

JJG

中华人民共和国建设部门计量检定规程

JJG(建设)0003—1996

984431

基桩动测仪测量系统

中华人民共和国建设部

部门计量检定规程

基桩动测仪测量系统

JJG(建设)0003—1996

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

电话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

*

开本 850×1168 1/32 印张 1¼ 字数 36 千字
1998年4月第一版 1998年4月第一次印刷

印数 1—800

*

书号: 155066·2-11893 定价 12.00 元

*

标目 331—064

1997年5月21日批准

1997年12月1日实施

中华人民共和国建设部

**基桩动测仪测量系统
检定规程**

JJG(建设)0003—1996

Verification Regulation of
Measuring Subsystem of Pile
Dynamic Testing Instruments

本检定规程经建设部于1997年5月21日批准,并自1997年12月1日起施行。

归口单位:建设部标准定额研究所

起草单位:中国建筑科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释。

目 录

本规程主要起草人:

陈 凡 (中国建筑科学研究总院)

参加起草人:

徐 殷 (中国计量科学研究院)

薛家麟 (冶金部建筑研究总院)

吴成元 (中国航空工业勘察设计研究院)

刘艳玲 (中国建筑科学研究总院)

一 概述.....	1
二 技术要求.....	1
(一) 基本要求	1
(二) 加速度测量系统	2
(三) 速度测量系统	2
(四) 应变测量系统	3
(五) 动态力测量系统	3
三 检定条件.....	4
四 检定项目和检定方法.....	6
(一) 系统外观检查	6
(二) 系统灵敏度检定	7
(三) 幅值频率响应检定	10
(四) 幅值非线性度检定	11
(五) 安装谐振频率检定	14
(六) 速度传感器的相频特性、固有频率和阻尼比检定	15
(七) 系统信噪比检定	15
五 检定结果处理和检定周期	16
附录 1 检定项目选择	17
附录 2 检定证书和检定结果通知书格式	19
附录 3 电气特性检定记录	26
附录 4 静态性能指标计算方法	27

基桩动测仪测量系统检定规程

本规程适用于新制造、使用中和维修后的基桩动测仪测量系统的检定。对于基桩动力检测的其它非专用仪器,参照本规程进行检定。

一 概 述

基桩动测仪是用于冲击或振动荷载作用下,工程基桩的桩身结构完整性和单桩竖向承载力检测的测试分析仪器,也可用于预制桩打桩过程监控。

基桩动测仪通常由测量和分析两个分系统组成。本规程只包括基桩动测仪测量系统。

测量系统由传感器、连接电缆、接插件、适调仪、数据采集器、记录指示器组成(以下简称被检系统)。根据被测物理量的不同,测量系统可分为:加速度、速度、应变和动态力四种子系统。其中应变子系统专指由 5~10 cm 基距的工具式应变测力传感器组成的测量子系统。

二 技 术 要 求

(一) 基本要求

- 1 被检系统有关技术特性应满足相应技术文件(如国家标准、行业标准)的要求。
- 2 对于两个或两个以上的物理量测量系统,必须对每个物理量的测量子系统分别检定;对于同一物理量多通道测量系统,须对每个通道进行检定。
- 3 同一物理量测量子系统,应根据工程中实际采用的测试分析方法所要求的动态范围,进行技术指标检定。
- 4 系统各通道灵敏度的年稳定度优于 3%。
- 5 被检系统的 A/D 转换精度优于 8 位。
- 6 被检系统信噪比大于 40 dB。

- 7 衰减档(或程控放大)偏差为 $\pm 2\%$ 。
- 8 被检系统应包括传感器、连接电缆、接插件及适调放大器。仪器外壳上应标出型号、出厂编号、出厂日期和生产厂家,并附出厂说明书。
- 9 所有调节开关应标志明确、接触良好、操作灵活、定位准确,输入输出插座不允许松动。
- 10 图象、波形显示清晰,有明确示值的量化坐标。
- (二) 加速度测量系统
- 11 系统参考灵敏度误差:振动偏差为 $\pm 3\%$,冲击偏差为 $\pm 5\%$ 。
- 12 幅值频率响应特性:给出灵敏度变化 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 时的工作频率范围。
- 13 幅值非线性度:在规定的振动加速度范围内不大于 5% ;在规定的冲击加速度范围内不大于 10% 。并给出工作范围。
- 14 用于冲击响应的加速度测量系统,零漂不大于 2% FS。
- 15 传感器的安装谐振频率大于 5 kHz 。
- 16 生产厂家还应给出以下技术性能指标:谐振频率、极限加速度、绝缘电阻、电容、输出极性和横向灵敏度比。
- 16.1 对于内装放大式(集成电路式)压电加速度测量系统,第16条中的绝缘电阻和电容应分别改为输出阻抗和放电时间常数,并给出恒流源的电压和电流。
- 16.2 对于具有零频率响应的加速度计(如压阻式和电阻应变式),16条中的电容应改为输入输出电阻和供桥电压。

(三) 速度测量系统

- 17 速度测量系统的参考灵敏度、具有实际使用意义的幅值频率响应范围和幅值非线性度参照第11~13条有关规定。
- 18 生产厂家应给出速度传感器的安装谐振频率、谐振频率、相频特性、固有频率、阻尼比、极限速度和横向灵敏度比。安装谐振频率不小于工作频率范围上限的两倍。
- 19 速度传感器应标出输出电阻值、绝缘电阻值、输出极性和安装角度的要求。

(四) 应变测量系统

- 20 静态性能指标
- 20.1 传感器灵敏度静态校准偏差为 $\pm 2\%$;单独检定应变适调仪时的静态校准偏差为 $\pm 2\%$ 。系统灵敏度静态校准综合误差 $\pm 3\%$ (包括四线制接法时的电缆电阻影响)。
- 20.2 非线性度不大于 0.5% FS。
- 20.3 滞后不大于 0.5% FS。
- 20.4 重复性不大于 0.5% FS。
- 20.5 零点输出偏差为 $\pm 10\%$ FS。
- 20.6 传感器绝缘电阻大于 $500\text{ M}\Omega$ 。
- 20.7 传感器轴向刚度:铝材 $0.7 \pm 0.2\text{ kN/mm}$,钢材 $2 \pm 0.5\text{ kN/mm}$ 。
- 20.8 使用 $350\ \Omega$ 电阻应变式传感器时,应变信号适调仪电阻平衡范围不应小于 $\pm 1\%$ 。
- 20.9 应变信号适调仪零漂偏差为 $\pm 1\%$ FS/2h。
- 21 动态特性指标
- 21.1 应变信号适调仪在工作频率范围内的频率响应偏差为 $\pm 0.5\text{ dB}$ 。
- 21.2 传感器安装谐振频率大于 2 kHz 。
- 22 生产厂家还应给出以下技术性能指标:电气连接图、输入电阻、输出电阻、供桥电压、电缆长度和规格等技术性能指标。

(五) 动态力测量系统

- 23 静态性能指标
- 23.1 灵敏度、非线性度、滞后、重复性参照20.1~20.4款。
- 23.2 生产厂家还应给出传感器的额定力值、最大力值、绝缘电阻和电容。
- 23.2.1 对于内装放大式(集成电路式)压力测量系统,应将23.2款中的绝缘电阻和电容分别改为输出阻抗和放电时间常数,并给出恒流源的电压和电流。
- 23.2.2 对于应变式荷重传感器,应将23.2款中的电容改为输入

输出电阻和供桥电压。

24 动态技术指标

24.1 力幅值非线性度不大于 5%。

24.2 传感器安装谐振频率：压电式大于 5 kHz，电阻应变式大于 2 kHz。

25 对于应变式荷重传感器组成的动态力测量系统，静态性能和动态性能分别参照 20.1~20.6 款和第 24 条有关规定；相应的应变适调仪参照 20.1 及 21.1 款。

对于按照牛顿第二定律，在激振锤体上安装加速度计的动态力测量系统，参照第 11~16 条有关规定。

三 检定条件

26 环境条件

26.1 室温 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%。

26.2 周围无强电、磁场干扰；无腐蚀性气、液体；无振动、冲击源。

27 配套检定

将被检传感器及其配套的电缆和适调仪作为一体进行检定。

28 频率响应、安装谐振频率等动态性能检定时，传感器的安装方法应与实际使用时类同。

29 动态性能检定时，不宜使用低通滤波器。

30 检定前必须对整套测量仪器通电预热，预热时间应符合制造厂的规定。一般不少于 15 min。

31 检定用仪器设备

加速度、速度、应变和动态力测量系统检定用仪器分别见表 1、表 2 和表 3。

表 1 加速度及速度测量系统检定用仪器

序号	检定项目	检定用仪器		检定装置 误差	
		名称	技术要求		
1	系统灵敏度	中频 振动 标准 装置	中频振动台	横向 $< 10\%$ 失真度 $< 3\%$ 信噪比大于 60 dB	$\pm 2\%$
			标准加速度 传感器套组	参考灵敏度误差 $\leq \pm 0.5\%$ ， 在频率 20~1 000 Hz 范围内 灵敏度误差 $\leq \pm 1\%$ ，横向灵 敏度比 $\leq 3\%$	
		电压表和 频率计	误差 $\leq 1\%$		
		冲击检定装置	$500 \sim 20\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	$\pm 3\%$	
2	频率响应 和 (安装)谐振 频率	低频振动标准装置	1~100 Hz	$\pm 3\%$	
		中频振动标准装置 (比较法)	20~2 000 Hz	$\pm 5\%$	
		频率响应自动测绘 装置	20~5 000 Hz	$\pm 5\%$	
		200 Hz~30 kHz	$\pm 0.5 \text{ dB}$		
		电压表和频率计	误差 $\leq 1\%$		
3	幅值线非 线性度	波形记录装置	$> 500 \text{ kHz}$		
		中频振动台	同系统灵敏度		
		共振梁中频振动 标准装置	$\leq 4\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	$\pm 2\%$	
4	传感器绝缘 电阻	冲击检定装置	$500 \sim 50\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	$\pm 2\% \sim \pm 5\%$	
		高阻表	测量范围在 $10^6 \sim 10^{12} \Omega$ ，检定 电压为 100 V	$\pm 10\%$	

表 2 应变测量系统检定用仪器

序号	检定项目	检定用仪器		检定装置 误差	
		名称	技术要求		
1	静态特性	适调仪	标准模拟应变 校准器	测量范围 $0 \sim 10^4 \mu\epsilon$, 分辨率 $\leq 1 \mu\epsilon$	$\pm 0.2\%$
			微位移发生器及 应变指示器	测量范围 2 000 $\mu\epsilon$, 分辨率 $\leq 1 \mu\epsilon$	
		工具式应 变传感器	供桥电源	直流 $5 \pm 0.002 \text{ V}$	$\pm 1\%$
			数字电压表	分辨率 $\leq 1 \mu\text{V}$	
			高阻表	2 000 M Ω	
2	动态特性	适调仪	动态模拟应变 频响仪	测量范围 $20 \sim 10 \text{ kHz}$, 幅 频特性误差 $\leq \pm 1\%$, 相 频误差 $\leq 3^\circ$	$\pm 2\%$
		工具式应 变传感器	瞬态波形记录仪和 双通道频谱分析仪	采样频率 $\geq 100 \text{ kHz}$	

表 3 动态力测量系统检定用仪器

序号	检定项目	检定用仪器		检定装置 误差
		名称	技术要求	
1	静态特性	力校准机	力值 $\leq 1 000 \text{ kN}$	$\pm 0.1\%$
			力值 $> 1 000 \text{ kN}$	
		高阻表	同加速度测量系统	$\pm 10\%$
2	动态特性	冲击力源	500 N \sim 5 000 kN	$\pm 3\%$
		标准加速度套组	同加速度测量系统	
		瞬态波形记录仪	A/D 转换精度优于 10 位, 采 样频率 $\geq 100 \text{ kHz}$	

四 检定项目和检定方法

(一) 系统外观检查

32 按本规程第 8~10 条的规定进行外观检查。

(二) 系统灵敏度检定

33 加速度测量系统

33.1 工程测试中振动或冲击加速度幅值小于或等于 $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 采用正弦激振, 将被检传感器与标准加速度计背靠背地刚性安装在中频校准振动台面中心, 外接相应的信号适调仪, 将校准振动台调到一定频率(通常为 160 Hz , 第二选择为 80 Hz)和参考加速度 $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (第二选择 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) 以及信号适调仪量程在规定的档位时, 测出基桩动测仪的电压输出与所承受的加速度值(由标准加速度计控制)之比为加速度测量系统灵敏度。

同一加速度幅值下的振动灵敏度

$$S_{a,v} = \frac{A_{\text{peak}}}{A_{\text{st,peak}}} \times S_{\text{st}} \quad (1)$$

式中: A_{peak} ——被检系统测得的加速度峰值;

$A_{\text{st,peak}}$ ——标准加速度套组输出的加速度峰值;

S_{st} ——标准加速度的参考灵敏度, $[V/(m \cdot s^{-2})]$ 或 $\text{pC}/(m \cdot s^{-2})$ 。

33.2 工程测试中冲击加速度幅值大于 $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 按厂家提供的传感器振动或冲击灵敏度, 设置好信号适调仪的量程和记录仪器, 使冲击脉冲的记录获得最佳的信噪比。采用能产生半正弦冲击脉冲波形的跌落式冲击台, 将传感器安装在一个刚性锤体上, 使其自由下落, 与一个标准力传感器对心碰撞(冲击力法); 或将被检传感器与标准加速度计背靠背地安装在一个刚性锤体上; 进行检定(冲击比较法)。通过毡垫、橡皮垫等调节脉冲使之达到要求的脉冲宽度。在一系列选用的冲击脉冲宽度和幅值下, 确定被检系统的冲击灵敏度。

33.2.1 优选加速度幅值

幅值优先选用以下数值:

$1 000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $3 000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $5 000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $10 000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 第一选择 $3 000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 第二选择 $5 000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

33.2.2 同一加速度幅值下的冲击灵敏度

$$S_{a,s} = \frac{A_{\text{peak}}}{A_{\text{st,peak}}} \times S_{\text{st}} \quad (2)$$

式中: A_{peak} ——被检系统测得的加速度峰值;

$A_{\text{st, peak}}$ ——标准加速度套组输出的加速度峰值;

S_{st} ——标准加速度计的参考灵敏度, $[V/(m \cdot s^{-2})]$ 或 $pC/(m \cdot s^{-2})$ 。

注: 采用冲击力法检定时, 首先确定锤体与安装在锤体上的被检加速度计质量之和 m_b , S_{st} 为标准力传感器的参考灵敏度除以 m_b 。

检定结果应符合第 11 条的规定。

34 速度测量系统

将标准加速度计和被检速度传感器背靠背地刚性连接于振动台面中心, 在被检速度传感器动态范围内选某一指定频率(根据所采用的试桩方法确定)和某一指定速度值进行校准。被检速度测量系统的输出电压值和所承受的速度值之比为灵敏度。

速度测量系统参考灵敏度按下式计算

$$S_v = 2\pi f R S_{\text{st}} \quad (3)$$

式中: S_v ——被检速度测量系统参考灵敏度, $[mV/(cm \cdot s^{-1})]$;

R ——基准振动仪速度测量系统的输出电压与标准加速度计输出电压之比;

f ——频率, (Hz)。

检定结果应符合第 17 条的规定。

35 应变测量系统静态性能检定

35.1 将传感器浸水 1 h 后, 使用外加电压 100 V 的高阻表, 测量传感器的绝缘电阻。

检定结果应符合 20.6 款的规定。

35.2 将传感器安装到微位移发生器上, 将供电源、数字电压表接到传感器电气回路, 从零加到额定应变三次, 每次加载后退回到零, 以上为预加载阶段。然后进行正式校准。

从零逐级(不少于 5 级, 均匀分布)加到额定应变, 再逐级卸至零, 记录每级输出值。至少完成三个标定循环。

35.3 一个标定循环包括一个正行程, 一个反行程。正、反行程中, 不得产生与正行程方向相反的回程现象。

35.4 在执行 35.2~35.3 款的检定过程中, 室内温度变化应小于 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

35.5 根据记录数据, 采用最小二乘法确定传感器的工作直线, 该工作直线的斜率即为传感器的灵敏度。传感器的线性度、滞后和重复性等静态性能指标参照附录 4 的计算方法确定。

检定结果应符合 20.1~20.4 款的规定。

35.6 零点输出

将传感器水平放置在玻璃板上, 接入供电电压, 用数字电压表测量传感器输出。

检定结果应符合 20.5 款的规定。

35.7 传感器轴向刚度检定

将传感器的一端悬挂固定, 接入供电电压, 在传感器另一端加砝码, 测量传感器输出轴向应变值。传感器的轴向变形用下式计算

$$\Delta L = \epsilon_x \times L \quad (4)$$

式中: ΔL ——传感器的轴向变形(mm);

ϵ_x ——传感器输出轴向应变值($\mu\epsilon$);

L ——传感器基距(mm)。

用下式计算传感器轴向刚度

$$K_s = \frac{F_{\text{FS}}}{\epsilon_{x, \text{FS}} \times L} \quad (5)$$

式中: F_{FS} ——满量程轴向应变输出时的砝码重量(kN);

$\epsilon_{x, \text{FS}}$ ——传感器满量程轴向输出应变值($\mu\epsilon$);

K_s ——传感器轴向刚度(kN/mm)。

检定结果应符合 20.7 款的规定。

35.8 参数量程检定规程 JJG 623—89《电阻应变仪》中的有关规定, 采用标准模拟应变量校准器检定应变信号适调仪的示值误差。

检定结果应符合 20.1 款和 20.8 款的规定。

35.9 信号适调仪零点漂移的检定参照 JJG 623—89 检定方法。

检定结果应符合 20.9 款的规定。

36 动态力测量系统静态性能检定

36.1 使用外加电压 100 V 的高阻表或静电计,测量传感器端点间的绝缘电阻。

36.2 预加载三次,每次加载到额定力值,然后退回到零值。每次施加力值前,调好信号适调仪和指示仪表的零点。

36.3 通常以相同的增量施加递增力值,直到额定值。所施加力值的级数应选 5~10 级(不包括零值),每加一级力值后保持一定时间,再读取输出值。然后以同样的方法施加递减力值和读取输出值,直到零值,读取零输出值。

36.4 重复 36.3 款的步骤进行检定,至少三次。每次开始施加递增力值前,调好信号适调仪和指示仪表的零点。

36.5 按下面公式计算相应的灵敏度

$$\text{额定输出} \quad V_n = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m V_{nj} \quad (6)$$

$$\text{灵敏度} \quad S_F = \frac{V_n}{F_n} \quad (7)$$

式中: m ——检定循环次数;

V_{nj} ——第 j 次($j=1, 2, \dots, m$)进程测量对应于额定力值时的基桩动测仪电压输出;

F_n ——额定力值。

按照附录 4 的计算方法,采用端点连线平移线法确定工作直线,计算线性度、滞后和重复性等静态性能指标。

检定结果应符合 23.1 款的规定。

37 系统灵敏度的年稳定度检定系统的稳定度通常以年稳定性来衡量,即正常使用的测量系统各通道在相同的检定精度和检定条件下,其灵敏度的逐年变化情况。

检定结果应符合第 4 条的规定。如不符合,可适当缩短检定周期。

(三) 幅值频率响应检定

38 加速度测量系统

38.1 逐点比较法

将被检系统的传感器与一个频率响应已知的传感器安装在振动台

上,采用正弦激励,在选定的频率范围内,按倍频程至少选取 6 个频率点(其中 160 Hz、80 Hz 为必测点),确定不同频率下的灵敏度。其结果以参考灵敏度的百分偏差给出。

$$e_{fi} = \frac{S_{a,i} - S_{at}}{S_{at}} \times 100\% \quad (8)$$

式中: e_{fi} ——第 i 个测点的频率响应偏差;

$S_{a,i}$ ——第 i 个测点的灵敏度。

38.2 连续扫描法

由振动台及其内装标准加速度计等组成闭环扫描系统,使被检传感器在自动扫描中受到一个恒定的加速度值。记录出基桩动测仪的灵敏度随频率变化曲线。描绘出从低频到超过谐振频率范围连续频域的响应情况。

检定结果应符合第 12 条的规定。

39 速度测量系统

参照第 38 条,在速度传感器工作频率范围内,检定速度测量系统的灵敏度变化情况。

检定结果应符合第 17 条的规定。

40 应变适调仪频响误差

参照计量检定规程 JIG 623—89《电阻应变仪》中的有关规定,采用动态电阻模拟应变频响仪检定应变信号适调仪的频响误差。

检定结果应符合 21.1 款的规定。

(四) 幅值非线性度检定

41 加速度测量系统

在规定的加速度范围内,选定至少 7 点(包括最大和最小的加速度值)检定基桩动测仪输出灵敏度在不同加速度时的变化情况。

根据传感器的使用范围,幅值非线性度可采用以下方法进行检定。

41.1 使用中加速度幅值小于或等于 $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 可用电磁振动台正弦激励法检定,将被检系统的传感器与一只幅值线性度已知的标准传感器进行比较,即比较法检定。

41.2 用振动台加上共振梁可标定至 $4000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,也可通过测

共振梁的振幅进行绝对法检定。

41.3 冲击加速度幅值大于 $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 采用冲击检定装置, 参照第 33.2 款进行检定。

幅值非线性度采用最小二乘法计算, 其计算步骤如下:

由 n 次检定的加速度 a_i 与灵敏度 $S_{a,i}$ 值, 求出回归直线方程:

$$\bar{S}_a = S_0 + K a \quad (9)$$

式中: \bar{S}_a ——灵敏度计算值;

S_0 ——截距;

K ——斜率;

a ——加速度值。

$$\text{斜率 } K = \frac{\sum_{i=1}^n a_i S_{a,i} - \bar{a} \sum_{i=1}^n S_{a,i}}{\sum_{i=1}^n a_i^2 - \bar{a} \sum_{i=1}^n a_i} \quad (10)$$

$$\text{截距 } S_0 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 - \bar{a} \sum_{i=1}^n a_i S_{a,i}}{\sum_{i=1}^n a_i^2 - \bar{a} \sum_{i=1}^n a_i} \quad (11)$$

$$\text{加速度平均值 } \bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \quad (12)$$

$$\text{灵敏度平均值 } \bar{S}_a = \frac{\sum_{i=1}^n S_{a,i}}{n} \quad (13)$$

其中: $i=1, 2, 3, \dots, n, n$ 为测量次数。

将给定加速度 a 代入回归直线方程 $\bar{S}_a = S_0 + K a$, 即可求出在该加速度 a 时的灵敏度 \bar{S}_a , 然后代入加速度幅值非线性度公式:

$$\gamma_a = \frac{\bar{S}_a - S_0}{S_0} \times 100\% \quad (14)$$

检定结果应符合第 13 条的规定。

41.4 每次冲击后, 检查冲击加速度波形的基线漂移(零漂)情况。取基线漂移最大者与受冲击加速计满度输出相比, 即为加速度的零漂值。对于实际使用中冲击加速度幅值小于 $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的加速度计, 选用冲击加速度幅值不超过传感器额定加速度值的低幅冲击, 确定零漂指标。

零漂指标应符合第 14 条的规定。

42 速度测量系统

参照 41.1 款, 在规定的速度范围内检定速度传感器的幅值非线性度, 其计算方法同加速度测量系统。

检定结果应符合第 17 条的规定。

43 动态力测量系统

43.1 施加速增的动态力值, 读取(或打印)标准加速度套组和被测量系统的输出值及输出波形的脉冲持续时间。

43.2 施加的动态力值应覆盖被检传感器的额定范围或欲使用范围, 力值级数不得少于五级, 在每一级动态力值附近至少做三次。

43.3 由 n 次检定的动态力 $F_{d,i}$ 与灵敏度 $S_{F,i}$, 参照 41.3 款, 采用最小二乘法计算幅值非线性度。回归直线方程如下:

$$\bar{S}_F = S_0 + K F_d \quad (15)$$

式中: \bar{S}_F ——灵敏度计算值;

F_d ——动态力值;

K ——根据公式(10)计算的斜率, 计算时用 $S_{F,i}$ 和 $F_{d,i}$ 分别替换公式(10)中的 $S_{a,i}$ 和 a_i ;

S_0 ——根据公式(11)计算的截距, 计算时用 $S_{F,i}$ 和 $F_{d,i}$ 分别替换公式(11)中的 $S_{a,i}$ 和 a_i 。

$$\gamma_F = \frac{|\bar{S}_F - S_{F,FS}|}{S_{F,FS}} \times 100\% \quad (16)$$

式中: γ_F ——力幅值非线性度;

$S_{F,FS}$ ——当 F_d 为满量程动态力值时, 代入公式(15)计算出的灵敏度 \bar{S}_F 值。

$$b = \frac{m \sum_{j=1}^m x_j^2 \bar{y}_j - \sum_{j=1}^m x_j \sum_{j=1}^m \bar{y}_j}{m \sum_{j=1}^m x_j^2 - \left(\sum_{j=1}^m x_j \right)^2} \quad (4-19)$$

式中： x_j ——为第 j 个校准点上的输入值；

y_j ——为第 j 个校准点上正行程校准数据的算术平均值。

检定结果应符合 24.1 款的规定。

(五) 安装谐振频率测定

44 加速度传感器的安装谐振频率测定

44.1 连续扫描法

方法与频率响应相同,参见 38.2 款。

44.2 冲击法

将加速度传感器安装在质量为其 10 倍的高弹性模量材料做成的立方体或细长比接近于 1 的圆柱体砧子上,然后给砧子施加一瞬时冲击,持续时间小于加速度传感器安装谐振周期,用波形记录装置记录加速度传感器输出的激振波形,然后根据时标(或用频谱分析)确定其安装谐振频率。

检定结果应符合第 15 条的规定。

45 速度传感器的安装谐振频率测定

在速度传感器安装方式与实际测桩类同的条件下,参照 38.2 款的方法,使传感器在自动扫描中受到一个恒定的速度值,进而确定安装谐振频率。

检定结果应符合第 18 条的规定。

46 应变传感器的安装谐振频率测定

将应变传感器轴向安装在两面贴有电阻应变计的高弹性模量材料制成的棱柱体试件上(电阻应变计对横向弯曲应能完全补偿)。试件长为应变传感器基距的 2 倍,宽为 45 mm,高为 25 mm(例如:对于 150 mm 基距的钢材质棱柱体,其一阶纵向固有频率约为 17 kHz,两个方向的一阶横向固有频率分别大于 5 kHz 和 8 kHz)。将测量系统作为信号采集和处理装置。沿传感器敏感轴方向用锤头冲击棱柱体一端,记录应变传感器与电阻应变计输出信号,并进行比较。对记录或存储的传感器阻尼衰减振荡信号进行频谱分析,将试件的固有频率和传感器的振荡频率分开,具有较大幅值的最低振荡频率为应变传感器的安装谐振频率。

检定结果应符合 21.2 款的规定。

47 动态力传感器的安装谐振频率测定

47.1 对被检传感器施加脉冲力信号,响应是阻尼衰减振荡的瞬间变过程,记录或储存传感器响应信号,至少重复三次。

47.2 对记录或储存的阻尼衰减振荡信号进行频谱分析,具有较大幅值的最低振荡频率为传感器的安装谐振频率。

检定结果应符合 24.2 款的规定。

(六) 速度传感器的相频特性、固有频率和阻尼比检定

48 谐振频率测定

在低频垂直振动台上,将标准加速度计和被检速度传感器背靠背地刚性连接在振动台台面上,采用正弦激振,保持一定的速度值,缓慢地由低到高改变激振频率,用电压表量测出被检速度传感器在各个激振率下的输出电压值,输出最大电压值时的激振频率为被检速度传感器的谐振频率。

49 相频特性和固有频率测定

在低频垂直振动台上,将相对式速度传感器和被检的速度传感器背靠背地刚性连接在振动台台面上,采用正弦激振,保持一定的速度值,相对式速度传感器与被检速度传感器的输出接到相位计或示波器上,缓慢地由低到高改变激振频率,记录相对式速度传感器与被检速度传感器输出电压相位差。当相对式速度传感器与被检速度传感器输出相位差 90°时,在示波器荧光屏上出现稳定的圆图形(或近似的圆形),此时对应的激振频率为被检速度传感器的固有频率。

50 阻尼比

根据谐振频率和相频特性的固有频率,计算阻尼比 D

$$D = \sqrt{\frac{f_r^2 - f_n^2}{f_r^2}} \quad (17)$$

式中: f_r ——幅频特性时的谐振频率(Hz);

f_n ——相频特性时的固有频率(Hz)。

(七) 系统信噪比检定

51 将传感器及其配套电缆连接在相应测量系统各通道的输入端,根据所采用试桩方法的测量范围,使信号适调仪的量程挡位在测量范围上限,调节适调仪各通道输出零点(或平衡)。在测量系统处于工作

状态,而传感器无信号输出时,读取测量系统各通道输出端的输出电压有效值。按下式计算各通道的信噪比 N (dB)

$$N = 20 \lg \frac{U_{FS}}{U_N} \quad (18)$$

式中: U_{FS} ——在测量范围上限时测量系统通道的满度输出电压有效值
值(V_{rms});

U_N ——测量系统通道输出端的输出噪声电压有效值(V_{rms})。
比较各通道信噪比,取最小值作为被检系统的信噪比指标。检定结果应符合第 6 条的规定。

五 检定结果处理和检定周期

52. 经检定符合本规程各项要求的测量系统,由国家授权的计量检定部门发给检定证书。

53. 凡有一项检定不合格的测量系统,只发给检定结果通知书,并注明不合格项目。

54. 系统检定周期为一年。送检时应附带上一次检定证书。

55. 使用较频繁或在恶劣环境中使用的仪器,可视具体情况适当缩短检定周期。修理和调试过的测量系统应及时送检。

附 录

附录 1

检定项目选择

序号	检定项目	测量子系统	设计定型	出厂检定 用户验收	计量周期	检定方法条款
1	参考灵敏度	加速度	○	○	○	33
		速度	○	○	○	34
		应变	○	○	○	35
2	幅频响应	动态力	○	○	○	36
		加速度	○	○	△	38
		速度	○	○	○	39
3	幅值非线性度	应变调仪	○	○	△	40
		加速度	○	○	★	41
		速度	○	○	△	42
		动态力	○	○	△	43
		加速度	○	△	△	44
4	传感器安装 谐振频率	速度	○	○	○	45
		应变	○	△	△	46
		动态力	○	△	△	47
5	相频特性	速度	○	○	△	49
		速度	○	○	△	49
6	固有频率	加速度	○	○	○	37
		速度	○	○	○	37
		应变	○	○	○	37
7	年稳定度	动态力	○	○	○	37
		动态力	○	○	○	37

续表

序号	检定项目	测量子系统	设计定型	出厂检定 用户验收	计量周期	检定方法条款
8	信噪比	全部测量通道	○	○	△	51
9	非线性	应变	○	○	△	35.2~35.5
		动态力	○	○	△	36.2~36.5
10	滞后	应变	○	△	△	35.2~35.5
		动态力	○	△	△	36.2~36.5
11	重复性	应变	○	△	△	35.2~35.5
		动态力	○	△	△	36.2~36.5
12	阻尼比	速度	○	○	△	48~50
13	零漂	加速度	○	△	★	41.4
		应变适调仪	○	△		35.9
14	刚度	应变	○	△		35.7
15	绝缘电阻	应变		○	△	35.1
		动态力		○	△	36.1

表中“○”表示必须检定的项目；“△”表示视需要选择的检定项目；“★”表示作振动用的加速度计根据用户要求可检定也可不检定，但作冲击用时一定要周期检定；空白为可免检项目。

检定证书和检定结果通知书格式

附录 2

1 检定证书格式

(检定单位名称)
检定证书

_____ 字 第 _____ 号

计量器具名称 _____
 型号规格 _____
 制造厂 _____
 出厂编号 _____
 送检单位 _____

根据检定结果,准予该计量器具作 _____ 使用。

实验室主任 _____
 核 验 员 _____
 检 定 员 _____

检定日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日
 有效期至 _____ 年 _____ 月 _____ 日

2 加速度测量系统

检定证书内面格式

基桩动测仪型号____,由____测量子系统组成。
测量范围____,类型____。室温____℃,相对湿度____%。

检 定 结 果

外观	
在指定频率点和加速度值时的灵敏度 $S_{a,v}$ 或 $S_{a,s}$ (mV/(m·s ⁻²))	
幅频响应(Hz,误差±5%或±10%)	
幅值非线性度 γ_a (% ,在规定的加速度幅值内)	
传感器安装谐振频率(Hz)	
年稳定度 S_b (%)	
零漂 Z_d (%FS)	

被检传感器名称____ 型号____
 检定用仪器: 冲击检定装置
 振 动 台 频率响应自动测绘装置
 标准加速度套组 波形记录装置
 电压表 电容测试仪
 频率计

3 速度测量系统

检定证书内面格式

基桩动测仪型号____,由____测量子系统组成。
测量范围____,类型____。室温____℃,相对湿度____%。

检 定 结 果

外观	
在指定频率点和速度值时的灵敏度 S_v (mV/(cm·s ⁻¹))	
幅频响应(Hz,误差±5%或±10%)	
幅值非线性度 γ_v (% ,在规定的速度幅值内)	
年稳定度 S_b (%)	
传感器安装谐振频率(Hz)	
谐振频率 f_r (Hz)	
固有频率 f_n (Hz)	
阻尼比 D	
相频误差(Hz,相位偏差 5°或 10°)	

被检传感器名称____ 型号____
 检定用仪器: 频率计
 振 动 台 频率响应自动测绘装置
 标准加速度套组 波形记录装置
 电压表

4 应变测量系统

检定证书内面格式

基桩动测仪型号____,由____测量子系统组成。
 测量范围____,接线制____。室温____℃,相对湿度____%。

检 定 结 果

外观	
灵敏度 S_s (mV/Unit)	
非线性度 ξ_L (%FS)	
滞后 ξ_H (%FS)	
重复性 ξ_R (%FS)	
零点输出 Z_0 (%FS)	
零点漂移 Z_d (%FS/2h)	
年稳定度 S_b (%)	
应变适调仪标定(示值)误差(%)	
工具式应变力传感器刚度 (kN/mm)	
应变适调仪频响 (Hz, 误差 ± 0.5 dB)	
传感器安装谐振频率 (Hz)	
最大电阻平衡范围 (%)	

被检传感器名称____ 结构形式____ 桥压____ 电缆长度、电阻____
 检定用仪器: 数字电压表____
 微位移发生器____ 标准模拟应变校准器____
 微位移指示器____ 动态模拟应变频响仪____
 波形记录装置____ 频谱分析仪____

5 动态力测量系统

检定证书内面格式

基桩动测仪型号____,由____测量子系统组成。
 测量范围____,类型____。室温____℃,相对湿度____%。

检 定 结 果

外观	
灵敏度 S_F (mV/Unit)	
非线性度 ξ_L (%FS)	
滞后 ξ_H (%FS)	
重复性 ξ_R (%FS)	
年稳定度 S_b (%)	
幅值非线性度 γ_F (% , 在规定的动态力幅值内)	
传感器安装谐振频率 (Hz)	

被检传感器名称____ 型号____
 检定用仪器: 冲击力源____
 力标准机____ 瞬态波形记录仪____
 标准加速度套组____

7 检定结果通知书背面格式

基准动测仪型号_____,由_____测量子系统组成。
经检定,不合格项目为

测量子系统 或传感器名称	项 目	规 程 要 求	实 测 结 果

特此通知,请修理、调试后送检。

6 检定结果通知书格式

检定结果通知书
(检定单位名称)

_____字 第_____号

计量器具名称_____。
型号规格_____。
制 造 厂 _____。
出 厂 编 号 _____。
送 检 单 位 _____。
检定结论:_____。

实验室主任_____
核 验 员_____
检 定 员_____

检定日期 年 月 日

附录 3

电气特性检定记录

基桩动测仪型号 _____, 由 _____ 测量子系统组成。
温度 _____ C, 相对湿度 _____ %。

测量子系统或 传感器名称	信噪比 (dB)	输入电阻 (Ω)	输出电阻 (Ω)	绝缘电阻 (MΩ)	电容 (pF)	备 注

送检单位 _____
 交流毫伏表 _____
 电容测试仪 _____
 高阻表 _____
 连接件 _____

制造厂 _____
 检定日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日
 校对 _____

附录 4

静态性能指标计算方法

1 平均校准曲线的确定
 设在传感器的整个测量范围内有 m 个校准点, 并进行 n 次循环的校准, 则任一校准点上有 n 个正行程校准数据和 n 个反行程校准数据, 全部 m 个校准点共有 $2mn$ 个校准数据(只有 n 个正行程校准数据时, 全部 m 个校准点共有 mn 个校准数据)。

计算每个校准点上正行程校准数据的算术平均值和反行程校准数据的算术平均值:

$$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij} \quad (4-1)$$

$$\bar{y}_{bj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{bij} \quad (4-2)$$

式中: \bar{y}_{ij} ——第 j 个校准点上正行程校准数据的算术平均值; ($j=1 \sim m$)

\bar{y}_{bj} ——第 j 个校准点上反行程校准数据的算术平均值; ($j=1 \sim m$)

y_{ij} ——第 j 个校准点上正行程的第 i 个校准数据; ($i=1 \sim n$)

y_{bij} ——第 j 个校准点上反行程的第 i 个校准数据。 ($i=1 \sim n$)

连接各校准点上正行程校准数据平均值 $\bar{y}_{i1}, \bar{y}_{i2}, \dots, \bar{y}_{im}$ 的曲线称“正行程校准曲线”, 连接各校准点上反行程校准数据平均值 $\bar{y}_{b1}, \bar{y}_{b2}, \dots, \bar{y}_{bm}$ 的曲线称“反行程校准曲线”。

计算各校准点上正行程平均值 \bar{y}_{ij} 和反行程平均值 \bar{y}_{bj} 的算术平均值:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{2} (\bar{y}_{ij} + \bar{y}_{bj}) \quad (4-3)$$

各校准点上正反行程校准数据的平均值 $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_j, \dots, \bar{y}_m$ 的连线称“正反行程平均校准曲线”, 或简称“平均校准曲线”。

2 重复性

按贝塞尔公式计算每个校准点上的正、反行程子标准偏差:

$$S_{1j} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{1i} - \bar{y}_{1j})^2} \quad (4-4)$$

$$S_{2j} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{2i} - \bar{y}_{2j})^2} \quad (4-5)$$

式中: S_{1j} ——第 j 个校准点上正行程校准数据的子标准偏差; ($j=1 \sim m$)

S_{2j} ——第 j 个校准点上反行程校准数据的子标准偏差。 ($j=1 \sim m$)

按(4-4)和(4-5)式可计算出各校准点上正行程和反行程的子标准偏差:

$$S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1j}, \dots, S_{1m};$$

$$S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2j}, \dots, S_{2m}.$$

假设在传感器整个测量范围内具有相同的方差,那么各校准点上的子样方差的数学期望都是总体方差 σ^2 。

因此:

$$S = \sqrt{\frac{1}{2m} \left[\sum_{j=1}^m S_{1j}^2 + \sum_{j=1}^m S_{2j}^2 \right]} \quad (4-6)$$

将是总体标准偏差的估值, S 可反映输出值的重复程度,故取 S 作为计算重复性指标的依据。

$$\zeta_R = \frac{3S}{y_{FS}} \times 100\% \quad (4-7)$$

式中: y_{FS} ——满量程输出值。

3 滞后

计算测量范围内每个校准点上正、反行程校准数据平均值之差:

$$(\Delta y_H)_j = |\bar{y}_{1j} - \bar{y}_{2j}| \quad (4-8)$$

式中: $(\Delta y_H)_j$ ——第 j 个校准点上正、反行程校准数据平均值之差的绝对值,称为第 j 个校准点上的滞后值。

设各校准点上最大滞后值为 $|\Delta y_H|_{max}$, 则可按下式计算滞后指标:

$$\zeta_H = \frac{|\Delta y_H|_{max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (4-9)$$

因此滞后指标可反映迟滞的极限值。见图 4-1。

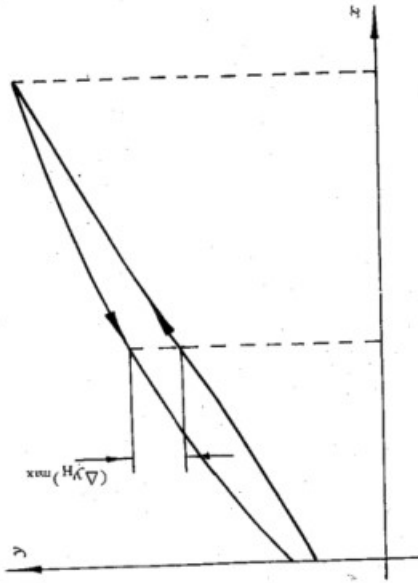


图 4-1

4 非线性度

设图 2 中的直线 AB 为工作特性, 曲线 CD (虚线) 为平均校准曲线, 则平均校准曲线与工作直线间的偏差 Δy_L 称为非线性误差。若整个测量范围内非线性误差的绝对值的最大值, 即非线性误差的极限值为 $|\Delta y_L|_{max}$, 则非线性度的定义为:

$$\text{非线性度} \quad \zeta_L = \frac{|\Delta y_L|_{max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (4-10)$$

因此, 非线性度可反映非线性误差的极限值。见图 4-2。

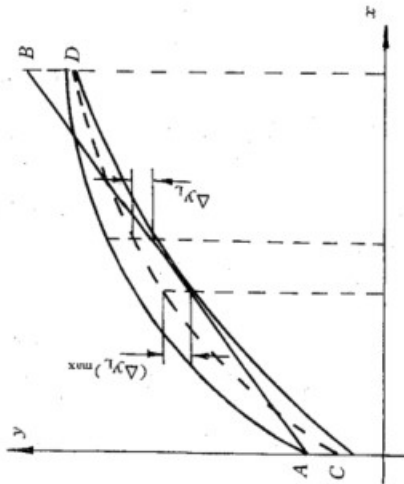


图 4-2

5 工作直线的选取

5.1 端点连线平移线

端点连线平移线可按如下方法计算。

设传感器测量下限的输入值为 x_L , 对应于测量下限的正行程校准数据平均值为 \bar{y}_L , 对应于测量下限的反行程校准数据平均值为 \bar{y}_{DL} , 则正反行程平均值的平均值为

$$\bar{y}_L = \frac{1}{2}(\bar{y}_L + \bar{y}_{DL}) \quad (4-11)$$

又设传感器测量上限的输入值为 x_H , 对应于测量上限的正行程校准数据平均值为 \bar{y}_H , 对应于测量上限的反行程校准数据平均值为 \bar{y}_{DH} , 则正反行程平均值的平均值为

$$\bar{y}_H = \frac{1}{2}(\bar{y}_H + \bar{y}_{DH}) \quad (4-12)$$

连接 (x_L, \bar{y}_L) 和 (x_H, \bar{y}_H) 的直线称端点连线。

其方程如下:

$$y = a + bx$$

$$y_{Epl} = \bar{y}_L + \frac{\bar{y}_H - \bar{y}_L}{x_H - x_L} x \quad (4-13)$$

式中: \bar{y}_L 为对应于测量下限的平均输出值, 亦即端点连线的截距 a ,

$x_H - x_L$ 为满量程输入值;

$\frac{\bar{y}_H - \bar{y}_L}{x_H - x_L}$ 为端点连线的斜率 b 。

满量程输出值为:

$$y_{FS} = |b(x_H - x_L)| \quad (4-14)$$

由端点连线方程, 计算各校准点上正、反行程校准曲线与端点连线之偏差 (Δy_{LH}) 。

设整个测量范围内数值最大的正偏差为 $(\Delta y_{LH})'_{max}$, 数值最大的负向偏差为 $(\Delta y_{LH})''_{max}$, 那么端点连线平移线就与端点连线平行, 并使校准曲线与它的偏差极限值为:

$$|\Delta y_{LH}|_{max} = \left| \frac{1}{2} [(\Delta y_{LH})'_{max} - (\Delta y_{LH})''_{max}] \right| \quad (4-15)$$

的直线。

因此, 端点连线平移线的截距为:

$$\bar{y}_L + \frac{1}{2} [(\Delta y_{LH})'_{max} + (\Delta y_{LH})''_{max}]$$

因为端点连线平移线的斜率与端点连线的斜率相同, 故端点连线平移线方程如下:

$$y_{SE} = \bar{y}_L + \frac{1}{2} [(\Delta y_{LH})'_{max} + (\Delta y_{LH})''_{max}] + \frac{\bar{y}_H - \bar{y}_L}{x_H - x_L} x \quad (4-16)$$

5.2 采用最小二乘法, 其计算公式如下:

$$y_{LS} = a + bx \quad (4-17)$$

最小二乘法直线的截距为:

$$a = \frac{\sum_{j=1}^m x_j^2 \bar{y}_j - \sum_{j=1}^m x_j \sum_{j=1}^m x_j \bar{y}_j}{\sum_{j=1}^m x_j^2 - \left(\sum_{j=1}^m x_j \right)^2} \quad (4-18)$$

最小二乘法直线的斜率为: