

ICS 19.040  
K 04



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 2423.58—2008/IEC 60068-2-80:2005

## 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Fi：振动 混合模式

Environmental testing for electric and electronic products—  
Part 2: Tests methods—Test Fi: Vibration—Mixed Mode

(IEC 60068-2-80:2005 Ed. 1.0, IDT)



2008-05-19 发布

2009-01-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

GB/T 2423《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法》按试验方法分为若干部分。

本部分为 GB/T 2423 的第 58 部分。

本部分等同采用 IEC 60068-2-80:2005(Ed. 1.0)《环境试验 第2-80部分：试验方法 试验 Fi：振动混合模式》。

本部分引用的规范性文件中有一部分目前尚未转化为等同采用的国家标准，在引用这些规范性文件时仍以 IEC/ISO 的编号列出。

为便于使用，本部分做了下列编辑性修改：

- a) “IEC 60068 的本部分”一词改为“GB/T 2423 的本部分”或“本部分”；
- b) 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”；
- c) 为了与现有 GB/T 2423 其他各部分的名称一致而将本部分改为当前名称。

本部分的附录 A、附录 B 是资料性附录。

本部分由中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。

本部分起草单位：上海市质量监督检验技术研究院、信息产业部电子第五研究所、广州大学、北京航空航天大学、北京中元微型仪器公司、上海工业自动化仪表研究所、航天 511 所、苏州试验仪器总厂。

本部分主要起草人：卢兆明、纪春阳、徐忠根、吴斌、张越、史晓雯、朱子宏、忻龙、常少莉、徐立义、林嘉怡。

## 引 言

本部分描述的混合模式振动试验方法要求采用数字控制的宽带随机技术和以宽带随机为背景的正弦和/或规定的窄带随机的混合技术。

本部分描述的混合模式振动试验方法通常应用于元件、设备和其他产品(下文称样品)的复杂特性的宽带响应模拟。

本部分描述的混合模式振动试验方法基于采用计算机控制的电动或液压振动试验系统。

本部分描述的混合模式振动试验方法一般需要某种程度的工程判断,供需双方都应充分意识到这一点。应该由有关规范的编写者选定试验方法和适合于样品及其用途的严酷等级。

# 电工电子产品环境试验

## 第2部分:试验方法

### 试验 Fi:振动 混合模式

#### 1 范围

本部分提供的试验方法,适用于需要经受模拟复杂以及混合激励振动试验的样品。

本部分的目的是要验证在经受规定的混合模式激励后,样品在功能和/或结构上不会产生不可接受的降低。当实际环境的振动测量数据具有混合模式时,用本方法剪裁振动环境特别适合。

本部分也适用于揭示随机与正弦和/或随机混合振动应力累积效应,以及由此导致的样品机械缺陷和规定性能的降低,这些信息结合有关规范可评定样品的可接受性。在某些情况下,本试验方法也适用于验证样品的机械强度。

本部分也适用于在运输或实际使用环境中可能经受随机和/或随机与确定特性组合的振动的样品,如在航空器,航天器以及运输中将被装在运输容器内,并将运输容器作为样品本身的一部分。

本部分适用于电工电子产品,也适用于其他需要的领域。

#### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 2423 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 2421—1999 电工电子产品环境试验 总则(idt IEC 60068-1:1988)

GB/T 2423.10—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fc:振动(正弦)(IEC 60068-2-6:1995,IDT)

GB/T 2423.43—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 振动、冲击和类似动态试验样品的安装(IEC 60068-2-47:1995,IDT)

GB/T 2423.56—2006 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fh:宽频带随机振动(数控)和导则(IEC 60068-2-64:1993,IDT)

IEC 60050-300:2001 国际电工词汇 电气和电子测量和测量仪器

IEC 60050-311 国际电工词汇 与测量有关的通用术语

IEC 60050-312 国际电工词汇 与电气测量有关的一般术语

IEC 60050-313 国际电工词汇 电气测量仪器的类型

IEC 60050-314 国际电工词汇 根据仪器类型用的特殊术语

IEC 60068-3-8:2003 环境试验 第3-8部分:振动试验选择

IEC 60068-5-2:1990 环境试验 第5部分:起草试验方法导则 术语与定义

ISO 2041:1990 振动和冲击 词汇

#### 3 术语和定义

下面定义的本部分使用的术语一般在 ISO 2041—1990,IEC 60050-300:2001、GB/T 2421—1999、GB/T 2423.10—2008、GB/T 2423.56—2006 和 IEC 60068-5-2:1990 中已有定义。为了方便读者,这里采用了出自上述标准的某一个定义,并指出了出处和差异。

此外,下面增加的术语和定义也是适用的。

3.1

横向运动 cross axis motion

非激励方向的运动,通常规定为二个正交的轴向。

3.2

实际运动 actual motion

从参考点传感器返回的宽带信号所表示的运动。

3.3

固定点 fixing point

样品与夹具或振动台台面接触的部分,在使用中通常是固定样品的点。

注:如果是实际安装结构的一部分作夹具使用,则固定点应取安装结构上的点,而不应取来自样品上的点。

3.4 控制点

3.4.1

单点控制 single point control

通过使用来自参考点上的信号,使该点的振动保持在规定的量级上的控制方法。

3.4.2

多点控制 multi-point control

将来自各检测点上的信号,按有关规范的要求,进行连续的算术平均或采用比较技术处理来实现的控制方法,参见 3.5.3。

3.5

$g_0$

由地球引力产生的标准加速度值,它是随海拔高度和地理纬度而变化的。

注:本部分为了便于使用,将  $g_0$  圆整到  $10 \text{ m/s}^2$  整数值。

3.6

测量点 measuring points

试验中采集数据的一些特定点,有 3 种类型,定义如下。

3.6.1

检测点 check point

位于夹具、振动台台面或样品上的尽可能接近于固定点的点,检测点在任何情况下都要和样品刚性连接。

注 1:检测点的数量应满足试验的要求。

注 2:如果存在 4 个或 4 个以下的固定点,则每个都用作检测点。如果存在 4 个以上的固定点,则有关规范应规定 4 个具有代表性的固定点作检测点用。

注 3:在特殊情况下,例如对大型或复杂的样品,如果要求检测点在其他地方(不紧靠固定点),则应在有关规范中规定。

注 4:当大量小样品安装在一个夹具中时,或当一个小样品具有许多固定点时,为了导出控制信号,可选用单个检测点(即参考点)。该信号与夹具相关而不是与样品的固定点相关,这种情况只有在夹具装上样品等负载后的最低共振频率充分高于试验频率的上限时才是可行的。

3.6.2

参考点 reference point

从检测点中选定的点,为了满足本部分的要求,该点上的信号用于控制试验。

3.6.3

虚拟参考点 fictitious reference point

用手动或自动方式从多个检测点中导出的点,其结果用于控制试验,以满足本部分的要求。

## 3.6.4

响应点 response points

样品上为了振动响应分析而采集数据的特定点。

注：不同于检测点和参考点。

## 3.7

优选试验轴 preferred testing axes

在样品中最易受损的三个互相垂直的轴线。

## 3.8

采样频率 sampling frequency

每秒采集离散量值的数量,用于以数字方式记录或表示一个时间历程。

## 3.9

多点控制策略 multipion control strategy

采用多点控制时参考控制信号的计算方法。可选择下列频域控制策略,参见 3.4.2。

## 3.9.1

平均 averaging

由一个以上检测点的每个频率的信号值的算术平均值得到控制值的处理方法,参见 3.31。

## 3.9.2

极值 extremal

由一个以上检测点的每个频率线上的信号值的最大或最小值形成控制值的处理方法,参见 3.31。

## 3.10

MAX/SUM

定义窄带 ASD 值(见 3.14)的随机叠加随机严酷等级。

注:MAX 意为本底或窄带 ASD 的较大值,SUM 意为两 ASD 值之和。

## 3.11

峰值因子 crest factor

合成的混合波形的峰值和均方根(r. m. s.)值之比。

## 3.12

叠加策略 super positional strategy

定义正弦分量和随机 ASD 在每条频率线上的参考加速度谱密度计算方法的策略。

## 3.13

-3 dB 带宽 -3 dB bandwidth

*B*

在频率响应函数中对应于一个共振峰值的最大响应 0.708 倍的两点间的频带宽度。

## 3.14

加速度谱密度 acceleration spectral density

ASD

当带宽趋向于零和平均时间趋于无穷时,各单位带宽上通过中心频率窄带滤波器那部分加速度信号的均方值。

## 3.15

偏移误差 bias error

对于随机信号,由于实际有限的频率分辨率引起计算加速度谱密度的系统误差。对于正弦信号,由于平均时间在混合模式信号中计算正弦分量幅值的系统误差。

3.16

控制加速度谱密度 control acceleration spectral density

在参考点或虚拟点上测得的加速度谱密度。

3.17

控制系统回路 control system loop

包括下列步骤:

- 对参考点混合模式波形模拟信号进行数字化处理;
- 进行必要的数据处理;
- 产生更新后的模拟混合模式驱动波形输出到振动系统的功率放大器(参见第 B.1 章)。

3.18

驱动信号削波 drive signal clipping

驱动信号最大值的限制,用峰值因子表达。

3.19

有效频率范围 effective frequency range

从频率低于  $f_1$  斜谱前端到高于  $f_2$  斜谱后端的实际频率范围(参见图 1)。

3.20

加速度谱密度误差 error acceleration spectral density

规定加速度谱密度值和控制加速度谱密度值之差。

3.21

均衡 equalization

加速度谱密度误差的最小化。

3.22

最终斜谱 final slope

高于  $f_2$  的加速度谱密度的部分(参见图 1)。

3.23

频率分辨率 frequency resolution

以赫兹为单位的加速度谱密度中频率间隔的宽度。

注:在数字分析中为了计算指定的加速度谱密度,将采样记录划分为若干部分,每个部分采样长度的倒数为分辨率。在频率范围内,频率级数等于频率间隔数。

3.24

加速度谱密度示值 indicated acceleration spectral density

从分析仪读出的真实加速度谱密度,受仪器误差、随机误差和系统偏差的影响。

3.25

初始斜谱 initial slope

低于  $f_1$  的加速度谱密度的部分(参见图 1)。

3.26

仪器误差 instrument error

由控制系统输入的每个模拟环节和控制系统的各模拟环节关联的误差。

3.27

随机误差 random error

由实际平均时间有限与滤波器带宽的限制导致加速度谱密度估计变化而带来的误差。

3.28

记录 record

用于快速傅立叶变换计算的时域上等间隔数据点的集合。

## 3.29

**可再现性 reproducibility**

对同一值相同的测量次数的测量结果之间的一致性程度,按如下方式进行个别测量:

不同的测试方法;

——不同的测量仪器;

——不同的观察人员;

——不同的实验室;

——相对于单次测量的持续时间较长的时间间隔后;

——不同的使用仪器习惯。

注:术语“可再现性”也可应用于满足上述部分条件的情况。

[IEC 60050(300):2001]

## 3.30

**均方根值 root-mean-square value**

在  $f_1$  与  $f_2$  之间平直谱的均方根值(r. m. s. 值),见图 1,是在时间间隔内函数值的平方的平均值再开平方。

注:在此试验方法中,单独随机或正弦加随机(SoR)和随机加随机(RoR)混合模式的加速度、速度和位移的均方根可以按 B.2.4 计算。

## 3.31

**信号值 signal value**

混合模式信号的随机分量用加速度谱密度值表示,正弦分量用幅值表示。

## 3.32

**标准差 standard deviation**

$\sigma$

在振动理论中,振动的均值等于零。因此对一个随机时间历程的标准差等于均方根值。

## 3.33

**统计精度 statistical accuracy**

真实加速度谱密度与加速度谱密度示值的比。

注:仅针对混合模式信号中的随机部分。

## 3.34

**统计自由度 statistical degrees of freedom**

用时间平均技术来估算随机数据的加速度谱密度时,统计自由度的有效数取决于频率分辨率和有效平均时间。

## 3.35

**扫频循环 sweep cycle**

在规定的频率范围往返扫频一次,例如,5 Hz 到 500 Hz 到 5 Hz。

注:与“扫频循环”对应,单向扫频表示仅在向上或向下的一个方向扫频。

[GB/T 2423.10—2008]

## 3.36

**扫频速率 sweep rate**

正弦频率的变化速率,可以用倍频程/分钟或赫兹/秒表示。

## 3.37

**真实加速度谱密度 true acceleration spectral density**

作用于样品上的随机波形的加速度谱密度。



## 4 试验要求

### 4.1 总则

这些特征适用于完整的振动试验系统,对于电动的和液压伺服的试验系统,该系统包括功放、振动台、试验加载夹具及控制系统。

下述基本运动和横向运动应在试验开始前或在试验中采用控制器的附加输入监视通道进行检查。有关规范应给出检查试验量级和所用的程序。

标准的试验方法由下列的试验顺序构成,并且可以用于样品的每个互相垂直的轴线上:

- 用低量级的正弦或随机激励进行初始振动响应检查,见 5.4 和 9.2。
- 混合模式激励作为负载或应力试验。
- 最终响应检查(见 9.5),与初始情况比较并找出因动态性能变化引起的可能的机械失效。

但是如果样品的动态性能已知或不要求,有关规范可以放弃对响应检查的要求。

### 4.2 控制系统

控制系统需要专用控制软件包,该系统应具有对随机加随机或正弦加随机混合试验的控制和分析能力。

### 4.3 基本运动

样品各固定点应由有关规范规定,它们的运动应是大致相同的,其基本运动呈直线运动。如果运动大致相同难以实现,应采用多点控制。

基本运动的特征,随机波应符合高斯分布;周期成分为正弦。

### 4.4 横向运动

应在试验前按有关规范规定的量级进行正弦或随机的横向运动检查或在试验过程中采用附加的监测通道进行横向运动检查。

在检查点上沿与规定轴垂直的任一轴的每个频率点的信号值,在 500 Hz 以上不应超过规定的信号值;在 500 Hz 以下不应超过规定值的 -3 dB。沿与规定轴垂直的任一轴总的加速度均方根不应超过规定轴的均方根值的 50%。例如对于小样品,如果有关规范规定,横向运动容许的信号值应加以限制以保证不超过基本运动的 -3 dB。

在某些频率上或大尺寸或高质心的样品要获得这些值是困难的。另外,有关规范规定的严酷等级有较大的动态范围时,也可能难以达到这些值。在这些情况下,有关规范应规定采取如下何种方式:

- 对超出上述给定值的横向运动应进行监测,并记录在报告中;
- 横向运动不需监测。

### 4.5 安装

样品应按 GB/T 2423.43—2008 的要求安装。所有情况下,在 GB/T 2423.43—2008 中选择的曲线时必须先平方后乘以加速度谱密度(ASD)或直接乘以正弦振幅。

### 4.6 测量系统

测量系统的特性应能使从参考点给定轴向测得振动的实际值在试验所要求的容差范围内。

整个测量系统包括传感器、信号调节器和数据采集器及数据处理器,其频率响应对测量精度有显著影响。测量系统的频率范围应从试验最低频率  $f_1$  的 0.5 倍延伸到最高频率  $f_2$  的 2.0 倍,参见图 1。测量系统在该频率范围内的频率响应应该平坦,并在  $\pm 5\%$  以内。

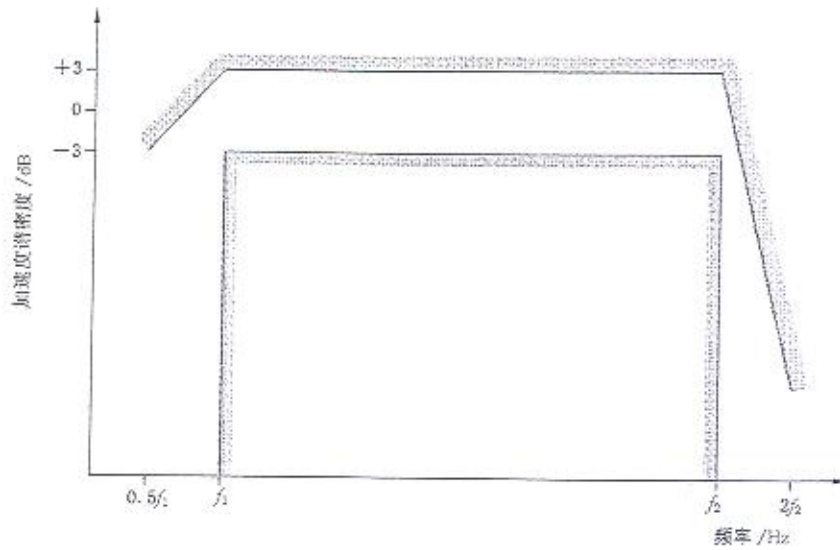


图 1 加速度谱密度的边界(参见 5.1.1)

## 5 混合模式试验要求

本部分提供了随机振动与窄带随机,随机振动与正弦振动或随机振动与二者叠加组合的试验方法。窄带随机和正弦振动的成分可在有关规范规定的频率范围内扫描。混合模式试验应作下列考虑。

有关规范应规定窄带随机包络是最大的谱值(MAX)还是应把它叠加到背景谱值(SUM)上。

加速度谱可以是:

- a) 由宽带随机、窄带随机和在傅立叶(Fourier)谱线上的正弦分量叠加的,或
- b) 由宽带随机、窄带随机叠加和一个独立的、在频域内连续产生的正弦分量。

### 5.1 随机振动容差

#### 5.1.1 检测点和参考点

加速度谱密度示值在规定方向上参考点与检测点在图 1 中  $f_1$  和  $f_2$  间相对规定的加速度谱密度包括仪器误差为  $\pm 3$  dB。随机误差和系统误差不包括在容差内。随机误差是可以计算的。

在  $f_1$  和  $f_2$  间,计算或测量得到的加速度均方根(r. m. s.)值相对于规定的加速度谱密度的均方根值的容许误差应在  $\pm 10\%$  内。对参考点和虚拟参考点,这些值都是有效的。

在某些频率上或大尺寸或高质心的样品要满足这些要求是困难的。在这种情况下,有关规范应规定较宽的容差。

初始斜谱不应小于  $+6$  dB/oct;最终斜谱应为  $-24$  dB/oct 或更陡。(见 B.2.3)

对试验的窄带随机扫频部分的容差应和宽带部分的容差相同。然而,在某些扫频速率下不能满足这个要求。因此,有关规范应对这些部分容差予以规定。

#### 5.1.2 分布

参考点的瞬间加速度值应为近似正态(高斯)分布,如图 2。在常规系统校准时应予以确认。有正弦波的混合模式的信号见图 4。

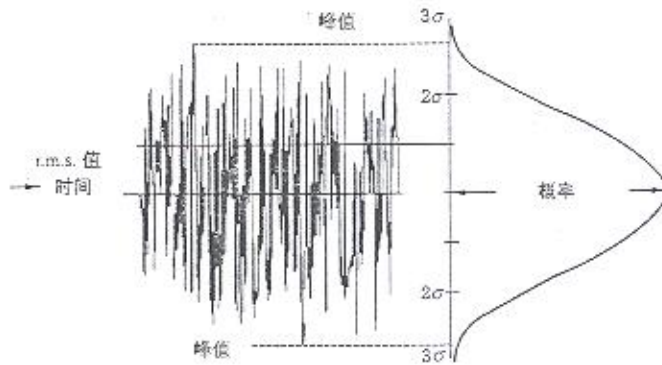


图 2 随机激励,信号的削波和高斯(正态)概率密度

驱动信号削波值至少应为 2.5(参见 3.18)。检测参考点的加速度波形的峰值因子,确保该信号包含规定 r. m. s. 值至少 3 倍的峰值,除非有关规范另有规定。

如果采用虚拟参考点控制,要求的峰值因子适用于所有形成加速度谱密度控制的检测点。

在开始、中间和结束试验时计算参考点的概率密度函数应各持续 2 min。

### 5.1.3 统计精度

统计精度由统计自由度  $N_d$  和置信度(见图 3)决定。统计自由度按下式计算:

$$N_d = 2B_e \times T_e \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$B_e$ ——频率分辨率;

$T_e$ ——有效平均时间;

$N_d$ ——除有关规范另有规定,应不小于 120(见表 B.2 和图 B.4)。

如果有关规范规定在试验中应满足置信度,应用图 3 来计算统计精度。

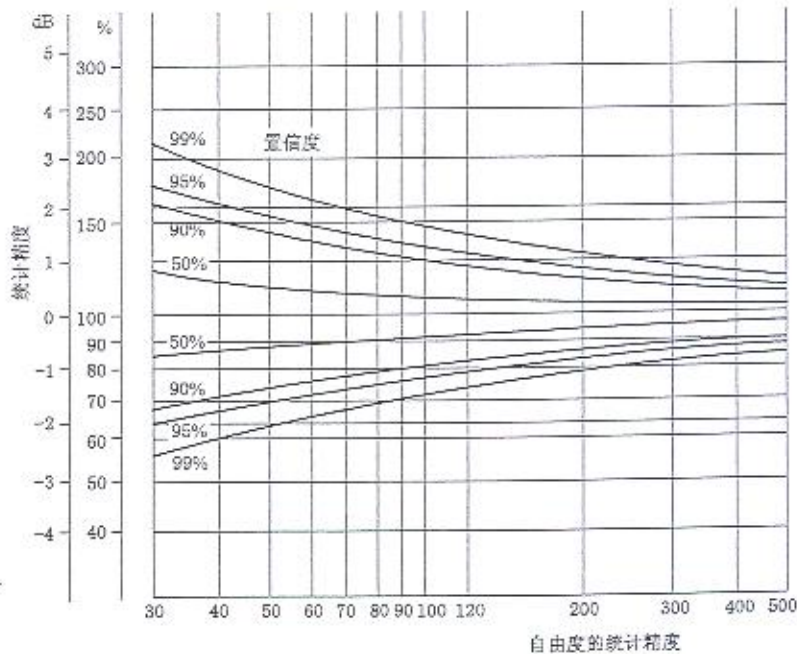


图 3 不同置信度下自由度的加速度谱密度统计精度(见 5.1.3)

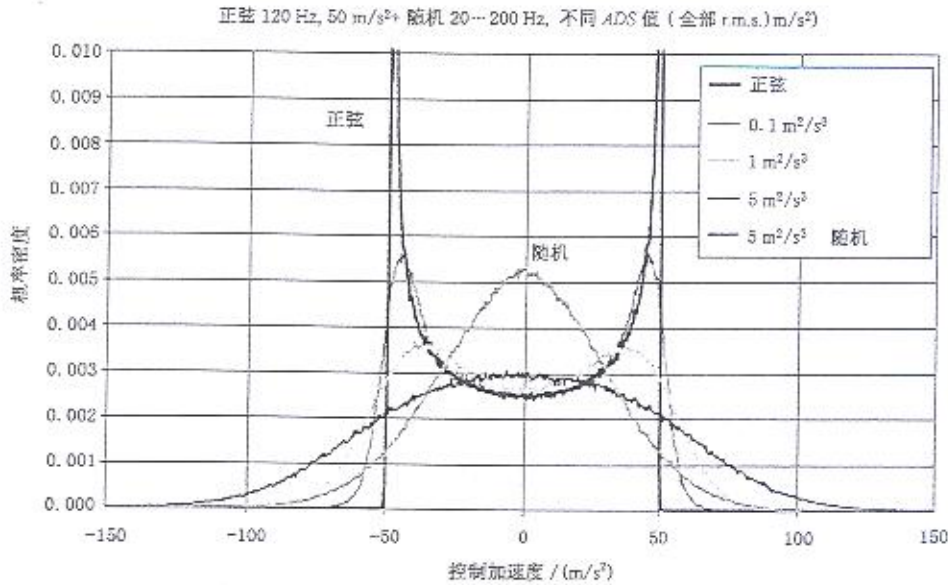


图 4 正弦、正弦加随机和随机信号的分布(概率密度)

5.1.4 频率分辨率

选择频率分辨率  $B_c$  (Hz)使加速度谱密度的实际值和示值误差最小化,频率分辨率等于数字式控制器的频率范围除以谱线数( $n$ )。

$$B_c = f_{high} / n \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$f_{high}$ ——数字式振动控制器的频率范围,Hz;它应大于  $2f_2$ ,即,  $f_{high} \geq 2f_2$ ,参见图 1;

$n$ —— $f_{high}$ 频率带宽等分的谱线数。

有关规范应给出频率分辨率,(参见第 13 章,h)项)。

5.1.4.1 随机加随机

应如此选择  $B_c$ ,以使:

- 有 1 条谱线能与图 1 中的  $f_1$  频率重合,第 1 条频率线不大于  $0.5f_1$  频率;
- 有两条频率线确定了第 1 个窄带扫描的初始斜谱。

如果给出了二个不同的值,应选择最小的  $B_c$ 。

注:在用更精确的  $B_c$ ,导致更长的循环控制时间和更高的 RoR 谱精度定义之间需要折衷。而且为了保持控制所有扫描带宽,扫描带要有更快的扫描速率就需要降低频率的分辨率。

5.1.4.2 正弦加随机

应如此选择  $B_c$ ,以使:

- 有 1 条谱线能与图 1 中的  $f_1$  频率重合,第 1 条频率线不大于  $0.5f_1$  频率;
- 正弦扫描在可能的情况下选择连续。对于从一条频率线跳到下一条频率线产生正弦波的控制系系统, $B_c$  应小于  $0.1\% f_{high}$ 。

5.2 正弦振动容差

5.2.1 参考点

对正弦扫描加随机试验,通常使用数字跟踪滤波器估算正弦波幅值。跟踪滤波器通常也会降低随机部分的信号。

但是正弦幅值的估算包含了正弦频率周围的随机信号分量。同样,随机信号 ASD 值与正弦 r. m. s. 的平方之比(下文称功率比)越大,产生的随机误差越大。减小跟踪滤波器的带宽随机引起的误



最小(MIN)极值计算。这个策略以各检测点的频率函数信号值的包络构成每个频率点的控制值(MAX)或频率函数信号值的下限构成每个频率点的控制值(MIN)。

### 5.3.2 多参考控制

有关规范若有规定,可对不同的检测点或测量点规定多个参考谱或不同类型的控制变量,比如力限振动试验。

当规定采用多参考控制时,控制策略由下列之一来描述:

- 限制:所有的控制信号均须处于其对应的参考谱的下方;
- 替代:所有的控制信号均须处于其对应的参考谱的上方。

### 5.4 振动响应检查

正弦激励的要求在试验 Fc (GB/T 2423.10—2008)中给出,随机激励的要求在试验 Fh (GB/T 2423.56—2006)中给出。也可参见 IEC 60068-3-8:2003。

## 6 严酷等级

试验的严酷等级由下列的参数组合来确定:

- 试验频率范围;
- 宽带加速度谱密度;
- 加速度谱密度曲线的形状;
- 窄带随机;
- 正弦分量;
- 扫频速率;
- 试验持续时间。

有关规范应规定每个参数。它们是:

- a) 从 6.1 到 6.3 给出的值中选取,或
- b) 如果给出明显不同的值时,则应从已知环境求得。

注:如果由实际测量的数据来决定随机和正弦的量级时需特别注意,所采用的数据处理技术可能严重的影响不同的信号的幅值。参见 IEC 60068-3-8:2003。

### 6.1 宽带随机振动

#### 6.1.1 试验频率范围

有关规范所选取的试验频率范围选择的频率限值应尽可能按照数列:…1; 2; 5; 10; 20; 50……下限频率  $f_1$  最低起始于 1 Hz,上限频率  $f_2$  最高达到于 5 000 Hz。

#### 6.1.2 宽带加速度谱密度

下列数据以  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$  或  $\text{m}^2/\text{s}^3$  按有关规范给出在  $f_1$  和  $f_2$  之间的加速度谱密度(图 1)值应尽可能按照数列:…1; 2; 5; 10…,最低 0.01,最高 100。

注:本部分延用  $g_0$ , 值取  $10 \text{ m/s}^2$ 。

#### 6.1.3 加速度谱密度曲线的形状

本试验规定的加速度谱密度具有一段平直谱,参见图 1。在特殊情况下,可以规定曲线形加速度谱密度,有关规范应以频率的函数的形式规定曲线的形状。不同量级及其相对应的频率范围,即间断点,应尽可能从 6.1.1 和 6.1.2 给出值中选择,另外,有关规范应规定量级间的斜率。

#### 6.1.4 持续时间

有关规范规定的试验持续时间以分钟(或小时或天)计,应尽可能接近数列:…1; 2; 5; 10;…给出,容差为+5%。

### 6.2 窄带随机

有关规范应规定叠加在背景加速度谱密度上窄带随机的数量。

对每个窄带随机都应作以下规定:

- a) 窄带随机的带宽,最小值应为 0.5%背景随机带宽并不超过 10%。其下限不小于 2 倍频率分辨率;
- b) 扫描的起止频率;
- c) 给出以倍频程/分钟(oct/min)或 Hz/s 定义的扫频速率;或给出一次扫描循环的时间;
- d) 窄带的扫描次数或持续时间;
- e) 以对数或线性扫描;
- f) 每个扫描段的起始方向,向上或向下;
- g) 在  $f_1$  和  $f_2$  的带宽内规定每条窄带谱;
- h) 对所有窄带和背景加速度谱密度值组合时,选择求和(SUM)或者选择最大(MAX)策略。

### 6.3 正弦波分量

有关规范应规定叠加在宽带加速度谱密度上的正弦分量的数量。

应指出:

- a) 相互之间是否存在谐波关系,以及它们的相位关系;  
注:相位关系针对控制零件给出;加速度信号的相位关系因微振器和/或夹具及样品的传递函数而改变。
- b) 扫频的起止频率;
- c) 给出以 oct/min(倍频程/分钟)或 Hz/s 定义的扫频速率;或给出一次扫频循环的时间;  
注:推荐按 5.2.7 和图 5 使用使用尽可能低的扫频速率。高的扫频速率将导致对正弦分量控制不够精确。
- d) 每个正弦分量的起始方向向上或向下,开/关时间;
- e) 对应频率下的每个正弦分量的幅值;
- f) 正弦分量的扫频循环的次数或试验持续时间;
- g) 以对数或线性扫频;
- h) 定频正弦的频率;
- i) 定频正弦的幅值。

在某些情况下,正弦是以定频形式出现,此时 6.3 的 b)、c)、d)、f)和 g)的参数不需要规定。有关规范应规定采用哪一种方法。

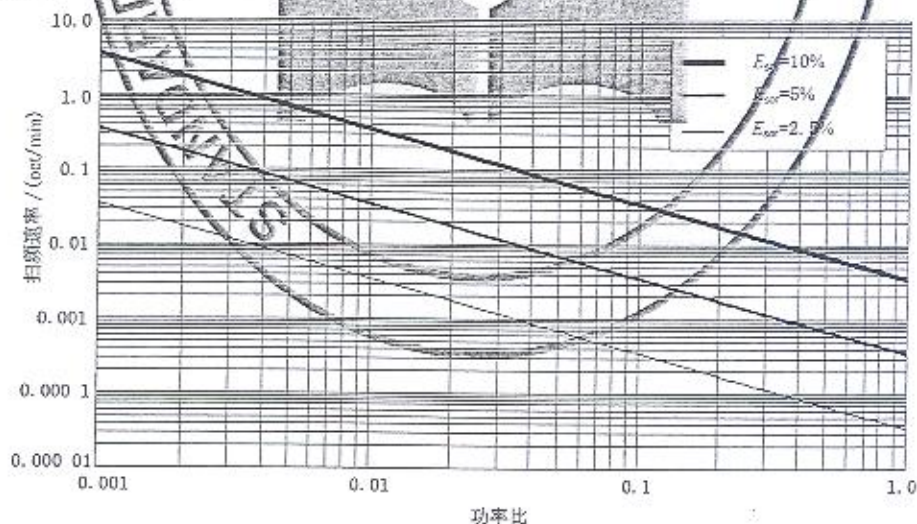


图 5 基于  $E_w$  推荐的正弦加随机中正弦扫频速率的功率比函数

## 7 预处理

有关规范应要求预处理,并规定条件。

## 8 初始测量

有关规范应要求对样品进行外观、尺寸和功能检查以及规范规定的其他检查。

## 9 试验

### 9.1 总则

试验按有关规范规定的顺序进行。不同的步骤如下：

- 如有规定，进行初始振动响应检查；
- 试验前为均衡而进行低量级激励；
- 混合模式振动试验；
- 如有规定，进行最终振动响应检查。

除有关规范另有规定，样品应依次在各优选轴上进行激励。除有关规范另有规定，受试轴的顺序并不重要。如果样品只能以常规工作状态经受试验，应在有关程序中加入规定。

在参考点上每个频率的控制值，当采用单点控制时应来自单个检测点；当采用多点控制时应来自多个检测点。

对后一种情况，有关规范应规定下列中哪个：

- 每个检测点信号的平均值(平均控制)；
- 检测点上信号的加权平均值(加权平均控制)；
- 还是所有检测点每个频率上最大值或最小极值(极值控制)。

应控制在规定的量级。

在多点控制的这些情况中，控制谱变成脱离存在的检测点的虚拟谱。

如果通常使用中带减震器的样品，在试验时必须去掉减震器时应采取一些特殊的处理方法。见 GB/T 2423.43—2008。

### 9.2 初始振动响应检查

有关规范若有规定，在规定的频率范围内在样品上应至少对一个点进行动态响应检查。有关规范应明确地定义响应点的数量和位置。

用正弦或随机振动进行振动响应检查，应按有关规范规定的频率范围和试验量级进行。正弦振动参阅 GB/T 2423.10—2003，随机振动参阅 GB/T 2423.56—2006。更多关于每种方法的优缺点的信息可参阅 IEC 60068-3-8:2003。

进行响应检查所选用试验量级应保证此时样品的响应小于混合模式试验，但又足够高可以找出危险频率。

用对数扫频速率不超过 1 oct/min 的正弦激励进行响应检查，为了获得更精确的响应特性有时可能需要降低扫频速率。但应避免不适当的驻留。

进行随机振动响应检查应考虑用足够长的时间使振动响应的随机变化最小。必须指出，频率分辨率应充分高以准确确定响应峰(最窄—3 dB 带宽)，并推荐在最窄—3 dB 带宽至少包含 5 条谱线。

有关规范若规定样品在振动响应检查中需工作。若样品工作时无法评估机械振动特性，就需要附加不工作的样品做振动响应检查。在此阶段应对产品进行检查以确定危险频率，并应记录在报告中。

### 9.3 试验前低量级激励均衡

在规定的量级的混合振动试验前，需要先用信号进行带实际样品的较小量级的随机激励以进行信号均衡和初始分析。在此阶段所施加的加速度谱密度值应保持到最小。

初始随机激励允许的持续时间如下：

低于规定加速度 r. m. s. 量级—12 dB；无时间限制。

规定加速度 r. m. s. 量级的—12 dB 至—6 dB；不大于规定的试验时间的 1.5 倍。



规定加速度 r. m. s. 量级的 -6 dB 至 0 dB; 不大于规定的试验时间的 10%。

初始随机激励的持续时间不应从规定的混合振动试验中扣除。

#### 9.4 混合模式振动试验

##### 9.4.1 总则

在某些情况下,环境振动的特征由往复或旋转结构和机构,如旋转叶片,齿轮,螺旋桨,活塞,枪械等准周期性振动所决定。当这些激励形式为主时,源驻留振动是合适的。源驻留振动受宽带振动、高量级的窄带随机或叠加的正弦振动影响。

##### 9.4.2 随机加随机试验

在宽带随机振动上的扫描窄带随机的定义为一个或多个在扫描覆盖的频率范围内的窄带随机和作为叠加背景的宽带随机振动。

叠加在宽带随机上窄带振动扫描的合成振动严酷等级由 6.1 和 6.2 的参数确定。

在某些情况下,窄带随机可以不必在某个定义的带宽内扫描,在这种情况下,此类振动实质上与 GB/T 2423.56—2006 规定的宽带随机振动相同。有关规范应规定使用的方法。

##### 9.4.3 正弦加随机试验

在宽带随机振动上的扫频正弦振动定义为在随机振动上叠加一个或多个覆盖某个频率范围的正弦扫频。

包含叠加在随机背景上的正弦扫频部分的合成振动严酷等级参数由 6.1 和 6.3 中的参数确定。

在某些情况下,可以不必在某个定义的带宽内扫描,在这种情况下 6.3 的 b)、c)、d)、f) 和 g) 的参数不需要规定。有关规范则应规定所采用的方法。

##### 9.4.4 正弦加随机加随机试验

实际上这是 9.4.2 和 9.4.3 的某种组合。有关规范则应规定所需的组合。

#### 9.5 最后振动响应检查

有关规范若规定进行初始响应检查,在混合模式振动试验后也可能要求进行振动响应检查,以确定在初始响应检查后是否发生了变化或失效。最终响应检查应按初始响应以相同的方式,使用初始响应检查相同的参数检查相同的响应点。如果两次响应检查结果不同,有关规范则应规定的相应的处理方法。

#### 10 中间检测

有关规范若有规定,样品在混合试验中应处于工作状态并进行功能检查。

#### 11 恢复

有关规范若有规定,有时应允许样品在试验结束后和最终测量前有一段的时间以使样品恢复到与初始测量相同的条件,如温度条件。

#### 12 最终测量

有关规范应规定对样品进行外观、尺寸和功能检查以及其他规定的检查。

有关规范应规定接收或者拒收样品的判据。

#### 13 有关规范应提供的信息

当有关规范包含本试验时,只要可用应给出下列细节,特别注意带(\*)的条款总是必需的。

	对应章条号
a) 基本运动*	4.3
b) 固定点*	4.3
c) 横向运动	4.4
d) 安装	4.5
e) 容差	5.1 和 5.2
f) 峰值因子/驱动信号的削波*	5.1.2
g) 统计精度	5.1.3
h) 频率分辨率	5.1.4
i) 试验频率范围*	6.1.1
j) 宽带加速度谱密度*	6.1.2
k) 加速度谱密度曲线的形状*	6.1.3
l) 持续时间*	6.1.4
m) 窄带随机	6.2
n) 正弦波和扫频速率	6.3
o) 预处理	第7章
p) 初始测量	第8章
q) 多点控制	9.1
r) 优先试验曲线	9.1
s) 初始和最终振动响应检查	9.2 和 9.5
t) 特性和功能检查	9.4
u) 中间测量	第10章
v) 恢复	第11章
w) 最终测量	第12章
14 在试验报告中应给出的信息	
试验报告至少应给出下列信息:	
a) 客户(名称和地址)	
b) 试验室(名称和地址)	
c) 试验报告标识(发布日期,唯一编号)	
d) 试验日期	
e) 试验类型(正弦加随机,随机加随机,正弦加随机加随机)	
f) 试验目的(研发试验,验证试验等)	
g) 试验标准,版本(有关的试验程序)	
h) 试验样品描述(唯一标识,图片,照片,数量等)	
i) 样品的安装(夹具,图片,照片等)	
j) 试验设备的性能(横向运动等)	
k) 测量系统,传感器位置(描述,图片,照片等)	
l) 测量系统不确定度(校准数据,上次日期和下次日期)	
m) 控制策略(多点控制,多参考控制,SUM 或 MAX 策略)	
n) 初始,中间或最终检测	
o) 要求的严酷等级(根据试验规程)	
p) 试验严酷等级文件(检测点,自由度,试验谱)	

- q) 试验结果(试验样品状态的评价)
- r) 试验情况记录
- s) 试验摘要
- t) 试验负责人(姓名和签字)
- u) 发送(报告分送清单)

注：试验应做记录，内容应包括如带试验参数的试验运行记录的时间列表，试验期间观察及实施情况和测量数据表。试验记录可作为试验报告的一部分。

附录 A  
(资料性附录)  
混合模式的一般资料

### A.1 随机加随机和正弦加随机

#### A.1.1 一般讨论

在 GB/T 2423.10—2008(正弦)、GB/T 2423.56—2008(宽带随机)和 IEC 60068-3-8:2003 已经分别讨论了许多信号处理问题,而有许多已知的信号特性是包含了混合的随机与静态的或扫频状态的随机和/或正弦分量。目前已商品化的数字式控制系统有能力完成除随机和正弦加随机外的更多组合策略,此外,扫描正弦分量可能互相交会,并可能同时与扫描随机带交会。为实现这些功能除了所需的复杂的数学外,在整个处理过程中还有一些基本限制,对此要作综合考虑。

#### A.1.2 定频窄带随机加宽带随机

此类型的振动本质上与 GB/T 2423.56—2008 中讨论的宽带随机振动相同,不需要额外的特殊技术。

宽带部分与窄带部分容差是相同的。如果这涉及一或二条谱线,而且此 2 个 ASD 值之间范围太大,则必须修正容差以使试验得以进行,这必须记录在试验报告中。

#### A.1.3 窄带随机扫频加宽带随机

主要问题发生在如果窄带扫频速率过快而控制回路时间过长造成谱的混淆,如果这样,一条谱线的能量将被分布到毗连的谱线,同时扫频带的矩形形状将会丢失。这时控制有可能会变差,如果太多谱线超过容差,还有可能会引起试验的中断。

在控制系统更新控制 ASD 时,用一定数量的时间帧进行平均,例如,为了稳定控制系统对早期值的指数处理。所考虑的自由度一般由平均因素确定,并且该数值取得越大,任何变化的响应时间越长就越稳定(被控制的加速度谱密度除外)。

当窄带扫描时,早先的值进行数据处理时是被考虑进来的。由于这些值落在终止条件中,这可能导致失控。可以通过减少平均因子以更少的平均次数和更短的控制回路响应时间来克服此类问题。然而,如果平均因子减少过多,那么控制回路可能变得不稳定或再次失控。

因此,必须为每种情况找到适当折衷的参数。

同样,如果在实验室有合适的数据采集系统,把控制点的时域信号记录下来,可以使用有效的技术和程序进行离线分析,如重叠处理。这不会改变已做试验量级但是能提供更多的试验细节,这些试验细节也可以体现在试验报告中。

#### A.1.4 固定频率正弦振动加宽带随机

从正弦和随机的复杂混合中分离出正弦信号会有困难。如果正弦幅值对随机 r. m. s. 值的比率大也许并不困难。如果这个比率减小,正弦信号的提取会有困难,以下的结果会验证这一点。

为了验证这一点,使用了三种不同的数字控制系统。每一控制系统的试验参数如下:

随机

频率范围:	10 Hz~2 000 Hz;
ASD 等级:	0.005 / 0.01 / 0.05 $g_r^2$ /Hz(平坦);
频率分辨率:	1 Hz(或最大可能值);
自由度:	120(或最大可能值)。

正弦

量值: 5 g;  
频率: 20/160/380 Hz。

每个 ASD 等级和正弦频率的组合在恒定正弦频率时至少被记录 60 s。

控制系统的输出(闭环状态工作)连接到数字磁带机并以 12.5 kHz 的频率取样记录。数据传送到计算机,计算出 ASD 谱。分析参数如下:

频率范围: 10 Hz~2 000 Hz;  
频率分辨率: 1 Hz;  
自由度: 120;  
时间间隔: 60 s。

某一控制系统处于不同正弦频率的 ASD 谱示例于图 A.1 和图 A.2。

每次测量围绕中心频率的 3 个 ASD 值列表如表 A.1。这些值的 r. m. s. (均方根)值已经计算,最后一列是与理论值偏移误差的百分比。偏差可用作正弦信号量级的品质因子。在这种情况下没有要求去关心正弦波的“形状”,因为仅以 r. m. s. 值比较。

为了获得一些关于在出现信号中正弦波周期的信息,自相关函数应用于每个信号的 5 秒段。图 A.3 是两个不同量级的随机背景的例图。

5 个正弦周期精确地读自于自相关函数,然后将幅值平方,每次测量值列在表 A.2。最后一列是与理论值偏差的百分比。

当正弦频率被准确固定在快速傅立叶变换(FFT)线时,这些值是适用的。在正弦频率处于 FFT 线之间一半时,谱泄漏会高达正弦峰值的 17%。不过泄漏是一种系统误差,尽管复杂还是有办法予以修正的。

#### A.1.5 正弦扫频振动加宽带随机

这组合同样存在于 A.1.4 中讨论的问题。此外当正弦分量是扫频时,可能会导致附加的显著的误差,这是由于 ASD 平均算法主要是用于随机信号的处理。实际上用此技术是不可能估计正弦扫频幅值的。因此有必要分析和单独地显示正弦分量。

#### A.1.6 定频和扫频正弦振动和窄带随机加宽带随机

这种模式的试验表现出的情况非常复杂,复杂到了不仅正弦分量会相互交会,而且与窄带随机扫频成分也会交会。

建议本试验方法作为最后的手段,并由非常有经验和知识丰富试验的工程师进行,以保证试验的有效性和再现性。

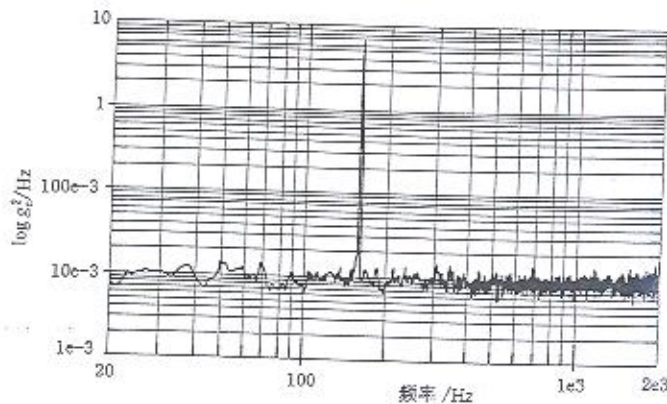


图 A.1 正弦 160 Hz

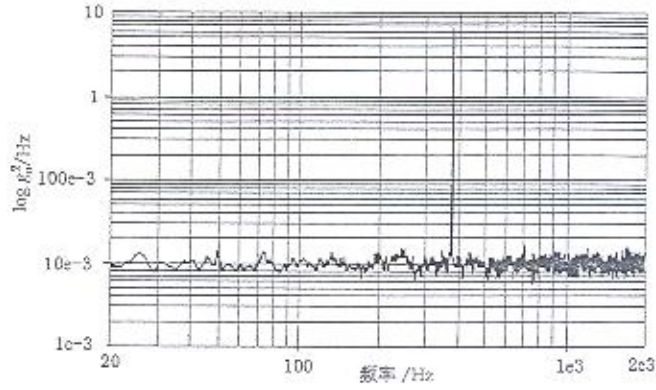


图 A.2 正弦 380 Hz

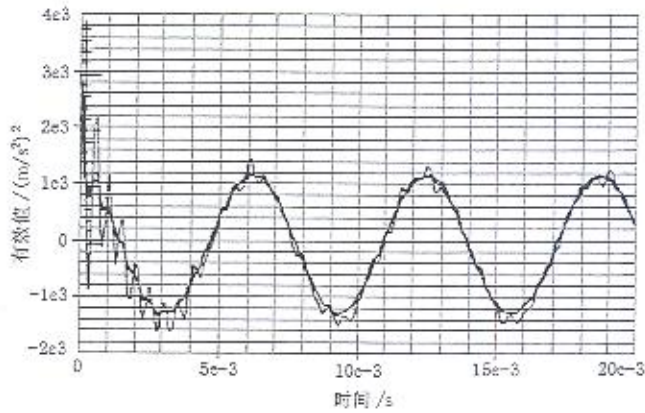


图 A.3 自相关-正弦 160 Hz

表 A.1 正弦波的 APD 计算结果

控制系统	信号类型 正弦 $5 g_0$ 峰值加随机/ $(g_0^2/Hz)$	$f/(Hz)$	$g_0$ (r. m. s.)	偏差背离/%
1	0.005	20	3.56	0.6
1	0.005	160	3.56	0.7
1	0.005	380	3.56	0.6
1	0.01	20	3.54	0.1
1	0.01	160	3.57	0.9
1	0.01	380	3.54	0.2
1	0.05	20	3.6	1.8
1	0.05	160	3.58	1.1
1	0.05	380	3.56	0.6
2	0.005	20	3.49	-1.2
2	0.005	160	3.52	-0.4
2	0.005	380	3.51	-0.7
2	0.01	20	3.49	-1.3
2	0.01	160	3.52	-0.4
2	0.01	380	3.53	-0.3
2	0.05	20	3.55	0.5
2	0.05	160	3.53	0

表 A.1 (续)

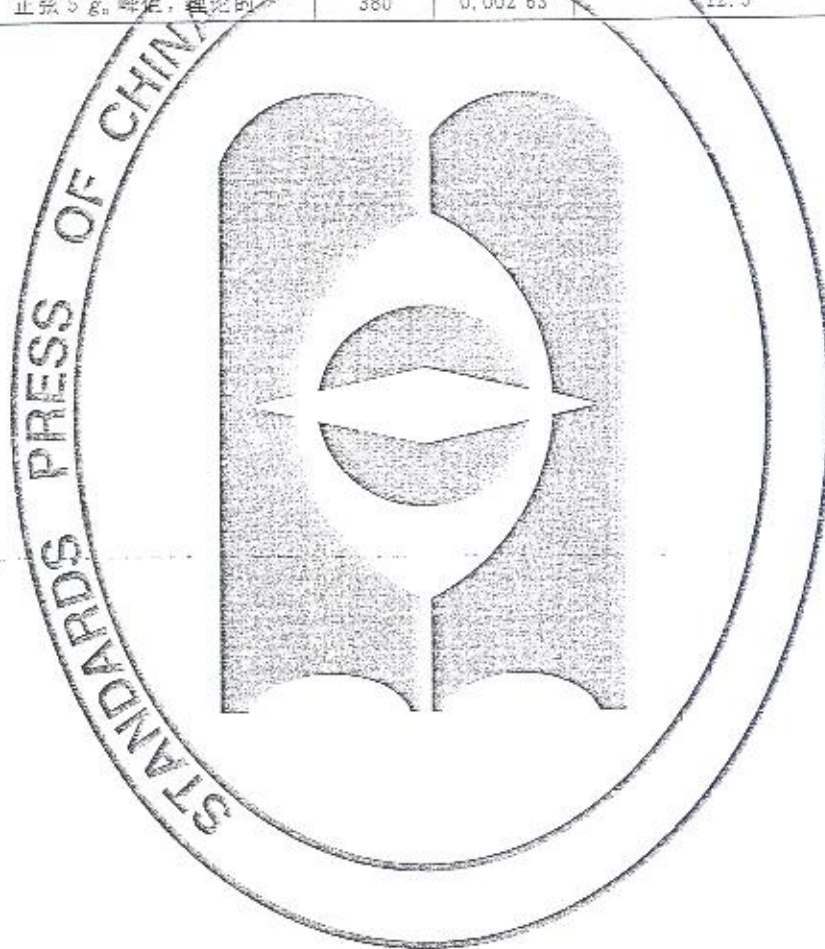
控制系统	信号类型 正弦 $5 g_0$ 峰值加随机/ $(g_0^2/\text{Hz})$	$f/(\text{Hz})$	$g_0(\text{r. m. s.})$	偏差背离/%
2	0.05	380	3.51	-0.7
3	0.005	20	3.51	-0.8
3	0.005	160	3.53	-0.2
3	0.005	380	3.54	0.1
3	0.01	20	3.5	-1
3	0.01	160	3.54	0.2
3	0.01	380	3.52	-0.5
3	0.05	20	3.52	-0.4
3	0.05	160	3.51	-0.6
3	0.05	380	3.58	1.4
	正弦 $5 g_0$ 峰值, 合成的		3.53	-0.2
	正弦 $5 g_0$ 峰值, 理论的		3.54	0.0

表 A.2 正弦波的自相关计算结果

控制系统	信号类型 正弦 $5 g_0$ 峰值加随机/ $(g_0^2/\text{Hz})$	$f/\text{Hz}$	$T/\text{s}$	在 5 倍 $T$ 时 $A^2$ 的值/ $(g_0^2)$	偏移误差/%
1	0.005	20	0.05	12.45	-0.4
1	0.005	160	0.006 24	12.71	1.7
1	0.005	380	0.002 64	12.65	1.2
1	0.01	20	0.05	12.67	1.4
1	0.01	160	0.006 24	12.88	3.0
1	0.01	380	0.002 64	13.11	4.9
1	0.05	20	0.05	13.37	7.0
1	0.05	160	0.006 24	11.98	-4.2
1	0.05	380	0.002 64	13.23	5.8
2	0.005	20	0.05	12.0	-4.0
2	0.005	160	0.006 24	12.32	-1.4
2	0.005	380	0.002 64	12.19	-2.5
2	0.01	20	0.05	11.97	-4.2
2	0.01	160	0.006 24	12.85	2.8
2	0.01	380	0.002 64	12.3	-1.6
2	0.05	20	0.05	12.33	-1.4
2	0.05	160	0.006 24	11.69	-6.5
2	0.05	380	0.002 64	13.23	5.8
3	0.005	20	0.05	12.14	-2.9
3	0.005	160	0.006 24	12.3	-1.6
3	0.005	380	0.002 8	12.33	-1.4
3	0.01	20	0.05	12.21	-2.3
3	0.01	160	0.006 24	12.47	-0.2
3	0.01	380	0.002 8	12.07	-3.4
3	0.05	20	0.05	12.01	-3.9
3	0.05	160	0.006 24	13.63	9.0

表 A.2 (续)

控制系统	信号类型 正弦 5 $g_r$ 峰值加随机/( $g_r^2/Hz$ )	$f/Hz$	$T/s$	在 5 倍 $T$ 时 $A^2$ 的值/( $g_r^2$ )	偏移误差/%
3	0.05	380	0.002 8	10.71	-14.3
	正弦 5 $g_r$ 峰值, 合成的	20	0.05	12.37	-1.0
	正弦 5 $g_r$ 峰值, 合成的	160	0.006 24	12.48	-0.2
	正弦 5 $g_r$ 峰值, 合成的	360	0.002 77	12.49	-0.1
	正弦 5 $g_r$ 峰值, 合成的	380	0.002 62	12.49	-0.1
	正弦 5 $g_r$ 峰值, 理论的	20	0.05	12.5	0
	正弦 5 $g_r$ 峰值, 理论的	160	0.006 25	12.5	0
	正弦 5 $g_r$ 峰值, 理论的	360	0.002 78	12.5	0
	正弦 5 $g_r$ 峰值, 理论的	380	0.002 63	12.5	0





附 录 B  
(资料性附录)  
导 则

### B.1 一般介绍

要实现再现性不是一件容易的事。由于随机信号的统计特性、样品的复杂响应和分析过程中出现的误差,不可能确定地预估样品的随机输入真实加速度谱密度是否与在设定的容差带内的加速度谱密度显示值匹配。因为不可能进行在线计算,只能是在试验后进行复杂耗时的分析。

大多数数字振动控制设备在随机和混合方式振动试验使用中的表现大致相同。使用振动控制设备的某些可选参数,可以通过先期计算来估算真实加速度谱密度和显示值间差异的统计精度。不考虑按 ISO/IEC 17025 引用 ENV 13005 测量的不确定度的表达导则的定義的其他不确定度来源。这些参数彼此之间相互耦合。这两个值的最优相似。

规定的加速度谱密度的均衡要求有一些控制循环的重复,持续时间取决于一些因素,例如硬件配置,整个系统的传递函数,规定的加速度谱密度的形状,控制算法和试验参数,这些都是在试验之前被调整好的。相关的试验参数是到底最大分析频率,频率分辨率和驱动信号削波。

随机振动的控制算法要在控制精度和控制循环时间之间进行折衷,而该控制循环时间受诸如每个控制周期内记录的个数的影响。较高的控制精度需要更多的数据输入,因此要有更长的循环时间,也就使实际的加速度谱密度对动态变化的响应会更慢。同样,频率分辨率对误差和循环时间有着很大的影响。一般地说一个较窄的分辨率带宽产生较高的控制精度和较长的循环时间。为了使样品加速度谱密度实际值和示值间的偏离最小化,要对这些试验参数进行优化。

振动响应检查能给出样品/振动台相互作用的重要信息。例如可以通过检查来揭示振动试验夹具试验放大过多或夹具和样品间的谐振耦合。

本附录主要讨论混合模式信号的随机部分。混合模式信号的正弦部分可参考 GB/T 2423.10—2008 附录 A 对扫频、扫频速率和跟踪滤波器详尽的描述。

### B.2 试验要求

#### B.2.1 单点控制和多点控制

试验要求由在参考点上测得的混合模式的信号计算得到的信号确认。

对刚性的或小尺寸的样品如元件,或已知在试验频率范围内受试的是低动态响应的样品和刚性夹具,只需要一个检测点,这个点就是参考点。

对大或者复杂的样品,如有多个固定点的设备,指定一个检测点或一个虚拟点作为参考点。虚拟点的加速度谱密度是将在多个检测点上测得的混合模式信号通过计算形成的。对大和/或复杂的样品推荐使用虚拟点(见 3.6.3)。

##### B.2.1.1 单点控制

在一个参考点上进行测量,每个频率上的控制值直接与规定值比较。

##### B.2.1.2 多点控制

如果规定或必须采用多点控制时,有二种频域控制方案可以选用。

###### B.2.1.2.1 平均策略

这种方法的控制值是从各检测点的信号通过计算得到的。合成的信号值是通过这些检测点每个频率的信号值算术平均得到。

然后在每个频率上将算术平均值与规定值进行比较。

B.2.1.2.2 极值策略

在这种方法中,合成的加速度谱密度的算法是取每个检测点上每一频率线加速度谱密度的最大极值。

在这种方法中,合成的控制值是取每个检测点上每一频率线信号值的最大极值。这方法也称为“最大”策略,因为所产生的值代表由每个检查点值的包络。

B.2.2 分布

B.2.2.1 瞬间值的分布

在试验期间随机驱动信号的瞬间值分布是正态或者高斯的,其公式为:

$$\rho(\chi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2(\chi/\sigma)^2} \dots\dots\dots(B.1)$$

式中:

- $\rho(\chi)$ ——概率密度;
- $\sigma$ ——r. m. s. 值,均方差;
- $\chi$ ——瞬间随机驱动信号值。

假定随机驱动信号时间历程的平均值是零。

图 2 所示为随机加随机和窄带随机加随机正态概率密度函数;图 4 所示为正弦加随机正态概率密度函数。

B.2.2.2 峰值因子

峰值因子是用最大瞬时值与 r. m. s. 值的比,描述激励(控制)信号分布的特性,(见图 2)。

峰值因子只适用于数字式振动控制系统输出驱动信号,因为系统内的非线性因素如功放、激振器、试验夹具和样品,可以改变检测点的随机波形。这些非线性的因素通常不受控。

本部分要求峰值因子不低于 2.5(见 5.1.2)。对正态分布的随机幅值,如果驱动信号用 2.5 因子削波,大约瞬时驱动信号值中 99% 的部分用于功放。

B.2.3 初始斜谱和最终斜谱

本部分在  $f_1$  和  $f_2$  (见图 1) 之间规定了一段平直的加速度谱。但是,在实际试验中必然有一段初始斜谱和最终斜谱。为了保持加速度 r. m. s. 值尽可能接近规定值,斜率应尽可能陡。通常初始斜率为 6 dB/oct。在某些情况下,  $f_1$  处的加速度谱密度较高,需要减小位移幅值,以增大斜率。计算随机位移幅值见 B.2.4 c)。

通常,数字式振动控制设备在毗邻的两条频率线之间有大 8 dB 的动态范围。为了达到这个斜率,对原定义有必要用较窄的频率分辨率  $B_n$ 。如无可能,或最大可能的斜率不能产生要求的位移减小,较低频率范围的加速度谱密度的负容差值应予修正。

$f_2$  以上的加速度谱密度最终斜谱不存在这个问题。最终斜谱应该是等于 -24 dB/oct 或更陡。

B.2.4 加速度,速度和位移 r. m. s. 值的计算

有效频率范围的加速度、速度和位移 r. m. s. 值是有效频率范围内(子域)值的平方的和的平方根,包括加速度谱密度量级(S),频率范围和斜率(M)。

这些均方值可以用下列的等式计算, S 单位  $(m/s^2)^2/Hz$  和 M 单位 dB/oct。

a) 加速度值的平方  $a^2 [(m/s^2)^2]$

对  $M \neq -3$   $a^2 = \frac{3S_{n+1}}{M+3} \cdot \left[ f_{n+1} - f_n \left( \frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \dots\dots\dots(B.2)$

对  $M = -3$   $a^2 = (S_{n+1}) \cdot (f_{n+1}) \cdot \left[ \ln \left( \frac{f_n}{f_{n+1}} \right) \right] \dots\dots\dots(B.3)$

对  $M = 0$   $a^2 = S_n \cdot (f_{n+1} - f_n) \dots\dots\dots(B.4)$

b) 速度值的平方  $v^2 [(m/s)^2]$

对  $M \neq 3$   $v^2 = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{3S_{n+1}}{M-3} \cdot \left[\frac{1}{f_{n+1}} - \frac{1}{f_n} \cdot \left(\frac{f_n}{f_{n+1}}\right)^{M/3}\right]$  .....( B. 5 )

对  $M = 3$   $v^2 = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}} \cdot \left[\ln\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)\right]$  .....( B. 6 )

c) 位移值的平方  $d^2$  (mm)<sup>2</sup>

对  $M \neq 9$   $d^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2}\right)^2 \cdot \frac{3S_{n+1}}{M-9} \cdot \left[\frac{1}{f_{n+1}^2} - \frac{1}{f_n^2} \cdot \left(\frac{f_n}{f_{n+1}}\right)^{M/3}\right]$  .....( B. 7 )

对  $M = 9$   $d^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2}\right)^2 \cdot \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}^2} \cdot \left[\ln\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)\right]$  .....( B. 8 )

注：在等式(B. 2)，(B. 5)和 (B. 7)中，ln 是自然对数。

这些等式基于在双对数图表上的线是直线。此时斜率按以下公式定义：

$$M = 3 \frac{\log\left(\frac{S_{n+1}}{S_n}\right)}{\log\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)} \quad \text{.....( B. 9 )}$$

对混合的模式信号：

加速度 *r. m. s.* 值：

$$r. m. s._{MM} = \sqrt{r. m. s._{R}^2 + r. m. s._{s}^2} \quad \text{.....( B. 10 )}$$

加速度幅值：

$$Amp_{MM} = CF \cdot r. m. s._{R} + Amp_s \quad \text{.....( B. 11 )}$$

式中：

CF——峰值因子，一般情况下为 3(这个值通常是由试验规范对随机波形的削波量级规定的)；

MM——混合模式；

R——随机；

s——正弦。

### B. 3 试验过程

试验只是在规定的频率范围内连续地用持续时间充分地证明样品在适当量级的激励下生存和工作的能力。条款项目对能力要求证明需经受住振动累积的影响，如疲劳和形损，试验应有充分的持续时间以积聚必需的应力循环，6.1.4. 给出了可选的持续时间序列。

对通常安装在减振器上使用的设备进行耐久试验时，一般要带减振器一起试验。如果无法带合适的减振器进行试验时，如设备是与其他设备一起安装一个通用安装设施的情况，可以不带减振器，试验的严酷度等级应事先加以规定。在确定试验严酷度等级时，要考虑减振系统在每个试验方向上的传递率。如果不知道减振器的特性，参考 B. 4. 1。

有关规范可能要求对产品进行一个去掉或锁住外部减振器的附加试验，以验证是否能得到最低可接受的结构阻尼。在这种情况下，有关规范应规定严酷等级。

### B. 4 通常使用减振器的设备

#### B. 4. 1 减振器的传递特性

对于应该采用隔振器进行试验但试验时隔振器又不可得时应采用的措施，在 GB/T 2423. 43—2008 中给出了完整的描述。

#### B. 4. 2 温度影响

在许多减振器中试验了特性与温度有关的材料，这一点非常重要。如果安装在减振器上的试验样品的一阶谐振频率落在试验频率范围内，在确定任何一次激励的时间长度时要谨慎。当然，在某些情况

下一定要连续施加激励,不允许恢复是不合理的。如果一阶共振频率的实际激励时间分布是已知的,应尽量进行模拟。如果真实的时间分布是未知的,应由工程判断来限定激励周期,以避免过热。

#### B.5 试验严酷等级

本部分所给的频率范围、宽带随机的加速度谱密度和正弦幅值或者宽带随机的加速度谱密度覆盖了很宽的使用范围。当产品仅应用于单一用途时,如果实际环境已知,选取严酷等级应基于实际环境的振动特性。

如果试验目的是考核机械强度要求,如样品在运输、工作状态,只要用可能,作用于样品上的试验的严酷等级应尽可能地与样品可能受到的环境相一致。

在确定试验严酷等级时,应该考虑提供在样品和实际环境间适当的安全余量。

不同环境要求的输入谱可以从标准如 MIL-STD 810F, ISO 16750, RTCA/DO-160 中得到。

#### B.6 样品性能

如有需要,在试验中可要求设备型的样品应按代表其工作状态的方式工作。可以是试验全过程,也可以仅在适当阶段。

对于振动会影响开关功能的样品,比如继电器的动作,这些功能应反复验证,以在试验频率范围内显示出满意的性能。

试验能否通过,应当在振动试验完成后评价设备型的样品工作性能。

#### B.7 初始测量和最终测量

初始测量和最终测量的目的是比较特殊参数以便评估振动对样品的影响。

除外观要求外,测量还包括电子和机械运行情况 and 结构上的特性。

参 考 文 献

- [1] ISO/IEC 17025:1999 测试与校准实验室能力的一般要求
- [2] ENV 13005:1999 测量不确定度的表达指引
- [3] MIL-STD 810F 环境工程研究和实验室试验的试验方法标准
- [4] ISO 16750 (所有部分) 道路车辆 电工电子设备环境条件和试验
- [5] RTCA/DO-160D:1997 气候设备的环境条件和程序

中华人民共和国  
国家标准  
电工电子产品环境试验  
第2部分:试验方法  
试验Fi:振动 混合模式

GB/T 2423.58—2008/IEC 60068-2-80:2005

\*

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 52 千字  
2008年10月第一版 2008年10月第一次印刷

\*

书号:155066·1-32688 定价 24.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 2423.58-2008