



# 中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 948—1999

---

## 数字式电动振动试验系统

Digital Electrodynamic Vibration Testing System

1999 - 12 - 22 发布

2000 - 04 - 01 实施

---

国家质量技术监督局 发布

# 数字式电动振动试验系统检定规程

Verification Regulation of Digital Electrodynamic

Vibration Testing System

JJG 948—1999

---

本规程经国家质量技术监督局于 1999 年 12 月 22 日批准，并自 2000 年 04 月 01 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：**中国航空工业总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：**

洪宝林 （中国航空工业总公司第三〇四研究所）

徐 殷 （中国计量科学研究院）

张 越 （北京中元微型仪器公司）

**参加起草人：**

曾 吾 （中国航空工业总公司第三〇四研究所）

郑静芳 （中国计量科学研究院）

## 目 录

1 概述	(1)
2 技术要求	(1)
2.1 试验系统检定时环境条件	(1)
2.2 试验系统的标识	(1)
2.3 励磁装置	(1)
2.4 数字式振动控制仪	(1)
2.5 正弦振动试验系统	(2)
2.6 随机振动试验系统	(4)
2.7 正弦加宽带随机振动试验	(5)
2.8 窄带随机加宽带随机振动试验	(5)
2.9 冲击试验系统	(6)
3 检定项目和检定设备	(6)
4 检定方法	(8)
4.1 适用范围	(8)
4.2 试验系统的检查	(8)
4.3 试验系统工作时最大噪声的检定	(8)
4.4 振动台面漏磁的检定	(8)
4.5 数字式振动控制仪频率示值误差的检定	(8)
4.6 数字式振动控制仪正弦信号谐波失真度的检定	(8)
4.7 数字式振动控制仪随机自闭环加速度功率谱控制动态范围的检定	(8)
4.8 数字式振动控制仪随机信号的检验	(9)
4.9 多通道数字式振动控制仪任意两通道之间一致性的检定	(9)
4.10 试验系统加速度信噪比的检定	(9)
4.11 试验系统频率响应特性的检定	(10)
4.12 试验系统台面加速度谐波失真度的检定	(10)
4.13 试验系统台面幅值均匀度的检定	(10)
4.14 试验系统台面横向振动比的检定	(11)
4.15 试验系统台面加速度、速度、位移示值误差的检定	(11)
4.16 扫频定振精度的检定	(12)
4.17 加速度幅值示值稳定性的检定	(12)
4.18 试验系统正弦推力的检定	(13)
4.19 试验系统加速度功率谱控制动态范围的检定	(13)
4.20 试验系统加速度总均方根值的检定	(14)
4.21 加速度功率谱密度示值的检定	(15)

4.22	试验系统加速度总均方根值和功率谱密度控制精度的检定	(15)
4.23	试验系统随机推力的检定	(16)
4.24	试验系统正弦加宽带随机振动加速度总均方根值示值的检定	(16)
4.25	试验系统正弦加宽带随机振动幅值示值的检定	(16)
4.26	试验系统正弦加宽带随机振动控制精度的检定	(17)
4.27	试验系统窄带随机加宽带随机振动加速度总均方根值示值误差的检定	(17)
4.28	试验系统窄带随机加宽带随机振动加速度谱密度示值的检定	(17)
4.29	试验系统窄带随机加宽带随机振动控制精度的检定	(17)
4.30	试验系统基本冲击加速度波形参数的检定	(18)
5	检定结果处理和检定周期	(18)
5.1	检定结果处理	(18)
5.2	检定周期	(18)
附录 A	随机信号的检验	(19)

## 数字式电动振动试验系统检定规程

本规程适用于额定正弦推力或随机推力为 100 kN 以下的新制造、使用中及修理后的电动振动试验系统的检定。

### 1 概述

数字式电动振动试验系统（以下简称试验系统）是用来产生正弦随机、正弦加宽带随机、窄带随机加宽带随机和冲击等激励的一整套设备。它通常由电动振动台、功率放大器、数字式振动控制仪及其附属设备组成。

### 2 技术要求

#### 2.1 试验系统检定时的环境条件

- 2.1.1 试验系统应根据有关的技术要求条件进行安装；
- 2.1.2 试验系统工作时的环境温度为 (5~35)℃，相对湿度不大于 90%；
- 2.1.3 试验系统应保持清洁，周围无腐蚀性气体、液体；
- 2.1.4 电源电压的变化应在额定电压的 ±10% 范围内；
- 2.1.5 试验系统工作时，如果发出的噪声声压级大于 90 dB (A 计权)，用户应采取隔、消声措施。

#### 2.2 试验系统的标识

试验系统各组成部分应有铭牌，并标明型号、规格、制造厂、出厂编号和日期，出厂时必须带产品合格证书。

#### 2.3 励磁装置

试验系统励磁装置处于工作状态时，距台面安装螺孔的最大分布圆直径 1/4 高度处的整个平面上，漏磁应满足出厂技术要求条件。

#### 2.4 数字式振动控制仪

- 2.4.1 数字式振动控制仪在规定的频率范围内，其频率示值误差如表 1 所示。

表 1

A 级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f < 100\text{Hz}$	$f \geq 100\text{Hz}$
	示值误差	$\pm 0.05\text{Hz}$	$\leq 0.05\%$
B 级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f < 50\text{Hz}$	$f \geq 50\text{Hz}$
	示值误差	$\pm 0.5\text{Hz}$	$\leq 1\%$
C 级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f < 50\text{Hz}$	$f \geq 50\text{Hz}$
	示值误差	$\pm 1\text{Hz}$	$\leq 2\%$

- 2.4.2 数字式振动控制仪正弦信号谐波失真度不超过 0.3%。
- 2.4.3 数字式振动控制仪随机自闭环加速度功率谱控制动态范围应大于 45 dB。
- 2.4.4 数字式振动控制仪随机信号应满足平稳、正态分布和各态历经性要求。
- 2.4.5 多通道数字式振动控制仪任意两通道之间的一致性应满足表 2 的要求。

表 2

	A 级	B 级	C 级
幅值比	$\leq 0.1\text{dB}$	$\leq 0.2\text{dB}$	$\leq 0.3\text{dB}$
相位差	$\leq 1^\circ$	$\leq 2^\circ$	$\leq 3^\circ$

## 2.5 正弦振动试验系统

- 2.5.1 试验系统加速度信噪比应满足表 3 的要求。

表 3

	A 级	B 级	C 级
信噪比	$\geq 60\text{dB}$	$\geq 50\text{dB}$	$\geq 40\text{dB}$

- 2.5.2 试验系统空台频响特性要和出厂时相一致，共振频率偏差应不大于 5%。

- 2.5.3 试验系统工作时台面加速度谐波失真度应满足表 4 的要求。

表 4

A 级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 20\text{Hz}$	$f > 20\text{Hz}$
	谐波失真度	$\leq 15\%$	$\leq 10\%$
B 级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 20\text{Hz}$	$f > 20\text{Hz}$
	谐波失真度	$\leq 20\%$	$\leq 10\%$
C 级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 20\text{Hz}$	$f > 20\text{Hz}$
	谐波失真度	$\leq 25\%$	$\leq 10\%$
注：在 20 Hz 以上允许有 1~2 个失真度较大的频带，在该频带内最大失真度不大于 25%，频带宽度不超过最大失真度对应频率的 $\pm 10\%$ 。			

- 2.5.4 试验系统工作时，台面加速度幅值均匀度应满足表 5 的要求。

表 5

小 台 面	A级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 500\text{Hz}$	$500\text{Hz} < f \leq 1500\text{Hz}$	$f > 1500\text{Hz}$
		均匀度	$\leq 10\%$	$\leq 20\%$	$\leq 25\%$
	B级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 500\text{Hz}$	$500\text{Hz} < f \leq 1500\text{Hz}$	$f > 1500\text{Hz}$
		均匀度	$\leq 15\%$	$\leq 25\%$	$\leq 30\%$
	C级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 500\text{Hz}$	$500\text{Hz} < f \leq 1500\text{Hz}$	$f > 1500\text{Hz}$
		均匀度	$\leq 15\%$	$\leq 25\%$	$\leq 35\%$
大 台 面	A级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 500\text{Hz}$	$500\text{Hz} < f \leq 0.7f^* \text{ Hz}$	$f > 0.7f^* \text{ Hz}$
		均匀度	$\leq 15\%$	$\leq 25\%$	$\leq 50\%$
	B级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 500\text{Hz}$	$500\text{Hz} < f \leq 0.7f^* \text{ Hz}$	$f > 0.7f^* \text{ Hz}$
		均匀度	$\leq 20\%$	$\leq 30\%$	$\leq 70\%$
	C级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 500\text{Hz}$	$500\text{Hz} < f \leq 0.7f^* \text{ Hz}$	$f > 0.7f^* \text{ Hz}$
		均匀度	$\leq 25\%$	$\leq 50\%$	$\leq 100\%$

注:

- 1 振动台台面最外圈安装螺栓分布圆直径大于 400 mm 的振动台面为大台面。
- 2  $f^*$  为试验系统的一阶共振频率。
- 3 在 2000 Hz 以内的频率允许有 1~2 个均匀度较大的频带, 在该频带内最大加速度幅值均匀度不大于 50% (小台面) 及 150% 或给出实际测量值 (大台面), 频带宽度不超过最大均匀度对应频率的 10%。

2.5.5 试验系统工作时, 台面横向振动比 (横向加速度幅值与主振方向加速度幅值之比) 应满足表 6 的要求。

表 6

A级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 20\text{Hz}$	$20\text{Hz} < f < 500\text{Hz}$	$f \geq 500\text{Hz}$
	台面横向振动比	$\leq 20\%$	$\leq 10\%$	$\leq 20\%$
B级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 20\text{Hz}$	$20\text{Hz} < f < 500\text{Hz}$	$f \geq 500\text{Hz}$
	台面横向振动比	$\leq 25\%$	$\leq 15\%$	$\leq 25\%$
C级	频率范围	$5\text{Hz} \leq f \leq 20\text{Hz}$	$20\text{Hz} < f < 500\text{Hz}$	$f \geq 500\text{Hz}$
	台面横向振动比	$\leq 25\%$	$\leq 15\%$	$\leq 50\%$

注: 在 2000 Hz 以下频率, 允许有 1~2 个横向振动比较大的频带, 在该频带内最大横向振动比不应大于 100%, 频带宽度不超过横向振动比对应频率的  $\pm 10\%$ 。

2.5.6 试验系统的振动位移、速度、加速度幅值示值误差应满足表 7 的要求。

表 7

	幅值示值误差
A 级	$\leq 5\%$
B 级	$\leq 8\%$
C 级	$\leq 10\%$

2.5.7 试验系统在规定的频率范围内作扫频振动，扫频方式为对数形式，扫频速率为 1oct/min，扫频速率误差和定振精度应满足表 8 的要求。

表 8

	扫频速率误差	定振精度 (dB)
A 级	$\leq 4\%$	$\pm 0.4$
B 级	$\leq 6\%$	$\pm 0.6$
C 级	$\leq 10\%$	$\pm 1.0$

2.5.8 试验系统在规定的频率范围内做 1 小时定频定加速度连续振动，其加速度的示值变化应在  $\pm 5\%$  范围内。

2.5.9 试验系统的工作频率范围、额定正弦推力、活动系统的有效质量、空载和满载时最大振动幅值、额定工作特性曲线、共振频率及连续工作时间等应满足制造厂给出的技术指标。

## 2.6 随机振动试验系统

2.6.1 试验系统随机加速度功率谱控制动态范围（设置谱动态范围 40 dB）应满足表 9 的要求。

表 9

	加速度功率谱控制动态范围
A 级	(39~41) dB
B 级	$\geq 35$ dB
C 级	$\geq 20$ dB

2.6.2 试验系统随机加速度总均方根值示值误差应满足表 10 的要求。

表 10

	加速度总均方根值示值误差
A 级	$\leq 5\%$
B 级	$\leq 10\%$
C 级	$\leq 20\%$

2.6.3 试验系统随机振动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  $R$  应满足表 11 的要求。

表 11

	总均方根值之比 $R$
A 级	$\leq 5\%$
B 级	$\leq 10\%$
C 级	$\leq 20\%$

2.6.4 试验系统随机振动加速度功率谱密度示值误差应满足表 12 的要求。

表 12

	加速度功率谱密度示值误差
A 级	$\leq 10\%$
B 级	$\leq 20\%$
C 级	$\leq 30\%$

2.6.5 试验系统随机振动在 90% 置信度控制下，加速度总均方根值和加速度功率谱密度控制精度应满足表 13 的要求。

表 13

	加速度总均方根值控制精度	加速度功率谱密度控制精度
A 级	$\pm 0.5\text{dB}$	$\pm 1\text{dB}$
B 级	$\pm 1\text{dB}$	$\pm 2\text{dB}$
C 级	$\pm 1.5\text{dB}$	$\pm 3\text{dB}$

2.6.6 随机振动试验的回路时间、随机推力、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应满足出厂给出的各项技术指标。

## 2.7 正弦加宽带随机振动试验

2.7.1 正弦加宽带随机振动试验加速度总均方根值示值误差应小于 10%。

2.7.2 正弦加宽带随机振动试验正弦信号频率应连续可调，幅值误差应小于 10%。宽带随机振动信号加速度功率谱密度示值误差应小于 20%。

2.7.3 正弦加宽带随机振动试验在 90% 置信度下，加速度总均方根值控制精度应在  $\pm 1\text{dB}$  范围内。加速度功率谱密度控制精度应在  $\pm 3\text{dB}$  范围内。

## 2.8 窄带随机加宽带随机振动试验

2.8.1 窄带随机加宽带随机振动试验加速度总均方根值示值误差应小于 10%。

2.8.2 窄带随机加宽带随机振动试验窄带随机信号中心频率应连续可调, 随机振动信号加速度功率谱密度示值误差应小于 20%。

2.8.3 窄带随机加宽带随机振动试验在 90% 置信度下, 加速度总均方根值控制精度应在  $\pm 1$  dB 范围内。加速度功率谱密度控制精度应在  $\pm 3$  dB 范围内。

### 2.9 冲击试验系统

2.9.1 基本冲击加速度波形(半正弦波、后峰锯齿波、梯形波)的脉冲持续时间示值误差应不大于 10%。

2.9.2 基本冲击加速度波形(半正弦波、后峰锯齿波、梯形波)的脉冲幅值误差应不大于 10%。

2.9.3 基本冲击加速度波形(半正弦波、后峰锯齿波、梯形波)的速度变化量误差应不大于 10%。

## 3 检定项目和检定设备

检定项目、检定设备和检定项目选择如表 14 所示(表中“○”表示必需检定的项目;“△”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)。

表 14

序号	检定项目	检定设备		检定项目选择	
		名称	技术要求	首次检定	周期检定
1	工作环境条件检查	干湿温度计	温度分辨力 $\leq 1^{\circ}\text{C}$	○	○
		交流电压表	测量误差 $\leq 2\%$	○	○
		声级计	测量误差 $\leq 1\text{dB}$	○	○
2	台面漏磁	特斯拉计	测量误差 $\leq 2\%$	○	△
3	频率示值	数字频率计 或动态信号分析仪	频率测量误差 $\leq 0.01\%$	○	△
4	控制仪谐波失真度	动态信号分析仪	幅值测量误差 $\leq 0.1\%$	○	
5	控制仪动态范围	动态信号分析仪	对数幅值分辨力 $\leq 0.1\text{dB}$	○	
6	随机信号检验	动态信号分析仪	自相关函数测量误差 $\leq 4\%$	○	△
7	加速度信噪比	真有效值数字电压表	测量误差 $\leq 0.1\%$	○	△
8	振动台频率响应特性	动态信号分析仪	对数幅值分辨力 $\leq 0.1\text{dB}$	○	
9	振动台面谐波失真度	动态信号分析仪	幅值测量误差 $\leq 1\%$	○	○
10	横向振动比	动态信号分析仪	幅值测量误差 $\leq 1\%$	○	○

表 14 (续)

序号	检定项目	检定设备		检定项目选择	
		名称	技术要求	首次检定	周期检定
11	振动幅值均匀性	动态信号分析仪	幅值测量误差 $\leq 1\%$	○	○
12	振动台幅值示值	动态信号分析仪	幅值测量误差 $\leq 1\%$	○	○
13	扫频定振精度	动态信号分析仪	对数幅值分辨率 $\leq 0.1\text{dB}$	○	△
14	扫频速率	秒表	分辨率 $\leq 0.1\text{s}$	○	△
15	幅值示值稳定性	真有效值数字电压表	测量误差 $\leq 0.1\%$	○	
16	振动台控制谱动态范围	动态信号分析仪	对数幅值分辨率 $\leq 0.1\text{dB}$	○	○
17	随机振动加速度总均方根值	真有效值数字电压表	交流电压测量误差 $\leq 0.1\%$	○	○
18	带外带内总均方根值比	动态信号分析仪	幅值测量误差 $\leq 1\%$	○	△
19	加速度谱密度示值误差	动态信号分析仪	幅值测量误差 $\leq 2\%$	○	○
20	加速度总均方根值控制精度	真有效值数字电压表	交流电压测量误差 $\leq 0.1\%$	○	○
21	加速度谱密度控制精度	动态信号分析仪	对数幅值分辨率 $\leq 0.1\text{dB}$	○	○
22	随机推力	真有效值数字电压表	交流测量误差 $\leq 0.1\%$	○	
23	正弦加随机总均方根示值	真有效值数字电压表	交流测量误差 $\leq 0.1\%$	○	△
24	正弦加随机谱密度示值	动态信号分析仪	误差 $\leq 2\%$	○	△
25	正弦加随机控制精度	同表中 20, 21	同表中 20, 21	○	△
26	随机加随机总均方根示值	真有效值数字电压表	交流测量误差 $\leq 0.1\%$	○	△
27	随机加随机谱密度示值	动态信号分析仪	误差 $\leq 2\%$	○	△
28	随机加随机控制精度	同表中 20, 21	同表中 20, 21	○	△
29	冲击脉冲持续时间	动态信号分析仪	误差 $\leq 0.1\%$	○	△
30	冲击脉冲幅值	动态信号分析仪	误差 $\leq 1\%$	○	△
31	冲击加速度速度变化量	动态信号分析仪	误差 $\leq 1\%$	○	△
32	振动系统各项检定	电荷放大器	误差 $\leq 1\%$ (160Hz)		
		加速度计及三向加速度计	灵敏度误差 $\leq 2\%$		

注：表中谱密度均指加速度功率谱密度。

## 4 检定方法

### 4.1 适用范围

本规程检定方法适用于在振动台垂直状态及除特殊要求外台面在空载时进行。

### 4.2 试验系统的检查

按本规程 2.1 和 2.2 的要求,对试验系统的外观进行检查,用干湿温度计和交流电压表对试验系统的工作环境条件进行检查。检查结果应符合 2.1 和 2.2 的各项规定。

### 4.3 试验系统工作时最大噪声的检定

按规定的工作频率范围内,以其额定的最大振动幅值作扫频振动。在距振动台台面边缘 1 m 远,离地面 1.5 m 高处用声级计(A 计权)测量,并记录噪声的最大声压级。

### 4.4 振动台台面漏磁的检定

当振动台系统励磁装置处于工作状态时,用特斯拉计测量台面安装螺孔的最大分布圆直径的 1/4 高度处的整个平面上的磁通密度。所有安装螺孔的上方位置都应作为测量点。测量结果应符合本规程 2.3 的规定。

### 4.5 数字式振动控制仪频率示值误差的检定

数字式振动控制仪正弦自闭环控制,将信号发生器的输出端接数字式频率计或动态信号分析仪。在控制仪的工作频率范围内,选取 3 个频率值(包括工作频率上下限频率值),分别在适当的量级上控制。采用动态信号分析仪测量时,要采用矩形窗函数,频率分辨力要好于被测量值允许误差的 10 倍。分别记录控制仪的频率示值和数字式频率计或动态信号分析仪的测量值,两者之差应符合本规程 2.4.1 的规定。

### 4.6 数字式振动控制仪正弦信号谐波失真度的检定

数字式振动控制仪正弦信号谐波失真度的检定框图如图 1 所示。控制仪在 1 000 Hz 频率下,在适当量级上自闭环控制,信号发生器输出端接动态信号分析仪。动态信号分析仪采用平顶窗函数,线性幅值。测量 1 000 Hz 频率下的幅值及至少 5 倍的谐波幅值,按式 (1) 计算谐波失真度  $\gamma$ 。计算结果应符合本规程 2.4.2 的规定。

$$\gamma = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + A_5^2 + \dots}}{A_1} \quad (1)$$

式中:

$A_1$ ——控制仪的基波幅值;

$A_2, A_3, A_4, A_5 \dots$ ——为  $A_1$  的二次、三次、四次、五次等谐波幅值。

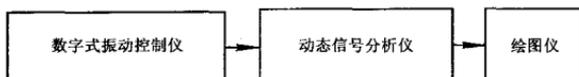


图 1 正弦信号谐波失真度检定框图

### 4.7 数字式振动控制仪随机自闭环加速度功率谱控制动态范围的检定

数字式振动控制仪采用图 2 谱形在适当量级上做随机自闭环控制,信号发生器的输

出端接动态信号分析仪，如图 1 所示。动态信号分析仪采用海宁窗函数，幅值对数坐标。测量控制仪所能均衡的动态范围。其结果应符合本规程 2.4.3 的规定。

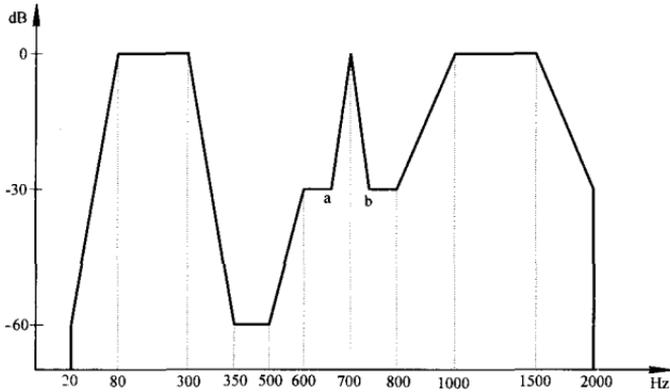


图 2 控制仪随机自闭环加速度功率谱控制动态范围设置

注：a、b 段频率差值要求不大于 40 Hz。

#### 4.8 数字式振动控制仪随机信号的检验

数字式振动控制仪采用图 3 谱形在适当量级上作随机自闭环控制，信号发生器的输出端接动态信号分析仪，如图 1 所示。动态信号分析仪采用矩形窗函数。观察其时域波形、自相关函数、概率密度和概率分布函数。时域波形应无周期性，自相关函数幅值逐渐衰减，概率密度和分布曲线与理论正态分布概率密度和分布曲线相比较，观察其一致性，形状应无严重畸变（见附录 A）。其结果应符合本规程 2.4.4 的规定。

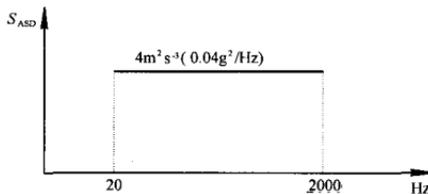


图 3 振动控制仪随机信号的检验谱形设置

#### 4.9 多通道数字式振动控制仪任意两通道之间一致性的检定

多通道数字式振动控制仪在工作频率范围内设置平直谱在适当的量级上做随机自闭环控制。一个通道作为控制通道，其他通道作为测量通道。控制仪输出任两通道之间的传递特性，观察其幅值比和相位差。其 99% 以上的测量值应符合本规程 2.4.5 的规定。

#### 4.10 试验系统加速度信噪比的检定

将加速度计刚性连接在振动台台面中心（或尽可能靠近测控加速度计），其输出通过电荷放大器连接数字电压表。当振动台系统处于工作状态，控制仪输出信号幅值为零，功率放大器增益调至最大，测量台面中心的加速度有效值  $a_0$ ，并按式（2）计算出系统加速度信噪比  $M$ 。计算结果应符合本规程 2.5.1 的规定。

$$M = 20 \lg \frac{a_{\max}}{a_0} \quad (2)$$

式中： $a_{\max}$ ——振动台系统额定最大加速度有效值；

$a_0$ ——动圈无激励信号输入时，台面中心处的加速度有效值。

#### 4.11 试验系统频率响应特性的检定

按 4.10 方法安装加速度计，试验系统频率响应特性测量框图如图 4 所示。随机信号发生器输入给功率放大器白噪声信号。采用动态信号分析仪测量振动台的加速度功率谱密度。幅值采用对数坐标，测量其共振频率并用绘图仪记录频率响应曲线。其结果应符合本规程 2.5.2 的规定。

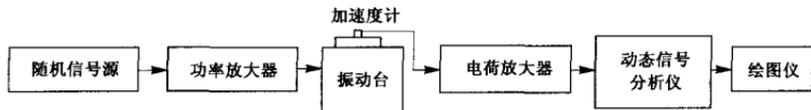


图 4 试验系统频率响应特性测量框图

#### 4.12 试验系统台面加速度谐波失真度的检定

按 4.10 方法安装加速度计，振动台系统台面加速度波形失真度的检定如图 5 所示。

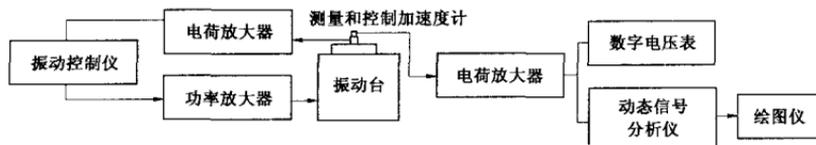


图 5 台面加速度波形失真度检定框图

4.12.1 在试验系统的工作频率范围内，按倍频程选取不少于 10 个频率值（包括上限，下限频率值），测量所选频率下最大振动幅值 50% 的加速度谐波失真度。动态信号分析仪采用平顶窗函数，测量其基波和至少五次谐波，按式（1）计算谐波失真度。

4.12.2 在试验台系统工作频率范围内，采用动态信号分析仪，反复寻找加速度谐波失真度，较大的频率点，并测量该频率下的加速度谐波失真度和所对应的频带宽度。

其结果应符合本规程 2.5.3 的规定。

#### 4.13 试验系统台面幅值均匀度的检定

将不少于 5 只加速度计刚性连接在振动台台面中心和不同直径的安装螺孔分布圆周

上,如图6所示,图中1,2,3,4,5点为加速度计安装点。加速度计通过电荷放大器再接动态信号分析仪的各通道。

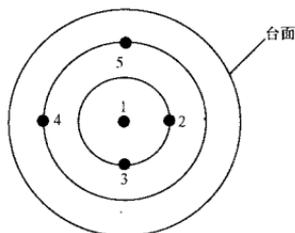


图6 台面幅值均匀度检定加速度计连接分布图

4.13.1 在振动台系统工作频率范围内,按倍频程至少选取10个频率值(包括上、下限频率值)及相应频率下的最大振动幅值的50%以上进行测量,在同次测量中,采用动态信号分析仪(如图5所示)依次测得各个位置的振动加速度幅值,并按式(3)计算出加速度幅值均匀度 $N$ 。

$$N = \frac{|\Delta a_{\max}|}{a} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $a$ ——同次测量中,中心点的加速度幅值;

$|\Delta a_{\max}|$ ——同次测量中,各点加速度值与中心点加速度幅值的最大偏差。

4.13.2 在振动台系统的工作频率范围内,测出振动台台面最大加速度幅值均匀度和所对应的频带宽度,其结果应符合2.5.4的规定。

#### 4.14 试验系统台面横向振动比的检定

将三轴向加速度计刚性连接在振动台台面中心,使三轴向加速度计的 $x$ 轴(或 $y$ 轴)与振动台的耳轴平行。加速度计通过电荷放大器分别接多通道动态信号分析仪。

4.14.1 在振动台工作频率范围内,振动控制仪在主振方向上采用平直加速度功率谱密度随机闭环控制(如图5所示),用动态信号分析仪测量横向加速度频率响应特性 $H_x(f)$ 和 $H_y(f)$ ,确定最大横向振动比及所对应的频带宽度。

4.14.2 在试验系统规定的工作频率范围内,按倍频程选取10个频率值(包括上、下限频率值),在所选频率下以振动台主振方向所允许最大振动幅值的50%以上进行的振动,从动态信号分析仪上依次测量三个方向的加速度幅值,按式(4)计算出横向振动比 $T$ 。

$$T = \frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2}}{a_z} \times 100\% \quad (4)$$

式中:  $a_x$ ,  $a_y$ ——垂直于主振方向的两个互相垂直轴的加速度幅值分量;

$a_z$ ——主振方向的加速度幅值。

其结果应符合本规程2.5.5的规定。

#### 4.15 试验系统台面加速度、速度、位移示值误差的检定

按图5方法安装加速度计及连接测量仪器,在规定的工作频率范围内,选取高、

中、低 3 个频率值，在振动台额定工作特性曲线的位移、速度交越频率下选取低频率值，在速度、加速度交越频率下选取中间频率值，在定加速度频率上选取高频率值。在所选频率值下取大、中、小 3 个振动幅值进行测量，示值误差  $\delta_a$  按式 (5) 计算。其结果应符合本规程 2.5.6 的规定。

$$\delta_a = \frac{a_d - a_s}{a_s} \times 100\% \quad (5)$$

式中： $a_d$ ——试验系统的振动幅值示值；  
 $a_s$ ——动态信号分析仪实测振动幅值。

#### 4.16 扫频定振精度的检定

将加速度计刚性连接在振动台面中心，加速度计经电荷放大器输出到动态信号分析仪。在试验系统工作频率范围内，振动幅值为额定工作特性曲线幅值的 50% 以上作定振扫频振动。定位移到定速度交越频率  $f_1$  和定速度到定加速度交越频率  $f_2$  按式 (6) 计算。

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{v}{0.00314d} \\ f_2 &= \frac{1.56g_n}{v} \end{aligned} \quad (6)$$

式中： $d$ ——峰—峰位移 (mm)；  
 $v$ ——振动速度 (m/s)；  
 $g_n$ ——加速度值，单位为 g ( $g=9.8\text{m/s}^2$ )。

4.16.1 试验系统以 1oct/min 的速率作定振扫频振动，用动态信号分析仪记录其幅频曲线。

4.16.2 试验系统以 1oct/min 的速率作定振扫频振动，按式 (7) 计算理论扫描时间  $t_n$ ，用秒表测量振动台扫频时间  $t$ ，按式 (8) 计算扫频时间误差  $\delta_t$ 。

$$t_n = \frac{\lg(f_H/f_L) \lg 2}{1\text{oct/min}} \quad (7)$$

$$\delta_t = \frac{t - t_n}{t_n} \quad (8)$$

式中： $f_L$ ——振动台系统工作频率下限值；  
 $f_H$ ——振动台系统工作频率上限值。

其结果应符合本规程 2.5.7 的规定。

#### 4.17 加速度幅值示值稳定性的检定

按图 5 方法安装加速度计及连接测量仪器，预选某一频率值，加速度幅值调至此频率下最大加速度幅值的 80%，连续考察 1 小时，每隔 5 分钟记录一次动态信号分析仪加速度幅值示值，加速度幅值示值稳定性按式 (9) 计算。其结果应符合本规程 2.5.8 的规定。

$$S = \frac{|\Delta a_{\max}|}{a_0} \times 100\% \quad (9)$$

式中： $a_0$ ——加速度幅值设定值；

$\Delta a_{\max}$ ——各次测量中，动态信号分析仪加速度幅值示值相对于加速度幅值设定值的最大偏差。

#### 4.18 试验系统正弦推力的检定

将振动台的负载质量刚性安装在振动台台面的中心部位，按图 5 方法安装振动加速度计和连接测量仪器。在振动台额定工作特性曲线的定加速度段选取一个频率值，按式 (10) 计算加速度峰值。振动台系统按此加速度峰值振动 5 分钟，采用动态信号分析仪或数字电压表测量实际的加速度幅值  $a$ ，则最大推力按式 (11) 计算。其结果应符合本规程 2.5.9 的规定。

$$a_{\max} = \frac{F_{\max}}{m_a + m_d} \quad (10)$$

$$F'_{\max} = (m_a + m_d) \cdot a \quad (11)$$

式中： $F_{\max}$ ——振动台最大推力；

$F'_{\max}$ ——振动台实际最大推力；

$m_d$ ——振动台动圈质量；

$m_a$ ——振动台负载质量。

#### 4.19 试验系统加速度功率谱控制动态范围的检定

按图 5 安装加速度计和连接测量仪器。在控制仪上设置图 7 谱形，其加速度总均方根值要大于  $80\text{m/s}^2$  (8g)，振动控制系统均衡控制，采用动态信号分析仪测量振动台台

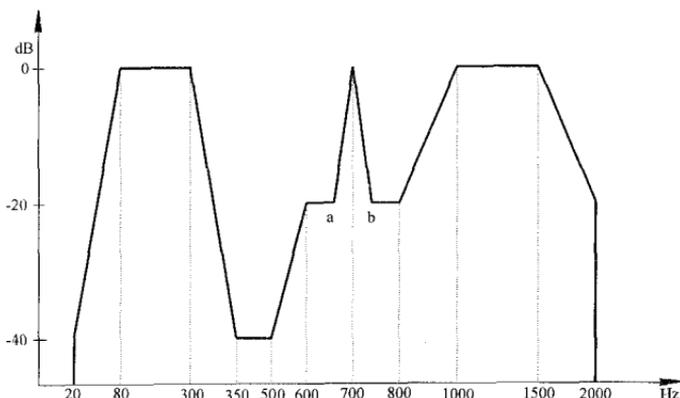


图 7 试验系统加速度功率谱控制动态范围谱形设置

注：a、b 段频率差值要求不大于 40Hz。

面的加速度功率谱控制动态范围，动态信号分析仪采用海宁窗函数，取 100 次以上的平均次数，幅值采用对数坐标，用绘图仪记录并量取动态范围值。其结果应符合本规程

2.6.1 的规定。

#### 4.20 试验系统加速度总均方根值的检定

按图 5 安装加速度计和连接测量仪器，振动台系统设置图 8 谱形，并均衡控制。采用下列方法之一测量加速度总均方根值及带内、带外总均方根值之比。

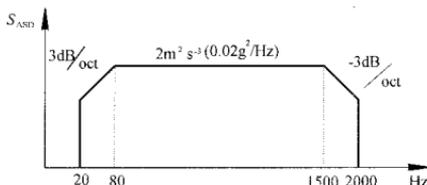


图 8 试验系统检定谱形设置

4.20.1 测量加速度计经电荷放大器再接低通滤波器后接数字电压表。低通滤波器截止频率放置在 2 kHz，数字电压表平均时间放置在 3 s。同时读取数字电压表和振动控制仪的总均方根值示值 20 次以上，分别计算其示值平均值  $A_a$  和  $A_b$ ，按式 (12) 计算示值误差。

$$\delta_A = \frac{A_b - A_a}{A_a} \times 100\% \quad (12)$$

式中： $A_a$ ——数字电压表示值平均值；

$A_b$ ——试验系统示值平均值。

将低通滤波器截止频率设置为 10 kHz，数字电压表平均时间放置在 3 s，读取数字电压表总均方根值示值 20 次以上，计算其平均值  $A_{ay}$ ，按式 (13) 计算频带外加速度总均方根值和频带内加速度总均方根值之比  $R$ 。其结果应符合本规程 2.6.2、2.6.3 的规定。

$$R = \frac{A_{ay} - A_a}{A_a} \times 100\% \quad (13)$$

4.20.2 采用动态信号分析仪测量加速度功率谱密度  $S(f)$ ，幅值采用线性坐标，基带分析，海宁窗函数，平均次数 100 以上，分析上限频率放置在 2 kHz，按式 (14) 计算其加速度总均方根值。

$$A_a = \sqrt{\int_{20}^{2000} S(f) df} \quad (14)$$

式中： $S(f)$ ——加速度功率谱密度函数。

按 4.20.1 方法读取并计算试验系统加速度总均方根值示值平均值  $A_b$ ，按式 (12) 计算其示值误差。

将动态信号分析仪上限频率放置在 10 kHz，经 100 次以上平均后，分别按式 (15) 和 (16) 计算频带内外加速度总均方根值，按式 (17) 计算频带外加速度总均方根值与频带内加速度总均方根值之比  $R$ 。其结果应符合本规程 2.6.2 和 2.6.3 的规定。

$$A_a = \sqrt{\int_{20}^{2000} S(f)df} \quad (15)$$

$$A_{ay} = \sqrt{\int_{2000}^{10000} S(f)df} \quad (16)$$

$$R = \frac{A_{ay}}{A_a} \times 100\% \quad (17)$$

#### 4.21 加速度功率谱密度示值的检定

按图 5 安装加速度计和连接测量仪器，由试验系统按图 9 谱形设置，并均衡。采用动态信号分析仪测量振动台台面的加速度功率谱密度。动态信号分析仪设置海宁窗函数，幅值采用线性坐标，取平均次数 120 次，在谱形的平直段任取 3 个频率值，测量各频率处的加速度功率谱密度值，重复 10 次，计算其平均值  $S_{ASD}$  同时记录振动台系统谱密度示值的平均值  $S'_{ASD}$ ，按式 (18) 计算加速度功率谱密度示值误差。其结果应符合本规程 2.6.4 的规定。

$$\delta_{ASD} = \frac{S'_{ASD} - S_{ASD}}{S_{ASD}} \times 100\% \quad (18)$$

#### 4.22 试验系统加速度总均方根值和功率谱密度控制精度的检定

采用图 5 安装加速度计和连接测量仪器，由振动台系统按图 8 谱形设置，并均衡。

4.22.1 用数字电压表测量其加速度总均方根值，每次测量取 10 个读数，每隔 2 分钟测量一次，共测 5 次。分别计算每次测量的平均值。按式 (19) 分别计算每次加速度总均方根值的控制精度。其结果应符合本规程 2.6.5 的规定。

$$C_A = 20 \lg \frac{A}{A'} \text{ (dB)} \quad (19)$$

式中：A——各次测量加速度总均方根值的平均值；

A'——试验系统设置的加速度总均方根值。

4.22.2 试验系统加速度功率谱密度控制精度的检定可以采用 4.22.2.1 或 4.22.2.2 的方法进行检定。

4.22.2.1 在图 8 谱形的平直段任取一频率值，采用动态信号分析仪测量该频率值的加速度功率谱密度。动态信号分析仪的分析频率上限设置为 2 000 Hz、海宁窗函数、平均次数设为 10，每次测量取 5 个读数，每隔 2 分钟测量一次，共测 5 次。分别计算每次测量的平均值，按式 (20) 分别计算每次加速度功率谱密度控制精度值。取最大值作为加速度功率谱密度控制精度。其结果应符合本规程 2.6.5 的规定。

$$C_D = 10 \lg \frac{\bar{S}'_{ASD}}{S_{ASD}} \text{ (dB)} \quad (20)$$

式中： $\bar{S}'_{ASD}$ ——各次测量加速度功率谱密度值的平均值；

$S_{ASD}$ ——振动台系统设置的加速度功率谱密度值。

4.22.2.2 动态信号分析仪的分析频率上限设置为 2 000 Hz、海宁窗函数、平均次数设为 64，测量试验系统各谱线处的加速度功率谱密度。按 (21) 式计算加速度功率谱密

度控制精度值，取绝对值，舍去 10% 较大的值，然后取最大值为其控制精度。其结果应符合本规程 2.6.5 的规定。

$$C_D = 10 \lg \frac{S_{ASD}}{S_{ASD}} \text{ (dB)} \quad (21)$$

式中： $S_{ASD}$ ——试验系统各谱线处的加速度功率谱密度值；

$S_{ASD}$ ——试验系统设置的加速度功率谱密度值。

#### 4.23 试验系统随机推力的检定

将振动台的负载质量刚性安装在振动台台面的中心部位，按图 5 方法安装加速度计和测量仪器，按式 (22) 计算在此负载下最大加速度总均方根值。按式 (23) 计算加速度功率谱密度  $S_F$ 。

$$a = \frac{F}{m_d + m_e} \quad (22)$$

式中： $F$ ——振动台额定随机推力；

$m_d$ ——振动台动圈质量；

$m_e$ ——振动台负载质量。

$$S_F = \frac{a^2}{1980} \times 1.02 \quad (23)$$

控制仪按图 9 设置谱形，峰值因数设为 3，容差限设为  $\pm 3$  dB，并均衡控制，连续振动 5 分钟，采用动态信号分析仪或数字电压表测量其加速度总均方根值  $a'$ ，按式 (24) 计算随机推力  $F'$ 。其结果应符合本规程 2.6.6 的规定。

$$F' = (m_d + m_e) \cdot a' \quad (24)$$

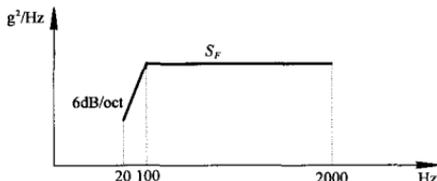


图 9 随机推力检定谱形设置

#### 4.24 试验系统正弦加宽带随机振动加速度总均方根值示值的检定

采用图 5 安装加速度计和连接测量仪器，试验系统按图 10 谱形设置并均衡。测量加速度计经电荷放大器再连接数字电压表。低通滤波器截止频率放置在 500 Hz，数字电压表平均时间放置在 3 s，同时读取数字电压表和振动控制仪总均方根值 20 次以上，分别计算其示值平均值  $A_a$ 、 $A_b$ ，按式 (12) 计算示值误差。其结果应符合本规程 2.7.1 的规定。

#### 4.25 试验系统正弦加宽带随机振动幅值示值的检定

按图 5 安装加速度计和连接测量仪器，试验系统按图 10 谱形设置并均衡。正弦信

号在图 10 的平直段内往返扫频一次，并停留在原位置。采用动态信号分析仪按 4.15 的方法测量加速度峰值和频率，按 4.21 的方法测量加速度功率谱密度。按式 (9) 和 (12) 计算示值误差，其结果应符合本规程 2.7.2 的规定。

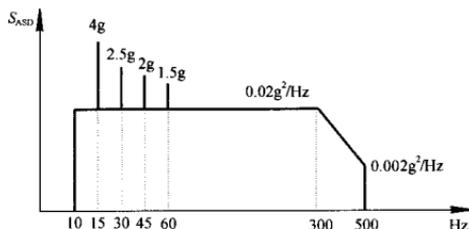


图 10 检定谱形设置

#### 4.26 试验系统正弦加宽带随机振动控制精度的检定

按图 5 安装加速度计和连接测量仪器，试验系统按图 10 谱形设置并均衡。正弦信号连续扫频，扫频速率 1oct/min。用动态信号分析仪记录其幅值曲线。采用 4.22 的方法测量加速度总均方根值和谱密度控制精度。其结果应符合本规程 2.7.3 的规定。

#### 4.27 试验系统窄带随机加宽带随机振动加速度总均方根值示值误差的检定

采用图 5 安装加速度计和连接测量仪器，试验系统按图 11 谱形设置并均衡。测量加速度计经电荷放大器再连接数字电压表。低通滤波器截止频率放置在 2000 Hz，数字电压表平均时间放置在 3 s，同时读取数字电压表和振动控制仪总均方根值 20 次以上，分别计算其示值平均值  $A_a$ 、 $A_b$ ，按式 (12) 计算示值误差。其结果应符合本规程 2.8.1 的规定。

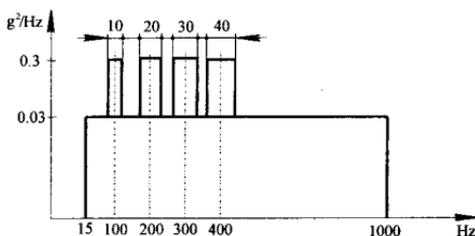


图 11 检定谱形设置

#### 4.28 试验系统窄带随机加宽带随机振动加速度谱密度示值的检定

按图 5 安装加速度计和连接测量仪器，振动台系统按图 11 谱形设置并均衡。窄带随机谱在图 11 的功率谱密度平直段往返扫频一次，并停留在原位置。采用动态信号分析仪按 4.21 的方法测量窄带加速度功率谱密度及中心频率和宽带加速度功率谱密度。按式 (9) 和 (12) 计算示值误差，其结果应符合本规程 2.8.2 的规定。

#### 4.29 试验系统窄带随机加宽带随机振动控制精度的检定

按图 5 安装加速度计和连接测量仪器，振动台系统按图 11 谱形设置并均衡。采用

4.22 的方法测量加速度总均方根值和加速度功率谱密度控制精度。其结果应符合本规程 2.8.3 的规定。

#### 4.30 试验系统基本冲击加速度波形参数的检定

##### 4.30.1 试验系统冲击加速度波形脉冲持续时间的检定

按图 5 安装加速度计和连接测量仪器, 试验系统分别设置脉冲持续时间 11 ms, 脉冲高度  $150\text{m/s}^2$  (15g) 的半正弦、后峰锯齿波、梯形波等基本冲击加速度波形, 并均衡。当被控制波形纳入容差带后, 采用动态信号分析仪分别测量各个波形。首先寻找波形左端的过零点, 然后寻找右端的过零点, 两零点之间的时间差  $t$  (ms) 为此波形的脉冲宽度。按式 (25) 计算其误差, 并用记录仪记录其波形。其结果应符合本规程 2.9.1 的规定。

$$\delta_t = \frac{t - 11}{11} \times 100\% \quad (25)$$

##### 4.30.2 试验系统冲击加速度波形幅值的检定

按 4.31.1 测量各冲击波形。采用动态信号分析仪测量从过零点到波形顶端的脉冲高度  $A_m$ , 若顶部波形有振荡产生, 测量从过零点到顶部振荡的中线脉冲为高度  $A_m$  (g)。按式 (26) 计算其误差, 并用记录仪记录其波形。其结果应符合本规程 2.9.2 条的规定。

$$\delta_{A_m} = \frac{A_m - 15}{15} \times 100\% \quad (26)$$

##### 4.30.3 试验系统冲击脉冲速度变化量的检定

按 4.30.1 和 4.30.2 测量并记录各冲击波形, 在冲击脉冲持续时间内对冲击波形积分, 计算其速度变化量  $\Delta V$  (m/s)。按式 (27)、(28)、(29) 分别计算半正弦、后峰锯齿波、梯形波的速度变化量与各标称值相对误差。其结果应符合本规程 2.9.3 的规定。

$$\delta_{\Delta V_1} = \frac{\Delta V_1 - 1.050}{1.050} \times 100\% \quad (27)$$

$$\delta_{\Delta V_2} = \frac{\Delta V_2 - 0.825}{0.825} \times 100\% \quad (28)$$

$$\delta_{\Delta V_3} = \frac{\Delta V_3 - 1.485}{1.485} \times 100\% \quad (29)$$

## 5 检定结果处理和检定周期

### 5.1 检定结果处理

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, 并注明不合格项目。

### 5.2 检定周期

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

## 附录 A

## 随机信号的检验

## A.1 随机信号平稳性检验

## A.1.1 定性检验方法

采用动态信号分析仪观察数字式振动控制仪的时域输出波形，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，而且从不同的时间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。

## A.1.2 轮次检验方法

A.1.2.1 采用动态信号分析仪采集数字式振动控制仪输出信号的一个样本记录，把此样本记录分成等间距的  $N$  个子段，测量每段的均方值。

A.1.2.2 确定该组均方值的中间值。

A.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。

A.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。

A.1.2.5 按下表判断随机信号的平稳性，其中  $\alpha$  为显著水平。

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	5	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	25	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

## A.2 随机信号周期性检验

### A.2.1 定性检验方法

采用动态信号分析仪测量数字式振动控制仪输出信号的自相关函数，若其自相关函数在时间延持很大时接近于零，则认为被测信号无周期信号。若自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。

### A.2.2 方差检验方法

A.2.2.1 采用动态信号分析仪测量数字式振动控制仪  $T_a$  长的输出信号，观察其功率谱密度曲线是否有陡峰。若有一个或多个陡峰，按下述方法检验。

A.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  $N < 0.1BT$ ）。

A.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：

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

式中： $B$  为分析仪滤波器带宽； $T_a = T/N$ 。

A.2.2.4 按下式计算均方测量值实际的标准化方差：

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

式中： $\hat{G}_i$  为第  $i$  段均方测量值。

A.2.2.5 计算实际的与期望的标准化方差之比：

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

若在统计上  $R_\epsilon$  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  $R_\epsilon$  显著地小于 1，则认为功率谱密度曲线陡峰是由周期分量引起的。判断  $R_\epsilon$  等效于 1 的标准为：

$$R_\epsilon > \frac{\chi_{1-\alpha}^2(N-1)}{N-1} \quad \text{则 } R_\epsilon = 1$$

$$R_\epsilon < \frac{\chi_{1-\alpha}^2(N-1)}{N-1} \quad \text{则 } R_\epsilon < 1$$

式中： $\chi_{1-\alpha}^2(N-1)$  为自由度  $N-1$  的卡埃平方分布； $\alpha$  为判断的显著性水平。

## A.3 随机信号正态性检验

### A.3.1 定性检验方法

采用动态信号分析仪测量振动控制仪输出信号的概率密度曲线，并与理论正态概率密度分布曲线相比较。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。

### A.3.2 卡埃平方拟合优度检验方法

A.3.2.1 采用动态信号分析仪测量振动控制仪输出信号的 1 个样本,按递增次序排列:

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

A.3.2.2 按子样大小确定分组区间  $k$ :

当  $n=200$  时,  $k=18\sim 20$ ;

当  $n=400$  时,  $k=25\sim 30$ ;

当  $n=1000$  时,  $k=35\sim 40$ 。

A.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  $Z_\alpha$  值。

A.3.2.4 由下式计算样本均值和方差:

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

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

A.3.2.5 按  $x = sZ_\alpha + \bar{X}$  计算标准化区间限。

A.3.2.6 把区间限用到样本记录上,确定频数  $f_j$ 。

A.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:

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

式中:  $F = n/k$ 。

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