

中华人民共和国行业标准
基桩低应变动力检测规程

JGJ/T 93—95



1991 北 京

中华人民共和国行业标准

基桩低应变动力检测规程

Specification for low strain dynamic testing of piles

JGJ/T 93—95

主编单位：地矿部勘查技术司

批准部门：中华人民共和国建设部

中华人民共和国地矿部

施行日期：1995年12月1日

关于发布行业标准《基桩低应变 动力检测规程》的通知

建标 [1995] 620 号

根据建设部 (89) 建标技字第 41 号函和 (90) 建标计字第 (9) 号文的要求, 由地矿部勘查技术司主编的《基桩低应变动力检测规程》业经审查, 现批准为推荐性行业标准, 编号 JGJ/T 93—95, 自 1995 年 12 月 1 日起施行。

本标准由建设部建筑工程标准技术归口单位中国建筑科学研究院归口管理, 由地矿部工程勘察施工管理办公室负责解释, 由建设部标准定额研究所组织出版。

建设部 地质矿产部

1995 年 10 月 25 日

目 次

1 总则 1

2 术语、符号、代号 2

 2.1 术语..... 2

 2.2 符号、代号..... 3

3 一般规定 6

 3.1 检测方法..... 6

 3.2 检测数量..... 6

 3.3 仪器设备..... 6

 3.4 检测前的准备工作..... 7

 3.5 检测步骤..... 7

 3.6 检测报告..... 7

4 反射波法 8

 4.1 适用范围..... 8

 4.2 仪器设备..... 8

 4.3 现场检测..... 9

 4.4 检测数据的处理与判定..... 9

5 机械阻抗法..... 11

 5.1 适用范围 11

 5.2 仪器设备 11

 5.3 现场检测 14

 5.4 检测数据的处理与推定 15

6 动力参数法..... 18

 6.1 适用范围 18

 6.2 仪器设备 18

 6.3 现场检测 19

 6.4 检测数据的处理与计算 20

 6.5 频率法 22

7 声波透射法..... 24

7.1 适用范围 24

7.2 仪器设备 24

7.3 现场检测 24

7.4 检测数据的处理与判定 27

附录 A 机械阻抗法检测前的准备工作 29

附录 B 检测报告的格式 31

附录 C 本规程用词说明 33

附加说明 34

条文说明 35

1 总 则

1.0.1 为贯彻建设工程“百年大计、质量第一”的原则，确保基桩低应变动力检测的质量，制订本规程。”

1.0.2 本规程适用于工程中混凝土灌注桩和预制桩的低应变动力检测。

1.0.3 应用本规程的机械阻抗法及动力参数法推算单桩竖向承载力时，应具有本地区可靠的竖向承载力动静对比资料。

1.0.4 按本规程进行检测的结果，应由经认定资质的单位中合格的检测人员提出。

1.0.5 基桩低应变动力检测除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语、符号、代号

2.1 术 语

2.1.1 机械阻抗 **Mechanical Impedance**

某系统的机械阻抗为对该系统的作用力与由此而产生的系统的响应之比。

2.1.2 机械导纳 **Mechanical Admittance**

机械阻抗的倒数。

2.1.3 跟踪滤波器 **Trace Filter**

中心频率跟随某一可变频率而变化的带通滤波器，在机械阻抗法检测中，用来滤除激振频率以外的振动干扰。

2.1.4 波速 (v_p) **Wave Speed**

弹性波在桩身混凝土中传播的速度。

2.1.5 测量桩长 (L_0) **Measurement Pile Length**

按工区内桩的平均波速 (v_{pm}) 计算的桩长。

$$L_0 = \frac{v_{pm}}{2\Delta f}$$

式中 Δf 为导纳曲线两个相邻主峰之间的频率间隔。

2.1.6 导纳理论值 (N) **Theory Value of the Mechanical Admittance**

由波速、混凝土密度 (ρ) 和桩的截面积 (A) 计算的导纳平均值。

$$N = \frac{1}{v_p A \rho}$$

2.1.7 导纳实测几何平均值 (N_{om}) **Geometry Average Value of the Mechanical Admittance**

由实测导纳曲线计算的几何平均值。

$$N_{om} = \sqrt{PQ}$$

式中 P 为平均峰值； Q 为平均谷值。

2.1.8 导纳最大峰幅值(N_p) Maximal Peak Value of Mechanical Admittance

由实测导纳曲线最大峰值和与其相邻的谷值计算的几何平均值。

$$N_p = \sqrt{P_{\max} Q_{\max}}$$

2.1.9 嵌固系数 (λ) Fix Coefficient

表示桩底嵌固情况的参数。

$$\lambda = \frac{f_0}{\Delta f}$$

式中 f_0 为一阶共振频率。

2.2 符号、代号

- 2.2.1 a_x —— x 方向的横向最大加速度值；
- 2.2.2 a_y —— 与 a_x 垂直方向的横向最大加速度值；
- 2.2.3 a_z —— 竖向最大加速度值；
- 2.2.4 A —— 声波振动幅度；桩的截面面积；
- 2.2.5 A_d —— “频率—初速法”第一次冲击振动波的最大峰—峰值；
- 2.2.6 A_{ji} —— 第 i 个测点第 j 次抽测声波振动幅度值；
- 2.2.7 d —— 桩身直径；声波检测管内径；
- 2.2.8 d' —— 柱状声波换能器外径；
- 2.2.9 D —— 声波检测管外径；
- 2.2.10 f_0 —— 动力参数法的桩—土体系固有频率；
- 2.2.11 f_1 —— 机械阻抗法的一阶共振频率；
- 2.2.12 Δf —— 完整桩导纳曲线相邻谐振峰的频率差；
- 2.2.13 G_p —— 折算后参振桩重；

- 2.2.14 G_e —— 折算后参振土重；
- 2.2.15 h —— 穿心锤回弹高度；
- 2.2.16 H —— 穿心锤落距；
- 2.2.17 K_d —— 桩的测量动刚度；
- 2.2.18 K'_d —— 桩的预期动刚度；
- 2.2.19 K_{dm} —— 桩的现场实测平均动刚度值；
- 2.2.20 K_{tz} —— 声时—深度曲线相邻测点的斜率；
- 2.2.21 I —— 两个检测管外壁间的距离；
- 2.2.22 L —— 桩身全长；
- 2.2.23 L' —— 桩身缺陷深度；
- 2.2.24 L_0 —— 测量桩长；
- 2.2.25 L_e —— 桩在土中长度；
- 2.2.26 m —— 参振桩和土的折算质量；
- 2.2.27 N —— 导纳理论值；
- 2.2.28 N_o —— 导纳实测值；
- 2.2.29 N_{om} —— 导纳实测几何平均值；
- 2.2.30 N_p —— 导纳最大峰幅值；
- 2.2.31 q —— 声波幅值衰减量；
- 2.2.32 μ_q —— 声波幅值衰减量平均值；
- 2.2.33 q_D —— 按声波波幅判断的衰减量临界值；
- 2.2.34 r_e —— 参振土体扩散半径；
- 2.2.35 R —— 单桩竖向承载力的推算值；
- 2.2.36 $[S]$ —— 桩的容许沉降值；
- 2.2.37 S_a —— 加速度传感器灵敏度；
- 2.2.38 S_v —— 速度传感器灵敏度；
- 2.2.39 t —— 动力参数法第一次冲击与回弹后第二次冲击的时距；声波透射法测试的原始声时值；
- 2.2.40 t' —— 声时修正值；
- 2.2.41 Δt —— 声时—深度曲线相邻测点的声时差；
- 2.2.42 t_0 —— 声波检测仪发射至接收系统的延迟时间；

- 2. 2. 43 t_c ——混凝土中声波的传播时间；
- 2. 2. 44 μ_t ——声时平均值；
- 2. 2. 45 t_{ji} ——第 i 个测点第 j 次抽测声时值；
- 2. 2. 46 t_r ——桩底反射波的到达时间；
- 2. 2. 47 t'_r ——桩身缺陷部位反射波的到达时间；
- 2. 2. 48 v_0 ——桩头振动初速度；
- 2. 2. 49 v_p ——桩身混凝土中的纵波速度；
- 2. 2. 50 v_{pm} ——工区内桩身混凝土纵波速度的平均值；
- 2. 2. 51 v_t ——检测管壁厚度方向的声速；
- 2. 2. 52 v_w ——水中的声速；
- 2. 2. 53 W_0 ——穿心锤质量；
- 2. 2. 54 α ——与 f_0 相应的测试系统速度灵敏度系数；
- 2. 2. 55 β_f ——“频率法”采用的调整系数；
- 2. 2. 56 β_v ——“频率—初速法”采用的调整系数；
- 2. 2. 57 γ_p ——桩材重度；
- 2. 2. 58 γ_e ——桩下段 $Le/3$ 与范围内土重度；
- 2. 2. 59 ε ——碰撞系数；
- 2. 2. 60 ξ ——激振器横向振动系数；
- 2. 2. 61 η ——桩承载力动—静刚度测试对比系数；
- 2. 2. 62 K ——安全系数；
- 2. 2. 63 λ ——嵌固系数；
- 2. 2. 64 σ_t ——声时标准差；
- 2. 2. 65 σ'_t ——声时相对标准差；
- 2. 2. 66 σ'_A ——波幅相对标准差；
- 2. 2. 67 φ ——桩下段 $L_e/3$ 与范围内土的内摩擦角。

3 一般规定

3.1 检测方法

3.1.1 本规程规定的检测方法有：反射波法、机械阻抗法、动力参数法和声波透射法。

3.1.2 上述方法均有各自的适用范围和技术要求,应根据不同的检测对象和检测要求选用。可选用一种方法,也可选用两种以上方法进行检测和校核。对多段接长的预制桩,宜采用多种方法进行综合分析判断。

3.2 检测数量

3.2.1 对于一柱一桩的建筑物或构筑物,全部基桩应进行检测。

3.2.2 非一柱一桩时,应按施工班组抽测,抽测数量应根据工程的重要性、抗震设防等级、地质条件、成桩工艺、检测目的等情况,由有关部门协商确定。检测混凝土灌注桩桩身完整性时,抽测数不得少于该批桩总数的20%,且不得少于10根;检测混凝土灌注桩承载力时,抽测数不得少于该批桩总数的10%,且不得少于5根;对混凝土预制桩,抽测数不得少于该批桩总数的10%,且不得少于5根。

当抽测不合格的桩数超过抽测数的30%时,应加倍重新抽测。加倍抽测后,若不合格桩数仍超过抽测数的30%,应全数检测。对于采用声波透射法时,加倍重新抽测可采用其他检测方法。

3.3 仪器设备

3.3.1 仪器设备性能应符合各检测方法的要求。

3.3.2 检测仪器应具有防尘、防潮性能,并应在-10~50℃环境

下正常工作。在现场使用微机时，应采取保温或降温措施。

3.3.3 传感器应采取严格防潮、防水措施，搬运时应进行防震保护。

3.3.4 仪器长期不使用时，应按使用说明书要求定期通电。长途搬运时，仪器应装在有防震措施的仪器箱内。

3.3.5 仪器设备应每年进行一次全面检查和调试，其技术指标应符合仪器质量标准的要求。

3.4 检测前的准备工作

3.4.1 检测前应具有下列资料：工程地质资料、基础设计图、施工原始记录（打桩记录或钻孔记录及灌注记录等）和桩位布置图。

3.4.2 检测前应做好下列准备：进行现场调查；对所需检测的单桩做好测前处理；检查仪器设备性能是否正常；根据建筑工程特点、桩基的类型以及所处的工程地质环境，明确检测内容和要求；通过现场测试，选定检测方法与仪器技术参数。

3.4.3 被检测的灌注桩应达到规定养护龄期方可施测，对打入桩，应在达到地基土有关规范规定的休止期后施测。

3.5 检测步骤

3.5.1 检测步骤应分别按照各方法的具体规定执行。

3.6 检测报告

3.6.1 检测报告应简明、实用，其内容应包括：前言、工程地质、桩基设计与施工概况、检测原理及方法简介、检测所用仪器及设备、测试分析结果（包括被检测基桩分布图、分析结果一览表和检测原始记录）、结论及建议。

3.6.2 检测报告封面及封二应按本规程附录 B 的规定格式印制。

4 反 射 波 法

4.1 适 用 范 围

4.1.1 本方法可适用于检测桩身混凝土的完整性,推定缺陷类型及其在桩身中的位置。本方法也可对桩长进行核对,对桩身混凝土的强度等级作出估计。

4.2 仪 器 设 备

4.2.1 仪器宜由传感器和放大、滤波、记录、处理、监视系统以及激振设备和专用附件组成。

4.2.2 传感器可选用宽频带的速度型或加速度型传感器。速度型传感器灵敏度应大于 300mV/cm/s , 加速度型传感器灵敏度应大于 100mV/g 。

4.2.3 放大系统的增益应大于 60dB , 长期变化量应小于 1% 。折合输入端的噪声水平应低于 $3\mu\text{V}$ 。频带宽度应不窄于 $10\sim 1000\text{Hz}$, 滤波频率可调整。

4.2.4 模/数转换器的位数不应小于 8bit 。采样时间宜为 $50\sim 1000\mu\text{s}$, 可分数档调整。每个通道数据采集暂存器的容量不应小于 1kB 。

注: bit 为二进制计数数字量的位数。

4.2.5 多道采集系统应具有一致性,其振幅偏差应小于 3% , 相位偏差应小于 0.1ms 。

4.2.6 根据激振条件试验要求及改变激振频谱和能量,满足不同的检测目的,应选择符合材质和重量要求的激振设备。

4.3 现场检测

- 4.3.1 被测桩应凿去浮浆，平整桩头，切除桩头外露过长的主钢筋。
- 4.3.2 检测前应对仪器设备进行检查，性能正常方可使用。
- 4.3.3 每个检测工地均应进行激振方式和接收条件的选择试验，确定最佳激振方式和接收条件。
- 4.3.4 激振点宜选择在桩头中心部位，传感器应稳固地安置在桩头上。对于桩径大于 350mm 的桩可安置两个或多个传感器。
- 4.3.5 当随机干扰较大时，可采用信号增强方式，进行多次重复激振与接收。
- 4.3.6 为提高检测的分辨率，应使用小能量激振，并选用高截止频率的传感器和放大器。
- 4.3.7 判别桩身浅部缺陷，可同时采用横向激振和水平速度型传感器接收，进行辅助判定。
- 4.3.8 每一根被检测的单桩均应进行二次及以上重复测试。出现异常波形应在现场及时研究，排除影响测试的不良因素后再重复测试。重复测试的波形与原波形应具有相似性。

4.4 检测数据的处理与判定

- 4.4.1 应依据波列图中的入射波和反射波的波形、相位、振幅、频率及波的到达时间等特征，推定单桩的完整性。
- 4.4.2 桩身混凝土的波速 v_p 、桩身缺陷的深度 L' 可分别按下列公式计算：

$$v_p = \frac{2L}{t_r} \quad (4.4.2-1)$$

$$L' = \frac{1}{2} v_{pm} t_r \quad (4.4.2-2)$$

式中 L ——桩身全长；
 t_r ——桩底反射波的到达时间；

t_r ——桩身缺陷部位反射波的到达时间；

v_{pm} ——同一工地内多根已测合格桩桩身纵波速度的平均值。

4.4.3 反射波波形规则，波列清晰，桩底反射波明显，易于读取反射波到达时间，及桩身混凝土平均波速较高的桩为完整性好的单桩。

4.4.4 反射波到达时间小于桩底反射波到达时间；且波幅较大，往往出现多次反射，难以观测到桩底反射波的桩，系桩身断裂。

4.4.5 桩身混凝土严重离析时，其波速较低，反射波幅减少，频率降低。

4.4.6 缩径与扩径的部位可按反射历时进行估算，类型可按相位特征进行判别。

4.4.7 当有多处缺陷时，将记录到多个相互干涉的反射波组，形成复杂波列。此时应仔细甄别，并结合工程地质资料、施工原始记录进行综合分析。有条件时尚可使用多种检测方法进行综合判断。

4.4.8 桩体浅部断裂的定性评价，可通过横向激振，比较同类桩横向振动特征之间的差异进行辅助判断。

4.4.9 在上述时域分析的基础上，尚可采用频谱分析技术，利用振幅谱进行辅助判断。

4.4.10 桩身混凝土的强度等级可依据波速来估计。波速与混凝土抗压强度的换算系数，应通过对混凝土试件的波速测定和抗压强度对比试验确定。

5 机械阻抗法

5.1 适用范围

5.1.1 本方法有稳态激振和瞬态激振两种方式,适用于检测桩身混凝土的完整性,推定缺陷类型及其在桩身中的部位。当有可靠的同条件动静对比试验资料时,本方法可用于推算单桩的承载力。

本方法的有效测试范围为桩长与桩径之比值应小于 30;对于摩擦端承桩或端承桩其比值可小于 50。

5.2 仪器设备

5.2.1 接收传感器的技术特性应符合下列要求:

5.2.1.1 力传感器

- (1) 频率响应宜为: 5~1500Hz, 其幅度畸变应小于 1dB;
- (2) 灵敏度不应小于 1.0pC/N;
- (3) 量程: 当稳态激振时, 按激振力的最大值确定; 当瞬态冲击时, 按冲击力最大值确定。

5.2.1.2 测量响应的传感器

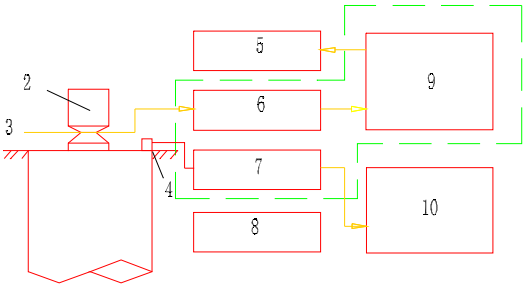
- (1) 频率响应: 宜为 5~1500Hz;
- (2) 灵敏度: 当桩径小于 60cm 时, 速度传感器的灵敏度 S_v 应大于 300mV/cm/s; 加速度传感器的灵敏度 S_a 应大于 1000pC/g; 当桩径大于 60cm 时, S_v 应大于 800mVcm/s、 S_a 应大于 2000pC/g;
- (3) 横向灵敏度不应大于 5%;
- (4) 加速度传感器的量程: 当稳态激振时, 应小于 5g。当瞬态激振时, 不应小于 20g。

5.2.2 接收传感器的灵敏度应每年标定一次。力传感器可采用振动台进行相对标定, 或采用压力试验机作准静态标定。进行准静

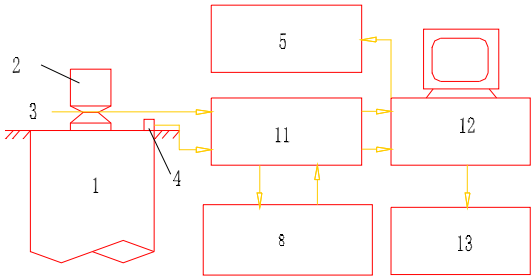
态标定所采用的电荷放大器，其输入电阻不应小于 $10^{11}\Omega$ 。测量响应的传感器可采用振动台进行相对标定。

5.2.3 测试设备可以采用专用的机械阻抗测试仪器，也可采用通用测试仪器组成的测试装置（图 5.2.3）。

压电传感器的信号放大应采用电荷放大器；磁电式传感器应采用电压放大器。频带宽度宜为 $5\sim 2000\text{Hz}$ ，增益应大于 80dB ，动态范围应在 40dB 以上，折合到输入端的噪声应小于 $10\mu\text{V}$ 。在稳态测试中。应采用跟踪滤波器或在放大器内设置性能相似的滤波器。滤波器的阻带衰减不应小于 40dB 。在瞬态测试中分析仪器的选择、应具有频域平均和计算相干函数的功能。当采用数字化仪器进行数据采集分析时，其模/数转换器位数不应小于 12bit 。

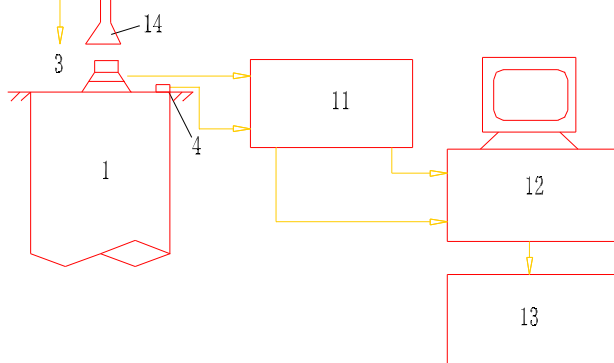


(a) 模拟测试仪器装置（稳态）



(b) 数字化测试仪器（稳态）

图 5.2.3 机械阻抗测试仪器示意（一）



(c) 数字化测试仪器 (瞬态)

图 5.2.3 机械阻抗测试仪器示意 (二)

1—桩；2—激振器；3—力传感器；4—速度传感器；5—功率放大器；6—电荷放大器；
7—测振放大器；8—跟踪滤波器；9—振动控制仪；10— $x-y$ 函数记录仪；
11—信号采集前端；12—微计算机；13—打印机 (绘图仪)；
14—力棒、力锤

注：信号采集前端可采用双通道以上的各种频响分析仪，也可采用 FM 磁带记录仪作脱机采集分析。

5.2.4 信号处理分析的记录设备可采用磁记录器、 $x-y$ 函数记录器、与计算机配合的笔式绘图仪或打印机。磁记录器不得少于两个通道，信噪比不得低于 45dB，频率范围不得低于 5kHz。采用的各类记录仪的系统误差应小于 1%。

5.2.5 稳态激振设备及瞬态冲击装置应符合下列要求：

5.2.5.1 稳态激振应采用电磁激振器，并宜选择永磁式激振器。激振器的技术要求应符合下列规定：

(1) 频率范围宜为：5~1500Hz；

(2) 最大出力：当桩径小于 1.5m 时，应大于 200N；当桩径为 1.5~3.0m 时，应大于 400N；当桩径大于 3.0m 时，应大于 600N；

(3) 非线性失真应小于 1%。

5.2.5.2 悬挂装置可采用柔性悬挂（橡皮绳）或半刚性悬挂。在采用柔性悬挂时应避免高频段出现横向振动。在采用半刚性悬

挂时,当激振频率在 10~1500Hz 的范围内时,激振系统本身特性曲线出现的谐振峰(共振及反共振)不应超过 1 个。

5.2.5.3 瞬态激振应通过试验选择不同材质的锤头进行冲击,使可用于计算的谱宽度大于 1500Hz。在冲击桩头时,冲击锤应保持为自由落体。

5.2.5.4 激振装置在初次使用或经长距离运输,在正式使用前应进行调整,使横向振动系数(ξ)控制在 10%以下,其谐振时的最大值不应超过 25%。

5.3 现场检测

5.3.1 检测前的准备应符合本规程附录 A 的要求。

5.3.2 桩的振动响应测试点应按下列原则布置:

5.3.2.1 桩径小于 60m 时,可布置 1 个测点;桩径为 0.6~1.5m 时,应布置 2~3 个测点;桩径大于 1.5m 时,应在互相垂直的两个径向布置 4 个测点。

5.3.2.2 在桥梁桩基础测试中,当只布置 2 个测点时,其测点应位于顺流向的两侧,当布置 4 个测点时,应在顺流向两侧和顺桥纵轴方向两侧各布置 2 个测点。

5.3.3 激振力应作用于桩头顶面正中。采用半刚性悬挂时,则粘贴在桩头顶面中心的钢板必须保持水平。

5.3.4 现场测试应按下列步骤进行:

5.3.4.1 安装全部测试设备,并应确认各项仪器装置处于正常工作状态。

5.3.4.2 在测试前应正确选定仪器系统的各项工作参数,使仪器在没定的状态下进行试验。

5.3.4.3 在瞬态激振试验中,重复测试的次数应大于 4 次。

5.3.4.4 在测试过程中应观察各设备的工作状态,当全部设备均处于正常状态,则该次测试为有效。

5.3.4.5 在同一工地如当某桩实测的机械导纳曲线幅度明显过大时,应增大扫频上限,并判定桩的缺陷位置。

5.4 检测数据的处理与推定

5.4.1 桩身混凝土的完整性应按下列步骤综合判定：

5.4.1.1 根据测试的机械导纳曲线，初步确定各单桩中的完整桩，并计算波速和各完整桩的波速平均值。

5.4.1.2 计算各单桩的测量桩长、导纳几何平均值、导纳理论值、导纳最大峰幅值、动刚度、嵌固系数、土的阻尼系数，以及同一工地所测各桩的动刚度平均值和导纳几何实测平均值的平均值。

5.4.1.3 根据所计算的参数及导纳曲线形状，按表 5.4.1.3—1 和 5.4.1.3—2 的规定推定桩身混凝土的完整性，确定缺陷类型，计算缺陷在桩身中出现的位置。

5.4.2 在搜集本地区同类地质条件下桩的静荷载试验资料，并应确定在单桩外部尺寸相似情况下的容许沉降值，或根据上部结构物的类型及重要程度或设计要求，确定的容许沉降值，采用在容许荷载作用下的容许沉降值计算单桩竖向承载力的推算值。

单桩竖向承载力的推算值 R 可用下列公式计算：

$$R = [S] \frac{K_d}{\eta} \quad (5.4.2)$$

式中 K_d ——单桩的动刚度 (kN/mm)；

η ——桩的动静刚度测试对比系数，宜为 0.9~2.0；

$[S]$ ——单桩的容许沉降值 (mm)。

按机械导纳曲线推定桩身结构完整性 表 5.4.1.3—1

机械导纳 曲线形态	实测导纳值 N_o		实测动刚度 K_d		测量 桩长 L_0	实测桩身波 速平均值 v_{pm} (m/s)	结 论
与典型导纳 曲线接近	与理论值 N 接近		高于	工地平 均动刚 度值 K_{dm}	与 施 工 长 度 接 近	3500~4500	嵌固良好的 完整桩
			接近				表面规则 的完整桩
			低于				桩底可能 有软层
呈调制 状波形	高于	导纳实测 几何平均值 N_{om}	低于	工地平 均动刚 度值 K_{dm}	与 施 工 长 度 接 近	>3500	桩身局部离 析，其位置 可按主波的 Δf 判定
	低于		高于			3500~4500	桩身断面局 部扩大，其 位置可按主 波的 Δf 判定
与典型导纳 曲线类似， 但共振峰频 率增量 Δf 偏大	高于理论 值 N 很多		远 低于	工地平 均动刚 度值 K_{dm}	小于施 工长度	—	桩身断裂， 有夹层
	低于工地平均 值 N_{om} 很多		远 高于				桩身有效， 大鼓肚
不规则	变化或较高		低于工地 动刚度平均 值 K_{dm}		无法由 计算确 定桩长	—	桩身不规则， 有局部断裂 或贫混凝土

注： $N_t = \frac{1}{v_p A \rho}$

按机械导纳曲线异常程度
进一步推定桩身结构完整性

表 5.4.1.3—2

初步辨别有异常	可能的异常位置	异常性质的判断	异常程度的判断	
$v_p = 2\Delta f L$ = 正常波速 只有桩底反射效应, 桩身无异数	—	$N_o \approx N$ 优质桩	波峰间隔均匀, 整齐	全桩完整, 混凝土质量优而均匀
			波峰间隔均匀, 但不整齐	全桩基本完整, 外表面不规则
		$N_o \approx N$ $K_d \approx K'_d$ 混凝土质量稍有不均匀	波峰间隔均匀, 整齐	全桩完整, 混凝土质量基本完好
			波峰间隔不太均匀, 欠整齐	全桩基本完整, 局部混凝土质量不太均匀
$\Delta f_1 < \Delta f_2$ $v_{p1} = 2\Delta f_1 L$ = 正常波速, 有桩底反射效应, 同时 $v_{p2} = 2\Delta f_2 L >$ 正常波速 $L' = \frac{v_p}{2\Delta f_2} < L$, 表明有异常处反射效应	$L' = \frac{v_p}{2\Delta f_2}$	$N_o < N$ $K_d > K'_d$	波峰圆滑, N_p 值小	有中度扩径
			波峰圆滑, N_p 值大	有轻度扩径
		$N_o > N$ $K_d < K'_d$ 缩径或混凝土局部质量不均匀	波峰尖峭, N_p 值大	有中度裂缝或缩径
$v_p = 2\Delta f L >$ 正常波速, $L_o = \frac{v_p}{2\Delta f} < L$, 表明无桩底反射效应, 只有其他部位的异常反射效应	$L' = \frac{v_p}{2\Delta f}$	$N_o > N$ $K_d < K'_d$ 缩径或断裂	波峰尖峭, N_p 值小	有严重缩径
			波峰间隔均匀, 尖峭, N_p 值大	严重断裂, 混凝土不连续
		$N_o < N$ $K_d > K'_d$ 扩径	波峰圆滑, N_p 值小	有较严重扩径
			波峰间隔均匀, 圆滑, N_p 值小	有严重扩径

注: Δf_1 ——有缺陷桩导纳曲线上小峰之间的频率差;

Δf_2 ——有缺陷桩导纳曲线上大峰之间的频率差

6 动力参数法

6.1 适用范围

- 6.1.1** 本方法分为频率—初速法和频率法。
- 6.1.2** 当有可靠的同条件动静试验对比资料时,频率—初速法可用于推算不同工艺成桩的摩擦桩和端承桩的竖向承载力。
- 6.1.3** 频率法的适用范围限于摩擦桩,并应有准确的地质勘探及土工试验资料作为计算依据,其中主要包括地质剖面图及各地层的内摩擦角和重度;桩在土中长度不宜大于 40m,也不宜小于 5m。

6.2 仪器设备

- 6.2.1** 宜采用竖、横两向兼用的速度型传感器。传感器的频率响应宜为 10~300Hz;最大可测位移量的峰—峰值不应小于 2mm,速度灵敏度不应低于 200mV/s。传感器的固有频率不得处于 20Hz 附近。
- 6.2.2** 检测基桩承载力时,低通滤波器的截止频率宜为 120Hz。
- 6.2.3** 放大器增益应大于 40dB(可调),长期绝对变化量应小于 1%,折合到输入端的噪声信号不大于 10 μ V。频响范围宜为 10~300Hz。
- 6.2.4** 接收系统宜采用数字式采集、处理和存储系统,并应具有实时时域显示及频谱分析功能。
- 6.2.5** 模/数转换器的位数不应小于 8bit,采样时间间隔宜为 50~100 μ s,并分数档可调。每道数据采集暂存器的容量不应小于 1kB。
- 6.2.6** 传感器和仪器系统灵敏度系数应在标准振动台上进行标定,每年不得少于一次。标定时取振动速度的峰—峰值。在 10~

300Hz 范围内应至少按单位振速标定 10 个频点,并描出灵敏度系数随频率变化的曲线。

6.2.7 激振设备宜采用带导杆的穿心锤,穿心锤底面应加工成球面。穿心孔直径比导杆直径大 3mm 左右。穿心锤的质量应由 2.5kg 至 100kg 形成系列,其落距宜自 180mm 至 500mm 之间,分为 2~3 档。对不同承载力的基桩,应调节冲击能量,使振波幅度基本一致。

6.3 现场检测

6.3.1 检测前的准备工作应符合下列要求:

6.3.1.1 清除桩身上段浮浆及破碎部分。

6.3.1.2 桩顶中心部分应凿平,并用粘结剂(如环氧树脂)粘贴一块钢垫板,待其固化后方可施测,对承载力标准值小于 2000kN 的桩,钢垫板面积宜为 100mm×100mm,其厚度宜为 10mm,钢垫板中心应钻一盲孔,孔深宜为 8mm,孔径宜为 12mm;对承载力大于或等于 2000kN 的桩,钢垫板面积及厚度加大 20%~50%。

6.3.1.3 传感器应使用粘结剂(如烧石膏)或采用磁性底座竖向固定在桩顶预先粘于冲击点与桩身钢筋之间的小钢板上。

6.3.1.4 传感器、滤波器、放大器与接收系统连线,应采用屏蔽线。确定仪器的参数;并检查仪器、接头及钢板与桩顶粘结情况,在检测瞬间应暂时中断附近振源。测试系统不可多点接地。

6.3.2 激振步骤应按下述进行(图 6.3.2):将导杆插入钢垫板的盲孔中;按选定的穿心锤质量(W_0)及落距(H)提起穿心锤,任其自由下落,并在撞击垫板后自由回弹再自由下落,以完成一次测试,加以记录。宜重复测试三次,以资比较。

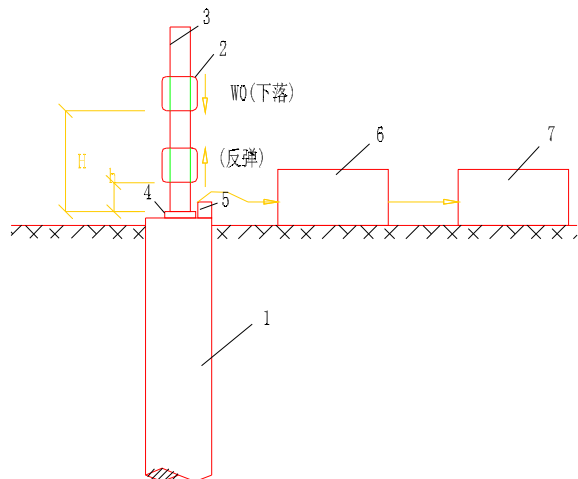


图 6.3.2 动力参数法检测

1—桩；2—穿心锤；3—导杆；4—垫板；
5—传感器；6—滤波及放大器；7—采集、记录及处理器

6.3.3 每次激振后，应通过屏幕观察波形是否正常，要求出现清晰而完整的第一次及第二次冲击振动波形，并要求第一次冲击振动波形的振幅值基本保持一致，当不能满足上述要求时，应改变冲击能量，确认波形合格后方可进行记录。典型波形如图 6.3.3。

6.4 检测数据的处理与计算

- 6.4.1 桩—土体系的固有频率 f_0 宜通过频谱分析确定。
- 6.4.2 穿心锤的回弹高度 h 和碰撞系数 ε 可按下列公式计算：
6.4.2.1

$$h = \frac{1}{2}g \left(\frac{t}{2}\right)^2 \tag{6.4.2-1}$$

式中 g ——重力加速度，取 $g=9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ；
 t ——第一次冲击与回弹后第二次冲击的时间 (s)，见图 6.3.3。

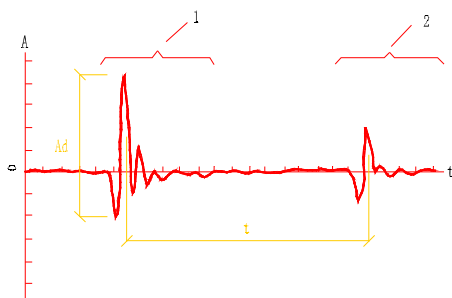


图 6.3.3 波形记录示例
1—第一次击的振动波形；
2—回弹后第二次冲击的振动波形

6.4.2.2

$$e = \sqrt{h/H} \quad (6.4.2-2)$$

式中 h ——穿心锤回弹高度 (m)；

H ——穿心锤落距 (m)。

6.4.3 桩头振动初速度 v_0 可按下式计算：

$$v_0 = \alpha A_d \quad (6.4.3)$$

式中 α ——与 f_0 相应的测试系统灵敏度系数 (m/s/mm)；

A_d ——第一次冲击振动波初动相位的最大峰—峰值 (mm)。

6.4.4 单桩竖向承载力的推算值

6.4.4.1 单桩竖向承载力的推算值 (R) 按下式计算

$$R = \frac{f_0^2 (1+e) W_0 \sqrt{H}}{K v_0} \beta_v \quad (6.4.4)$$

式中 R ——单桩竖向承载力的推算值 (kN);

f_0 ——桩—土体系的固有频率 (Hz);

ε ——碰撞系数;

W_0 ——穿心锤质量 (t);

H ——穿心锤落距 (m);

v_0 ——桩头振动初速度 (m/s);

β_v ——频率—初速法的调整系数;

K ——安全系数, 宜取 2。

6.4.4.2 调整系数 β_v 与仪器性能、冲击能量的大小、桩长、桩底支承条件及成桩方式等有关, 应预先积累动—静对比资料经统计分析加以确定。

6.5 频率法

6.5.1 仪器的技术指标应符合本规程第 6.2 节的规定, 但可不进行系统灵敏度系数的标定。

6.5.2 激振设备可采用穿心锤, 也可采用 20~200kg 的铁球。

6.5.3 单桩竖向承载力推算值

6.5.3.1 单桩竖向承载力推算值 (R) 按下式计算:

$$R = \frac{0.00681 f_0^2 (G_p + G_e)}{K} \beta_f \quad (6.5.4-1)$$

$$G_p = \frac{1}{3} A \cdot L \cdot \gamma_p \quad (6.5.4-2)$$

$$G_e = \frac{1}{3} \left[\frac{\pi}{9} r_e^2 (L_e + 16r_e) - \frac{L_e}{3} A \right] \gamma_e \quad (6.5.4-3)$$

$$r_e = \frac{1}{2} \left(2 \times \frac{L_e}{3} \tan \frac{\varphi}{2} + d \right) \quad (6.5.4-4)$$

式中 R ——单桩竖向承载力标准值的推算值 (kN);

G_p ——折算后参振桩重 (kN);

G_e ——参振土重 (kN);

β_f ——频率法的调整系数;

A ——桩的截面积 (m²);

- L —— 桩身全长 (m);
- L_e —— 桩在土中长度 (m);
- γ_p —— 桩材重度 (kN/m^3);
- γ_e —— 桩身下段 $L_e/3$ 范围内土的重度 (kN/m^3);
- φ —— 桩身下段 $L_e/3$ 范围内土的内摩擦角 ($^\circ$);
- γ_e —— 参振土体的扩散半径 (m);
- d —— 桩身直径 (m)。

6.5.3.2 调整系数 β_t 与仪器性能、冲击能量的大小及成桩方式等有关,也须预先通过动一静实测对比加以确定。当桩尖以下土质远较桩侧为强时 β_t 可酌情加大。

7 声波透射法

7.1 透 用 范 围

7.1.0 本方法适用于检测桩径大于 0.6m 混凝土灌注桩的完整性。

7.2 仪 器 设 备

7.2.1 换能器应采用柱状径向振动的换能器。其共振频率宜为 25~50kHz，长度宜为 20cm，换能器宜装有前置放大器，前置放大器的频带宽度宜为 5~50kHz。换能器的水密性应满足在 1MPa 水压下不漏水。

发射换能器的长度，频带宽度及水密性能与接收换能器的要求相同。

7.2.2 声波检测仪器的技术性能应符合下列规定：

7.2.2.1 接收放大系统的频带宽度宜为 5~50kHz，增益应大于 100dB，并应带有 0~60（或 80）dB 的衰减器，其分辨率应为 1dB，衰减器的误差应小于 1dB，其档间误差应小于 1%。

7.2.2.2 发射系统应输出 250~1000V 的脉冲电压，其波形可为阶跃脉冲或矩形脉冲。

7.2.2.3 显示系统应同时显示接收波形和声波传播时间，其显示时间范围应大于 2000μs，计时精度应大于 1μs。

7.3 现 场 检 测

7.3.1 预埋检测管应符合下列规定：

7.3.1.1 桩径 0.6~1.0m 应埋设双管；1.0~2.5m 应埋设三根管；桩径 2.5m 以上应埋设四根管（图 7.3.1）。

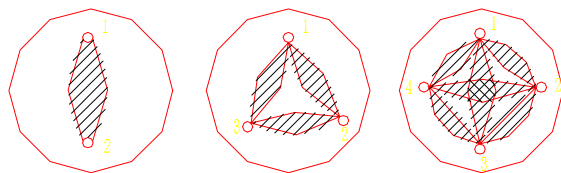


图 7.3.1 声波透射埋管编组
“o” 为检测管埋设位置

7.3.1.2 声波检测管宜采用钢管、塑料管或钢质波纹管，其内径宜为 50~60mm。钢管宜用螺纹连接，管的下端应封闭，上端应加盖。

7.3.1.3 检测管可焊接或绑扎在钢筋笼的内侧，检测管之间应互相平行。

7.3.1.4 在检测管内应注满清水。

7.3.2 现场检测前应测定声波检测仪发射至接收系统的延迟时间 t_0 ，并按下式计算声时修正值 t' ：

$$t' = \frac{D-d}{v_t} + \frac{d-d'}{v_w} \tag{7.3.2}$$

式中 D ——检测管外径 (mm)；
 d ——检测管内径 (mm)；
 d' ——换能器外径 (mm)；
 v_t ——检测管壁厚度方向声速 (km/s)；
 v_w ——水的声速 (km/s)；
 t' ——声时修正值 (μs)。

7.3.3 检测步骤应符合下列要求：

7.3.3.1 接收及发射换能器应在装设扶正器后置于检测管内，并能顺利提升及下降。

7.3.3.2 测量时上述发射与接收换能器可置于同一标高。当发射与接收换能器置于不同标高时，其水平测角可取 30°~40°。

7.3.3.3 测量点距 20~40cm。当发现读数异常时,应加密测量点距。

7.3.3.4 发射与接收换能器应同步升降。各测点发射与接收换能器累计相对高差不应大于 2cm, 并应随时校正。

7.3.3.5 检测宜由检测管底部开始。发射电压值应固定, 并应始终保持不变, 放大器增益值也应始终固定不变。调节衰减器的衰减量, 使接收信号初至波幅度在荧光屏上为 2 或 3 格。由光标确定首波初至, 读取声波传播时间及衰减器衰减量, 依次测取各测点的声时及波幅并进行记录。

7.3.3.6 一根桩有多根检测管时, 应将每 2 根检测管编为一组, 分组进行测试 (图 7.3.1)。

7.3.3.7 每组检测管测试完成后, 测试点应随机重复抽测 10%~20%。其声时相对标准差不应大于 5%; 波幅相对标准差不应大于 10%。并对声时及波幅异常的部位应重复抽测。测量的相对标准差可按下式计算:

$$\sigma_t = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i - t_{\bar{j}}}{t_m} \right)^2 / 2n} \quad (7.3.3-1)$$

$$\sigma_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i - A_{\bar{j}}}{A_m} \right)^2 / 2n} \quad (7.3.3-2)$$

$$t_m = \frac{t_i + t_{\bar{j}}}{2} \quad (7.3.3-3)$$

$$A_m = \frac{A_i + A_{\bar{j}}}{2} \quad (7.3.3-4)$$

式中 σ_t —— 声时相对标准差;

σ_A —— 波幅相对标准差;

t_i —— 第 i 个测点声时原始测试值 (μs);

A_i —— 第 i 个测点波幅原始测试值 (dB);

$t_{\bar{j}}$ —— 第 i 个测点第 j 次抽测声时值 (μs);

$A_{\bar{j}}$ —— 第 i 个测点第 j 次抽测波幅值 (dB)。

7.4 检测数据的处理与判定

7.4.1 由现场所测的数据应绘制声时—深度曲线及波幅（衰减值）—深度曲线，其声时 t_c 及声速 v_p 应按下列公式计算：

$$t_c = t - t_0 - t' \quad (7.4.1-1)$$

$$v_p = l / t_c \quad (7.4.1-2)$$

式中 t_c ——混凝土中声波传播时间（ μs ）；

t ——声时原始测试值（ μs ）；

t_0 ——声波检测仪发射至接收系统的延迟时间（ μs ）；

t' ——声时修正值（ μs ）；

l ——两个检测管外壁间的距离（mm）；

v_p ——混凝土声速（km/s）。

7.4.2 桩身完整性应按下列规定判定：

7.4.2.1 应采用声时平均值 μ_t 与声时 2 倍标准差 σ_t 之和作为判定桩身有无缺陷的临界值；并按下列公式计算：

$$\mu_t = \sum_{i=1}^n t_{ci} / n \quad (7.4.2.1-1)$$

$$\sigma_t = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{ci} - \mu_t)^2 / n} \quad (7.4.2.1-2)$$

式中 n ——测点数；

t_{ci} ——混凝土中第 i 测点声波传播时间（ μs ）；

μ_t ——声时平均值（ μs ）；

σ_t ——声时标准差。

7.4.2.2 亦可按声时—深度曲线相邻测点的斜率 K_{tz} 及相邻两点声时差值 Δt 的乘积 $K_{tz} \cdot \Delta t$ 作为缺陷的判据：

$$K_{tz} = \frac{t_{ci} - t_{ci-1}}{Z_i - Z_{i-1}} \quad (7.4.2.2-1)$$

$$\Delta t = t_{ci} - t_{ci-1} \quad (7.4.2.2-2)$$

$$K_{tz} \cdot \Delta t = \frac{(t_{ci} - t_{ci-1}) \cdot 2}{Z_i - Z_{i-1}} \quad (7.4.2.2-3)$$

式中 t_{ci} ——第 i 测点的声时（ μs ）；

t_{ci-1} ——第 $i-1$ 测点的声时 (μs);

z_i ——第 i 测点的深度 (m);

z_{i-1} ——第 $i-1$ 测点的深度 (m);

$K_{tz} \cdot \Delta t$ 值能在声时—深度曲线上明显地反映出缺陷的位置及性质,可结合 $\mu_t + 2\sigma_t$ 值进行综合判定。

7.4.2.3 波幅(衰减量)比声速对缺陷反应更灵敏,可采用接收信号能量平均值的一半作为判断缺陷临界值。波幅值以衰减器的衰减量 q 表示,波幅判断的临界值 qD 有下列关系:

$$qD = \mu_q - 6 \quad (7.4.2.3-1)$$

$$\mu_q = \sum_{i=1}^n q_i / n \quad (7.4.2.3-2)$$

式中 μ_q ——衰减量平均值 (dB);

q_i ——第 i 测点的衰减量 (dB);

n ——测点数。

对超越临界值的测区应进行缺陷分析与判断。

7.4.2.4 桩的完整性宜采用上述判据,并辅以接收波形的视频率做进一步的综合判定。在作出缺陷判定后,如需判定桩身缺陷尺寸及空间分布,宜进一步采用多点发射,不同深度接收的扇形测量法,用多条交会的声线所测取的波速及波幅的异常加以判定。

附录 A 机械阻抗法检测前的准备工作

A. 0. 1 首先应进行桩头的清理，去除桩头上的浮浆，露出密实的桩顶。将桩头顶面大致修凿平整，并尽可能与周围地面保持齐平。在桩顶面的正中和径向两侧边沿，用石工凿精心修整出直径约 20cm 的圆面 1 个和直径各 10cm 的圆面 1~4 个，使凹凸不平处的高差小于 0. 3cm。

A. 0. 2 粘贴在桩顶的钢板，必须在放置激振装置和传感器的一面用磨床加工成光洁度 0. 8 以上的光洁表面。接触桩顶的一面则应保持粗糙，以使其与桩头粘贴牢固。将加工好的圆形钢板用粘结剂进行粘贴，大钢板粘贴在桩头中心处，钢板圆心与桩顶中心重合。小钢板粘贴在桩顶边沿 1~4 个小圆面上（图 A）。粘贴之前应先将粘贴处的表面刷干净，再均匀涂满粘结剂。贴上钢板并挤压，使钢板和桩之间填满粘结剂。此时立即用水平尺反复校正，务使钢板表面水平。保护好校平的钢板，勿使其移动变位。待粘结剂完全固化后，即可进行检测，如不立即检测，可在钢板上涂上黄油，以防锈蚀。桩头上不要放置与检测无关的东西。主钢筋露出桩头部分不宜过长，应切割至可焊接和绑扎的最小长度，否则将产生谐振干扰。

A. 0. 3 半刚性悬挂装置和传感器，必须用螺丝紧固到桩头的钢板上。

A. 0. 4 在安装和联结测试仪器时，必须妥善设置接地线，要求整个检测系统一点接地，以减少电噪声干扰。传感器的连接电缆应采用屏蔽电缆并且不宜过长，以 30m 以内为宜。速度传感器在标定时应使用测试时的长电缆连接，以减少测量误差。

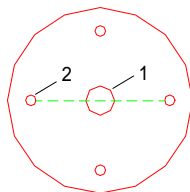


图 A 被测桩桩顶小钢板粘贴位置
1—固定激振器用；2—固定传感器用

附录 B 检测报告的格式

基桩低应变动力检测报告

工程项目名称:

检测地点:

检测日期: 19 年 月 日至
19 年 月 日

检测单位:

19 年 月 日

图 B. 0. 1 检测报告封面格式

注：1. 检测单位应写全称；

2. 检测报告的尺寸宜为 180mm×258mm

检测单位地址：
邮 政 编 码：
电 话：

图 B.0.2 检测报告封二格式

注：封二尺寸同封面

附录 C 本规程用词说明

C. 0. 1 为便于有执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下；

1. 表示很严格，非这样做不可的用词；
正面词采用“必须”；
反面词采用“严禁”。
2. 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”；
反面词采用“不应”或“不得”。
3. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”或“可”；
反面词采用“不宜”。

C. 0. 2 条文中指明必须按其他有关标准和规范执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……的要求（或规定）”。非必须按所指定的标准和规范执行时写法为“可参照……的要求（或规定）”。

附加说明

本规程主编单位、参加单位和

主要起草人名单

主 编 单 位：地质矿产部勘查技术司

参 加 单 位：湖南大学土木系

成都市城市建设科研所

地质矿产部水文工程地质技术方法研究所

地质矿产部浅层地震技术开发中心

主要起草人：王振东 周光龙 蒋泽汉 吴庆曾 张世洪