

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，上海市建筑科学研究院负责解释。

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,认真总结实践经验,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的试验方法,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试验、单桩竖向抗拔静载荷试验、单桩水平静载荷试验、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

上海新地海洋信息技术有限公司

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 候瑜玉 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

目 次

1	总则	(1)
2	术语、符号	(2)
3	基本规定	(6)
4	单桩竖向抗压静载荷试验	(9)
4.1	一般规定	(9)
4.2	仪器设备及安装	(9)
4.3	检测方法	(11)
4.4	检测数据分析与判定	(15)
5	单桩竖向抗拔静载荷试验	(17)
5.1	一般规定	(17)
5.2	仪器设备及安装	(17)
5.3	检测方法	(17)
5.4	检测数据分析与判定	(18)
6	单桩水平静载荷试验	(19)
6.1	一般规定	(19)
6.2	仪器设备及安装	(19)
6.3	检测方法	(20)
6.4	检测数据分析与判定	(22)
7	高应变法	(24)
7.1	一般规定	(24)
7.2	仪器设备及安装	(25)
7.3	检测方法	(26)
7.4	检测数据分析与判定	(27)
8	低应变法	(33)
8.1	一般规定	(33)

8.2	仪器设备及安装	(34)
8.3	检测方法	(34)
8.4	检测数据分析与判定	(36)
9	超声波透射法	(40)
9.1	一般规定	(40)
9.2	仪器设备及安装	(40)
9.3	检测方法	(41)
9.4	检测数据分析与判定	(42)
10	钻孔取芯法	(46)
10.1	一般规定	(46)
10.2	设备及安装	(46)
10.3	取芯方法要点	(47)
10.4	检测数据分析和判定	(48)
附录 A	成孔质量检测要点	(51)
附录 B	超声检测管埋设要点	(52)
附录 C	径向振动式换能器声时初读数(t_{00})的测量	(54)
附录 D	超声波穿透层析成像技术(CT 技术)	(56)
附录 E	本规程用词说明	(59)

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与评价。

1.0.3 基桩检测的质量评价必须根据实测试验结果,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 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 静载试验 static loading test

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或单桩水平承载力的试验方法。

2.1.4 高应变法 high strain dynamic testing

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 low strain integrity testing

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 crosshole sonic logging

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 core drilling method

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_o ——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 ——单桩水平静载荷试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 ——单桩竖向抗压静载荷试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 ——单桩竖向抗拔试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;低应变弹性波反射法中频域分析时完整桩相邻波峰之间的频差;

Δf_n ——缺陷桩相邻波峰之间频差的均值;

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刻;

t_n ——第 i 个缺陷的反射波到达桩顶的时间;

t_x ——速度波中的缺陷的反射波对应的时刻;

t_i ——超声波透射法中测点 i 处的原始声时值;

t_o ——超声波透射法中仪器设备的声时初读数;

t_∞ ——超声波透射法中声时初读数;

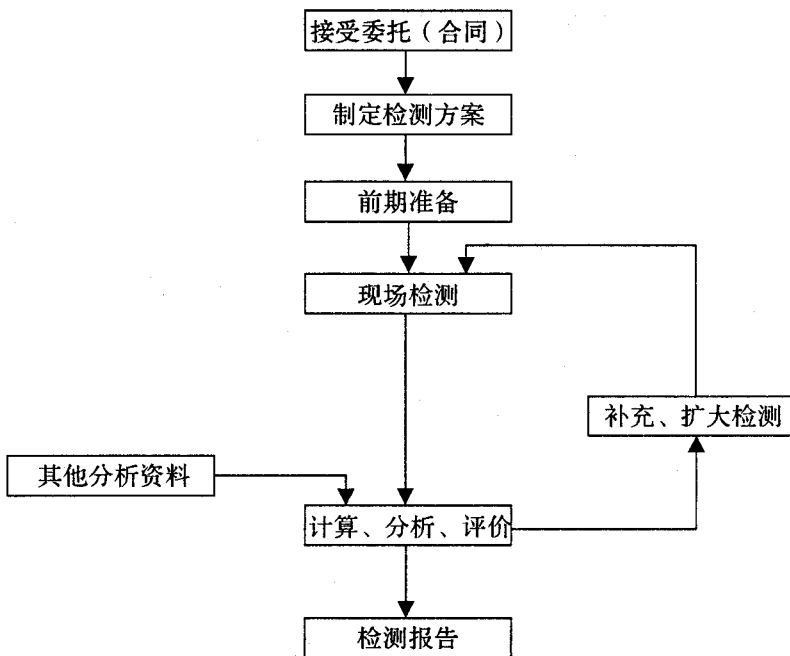
β ——高应变动测法中的桩身完整性系数;

ζ ——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出具合格证,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载荷试验法或高应变动力测试法。

3.0.6 在进行单桩承载力检测时,预制桩在沉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所需要的时间,宜为成桩后 28d;桩身完整性检测时,休止期可以适当缩短,但灌注桩不得小于 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(或沉)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、端阻力或桩身截面的沉降量。

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,最大加载量不应小于单桩竖向抗压承载力设计值的 1.6 倍。

4.1.3 抽检数量:在本规程第 4.3.3 条规定的条件下,单位工程内同一条件下试桩数量不应小于总桩数的 1%,且不应小于 3 根;工程总桩数在 50 根以内时,不应小于 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。

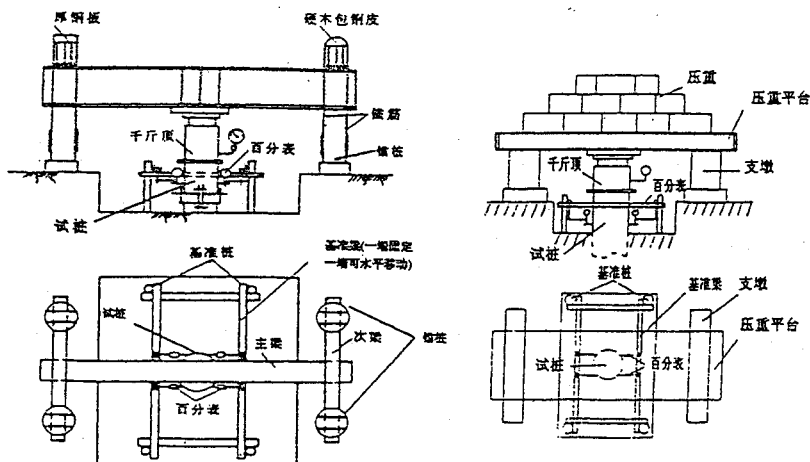


图 4.2.1 单桩竖向抗压静载试验装置

(a) 锚桩横梁反力装置 (b) 压重平台反力装置

4.2.2 荷载量测宜采用应力环、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小于 0.5 倍桩径(或边长)且不小于 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(或其它物体)作为基准桩。

4.2.4 试桩、锚桩(或压重平台支墩)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	$\geq 3D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4D$ 且 $> 2.0m$
压重平台	$\geq 4D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4D$ 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桩数 10% 的桩进行成孔质量检测。

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需要;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得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,且中心轴线应重合。

4.2.7 对灌注桩和有接头的混凝土预制桩,在试桩开始前,应采用低应变方法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快速维持荷载法。

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,当桩顶沉降速率达到相对稳定标准时,施加下一级荷载;试桩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 1.5 h 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,测读时间为第 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桩进行验收性检测。

- 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 大面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,桩基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 $1/10 \sim 1/12$ 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			桩断面尺寸		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 沉渣厚度		备注	
	实际		(<u>累计锤击数</u> 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 4.3.6-3 单桩竖向静载试验数据汇总表

工程 名称		试桩		试桩		试桩		截面尺寸		
		桩型		桩号		桩长		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		

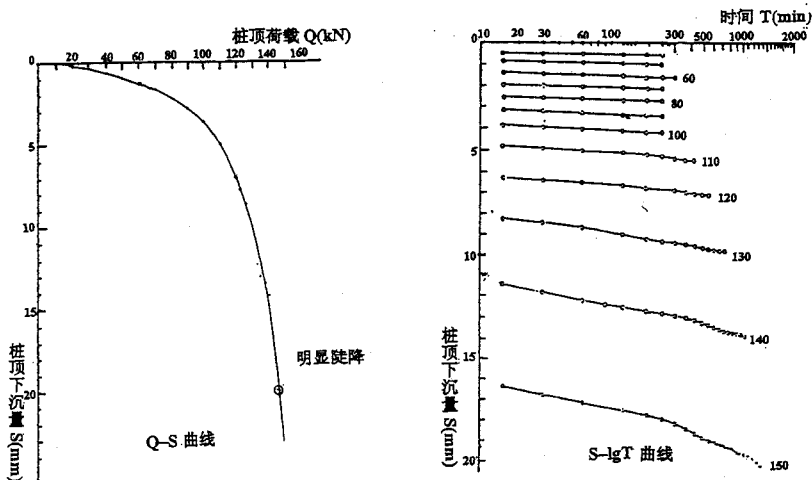


图 4.3.6 单桩竖向抗压静载试验成果曲线

4.4 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 $Q \sim S$ 曲线发生明显陡降的起始点所对应的荷载值；
- 2 取 $S \sim \lg t$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；
- 3 对缓变型 $Q \sim S$ 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值宜按下列步骤确定：

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 :

$$R_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (4.4.2-1)$$

$$R'_m = \frac{R_m + R_{\min}}{2} \quad (4.4.2-2)$$

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

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 - nR_m^2}{n-1}} \quad (4.4.2-3)$$

$$C_x = \frac{S_x}{R_m} \quad (4.4.2-4)$$

2 确定单桩竖向抗压极限承载力标准值 R_k ;

$$R_k = R_m [1 - \zeta(C_x - 0.17)] \quad (4.4.2-5)$$

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 $C_x = 0.17$;

ζ ——与试桩数有关的系数, 由表 4.4.2 查得。

表 4.4.2 系数 ζ 与试桩数量关系表

试桩数	3	4	5	6	7	8	9	10
ζ	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进行综合评价, 必要时应按不满足设计要求的桩数加倍扩大抽检。

5 单桩竖向抗拔静载荷试验

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,其加卸载要求、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它方法。

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 曲线、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 1.25~1.5 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置一球铰座,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(或位移计)测量;每根试桩在力的作用水平面上和该平面以上

500mm 左右各安装一只或二只百分表(或位移计)以量测相应测点的位移,求得水平作用平面以上桩身的转角;试验装置示意图如图 6.2.2。

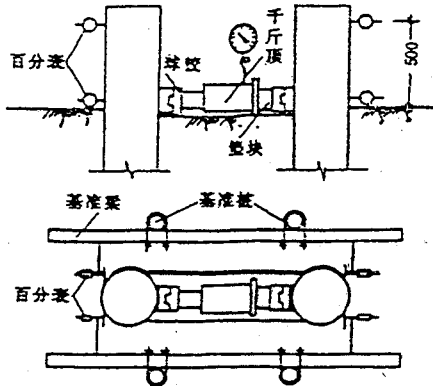


图 6.2.2 单桩水平静载试验装置

6.2.3 量测桩身应力时,各测试断面的测点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 反力结构的承载能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,其净距应不小于 10D,并不小于 6m。

6.2.5 基准点设置应不受试验和其它因素的影响,其与试桩和反力结构的净距不宜小于 5D,当基准点设置在与加荷轴线垂直方向上或试桩位移相反方向上时,间距可适当减小,但不应小于 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($H_0 - \frac{\Delta Y_0}{\Delta H_0}$)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($l_g H_0 - l_g Y_0$);

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。

表 6.3.5 单桩水平静载试验记录表

试桩号：

上下表距：

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：

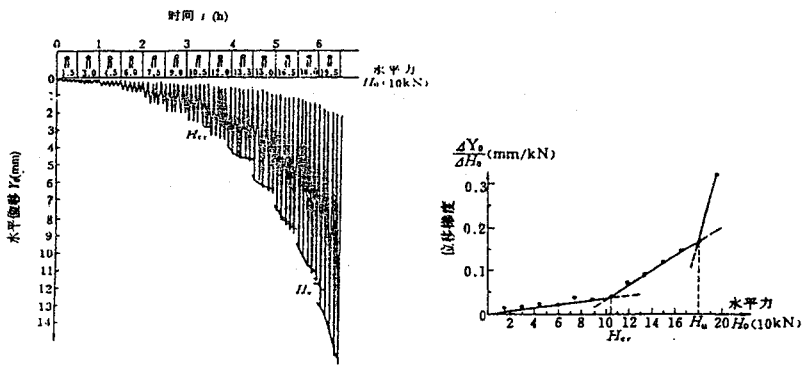


图 6.3.5 单向多循环加卸载法水平静载试验成果曲线

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 $H_0-\frac{\Delta Y_0}{\Delta H_0}$ 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 $lgH_0 - lgY_0$ 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，按本规程第 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,其中采用实测曲线拟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,在相同工艺和相近地质条件下,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、快速自动存贮、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小于 10000Hz,且加速度在 $0 \sim 10000\text{m/s}^2$ 和频率在 $10 \sim 7500\text{Hz}$ 范围内呈线性;若试验桩为钢桩,则宜采用加速度为 50000m/s^2 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,严禁垫入其它物体;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 量测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,且其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100mm;

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、石棉板、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:

$$E = \rho \cdot C^2 \quad (7.3.4)$$

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,采样频率宜为5~10kHz,采样时间间隔宜为50~200 μs ,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,为使桩侧及桩底土阻力充分发挥,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 可根据下行波波形起升沿的起点到上行波下降沿的起点之间的时差与已知桩长确定;

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):

$$R_s = \frac{1-J_c}{2} [F(t_1)] + z \cdot V(t_1) + \frac{1+J_c}{2} [F(t_1 + \frac{2L}{C}) - z \cdot V(t_1 + \frac{2L}{C})] \quad (7.4.5)$$

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 $z = \frac{AE}{C}$, 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

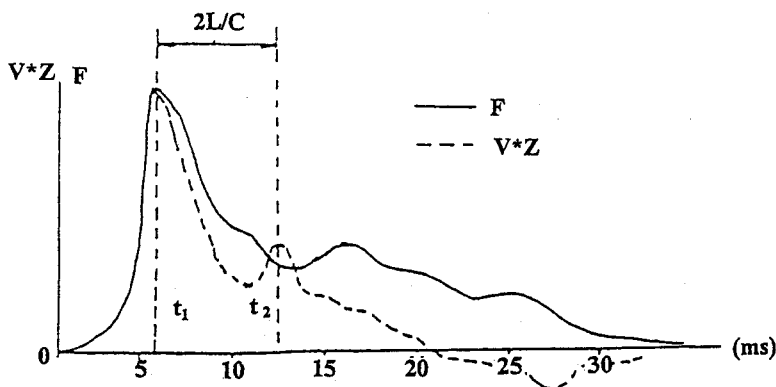


图 7.4.5 凯司法判定承载力计算图

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 R_s 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、下行波的方法,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。

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

$$X = C \cdot (t_x - t_1) / 2000 \quad (7.4.7-2)$$

式中 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)。

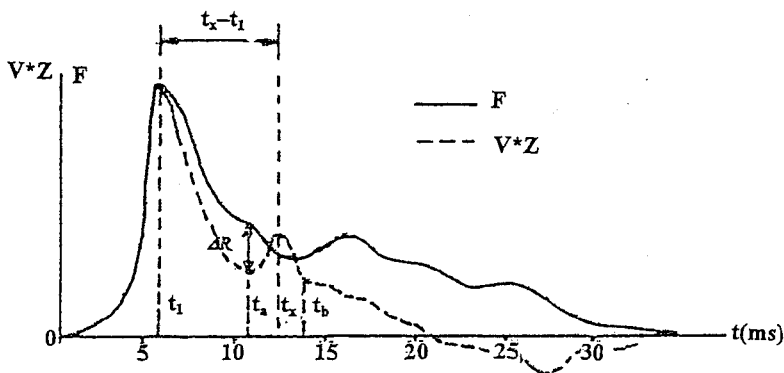


图 7.4.7 桩身完整性系数计算

表 7.4.7 桩身完整性判定表

桩身完整性类别	缺陷程度	β 值
I	无缺陷	1.0
II	轻度缺陷	$0.8 \leq \beta < 1.0$
III	明显缺陷	$0.6 \leq \beta < 0.8$
IV	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、灌注桩的完整性检验,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于 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、均匀并应有足够的代表性;

2 检测数量:对有接头的多节混凝土预制桩,抽检桩数不应少于总桩数的 30%,并不得少于 10 根;单节混凝土预制桩,抽检数量可适当减小,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查;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,直至普查;

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内;

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《基桩检测仪》(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,用高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,传感器安装点宜为距中心 $2/3$ 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° ,传感器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 consistency,当接收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;用耦合剂粘结时,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 上海地区宜采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)以及其它专用附件等组成(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 $5\sim 2000\text{Hz}$,电荷灵敏度宜为 $30\sim 100\text{PC/g}$,电压灵敏度宜大于 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 $2\sim 5000\text{Hz}$;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 ,单通道的采样点不少于 1024 点,应具有时域、频域处理功能;

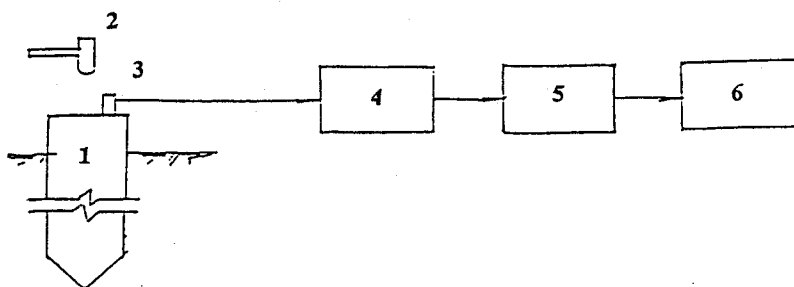


图 8.3.2 弹性波反射法检测框图

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

检测系统应由传感器(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(或力锤)的频率范围:电动式激振器宜为 $10\sim 5000\text{Hz}$, (力锤宜为 $1\sim 5000\text{Hz}$);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 $1\sim 10000\text{Hz}$;

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,频率范围宜为 $1 \sim 20000\text{Hz}$;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。

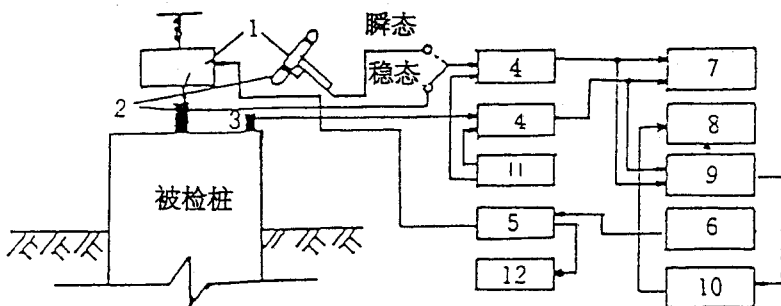


图 8.3.3 机械阻抗法检测框图

- | | | | |
|----------|---------|---------|--------|
| 1 激振设备 | 4 放大器 | 7 磁带机 | 10 计算机 |
| 2 力传感器 | 5 功率放大器 | 8 绘图仪 | 11 电源 |
| 3 加速度传感器 | 6 信号发生器 | 9 信号分析仪 | 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 :

$$C = \frac{2L}{t} \quad (8.4.1-1)$$

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 $\frac{|C_i - \bar{C}|}{\bar{C}} \leq 5\%$;

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:

$$L_{ri} = \frac{1}{2} \bar{C} \cdot t_{ri} \quad (8.4.1-3)$$

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性作分析外,还宜同时对反射波的频域特性进行分析,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:

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

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 时刻前无缺陷反射波, 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 时刻前有轻度缺陷反射波, 桩底反射明显; 桩底反射波受轻度缺陷反射波的干涉, 反射波的规律不如完整桩;
III	明显缺陷	2L/C 时刻前有明显缺陷反射波, 桩底反射波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 时刻前缺陷反射波强烈, 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。

对无桩底反射且 2L/C 时刻前无缺陷反射波(或有轻度缺陷反射波)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:

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

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

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

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

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/m^3);

A ——桩身横截面积(m^2);

f_m ——导纳曲线初始直线部分 m 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 $\bar{K}_d$; 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 $\bar{N}$; 纵波波速 C 大于全桩区纵波波速的均值 $\bar{C}$; 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 $\bar{K}_d$; 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 $\bar{N}$; 纵波波速 C 大于等于全桩区纵波波速的均值 $\bar{C}$; 导纳曲线谱形状特征比较正常, 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 $\bar{K}_d$; 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 $\bar{N}$; 纵波波速 C 小于等于全桩区纵波波速的均值 $\bar{C}$; 导纳曲线谱形状特征异常, 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 $\bar{K}_d$; 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 $\bar{N}$; 纵波波速 C 小于全桩区纵波波速的均值 $\bar{C}$; 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 $0.5 \sim 5000\mu\text{s}$ 之间,其精度不宜低于 $0.1\mu\text{s}$;

3 应具有自动波幅测量功能,整机动态范围宜大于 80dB,分辨率不宜低于 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 $30\mu\text{V}$,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 $0 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度小于 90%、交流供电电压在 $220\text{V} \pm 10\%$ 、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,有效长度宜小于 200mm;

2 接收换能器宜内装前置放大器,频带宽度宜为 10 ~ 200kHz;

3 换能器的水密性应满足在 1MPa 水压下不漏水;

4 换能器的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园钢作疏通吊锤,逐根检查声测管的畅通情况及实际深度;

4 用钢卷尺测量各声测管之间的净距离,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,应以每两管为一个测试剖面,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)进行复测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:

$$t_{ic} = t_i - t_{00} \quad (9.4.1-1)$$

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

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

式中 t_{00} ——声时初读数(μs);
 t_i ——测点 i 的原始声时值(μs);
 l_i ——测点 i 处二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,则为存在缺陷的可疑点;

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:

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

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

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别:

将同一检测剖面内各测点的波幅值或声速值由大至小按顺序分别排列, 即 $X_1 \geq X_2 \geq \cdots X_{n-1} \geq X_n \geq X_{n+1} \cdots$, 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 $X_1 \sim X_{n-1}$ 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 , 应再将 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 值

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	1.53	1.54	1.56	1.58	1.59

2 斜率法:用声时(t_c)——深度(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,并结合波幅值的变化情况可判定存在缺陷的可疑点或可疑区域的边界;

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

$$Z = K \Delta t = (t_i - t_{i-1})^2 / (h_i - h_{i-1}) \quad (9.4.2-6)$$

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)一深度曲线。

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($C_x = \frac{S_x}{m_x}$);根据声速的离差系数可评价灌注桩混凝土均质性。

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 本方法适用于桩径不小于 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;采用的单动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 现场抽芯

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 $1/4 \sim 1/6$ 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,应根据回水含砂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;每回次进尺宜控制在 1.5~2.0m;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;钻机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 钻探取芯完毕后,钻芯孔应采用 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,则必须在其它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 中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:

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

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钻芯记录,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	缺陷程度	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	局部轻度	混凝土芯样连续完整、胶结较好、骨料分布基本均匀、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、破碎、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。

10.4.4 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、每个孔混凝土钻芯进尺、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(m)			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： ϕ 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、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应包括孔径、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 JJY 型井径仪 或超声波测井仪
垂直度	$\leq 1\%$ 桩长	用 JJX 型测斜仪 或超声波测井仪
孔深(承重桩)	-0 +300mm	核定钻头和钻杆长度
沉渣厚度(承重桩)	$\leq 100\text{mm}$	二次清孔结束后用带圆锥形测锤的标准 水文测绳测定,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 监测孔壁的稳定性;

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 超声检测管(简称声测管)是检测过程中换能器移动的通道,其材料应具有一定的强度及刚度,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 宜对称埋二根管;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。

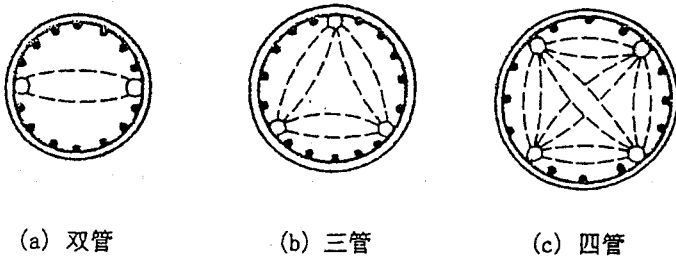


图 B.0.2 声测管埋设示意图

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 埋设完后在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_i 和读取相应的声时值 t_i ,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:

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

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时,声时初读数应按下式计算:

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

当用径向振动式换能器在预埋声测管中检测时,声时初读数应按下式计算:

$$t_{00} = t_0 + (d_1 - d_2)/C_g + (d_2 - d)/C_w \quad (\text{C.0.3})$$

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。

表 C.0.1 水温与水声速关系表

水温度(℃)	5	10	15	20	25	30
水声速(km/s)	1.45	1.46	1.47	1.48	1.49	1.50

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

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(Computerized Tomography)技术是利用计算机对穿透混凝土的超声波走时信息进行处理、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仪,声时精度宜为 $0.1\mu\text{s}$,发射和接收范围要求 5~10m,能自动采集数据,具有存贮、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 检测之前,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 1 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,接收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定

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,波速低区域反映混凝土质量较差。

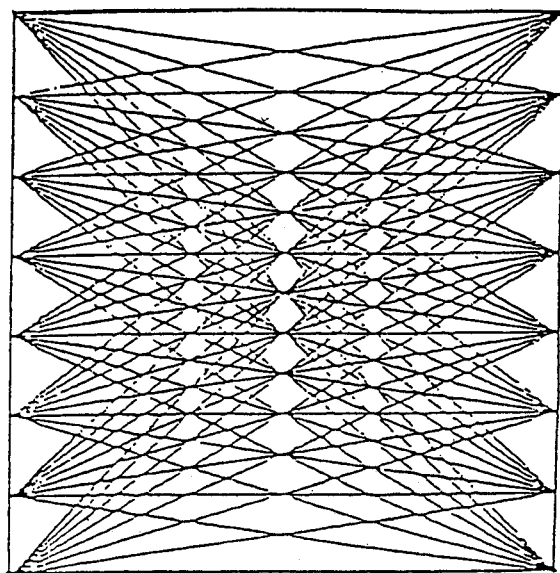


图 D.0.4 射线布置示意图

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用词说明如下:

- 1 表示很严格,非这样做不可的用词;
正面词采用“必须”;
反面词采用“严禁”;
- 2 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:
正面词采用“应”;
反面词采用“不应”或“不得”;
- 3 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的词:
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 条文中指明应按其他有关标准、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)”。

上海市工程建设规范

建筑基桩检测技术规程

DGJ08—218—2003

条文说明

2003 上海

目 次

1	总则	(1)
2	术语、符号	(3)
3	基本规定	(5)
4	单桩竖向抗压静载荷试验	(14)
4.1	一般规定	(14)
4.2	仪器设备及安装	(15)
4.3	检测方法	(17)
4.4	检测数据分析与判定	(18)
5	单桩竖向抗拔静载荷试验	(21)
5.1	一般规定	(21)
5.2	仪器设备及安装	(21)
5.3	检测方法	(21)
5.4	检测数据分析与判定	(22)
6	单桩水平静载荷试验	(23)
6.1	一般规定	(23)
6.2	仪器设备及安装	(23)
6.3	检测方法	(23)
6.4	检测数据分析与判定	(24)
7	高应变法	(25)
7.1	一般规定	(25)
7.2	仪器设备及安装	(26)
7.3	检测方法	(28)
7.4	检测数据分析与判定	(29)
8	低应变法	(32)
8.1	一般规定	(32)

8.2	仪器设备及安装·····	(36)
8.3	检测方法·····	(37)
8.4	检测数据分析与判定·····	(38)
9	超声波透射法·····	(41)
9.1	一般规定·····	(41)
9.2	仪器设备及安装·····	(41)
9.3	检测方法·····	(42)
9.4	检测数据分析与判定·····	(42)
10	钻孔取芯法·····	(43)
10.1	一般规定·····	(43)
10.2	设备及安装·····	(43)
10.3	取芯方法要点·····	(44)
10.4	检测数据分析和判定·····	(45)
附录 A	成孔质量检测要点·····	(46)

1 总 则

1.0.1 由于上海地区复杂的地质条件和深达数十米软土层的特点,普遍采用了桩基础,应用了多种预制混凝土桩、灌注桩和钢桩,不仅用桩数量巨大而且直径较大、长度较长,据近几年不完全统计,上海市每年的用桩量超过 50 万根,约占全国每年用桩量的 16% 以上,如此大的用桩量,如何控制、保证桩基工程的质量,一直倍受建设、施工、设计、监理各方以及建设行政主管部门的高度关注,特别是上海软土地区,桩基工程的复杂性和施工的高度隐蔽性,决定了发现质量问题难、事故处理更难,因此,基桩检测工作成为整个桩基工程中不可缺少的重要环节,成为控制地下基础工程质量的关键之一,只有提高基桩检测工作的质量和检测评定结果的可靠性,才能真正做到确保桩基工程的质量与安全;寻找一种可以广泛应用的、可靠的检测手段和评价方法,一直是从事这方面工作的广大工程技术人员研究的主题,随着科学技术的进步,80 年代以来我国基桩检测技术,特别是基桩动测技术得到了飞速的发展,使基桩质量的普查、承载力的补充判定和抽检已成为现实,为有效控制桩基工程质量提供了可能,基桩动测技术在上海地区的应用已有三十余年的历史,尤其是近十年来有了长足的进步,具有相当的技术基础和积累了丰富的实践经验,基桩静载测试技术、超声波透射检测技术和钻孔取芯检测技术等在各自领域内也已日趋成熟,十余年工程实践表明,基桩检测技术解决了工程中实际问题,为确保建筑工程的基础质量、保障人民生命财产的安全作出了重要贡献;但是,由于缺乏一个统一的技术标准,使检测人员在方法应用、检测数据处理和评判时比较困难,影响了基桩检测工作的质量,漏判、误判现象时有发生,个别人员甚至乱用、滥用,因此极需加强基桩检测技术的管理,使基桩检测技术标准化、规范化,进

一步促进基桩检测技术的进步,根据上海地质条件和基桩的特点,制定出一部适合于上海地区的地方性检测技术法规是十分必要的。

1.0.2 本规程主要适用于上海市建筑工程中的基桩,其他交通、铁路、港口等领域的基桩检测可参照使用,但应注意在参照使用本规程时,应以其他非建筑工程的有关专业规范、规程为主;当基坑围护工程需要检测时,可参照本规程执行;本条所指的质量检测和评价,包含基桩的承载力和完整性两方面。

本条所指的各种混凝土预制桩,是指混凝土预制方桩和预应力混凝土管桩;各种灌注桩包括钻孔灌注桩、人工挖孔灌注桩、树根桩和沉管灌注桩。

1.0.3 基桩检测的目的是确保桩基工程的安全与正常使用,它不仅和基桩本身质量有关而且与地质条件、结构型式、设计要求、使用条件等密切相关;实测的试验结果也包含诸如地质条件、休止时间、施工工艺和流程、检测方法的局限性和被检桩的代表性等各种因素和条件的影响,因此在对基桩工程进行评价时,应综合考虑分析。

2 术语、符号

2.1.1 基桩:一般指桩基础中的单根桩;

2.1.2 桩身完整性

桩身完整性是反映桩身截面尺寸大小,材料密实性和连续性的综合指标,可以用桩身力学阻抗(波阻抗)来表征。

$$Z = \rho \cdot C \cdot A$$

Z ——桩身力学阻抗

ρ ——桩身材料质量密度

C ——应力波纵波速度

A ——桩身截面面积

桩身阻抗变小,说明了桩身中某点存在着不利缺陷,对于灌注桩,缩颈意味着截面面积 A 的减小,离折相对应的是桩身材料质量密度 ρ 和应力波纵波速度 C 的减小,夹泥意味着桩身混凝土截面 A 的减小和密度 ρ 、波速 C 的变化,因此,研究桩身的完整性实质上就是研究桩身阻抗的变化,限于目前检测技术发展的水平,尚无法定量地、准确地判断桩身截面的尺寸、桩身材料的质量密度及该检测点的应力波速度,因此桩身完整性应该说是一项非严格的质量指标,反映的桩身截面尺寸也仅是上、下截面相对变化并非截面的绝对尺寸,本规程中检测、判据时是以设计要求作为参照标准的,因此,在具体工程中,要求检测、审核人员应采用综合分析的方法,并具有较为丰富的实践经验。

2.1.4~2.1.5 基桩动力检测方法按荷载作用下产生的应变变量可分为高应变法和低应变法,前者的桩身应变变量级约在 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 范围内,后者一般小于 10^{-5} ,对于普通钢桩, 10^{-3} 应变变量级已接近其屈服变形,对于混凝土桩,视混凝土强度等级的不同而异,一般出现明显塑性变形对应的应变变量级在 $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-3}$ 范围内。

2.1.6 超声波透射法是通过实测超声波在混凝土介质中传播时声速、波幅等参数的变化,判定桩身混凝土的均匀性,是否有离折、夹泥等缺陷的存在,其检测精度相对较高。

2.1.7 钻孔取芯法可以检测桩长、桩底沉渣厚度、桩身混凝土强度以及混凝土的密实性和连续性,最大的优点在于直观、具体。

3 基本规定

3.0.1 本条文是作为强制性条文执行,主要原因是基于:

国标“建筑地基基础设计规范”GB50007-2002 及“建筑地基基础工程施工质量验收规范”GB50202-2002 的要求,它们均以强制性条文形式明确规定工程桩应进行承载力验收;

国家行业标准“建筑基桩检测技术规范”亦以明确无误的强制性条文规定:“工程桩应进行单桩承载力和桩身完整性抽样检测”。

应该说明的是本条文中强调的是指“工程桩”,应用时不能理解为所有桩基工程在工程桩施工前设计阶段均要做试桩,为设计提供依据的试桩是否要做,主要取决于设计人员是否需要,设计人员在对单桩承载力有把握的情况下可以不做或少做,正象上海市“地基基础设计规范”DGJ08-11-1999 所要求的“对需要进行试桩的工程……”,但是,一旦完成工程桩后,必须进行单桩承载力和桩身完整性检测,这是由于增加了施工因素和前期试桩与工程桩可能存在明显区别等原因所致,也是工程验收的需要。根据上海软土地区特点,相当一批工程,尤其是深基坑工程,基坑开挖以后进行工程桩单桩竖向抗压承载力检测比较困难,因此,实际上的大多数工程往往在工程桩沉(或成)桩的同时,基坑开挖前先做单桩竖向承载力静荷载试验,这里就存在一个无法回避的问题,这些与工程桩同时沉(或成)桩的静载试桩是否具有足够的代表性?能否正确地反映了施工因素的影响?应从下述几方面考虑:

1 该桩应该既是试桩又是工程桩;

2 该桩所处的地质条件、沉(或成)桩工艺、施工人员素质、技术水平、施工设备水平等均应与大规模工程桩的沉(或成)桩一致;例如对于钻孔灌注桩,如果静载试桩的施工与大规模工程桩的施工是两支不同的队伍,他们人员素质、施工机具、施工技术水平均

不同,显然,前期的静载试桩就不能代表后期大规模工程桩的真实水平,前期静载试桩结果不能作为工程桩验收的依据;

3 该桩是否能充分反映整个工程桩施工过程中对桩身质量和承载力的影响,例如混凝土预制桩的沉桩过程对桩身质量和承载力的影响,基坑开挖过程对桩身质量和承载力的影响等,显然,就混凝土预制桩而言,大规模工程桩开始前,挤土尚不明显时的试桩结果就缺乏相应的代表性。

4 更为重要的是要综观整个静载试桩代表区域内,桩身完整性检测结果,只有当试桩的桩身质量与绝大多数工程桩的桩身质量评价一致时,前期的试桩才有代表性可言,此外,在上海软土地区,尚要考虑绝大多数试桩均是施工单位事先已知情况下的施工结果;如果前期试桩没有代表性,未能充分反映施工因素的影响,以此作为工程桩验收的依据是不妥的,应重新进行工程桩承载力检验,条件允许时,可以进行静载荷试验,条件不允许时,可以采用高应变试验作为补充。

3.0.3 试验用的计量检测仪器必须送至法定计量检定单位进行定期检定,使用时必须在有效的计量检定周期内,这是我国《计量法》的要求,以保证检测数据的可靠性和可追溯性。检测前,应进行检查,发现问题后应及时进行重新检定。

3.0.4 本条文提出合理选择试验方法和试桩代表性问题。基桩检测方法很多,各种方法都有其优点和局限性,都有其各自适用的范围和特点,应根据工程的具体条件在满足本规程要求前提下,综合考虑可靠性、经济性后进行合理的选择。

试桩(包括承载力检测和桩身完整性检测两方面)是否具有代表性是本规程编制的基本原则和基础,一般应从下述几方面考虑:

- 1 不同类型、规格桩的代表性;
- 2 局部地质条件出现异常桩的代表性;
- 3 设计方认为重要桩的代表性:包括不同的结构形式、不同

的沉降要求,不同的荷载要求的代表性;

4 不同施工工艺,不同施工人员素质,不同施工机具的代表性;

5 沉(或成)桩过程、基坑开挖过程等施工因素影响不同桩的代表性;

最后,还应说明的是:由于上海地区相当一部分工程技术人员长期以来从事于上海地区地基基础的研究,他们已经积累了数十年的丰富的实践经验和宝贵的技术数据,众多的设计人员对于应设计工程的地基承载力一般都比较了解,比较有把握,因此,在工程桩施工前进行事前检测的情况较少,绝大部分工程都是设计已经完成,从工程桩中选取若干桩作为试桩(既是试桩又是工程桩),为了争取时间,往往是先完成试桩的施工,在试桩的休止期内再进行大规模的工程桩施工,在这种情况下下的试桩,确切的说是验证设计正确的准确性与可靠性,设计要求通过试验了解在已定桩型、桩长、桩径等设计参数条件下,地基土对桩的支持力,因此,它反映的是在该工程具体地质条件下桩身质量优良桩的地基承载能力,为此,应选择桩身质量良好或基本良好的桩,以保证在试桩过程中不会发生桩身结构的破坏,例如对于预制桩,应选择接桩质量优良的桩进行,对于钻孔灌注桩尚要注意控制桩底沉渣和桩径、超深合理指标,前者将对试桩的承载力产生明显影响,后者将涉及到能否代表大量实际工程桩,充盈系数过大(例如 1.3 以上)的试桩或超深的试桩将会给工程带来隐患,同时,要求控制充盈系数,也是为了防止施工过程中弄虚作假现象,达到保证工程质量的目的,但要注意的是这种作为验证设计参数的试桩,不能简单作为工程桩验收,一般说来后者应反映各种施工因素、周围环境综合作用的结果,详见本规程条文说明 3.0.1 条。

3.0.5 本条指出单桩竖向抗压承载力的检测方法:静载荷试验法和高应变法,并重申目前单桩竖向抗压承载力的检测方法只有这

两种。

3.0.6 本条规定了在进行承载力检测时,混凝土预制桩在沉桩后到进行试验的间歇时间,不应少于桩周土体恢复或基本恢复的时间,持力层为粘性土,宜为 28 天以上,砂质粉土、粉砂宜为 14 天以上,这里所指的混凝土预制桩包括混凝土预制方桩、预应力混凝土管桩和其他挤土桩,近年来大量的静载荷嗽验表明,对于挤土桩尤其是对于哪些以⑤层或⑥层粘性土作为持力层的挤土桩,两周的间歇期是远不够的,实际工程中,采用两周间歇时间,多次发生实测承载力与设计承载力及地质资料提供的计算值相差甚远的事例,比较典型的沪西某工程、基础采用 $500 \times 500\text{mm}^2$ 预制方桩,桩长 46m,持力层为⑤-2 层,根据地质资料计算,设计要求单桩极限承载力为 4000kN,该工程同一根桩前后共进行了三次试验,其原始数据如表 3.0.6 所示,间歇期长达 3 个月尚未达到设计要求。

表 3.0.6 沪西某工程三次静载试验数据汇总表

桩号	规格	设计要求 极限 承载力	沉桩 日期	第一次静载试 验试验日期极 限承载力(沉 降量)	第二次静载试 验试验日期极 限承载力(沉 降量)	第三次静载试 验试验日期极 限承载力(沉 降量)
4~176#	$500 \times 500\text{mm}^2$ L=46m 持力层⑤-2	4000kN	96.5.14	96.6.4 1600kN (18.23mm)	96.8.15 3300kN (17.54mm)	97.11.18 4200kN (17.13mm)
5~56#			96.5.9	96.6.1 1200kN (9.01mm)	96.8.18 3450kN (33.85mm)	97.11.20 4200kN (23.48mm)

应该说该工程是一个特例,其他类似工程可能远不如其“严重”,但是不少以粘性土为持力层的工程,经过两周间歇时间后,其承载力远低于设计要求,是一个不争的事实,通常为设计值的 70%~80%,个别工程仅为设计值的 50%~60%,实际上,沉桩以后桩周土体恢复和重新固结需要一个“漫长”的过程,某个具体工

程试桩间歇时间主要取决于沉桩时挤土的激烈程度和土体破坏程度,挤土愈是激烈,土体破坏程度愈大,桩周土恢复的时间愈长,原则上一般应考虑下列几方面因素共同作用的结果:

该工程的地质条件;

桩型、规格、长度、沉桩数量,以及基础形式;

沉桩的工艺流程和程序;

试桩周边环境的影响。

由于各个工程具体情况不同,因此很难统一规定具体的休止时间,本条文规定“宜为 28 天以上”是经过大量工程实践的结果,在具体应用时尚要注意:

1 宜为 28 天以上,而不是 28 天,因此在工期等条件具备时,休止期相对长一些较好;

2 上述 28 天以上是指试桩沉桩以后,不受干扰的环境条件下的休止时间,按照上海市“地基基础设计规范”DGJ08-11-1999 的要求,沉桩的监测范围大致为 $(1.0\sim 1.5)L$ (此处 L 为桩的入土深度),周边沉桩对试桩影响范围大致也是 $(1.0\sim 1.5)L$ 范围,因此,这里的 28 天以上应是以试桩位置为中心 $(1.0\sim 1.5)L$ 为半径范围内没有强烈振动干扰的条件下,休止 28 天以上。

3 限于工期紧迫等原因,有些工程很难达到上述要求怎么办?一般应在设计时考虑,有两种途径:

1)正如上海市“地基基础设计规范”DGJ08-11-1999 所要求的“对于桩身大部分位于淤泥质土中,桩端支承于第⑤层土的预制桩,当采用表列数据时,宜取表中下限值并作适当折减”,事实证明不仅是桩端支承于第⑤层土的预制桩,支承于第⑥层粘性土的预制桩也应包括在内,采用地质资料所列桩侧极限摩阻力标准值、桩端极限端阻力标准值的下限计算并适当打折是一个行之有效的方法;

2)根据地质资料计算结果适当加长桩长或加大截面尺寸,

以增加经济成本来换取时间。

对于灌注桩应满足桩身混凝土养护所需要的时间以及桩周土破坏恢复所需的时间,研究资料表明:上海地区一般宜为 28 天。在进行桩身完整性检测时,间歇期可以适当放宽,但如果混凝土龄期过短、强度过低,应力波在其中的传播时衰减加剧,减小了有效检测深度和降低了缺陷的分辨精度,因此对于灌注桩不宜小于 14 天,桩身混凝土强度应达到设计强度的 70%,并不得低于 15MPa。

3.0.7 本条提出了桩身完整性分类的标准,划分的依据主要是缺陷的程度和其对原设计结构承载力的影响程度,应该说明的是:

1 具体划分时应在实测试验结果的基础上,综合考虑设计条件、承载性状、使用要求以及施工因素后对每根桩进行合理的评价;

2 桩身完整性分类标准中未涉及地基土对该桩的支持力这一重要因素,而仅考虑了桩身缺陷对桩身结构承载力的影响,回答了桩身质量(例如桩身截面尺寸大小相对变化、桩身材料密实性和连续性的变化等)是否满足设计的要求,并未阐明单桩承载力是否满足设计要求,两者不能混淆和等同;

3 桩的承载功能是通过桩身结构承载力而实现的,桩基整体施工质量问题的可由桩身完整性检测发现,如果不能就提供完整性检测结果估计对桩结构承载力的影响程度,进而估计是否危及上部结构安全,桩身完整性检测将完全失去实际意义,因此,本条文中要求对每根被检桩的完整性作出评价,给出每根被检桩的桩身完整性类别,这也是国家行业标准的要求。

3.0.8 本条提出了对工程桩承载力检测结果的评价要求:不仅要明确给出每根桩承载力的检测值,而且据此要给出该单位工程同一条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,与过去习惯概念有着本质的区别,过去的概念是明确给出每根试桩承载力的检测值,是“仅对来样负责”,现在的概念是不仅明确给出

每根试桩承载力检测值而且要回答该单位工程内同一条件下单桩极限承载力的标准值是否满足设计要求,不仅仅是对来样负责,而且要对同一单位工程内同一条件下的其他工程桩的极限承载力统计结果负责,这是国家行业标准的要求,也是国家行政主管部门的要求。理论上要达到上述目的,应有足够数量的试桩,但是我国的现实是:对于静载荷试验,一般是“抽检 1% 且不少于 3 根”,这是一种长期以来的沿袭下来的习惯做法,有其存在的合理性,打破它从而大幅度增加静载试桩数量,将会导致经济成本、工期明显增加,这几乎是不可能的,况且我国已是世界上规定静载试桩抽检数量最高的国家之一。因此,在目前情况下要保证足够的检测置信度,各单位在应用时应注意下述几方面的要求:

1 根据桩基工程的特点,应强调在出具检测结论时,需结合设计条件和施工质量的可靠性,在充分考虑受检桩数量及代表性的基础上进行,试桩应有足够的代表性,没有足够代表性的桩不应作为试桩(可参阅本规程条文说明第 3.0.1 条及 3.0.4 条)。

2 在出具检测结论时,应充分考虑同一工程试桩代表区域内其他工程桩桩身完整性检测结果,例如,试桩为 I 类桩,而同一工程内其他同类工程桩中有相当数量的 II 类桩和 III、IV 类桩,此时试桩结果的统计平均值是否能代表该单位工程同一条件下单桩极限承载力标准值,值得探讨,此外对于钻孔灌注桩尚要考虑工程桩成孔质量检测结果,如果,10% 随机抽检的成孔质量检测结果表明普遍沉渣较厚或明显缩颈,那么试桩(I 类桩)表示的承载力是否能代表整个工程桩的承载力也值得考虑;对于预制混凝土桩要进一步考虑沉桩过程和工艺对桩身质量的影响,特别是对接桩质量的影响、基坑开挖过程中桩身倾斜与偏位的影响。

还应说明的是本条文中的单桩极限承载力标准值是否满足设计要求的结论,是从数理统计概念评价的群体行为,并无全部基桩均满足设计要求或均不满足设计要求的涵义。

3.0.9 本条规定“对Ⅲ类桩应进一步检测,核实单桩承载力”,这是由于桩身完整性检测,主要是对桩身结构承载力的评估,并未涉及到地基土对桩的支持力问题,对于通常混凝土桩(或刚性桩)而言,其结构承载力明显大于地基土对它的支持力,单桩承载力主要是由地基土对桩的支持力决定的,对于Ⅰ类桩(或Ⅱ类桩),其桩身良好或基本良好并不存在明显致命的缺陷,一般正常情况下,单桩竖向抗压承载力应满足设计要求,而对于Ⅲ类桩,由于桩身存在着明显质量缺陷从而导致结构承载力的降低,当其仍然大于地基土对该桩的支持力时,该桩的竖向抗压承载力并未降低,但当其结构承载力降低到和地基土对桩的支持力可以相比拟或甚至更低时,此时,该桩的竖向抗压承载力不是由地基土对该桩的支持力决定而是取决于该缺陷处的结构承载力,从而有可能导致该桩承载力的降低,在实际工程中,例如明显缩颈的灌注桩,桩截面缩至钢筋笼保护层内,对于 $\phi 600$ 直径灌注桩而言,桩身截面积减少30%以上,属于典型的Ⅲ类桩,但其竖向抗压承载力有两种可能,主要取决于缺陷处的桩身混凝土强度,如果70%面积内的桩身混凝土的强度比较低或桩身截面减小更多,存在着该缺陷处的结构承载力低于地基土对桩支持力的可能,那么,该桩的单桩竖向抗压承载力就有可能低于设计要求;如果70%面积内桩身混凝土有足够的强度,保证该缺陷处的桩身结构承载力大于地基土对桩的支持力,该桩尽管有明显缺陷存在,其单桩竖向抗压承载力仍然可以满足设计要求。Ⅲ类桩的竖向抗压承载力具有不确定性,不能说所有Ⅲ类桩,其承载力必然满足或不满足设计要求,所以本条文规定要求应对Ⅲ类桩进一步检测核实单桩承载力,即使承载力核实结果,满足设计要求,该桩仍然是Ⅲ类桩,由于其桩身质量存在明显缺陷,结构承载力未能满足设计要求,从水平承载力、长期稳定性、耐久性等考虑仍然存在着工程隐患。本条文中还要求“对Ⅳ类桩应进行工程处理”,这里的工程处理包括:补强、补桩、设计变更或复核

原设计是否可满足结构安全和使用功能要求等而采取的一切措施。

本条文最后部分要求对于哪些相当数量的工程桩,桩身质量存在明显或严重质量问题的事故工程,进行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,从各类桩中选择数根典型桩进行静载荷试验或高应变试验,根据试验结果,综合分析后评价并采取必要的加固措施,这是上海市近十年来处理事故工程行之有效的经验总结,只有这样,才能比较全面反映整个工程基桩承载力的全貌。

4 单桩竖向抗压静载荷试验

4.1 一般规定

4.1.2 本条强调了为提供设计依据的试验应加载至地基破坏,求得地基土对桩的极限承载力、任何由于桩身结构的破坏未能得到地基土对桩的极限承载力的试验,均为失败的试验,因此,要求试验前应选择完整性较好的桩进行。

4.1.3 本条对抽检数量作了具体的规定:“单位工程内同一条件下试桩数量不应小于总桩数的 1%,且不应小于 3 根”这是国标“建筑地基基础设计规范”GB5007-2002、国标“建筑地基基础工程质量验收规范”GB50202-2002、行标“建筑基桩检测规范”等多项技术标准的要求;“工程总桩数在 50 根以内时,不应小于 2 根”,在国标“建筑地基基础工程施工质量验收规范”GB50202-2002、行标“建筑基桩检测规范”中亦有明确的规定;

本条文规定“单工程内同一条件下……”的含义是指同一工程地质状态;同一桩型、规格;同一施工工艺;同一施工队伍、人员素质、机具条件;同一设计要求等五方面的内容。

“……试桩数量不应小于总桩数的 1%,且不应小于 3 根”,此处的总桩数应是上述满足“同一条件”要求下的总桩数,例如某小区(单位工程)在工程地质条件均匀的场地内拟建 10 幢小高层,均采用同一工艺、同一规格、长度的钻孔灌注桩,每幢 75 根桩,共 750 根桩,业主为了加快进度决定由 3 支施工队伍各承包 250 根桩同时施工,在此情况下,一般应做多少静载试桩?可能有三种不同的答案:

1 10 幢小高层每幢都要做总桩数为 75 根的 1%,且不应小于 3 根,至少共 30 根;

2 按照总桩数 750 根,且不应小于 3 根考虑,应做 8 根;

3 总桩数按 250 根,且不应小于 3 根考虑,至少应为 9 根,每个施工单位施工的桩各做 3 根;显然,答案 3 较为理想,它满足了单位工程内同一条件下试桩数量不应少于总桩数的 1%,且不应小于 3 根的要求,试桩总数仅为 9 根(远小于 30 根),既经济又合理。

最后,还应特别指出的是在考虑抽检试桩数量的同时,更要注意试桩的代表性,例如高层建筑中的主楼和裙房可能上述五个“同一条件”均能满足,但能否以主楼的试桩来替代裙房的试桩,还值得研究,因为一般来说主楼桩多且密,而裙房桩少而稀,两者施工因素的影响不同;当然,在施工挤土明显的工程中,以工程桩大规模施工前的试桩作为验收的依据,更无代表性可言。

上述试桩数量应是充分考虑试桩代表性基础上的抽检下限,在试桩代表性不足,给出单位工程同一条件下单桩极限承载力标准值能否满足设计要求的结论有困难时,应适当增加试桩数量。

4.2 仪器设备及安装

4.2.1 本条要求当多台千斤顶并联使用时,型号、规格应一致,主要目的是力求做到加卸载过程中能同步工作;所采用的反力装置提供的反力不应小于预估最大加载量的 1.2 倍,并应分别验算各部件的结构强度和变形,主要目的是保证试验的安全;对于预应力高强混凝土管桩(PHC 桩),用锚桩横梁反力装置提供反力时,应采取适当的加固措施;在压重平台反力装置中,特别是高荷载的试验中,应确保消除由于高荷载的集中堆载引起地基土的沉降和回弹对试验结果的影响,以及对基准梁稳定的影响,为此,压重施加于地基土的压力不应超过地基土极限承载力标准值的 0.6 倍(特征值的 1.2 倍),堆载压重平台的支承架与试桩和标准桩之净距应足够大,鉴于此,重型的压桩机不宜作为进行高荷载单桩竖向抗压

静载荷试验提供反力的装置,重型压桩机附近土体的沉降和反弹明显影响了基准梁的稳定性,因此,对于过重荷载的大型堆载试验应考虑对其承受荷重的地基土进行加固,有条件时,宜利用工程桩作为堆载支点。

4.2.2 本条规定是为了保证测量精度,用压力表测定油压时,其精度等级应优于或至少等于 0.4 级以上。

沉降测定平面应在桩顶以下 0.5D 桩径处,目的是避免因桩顶承载板变形导致沉降观测数据的失实,锚桩上拔量测点应置于锚桩桩顶混凝土面上,目的亦是为了避免测读的锚桩上拔量失实。

4.2.3 基准梁应一端固定,另一端可以单向水平平移;严禁日光直射,主要是为了减少温度变化引起基准梁挠曲变形导致实测数据的波动,从而影响试验结果。

4.2.4 表 4.2.4 中各项规定目的是为确保试验数据的正确,适用于各种桩型的竖向抗压静载荷试验,也适用于截面为 $250 \times 250\text{mm}^2$ 以下的小型预制方桩。

4.2.5 主要由于灌注桩的竖向抗压承载力与桩长、桩径、沉渣、倾斜等密切相关,必须进行孔径、孔深、沉渣及垂直度检测,其充盈系数必须有代表性并控制在 1.0~1.3 允许范围内,以达到静载试桩为设计提供依据和评估工程质量的目的,防止施工过程中的弄虚作假现象。

4.2.6 主要目的是为了提高试桩效率,确保试验成功。

4.2.7 对灌注桩和有接头的混凝土预制桩,在试验前,应进行低应变检测,主要目的是确保试验桩(试桩及锚桩)的桩身不存在明显的质量缺陷,避免因桩身结构破坏而导致试验失败而采取的预防性措施,另一方面如果此类事件一旦发生,可以为事后分析原因提供依据。

4.3 检测方法

4.3.1 上海地区宜采用慢速维持荷载法和快速维持荷载法,除了本规程第 4.3.2 条及第 4.3.3 条已明确规定应采用慢速维持荷载法的静载荷试验要求外,其它静载荷试验两种方法均可以应用,但必须注意快速维持荷载法较慢速维持荷载法,一般极限承载力偏高 0.5~1.0 级差,累计沉降偏小,对此,有关方面在应用快速法时应有足够的、清醒的认识,尤其是应用在以饱和性粘性土为持力层的桩基工程中(例如以第⑤层为持力层的 $250 \times 250\text{mm}^2$ 预制方桩)更应注意风险的控制,关键在于判断施加最后一级(或最后二级)荷载时,沉降是否有收敛趋势,较快的收敛,则数据可靠性较高,反之,数据可靠性较差,如果最后一级(或最后二级)一小时内的沉降量发展过程是发散的,则表明最后一级(或最后二级)提供的承载力是不可靠的,因此必要时应在原分级基础上增加一级荷载或延长维持荷载的时间以判断其沉降的收敛性。基于上述原因,快速维持荷载法宜局限于一般工业与民用建筑工程及多层建筑的工程桩进行验收性检测。

4.3.2 与国家行业标准“建筑基桩检测技术规范”取得一致,该规范规定:“为设计提供依据的竖向抗压静载试验应采用慢速维持荷载法”并作为强制性条文执行。

4.3.3 国家行业标准“建筑基桩检测技术规范”明确规定:设计等级为甲级的桩基、地质条件复杂施工质量可靠性低、采用新桩型或新工艺、挤土群桩施工产生挤土效应等四项单位工程内的工程桩,验收检测应采用竖向抗压承载力静载试验。本条对所列 9 项工程的工程桩检测要求,实际上是国家行业标准在上海地区执行的必然结果。在对本条所列 9 项工程进行验收性检测时,本条文明确提出高应变动测法是补充验收性检测,并应以静载荷试验法为评定标准,从而确定了高应变动测法的相应地位,各单位在应用时应

清楚:验收检测首选方法仍然是静载荷试验法,只有静载条件不允许或为全面控制工程质量而静载试桩数量过大时,可以用高应变方法进行补充性验收检测,前提条件是应有相近条件的对比验证资料,目的是减少高应变动测的误差,提高高应变动测的精度,众所周知高应变动测法有其特殊的优点,但也有其不足,一般情况下,其检测结果与慢速静载荷试验比较,上海地区可达 $\pm 10\% \sim \pm 20\%$ 的误差,而且与检测人员的水平、经验密切相关,一旦试验方法不当、检测人员水平较低误差更大;同时其检测结果具有多解性,工程实践经验缺乏者,比较难于掌握,因此在使用高应变方法对工程桩进行验收性检测时,检测人员应有充分的经验,并具有相近条件下可靠的动、静对比资料,不仅是承载力数值的比较,还应比较桩的沉降和荷载传递特性是否合理;本条有关高应变试验的规定也是国家行业标准的要求。

4.3.4 每级荷载在其维持过程中应保持数值的稳定,这是维持加荷的基本要求,在维持荷载的过程中,每级荷载变化误差不得大于分级荷载的 10% ,例如分级荷载(级差)为 100kN ,则每级荷载幅值变化不超过 10kN 。

4.3.5 对于灌注桩及有接头的预制桩当满足本条第1或第2款但总沉降量较小时,宜继续加载,这是由于这种情况的发生往往是桩身结构破坏或预制桩上下两节桩脱开或灌注桩沉渣太厚所致,实际工程中为便于分析试桩失败的原因,宜继续加载直至沉降量达到 100mm 以上的要求。

4.4 检测数据分析与判定

4.4.1 近几年研究统计资料表明,对于上海地区的灌注桩或预制桩,在极限状态下所对应的总沉降量一般为 $30 \sim 50\text{mm}$ (表4.4.1),因此,当无法根据实测的 $Q-S$ 曲线或 $S-\lg t$ 曲线判定试桩极限承载力而按沉降量确定时,宜取总沉降量为 40mm 时所对

应的荷载为极限荷载,这也是与国家行业标准取得一致,上海地区超过 40m 的长桩,应注意到桩身弹性压缩变形的影响,综合考虑后应适当增加。

表 4.4.1 上海地区部分灌注桩极限承载力、总沉降量汇总表

工程编号	桩长 (m)	桩径 (mm)	L/D	持力层	极限承载力 (kN)	总沉降量 (mm)
1	37.50	800	46.9	⑦ ₂	7100	32
2	66.35	800	82.9	⑦ ₂	9140	43
3	47.00	800	58.8	⑦ ₂	6960	40
4	37.90	800	47.4	⑦ ₂	5720	30
5	45.10	650	69.4	⑤ ₄	3800	36
6	58.00	800	72.5	⑦ ₂	7780	39
7	40.14	600	66.9	⑤	3850	30
8	40.10	650	61.7	⑦ ₂	3710	30
9	49.00	800	61.3	⑦ ₂	8160	40
10	48.15	700	68.8	⑧ ₁	4360	34
11	48.15	700	68.8	⑧	4110	34
12	76.75	850	90.3	⑨	11030	50
13	72.00	800	90.0	⑨	10410	50
14	23.05	650	35.5	⑦ ₁	1920	35
15	45.70	600	76.2	⑦ ₁	4520	40
16	25.05	600	41.8	⑦	2580	30
17	25.05	600	41.8	⑦	2290	40

4.4.2~4.4.3 此二条规定了在上海地区确定单桩竖向抗压极限承载力标准值的方法。条文中的“当各试桩条件相同时”是指同一个工程、同一种规格、同一个持力层、同一种试验方法；在具体应用时，应先计算试桩结果统计特征值，然后确定单桩竖向抗压极限承载力的标准值，正常情况下，各桩的离差系数不会太大，多年来上海地区的实践经验表明：各桩的极限承载力与其平均值之比一般不超过 $\pm 15\%$ ；但也不排除少量工程中，离差系数过大($C_x > 0.17$)的可能，此时，应首先检查产生的原因，例如灌注桩是否桩顶压碎、充盈系数是否过大或沉渣是否过厚，预制桩是否上下两节桩脱开，甚至地质勘探是否异常等等，然后，评估其对整个工程影响，区分这种过大的偏差是个别现象、局部现象还是普遍现象，在综合分析的基础上，采取相应措施，必要时也可以增加试桩数量，最后给予整个工程单桩抗压承载力恰当的评价；一般情况下离差系数过大，多数是由于施工不当而造成的，它反映了工程质量的现实，有关方面应充分重视，查清原因、消除隐患确保工程质量，切记不是能用折减系数所能“抹平”的，只有在充分调查后，排除地质不均匀、施工不当等系统原因后才能用表 4.4.2 提供的折减系数 ξ 进行适当的折减。

5 单桩竖向抗拔静载荷试验

5.1 一般规定

5.1.3 试桩应有代表性,接桩质量有明显缺陷的预制桩不仅不具有代表性,而且有可能导致试验的失败;桩身中、下部位有明显扩径的灌注桩,其抗拔极限承载力远高于长度和桩径相同的正常非扩径桩,不具有代表性。

5.2 仪器设备及安装

5.2.2 本条包含以下内容:

1 对试桩和锚桩以及基准桩之间的中心距离、基准梁的安装、提供反力装置的方式和要求、加载设备、检测仪器等作出了具体规定;

2 对于灌注桩的试桩,在成孔后混凝土浇灌前应进行成孔质量检测、保证其具有足够的代表性;

3 对于灌注桩和有接头的混凝土预制桩,在试验前,应采用低应变法进行桩身完整性检测,目的是了解试桩桩身的完整性,评估其桩身结构对承载力的影响;

4 锚桩因承受压力,因而要注意桩顶处理,保证锚桩桩顶有足够的强度。

5.3 检测方法

5.3.1 明确规定应采用慢速维持荷载法,各项技术要求同单桩竖向抗压静载荷试验。

5.3.2 试验终止条件之一是对混凝土预制桩或灌注桩,累计桩顶上拔量超过 30mm 时可终止加载,这是上海地区多年实践的结果,

以保证竖向抗拔试验不会对试桩桩身质量,产生显著的影响。

5.4 检测数据分析与判定

5.4.1 本条文第三款“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”,此处的“断裂”是指因钢筋强度不够所造成,而非其它原因所引起的断裂,因此,试验过程中发生钢筋断裂时,应仔细分析原因,确定是否由于钢筋强度不够而引起。

6 单桩水平静载荷试验

6.1 一般规定

6.1.1 本条包含下列三方面内容:

- 1 本试验方法适用于桩顶自由的单桩;
- 2 其他形式的水平静载试验可根据设计要求参考本试验方法进行;
- 3 试验的目的是确定单桩水平承载力和桩侧地基土水平抗力系数。

6.1.3 强调试桩位置应根据工程地质条件、设计要求和类似工程经验综合确定;强调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,更接近实际应用情况。

6.2 仪器设备及安装

6.2.1~6.2.2 此二条阐明了试验要求的设备和检测仪器以及安装要求。

6.2.3 水平荷载桩的破坏主要是由桩身弯矩而引起的结构破坏,为求出最大弯矩的大小和位置,应加密测试断面。

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,上海地区一般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,单向多循环加卸载法是国家行业标准“建筑基桩检测技术规范”推荐的方法,上海不少单位都在应用。

6.3.4 本条第一款“当……或水平位移超过 30~40mm(软土取 40mm)时”试桩可终止加载,是考虑到有些工程试桩曲线未出现

明显陡降或拐点的情况下,按水平位移量控制的标准,亦是国家行业标准的要求。

6.4 检测数据分析与判定

6.4.1 单桩水平极限承载力是对应于桩侧土体破坏、桩身折断或桩身钢筋应力达到屈服时的前一级水平荷载,但一般检验性的试验中,往往根据设计要求的最大水平位移控制,并不一定能得到单桩水平极限承载力,应注意两者的区别。

7 高应变法

7.1 一般规定

7.1.1 本条明确了高应变动测法在建筑工程基桩检测中的地位,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,并指出对于多支盘灌注桩,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,结合本规程 4.3.3 条的要求,进一步明确了高应变法的适用范围;多支盘灌注桩由于其桩身直径变化较大,多次明显扩缩颈不能满足高应变动测的要求,大直径扩底桩和灌注桩,通常其静载荷 $Q-S$ 曲线表现为缓变型,端阻力发挥所需位移较大,高应变检测锤击能量有限,多数情况下土阻力不能充分发挥,今后应加强这类桩动测理论研究与实际经验的积累。

7.1.2 本条明确了高应变检测的三个主要功能:

1 检测单桩竖向抗压承载力,一般经常应用两种方法,凯斯法和实测曲线拟合法,当采用实测曲线拟合法分析时可得出桩侧土阻力分布和桩的端承力,但绝不能简单地把程序自动拟合得出的单元侧阻力不加修正的提供进去,而应结合实测波形具体情况将拟合参数作适当调整;曲线拟合的主要依据是实测波形,而影响实测波形的因素除桩周土阻力分布外,还有桩身截面变化、桩身材质不均匀、桩身裂隙以及偏心锤击、传感器灵敏度、传感器安装的质量等,因此在拟合分析时应结合具体情况,采用人工干预的方法进行拟合。在此,尚应注意的是采用高应变动测法检测单桩竖向抗压极限承载力时,必须有足够大的冲击力,使桩周土进入塑性状态,这样才能达到充分发挥桩侧土阻力和桩端阻力的目的,在进行锤击的同时实测桩顶的贯入度应达到 $2\sim 6\text{mm}$ 的要求。

2 检测桩身结构完整性,与低应变检测相比,高应变由于其冲击能量大,可以检测出长桩深部的缺陷,也可以测出一根桩两个以上不同断面处的明显缺陷,但对于桩顶附近的缺陷(如距桩顶3m以内)则难以判别,因为高应变锤击波形从起始到峰值的上升时间一般在2ms以上,在该范围内缺陷对波形的影响不很明显;另外高应变动测也难以判别桩身的微小裂缝。

3 检测锤击沉桩时的打桩应力和监测桩锤效率,可以使施工单位在选择锤、选择垫层以及确定沉桩工艺等方面有科学的依据,达到既可控制打桩应力、又可提高打桩效率,这一方法应在施工中推广应用。

7.1.3 本条提出了应选择具有代表性的桩进行高应变试验和要求抽检的数量,与上海市工程建设规范“地基基础设计规范”DGJ08-11-1999中的规定基本一致,这也是国家行业标准的要求,但增加了实测曲线拟合桩数的比例,这是由于:

1 采用实测曲线拟合法得到的承载力,精度高于凯司(CASE)法,目前上海所有具备高应变检测资质的单位都有实测曲线拟合程序;

2 凯司(CASE)法计算中采用的阻尼系数 J_c 一般是通过同一工程桩的动静对比或实测曲线拟合得出的, J_c 是一个综合参数,影响的因素较多,同一工程中由于地质的差异,钻孔灌注桩侧摩阻力与端阻力的不稳定性及钻孔桩桩身截面变化等,各桩拟合得出的阻尼系数有一定的差别,以极少量桩得到的 J_c 平均值进一步推广应用到大量桩中,将会导致较大的误差,提高拟合桩数量可减少这种误差。

7.2 仪器设备及安装

7.2.4 本规程提出在用自落锤时,锤重应不小于预估极限承载力的15%,这是根据多年来上海地区的实测经验并结合国内其它规

范的要求提出的,大量的试验结果表明锤重过小(如 8%预估极限承载力)不足以使桩周土进入塑性状态,特别是对于成桩 28 天后的灌注桩,以致不能准确测出极限承载力,要充分发挥上海地区桩的承载力,上述要求是必须的;此外,规定了锤的高宽比及锤底直径与桩顶直径的关系,可提高锤击下落时的稳定性,减小锤击偏心,提高测试波形的质量和试验的安全性,本条规定亦是国家行业标准“建筑基桩检测技术规范”强制性条文的要求。

7.2.5 本条是根据本市及国内多年的测试经验提出来的,目前许多用钢板制成的分片组装锤,由于单片钢板厚度不够,多次使用后钢板变形,组装后钢板与钢板之间有小孔隙,锤击时钢板的变形和相互碰撞使实测力波形不规则,严重影响计算分析成果,整体锤可避免上述现象;我们建议试验中应重锤低击,一方面可避免桩顶打坏,防止桩身出现过大的锤击拉应力,减少桩身损坏,另一方面提高了试验的安全性。

7.2.6 本条要求将实测应变转换成力时,应采用桩身材料的实测弹性模量和传感器安装位置的桩身实际截面积,其中试桩的弹性模量 E 可从下式求出:

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

式中 ρ 为桩身材料密度, C 为应力波在试桩内的传播速度,后者通过试验才能得出。在分析一根桩的高应变动测结果时,必须用实测 E 去代替试验前的预估值。

7.2.7 传感器安装截面与桩顶之间的距离不宜过小,主要是考虑锤击试验时不可避免的会产生偏心锤击,离桩顶愈近,偏心影响愈大,对混凝土桩,在 2 倍桩径以下处,偏心的影响比桩顶小得多,但对钢管桩,有条件时传感器距桩顶应再远一点;严禁使用单只传感器也是为了要尽量减少偏心锤击的影响,用同一截面处二个对称安装传感器的平均值可以达到减少偏心锤击影响的目的。

7.3 检测方法

7.3.1 本条为高应变检测桩的桩顶加固要求,应按本规程第 4.2.6 条的规定进行处理,这不仅是对事先准备好的试桩而言,也应包括基坑开挖以后,因工程需要抽取的工程桩试桩,其目的不仅为了保证检测数据的可靠性而且关系到试验的安全性。

7.3.4 桩身材料质量密度可按有关手册中数据,也可按下面的推荐值(单位: kg/m^3):

钢桩:7850;

混凝土钻孔灌注桩:2400;

混凝土预制方桩:2450~2500

预应力混凝土管桩(PHC、PTC、PC):2500~2600。

钢桩和混凝土预制桩的长度应按实际测量桩长;钻孔灌注桩的桩长应按实测孔深推算。

7.3.6 高应变检测时必须同时量测桩的实测贯入度,实测曲线拟合分析除了要求拟合出的曲线必须与对应的实测曲线一致外,拟合得出的贯入度还必须接近实测贯入度,本条推荐的高应变动测试验的贯入度是一个经验数值,在桩径小时取低值,大直径桩(或桩底为大直径的桩)取高值,若试验时贯入度太小,则桩周土阻力不能充分发挥,得到的承载力偏低;反之若贯入度太大,又会与高应变分析时所用模型不相符。

7.3.7 从理论上讲,一根桩高应变检测得到的锤击力 F 与速度 V 应成比例,比例系数为 Z (即阻抗),在没有土阻力影响的部分, F 应与 $Z * V$ 重合,若实测到的桩顶力第一峰值与速度第一峰值相差较大,应立即停锤检查,分析原因;若随意进行比例调整(即改变 Z 值),则得出的只会是假数据,因此本条用了不得二字,而且例为强制性条文,本条也是国家行业标准强制性条文的要求。

7.4 检测数据分析与判定

7.4.1 本条列出了好的测试波形应符合的几点要求,在检测过程中操作人员应及时分析波形,发现波形异常,应立即停锤检查、分析原因,直至波形符合要求为止,出现异常波形的原因,有仪器问题,也有桩身质量和传感器的安装质量问题,应逐个排除,实测波形是承载力计算的依据,波形好坏直接影响到承载力计算的精度,为此要求高应变检测人员应具备一定的检测、分析经验和理论知识,具有在现场及时发现问题和处理各种异常现象的能力,力争采集到优质波形。

7.4.3 本条为强制性条文,当锤击信号出现本条所列情况之一时,现场采集到的波形较差,不得作为计算分析的依据。由于触变效应的影响,预制桩在多次锤击下承载力下降,这就意味着,在依据高应变锤击信号计算桩承载力时,宜选择最初几锤的波形,因为桩在反复锤击下,桩周土——特别是粘性土和粉性土将低于桩周土固结后的承载力;上海地区桩的长细比大,且桩周大多属粘性土和粉性土,高应变试验时若锤击能量不足,则会出现以下两种情况:一是在最初几次锤击时,桩未打动,桩周阻力得不得充分发挥,由此得出的单桩承载力偏低;二是在多次反复锤击下桩被打动了,但此时桩身中、上段的侧摩阻力明显下降,为避免上述情况发生,试验前应根据预估桩的最大承载力,选择好满足本规程要求的重锤,在重锤低击的原则下,一次或极少几次锤击后能打动桩比较好。

7.4.4 本条要求对于桩身存在明显严重缺陷桩,和单击贯入度过大、桩底同相反射强烈的桩不宜用高应变动测法确定承载力,这是由于有明显严重缺陷桩一般情况下单桩极限承载力由缺陷处的结构承载力决定,高应变动测法无法定量判断缺陷处的桩身结构承载力;桩底同相反射波强烈的桩,特别是钻孔灌注桩,一般情况下

意味着桩底沉渣较厚,高应变动测法无法定量判断沉渣厚度对承载力的影响,这也是上海软土地区摩擦桩需要特别注意的问题。

7.4.5 本条阐述了凯司(CASE)法的适用范围、条件及承载力计算方法。凯司(CASE)法在承载力计算公式(7.4.5)推导中作了如下假定:桩身阻抗恒定(即材质均匀、断面相等);动阻力集中在桩端,并与桩端质点运动速度成正比;应力波在桩身传递过程中无能量耗散。鉴于以上条件及上海地区多年的检测经验,本条规定了凯司(CASE)法适用于混凝土预制桩、中小直径钻孔灌注桩和钢桩,并强调了应有可靠的地区经验,这里当然也包括了对各种不同桩型的检测及分析经验,因为凯司(CASE)法除了本条中介绍的阻尼法外,还有最大阻力法(可用于较长的摩擦型桩),RSU法(适合于长细比大,桩身刚度小,在 $2L/C$ 前就出现桩顶速度为负的情况,即土阻力产生卸载的情况),最小阻力法(适用于打桩过程中阻力较小场合)等,究竟用哪一种方法,需有一定的经验。

凯司(CASE)阻尼系数 J_c 值最好能通过同一工程中同一根桩的动静对比试验得出,实际工程中具备这种试验条件的很少,一般都是通过实测曲线拟合法确定阻尼系数值,无论通过动静对比,还是通过实测曲线拟合,所取得 J_c 平均值作为本工程同种桩型、同一土质条件下凯司(CASE)法计算时的参数,当某根桩的 J_c 值与本工程同一条件下 J_c 平均值之差明显偏大时,应分析原因,表7.4.5中所列 J_c 参考值不宜作为承载力计算依据,但可以为打桩现场提供数据时参考。

7.4.6 本条列出了采用实测曲线拟合法确定单桩竖向抗压承载力时应满足的条件。曲线拟合法是通过实测的力(或速度、上行波)曲线作为已知边界条件,在假定桩土力学模型的前提下进行数值计算,反演桩顶速度(或力、下行波)的时程曲线,计算中不断调整土参数,直至计算曲线与对应实测曲线相吻合为止,由此得出的桩的承载力、阻尼系数等被认为是正确的,从理论上讲一根桩的结

果是唯一的,但由于参数较多,用不同的参数及模型组合可能会求出同一结果,因此本条提出了拟合所用模型必须反映实际情况、计算用的土参数必须在合理范围内、拟合结束时,土阻力响应区的计算曲线与实测曲线一致等条件,并规定了拟合系数,这样就对计算模型和参数选择作了限制,使计算结果尽量唯一。

7.4.7 本条介绍了高应变动测中判别桩身缺陷位置的几种常用方法,其中实测力波和速度波相比较的方法最直观,也是常用最多的一种方法,它适合于在试验现场分析或打桩监控中实时判别;用分离上下行波的方法判别桩身缺陷位置更清楚,但需在对实测曲线处理后才能判断;实测曲线拟合法适用于桩身情况复杂、且有多个缺损部位的桩,该方法判断精度高,但不适用于打入桩的跟踪监测,在具体使用时可根据不同情况选择不同判别方法。

公式(7.4.7-1)是判别桩身缺损程度的计算公式,适用于截面相对比较均匀的桩,其依据是桩身阻抗发生变化;桩身完整性系数 β 值的定义为被测截面阻抗与上部完整截面的阻抗比,即 $\beta = z_2/z_1$,阻抗大小只反映了桩截面面积与桩身材料弹性模量乘积的变化,不反映缺陷的性质,在具体判别时应结合桩身结构、接头形式及位置、土层情况等全面考虑,表7.4.7中依据 β 值判定桩完整性类别的划分可供检测人员参考, β 值是根据实测波形计算得来的,而实际上波形中的高频部分(钢桩尤为明显)、接桩位置的波反射、钻孔桩截面不均匀的波反射、土层引起的波反射等都会影响 β 值,在具体判别时应依据客观情况综合判断,在应用表7.4.7时,不宜死搬硬套。

8 低应变法

8.1 一般规定

8.1.1 本条规定了低应变法适用于上海地区应用的各种混凝土预制桩和灌注桩的完整性检验,各种预制桩是指混凝土预制方桩、预应力混凝土管桩;各种灌注桩是指各种钻孔灌注桩、沉管灌注桩、树根桩。目的是检验桩身的完整性,判定桩身是否存在不利缺陷并具体定位,对于预制混凝土桩而言,主要判断桩身是否存在横向裂缝和混凝土破碎,更为重要的是判断多节预制混凝土桩的接桩质量,上下两节桩是否存在脱开的可能;对于灌注桩而言主要判断桩身是否有缩颈、离折、夹泥等现象,甚至断桩的可能。本条文中明确规定所有的低应变方法适用于桩的完整性检验,其含义是:

1 低应变方法不得检测基桩承载力,这是由于:

- 1) 上海软土地区的特点决定了上海地区桩身较长(最长可达 70~80m)、桩径较大(最大可达 1m 以上),低应变方法激振能量有限,不足以使桩周土进入塑性状态;
- 2) 目前所有的低应变方法均无法正确的判断灌注桩的沉渣厚度和桩身侧壁泥皮厚度对承载力的影响,尽管上海地区几乎所有的灌注桩均为端承——摩擦桩,桩周侧壁摩阻力是主要的,而桩端端承力仅为总承载力的 10~20% 左右,然而,大量的实验事实表明:桩底沉渣过厚丧失的不仅仅是 10~20% 左右的端承力,而是 30% 以上的总承载力;目前所有低应变法亦无法正确判断多节混凝土预制桩的接桩质量缺陷对承载力的影响;
- 3) 所有低应变方法都无法正确判断桩身最薄弱处(缺陷处)桩身的混凝土强度,从而正确判断桩身结构承载力。

2 低应变方法不得检测桩身混凝土强度,这是由于:

大量的研究表明波速与桩身混凝土强度之间呈现正相关关系,即波速高混凝土强度也高,但这是有条件的,因为影响混凝土波速的因素很多,除混凝土强度外,粗骨料的品种、骨料的粒径、混凝土的养护方法、含水率、添加剂的品种、数量、钢筋的排列等等对混凝土的波速均有不同程度的影响,不将这些因素具体地确定下来,波速和混凝土强度之间就没有相关性可言,同一强度等级的混凝土,不同的工程中,可能由于上述各种因素相异,呈现出不同的波速;也有可能,同一个波速值,不同的工程中对应于不同混凝土强度,因此,上海地区至今还没有一条纵波波速与水下混凝土强度的关系曲线。鉴于以上原因,目前所有的低应变方法根据桩的纵波波速,仅能对桩身混凝土强度作出粗略的估计。

此外,本方法不得应用于桩身变化异常复杂的多支盘桩,这是由于应力波无法在多支盘桩中传播,一般只能到达第一个变截面,不仅无法定量判断变截面的大小,而且更无法判断在第一变截面以后桩身截面的变化。

8.1.2 低应变动测由于受激振能量、桩身材料阻尼、桩周土性状等因素影响,应力波从桩顶传至桩底再从桩底返回桩顶的传播为一能量逐渐衰减过程,若桩过长,往往应力波尚未返回桩顶前,其能量已完全衰竭,致使仪器测不到桩底反射信号,从而无法对整根桩的完整性做出评价,对上海软土地区而言,土质差、软土层较厚、含水率高,应力波衰减更快,对于 40m 以上长桩,根据过去上海经验,一般在桩长 $L \leq 50D$ 范围内可以得到桩底反射波,在具体应用时应注意二方面:

1 上述 $L \leq 50D$ 范围对于不同工程,由于地质情况不同,桩身材料不同、混凝土强度不同等原因,同样桩长 $L = 50D$ 的桩,在甲工程可以得到明显的桩底反射波,而在乙工程可能得不到桩底反射波,因此,在具体工程中的有效检测长度,宜通过试验确定;除

此之外,尚应注意休止期和检测仪器灵敏度对桩底反射波的影响。

2 对于最大有效检测长度($L=50D$)小于实际桩长的超长桩,例如 $\phi=800\text{mm}$,桩长75m的灌注桩,一般情况下测不到桩底反射信号,但若在有效检测长度范围内存在缺陷,则在实测的桩顶速度时域曲线上,必有缺陷反射信号,因此对于超长桩,低应变方法仍可用于查明在有效检测长度范围内是否存在缺陷,但在超过有效检测长度范围外,判据桩身缺陷时应慎重。

8.1.3 为了保证检测质量,对同一工程、同一批桩中有疑异的桩,宜采用多种方法同时检测,并进行综合分析,这是由于:

动测技术是一门正在研究、发展、完善中的新技术,许多关键技术问题,尚需进一步研究、总结、提高,而它所服务的对象是地质极其复杂的上海地区和深达数十米的地下隐蔽工程,到目前为止,低应变完整性检测,只能定性地告诉我们,桩身有没有缺陷的存在、缺陷的大概位置以及缺陷的大致程度,至于缺陷的性质和程度的定量描述,就低应技术本身而言,有一定的难度,例如对于钻孔灌注桩,桩身的主要不利缺陷是缩颈、离折、夹泥和断桩,无论是怎样的不利缺陷,在低应变检测的时域曲线中,反映的都是同相反射波,为了正确地判断究竟是哪种性质缺陷,除了在时域(或频域)曲线中,比较各种缺陷曲线特征外,尚应具体分析土层的变化,是否存在扩、缩颈的可能;还应查阅施工记录、监理记录,了解工艺流程、原材料的供应过程,分析成桩过程中是否有造成缩颈、离折和断桩的可能;或进一步查阅成孔质量检测试验报告及其他试验成果,进行比对;只有在实测曲线(时域、频域)的基础上综合分析各种因素的影响才能得到比较合理的结论;又例如采用电焊连接的多节预制方桩,众所周知,接桩处的焊接质量是应用预制桩成败的质量关键,由于种种原因,一般情况下,两节桩之间的接触界面处难免有空隙,因此,在施工过程中,采用楔形铁片填实,以保证上、下两节桩之间的面接触,在实际工程中,基坑开挖后,进行低应变

检测时,在实测时域曲线上接桩位置处,如有幅值不等的同相缺陷反射波存在,意味着上、下两节桩接桩处有空隙存在,低应变动测无法区分这种空隙是原来由于铁片未填实而引起的,还是由于四根角钢焊缝脱焊,导致上下两节桩分离所产生的,前者,由于四根角钢焊接良好,上下两节桩是一个统一的整体,仅仅是接桩处局部有轻度空隙,基本上不影响垂直承载力的传递,而后者,上、下两节桩分离,上下两节桩共同作用转化为仅上节桩的单节桩作用,其基桩承载力将损失 80% 以上,是严重的工程事故,遗憾的是仅靠低应变检测无法区分诸如此类缺陷的性质,更无法对缺陷进行定量,为此,必须采用综合分析的方法,全面考虑工程地质状况、桩位分布、偏位和倾斜状况,沉桩的工艺流程和沉桩速度、基坑开挖深度和开挖过程,周边土体位移等方面的诸多因素,必要时应采用多种检测相结合的方法,例如,各种低应变方法相结合、低应变方法与高应变方法相结合、低应变方法与静载荷试验相结合、低应变方法与其他非动测方法相结合,各种方法相互补充、相互印证。作为检测人员不仅要掌握第一性直接检测资料,而且应掌握有关的勘察资料、施工资料、监理资料,在此基础上,去伪存真、去粗取精、由表及里的综合判断,得出比较合理的结论。

8.1.4 本条文阐明了低应变动测法中的抽样原则和检测数量。

1 抽样原则:随机、均匀并应有足够的代表性,应把在施工过程中发现有疑问的桩排除在随机抽样的范围外,它们属于特殊的、有疑问的群体,在此基础上进行随机抽检;抽检的均匀性应在整个工程桩的分布范围内考虑,每一部分抽检桩的百分比应大致相等;被抽检桩应有足够代表性意味着抽检时应综合考虑各种因素详见本规程条文说明第 3.0.4 条:

2 检测数量:本条文中的具体规定是基于:

- 1) 上海深达 30m 软土地基特点、地质情况异常复杂和桩长较长、桩径较大的特点;

- 2) 钻孔灌注桩成桩工艺复杂,影响桩身质量的环节较多;多节预制桩接桩质量不易保证的因素;
- 3) 当前施工队伍的管理水平、人员素质、技术水平、认识能力等方面综合考虑的结果;
- 4) 桩身完整性检测的目的是为了控制整个工程质量,这是需要一定的检测数量保证的,力求在有限的抽检数量中,充分暴露基桩存在的桩身完整性的问题,进而采取相应措施,达到消除隐患、确保安全的要求;

3 本条文中加强了对桥梁工程、一柱一桩结构型式工程的检测力度,这是考虑到此类工程的重要性,以及随着人民生活水平的提高、地下车库等设施日益增多的原因。此外,本条文中要求设计单位也可以根据结构的重要性的和可靠性,在以本规程规定的检测数量为下限的基础上,增加检测的比例,直至普测;同时要求检测桩的具体桩位应由设计会同监理共同决定,由检测方具体执行,因为在基础工程验收中,设计承担了重大责任,也只有设计最清楚基桩荷载的要求和分布,哪些部分是重要的,哪些是次要的,哪些是必测的,哪些是可以选测的;这一措施的实施也是为了避免某些非技术因素的干扰。

8.2 仪器设备及安装

8.2.2~8.2.4 此三条主要对激振设备、桩顶处理、和测点布置提出要求:

1 应通过对比试验选择不同重量和材质的特制手锤,改变锤的重量和材料,可改变入射波的脉冲宽度及频率成份,锤头刚度较小时,入射波脉冲较宽,低频分量多,反之,入射波脉冲较窄,高频分量多;

2 桩顶处理好坏直接影响检测质量,因此,要求受检桩桩顶(设计标高处)混凝土质量良好,满足或基本满足设计要求;灌注桩

应凿去桩顶浮浆和施工中预留的 5% 桩长疏松部分,直至设计标高,预制混凝土桩,宜在破桩前进行检测;研究表明,传感器安装处及锤击处必须平整,必要时宜用便携式手动砂轮机磨平,以避免由于被检面不平引入的干扰;

3 相对桩顶横截面尺寸而言,激振点处为集中力作用,检测点不可避免会受到产生的表面波和横波的干扰,对混凝土实心桩而言,当检测点位于距中心约 $2/3R$ 处,所受干扰相对较小;对混凝土空心桩而言,检测点则应在与激振点呈 90° 方向 $1/2$ 壁厚处(图 8.2)。

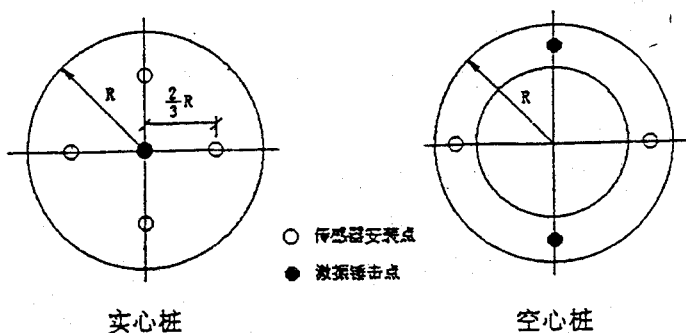


图 8.2 激振点、检测点示意图

4 桩径增大时,桩身混凝土不均匀性增加,通常情况下,桩身局部不利缺陷增多,故当桩径增大时,应相应增加检测点数量,使检测结果全面反映桩身的完整性。

8.3 检测方法

8.3.1 通过十余年工程实践,上海地区适用的低应变检测方法为弹性波反射法和机械阻抗法,就全国而言,90%以上均为弹性波反射法,上海地区的工程检测单位绝大多数亦为弹性波反射法,从事

机械阻抗法的人员极其个别,实际上,无论是弹性波法还是机械阻抗法,只是习惯上从波动理论或振动理论两个不同的角度来分析,当桩的边界条件和初始条件相同时,它们分析的结果理应殊途同归。

本规程所以提出两种低应变方法,目的在于必要时可以相互比对、相互印证、相互补充,提高检测质量。

8.3.2 弹性波反射法。

加速度传感器具有频带宽、抗冲击能力强等优点,故弹性波反射法宜采用加速度传感器,如速度传感器的技术性能达到使用频率范围 $10 \sim 1000\text{Hz}$ 、电压灵敏度大于 $300\text{mv}/\text{cms}^{-1}$,也可用于弹性波反射法。

8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 弹性波反射法

桩身完整性的判定、分类说明如下:

1 根据一维弹性波在基桩内的传播理论可知,当桩顶受冲击后产生的应力波,在沿桩身向下传播的过程中,遇到阻抗发生变化的界面(如:缩颈、扩颈、离折、裂缝、断裂等)时,将产生反射波,反射波的强弱、幅频曲线的起伏程度与界面的阻抗差异(即界面上、下桩身阻抗之差)成正比,如果,被检桩在整个桩长范围内,桩的截面和桩身材料密度不变或基本不变,则应力波在沿桩身传播过程中,没有反射或有轻微的反射,直至桩底发生介质的突变,因此,对于桩身无缺陷的Ⅰ类桩或有轻度缺陷的Ⅱ类桩,在桩底均应有比较明显的桩底反射波;如果,被检桩的桩身存在着截面的明显变化或桩身材料密度发生突变,即界面处阻抗明显差异,不但反射波幅值明显,而且将出现二次、甚至多次反射,幅频曲线有十分深凹的多次起伏,应力波在桩身传播过程中很难达到桩底,因此,有明显缺陷的Ⅲ类桩及有严重缺陷的Ⅳ类桩中,桩底反射不明显或不可

能有桩底反射波。

综上所述,桩身无缺陷或桩身有轻度缺陷的Ⅰ类或Ⅱ类桩,在低应变实测曲线中,必然有明显或比较明显的桩底反射波,根据这种规律似乎判据Ⅰ、Ⅱ类桩变得“十分”简单和明确,然而,大量的工程实践告诉我们,问题并非如此简单,尤其是上海特殊的软土地区,现实情况极其复杂,例如某工程使用面积为 $350 \times 350\text{mm}^2$ 、有效桩长20余米的预制方桩,在沉桩前经过严格的出厂检验,桩身肯定不存在什么缺陷,在沉桩过程中,经过监理方严格把关,施工方精心施工也未出现任何问题,沉桩后经过一个月的休止期,低应变检测时,在 $2L/C$ 时刻前,确实无缺陷反射波,然而遗憾的是亦无桩底反射波,按照上述判据标准,不能判为Ⅰ类桩,此与实际事实不符;实际上,这种情况在本市并非个别现象,具有一定的代表性,上海地区相当一部分工程中优良的Ⅰ类桩测不到桩底明显反射波,究其原因,大致如下:

- 1)超长桩、长径比较大;无论是预制混凝土桩还是灌注桩,大于 $50 \sim 60\text{m}$ 以后较难测到桩底反射;
- 2)沉桩(或成桩)以后间歇时间的影响,如上例中间歇时间为数天、肯定能够测到桩底反射波,如果间歇时间 $1 \sim 2$ 个月,同一根桩就有可能测不到桩底反射波,间歇时间若为数年,一般测不到桩底反射波;
- 3)与桩周土性状密切相关,土质差、含水率高的土层,阻尼较大,应力波衰减明显;
- 4)与检测仪器的灵敏度及锤击力有关,检测传感器灵敏度过低或锤击力过小,均无桩底反射波;
- 5)桩身阻抗与持力层阻抗匹配良好,一般也测不到桩底反射;

因此,对桩底无反射,且在 $2L/C$ 时刻前无缺陷反射波(或有轻度缺陷反射波)这一信号特征桩的类别划分,应在分析无桩底反

射波原因的基础上,结合经验参照本场地、本地区同类别桩,综合分析判断或采用其他方法进一步检测。

2 根据本规程第 3.0.7 条要求,桩身完整性检测分类的标准是:该缺陷的存在对设计要求的结构承载力是否有影响,I 类桩应无任何缺陷存在,无论是桩身截面尺寸还是桩身强度均满足设计要求,对于灌注桩而言,不存在离析、缩颈、夹泥等现象,对混凝土预制桩而言,桩顶不存在裂缝、疏松、破碎等现象,接桩质量良好;Ⅱ类桩则轻微存在上述缺陷,但基本不影响原设计要求的结构承载力,表现在实测曲线上,可以看到表示缺陷性质的反射波,但幅值很小,更不会出现多次反射;至于Ⅲ、Ⅳ类桩,则对设计要求的结构承载力有明显或严重的影响,对灌注桩而言,可能面积明显或严重减小,也可能明显或严重夹泥、离析,表现在实测曲线上,缺陷反射波幅值较大,有二次或多次反射,无桩底反射波等特征。在此需要强调的是:

- 1) 桩身缺陷的存在仅对桩的原设计结构承载力产生影响而并非其他。
- 2) 必须进行综合分析,不仅是实测波形而应参阅其它有关资料,详见本规程条文说明第 8.1.3 条。

9 超声波透射法

9.1 一般规定

9.1.1 多数灌注桩的直径均在 0.6m 以上,由于灌注桩的特定施工条件,在混凝土灌注过程中,易产生夹泥、颈缩、空洞等缺陷,从一些模拟实验和大量工程实测结果来看,采用超声波法检测灌注桩混凝土缺陷是一种较为有效的方法。

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,这是由于本方法有其局限性,例如检测死区的存在,例如对于钻孔灌注桩的轻度缩颈缺陷无法判断等,更为重要的是像其它几种检测方法一样,超声波透射法也无法定量判断缺陷的程度,至今上海地区未能总结出超声波波速和混凝土强度关系曲线(参阅本规程条文说明第 8.1.1 条),也无法判断某一局部缺陷对整桩结构承载力的影响,因此,较为理想的应采用多种方法综合评定的方法。

9.2 仪器设备及安装

9.2.1 超声波检测仪应采用数字式仪器,它具有自动采集、储存数字信号,自动测读声时、幅度和频率等参数,并能对数字信号处理的智能化仪器。

9.2.2 换能器应采用柱状径向振动换能器,桩径小于 1.5m,宜选择 60kHz 换能器,桩径大于 1.5m,宜选择 20~40kHz 换能器接收信号;将发射、接收换能器分别放入两个声测管的顶部或底部,以一定高程等距离同步向下或向上移动,逐点检测;当相邻测点的检测数据存在明显差异时,应及时校核换能器的高度,避免发生差错;必要时可以取出换能器,检验仪器系统工作是否正常。

9.3 检测方法

9.3.1 检测前应做好充分准备工作,了解有关资料,便于检测数据的分析;向管内注入清水作为耦合剂,以保证换能器与管壁之间的良好耦合;在放入换能器之前,应先检查各声测管是否畅通,以免测试过程中换能器被卡在管内。

9.3.3 桩长 30m 及 30m 以下,测点间距宜选择为 200mm;桩长为 30m 以上,测点间距宜选择为 250mm;

对数据可疑的部位进行复测,首先应核查测试操作是否有错误,当确认测试操作无误时,便可以通过对测、交叉斜测及扇形扫测的方法找出存在异常数据的范围。

9.4 检测数据分析和判定

9.4.2 本条列出了二种判断桩身混凝土缺陷可疑点方法:概率法和斜率法,可以根据工程的实际情况,选择合适的方法,更为理想的应是采用多种方法,例如既用概率法又用斜率法,同时参考本规程第 9.4.5 条以声速离差系数评价混凝土均质性方法,综合评价得到较为合理的结果。

9.4.5 以混凝土声速的离差系数评价桩身混凝土质量的匀质性,只能反映施工过程中混凝土的匀质性,并不能反映混凝土强度的高低,两者决不能等同,匀质性好并不意味着混凝土强度高,反之混凝土强度低,并不意味着匀质性差。

9.4.6 根据声速和波幅声学参数的变化,判定基桩的混凝土是否存在缺陷以及缺陷的位置、范围,据此评价其对桩身危害程度,经综合分析后,可对桩身完整性作出定性的评价。

10 钻孔取芯法

10.1 一般规定

10.1.1 本方法适用于桩径不宜小于600mm的混凝土灌注桩,因为在钻进过程中,钻芯孔难以保证百分之百垂直,桩径过小,容易偏出桩外,达不到检测目的。

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,这是由于钻孔取芯法尽管直观,数据可靠,但最大的争议在于它的代表性,在上海地区,芯样的面积一般仅为桩身截面的1%,在实际工程中,是桩的整个截面的作用而不仅仅是1%面积的作用,用1%来肯定或否定全部均欠妥,因此当采用该法去评价桩身混凝土强度是否合格时应慎重,应结合其他检测点和多种检测方法的成果,综合地质资料、施工工艺、施工监理记录等判据,尽可能地避免“一孔之见”;各检测单位对于钻取芯样的代表性应有清醒的认识,钻孔灌注桩桩顶以下1m范围内的芯样强度决不能代表整桩的混凝土强度,对于有质量缺陷的事故桩的判据更应慎重。

10.2 设备及安装

10.2.1 本条文规定的目的是防止使用性能较差的钻机、钻具,以免影响钻芯取样的质量;

推荐使用直径50mm的钻杆,是考虑配用外径大于100mm的钻头和岩心管,级配比较合理。

10.2.2 钻头的外径规定为不得小于100mm,这是因为如果芯样过小,容易折断磨损,影响芯样节与节之间的拼接,导致影响桩身混凝土完整性的评价。根据上海市建设工程规范《钻孔灌注桩施

工规程》DGJ08-202 的要求钻孔灌注桩最大可以使用 40mm 粒径的粗骨料,按《钻芯法检测混凝土强度技术规程》CECS03:88 第 3.0.4 条条文说明的要求,取芯的芯样直径不得小于混凝土粗骨料最大粒径的两倍,钻芯采用外径不小于 100mm 的钻头,芯样直径可达 80~85mm,可满足这一要求。

10.3 取芯方法要点

10.3.1 本条规定的目的是使钻孔避开有钢筋的部位并合理地分布钻孔,以防止钻断钢筋影响桩体钢筋的完好性,保证桩身强度。

对桩底持力层的钻探深度应满足设计要求,一般不应少于 1m,以满足对持力层的了解。

10.3.2 本条是对芯样试件的截取与加工提出的要求。

10.3.3 粗骨料最大粒径过大,将影响芯样试件的受力分布,故在相关的钻芯法标准中,均规定了芯样直径不小于粗骨料最大粒径的 2 倍。

本条文第二款要求芯样试件应在 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的清水中浸泡 40~48 小时,从水中取出后进行抗压试验,这是由于这样比较符合上海地区钻孔灌注桩的实际情况,上海地区地下水位较高,尽管钻芯过程中可能有些因素影响使芯样试件强度降低,但其导致的误差远小于含水率对芯样试件强度的影响;最后还应说明的是:在我国以边长为 150mm 立方体试件的抗压强度作为混凝土强度验收与评定的标准,所以芯样强度理应换算成立方体试件强度,研究结果表明,芯样直径减小,对换算系数有一定影响,而基桩钻芯的特点是其芯样直径是个变化值,不确定性较大,目前尚不能采用一个统一的折减系数来反映芯样强度与标准立方体强度的差异,为安全起见,本规程暂不推荐国内一些地方标准采用的折算系数,留待今后有关方面继续研究。因此,本规程中该方法给出的是混凝土芯样强度值,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。

10.4 检测数据分析和判定

10.4.2 基桩混凝土在受力过程中,都在最薄弱的区域首先破坏,从安全角度出发,对单根基桩取强度代表值中的最小值作为该基桩混凝土芯样试件抗压强度代表值。

10.4.3 现场描述分两个方面,一是现场钻芯过程的记录,特别是钻进中出现异常的记录,二是对混凝土芯样特征进行详细的描述;综合分析后根据表 10.4.3 对桩身混凝土完整性进行分类。

附录 A 成孔质量检测要点

A.0.1 表 A.0.1 中所列技术要求主要依据是:

- 1 上海市工程建设规范“地基基础设计规范”DGJ08-11-1999;
- 2 上海市工程建设规范“钻孔灌注桩施工技术规范”DGJ08-202;

其中孔径允许正偏差为 $+0.14$ 亦是基于上海市工程建设规范“地基基础设计规范”DGJ08-11-1999 的要求“钻孔灌注桩充盈系数不得小于 1,也不宜大于 1.3”,在实际工程中充盈系数大于 1.3 的钻孔灌注桩的试桩也失去了代表性。

A.0.2 本条规定是钻孔灌注桩工程开始大规模施工前必要的准备,也是上海市建设与管理委员会 2000 年颁布的上海市地方标准强制性条文之一;试成孔试验连续跟踪监测时间宜为 12 小时,这是考虑到上海地区一般均采用商品混凝土的实际施工现状。