



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 930—2021

基桩动态测量仪

Pile Dynamic Measuring Instruments

2021-07-28 发布

2022-01-28 实施

国家市场监督管理总局 发布

基桩动态测量仪检定规程
Verification Regulation of Pile Dynamic
Measuring Instruments

JJG 930—2021
代替 JJG 930—1998

归口单位：全国振动冲击转速计量技术委员会

起草单位：湖北省计量测试技术研究院

中国计量科学研究院

国家无损设备检测质量检验中心（湖北）

中国测试技术研究院

本规程委托全国振动冲击转速计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

陈炎明（湖北省计量测试技术研究院）

蔡晨光（中国计量科学研究院）

姚秋平 [国家无损设备检测质量检验中心（湖北）]

徐爱华（湖北省计量测试技术研究院）

章 兵（中国测试技术研究院）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(1)
4.1 动测仪加速度测量系统	(1)
4.2 动测仪应变测量系统	(1)
4.3 动测仪冲击力测量系统	(2)
4.4 动测仪的时间示值误差	(2)
4.5 动测仪的频率示值误差	(2)
4.6 动测仪的系统噪声电压	(2)
4.7 动测仪的动态范围	(2)
4.8 动测仪的通道一致性误差	(2)
5 通用技术要求	(2)
5.1 外观	(2)
5.2 其他技术要求	(2)
6 计量器具控制	(2)
6.1 检定条件	(2)
6.2 检定项目	(3)
6.3 检定方法	(4)
6.4 检定结果的处理	(10)
6.5 检定周期	(10)
附录 A 检定证书内页格式	(11)
附录 B 检定结果通知书内页格式	(12)

引 言

本规程依据 JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》的要求和格式编写。

参考 GB/T 20485.21—2007《振动与冲击传感器校准方法 第21部分：振动比较法校准》、GB/T 20485.22—2008《振动与冲击传感器校准方法 第22部分：冲击比较法校准》和 JG/T 518—2017《基桩动测仪》对 JJG 930—1998《基桩动态测量仪》进行修订。与 JJG 930—1998 相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

- 增加了引言；
 - 增加了范围、引用文件、通用技术要求；
 - 将原附录 1 的内容移到了计量器具控制中；
 - 修改了原附录 2 的内容并改为附录 A；
 - 修改了应变测量系统的检定内容；
 - 删除了速度、动态力系统参考灵敏度的测量及相关内容；
 - 增加了冲击力测量系统的检定内容；
 - 删除了动测仪通道间窜扰的检定内容；
 - 删除了动测仪的时域、频域幅值检定内容；
 - 删除了动测仪微、积分幅值检定内容；
 - 根据 JJF 1002—2010 的要求修改了检定证书/检定结果通知书内页格式。
- 本规程的历次版本发布情况为：
- JJG 930—1998。

基桩动态测量仪检定规程

1 范围

本规程适用于基桩动态测量仪的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JJG 676 测振仪

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1156—2006 振动 冲击 转速计量术语及定义

GB/T 20485.1—2008 振动与冲击传感器校准方法 第1部分：基本概念

JG/T 518—2017 基桩动测仪

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 概述

基桩动态测量仪（以下简称动测仪）是采用低应变或高应变基桩检测方法，在动力荷载作用下测得振动量并加以分析，对工程基桩的竖向抗压承载力和桩身完整性进行检测的仪器。动测仪测量系统可根据被测物理量的不同，分为加速度、应变和冲击力三种子系统。

4 计量性能要求

4.1 动测仪加速度测量系统

4.1.1 加速度测量系统的参考灵敏度

系统参考灵敏度相对扩展不确定度 U_{rel} ($k=2$) 应优于 3.0%。

4.1.2 加速度测量系统的幅频响应特性

在频率为 (2~5 000) Hz 范围内，动测仪的加速度测量系统灵敏度较参考点变化 $\pm 10\%$ 的频率范围。

4.1.3 加速度测量系统的幅值线性误差

加速度测量系统的幅值线性误差应优于 $\pm 5\%$ 。

4.2 动测仪应变测量系统

4.2.1 应变传感器的幅值线性误差

应变传感器的幅值线性误差应优于 $\pm 0.5\%FS$ 。

4.2.2 应变测量系统的幅频响应特性

动测仪的应变测量系统灵敏度较参考点变化 $\pm 10\%$ 的幅频响应范围上限。

4.2.3 应变测量系统的幅值线性误差

应变测量系统的幅值线性误差应优于 $\pm 5\%$ 。

4.3 动测仪冲击力测量系统

冲击力测量系统的幅值线性误差应优于 $\pm 5\%$ 。

4.4 动测仪的时间示值误差

时间示值误差应优于 $\pm 1\%$ 。

4.5 动测仪的频率示值误差

频率示值误差应优于 $\pm 1\%$ 。

4.6 动测仪的系统噪声电压

系统噪声电压有效值应不超过 5 mV。

4.7 动测仪的动态范围

动测仪的动态范围应不小于 66 dB。

4.8 动测仪的通道一致性误差

任意两通道间的通道一致性误差应符合表 1 的要求。

表 1 任意两通道间的通道一致性误差

幅值/dB	± 0.2
延时/ms	≤ 0.05

5 通用技术要求

5.1 外观

动测仪应标有清晰的名称、型号、出厂编号和制造厂。动测仪不应有影响性能的机械损伤，其结构与控制器件应完整；传感器的安装面应光滑平整，安装螺孔与螺栓应完好无损。

5.2 其他技术要求

动测仪的开关、按键、旋钮等操作应灵活可靠，所附各种指示器的示值与示值单位应清晰、醒目；出厂技术指标中应说明仪器测量范围；所带附件，如专用电源、安装螺钉、专用软件、使用说明书等应完好齐全。

6 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检查。

6.1 检定条件

6.1.1 环境条件

温度： $(18\sim 28)^\circ\text{C}$ ；

相对湿度： $20\%\sim 80\%$ ；

电源电压应在额定电压的 $\pm 10\%$ 范围内；

周围无强电磁场干扰，无腐蚀性气、液体，无振动、冲击源。

6.1.2 计量标准及主要配套设备

a) 振动标准装置，频率范围应不小于（2~5 000）Hz。比较法振动标准装置技术指标见表 2。

表 2 比较法振动标准装置技术指标一览表

名称	测量参数范围	技术指标	
		频率范围 Hz	测量不确定度（ $k=2$ ）
比较法 振动标 准装置	f : (0.01~20 000) Hz a : (5×10^{-3} ~ 5×10^4) m/s ² v : (1×10^{-3} ~0.4) m/s d : (1×10^{-8} ~0.5) m	2~20	5%
		>20~2 000	2%
		>2 000~5 000	3%

动态应变频率上限不小于 600 Hz，动态应变参考频率点测量不确定度不超过 3.0%（ $k=2$ ）。

b) 信号发生器，频率范围（1~5 000）Hz，输出电压峰值不小于 5 V，频率准确度优于 5×10^{-4} ，电压幅值稳定度优于 0.5%，失真度优于 0.2%。

c) 数字多用表（可选），频率范围 1 Hz~20 kHz，电压测量最大允许误差优于 $\pm 0.2\%$ 。

d) 动态信号分析仪（可选），分析带宽不小于 50 kHz，至少有 2 个同步采样通道，频率测量最大允许误差优于 $\pm 0.1\%$ ，幅值测量最大允许误差优于 $\pm 1.0\%$ 。

e) 冲击标准装置（可选），加速度范围不小于（ $100 \sim 1 \times 10^4$ ）m/s²。

f) 应变测量装置，静态应变范围不小于 1 000 $\mu\epsilon$ ，静态应变测量不确定度优于 2%（ $k=2$ ）。

6.2 检定项目

动测仪的首次检定、后续检定和使用中检查项目见表 3。

表 3 动测仪的首次检定、后续检定和使用中检查项目一览表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
外观检查与标志	+	+	+
加速度测量系统的参考灵敏度	+	+	+
加速度测量系统的幅频响应特性	+	+	+
加速度测量系统的幅值线性误差	+	—	—
应变传感器的幅值线性误差	+（如适用）	+（如适用）	—
应变测量系统的幅频响应特性	+（如适用）	+（如适用）	—
应变测量系统的幅值线性误差	+（如适用）	+（如适用）	—
冲击力测量系统的幅值线性误差	+（如适用）	+（如适用）	—
时间示值误差	+	+	—

表 3 (续)

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
频率示值误差	+(如适用)	+(如适用)	—
系统噪声电压	+	+	—
动态范围	+	+	—
通道一致性误差	+	—	—
注：“+”表示需检定项目，“—”表示不需检定项目，“如适用”表示根据仪器功能进行检定项目。			

6.3 检定方法

6.3.1 外观检查与标志

对动测仪外观、标志的检查应符合 5.1 和 5.2 的要求。

6.3.2 动测仪加速度测量系统

6.3.2.1 加速度测量系统的参考灵敏度和幅频响应特性

动测仪加速度测量系统的幅频响应特性检定原理如图 1 所示。加速度幅值小于或等于 500 m/s^2 时，用振动法检定测量系统的参考灵敏度。将被检传感器与标准传感器背靠背刚性地安装在标准振动台的台面中心，标准振动台调到一定的频率和幅值（推荐参考频率点为 160 Hz，标准振动幅值为 10 m/s^2 或 100 m/s^2 ），读出动测仪的输出示值，其与标准振动幅值之比即为加速度测量系统参考灵敏度，结果应满足 4.1.1 的要求。检定结果单位为 $\text{mV}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$ 。

改变振动频率，测量不同频率下动测仪的输出示值。在全频段内选择不少于 7 个频率点进行检定，推荐频率为 2 Hz，5 Hz，20 Hz，40 Hz，80 Hz，160 Hz，320 Hz，640 Hz，1 280 Hz，2 000 Hz，3 000 Hz，5 000 Hz。以参考频率点的幅值 x_0 为参考值，测出其他频率点的幅值 x_i ，将它们代入公式 (1) 计算，给出检定结果，结果应满足 4.1.2 的要求。

$$\delta_{i_i} = \frac{x_i - x_0}{x_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

δ_{i_i} ——第 i 个频率点的幅值相对误差，%；

x_0 ——参考点的加速度幅值， m/s^2 ；

x_i ——其他频率点的加速度幅值， m/s^2 。

动测仪的幅频响应特性检定还可以用连续扫描法、白噪声激振法，结果应满足 4.1.2 的要求。

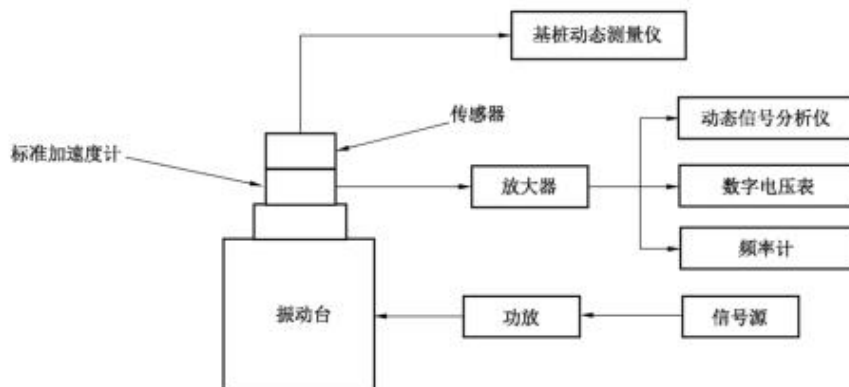


图1 检定原理示意图

6.3.2.2 加速度测量系统的幅值线性误差

6.3.2.2.1 振动法

振动或冲击加速度幅值小于或等于 500 m/s^2 ，动测仪的幅值线性误差的检定原理如图1所示。

采用正弦信号激振，将被检传感器与标准传感器背靠背地刚性安装在标准振动台面中心，标准振动台调到一定的频率和幅值（推荐参考频率点为 160 Hz ，标准振动幅值为 10 m/s^2 ），同时选取不少于3个不同的标准幅值 X_{0i} ，幅值按1, 2, 4, 6, 8乘以 10^n 选取（ n 是整数），直至测量范围上下限。逐个改变幅值 X_{0i} ，同时读取动测仪的输出示值 X_i 。按公式（2）计算动测仪的幅值线性误差。检定结果应符合4.1.3的要求。

$$\delta_{2i} = \frac{X_{0i} - (a_0 + aX_i)}{X_M} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

i ——1, 2, 3, ..., n ；

$$a_0 \text{——拟合直线的截距, } a_0 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{0i} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i x_{0i}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right)^2};$$

$$a \text{——拟合直线的斜率, } a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i x_{0i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_{0i}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right)^2};$$

δ_{2i} ——幅值线性误差，%；

X_M —— X_{0i} 中幅值的最大值， m/s^2 。

6.3.2.2.2 冲击法

加速度幅值大于 500 m/s^2 时，动测仪的幅值线性误差检定原理如图2所示。

按厂家提供的传感器灵敏度，设置好信号源。采用能产生半正弦冲击脉冲波形

的冲击台，将传感器与标准加速度计安装在合适位置，通过毡垫、橡皮垫等调节合适的脉冲宽度和幅值，幅值推荐 $1\,000\text{ m/s}^2$ ，在选用的冲击幅值和脉宽下测出动测仪响应。检定结果单位为 $\text{mV}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$ 。

逐个改变冲击幅值 X_0 ，同时读取动测仪的每一个输出示值 X_i ，检定方法参照 6.3.2.2.1。检定结果应符合 4.1.3 的要求。

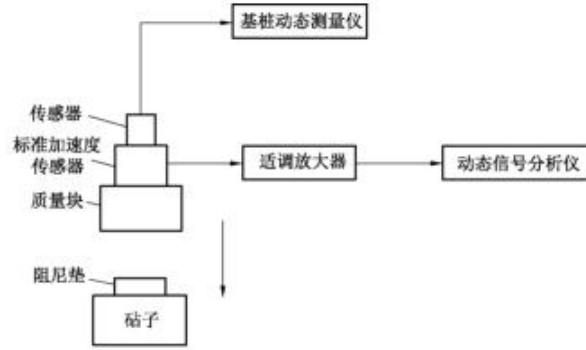


图 2 检定原理图

6.3.3 动测仪应变测量系统

6.3.3.1 应变传感器的幅值线性误差

应变传感器的幅值线性误差的测量装置如图 3 所示。

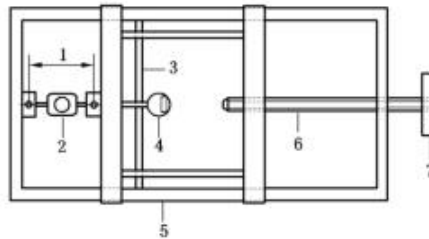


图 3 应变测量装置

1—应变传感器标距；2—被测应变传感器；3—位移测量仪表的支撑横梁；
4—位移测量仪表；5—滑轨；6—精密丝杠；7—转动手柄

将应变传感器固定在应变测量装置上，将应变传感器与应变数据采集器输入端连接。在传感器 $80\% \sim 90\%$ 的量程范围内划分 10 级位移增量。按位移增量由低到高逐级依次记录应变数据采集器和位移测量仪表的输出。对应变数据采集器输出的电压值和由位移仪表测量的标准应变值进行最小二乘法拟合。所拟合直线的斜率为应变传感器的系统灵敏度。按公式 (3) 计算应变传感器的幅值线性误差，检定结果应符合 4.2.1 的要求。

$$\delta = \frac{\Delta Y_{\max}}{Y} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

δ ——应变传感器的幅值线性误差，%；

ΔY_{\max} ——实测曲线与拟合直线间的最大偏差，mV；

Y ——应变数据采集器的满量程输出，mV。

6.3.3.2 应变测量系统的幅频响应特性

应变测量系统的幅频响应特性检定原理如图4所示。

将动测仪应变传感器安装于标准振动台上，进行动测仪应变灵敏度设置，选取某一合适频率（推荐160 Hz）和加速度值（推荐 5 m/s^2 、 10 m/s^2 ）进行激振，动测仪测得的幅值与应变传感器承受的标准值之比为应变测量系统的参考灵敏度，按公式（4）计算。

$$S_0 = \frac{4\pi^2 f^2 L E}{X_0 \times 10^6} \quad (4)$$

式中：

S_0 ——应变测量系统的参考灵敏度， $\mu\text{V}/\mu\epsilon$ ；

E ——动测仪应变系统的测量幅值， μV ；

X_0 ——振动台加速度值， m/s^2 ；

f ——振动台振动频率，Hz；

L ——应变环标距，m。

改变振动频率，在全频段内选择不少于7个频率点进行检定，推荐频率为20 Hz、40 Hz、80 Hz、160 Hz、320 Hz、640 Hz、1 500 Hz、2 000 Hz，分别测量不同频率下动测仪的应变测量系统灵敏度 S_i 。将它们代入公式（5）计算，结果应满足4.2.2的要求。

$$\delta_i = \frac{S_i - S_0}{S_0} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

δ_i ——应变测量系统第 i 个频率点的灵敏度与参考灵敏度的误差，%；

S_i ——动测仪第 i 个频率点的灵敏度， $\mu\text{V}/\mu\epsilon$ ；

S_0 ——动测仪应变系统的参考灵敏度， $\mu\text{V}/\mu\epsilon$ 。

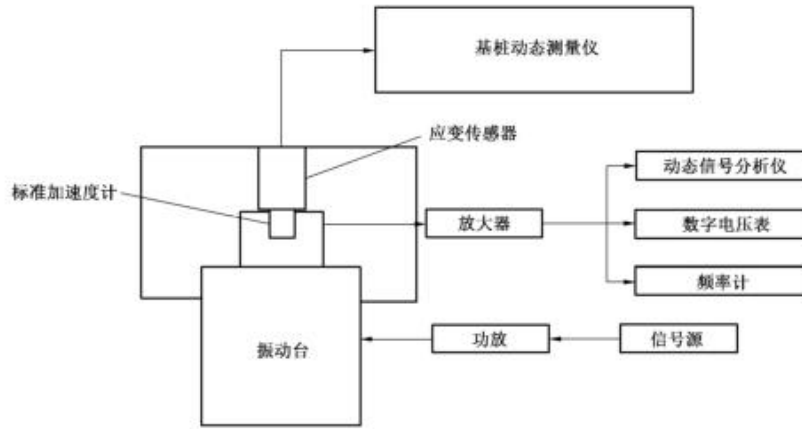


图4 应变测量系统检定框图

6.3.3.3 应变测量系统的幅值线性误差

应变测量系统的幅值线性误差检定原理如图4所示。

将动测仪应变传感器安装于标准振动台上，进行动测仪应变灵敏度设置，标准振动台调到一定的频率和幅值（推荐参考频率点为160 Hz，标准振动幅值为 10 m/s^2 ），同时选取不少于3个不同的标准幅值 x_{0i} ，幅值按1, 2, 4, 6乘以 10^n 选取（ n 是整数）。逐个改变幅值 x_{0i} ，同时动测仪读出每一个输出示值 x_i 。按公式（2）计算动测仪的幅值线性误差。检定结果应符合4.2.3的要求。

6.3.4 冲击力测量系统的幅值线性误差

根据牛顿第二定律 $F=ma$ 实现动态力的测量，将中心安装有标准加速度计的质量块用细线悬挂起来，用动测仪的冲击力测量系统敲击质量块，并记录其采集到的电压；由标准加速度计采集到的加速度量值 a 和质量块的质量 m ，计算敲击所产生的冲击力 F ，对动测仪冲击力测量系统输出的电压值和动态力 F 进行最小二乘法拟合，所拟合直线的斜率为冲击力测量系统的系统灵敏度。按公式（6）计算冲击力测量系统的幅值线性误差，检定结果应符合4.3的要求。

$$\delta = \frac{\Delta Y_{\max}}{Y} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

δ ——冲击力测量系统的幅值线性误差，%；

ΔY_{\max} ——实测曲线与拟合直线间的最大偏差，mV；

Y ——冲击力测量系统的量程，mV。

6.3.5 时间示值误差和频率示值误差

本项检定可以和6.3.2.1同时进行。当振动频率为 f_i 时，选取合适的采样频率读取动测仪显示时间域波形的5个振动周期 T_i （s），读取动测仪的测量频率 f_{xi} 。按公式（7）计算动测仪的时间示值误差，按公式（8）计算动测仪的频率示值误差，结果应满

足 4.4、4.5 的要求。

$$\delta_{t_i} = \frac{T_i/5 - 1/f_i}{1/f_i} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

δ_{t_i} ——第 i 个频率点动测仪时间示值误差，%。

$$\delta_{f_i} = \frac{f_{r_i} - f_i}{f_i} \times 100\% \quad (8)$$

式中：

δ_{f_i} ——第 i 个频率点动测仪频率示值误差，%。

6.3.6 系统噪声电压

动测仪选定合适增益，将传感器连接到动测仪输入端，不给振动信号，测量动测仪的最大系统噪声电压幅值 X_n （去掉直流分量）。按公式（9）计算动测仪的系统噪声电压有效值。结果应满足 4.6 的要求。

$$V_n = X_n/k \quad (9)$$

式中：

V_n ——动测仪的系统噪声电压，mV；

X_n ——动测仪的最大系统噪声电压有效值，mV；

k ——动测仪的增益倍率。

6.3.7 动态范围

动测仪动态范围的检定方法如下：

在不改变增益条件下，动测仪连接传感器后的输出端噪声电压有效值为 x_m 。动态范围按公式（10）计算。结果应满足 4.7 的要求。

$$D = 20 \lg \frac{x_F}{x_m} \quad (10)$$

式中：

D ——动态范围，dB；

x_F ——满量程幅值，按照 6.3.2.2 测得的幅值线性误差优于 $\pm 5\%$ 的上限值，mV；

x_m ——动测仪输出端电压有效值，mV。

6.3.8 动测仪的通道一致性误差

由信号发生器给出参考频率 160 Hz 和峰值 2 V 的参考电压，同时输入给动测仪各测量通道。各通道同时采集信号波形，分别读取这两个波形同一个周期过零点的时间 T_1 和 T_2 （ms）。按公式（11）计算动测仪通道一致性延时误差。结果应满足 4.8 的要求。

$$\Delta\varphi = T_1 - T_2 \quad (11)$$

式中：

$\Delta\varphi$ ——延时误差，ms；

T_1 ——动测仪第一通道过零点的时间，ms；

T_2 ——动测仪第二通道过零点的时间，ms。

分别读取这两个通道的波形幅值 x_1 和 x_2 ，按公式 (12) 计算动测仪的通道一致性幅值误差。结果应满足 4.8 的要求。

$$\delta_x = 20 \lg \frac{x_1}{x_2} \quad (12)$$

式中：

δ_x ——通道一致性幅值误差，dB。

x_1 ——动测仪第一通道的波形幅值， m/s^2 ；

x_2 ——动测仪第二通道的波形幅值， m/s^2 。

6.4 检定结果的处理

按照规程的规定和要求，对检定合格的动测仪发给检定证书；对检定不合格的动测仪发给检定结果通知书，并注明不合格项目。

检定证书和检定结果通知书的内页应包括检定条件、检定项目、检定结果等内容。其格式分别见附录 A 和附录 B。

6.5 检定周期

动测仪的检定周期不应超过 1 年。

附录 A

检定证书内页格式

送检单位：_____，检定日期：_____；温度：_____℃；相对湿度：_____％；
仪器型号：_____，编号：_____，生产厂家：_____。
计量标准器信息：_____。

一、外观检查：_____；

二、动测仪加速度测量系统

a) 系统参考灵敏度：_____ $\text{mV}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$ ；

b) 幅频响应范围：_____；

c) 幅值线性误差：_____；

三、动测仪应变测量系统

a) 应变传感器的幅值线性误差：_____；

b) 应变测量系统的幅频响应范围上限：_____；

c) 应变测量系统的幅值线性误差：_____；

四、动测仪冲击力测量系统的幅值线性误差：_____；

五、动测仪的时间示值误差：_____；

六、动测仪的频率示值误差：_____；

七、动测仪的系统噪声电压：_____；

八、动测仪的动态范围：_____；

九、动测仪的通道一致性：_____；

十、其他：_____；

附录 B

检定结果通知书内页格式

检 定 结 果

经检定共有 项不合格，不合格项目为：			
序号	项目名称	规程要求	检定结果