



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 5170.21—2023

代替 GB/T 5170.21—2008

## 环境试验设备检验方法 第 21 部分：振动 (随机)试验用液压式振动系统

Inspection methods for environmental testing equipments—Part 21: Hydraulic  
vibrating type system for vibration(random) test

2023-09-07 发布

2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	V
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 检验项目 .....	2
5 测量仪器 .....	2
5.1 横向振动测量仪器 .....	2
5.2 随机加速度均方根值测量仪器 .....	2
5.3 随机加速度谱密度测量仪器 .....	2
6 检验条件 .....	3
6.1 环境条件 .....	3
6.2 外观和安全条件 .....	3
6.3 检验用负载 .....	3
6.4 加速度计的安装 .....	3
7 检验方法 .....	3
7.1 外观和工作环境条件的检查 .....	3
7.2 安装负载 .....	3
7.3 安装传感器 .....	3
7.4 横向振动比 .....	3
7.5 加速度均方根值误差 .....	4
7.5.1 加速度均方根值示值误差 .....	4
7.5.2 加速度均方根值带内外比值 .....	4
7.5.3 加速度均方根值均匀性 .....	5
7.6 加速度谱密度示值误差 .....	5
7.7 加速度控制精度容差 .....	5
7.7.1 加速度均方根值控制精度 .....	5
7.7.2 加速度功率谱密度控制精度 .....	6
7.8 额定参数检验 .....	6
7.8.1 最大加速度均方根值的检验 .....	6
7.8.2 最大随机推力的检验 .....	6
7.8.3 最大负载的检验 .....	7
8 测量不确定度 .....	7

9	检验报告 .....	7
10	检验周期.....	8
	附录 A (资料性) 基本参数允许误差 .....	9
	附录 B (资料性) 检验中测量不确定度的描述 .....	10
	B.1 测量扩展不确定度( $U$ )的计算 .....	10
	B.2 整个加速度范围内的加速度测量扩展不确定度 .....	12
	参考文献 .....	14





## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 5170 的第 21 部分。GB/T 5170 已经发布了以下部分：

- GB/T 5170.1—2016 电工电子产品环境试验设备检验方法 第 1 部分：总则；
- GB/T 5170.2—2017 环境试验设备检验方法 第 2 部分：温度试验设备；
- GB/T 5170.5—2016 电工电子产品环境试验设备检验方法 第 5 部分：湿热试验设备；
- GB/T 5170.8—2017 环境试验设备检验方法 第 8 部分：盐雾试验设备；
- GB/T 5170.9—2017 环境试验设备检验方法 第 9 部分：太阳辐射试验设备；
- GB/T 5170.10—2017 环境试验设备检验方法 第 10 部分：高低温低气压试验设备；
- GB/T 5170.11—2017 环境试验设备检验方法 第 11 部分：腐蚀气体试验设备；
- GB/T 5170.13—2018 环境试验设备检验方法 第 13 部分：振动(正弦)试验用机械式振动系统；
- GB/T 5170.14—2023 环境试验设备检验方法 第 14 部分：振动(正弦)试验用电动式振动系统；
- GB/T 5170.15—2018 环境试验设备检验方法 第 15 部分：振动(正弦)试验用液压式振动系统；
- GB/T 5170.16—2018 环境试验设备检验方法 第 16 部分：稳态加速度试验用离心机；
- GB/T 5170.17—2005 电工电子产品环境试验设备基本参数检定方法 低温/低气压/湿热综合顺序试验设备；
- GB/T 5170.18—2022 环境试验设备检验方法 第 18 部分：温度/湿度组合循环试验设备；
- GB/T 5170.19—2018 环境试验设备检验方法 第 19 部分：温度、振动(正弦)综合试验设备；
- GB/T 5170.20—2022 环境试验设备检验方法 第 20 部分：水试验设备；
- GB/T 5170.21—2023 环境试验设备检验方法 第 21 部分：振动(随机)试验用液压式振动系统。

本文件代替 GB/T 5170.21—2008《电工电子产品环境试验设备基本参数检验方法 振动(随机)试验用液压振动台》，与 GB/T 5170.21—2008 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 为了便于使用，重复列出了 GB/T 5170.1 中的某些术语和定义(见 3.2)；
- 更改了检验项目，根据 GB/T 2423.56 试验要求及附录“标准试验谱”相关标准，删除了振动控制仪的检验内容，将振动控制仪与振动台组成振动系统进行检验；增加振动系统加速度均方根值均匀度的检验项目(见第 4 章，2008 年版的第 4 章)；
- 更改了检验方法中的振动系统谱型(见第 7 章，2008 年版的第 8 章)；
- 为了便于使用，列出了具体检验时的环境条件(见 6.1)；
- 根据 GB/T 5170.1 的要求，增加了“检验报告应至少包括以下信息”(见第 9 章)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会(SAC/TC 8)提出并归口。

本文件起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司、厦门赛宝工业技术研究院有限公司、广东中创智腾技术服务有限公司、西安从吾电子科技有限公司、江苏瑞蓝自动化设备集团有限公司、广东莱

GB/T 5170.21—2023

伯通试验设备有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、广州大学、北京中元环试机电设备技术有限公司。

本文件主要起草人：陈东、郑术力、丁翔、刘展、沈晓媛、卢滔、汪卫华、李盛峰、刘放飞、朱纯超、徐忠根、张越。

本文件于 2008 年首次发布，本次为第一次修订。



## 引 言

GB/T 5170《环境试验设备检验方法》主要适用于 GB/T 2423《环境试验 第 2 部分：试验方法》部分标准所用试验设备和类似试验方法标准所用试验设备的检验，目的是确认试验设备是否符合试验方法的要求。GB/T 5170 拟由以下部分组成。

- 第 1 部分：总则。目的在于规定环境试验设备检验的通用术语、检验条件、检验周期等通用要求。
- 第 2 部分：温度试验设备。目的在于规定温度(含低温、高温和温度变化)试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 5 部分：湿热试验设备。目的在于规定湿热试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 8 部分：盐雾试验设备。目的在于规定盐雾试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 9 部分：太阳辐射试验设备。目的在于规定太阳辐射试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 10 部分：高低温低气压试验设备。目的在于规定高低温低气压(含低气压、低温低气压和高温低气压)试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 11 部分：腐蚀气体试验设备。目的在于规定腐蚀气体试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 13 部分：振动(正弦)试验用机械式振动系统。目的在于规定振动(正弦)试验用机械式振动系统的检验方法及相关要求。
- 第 14 部分：振动(正弦)试验用电动式振动系统。目的在于规定振动(正弦)试验用电动振动台的检验方法及相关要求。
- 第 15 部分：振动(正弦)试验用液压式振动系统。目的在于规定振动(正弦)试验用液压式振动系统的检验方法及相关要求。
- 第 16 部分：稳态加速度试验用离心机。目的在于规定稳态加速度试验用离心机的检验方法及相关要求。
- 第 17 部分：低温/低气压/湿热综合顺序试验设备。目的在于规定低温/低气压/湿热综合顺序试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 18 部分：温度/湿度组合循环试验设备。目的在于规定温度/湿度组合循环试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 19 部分：温度、振动(正弦)综合试验设备。目的在于规定温度、振动(正弦)综合试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 20 部分：水试验设备。目的在于规定水试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 21 部分：振动(随机)试验用液压式振动系统。目的在于规定振动(随机)试验用液压振动台的检验方法及相关要求。
- 第 22 部分：声振试验用混响场试验设备。目的在于规定声振试验用混响场试验设备检验的项目、条件、矩阵、方法、结果的处理和时间间隔。

本文件给出的检验方法主要用于 GB/T 2423.56 和 GB/T 2424.25 振动试验用液压振动系统的检验。振动(随机)试验用液压式振动系统是用来产生振动(随机)激励的一套环境试验设备，用于对试件进行预先规定条件的振动(随机)试验，其检验方法是质量表征的基本手段，可靠一致的检验方法是检验数据可比性的保证。根据 GB/T 2423.56 试验要求，文件对振动(随机)试验用液压式振动系统的检验方法做了规定。



## 环境试验设备检验方法 第21部分:振动 (随机)试验用液压式振动系统

### 1 范围

本文件规定了振动(随机)试验用液压式振动系统(以下简称“振动系统”)的特性要求、测量仪器、测量不确定度、检验负载、检验条件、检验方法、检验结果、检验周期等内容。

本文件适用于 GB/T 2423.56 和 GB/T 2424.25 振动试验用液压式振动系统的检验。

本文件也适用于类似试验设备的检验。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5170.1 电工电子产品环境试验设备检验方法 第1部分:总则

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

### 3 术语和定义

GB/T 5170.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**台面振动幅值均匀度 amplitude uniformity for vibration table**

振动系统台面任意一点振动幅值(加速度、速度或位移)和参考点振动幅值(加速度、速度或位移)相对偏差的最大绝对值。

#### 3.2

**横向振动比 transverse vibration ratio**

振动系统或冲击台沿垂直于工作轴方向运动的加速度均方根值(功率谱密度值)与工作轴方向的加速度均方根值(功率谱密度值)的最大比值。

[来源:GB/T 5170.1—2016,3.3.21,有修改]

#### 3.3

**加速度均方根值 root mean square acceleration; GRMS**

在频率下限  $f_1$  与频率上限  $f_2$  区间内,加速度的平方的平均值的平方根值。一般通过加速度谱密度曲线的面积的开平方根求解。

#### 3.4

**加速度谱密度 acceleration spectral density; ASD**

当在带宽趋于零和平均时间趋于无穷的极限状态下,各单位带宽上通过中心频率窄带滤波器的加速度信号均方值。用于表征随机信号中各个频率分量所包含的加速度均方值在频域上的分布情况。

注:单位为  $\text{m}^2/\text{s}^3$  或  $(\text{m}/\text{s}^2)^2/\text{Hz}$ 。

## 3.5

**功率谱密度 power spectral density; PSD**

当在带宽趋于零和平均时间趋于无穷的极限状态下,单位时间单位带宽内的功率。用于表征随机信号的各个频率分量所包含的功率在频域上的分布情况,平稳随机过程的功率谱密度是其自相关函数的傅里叶变换。

注:单位为  $g^2/\text{Hz}$ 。

## 4 检验项目

振动系统的检验项目见表 1。

表 1 检验项目

序号	检验项目
1	横向振动比
2	加速度均方根值示值误差
3	加速度均方根值带内外比值
4	加速度均方根值均匀度
5	加速度谱密度示值误差
6	加速度控制精度容差
7	额定参数
注:检验项目根据 GB/T 2423.56、GB/T 2424.25 或有关标准、合同、用户的具体要求选择。检验项目的允许误差参考附录 A。	

## 5 测量仪器

## 5.1 横向振动测量仪器

采用由正立方体将 3 个加速度计组成一个两两正交的三轴向加速度计,带积分和滤波网络的放大器,动态信号分析仪组成的振动测量系统,振动测量系统的扩展不确定度优于 3%(包含因子  $k=2$ )。

## 5.2 随机加速度均方根值测量仪器

采用由加速度计(包括三轴向加速度计),带积分和滤波网络的放大器,动态信号分析仪组成的加速度均方根值测量系统,加速度均方根值测量系统的扩展不确定度优于 3%( $k=2$ )。

## 5.3 随机加速度谱密度测量仪器

采用由加速度计(包括三轴向加速度计),带积分和滤波网络的放大器,动态信号分析仪组成的加速度谱密度测量系统,加速度谱密度测量系统的扩展不确定度优于 3%( $k=2$ )。



## 6 检验条件

### 6.1 环境条件

检验时的环境条件为：

- a) 环境温度为(15~35)℃,相对湿度不大于80%；
- b) 电源电压的变化应在额定电压的±10%范围内；
- c) 振动系统应保持清洁,周围无腐蚀性气体、液体；
- d) 振动系统在检验时的其他条件应符合 GB/T 5170.1 的规定。

### 6.2 外观和安全条件

振动系统的外观和安全条件应符合 GB/T 5170.1 的规定。

### 6.3 检验用负载

检验用负载应是由金属材料制成外形对称的刚体。负载的表面与振动系统的表面的平面度应优于 0.1 mm,表面粗糙度  $Ra$  应优于  $5.0 \mu\text{m}$ 。负载与台面牢固连接,固定点均匀分布且不少于 4 个。

### 6.4 加速度计的安装

加速度计应牢固地固定在台面中心及离台面中心最远的 4 个安装点上。

## 7 检验方法

### 7.1 外观和工作环境条件的检查

对振动系统的工作环境条件和外观进行检查。

### 7.2 安装负载

根据检验要求选择空载或安装检验用负载。

### 7.3 安装传感器

振动系统按规定准备完毕,按第 6 章的要求,在振动系统台面或负载上安装加速度计,并连接好测量系统。

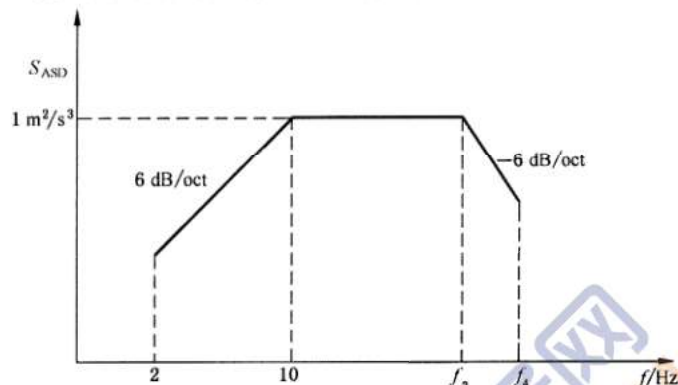
### 7.4 横向振动比

振动系统空载,将三轴向加速度计牢固地连接在振动系统台面中心,加速度计(含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。振动系统按图 1 谱型设置,一般谱型的拐点  $f_3$  和上限频率  $f_4$  分别取 80 Hz 和上限频率(上限频率大于 200 Hz 的取 200 Hz),如果振动系统的工作频率上限达不到 200 Hz, $f_3$ 、 $f_4$  可根据振动系统的产品技术指标调整,并均衡控制。在同次测量中,采用动态信号分析仪依次测量三个方向的振动加速度均方根值,按公式(1)计算出横向振动比,并通过分析仪的传递函数功能计算出水平两个方向的加速度谱密度与垂直方向的加速度谱密度的比值,取平直段的最大值。

$$T = \max_i \left\{ \frac{a_T(t)}{a_z} \right\} \times 100\% = \max_i \left\{ \frac{\sqrt{a_x^2(t) + a_y^2(t)}}{a_z} \right\} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- $T$  —— 振动系统台面随机加速度均方根值横向振动比；
- $a_T(t)$  ——  $t$  时刻垂直于主振方向平面内的随机加速度均方根值，单位为米每二次方秒( $m/s^2$ )；
- $a_x(t)、a_y(t)$  ——  $t$  时刻垂直于主振方向平面内两个正交的横向随机加速度均方根值，单位为米每二次方秒( $m/s^2$ )；
- $a_z$  —— 主振方向的随机加速度均方根值，单位为米每二次方秒( $m/s^2$ )。



注： $f_3$ 和 $f_4$ 分别取80 Hz和上限频率(上限频率大于200 Hz的取200 Hz)。

图 1 随机加速度均方根值检定谱型

## 7.5 加速度均方根值误差

### 7.5.1 加速度均方根值示值误差

振动系统空载，振动系统控制加速度计与检验用加速度计肩并肩安装，并牢固地连接在振动试验系统台面中心，加速度计(含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。振动系统按图 1 谱型设置，一般谱型的拐点  $f_3$  和上限频率  $f_4$  分别取 80 Hz 和上限频率(上限频率大于 200 Hz 的取 200 Hz)，如果振动系统的工作频率上限达不到 200 Hz， $f_3、f_4$  可根据振动系统的产品技术指标调整，并均衡控制。

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，采用基带分析，使用海宁窗函数，平均次数 100 以上，分析上限频率放置在 200 Hz，测量 2 Hz~上限频率(上限频率大于 200 Hz 的取 200 Hz)内的加速度均方根值，重复 20 次，计算其平均值  $A_a$ 。同时读取振动控制器的均方根值示值 20 次，计算其示值平均值  $A_b$ ，按公式(2)计算示值误差。

$$\sigma_A = \frac{A_b - A_a}{A_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- $\sigma_A$  —— 振动系统随机加速度均方根值示值误差；
- $A_a$  —— 动态信号分析仪示值平均值，单位为米每二次方秒( $m/s^2$ )；
- $A_b$  —— 振动系统示值平均值，单位为米每二次方秒( $m/s^2$ )。

### 7.5.2 加速度均方根值带内外比值

振动系统空载，按 7.5.1 方法安装加速度计及连接测量仪器，设置振动系统谱型。将动态信号分析仪上限频率放置在 1 kHz，经 100 次以上平均，达到均衡后，分别测量 2 Hz~上限频率(上限频率大于 200 Hz 的取 200 Hz)内的加速度均方根值和上限频率(上限频率大于 200 Hz 的取 200 Hz)~1 kHz 内的带外加速度均方根值，按公式(3)计算频带外加速度均方根值与频带内加速度均方根值之比。重复 10 次计算其平均值。



$$R = \frac{A'_{ay}}{A'_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- $R$  ——频带外加速度均方根值与频带内加速度均方根值之比;  
 $A'_{ay}$  ——频带为上限频率~1 kHz 的加速度均方根值,单位为米每二次方秒( $m/s^2$ );  
 $A'_a$  ——频带为 2 Hz~上限频率的加速度均方根值,单位为米每二次方秒( $m/s^2$ )。

### 7.5.3 加速度均方根值均匀性

振动系统空载,将不少于 5 个加速度计均匀分布,其中 5 个加速度计应牢固连接在振动试验系统台面中心及离台面中心最远的 4 个安装点上,加速度计(含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。振动系统设置图 1 谱型,并均衡控制。在同次测量中,采用动态信号分析仪依次测得各个位置的振动加速度均方根值,并按公式(4)计算出均匀度。

$$N = \frac{|\Delta A_{\max}|}{A} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- $N$  ——振动系统台面加速度均方根值均匀度;  
 $A$  ——同次测量中,中心点的加速度均方根值,单位为米每二次方秒( $m/s^2$ );  
 $|\Delta A_{\max}|$  ——同次测量中,各点与中心点总均方根值的最大偏差,单位为米每二次方秒( $m/s^2$ )。

### 7.6 加速度谱密度示值误差

振动系统空载,将加速度计牢固地连接在振动系统台面中心,加速度计(含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。振动系统设置图 1 谱型,并均衡控制。采用动态信号分析仪测量振动系统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 100 次,在谱型的平直段任取 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  $S_{ASD}$  同时记录振动系统谱密度示值的平均值  $S'_{ASD}$ ,按公式(5)计算加速度功率谱密度示值误差。

$$\delta_{ASD} = \frac{S'_{ASD} - S_{ASD}}{S_{ASD}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- $\delta_{ASD}$  ——振动系统随机加速度功率谱密度示值误差,%;  
 $S_{ASD}$  ——各频率处的加速度功率谱密度平均值,单位为二次方米每三次方秒( $m^2/s^3$ );  
 $S'_{ASD}$  ——振动系统谱密度示值的平均值,单位为二次方米每三次方秒( $m^2/s^3$ )。

### 7.7 加速度控制精度容差

#### 7.7.1 加速度均方根值控制精度

振动系统空载,将加速度计牢固地连接在振动系统台面中心,加速度计(含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。振动系统设置图 1 谱型,并均衡控制。用动态信号分析仪测量加速度均方根值,每次测量取 10 个读数,每隔 2 min 测量一次,共测 5 次。分别计算每次测量的平均值。按公式(6)分别计算每次加速度均方根值的控制精度。

$$C_A = 20 \lg \frac{A}{A'} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- $C_A$  ——振动系统加速度均方根值控制精度,单位为分贝(dB);



- A ——各次测量加速度均方根值的平均值,单位为米每二次方秒(m/s<sup>2</sup>);
- A' ——振动系统设置的加速度均方根值,单位为米每二次方秒(m/s<sup>2</sup>)。

7.7.2 加速度功率谱密度控制精度

振动系统空载,将加速度计牢固地连接在振动系统台面中心,加速度计(含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。振动系统设置图 1 谱型,并均衡控制。振动系统加速度功率谱密度控制精度的检验可采用方法 1 或方法 2 进行检验。

方法 1:在图 1 谱型的平直段接近中间位置任取一频率值,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 200 Hz、海宁窗函数、平均次数设为 10,每次测量取 10 个读数,每隔 2 min 测量一次,共测 5 次。分别计算每次测量的平均值,按公式(7)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。

$$C_D = 10 \lg \frac{\bar{S}_{ASD}}{S'_{ASD}} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- C<sub>D</sub> ——振动系统加速度功率谱密度控制精度,单位为分贝(dB);
- $\bar{S}_{ASD}$  ——各次测量加速度功率谱密度值的平均值,单位为二次方米每三次方秒(m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>);
- S'<sub>ASD</sub> ——振动系统设置的加速度功率谱密度值,单位为二次方米每三次方秒(m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>)。

方法 2:动态信号分析仪的分析频率上限设置为 200 Hz、海宁窗函数、平均次数设为 64,测量振动系统各谱线处的加速度功率谱密度。按公式(8)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。

$$C_D = 10 \lg \frac{S_{ASD}}{S'_{ASD}} \dots\dots\dots(8)$$

式中:

- C<sub>D</sub> ——振动系统加速度功率谱密度控制精度,单位为分贝(dB);
- S<sub>ASD</sub> ——振动系统各谱线处的加速度功率谱密度值,单位为二次方米每三次方秒(m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>);
- S'<sub>ASD</sub> ——振动系统设置的加速度功率谱密度值,单位为二次方米每三次方秒(m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>)。

7.8 额定参数检验

7.8.1 最大加速度均方根值的检验

振动台空载,将加速度计牢固地连接在振动系统台面中心,加速度计(含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。振动系统设置图 2 谱型,峰值因子设为 3,容差限设为±3 dB,按有关技术文件设置最大加速度均方根值,并均衡控制,连续振动 5 min,采用动态信号分析仪测量其加速度均方根值。

7.8.2 最大随机推力的检验

将振动台的负载(其质量不小于额定负载的 30%)牢固地安装在振动台台面中心部位,将加速度计牢固地连接在振动系统台面中心,加速度计(含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。振动系统设置图 2 谱型,峰值因子设为 3,容差限设为±3 dB,按公式(9)计算结果设置加速度均方根值,并均衡控制,连续振动 5 min,采用动态信号分析仪测量其加速度均方根值。

$$a = \frac{F}{m_d + m_e} \dots\dots\dots(9)$$

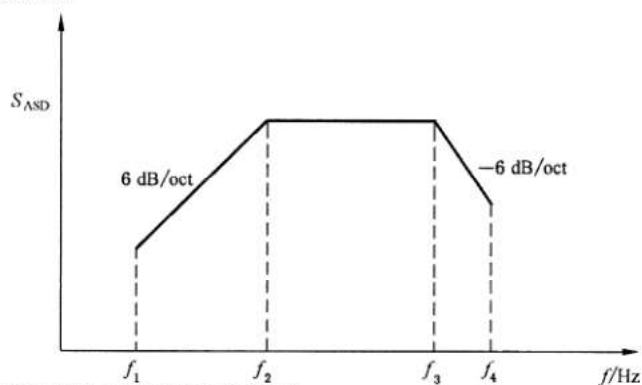
式中:

- a ——加速度均方根值;

$F$  —— 振动台额定随机推力；

$m_d$  —— 振动台运动部件质量；

$m_e$  —— 振动台负载质量。



注： $f_1 \sim f_4$ 根据振动系统的产品技术指标进行设置。

图2 随机推力检定谱型设置

### 7.8.3 最大负载的检验

将额定质量的负载牢固地安装在振动台台面中心部位,将加速度计牢固地连接在振动系统台面中心,加速度计(含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。振动系统设置图2谱型,峰值因子设为3,容差限设为 $\pm 3$  dB,按产品说明书要求设置加速度均方根值,使得推力不小于额定推力的30%,并均衡控制,连续振动5 min,采用动态信号分析仪测量其加速度均方根值。

## 8 测量不确定度

应按照JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示,测量不确定度应使用扩展不确定度 $U$ 来表达。本文件的使用者参考附录B,评定测量系统的扩展不确定度,确认其满足第5章的要求。

## 9 检验报告

检验结果应在检验报告中反映,检验报告应至少包括以下信息:

- a) 标题“检验报告”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行检验的地点(如果与实验室的地址不同);
- d) 证书的唯一性标识(如编号),每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被检对象的描述和明确标识;
- g) 进行检验的日期,如果与检验结果的有效性和应用有关时,应说明被检对象的接收日期;
- h) 检验所依据的标准的标识,包括名称及代号;
- i) 本次检验所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- j) 检验环境的描述;
- k) 对标准偏离的说明;
- l) 检验不确定度说明;
- m) 检验人员、核验人员的签名,签发人员的签名、职务或等效标识;

- n) 明确的结论；
- o) 检验单位公章；
- p) 检验结果仅对被检对象有效的声明；
- q) 未经实验室书面批准,不应部分复制证书的声明。

## 10 检验周期

正常使用的设备,每一年至少进行一次检验。对设备的重要部位(指对试验条件的变化有直接影响的部位)维修或更换后,应立即进行检验。设备在安装调试之后或启封重新使用之前均应进行检验。





附 录 A  
(资料性)  
基本参数允许误差

除非有关规范另有规定,振动系统检验时,基本参数的允许误差可参照表 A.1。

表 A.1 基本参数允许误差

序号	检验项目	允许误差	备注
1	横向振动比	横向振动的测量仅需在振动系统工作频率范围内进行,振动系统台面随机加速度均方根值横向振动比不大于50%,振动系统台面的加速度谱密度横向振动比不超过-3 dB	在某些情况下,要达到上面的要求是困难的,对于台面最外圈安装螺栓孔之间的最远分布距离大于1 000 mm的大尺寸台面,厂商相关文件给出横向振动比的指标
2	加速度均方根值示值误差	±10%	—
3	加速度均方根值带内外比值	10%	振动系统工作频率范围外加速度均方根值与工作频率范围内加速度均方根值的比值
4	加速度均方根值均匀度	25%	振动系统工作时,振动系统台面随机加速度均方根值的均匀度
5	加速度谱密度示值误差	25%	振动系统在所要求轴线上的随机振动加速度谱密度示值误差
6	加速度控制精度容差	±25%	振动系统在所要求轴线上的随机振动加速度谱密度示值误差
7	额定参数	振动系统在工作频率范围内的随机推力、空载或满载时的最大加速度均方根值及连续工作时间可参考厂家给出的各项技术指标	—

## 附录 B

(资料性)

## 检验中测量不确定度的描述

B.1 测量扩展不确定度( $U$ )的计算

## B.1.1 目的

参照 JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示方法,建议用“扩展不确定度” $U$  来表述检验中的测量不确定度。给出  $U$  的目的是提供  $y-U$  到  $y+U$  的一个区间,在这个区间里期望  $Y$  值能具有高的概率。为确信估计  $y-U \leq Y \leq y+U$ ,扩展不确定度按以下方法确定。

## B.1.2 分析不确定度来源和建立测量模型

## B.1.2.1 分析不确定度来源

由测量所得的测得值只是被测量的估计值,测量中可能导致测量不确定度的来源一般可从以下方面考虑:

- a) 被测量的定义不完整;
- b) 复现被测量的测量方法不理想;
- c) 取样的代表性不够,即被测样本不能代表所定义的被测量;
- d) 对测量过程受环境影响的认识不恰如其分或对环境的测量与控制不完善;
- e) 对模拟式仪器的读数存在人为偏移;
- f) 测量仪器的计量性能(如最大允许误差、灵敏度、鉴别力、分辨力、死区及稳定性等)的局限性导致的不确定度,即仪器的不确定度;
- g) 测量标准或标准物质提供的量值的不确定度;
- h) 引用的数据或其他参量的不确定度;
- i) 测量方法和测量程序中的近似和假设;
- j) 在相同条件下重复观测中测得的量值的变化。

测量不确定度的来源根据实际测量情况进行具体分析。分析测量不确定度来源时,除了定义的不确定度外,可从测量仪器、测量环境、测量人员、测量方法等方面全面考虑,特别要注意对测量结果影响较大的不确定度来源,尽量做到不遗漏、不重复。修正仅仅是对系统误差的补偿,修正值是具有不确定度的。在评定已修正的被测量的估计值的测量不确定度时,要考虑修正引入的不确定度。

## B.1.2.2 建立测量模型

测量中,当被测量(即输出量) $Y$  由  $N$  个其他量  $X_1, X_2, \dots, X_N$  (即输入量),通过函数  $f$  来确定时,则公式(B.1)称为测量模型。

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$f$ ——测量函数。

设输入量  $X_i$  的估计值为  $x_i$ ,被测量  $Y$  的估计值为  $y$ ,则测量模型可写成公式(B.2)的形式。

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

### B.1.3 标准不确定度的评定

#### B.1.3.1 概述

每个测量不确定度的来源用其概率分布的标准偏差估计值表征,称标准不确定度分量,用  $u_i$  表示。标准不确定度分量的评定就是要获得每个分量的标准偏差估计值。根据对  $X_i$  的一系列测得值  $x_i$  得到实验标准偏差的方法为 A 类评定,根据有关信息估计的先验概率分布得到标准偏差估计值的方法为 B 类评定。在识别不确定度来源后,对不确定度各个分量作一个预估算是必要的,测量不确定度评定的重点放在识别并评定那些重要的、占支配地位的分量上。

#### B.1.3.2 标准不确定度的 A 类评定

对被测量进行独立重复测量,通过所得到的一系列测得值,用统计分析方法获得实验标准偏差  $s(x)$ ,当用算术平均值  $\bar{x}$  作为被测量估计值时,被测量估计值的 A 类标准不确定度见公式(B.3)。

$$u_A = u(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (B.3)$$

A 类评定时,重复测量的方法尽可能考虑随机影响的来源,使其反映到测得值中去。如加速度计安装是测量程序的一部分,获得 A 类评定的数据时注意每次测量要重新安装加速度计,以便计入每次安装的随机变化导致的不确定度分量。

#### B.1.3.3 标准不确定度的 B 类评定

根据有关的信息或经验,判断被测量的可能值区间  $[\bar{x}-a, \bar{x}+a]$ ,假设被测量值的概率分布,根据概率分布和要求的概率  $p$  确定  $k$ ,则 B 类标准不确定度  $u_B$  可由公式(B.4)得到。

$$u_B = \frac{a}{k} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

$a$  ——被测量可能值区间的半宽度。

区间半宽度  $a$  根据有关信息确定,信息来源一般有:

- a) 以前测量的数据;
- b) 对有关材料和测量仪器特性的了解和经验;
- c) 生产厂提供的技术说明书;
- d) 校准证书、检定证书或其他文件提供的数据;
- e) 手册或某些资料给出的参考数据及其不确定度;
- f) 检定规程、校准规范或测试标准中给出的数据;
- g) 其他有用的信息。

### B.1.4 计算合成不确定度

当被测量  $Y$  由  $N$  个其他量  $X_1, X_2, \dots, X_N$  通过线性测量函数  $f$  确定时,被测量的估计值  $y$  为:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

被测量的估计值  $y$  的合成标准不确定度  $u_c(y)$  按公式(B.5)计算。

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)} \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

$y$  ——被测量  $Y$  的估计值,又称输出量的估计值;



- $x_i$  —— 输入量  $X_i$  的估计值, 又称第  $i$  个输入量的估计值;
- $\partial f/\partial x_i$  —— 被测量  $Y$  与有关的输入量  $X_i$  的函数对于  $x_i$  的偏导数, 称灵敏系数;
- $u(x_i)$  —— 输入量  $x_i$  的标准不确定度;
- $r(x_i, x_j)$  —— 输入量  $x_i$  与  $x_j$  的相关系数,  $r(x_i, x_j)u(x_i)u(x_j) = u(x_i, x_j)$ ;
- $u(x_i, x_j)$  —— 输入量  $x_i$  与  $x_j$  的协方差。

当各输入量间均不相关时, 相关系数为零。被测量的估计值  $y$  的合成标准不确定度  $u_c(y)$  按公式(B.6)计算。

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)} \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

当简单直接测量, 测量模型为  $y=x$  时, 分析和评定测量时导致测量不确定度的各分量, 若相互间不相关, 则[见公式(B.7)]:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

**B.1.5 扩展不确定度**

扩展不确定度  $U$  由合成标准不确定度  $u_c$  乘包含因子  $k$  得到, 按公式(B.8)计算。

$$U = k u_c \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

在通常的测量中, 一般取  $k=2$ 。当取其他值时, 说明其来源。当给出扩展不确定度  $U$  时, 一般注明所取的  $k$  值。若未注明  $k$  值, 则指  $k=2$ 。

当  $y$  和  $u_c(y)$  所表征的概率分布近似为正态分布时, 且  $u_c(y)$  的有效自由度较大情况下, 若  $k=2$ , 则由  $U=2u_c$  所确定的区间具有的包含概率约为 95%。若  $k=3$ , 则由  $U=3u_c$  所确定的区间具有的包含概率约为 99%。

**B.1.6 报告结果**

完整的测量结果包含被测量的估计值及其测量不确定度以及有关的信息。报告尽可能详细, 以便使用者可正确地利用测量结果。

**B.2 整个加速度范围内的加速度测量扩展不确定度**

对于某一个加速度均方根值和信号适调放大器增益设置, 可用公式(B.9)计算加速度的相对扩展不确定度  $U$ 。

$$U = k u_{c,rel}(A) \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

式中:

- $k$  —— 包含因子;
- $u_{c,rel}(A)$  —— 加速度相对合成标准不确定度。

公式(B.9)中  $u_{c,rel}(A)$  可由公式(B.10)计算得到:

$$u_{c,rel}(A) = \frac{1}{A} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)}$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u_{rel}^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u_{rel}(x_i) u(x_j)} \quad \dots\dots (B.10)$$

式中:

- $A$  —— 被测量加速度均方根值;
- $x_i$  —— 输入量  $X_i$  的估计值;

- $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$  —— 估计加速度均方根值；  
 $\partial f / \partial x_i$  —— 被测量  $Y$  与有关的输入量  $X_i$  的函数对于  $x_i$  的偏导数，称灵敏系数；  
 $u(x_i)$  —— 输入量  $x_i$  的标准不确定度；  
 $r(x_i, x_j)$  —— 输入量  $x_i$  与  $x_j$  的相关系数， $r(x_i, x_j)u(x_i)u(x_j) = u(x_i, x_j)$ ；  
 $u(x_i, x_j)$  —— 输入量  $x_i$  与  $x_j$  的协方差(如果不相关，则为零)。

表 B.1 列出了一些不确定度来源，该表包含了所有重要的不确定度来源，但不能保证包括了全部。

表 B.1 加速度的相对测量不确定度评定

序号	标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	相对扩展不确定度或估计误差分量的范围	包含因子	相对不确定度贡献 $u_{rel,i}(A)/\%$
1	$u(S)$	加速度计幅值灵敏度的校准	2	1/2	1
2	$u(S_s)$	不确定度	0.5	$1/\sqrt{3}$	0.29
3	$u(G)$	加速度计幅值灵敏度的年稳定度	0.1	$1/\sqrt{3}$	0.058
4	$u(e_s)$	适调放大器的增益	0.1	$1/\sqrt{3}$	0.058
5	$u(e_r)$	适调放大器的归一化	0.1	$1/\sqrt{3}$	0.058
6	$u(V)$	适调放大器的频率响应	0.2	$1/\sqrt{3}$	0.115
7	$u(e_{R,N})$	交流电压幅值的测量不确定度	0.05	$1/\sqrt{3}$	0.029
8	$u(e_h)$	安装参数(电缆的固定、扭矩等)的影响	0.002 4	$1/\sqrt{3}$	0.001 4
9	$u(e_{Tf})$	加速度谐波失真度	0.5	1/3	0.167
10	$u(e_{\pi})$	横向运动比的测量的影响	0.05	$1/\sqrt{3}$	0.029
11	$u(e_{\pi})$	基座应变的测量的影响	0.03	$1/\sqrt{3}$	0.017
12	$u(e_{nl})$	传感器非线性的测量的影响	0.03	$1/\sqrt{3}$	0.017
13	$u(e_{\pi})$	动态信号采集仪非线性的影响	0.00	$1/\sqrt{3}$	0.00
14	$u(e_m)$	重力测量的影响	0.03	$1/\sqrt{3}$	0.017
15	$u(e_e)$	振动系统的磁场的的影响	0.03	$1/\sqrt{3}$	0.017

参 考 文 献

- [1] GB/T 2423.56 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fh:宽带随机振动和导则  
[2] GB/T 2424.25 电工电子产品环境试验 第3部分:试验导则 地震试验方法
- 

