜带有前置放大器。

D.0.4 现场检测

- 1 在 CT 检测前，首先对单桩进行粗测，对有缺陷可疑部位，进行细测；

- 2 以缺陷部位为中心上下各延伸 2m 范围内布置测点，每隔 100-200mm 为一测点间距，并对测点编号，进行交叉检测；如果有 n 个激发点，实测时，先固定发射换能器于第 1 激发点，接收换能器则由第一接收点开始逐点测量，直到第 n 个接收点，并记录相应点的穿透声时值，然后移动发射换能器到下一激发点，接受换能器位置重复前一过程，直到测得所有激发点在各接收点的声时值；

- 3 当同一桩中埋有三根或三根以上声测管时，可以每两管为一个测试剖面，分别进行检测。

D.0.5 检测数据处理分析与判断

1 原始数据的预处理

应对原始数据进行检查，求取测区的相对平均值及均方差，将所有测点值与其相比较，剔除异常测点值，建立初始模型、设置各网格单元的初始速度值，进行数字滤波，提高信噪比。

2 网格单元的选取

为了能有效地探测到单桩中混凝土缺陷，应选取合适的测网密度，测网的布置是采用如图 D.0.4 所示的交叉放射状的形式，测量间距大小将直接影响 CT 技术的探测精度，一般测点间距不应比要求探测缺陷的最小尺寸大；

3 反演计算

利用计算机进行求解，超大型射线多元线性方程组可用直线模

型，也可用弯曲射线的阻尼算法，宜充分利用发射孔和接收孔中单孔超声测试数据作为边界条件，以提高反演成果质量；

4 图象重建

反演计算主要建立速度图象，可采用打印色谱图；如果使用弯曲射线追踪，宜用距离加权最小二乘法圆滑，加密数据，使色谱图异常处更加明显；速度图中的恶等值线图更详细地反映混凝土内部波速分布情况，波速低区域混凝土土质量较差。

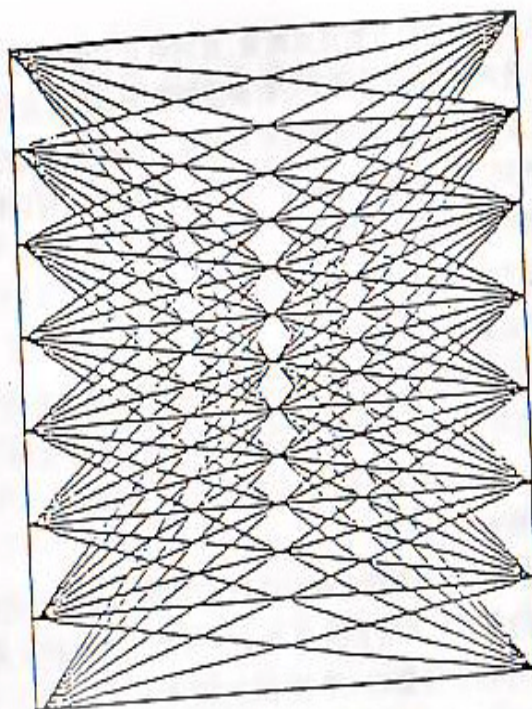


图 D. 0. 4 射线布置示意图

附录 E 本规程用词说明

E. 0. 1 执行本规程条文时，对要求严格程度不同的词说明如下：

- 1 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”；
反面词采用“严禁”；
- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”

反面词采用“不应”、“不得”；

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的词：

正面词采用“宜”

反面词采用“不宜”；

表示有选择，在一定条件可以这样做，采用“可”。

E. 0. 2 条文中指名应按其他有关标准、规范执行的写法为，“应按……执行”或“应符合……要求（或规定）”。非必须按所指的标准和规范执行的写法为“可参照……的要求（或规定）”。