

力-A-16/1



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 791—2006

冲击力法冲击加速度标准装置

Calibration Set of Shock Acceleration by Impact Force

2006—09—06 发布

2007—03—06 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

冲击力法冲击加速度 标准装置检定规程

JJG 791—2006
代替 JJG 791—1992

Verification Regulation of Calibration Set of
Shock Acceleration by Impact Force

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2006 年 9 月 6 日批准，并自 2007 年 3 月 6 日起施行。

归 口 单 位：全国振动冲击转速计量技术委员会

起 草 单 位：中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所

中国计量科学研究院

本规程委托全国振动冲击转速计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

李善明 （中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所）
徐 殷 （中国计量科学研究院）

参加起草人：

曹亦庆 （中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所）
曾 吾 （中国航空工业第一集团公司第三〇四研究所）
林 建 （中国计量科学研究院）

目 录

1 范围..... (1)

2 引用文件..... (1)

3 概述..... (1)

4 计量性能要求..... (1)

4.1 电荷放大器..... (1)

4.2 标准加速度传感器套组..... (2)

4.3 力传感器套组..... (2)

4.4 零点漂移..... (2)

4.5 噪声电压..... (2)

4.6 装置的力传感器套组的灵敏度重复性..... (2)

4.7 装置的加速度灵敏度的复现性..... (2)

4.8 装置的加速度灵敏度的重复性..... (2)

5 通用技术要求..... (2)

5.1 外观要求..... (2)

5.2 工作环境要求..... (2)

5.3 电源要求..... (2)

6 计量器具控制..... (2)

6.1 检定条件..... (2)

6.2 检定方法..... (3)

6.3 检定结果的处理..... (8)

6.4 检定周期..... (8)

附录 A 检定记录格式 (9)

附录 B 指定证书背面格式 (12)

附录 C 检定结果通知书背面格式 (13)

附录 D 符号表 (14)

冲击力法冲击加速度标准装置检定规程

1 范围

本规程适用于冲击力法冲击加速度标准装置（以下简称装置）的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文件

GB/T 13823.1—2005 振动与冲击传感器的校准方法 第1部分：基本概念

GB/T 13823.10—1995 振动与冲击传感器的校准方法 冲击二次校准

GB/T 14412—2005 机械振动与冲击 加速度计的机械安装

JJG 338—1997 电荷放大器

JJG 233—1996 压电加速度计

JJG 391—1985 负荷传感器试行检定规程

JJF 1015—2002 计量器具型式评价和型式批准通用规范

JJG 2072—1990 冲击加速度计量器具检定系统

使用本规程时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

冲击力法冲击加速度标准装置，是对冲击测量系统和冲击传感器的冲击灵敏度等参数进行检定的设备。它是利用固定在专用底座上的力传感器和载有被校加速度传感器的落锤，从一定高度自由落下时的撞击产生的冲击加速度，对冲击测量系统和冲击加速度传感器进行冲击力法检定的。

该装置由安装有标准力传感器的固定底座、与底座固定在一起的导向装置、安装被校传感器的落锤、电荷放大器、瞬态测量装置等仪器设备组成，可进行测量系统的冲击灵敏度等参数的检定，其测量系统又可用于冲击和振动的测量。

本装置的落锤上可以同时安装标准传感器和被校传感器，因此还可以进行冲击灵敏度等参数的比较法检定。

4 计量性能要求

4.1 电荷放大器

装置配备的电荷放大器应符合 JJG 338—1997《电荷放大器》中的二级 A 类的要求；

主要技术指标：准确度： $\leq 2\%$ ；失真度： $\leq 1\%$ 。

4.2 标准加速度传感器套组

装置配备的标准加速度传感器套组，每年应在中频振动基准级装置上进行系统检定，其灵敏度的年稳定度 $\leq 0.5\%$ （ $f=160\text{Hz}$ ， $a=100\text{m/s}^2$ ）。

4.3 力传感器套组

装置配备的力传感器套组，应在力标准装置上进行静态力值检定，线性度 $\leq 1.0\%$ FS，力平均灵敏度的年稳定度 $\leq 0.5\%$ 。

4.4 零点漂移

装置在充分预热后，零点漂移 $\leq 0.5\%$ FS/h。

4.5 噪声电压

装置的噪声电压在 10mV/unit 挡 $\leq 2\text{mV}$ 。

4.6 装置的力传感器套组的灵敏度重复性

在 $(1 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4) \text{ m/s}^2$ 加速度范围内应优于 0.5% 。

4.7 装置的加速度灵敏度的复现性

装置的加速度灵敏度的复现性应优于 2% 。

4.8 装置的加速度灵敏度的重复性

装置的加速度灵敏度的重复性应优于 0.5% 。

5 通用技术要求

5.1 外观要求

装置各部分应有铭牌，表明生产厂家、商标、型号、出厂日期、器号。

5.2 工作环境要求

工作环境温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度： $(25 \sim 75)\%$ ；装置周围应无震动、冲击源；应无腐蚀性气体、液体。

5.3 电源要求

装置使用的交流电源： $(198 \sim 242) \text{ V}$ ， $(50 \pm 0.5) \text{ Hz}$ 。

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验。

6.1 检定条件

6.1.1 环境条件

检定时的环境条件应符合 5.2 的要求。

6.1.2 检定项目和检定用仪器设备（见表 1）

表 1 检定项目和检定用仪器设备

序号	检定项目	使用仪器设备 名称及要求	检定用仪器扩展不确 定度或最大允许误差	首次检定	后续 检定	使用中的 检验
1	电荷放大器	参照 JJG 338—1997	二级 A 类	+	—	—
2	中频振动灵敏度	参照 JJG 233—1996	0.5 % $f = 160\text{Hz}, a = 100\text{m/s}^2$	+	+	—
3	力灵敏度线性度	力标准装置	100N~15kN $U = 0.05\% (k = 2)$	+	—	—
4	零漂	装置自校	0.5 %FS/h	+	+	+
5	噪声	装置自校	<2mV (10mV/unit)	+	+	+
6	加速度灵敏度复现性	砝码 天平	M1 级	+	+	—
7	加速度灵敏度重复性		Ⅲ级	+	+	—

注：“+”为应检项目，“—”为可不检项目。

6.2 检定方法

6.2.1 环境及外观

环境及外观应符合 5.1~5.3 的全部条款。

装置经过充分预热后，跳字只在末位 ± 1 （部分设备出厂为 ± 5 ）。

6.2.2 电荷放大器的检定

电荷放大器依据 JJG 338—1997《电荷放大器》规定的检定方法和数据处理方法进行检定的结果，应符合第 4.1 条要求。

6.2.3 标准加速度传感器套组的检定

装置配备的标准加速度传感器套组依据 JJG 233—1996《压电加速度计》规定的检定方法在中频振动基准装置上检定，结果应符合第 4.2 条要求。

6.2.4 力传感器套组的检定

装置的力传感器套组的检定应在力标准装置上进行，结果应符合第 4.3 条和 4.6 条要求。

6.2.4.1 力传感器套组的安装

将装置的套筒去掉，力传感器连同底座放置在表 1 指定的力标准装置上进行检定。

6.2.4.2 静态检定方法

参考 JJG 391—1985《负荷传感器试行检定规程》，在 100N、200N、400N、600N、

800N、1000N、2000N、3000N、4000N、5000N、6000N 负荷进行力值检定。每个力值点检定 3 次。

6.2.4.3 数据处理

根据附录 A 中表格 A1 处理数据, 其中力传感器输出值 U_i 为 3 次示值的平均值。

a) 力传感器套组线性度的计算

由附录 A 的表格 A1 得力传感器套组输出 U —力值 F 直线图, 如图 1 所示。

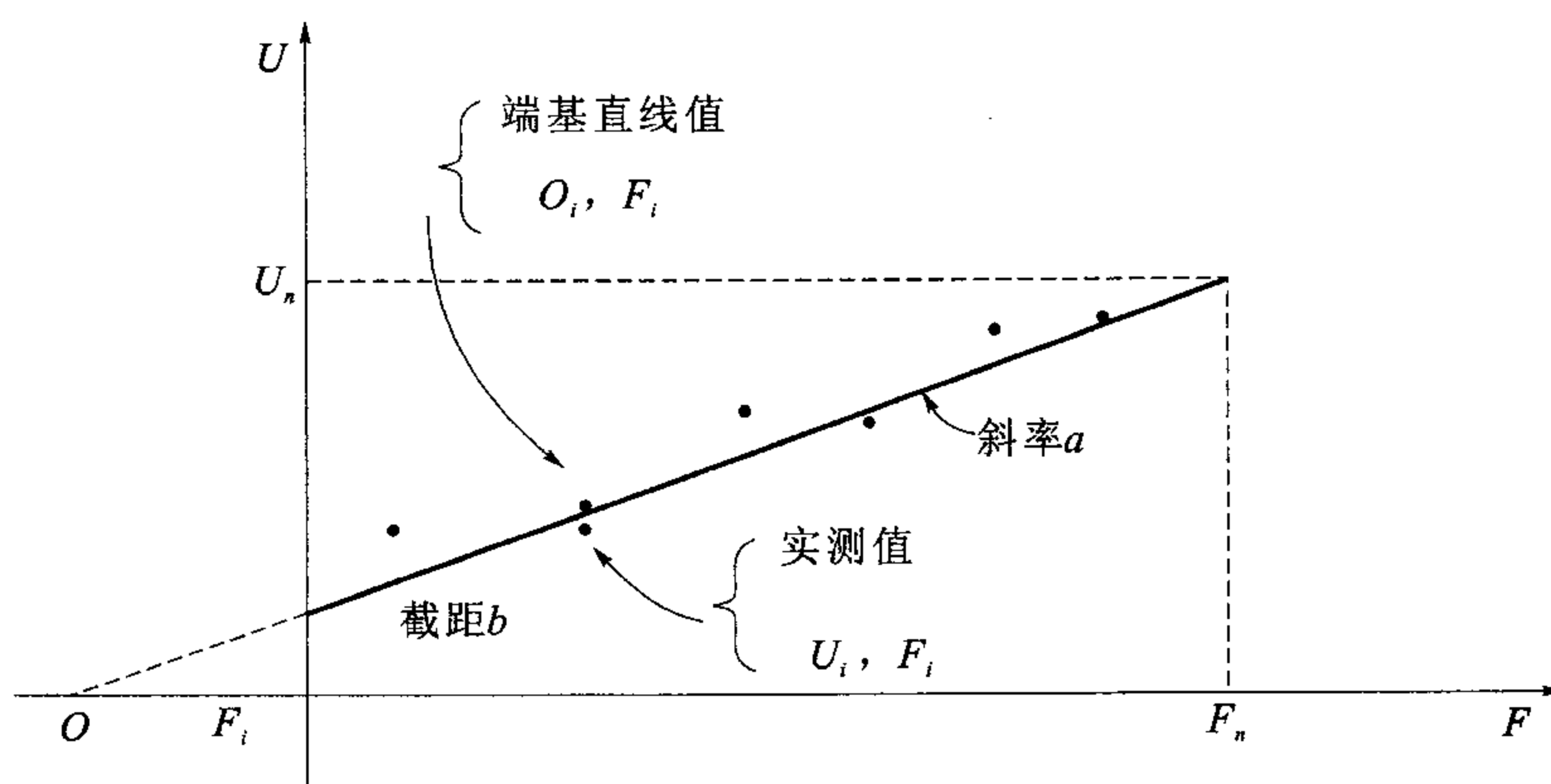


图 1 力值—力传感器输出端基直线图

设 F_i 为力值, U_i 为力传感器套组输出, 则有:

$$\hat{U}_i = aF_i + b \quad (1)$$

式中 $\hat{U}_i$ 、 F_i 为力传感器套组输出一力值端基直线上的值。($i=1, 2, \dots, n$)
则:

$$\text{斜率: } a = \frac{U_n - U_1}{F_n - F_1} \quad (2)$$

$$\text{截距: } b = \hat{U}_1 - aF_1 = \hat{U}_n - aF_n \quad (3)$$

在所测几个点中, 计算:

$$L = \left| \frac{U_i - \hat{U}_i}{U_n} \right|_{\max} [\%FS] \quad (4)$$

以其中绝对值最大的作为力传感器套组线性度 L , 应符合第 4.3 条要求。

b) 力平均灵敏度年稳定度

力传感器套组力灵敏度定义为

$$S_{F_i} = \frac{\text{力传感器套组输出电压值}}{\text{力值}} = \frac{U_i}{F_i} \quad (5)$$

力平均灵敏度定义为

$$\overline{S}_F = \sum_{i=1}^n S_{F_i} / n \quad (6)$$

力平均灵敏度年稳定度 S_{F_Y} 定义为

$$S_{F_Y} = \frac{\overline{S}_{F_A} - \overline{S}_{F_B}}{\overline{S}_{F_B}} \times 100\% \quad (7)$$

$\overline{S}_{F_A}$ 、 $\overline{S}_{F_B}$ 分别为当年和上年检定的力平均灵敏度，力平均灵敏度年稳定度 $\overline{S}_{F_Y}$ 应符合第 4.3 条要求。

c) 力灵敏度估值的计算

在附录 A 的表 A1 中尚需用最小二乘法算出力灵敏度估值 ($\hat{S}_{F_i}$) 以及实际力灵敏度 ($\overline{S}_{F_Y}$) 与估值间的相对偏差。力传感器套组力灵敏度 S_F —力值 F 最小二乘回归直线为

$$\hat{S}_{F_i} = S_{F_0} + K_F F_i \quad (8)$$

式中： K_F ——回归直线斜率；

S_{F_0} ——回归直线截距。

$$K_F = \frac{\sum_{i=1}^n F_i S_{F_i} - \overline{F} \sum_{i=1}^n S_{F_i}}{\sum_{i=1}^n F_i^2 - \overline{F} \sum_{i=1}^n F_i} \quad (9)$$

或：

$$K_F = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \overline{F})(S_{F_i} - \overline{S}_F)}{\sum_{i=1}^n (F_i - \overline{F})^2} \quad (10)$$

$$S_{F_0} = \frac{\overline{S}_F \sum_{i=1}^n F_i^2 - \overline{F} \sum_{i=1}^n F_i S_{F_i}}{\sum_{i=1}^n F_i^2 - \overline{F} \sum_{i=1}^n F_i} \quad (11)$$

或：

$$S_{F_0} = \overline{S}_F - K_F \overline{F} \quad (12)$$

其中 $\overline{S}_F$ 即公式 (6)， $\overline{F}$ 为力平均值：

$$\overline{F} = \sum_{i=1}^n F_i / n \quad (13)$$

因此力传感器套组实测值和估计值在每个检定点的相对偏差为 δ_{l_i} ：

$$\delta_{l_i} = \frac{S_{F_i} - \hat{S}_{F_i}}{\hat{S}_{F_i}} \times 100\% \quad (14)$$

将 a 、 b 、 K_F 、 S_{F_0} 、 $\hat{S}_{F_i}$ 、 δ_{l_i} 、 S_{F_Y} 等填入附录 A 的表格 A1 中以备用。

d) 力传感器套组力灵敏度重复性

$$V_n = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m V_{nj} \quad (15)$$

$$R = \frac{\Delta V_R}{V_n} \times 100[\%FS] \quad (16)$$

式中： m ——检定循环次数；

V_{nj} ——第 j 次进程测量时额定力值的输出读数；

ΔV_R ——进程重复校准时各级力值点输出极差的最大值。

检定结果应满足 4.6 条。

6.2.5 噪声和零漂的检定

6.2.5.1 零漂

装置充分预热后在 0.01V/unit 挡测试零漂，先进行调零校准，观察零漂两小时，应符合第 4.4 条要求。

6.2.5.2 噪声电压

在 6.2.5.1 开始时记录噪声电压，应符合第 4.5 条的要求。

6.2.6 装置的加速度灵敏度复现性的检定

6.2.6.1 准备工作

首先对标准加速度计和落锤连同一段活动馈线（至少为导向筒长度的一半）进行称重，并估计落高一力值—力灵敏度—加速度灵敏度的关系，列成附录 A 的表格 A2。

在 $(1 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4) \text{ m/s}^2$ 范围选择 10 个测量点，据牛顿第二定律 $F = ma$ ，标准加速度计及落锤的质量 m 为已知，则可由附录 A 的表格 A1 查出相应的 $\hat{S}_{F_i}$ 由于力传感器的加速度灵敏度 S_{a_i} 和力灵敏度 S_{F_i} 关系为

$$\hat{S}_{a_i} = \hat{S}_{F_i} \times m \quad (17)$$

则可得力传感器加速度灵敏度 $\hat{S}_{a_i}$ 连同 H （落高）填入附录 A 的表格 A2 中备用。

6.2.6.2 检定

在 6.2.6.1 选定的测量点，力传感器按加速度灵敏度 $\hat{S}_{a_i}$ 设置，标准加速度计按中

频振动灵敏度设置通道的归一化和衰减挡旋钮。

在每个落高下落 3 次，分别记下力传感器的加速度值和加速度计的加速度值，并将 3 次平均后记入附录 A 表格 A2，即：

$$\overline{a_F} = \frac{\sum_{i=1}^3 a_{F_i}}{3} \tag{18}$$

$$\overline{a_A} = \frac{\sum_{i=1}^3 a_{A_i}}{3} \tag{19}$$

6.2.6.3 数据处理

以 $\overline{a_F}$ 和 $\overline{a_A}$ 的相对偏差 δ_{2i} 记入附录 A 表格 A2，以其中最差者作为冲击加速度灵敏度复现性的极限误差 Δa ：

$$\delta_{2i} = \frac{\overline{a_A} - \overline{a_F}}{\overline{a_F}} \times 100\% \tag{20}$$

$$\Delta a = |\delta_{2i}|_{\max} \tag{21}$$

将 Δa 记入附录 A 表二。

6.2.7 装置的加速度灵敏度重复性的检定

6.2.7.1 准备工作

在常用的加速度值（推荐为 $1 \times 10^4 \text{ m/s}^2$ ），找出相应的力传感器加速度灵敏度，力传感器通道按 $\hat{S}_a$ 设置归一化和衰减挡，加速度计通道按 1.00 设置相应的归一化和衰减挡。

6.2.7.2 检定

在 6.2.7.1 选定的落高，连续正确下落 10 次，将力通道输出 a_{F_i} 和标准加速度计通道输出 a_{A_i} 记下。

6.2.7.3 数据处理

求出测点的标准加速度计的加速度灵敏度平均值的标准偏差，计算公式为

$$S_{a_{A_i}} = \frac{V_{A_i}}{a_{F_i}} \tag{22}$$

$$\overline{S_{a_A}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} S_{a_{A_i}}}{10} \tag{23}$$

$$\sigma_{\overline{S}_{aA}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (S_{a_{Ai}} - \overline{S}_{a_A})^2}{10(10-1)}} \tag{24}$$

则装置的加速度灵敏度重复性 $s(a)$ ：

$$s(a) = \frac{\sigma_{\overline{S}_{aA}}}{\overline{S}_{a_A}} \times 100\% \tag{25}$$

将其记入附录 A 的表格 A3 中以备用。

6.3 检定结果的处理

经检定合格的发给检定证书，检定不合格的发给检定结果通知书，并注明不合格项目。检定记录格式见附录 A，检定证书背面格式见附录 B，检定结果通知书背面格式见附录 C。

6.4 检定周期

冲击力法冲击加速度标准装置检定周期为 1 年。力传感器套组至少在 3 年内应静态检定一次。

附录 A

检定记录格式

1. 装置型号	生产厂
	国 别
	编 号
力传感器型号	编 号
电荷放大器型号 (1)	编号 (1)
标准加速度计型号	编 号
电荷放大器型号 (2)	编号 (2)
瞬态测量装置型号	编 号
电荷放大器 (1) 证书号	检定日期
电荷放大器 (2) 证书号	检定日期
瞬态测量装置证书号	检定日期
力值通道检定证书号	检定日期
力标准装置型号	等 级
标准加速度计套组证书号	检定日期
中频灵敏度	$f =$ $\alpha =$
2. 环境要求: 温度	℃ 相对湿度 % 市 电
3. 噪声	其 他
4. 零漂	

表格 A1 力传感器套组静标数据表

序号	力 值/N	力传感器输出 U_i/mV	线性度 $L_i/\%$	$\hat{S}_{F_i}/(\text{pC/N})$	$S_{F_i}/(\text{pC/N})$	$\delta_{l_i}/\%$
1	100					
2	200					
3	400					
4	600					
5	800					
6	1000					
7	2000					
8	3000					
9	4000					
10	5000					
11	6000					
端基直线式： $a =$ (pC/N) $b =$ (pC) $S_{F_Y} =$ % $L = L_{\text{imax}} =$ %						
最小二乘回归式： $K_F =$ (pC/N ²) $S_{F_0} =$ (pC/N)						

表格 A2 装置的加速度灵敏度复现性表

序号	高度/cm	$\hat{S}_{a_i}/(\text{pC/ms}^{-2})$	$\overline{a_F}/(\text{m/s}^2)$	$\overline{a_A}/(\text{m/s}^2)$	$\delta_{2i}/\%$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
$\Delta a =$ %					

表格 A3 装置的加速度灵敏度重复性表

序号	高度/cm	$\hat{S}_{a_i} / (\text{pC}/\text{ms}^{-2})$	$a_{F_i} / (\text{m}/\text{s}^2)$	$\overline{V}_{A_i} / \text{V}$	$\overline{S}_{a_A} / (\text{pC}/\text{ms}^{-2})$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
$s(a) = \qquad \qquad \qquad \%$					

检定员：
核验员：
年 月 日

附录 B

指定证书背面格式

温度_____℃ 湿度_____ %RH

一 环境要求：

二 力传感器套组：

1. $a =$ _____ (pC/N)
- $b =$ _____ (pC)
2. $K_F =$ _____ (pC/N²)
- $S_{F_0} =$ _____ (pC/N)
3. 线性度 _____ %
4. 年稳定度 _____ %
5. 力灵敏度重复性 _____ %

三 标准加速度传感器套组：

1. 中频振动灵敏度 _____ (pC/ms⁻²)
2. 年稳定度 _____ %

四 噪声和零漂： _____

五 装置的加速度灵敏度的复现性 _____ %

六 装置的加速度灵敏度的重复性 _____ %

附录 C

检定结果通知书背面格式

经检定，不合格项目为

项 目	规 程 要 求	实 测 结 果

特此通知：请修理、调试后送检。

附录 D

符 号 表

$\wedge$ ——顶标、回归曲线估计值。

i ——脚标、第 i 次测量。

n ——测量次数。

U_i ——力传感器套组输出值，见 6.2.4.3.a)。

F_i ——力标准装置的力值，见 6.2.4.3.a)。

$\hat{U}_i$ ——力传感器套组端基回归线上估计值，见式 (1)。

a ——力传感器套组端基回归线斜率，见式 (2)。

b ——力传感器套组端基回归线截距，见式 (3)。

L ——力传感器套组线性度，见式 (4)。

S_{F_i} ——力传感器套组力灵敏度实际值，见式 (5)。

$\overline{S}_F$ ——力平均灵敏度，见式 (6)。

$\overline{S}_{F_A}$ 、 $\overline{S}_{F_B}$ ——当年、上年的力平均灵敏度，见式 (7)。

S_{F_Y} ——力平均灵敏度年稳定度，见式 (7)。

$\hat{S}_{F_i}$ ——力灵敏度—力值最小二乘回归线上的估计值，见式 (8)。

K_F ——力传感器套组—力值最小二乘回归线斜率，见式 (9)、(10)。

S_{F_0} ——力传感器套组—力值最小二乘回归线截距，见式 (11)、(12)。

$\overline{F}$ ——力值平均值，见式 (13)。

δ_{l_i} ——力传感器套组力灵敏度实际值与估计值在每个检定点的相对偏差，见式 (14)。

m ——检定循环次数，见式 (15)。

V_{nj} ——第 j 次进程测量时额定力值的输出读数，见式 (15)。

ΔV_R ——进程重复校准时各级力值点输出极差的最大值，见式 (16)。

$F = ma$ ——牛顿第二定律，作用力 = 质量 $\times$ 加速度，见 6.2.6.1。

S_{a_i} 、 $\hat{S}_{a_i}$ ——力传感器套组的加速度灵敏度实际值与估计值，见式 (17)。

$\overline{a}_F$ —— a_{F_i} 的 3 次平均值，见式 (18)。

a_{F_i} ——力传感器套组加速度值，见式 (18)。

$\overline{a_A}$ —— a_{A_i} 3 次的平均值，见式 (19)。

a_{A_i} ——标准加速度传感器套组加速度值，见式 (19)。

δ_{2i} ——力传感器套组测得的冲击加速度峰值与标准加速度计套组测量的加速度峰值在每个检定点的相对偏差，见式 (20)。

Δa —— δ_{2i} 在检定量限内的最大值。即加速度值复现性的极限误差，见式 (21)。

V_{A_i} ——标准加速度计输出的电压峰值，见式 (22)。

$S_{a_{A_i}}$ ——标准加速度计的加速度灵敏度，见式 (22)。

$\overline{S_{a_A}}$ ——标准加速度计的平均加速度灵敏度，见式 (23)。

$\sigma_{\overline{S_{a_A}}}$ ——标准加速度计的加速度灵敏度平均值的标准偏差，见式 (24)。

$s(a)$ ——装置的加速度灵敏度重复性，见式 (25)。

中华人民共和国
国家计量检定规程
冲击力法冲击加速度标准装置
JJG 791—2006
国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲2号
邮政编码 100013
电话 (010)64275360
<http://www.zgjl.com.cn>
北京市迪鑫印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16开本 印张1.25 字数22千字
2006年11月第1版 2006年11月第1次印刷
印数1—1 000
统一书号155026-2189 定价:20.00元