

# JJG

## 中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 854—93

---

### 低加速度长持续时间 激光-多普勒冲击校准装置

1993年9月22日批准

1994年4月1日实施

---

国家技术监督局

---

低加速度长持续时间激光-  
多普勒冲击校准装置检定规程

Verification Regulation of Shock  
Calibration System of Low Acceleration  
and Long Duration by Using  
Laser-Doppler Effect

JJG 854—93

---

本检定规程经国家技术监督局于1993年9月22日批准，并自1994年4月1日起施行。

归口单位：航空工业总公司第三〇四研究所

起草单位：航空工业总公司第三〇四研究所

本规程技术条文由起草单位负责解释。

**本规程主要起草人：**

连大鸿（航空工业总公司第三〇四研究所）

**参加起草人：**

王 卓（航空工业总公司第三〇四研究所）

李善明（航空工业总公司第三〇四研究所）

# 目 录

一 概述.....	(1)
二 技术要求.....	(4)
三 检定条件和检定项目.....	(6)
四 检定方法.....	(7)
五 检定结果处理和检定周期.....	(11)
附录	
附录 1 受检校准装置计数器检定记录格式.....	(12)
附录 2 受检校准装置复现冲击加速度峰值随机 不确定度检定记录表格.....	(13)
附录 3 复现冲击加速度峰值总不确定度计算记录表格.....	(14)
附录 4 检定证书背面格式.....	(15)
附录 5 检定结果通知书背面格式.....	(16)

# 低加速度长持续时间激光-多普勒 冲击校准装置检定规程

本规程适用于新制造的和使用中的低加速度长持续时间激光-多普勒冲击校准装置(以下简称校准装置)的检定。

## 一 概 述

### 1 校准装置用途

本规程受检校准装置用于低加速度长持续时间范围内校准冲击加速度计和测量系统。

### 2 校准装置原理

本规程检定的冲击计量装置,采用的计量学原理是光学多普勒效应,光源为单模偏振氦氖激光器,计量方法为加速度绝对冲击校准方法。

在迈克尔逊式激光-多普勒干涉系统中,运动反射镜与被校加速度计背靠背安装(如图1示)。

当冲击运动体承受冲击运动时,运动的速度-时间函数 $[U(t)]$ 由干涉系统的多普勒频移时间函数 $[\Delta f_d(t)]$ 来确定。多普勒频移和校准

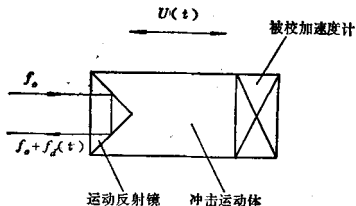


图1 激光-多普勒冲击校准原理图

运动体表面速度的关系如下：

$$\Delta f_d = 2U(t)/\lambda \quad (1)$$

式中： $\Delta f_d(t)$ ——多普勒频移时间函数；

$U(t)$ ——冲击运动速度时间函数；

$\lambda$ ——激光波长。

变换上式并对时间微分得到冲击运动加速度：

$$a(t) = \frac{\lambda}{2} \times \frac{d[\Delta f_d(t)]}{dt} \quad (2)$$

式中： $a(t)$ ——冲击运动加速度时间函数。

由冲击运动的加速度时间函数  $a(t)$  判读加速度峰值  $V_p$ 。

另一方面，与激光-多普勒干涉系统中运动反射镜背靠背安装的被校加速度计，在校准系统由于冲击运动产生多普勒频移的同时，同一冲击运动使它产生与冲击运动加速度成比例的电输出信号  $V(t)$ 。

判读  $V(t)$  的峰值  $V_p$ 。

根据  $a_p$  和  $V_p$  得到被校加速度计在校准点的冲击加速度灵敏度：

$$S_{a, \lambda} = U_p/a_p \quad (3)$$

式中： $S_{a, \lambda}$ ——被校加速度计冲击加速度灵敏度，单位为  $V/ms^{-2}$  或  $PC/ms^{-2}$ ；

$V_p$ ——被校加速度计电输出峰值，单位为  $V$  或  $PC$ ；

$a_p$ ——激光多普勒冲击校准复现的冲击加速度峰值，单位为  $m/s^2$ 。

### 3 校准装置组成

本规程检定的校准装置主要由气炮冲击源、激光-多普勒光学系统、多普勒信号处理设备、数据处理设备、滤波器和加速度-时间记录设备组成。

3.1 气炮冲击源，由气炮主体、气动控制装置和缓冲装置组成。用高压空气作动力，使装有运动反射镜和被校加速度计的弹体在长约 2.5 m 的炮体封闭段产生持续时间的冲击运动。

3.2 激光-多普勒光学系统，是一典型的迈克尔逊干涉系统。激光器采用单模偏振氦氖激光器，运动反射镜采用反射光束总是平行于

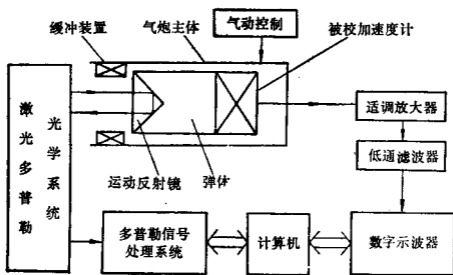


图2 低加速度长持续时间  
激光-多普勒冲击校准设备示意图

入射光束的角耦棱镜，接收方式为差动式。

激光-多普勒光学系统产生与弹体冲击运动速度成比例的多普勒频移光电信号。

3.3 多普勒信号处理设备，包括宽带放大、高低通滤波、高速整形、交替计数、快速暂存、预触发控制和标准接口（IEEE-488）。

多普勒信号处理设备对多普勒信号进行模拟预处理并转换为数字信息，预触发功能使完整的冲击过程的多普勒速度信息经标准接口传送给数据处理设备。

3.4 数据处理设备，包括带有标准接口（IEEE-488）的电子数字计算机和必要的外围设备（打印机和绘图仪）。

数据处理设备对由标准接口输入的多普勒速度数字信息进行数字滤波、样条拟合和数字微分处理，得到冲击运动的加速度信息，以及进行其他校准运算。

3.5 低通滤波器，滤除来自被校系统的高频干扰。

3.6 加速度-时间记录设备，采用数字示波器，将被校仪器电信

号作模拟-数字变换, 并经标准接口传送给计算机。

注: (1) 3.1 到 3.4 款为绝对复现冲击加速度量值的设备;

(2) 3.5和3.6款为校准装置校准被校加速度计和信号适调仪配置的设备。

## 二 技术要求

### 4 校准装置的总体技术要求

4.1 冲击加速度范围: 40 到 200  $\text{m/s}^2$ ;

4.2 冲击脉冲持续时间: 140 到 240  $\text{ms}$ ;

4.3 校准冲击波形: 波形可调, 满足弹射、开伞和浪击的冲击试验要求;

4.4 复现冲击加速度峰值的总不确定度:  $\pm 2\%$  (置信度为 95%)。

### 5 气炮冲击机

5.1 气炮冲击机应能产生第 4.1 到第 4.3 款所要求的光滑的冲击运动加速度波形。

5.2 弹体 (含运动反射镜、传感器、传感器保护套和信号电缆插座) 的固有频率应在大于  $10/T$   $\text{Hz}$ ,  $T$  是冲击脉冲持续时间, 单位为  $\text{s}$ 。

5.3 弹体外径与炮体封闭段的配合公差应优于 0.05  $\text{mm}$ 。炮体封闭段不应有接头, 以避免弹体与炮体内壁磕碰产生机械干扰。炮体封闭段与弹体外表面之间的摩擦噪声最低频率应高于  $10/T$   $\text{Hz}$ 。

5.4 炮体内圆的直线性应能保证测量光斑和参考光斑重合程度达 70% 以上。

5.5 炮体和光学系统安装在同一隔振地基上。隔振地基应能保证环境振动引起的弹体在光轴方向的运动速度与校准加速度峰值对应的速度之比小于 0.1%。

5.6 弹体旋转和横向运动引起的复现加速度峰值偏差应小于 0.2%。

### 6 激光-多普勒光学系统

6.1 单模氩氖激光器,  $\lambda = 0.6328 \times 10^{-8} \text{m}$ , 波长稳定度为  $2 \times$



$10^{-8}$ ，波长相对误差 $<0.3\%$ 。

6.2 光学系统的测量景深大于2.5 m，并保证在弹体2.5 m行程内的信号噪声比 $\geq 30$  dB。

6.3 光电倍增管应对红光具有较高的灵敏度，上升时间 $\leq 2.5$  ns。

### 7 多普勒信号处理设备

7.1 频率响应范围：5 kHz 到 80 MHz(-3dB 截止频率)。

7.2 信号噪声比： $\geq 30$  dB。

7.3 放大器增益： $\geq 40$  dB。

7.4 计数器采样引入的加速度度峰值相对误差 $< \pm 1\%$ 。

7.5 采样脉冲时间相对误差 $< \pm 0.4\%$ 。

### 8 数据处理设备

8.1 采用通带平坦，相位线性型数字低通滤波软件，截止频率 $\geq 10/T(-3$  dB)，过滤带的衰减率为12 dB/oct。

8.2 数据处理方法引入的加速度峰值相对误差 $< \pm 1\%$ 。

### 9 其他要求（与复现峰值加速度量值无关）

#### 9.1 模拟低通滤波器

-3 dB 的截止频率 $\geq 10/T$  Hz，过渡带的衰减率为12 dB/oct。

#### 9.2 加速度-时间记录设备

9.2.1 测量范围：时间，200  $\mu$ s 到 300 ms；电压， $\pm 10$  V。

#### 9.2.2 相对测量误差：

时间：小于最大读数的 $\pm 1\%$ 。

电压：小于最大读数的 $\pm 0.5\%$ 。

9.2.3 线性误差：对于最佳拟合直线的最大偏离 $< \pm 1\%$ 。

9.2.4 如果记录设备内有滤波作用的部件，对滤波器的规定同

#### 9.1 条款。

9.2.5 记录设备应在 $0.008/T$  Hz 到  $10/T$  Hz(-3 dB 截止频率)的范围内有平坦的频响特性。

#### 9.3 被校加速度计和信号适调仪。

9.3.1 加速度计和信号适调仪配套进行校准。

9.3.2 被校加速度计的横向灵敏度比低于2%，加速度计的安装

共振频率应高于  $20/T$  Hz。

9.3.3 如果信号适调仪内设滤波器，要求同第9.1条款。

### 三 检定条件和检定项目

#### 10 检定环境条件

10.1 室温： $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 。

10.2 相对湿度： $< 80\%$ 。

#### 11 检定项目和检定用设备

检定项目和检定用仪器如表1：

表 1

序号	检定项目	检定用仪器	
		名称	技术要求
1	激光器激光波长		由生产厂(所)检定，检定结果符合本规程6.1条款的要求
2	采样计数器 测量频率	正弦 信号发生器	频率范围： 5 kHz 到 100 MHz， 最小输出电压峰值：5 mV
		数字频率计	频率范围： 5 kHz 到 100 MHz， 频率测量的相对误差： $\pm 0.1\%$
3	采样计数器 采样时间	数字频率计	频率范围： 5 kHz 到 1 MHz 时间测量的相对误差： $< \pm 0.1\%$
4	复现峰值加速度量值的随机不确定度	标准(或精密)加速度计和信号适调仪	见本规程 9.3 条款

#### 12 检定项目的选择

12.1 新建校准装置必须进行 11 条款的全部检定项目，并作复现峰值加速度量值的系统不确定度和总不确定度的分析和计算。

12.2 使用中的受检装置进行 11 条款的全部检定项目，但不作复

现峰值加速度量值的系统不确定度的分析和计算。

### 12.3 更换激光器

12.3.1 进行 11 条款表 1 序号 1 的检定项目。

12.3.2 调整激光器,使参考光斑与测量光斑在弹体行程 2.5 m 范围内的重合程度达本规程 5.4 条款的要求。

### 12.4 维修光电放大器

12.4.1 测试维修后的光电放大器的增益和频率响应范围,并达到本规程 7.1 和 7.3 条款要求。

12.4.2 进行本规程 11 条款表 1 序号 4 的检定项目。

### 12.5 维修采样计数器

12.5.1 进行本规程 11 条款表 1 序号 2 和 4 的检定项目。

12.6 5 到 8 条款的其他要求不属于本规程检定范围。

## 四 检定方法

### 13 冲击加速度量值的复现方法

低加速度长持续时间激光-多普勒冲击校准装置绝对复现的冲击加速度量值和单位,采用直接测量方法,溯源于长度和时间的计量基准器具或通过比对与冲击加速度国家基准装置量值一致(参看 JJG 2072—90 国家冲击加速度计量器具检定系统)。

#### 13.1 操作步骤

13.1.1 调整气炮高压室压力和弹体在气炮封闭段内的初始位置,直到产生所需要的冲击加速度峰值和冲击持续时间的冲击脉冲。

13.1.2 调整高压容积的大小,改变冲击脉冲的上升时间和下降时间,产生校准波形。

13.1.3 检查缓冲装置是否处在正常位置。此时,气炮控制台处于自锁状态。

13.1.4 检查激光-多普勒光学系统的光电倍增管的工作电流是否在正常范围(大约 5 mA)。

13.1.5 依据校准加速度峰值和脉冲持续时间估计冲击运动速度范围,并正确选择激光多普勒信号高、低速波器的上限频率和下限频

率。

13.1.6 计数器复位。

13.1.7 计算机运行在等待状态。

13.1.8 开启气炮电磁阀门，使弹体产生冲击运动。

13.1.9 计算机自动采集和处理数据，打印和作图。

13.2 校准结果的表达方式

13.2.1 激光-多普勒冲击校准复现的冲击加速度峰值用下式计算：

$$a_p = \frac{\lambda}{2} \times \left. \frac{d[\Delta f_d(t)]}{dt} \right|_p \quad (4)$$

被校加速度冲击灵敏度用下式计算：

$$S_{aa} = V_p / a_p$$

13.2.2 硬拷贝输出

13.2.2.1 打印

a. 冲击加速度峰值  $a_p$ ；

b. 冲击持续时间  $T$ ；

c. 被校加速度计（或测量系统）电输出峰值  $V_p$ ；

d. 被校加速度计冲击灵敏度  $S_{aa}$ ；

e. 其他例行项目，如校准日期、操作者等。

13.2.2.2 作图

a. 冲击运动加速度-时间曲线；

b. 被校加速度计（测量系统）输出的电压-时间曲线；

14 绝对复现冲击加速度峰值系统不确定度的检定

14.1 激光器激光波长，这项检定由生产厂（所）进行，应具有符合本规程 6.1 款的要求，和可溯源到国家长度基准的数据和证书。

14.2 采样计数器测量频率

14.2.1 信号源输出信号接多普勒信号处理机输入端，并用数字频率计测量频率，信号处理机的输出由计算机处理、读数。

14.2.2 在 5 kHz 到 80 MHz 范围内选定一个正弦信号频率，稳定后记下数字频率计读数和计算机打印输出。

14.2.3 第14.2.2步操作在5 kHz到80 MHz全范围内进行。

14.2.4 检定结果的表达方式

数字频率计的采样计数  $N$  为：

$$N = f \times t$$

式中： $N$ ——采样计数（个数）；

$f$ ——信号频率（Hz）；

$t$ ——采样时间（s）。

采样计数器读出的计数为  $N'$ ，采样计数器测量频率的相对误差：

$$\Delta N = (N - N')/N$$

检定结果应符合7.4款规定。

### 14.3 采样时间

14.3.1 用数字频率计测量采样脉冲周期。

14.3.2 采样时间误差用  $e_t/t$  表示，这里， $e_t$  为采样时间测量误差（多次测量数据取最大值）， $t$  为采样时间。

14.3.3 检定结果应符合7.5款规定。

14.4 校准装置复现冲击加速度峰值系统不确定度的计算。

14.4.1 系统不确定度的计算，依据国际标准 ISO—5347，置信度取95%，系统不确定度：

$$X_{s(95)} = 2 e_p / \sqrt{3} \quad (5)$$

式中： $e_p$ ——激光-多普勒冲击校准复现冲击加速度峰值的系统误差。

14.4.2  $e_p$  用下式计算：

$$e_p/a_p = \pm \sqrt{(e_u/u)^2 + (e_t/t)^2 + (e_q/a_p)^2 + (e_m/a_p)^2} \quad (6)$$

式中： $e_p$ ——复现冲击加速度峰值的绝对误差，单位为  $m/s^2$ ；

$a_p$ ——冲击加速度峰值，单位  $m/s^2$ ；

$u$ ——冲击速度，单位为  $m/s$ ；

$e_u$ ——测量冲击速度的绝对误差，单位为  $m/s$ ；

$t$ ——计数采样时间，单位为  $s$ ；

$e_t$ ——测量计数采样时间的绝对误差，单位为 s；

$e_g$ ——数据采集引起的测量加速度峰值的绝对误差，单位为  $m/s^2$ ；

$e_m$ ——数据处理方法引起的测量加速度的绝对误差，单位为  $m/s^2$ ；

式(6)中的各项分系统误差由本规程 14.1 到 14.3 条款 检定数据和误差分析确定。

## 15 复现冲击加速度峰值的随机不确定度的检定

15.1 使用受检校准装置检定标准(或精密)加速度计和标准(或精密)信号适调仪组合，检定结果的冲击灵敏度平均值的随机不确定度作为受检校准装置的随机不确定度。

### 15.2 操作步骤

15.2.1 按本规程第 9.1 条款规定设定模拟低通滤波器(或信号适调仪内设低通滤波器)的截止频率。

15.2.2 按本规程第 13.1 条款进行操作。

15.2.3 按本规程第 4.1 和 4.2 条款规定的全范围进行上述 15.2.1 和 15.2.2 的操作。

### 15.3 检定结果的表达方式

15.3.1 同本规程 13.2.1 条款。

15.3.2 复现冲击加速度峰值的随机不确定度用下式计算：  
按照 ISO/5347 规定置信度取 95%，

$$X_{r,(95)} = t^* \sqrt{(e_{r,1}^2 + e_{r,2}^2 + e_{r,3}^2 + \dots + e_{r,n}^2) / [n(n-1)]} \quad (7)$$

式中： $X_{r,(95)}$ ——置信度为 95% 的随机不确定度；

$e_{r,1}, e_{r,2}$  等——一系列单次测量对算术平均值的偏差；

$n$ ——测量次数；

$t^*$ ——对指定置信度(95%)和测量次数的学生分布系数。

## 16 复现冲击加速度峰值总不确定度计算

### 16.1 计算方法

$$X_{0.8} = \sqrt{X_{r,(95)}^2 + X_{e,(95)}^2}$$

式中:  $X_{0.95}$ ——置信度为95%的总不确定度。

16.2 检定结果应符合 4.4 款规定。

## 五 检定结果处理和检定周期

### 17 检定结果处理

17.1 检定合格的受检校准装置发给检定证书。

17.2 检定不合格的受检校准装置发给检定结果通知书。修理或调整后再次进行检定, 检定合格后发给检定证书。

18 首次检定周期为 3 年, 随后检定, 根据上两次检定结果调整检定周期。

## 附 录

## 附录 1

## 受检校准装置计数器检定记录格式

1. 装置型号 \_\_\_\_\_ 受检单位 \_\_\_\_\_
2. 信号源型号 \_\_\_\_\_ 生产厂家 \_\_\_\_\_
- 序    号 \_\_\_\_\_ 国    别 \_\_\_\_\_
3. 频率计型号 \_\_\_\_\_ 生产厂家 \_\_\_\_\_
- 序    号 \_\_\_\_\_ 国    别 \_\_\_\_\_
- 检定单位 \_\_\_\_\_ 检定证书号 \_\_\_\_\_

## 4. 检定数据记录表格

序号	频 率 $f$ (MHz)	采样时间 $t$ ( $\mu$ s)	计数器计数 $N'$ 范    围	计数偏差 $\Delta N$ ( $\pm$ 计数个数)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

$$\Delta N_{\max} = \pm \dots$$

$$\Delta N_{\max} / N = \pm \dots \%$$

注



## 附录 2

受检校准装置复现冲击加速度峰值随  
机不确定度检定记录表格

1. 装置型号 \_\_\_\_\_ 序号 \_\_\_\_\_ 受检单位 \_\_\_\_\_
2. 加速度计型号 \_\_\_\_\_ 序号 \_\_\_\_\_ 国别、生产厂 \_\_\_\_\_  
振动检定单位 \_\_\_\_\_ 证书号 \_\_\_\_\_ 灵敏度 \_\_\_\_\_
3. 适调放大器型号 \_\_\_\_\_ 序号 \_\_\_\_\_ 国别、生产厂 \_\_\_\_\_
4. 低通滤波器型号 \_\_\_\_\_ 序号 \_\_\_\_\_ 国别、生产厂 \_\_\_\_\_  
检定单位 \_\_\_\_\_ 证书号 \_\_\_\_\_
5. 检定数据记录表格

序号	加速度峰值 $a_p$ ( $m/s^2$ )	冲击持续时间 $T$ (ms)	被校仪器输出 $V_p$ (mV)	被校仪器冲击加速度 灵敏度 $S_{SA}$ ( $mV/ms^{-2}$ )
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

$$\overline{S_{SA}} = \quad mV/ms^{-2}$$

$$X_{P(95\%)} / \overline{S_{SA}} = \quad \%$$

注

## 附录 3

复现冲击加速度峰值总不确定度计算记录表格

1. 装置型号 \_\_\_\_\_ 序 号 \_\_\_\_\_ 受检单位 \_\_\_\_\_  
 加速度范围 \_\_\_\_\_  $\text{m/s}^2$  冲击持续时间范围 \_\_\_\_\_  $\text{ms}$
2. 记录表格

序号	检 定 项 目	相对不确定度误差 (%)
1	冲击速度测量相对误差 ( $e_u/U$ )	
	激光波长误差 ( $\Delta\lambda/\lambda$ )	
	计数器计数误差 ( $\Delta N/N$ )	
2	计数器采样时间误差 ( $e_t/t$ )	
3	数据采集引起的加速度测量误差 ( $e_m/a_p$ )	
4	数字处理方法引起的加速度测量误差 ( $e_m/a_p$ )	
5	复现冲击加速度总系统误差 ( $e_p/a_p$ )	
6	复现冲击加速度系统不确定度 ( $X_{e(100)}/a_p$ )	
7	复现冲击加速度随机不确定度 ( $X_{e(100)}/\sqrt{N}$ )	
8	复现冲击加速度总不确定度 $X_{(100)}\%$	

## 附录 4

## 检定证书背面格式

1. 检定环境：温度\_\_\_\_\_湿度\_\_\_\_\_
2. 检定冲击加速度范围 \_\_\_\_\_  $\text{ms}^{-2}$   
检定冲击持续时间范围 \_\_\_\_\_  $\text{ms}$
3. 校准装置总不确定度 \_\_\_\_\_ %

## 附录 5

## 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	检 定 结 果

特此通知，请修理，调试后送检。

---