

JJG

中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 529—88

随机振动试验系统

(试 行)

1988年1月29日批准

1988年10月1日实施

国家计量局

目 录

一 概述	(1)
二 技术要求	(1)
三 检定项目和检定用仪器	(2)
四 检定方法	(3)
五 检定结果处理和检定周期	(6)
附录 1 检定项目的选择	(7)
附录 2 检定证书内面格式	(8)
附录 3 检定记录格式	(9)
附录 4 随机信号的检验	(11)

随机振动试验系统试行
检定规程

Verification Regulation of Random
Vibration Test System

JJG 529—88

本检定规程经国家计量局于1988年1月29日批准，并自1988年10月1日起施行。

归口单位：北京市标准计量局

起草单位：航空工业部304研究所

北京市计量科学研究所

本规程技术条文由起草单位负责解释。

本规程主要起草人：

洪宝林（航空部 304 研究所）

张大勇（航空部 304 研究所）

周 渊（北京市计量科学研究所）

参加起草人：

何天祥（航空部 304 研究所）

阎 静（北京市计量科学研究所）

徐 殷（中国计量科学研究院）

法庆衍（航天部 702 研究所）

张学富（航天部 702 研究所）

随机振动试验系统试行检定规程

本规程适用于额定推力为 10 kN 以下新制造（含进口）、使用中和修理后的配用电动振动台的随机振动试验系统的检定。

一 概 述

随机振动试验系统是用来对试件进行随机振动试验的一整套装置。它通常由电动振动台、测振部分、随机振动控制器和辅助设备所组成（以下简称试验系统）。该试验系统中电动振动台及测振部分的检定按照有关检定规程执行。本规程所检定的试验系统主要用于产品环境试验。其他类型和用途的随机振动试验系统的检定，也可参照本规程执行。

二 技 术 要 求

1 试验系统工作的环境条件

1.1 控制器工作环境温度应为 $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度为 $(10\sim 75)\%$ 。

1.2 试验系统应保持清洁，周围应无腐蚀性气体。

1.3 电源电压的变化应不大于 $\pm 10\%$ 。

1.4 试验系统工作时，若发出的噪声声级大于 90 dB（A 计权），用户应采取降低噪声的措施（测试方法见电动振动台检定规程）。

2 试验系统各部分应有铭牌，并应标明型号、制造厂、出厂编号和日期，出厂时必须带产品合格证书。

3 试验系统在规定工作频率范围内，其频率示值误差应为： $f \leq 100 \text{ Hz}$ ， $\pm 1 \text{ Hz}$ ； $f > 100 \text{ Hz}$ ， $\pm 1\% f$ 。其中 f 为试验系统的实际振动频率。

注：采用模拟式随机振动控制器的试验系统，可只满足出厂指标。

4 试验系统在规定工作频率范围内，频率分辨率 Δf 的误差应不大于 $\pm 0.5 \Delta f +$ 频率示值误差。

5 试验系统试验信号应满足平稳、各态历经和正态随机过程的要求。

6 试验系统控制谱的动态范围应满足其出厂指标（注明测试时的加速度总均方根值）。

7 试验系统振动加速度总均方根值示值误差和工作频率范围外加速度总均方根值的技术要求见表1。

表 1

	高 级	中 级	低 级
总均方根示值误差	$\leq \pm 10\%$	$\leq \pm 15\%$	$\leq \pm 20\%$
R	$\leq 10\%$	$\leq 20\%$	无要求

表中 R 为工作频率范围外加速度总均方根值与工作频率范围内加速度总均方根值的比。

8 试验系统加速度谱密度的示值误差见表2。

表 2

	高 级	中 级	低 级
谱密度示值误差	$\leq \pm 20\%$	$\leq \pm 30\%$	无要求

9 试验系统在 90% 置信度下的控制精度要求见表3。

表 3

	高 级	中 级	低 级
加速度谱密度	$\pm 3\text{ dB}$	$\pm 6\text{ dB}$	无要求
加速度总均方根值	$\pm 1\text{ dB}$	$\pm 1.5\text{ dB}$	$\pm 2\text{ dB}$

10 制造厂应给出试验系统的各项技术指标，如同路时间和均衡时间、工作频率范围、推力、最大负载质量、空载或满载时的最大加速度总均方根值及连续工作时间等。

三 检定项目和检定用仪器

11 检定项目和检定用仪器如表4所示。

表 4

序号	检 定 项 目	检 定 用 仪 器	
		名 称	技 术 要 求
1	工作环境条件的检查	干湿温度计	温度误差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
		交流电压表	误差 $\leq \pm 2\%$
2	频率示值及频率分辨率	频谱分析仪	频率测量误差 $\leq \pm 0.1\text{Hz}$
		数字式频率计	误差 $\leq \pm 0.1\%$
3	随机信号检验	概率密度分析仪 频谱分析仪	
4	动态范围	测振仪(包括压电加速度计、电荷放大器、滤波器及均方根值电压表)	加速度均方根值测量误差 $\leq \pm 6\%$ 、 带外衰减特性 $\geq 24\text{dB/OCT}$
		频谱分析仪	加速度谱密度测量误差 $\leq \pm 10\%$
5	加速度总均方根值	同 上	同 上
6	加速度谱密度值		
7	控 制 精 度		

四 检 定 方 法

12 使用干湿温度计和交流电压表对试验系统的工作条件和外观进行检查。其结果应符合本规程第 1、2 条的规定。

13 采用下列方法之一检定试验系统的频率示值：

13.1 在试验系统工作频率范围内的高、中、低不同频段至少分别设置 1 个具有 20 dB 以上尖峰的连续谱形(最好用伪随机信号设置)。将频谱分析仪输入端接随机振动控制器的输出端，测量尖峰处的频率值，分别记录试验系统的频率示值和分析仪的测量值，两者之差应符合本规程第 3 条的规定。

13.2 在试验系统工作频率范围内的高、中、低不同频段至少分别设置并输出一正弦信号，用频率计或频谱分析仪测量其频率示值，

分别记录试验系统的频率示值和频率计或分析仪的测量值，两者之差应符合本规程第3条的规定。

14 试验系统频率分辨率的检定

按本规程第13条所述方法测量各频率值后，将各个谱峰（或输出正弦频率）向高或低方向偏移一个 Δf 重新设置并输出，再按本规程第13条所述方法测量各频率值，其结果应符合本规程第4条的规定。

15 试验系统试验信号的检验

用概率密度分析仪或具有概率密度分析功能的其他仪器测量试验系统的输出信号，将测出的概率密度曲线与理论正态分布概率密度曲线比较，观察其一致性，其形状应无严重畸变。平稳性检验可采用轮次检验等方法进行，其结果应符合本规程第5条的规定。

16 试验系统动态范围的检定

振动台空载，把加速度计（它与试验系统本身的测控加速度计背靠背安装）刚性连接在振动台台面中心（或尽可能靠近中心），输出接电荷放大器。在控制仪上设置如图1所示谱形，均衡并在适当量级上振动，电荷放大器的输出接到频谱分析仪，检测试验系统所能均衡的动态范围，其结果应符合本规程第6条的规定。

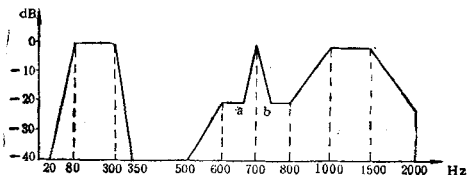


图 1

注：

- (1) a、b 段频率差值要求不大于 40 Hz，其他工作频率范围的试验系统可按此图的比例设置段点频率。
- (2) 若试验系统难以设置图 1 谱形，允许适当修改，但应给出所用谱形。

17 试验系统加速度总均方根值的检定

振动台空载，加速度计的安装与本规程第16条相同。由试验系统设置、均衡并产生如图2所示谱形的振动。采用下列方法之一测量其加速度总均方根值。

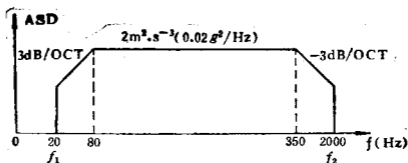


图 2

注：其他工作范围的试验系统可按此图的比例设置。

17.1 采用全套测振仪测量其加速度总均方根值。低通滤波器截止频率放置在 2 kHz，真均方根值电压表平均时间放置在 3 s。加速度总均方根值示值误差 A_s 按下式计算：

$$A_s = \frac{A_a - A_b}{A_b} \times 100\%$$

式中： A_s ——试验系统示值；

A_b ——测量仪实测值。

A_s 、 A_b 应尽量同时读数。

频带外加速度总均方根值应包括上限频率 f_2 到 $10f_2$ 或到 10 kHz （取其中较窄者）内的加速度总均方根值。一般可用高通及低通滤波器组合测出，也可通过测量总均方根值和试验频带内总均方根值计算出频带外加速度总均方根值。其结果应符合本规程第7条的规定。

17.2 采用频谱分析仪测量加速度谱密度，计算出频带内和频带外加速度总均方根值，并按本规程 17.1 中的公式计算误差。其结果应符合本规程第7条的规定。

18 采用下列方法之一检定试验系统加速度谱密度示值误差:

18.1 振动台空载, 加速度计的安装与本规程第16条相同。由试验系统设置、均衡并产生如图2所示谱形的振动。在谱形的平直段任取3个频率值, 用频谱分析仪测量各频率处的加速度谱密度值。分析仪的频率分辨率取 $1/3 \sim 1/5 \Delta f$, 同时记录试验系统的示值, 计算其相对误差。其结果应符合本规程第8条的规定。

18.2 向随机振动控制仪输入峰值为 $A V$ 的正弦信号。在试验系统工作频率范围内的高、中、低不同频段任取1个频率值, 该频率值应等于试验系统频率分辨率 Δf 的整数倍。采用海宁窗读取谱密度示值, 并与 $\frac{A^2}{3 \Delta f}$ 比较, 计算其相对误差。其结果应符合本规程第8条的规定。

19 试验系统控制精度的检定

试验系统控制精度在90%置信度下取足够的自由度, 按本规程第17条和18.1观测10 min, 每2 min测量1次。其结果应符合本规程第9条的规定。

20 试验系统回路时间和均衡时间的检定

具有回路时间指示功能的试验系统可采用计时装置验证。对不具备此功能的试验系统, 可采用图2谱形, 在规定的容差范围内均衡, 从开始均衡计时到均衡完毕。其结果应符合本规程第10条的规定。

21 按有关方法测量试验系统在随机激励条件下的各项技术指标, 如工作频率范围、推力、最大负载质量、空载和满载时的最大加速度均方根值和连续工作时间等。其结果应符合本规程第10条的规定。

五 检定结果处理和检定周期

22 经检定符合本规程要求的试验系统, 发给检定证书; 不符合本规程要求的试验系统, 发给检定结果通知书, 并注明不合格的项目。

23 试验系统的检定周期为2年。对使用较频繁的试验系统, 可根据具体情况适当缩短检定周期。

附 录

附录 1

检定项目的选择

试验系统在设计、生产定型、出厂检验、用户验收和计量部门周期检定时，可按下表确定检定项目。表中，“○”表示必须检定的项目，“△”表示抽样检查或视需要选择的检定项目；空白表示可不检定的项目。

序号	检定项目	设计定型	出厂检验 用户验收	周期检定
1	试验系统工作条件检查	○	○	○
2	频率示值误差	○	○	○
3	频率分辨率	○	○	△
4	随机信号检验	○	△	
5	动态范围	○	○	△
6	加速度总均方根值	○	○	○
7	加速度谱密度	○	○	○
8	控制精度	○	○	△
9	均衡时间	○	△	
10	工作频率范围	○	△	
11	最大加速度均方根值	○	△	
12	最大推力	○	△	
13	连续工作时间	○	○	

附录 3

检定记录格式

一、频率示值误差 f_0 和频率分辨误差 Δf_0 。 Δf 标称值 = ... Hz 附图号 ...

项 目	低 频 段 (≤ 100 Hz)		中 频 段		高 频 段		备 注
	f_1	$f_1 \pm \Delta f$	f_2	$f_2 \pm \Delta f$	f_3	$f_3 \pm \Delta f$	
被检频率示值 (Hz)							
标准频率值 (Hz)							
f_0	($\pm \% f$)						
	(Hz)						
Δf 实测值 (Hz)							
Δf_0	($\pm \% f$)						
	(Hz)						

二、动态范围

系统振动量级为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2} (g_{\text{rms}})$ 设置误差带为 \pm dB

项 目	设置谱	台面控制谱	测得控制谱	备 注
动态范围 (dB)				
附 图 号				

三、加速度总均方根值示值误差 A_0 及控制精度 A_{0c} 。

项 目	试验频带内(... Hz 至 ... Hz)					频带外	备 注
	1	2	3	4	b		
A_0 $m \cdot s^{-2} (g_{rms})$							附图号.....
A_{0c} $m \cdot s^{-2} (g_{rms})$							
A_0 (%)							
A_0 (dB)							

注:

检定仪器系统: 上限频率..... Hz, 下限频率..... Hz, 带外衰减特性..... dB/OCT,
分辨率 Δf Hz, 分析仪 ASD 修正系数.....

试验系统: 设置误差带 \pm dB, $\Delta f =$ Hz

四、加速度谱密度示值误差 S_0 及控制精度 S_{0c} 。

项 目	示 值			控 制 精 度				
	1	2	3	1	2	3	4	5
频率(Hz)								
试验系统示值 $m^2 \cdot s^{-3} (g^2_{rms}/Hz)$								
标准值	测 量 值							
	修改后 $m^2 \cdot s^{-3}$ (g^2_{rms}/Hz)							
S_0 (%)								
S_0 (dB)								
附 图 号								

注:

检定仪器系统: 上限频率..... Hz, 下限频率..... Hz, 带外衰减特性..... dB/OCT,
分辨率 Δf Hz, 分析仪 ASD 修正系数.....

试验系统: 设置误差带 \pm dB, $\Delta f =$ Hz

附录 4

随机信号的检验

1 随机信号平稳性的检验

1.1 定性检验方法

采用数字式频谱分析仪观察试验系统的时域输出波形，若信号的平均值波动很小，波形的峰谷变化比较均匀及频率结构比较一致，而且从不同时间的样本记录测得的均方值等效，则可认为被测随机信号是平稳的。

1.2 轮次检验方法

1.2.1 采用数字式频谱分析仪采集试验系统输出信号的 1 个样本记录，把此样本记录分成等间距的 N 个子段，测量每段的均方值。

1.2.2 确定该组均方值的中间值。

1.2.3 采用 +、- 号区别测量值，大于中间值记为 (+) 号，小于中间值记为 (-) 号。

1.2.4 按原来的时间顺序排列用 (+) 和 (-) 标出的测量值，计算出轮次数目。

1.2.5 按下表判断随机信号的平稳性。其中 α 为显著水平。

2 随机信号周期性检验

2.1 定性检验方法

采用数字式频谱分析仪测量随机振动控制系统输出信号的自相关函数。若其自相关函数在时间延迟很大时接近于零，则认为被测信号无周期分量。若相关函数衰减为重复的周期振荡，则被测信号含有周期分量。

2.2 方差检验方法

2.2.1 采用数字式频谱分析仪测量试验系统 T_s 长的输出信号，观察其功率谱密度曲线是否有陡峰。若有 1 个或多个陡峰，则按下述方法检验。

2.2.2 把记录的样本分成等间距的 N 个子段，测量每段的均方值（一般限制 $N < 0.1 BT$ ）。

N	$\alpha=0.10$		$\alpha=0.05$		$\alpha=0.01$	
	下 限	上 限	下 限	上 限	下 限	上 限
8	3	6	—	—	—	—
10	4	7	3	8	—	—
12	4	9	4	9	3	10
14	5	10	4	11	4	11
16	6	11	5	12	4	13
18	7	12	6	13	5	14
20	7	14	7	14	5	15
22	7	16	7	16	6	18
24	8	17	7	18	6	19
26	9	18	8	19	7	20
28	10	19	9	20	7	22
30	11	20	10	21	8	23
32	11	22	11	22	9	24
34	12	23	11	24	10	25
36	13	24	12	25	10	27
38	14	26	13	26	11	28
40	15	26	14	27	12	29
50	19	32	18	33	16	35
60	24	37	22	39	20	41

2.2.3 假设测量的样本信号是随机的，按下式计算期望的标准化方差：

$$\epsilon^2 = \frac{1}{BT_s}$$

其中 B 为分析仪滤波器带宽； $T_s = T/N$ 。

2.2.4 按下式计算均方测量值实际的标准化方差：

$$\hat{\epsilon}^2 = \frac{\frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N \hat{G}_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \hat{G}_i \right)^2 \right]}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{G}_i \right)^2}$$

其中, \hat{G}_i 为第 i 段均方测量值。

2.2.5 计算实际的与期望的标准化方差之比:

$$R_e = \frac{\hat{\epsilon}^2}{\epsilon^2}$$

若在统计上 R_e 等效于 1, 则认为功率谱密度曲线陡峰是由窄带随机信号引起的; 若 R_e 显著地小于 1, 则认为陡峰是由周期分量引起的。判断 R_e 等效于 1 的标准为:

$$\text{若 } R_e > \frac{\chi^2_{1-\alpha}(N-1)}{N-1} \quad \text{则 } R_e = 1$$

$$\text{若 } R_e < \frac{\chi^2_{1-\alpha}(N-1)}{N-1} \quad \text{则 } R_e < 1$$

其中, $\chi^2_{1-\alpha}(N-1)$ 为自由度 $N-1$ 的卡埃平方分布, α 为判断的显著性水平。

3 随机信号正态性检验

3.1 定性检验方法

采用概率密度分析仪测量随机振动控制器输出信号的的概率密度曲线, 并与理论正态分布曲线比较。若曲线呈现对称钟形, 且其上没有断痕和尖峰, 则被测信号概率密度为正态分布。

3.2 卡埃平方拟合优度检验方法

3.2.1 采用数字式频谱分析仪记录试验系统的 1 个样本, 按递增次序排列:

$$x_1 \leq x_2 \leq x_3, \dots, \leq x_n$$

3.2.2 按子样大小确定分组区间数 k

$$\text{当 } n = 200 \text{ 时} \quad k = 18 \sim 20$$

$$\text{当 } n = 400 \text{ 时} \quad k = 25 \sim 30$$

当 $n = 1000$ 时 $k = 35 \sim 40$

3.2.3 按 $P = 1/k$ 确定每个区间的概率, 并由标准正态概率分布表查出每个区间限所要求的 Z_0 值。

3.2.4 由下式计算样本均值和方差:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$$

3.2.5 按 $x = SZ_0 + \bar{X}$ 计算标准化区间限。

3.2.6 把区间限用到样本记录上, 确定频数 f 。

3.2.7 计算每个分组区间频数偏离期望频数 F 的标准化平方偏差和,

$$X^2 = \sum_{j=1}^k (F - f_j)^2 / F$$

其中, $F = n/k$

3.2.8 选取自由度 $k-3$, 显著水平 α , 查卡埃平方分布表确定接受域, 判断是否接受正态性假设。
