

## 前 言

本标准等同采用国际电工委员会标准 IEC 68-2-35《环境试验第 2 部分:试验方法试验 Fda:宽频带随机振动——高再现性》(1973 年第 1 版)及第 1 号修改单(1983 年 8 月)。

本标准代替 GB 2423.12—82《电工电子产品基本环境试验规程 试验 Fda:宽频带随机振动试验方法——高再现性》。

本标准的第 1、2 两章与 GB 2423.12—82 的第 1、2 两章不同,GB 2423.12—82 对 IEC 68-2-35 的第 1、2 两章进行了改写。这次修订还增加了 1983 年 8 月国际电工委员会对 IEC 68-2-35 的第 1 号修改单的内容。

本标准于 1982 年首次发布,1997 年 9 月第 1 次修订,自 1998 年 10 月 1 日起实施。

自本标准实施之日起,同时代替 GB 2423.12—82。

本标准由中华人民共和国电子工业部提出。

本标准由电子工业部标准化研究所总归口。

本标准由全国电工电子产品环境技术标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:电子工业部标准化研究所、电子工业部五所、上海市电子仪表标准计量测试所。

本标准主要起草人:周心才、王树荣、卢兆明、徐立义、王增兰等。



## IEC 前言

1. 由所有对该问题特别关切的国家委员会参加的国际电工委员会所属技术委员会制定的有关技术问题的正式决议或协议,它尽可能地体现和表达了国际上对该问题的一致意见。

2. 这些决议或协议,以推荐标准的形式供国际上使用,在这种意义上为各国家委员会所接受。

3. 为了促进国际间的统一,国际电工委员会希望所有委员国在制定国家标准时,只要国家具体条件许可,应采用国际电工委员会推荐标准的内容作为他们的国家标准。国际电工委员会的推荐标准和国家标准之间的任何分歧应尽可能地在国家标准中明确地指出。

本标准是由国际电工委员会第 50 技术委员会(环境试验)的 50A 分技术委员会(冲击、振动和其他动力学试验)制定的。

第 1 次草案是在 1968 年斯德哥尔摩会议上讨论的,新的草案是在 1969 年德黑兰会议上讨论的,作为这次会议的结果,最后草案 50A(中办)133 号文件于 1971 年 2 月提交给各国家委员会按“六个月法”表决。

下列国家投票明确赞成本标准:

澳大利亚	德国	葡萄牙
奥地利	匈牙利	瑞典
比利时	以色列	土耳其
捷克斯洛伐克	日本	英国
丹麦	挪威	美国
芬兰	波兰	

# 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 Fda:宽频带随机振动——高再现性

Environmental testing for electric and electronic products

Part 2: Test methods

Test Fda: Random vibration wide band

—Reproducibility high

GB/T 2423.12—1997  
idt IEC 68-2-35:1973

代替 GB 2423.12—82

## 1 引言

宽频带随机振动试验的基本要求在本标准 GB/T 2423.11—1997(IEC 68-2-34)试验 Fd:宽频带随机振动——一般要求中给出。此外,还规定了三种可能的再现性等级,称为高、中、低再现性,并分别以试验 Fda、Fdb、和 Fdc 表示。其中每一个试验方法连同其推荐验证方法组成单独的完整的标准,因此,在试验 Fd 中包括有关规范编写者所需用的全部信息。而试验工程师所需用的信息则分别包括在试验 Fda、Fdb 或 Fdc 中。

郑重建议本标准的使用者要结合 GB/T 2423.11—1997(IEC 68-2-34)阅读本标准。

必须注意,在整个标准文本中,经常提到随机振动试验问题中两个特别重要的术语。为了使读者更好地了解本标准的内容,现定义如下:

加速度谱密度 acceleration spectral density(A. S. D)

加速度变量的谱密度,以加速度单位的平方每单位频率来表示。

加速度谱密度的频谱 A. S. D spectrum

加速度谱密度在频率范围内的变化方式。

## 2 目的

确定元器件设备经受规定严酷等级的随机振动的能力。

本随机振动试验适用于在使用中可能受到随机性振动条件影响的元器件和设备。试验目的在于确定机械弱点和(或)规定性能是否下降,并结合有关规范使用这些信息来决定试验样品是否接收。

在施加本试验规定的环境应力(条件试验)时,试验样品要经受在宽频带范围内给定等级的随机振动试验。由于试验样品及其夹具会产生复杂的响应,所以本试验要求特别注意试验的准备、进行及规定要求的验证。

## 3 安装与控制

### 3.1 安装

试验样品应按 GB/T 2423.43—1995(IEC 68-2-47)《元件、设备和其他产品在冲击(Ea)、碰撞(Eb)、振动(Fc 和 Fd)和稳态加速度(Ga)等动力学试验中的安装要求和导则》的要求安装到试验设备上。

### 3.2 基准点和控制点

国家技术监督局 1997-09-01 批准

1998-10-01 实施

试验要求是通过与基准点和与试验样品固定点有关的控制点上所做测量来验证的。如果在一个夹具上安装许多小试验样品,则当荷载夹具的最低共振频率超过试验上限频率  $f_2$  时,可以认为基准点和(或)控制点与夹具有关,而与试验样品固定点无关(即选夹具和振动台的固定点作基准点和(或)控制点,而不是选试验样品和夹具的固定点)。

### 3.2.1 固定点

固定点定义为试验样品与夹具或与振动台接触的部分。通常是使用中正常紧固试验样品的点,如果使用实际安装结构的一部分做夹具,那么应取这些安装结构的固定点做为固定点,而不应取试验样品的固定点作固定点。

### 3.2.2 控制点

控制点通常就是固定点,控制点应尽量靠近固定点,在任何情况下它和固定点的连接应该是刚性的。

如果试验样品有四个或四个以下的固定点,那么每一个固定点都用作控制点。如果有四个以上的固定点,那么有关规范应规定四个有代表性的固定点作为控制点。

注

- 1 对大的和(或)复杂的试验样品,在有关规范中规定控制点是个重要问题。
- 2 控制点仅指对振动有要求或具有代表性的点。

### 3.2.3 基准点

基准点是用来取得基准信号验证试验要求和表示试验样品运动的单个点。它可以是一个控制点或者是用人工或自动处理各控制点信号而建立的一个假设点。

如果采用假设点,那么基准信号的频谱规定为全部控制信号的加速度谱密度值在每一频率上的算术平均值。在这种情况下,基准信号的总方均根值等于控制点信号方均根值的方均根。

有关规范应说明所采用的基准点,或说明应如何选取基准点,对大的和(或)复杂的试验样品,建议采用假设基准点。

## 4 频率响应测量和共振检查

在下列正弦振动试验阶段,其容差应符合 GB/T 2423.10—1995(idt IEC 68-2-6)试验 Fc,正弦振动试验中的规定。

### 4.1 正弦幅值

除有规范另行规定外,频率响应测量和共振检查所使用的正弦幅值,按加速度谱密度等级由表 1 确定。此幅值应施加于基准点上。如果随机振动条件试验使用假设点,那么此正弦幅值应施加在控制点上。

表 1

加速度谱密度等级		正弦幅值(峰值)	
$(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$	$g^2/\text{Hz}$	$\text{m/s}^2$	$g$
<4.8	(<0.05)	9.8	(1.0)
4.8~19.2	(0.05~0.2)	14.7	(1.5)
>19.2	(>0.2)	19.6	(2.0)

### 4.2 频率响应测量方法

在加速度谱密度的验证方法中,往往要求在安装样品基准点的预定方向上测量试验样品的频率特性。

测量时,应在整个试验频率范围( $f_1 \sim f_2$ )内进行正反两个方向正弦扫频,扫频速率不得超过每分钟一个倍频程。扫描时,基准点上的正弦幅值应按 4.1 规定保持常数,同时应测量功率放大器的交流输入电压。

测得的电压为频率的函数,并近似与频率响应成反比。考虑到振动台的位移极限,在低频端可以减少正弦加速度幅值,但计算频率响应时应考虑到这一点。

应在全部控制点上测量加速度幅值,并按 5.3 所述方法进行横向测量。在测量频率响应时,可使用激励均衡器(用于校正未加载的振动台一般响应的仪器)、低通滤波器(大于  $f_2$  截止)、高通滤波器(小于  $f_1$  截止)和其他宽带滤波器。测量时不应插入窄带均衡器,例如峰谷滤波器。

峰谷幅值比  $A_p/A_n$ (见图 1)为频率响应曲线上的最大值和最小值之比。这种测量不需用精密频率计。

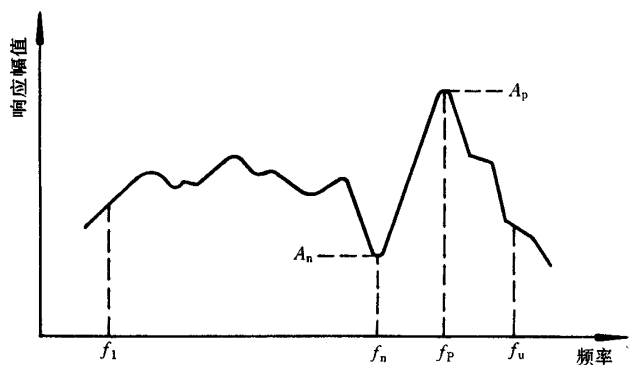


图 1 峰谷幅值比的确定

峰谷频率比( $B_{pn}$ )(见图 1 及图 2)按下列方程计算:

$$B_{pn} = \frac{|f_p - f_n|}{\sqrt{f_p \cdot f_n}}$$

式中:  $f_p$ ——波峰频率;

$f_n$ ——波谷频率。

这种测量仅需使用精密频率计。

在附录 A(标准的附录)和附录 B(标准的附录)所示的对加速度谱密度的验证方法中要指明最严酷的一对峰谷。如果要使用峰谷频率比,应对几对峰谷(图 2 有四对)测量出  $A_p/A_n$  和  $B_{pn}$ ,并估算每一对的分析误差和残余波纹,以便找出其中最严酷的一对峰谷。

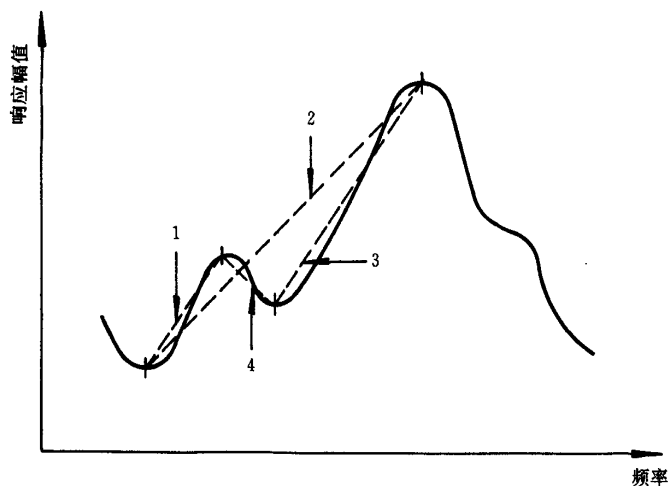


图 2 几对峰谷及频率比的确定

#### 4.3 共振检查方法

如果有关规范要求共振检查,那么有时可以在频率响应测量的同时进行初始共振检查。检查时,应在整个频率范围内进行正反向正弦扫频。

在共振检查期间,应检查试验样品,以便确定下列现象的频率:

- a) 由于振动使试验样品出现误动作和(或)性能降低;
- b) 试验样品出现机械共振。

为了更仔细地研究这些影响,并找出精确的频率,可以中断扫频。

在初始共振检查时,为了和最后共振检查所得的频率与幅值进行对比,应记录产生上述这些现象的全部频率和幅值。有关规范应规定共振频率发生任何变化时所应采取的措施。

在共振检查时,如适用,试验样品应进行工作,如因试验样品处于工作状态而不能确定其机械振动特性时,则应将试验样品处于非工作状态再进行一次附加的共振检查。

为检测试验样品内部效应所做的任何安排,都不应过大地改变试验样品的总体动态特性。

条件试验后必须规定一段恢复时间,以便允许试验样品在这段时间中恢复到和共振检查开始时相同的条件,例如温度影响。

## 5 振动运动要求

### 5.1 基本运动

试验样品各固定点的基本运动应为直线运动,并且其瞬时加速度值具有正态(高斯)分布的随机性质。这些点基本上也具有相同的运动。

### 5.2 分布

基准点上瞬时加速度值的分布通常应在图3所示的容差带以内。如果采用假设点,那么这一分布亦适用于控制点。

注:对大多数随机振动试验,这种分布落在容差带内,因此,只有在例外情况下才需验证。然而,若有可能,建议测量加速度波形(例如目测),以保证所出现的峰值至少为信号方均根值的2.5倍。

### 5.3 加速度谱密度的频谱和总方均根加速度

有关规范应规定加速度谱密度等级和频率范围。加速度谱密度的频谱应如图4所示。有了这些值就可同时确定出总方均根加速度的标称值,这个值也可通过查表3a和表3b得出。

加速度谱密度和总方均根加速度真值的容差见表2。由此可见,总方均根加速度真值的容差较加速度谱密度真值的容差要窄得多。

表2

dB

容 差 范 围			
加速度谱密度的真值		总方均根加速度的真值( $f_1 \sim f_2$ )	
预定方向		横 向	预定方向
基准点	各控制点	控制点	基 准 点
$\pm 3.0$	$\pm 5.0$	$< +5.0$	$\pm 1.0$

超过上限频率 $f_2 \sim 2f_2$ 的频率,其加速度谱密度的频谱要低于图4所示的每个倍频程为-6 dB的斜率。此外,频带 $f_2 \sim 10f_2$ 或到10 kHz(取其中较窄者)内的方均根加速度,不得超过规定频率范围内所要求的总方均根加速度的25%(-12 dB)。

为了验证运动要求,应在全部控制点和基准点的预定方向上进行加速度测量。还应在离安装平面中心最远的控制点的两相互垂直的横向上进行横向加速度测量。对于大型结构,建议在一个以上的控制点上测量横向加速度。

加速度谱密度容差的验证可用满足给定容差的任何方法进行,当这种验证有较大技术困难时,建议从附录A(标准的附录)至附录C(标准的附录)中选择验证方法。下面第6章给出了帮助进行这种选择的导则。

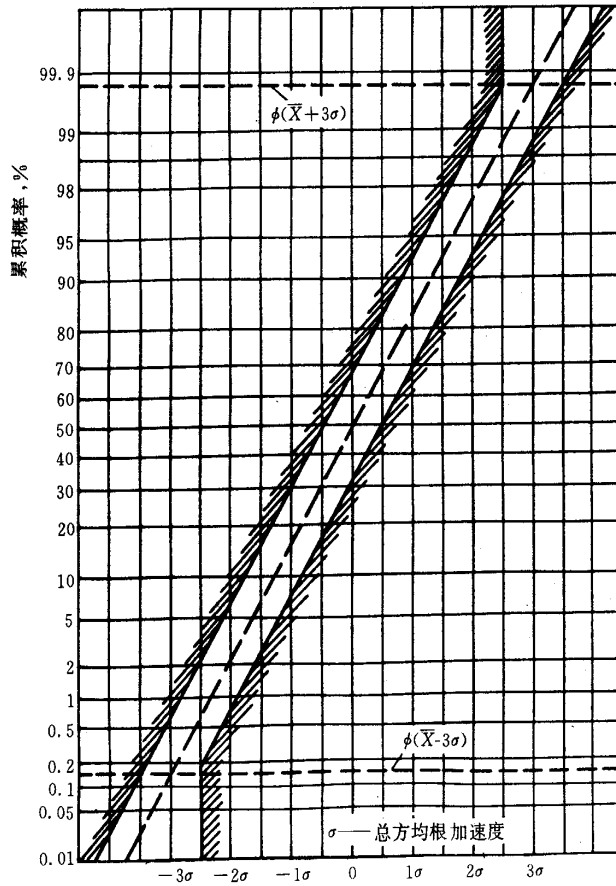
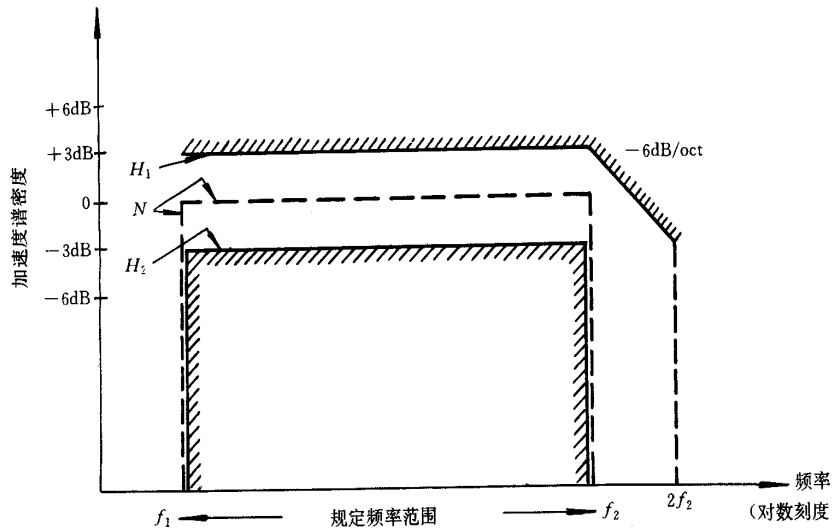


图3 瞬时加速度分布的容差带



$H_1$ ——容差上限,高再现性;

$H_2$ ——容差下限,高再现性;

$N$ ——规定的加速度谱密度的标称值

图4 加速度谱密度的频谱和容差范围

注

- 1 在规定成形频谱的特殊情况下,仍可使用附录A至附录C所示的验证方法。
- 2 必须注意,为了验证加速度谱密度等级,如不校正误差来源,例如分析器带宽,取样时间等,就不允许采用扫描技

术自动处理来自各控制点的信号而建立一个假设点来进行。

#### 5.4 规定频率范围内的总方均根加速度值

所要求的总方均根加速度值见表 3a 和表 3b。为了验证这些值,要使用低通滤波器,这种低通滤波器的截止频率(3 dB 点)应为  $f_2$ 。如果 3 dB 带宽较用白噪声输入信号的滤波器输出时所得到的等效噪声带宽相差 2% 以上,那么在使用表中所计算的方均根值时就应考虑此带宽。

注:为了验证总的方均根加速度,允许使用扫描技术自动处理来自各控制点的信号建立一个假设点来进行。

#### 5.5 位移极限

所有振动台都有位移极限。为了限制峰值位移,必须在功率放大器之前插入一高通滤波器。

注:如因振动台位移极限的限制在低频区内必须减少加速度谱密度值时,则必须注明所减少的值,并取得供需双方的同意。

### 6 验证方法的选择

在附录 A 至附录 C 中,作为推荐的方法规定了三种加速度谱密度频谱的验证方法。

#### 6.1 选择准则

当选择验证方法时,必须考虑以下因素:

- a) 试验所规定的频率范围;
- b) 有关规范的特殊要求;
- c) 试验样品的机械响应特性;
- d) 振动台的推力;
- e) 振动台运动单元的尺寸、刚度和质量;
- f) 夹具的刚度和质量;
- g) 所用仪器的类型;
- h) 所用仪器的特性(例如:滤波器带宽、动态范围、频率范围、适用的扫描速率、哼声及噪声)。

#### 6.2 推荐验证方法的适用性

如果在采用推荐验证方法时所包括的基本误差不使试验无效,则可用附录 A 到附录 C 所推荐的验证方法。

附录 A 所示扫描滤波器技术的验证方法较其他方法费时。在条件试验期间用磁带记录仪记录、并随后分析加速度随时间的变化历程时。如果频率范围宽,条件试验时间短,那么需要验证加速度谱密度的频谱。

如果滤波器带宽很窄,且试验样品的共振对系统的影响不大,那么可以采用附录 B 所示固定滤波技术的验证方法。对一些试验样品和滤波器带宽在较低频率时不宜使用本验证方法。本验证方法还需使用磁带记录仪。

当试验样品基本上与该类产品在相同夹具上采用直接验证方法(如附录 A 和附录 B 的方法)先前进行过的验证一致时,才能使用附录 C 的正弦扫描技术的验证方法,如果使用简单的仪器,试验样品刚性很大,或者试验样品较刚性总运动质量要小得多,例如安装在刚性箱形夹具内的小型电子元件,那么使用附录 C 所示正弦扫描技术的验证方法有其优越性。不允许使用窄带均衡器。当每次进行试验时该方法不需要复杂的分析设备。

#### 6.3 混合验证方法

本验证方法打算给出相同的再现性。但是,在一些情况下,分析误差或残余波纹(定义见附录 A 和附录 B)在频率范围的某些部分内可能变得太大,这是不允许的。另一些情况下分析时间可能太长。这些问题往往迫使在频率范围的不同部分使用不同的验证方法。

值得注意的是,即使使用混合验证方法,也应在整个频率范围内同时进行条件试验。甚至对具有一个以上的规定加速度谱密度等级的频谱,这种试验也不应分开。



注：对加速度谱密度频谱的验证，也可采用现有的精度较高的方法。

## 7 初始检测

应按有关规范的要求，对试验样品进行电气和机械检测。

如果有关规范要求条件试验前后进行共振检查，那么包括共振检查在内的整个试验程序应在一个轴向上完成，并在其它轴向重复进行。共振检查方法在 4.3 中规定。

## 8 条件试验前的激励

当用正弦振动进行频率响应测量或共振检查时，应尽量缩短时间，所施加的幅值在 4.1 中规定。

包括频率响应测量，任何共振检查和条件试验在内的整个试验程序应在一条轴线上完成（且不得从振动台上拆下试验样品），然后再在其他每条轴线上依次重复进行。

在进行正式的（即全等级的）随机振动试验前，必须先对试验样品进行较低等级的随机激励，以便进行预调（即均衡和预先分析），重要的问题是，此时所加的振动量级要保持最小，时间要保持最短。

在进行正式的随机振动试验前，所允许的预调激励时间（即建立时间）为：

- a) 小于规定等级的 25%，无时间限制；
- b) 在规定等级的 25%~50%，其时间应不大于规定试验时间的 1.5 倍；
- c) 在规定等级的 50%~100%，其时间应不大于规定试验时间的 10%。

必须注意，上述这些预调激励时间不应从规定的试验时间中扣除。

## 9 条件试验

除有关规范另有规定外，试验样品应在三个相互垂直的轴线上依次受振，轴线的选取应使最容易暴露样品的故障。严酷等级在有关规范中规定。

除有关规范另有规定外，如果条件允许，条件试验时样品应该进行工作，以便确定电气功能和机械效应。

对元器件，有关规范应规定条件试验时是否要进行电气检查，以及在条件试验的哪一阶段进行这些检查。在整个条件试验期间，应测量和控制在规定频率范围内的总方均根加速度，适用的数值见表 3a 和表 3b，容差按 5.3 规定。

在条件试验的开始和结束时，应测量大于  $f_2$  的方均根加速度值。

频带  $f_2 \sim 10f_2$  或至 10 kHz（取其中较窄者）内的方均根加速度值，不应超过规定频率范围内所要求的总方均根加速度值的 25%（-12 dB）。

在使用验证方法（例如附录 A 和附录 B 所示的验证方法）时，为了验证加速度谱密度的频谱，在条件试验时，应抽取具有瞬时加速度时间历程的样本。每个样本最小持续时间为所用分析设备的最大平均时间的两倍。对持续时间不超过 10 min 的试验，一个样本就足够了。对较长的持续时间，应在条件试验开始和结束时抽取样本。如果振动系统装置在耐久条件试验时发生变化，则在变化后应立即抽取追加样本。对很长的条件试验持续时间，建议在条件试验期间抽取追加样本。

无论条件试验期间或条件试验后，都应按所采用的验证方法对加速度谱密度进行验证。

## 10 最后检测

应按有关规范的要求，对试验样品进行电气及机械检测。

如果要求共振检查，则应按 4.3 所述方法进行最后共振检查。

表 3a 总方均根加速度值  
每一频率范围对每一加速度谱密度的总方均根加速度(矩形谱,单位:m/s<sup>2</sup>)

规定的 加速度 谱密度 (m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz	规定的频率范围( $f_1 \sim f_2$ )											
	Hz											
	5~150	5~200	10~150	10~200	20~150	20~200	20~500	20~2 000	20~5 000	50~500	50~2 000	50~5 000
总方均根加速度 m/s <sup>2</sup>												
0.048	2.65	3.04	2.55	3.04	2.55	2.94	4.81	9.81	15.7	0.46	9.81	15.7
0.096	3.73	4.32	3.62	4.31	3.53	4.22	6.77	13.7	21.6	0.66	13.7	21.6
0.192	5.30	6.20	5.20	6.08	5.00	5.89	9.61	19.6	31.4	0.93	19.6	31.4
0.48	8.33	9.71	8.24	9.61	7.95	9.32	15.7	31.4	49.1	1.47	30.4	49.1
0.96	11.8	13.7	11.8	13.7	10.8	12.8	21.6	44.1	69.7	2.06	43.2	68.7
1.92	16.7	19.6	16.7	18.6	15.7	18.6	30.4	61.8	98.1	2.94	61.8	98.1
4.8	26.5	30.4	25.5	30.4	25.5	29.4	48.1	98.1	157	4.61	98.1	157
9.6	37.3	43.2	36.2	43.1	35.3	42.2	67.7	137	216	6.60	137	216
19.2	53.0	62.0	52.0	60.8	50.0	58.9	96.1	196	314	9.32	196	314
48	83.3	97.1	82.4	96.1	79.5	93.2	157	314	491	14.7	304	491
96	118	137	118	137	108	128	216	441	697	20.6	432	687
192	167	196	167	186	157	186	304	618	981	29.4	618	981
480	265	304	255	304	255	294	481	981	1 570	46.1	981	1 570
960	373	432	362	431	353	422	677	1 370	2 160	66.0	1 370	2 160

表 3b 总方均根加速度值  
每一频率范围对每一加速度谱密度的总方均根加速度(矩形谱,单位:g)

规定的 加速度 谱密度 g <sup>2</sup> /Hz	规定的频率范围( $f_1 \sim f_2$ )											
	Hz											
	5~150	5~200	10~150	10~200	20~150	20~200	20~500	20~2 000	20~5 000	50~500	50~2 000	50~5 000
总方均根加速度 g												
0.000 5	0.27	0.31	0.26	0.31	0.26	0.30	0.49	1.0	1.6	0.47	1.0	1.6
0.001	0.38	0.44	0.37	0.44	0.36	0.43	0.69	1.4	2.2	0.67	1.4	2.2
0.002	0.54	0.63	0.53	0.62	0.51	0.60	0.98	0.2	3.2	0.95	2.0	3.2
0.005	0.85	0.99	0.84	0.98	0.81	0.95	1.6	3.2	5.0	1.5	3.1	5.0
0.01	1.2	1.4	1.2	1.4	1.1	1.3	2.2	4.5	7.1	2.1	4.4	7.0
0.02	1.7	2.0	1.7	1.9	1.6	1.9	3.1	6.3	10	3.0	6.3	10
0.05	2.7	3.1	2.6	3.1	2.6	3.0	4.9	10	16	4.7	10	16
0.1	3.8	4.4	3.7	4.4	3.6	4.3	6.9	14	22	6.7	14	22
0.2	5.4	6.3	5.3	6.2	5.1	6.0	9.8	20	32	9.5	20	32
0.5	8.5	9.9	8.4	9.8	8.1	9.5	16	32	50	15	31	50
1.0	12	14	12	14	11	13	22	45	71	21	44	70
2.0	17	20	17	19	16	19	31	63	100	30	63	100
5.0	27	31	26	31	26	30	49	100	158	47	100	157
10.0	38	44	37	44	36	43	69	141	223	67	140	222

## 附录 A

(标准的附录)

## 应用扫描滤波器技术的验证方法

## A1 说明

为了验证随机振动试验的要求是否已经满足,本验证需要使用扫描分析器。

分析所得频谱精度取决于分析器的特性和待分析的频谱,所给出的曲线表示得出的分解误差,下文称为分析误差。分析误差曲线的计算是以试验样品和夹具对振动台系统的典型响应为依据的。

对于本验证方法,因为需要分析大量的频谱,所以分析时间可能较长。由于分析时间长,因此条件试验后的验证几乎总是必要的。

## A2 扫描分析器特性的测量

应该测量 3 dB、12 dB、30 dB 和 50 dB 带宽(分别称为  $B_3$ 、 $B_{12}$ 、 $B_{30}$  和  $B_{50}$ ),假定滤波器的波形与中心频率无关。

带宽因子  $C_B$  定义为滤波器波形因子  $B_{12}/B_3$  的函数:

$$C_B = 0.1 + \frac{1}{2.4} \cdot \frac{B_{12}}{B_3} \quad \dots\dots\dots (A1)$$

条件如下:

$$1.2 < \frac{B_{12}}{B_3} < 2.2; \frac{B_{30}}{B_3} \leq 3.8; \frac{B_{50}}{B_3} \leq 6$$

如果不满足这些条件,就不能运用本验证方法中的误差曲线,此时,该扫描分析器就不适用于本验证方法。

滤波器的相对带宽  $B_r$  定义为在分析中的规定时刻,分析器的 3 dB 带宽和所调到的中心频率之比。

注:本测量只有在必要时进行。

## A3 分析误差估计

应按 4.2 进行频率响应测量。

分析误差取决于等效相对带宽  $B_e$ ,  $B_e$  定义为:

$$B_e = C_i C_B B_r \quad \dots\dots\dots (A2)$$

式中:  $C_i = \frac{B'_{pn}}{B_{pn}}$ , 其中  $B'_{pn}$  是相应于振幅比的频率比,参见图 A1 和图 A2 如果不打算用很精密的频率计

来实现频率响应测量,以测定  $B_{pn}$ , 则  $C_i = 1$ 。

得出  $A_p/A_n$  值后,选取图 A1 和图 A2 中的合适曲线,然后在上述计算的  $B_e$  值下读出分析误差。允许在曲线之间采用线性插值法。为了找到最大误差的一对峰谷,通常必须研究几对峰谷。

注:当本试验方法结合附录 B 所示方法,且估计的残余波纹低于频率响应测量所得的  $A_p/A_n$  时,则可采用较低值作为图 A1 与图 A2 中频率范围有关部分的  $A_p/A_n$ , 并和附录 B 方法得到的  $C_i$  相同。

例:使用 4% 的扫描分析器,测量分析器中滤波器的波形和波形因子为:

$$\frac{B_{12}}{B_3} = 1.55; \frac{B_{30}}{B_3} = 2.4; \frac{B_{50}}{B_3} = 4.0;$$

$$C_B = 0.1 + 1.55 \times \frac{1}{2.4} = 0.75; B_r = 4\%$$

频率响应测量得出峰谷振幅  $\frac{A_p}{A_n} = 7$  dB, 且对应的峰谷频率比  $B_{pn} = 3.9\%$ 。采用  $B_{pn} = 3.9\%$ , 则:

$$C_f = \frac{B'_{pn}}{B_{pn}} = \frac{1.3}{3.9} = \frac{1}{3}$$

$$B_e = \frac{1}{3} \times 0.75 \times 4\% = 1\%$$

这就得出估计分析误差在波谷区为 1.9 dB, 在波峰区为 0.95 dB。

如果已进行的频率响应测量不是用很精密的频率计来测定  $B_{pn}$  的, 则  $C_f=1$ , 且

$$B_e = 1 \times 0.75 \times 4\% = 3\%$$

因此, 可以看出分析误差较大, 即在波谷区为 3.6 dB, 在波峰区为 2.3 dB。

再研究其他对峰谷后, 发现上述这些误差是最大的。

图 A1 波谷区内分析误差

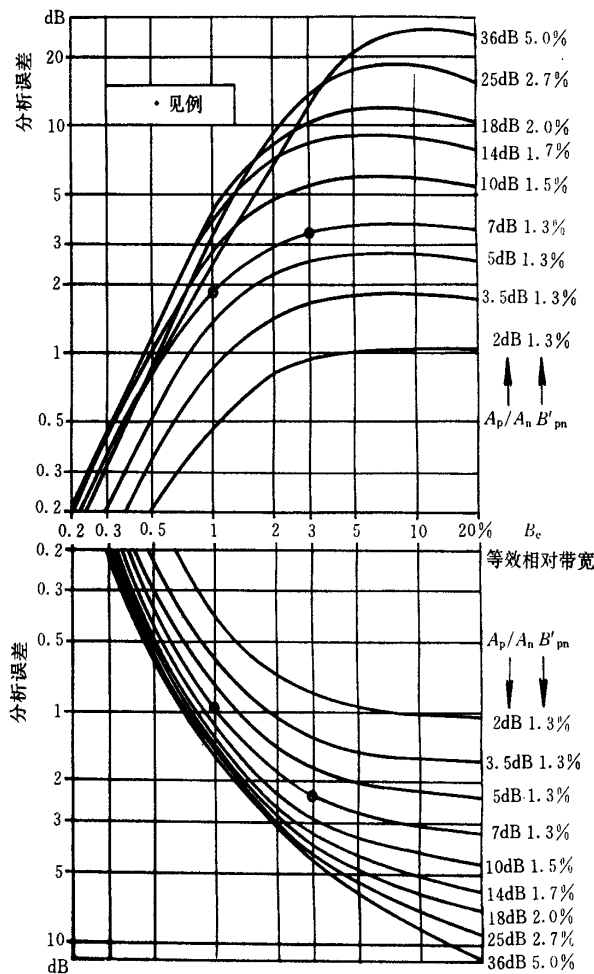


图 A2 波峰区内分析误差

#### A4 加速度谱密度频谱的验证

如果条件试验的持续时间允许, 那么建议在条件试验的同时验证加速度谱密度的频谱。否则应在条件试验后进行验证。在后一种情况下, 在预调激励阶段应做初步验证。

加速度谱密度的验证应在预定方向的全部控制点上和横向的若干规定控制点上测量。验证时, 分析器应从  $f_1$  扫到  $2f_2$ , 所选择的扫描速率应使其误差保持在采用低扫描速率时所允许的那种误差范围内。如果  $S$  值符合下式, 则在任何情况下, 误差总是小的。

$$S \leq k \frac{B}{t} \dots\dots\dots (A3)$$

式中：S——扫描速率,Hz/s;

B——分析器带宽,Hz;

t——平均时间,s;

k——0.4,当采用真实平均时间时。

如果应用 RC 电路求平均值,则  $t=2RC, k=0.2$ 。在分析时,可以采用不同的带宽和平均时间。

除了分析方法和仪器所引起的真值的偏差外,每一频率所得出的读数还受时间波动的影响,这是由于随机振动的随机性所致。这种波动随平均时间增大而减少。加速度谱密度的容差,在不具备  $t > 30/B$  的频率范围内的某些频段可能难以得到。在频率范围内的其它一些频段,可以减少平均时间,以便允许应用较高的扫描速度。

注：在条件试验后验证时,利用磁带记录仪将信号变到高频区,可以大大减少分析时间和分析误差。

求得的加速度谱密度的偏差、按 A3 求得的估计分析误差和仪器误差三者之和,应该在表 A1 所示容差内。

表 A1

预 定 方 向		横 向
基 准 点	各 控 制 点	控 制 点
±3 dB	±5 dB	<+5 dB

但是,这个总误差取决于频率,所以频率范围内的任何关键部分都应分别研究,以便得出各部分的实际总误差(见图 A3)。

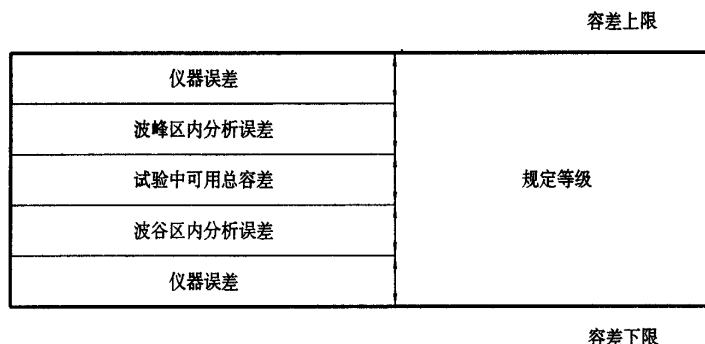


图 A3 累积误差图

**A5 总方均根加速度的验证**

频率范围以内的总方均根加速度,在整个随机振动条件试验过程中应按 5.3 和 5.4 加以测量和控制。这个值在校正仪器误差后应在 ±1.0 dB 内。

大于  $f_2$  的方均根加速度按 5.3 进行测量。

**附 录 B**

(标准的附录)

**应用固定滤波器技术的验证方法**

**B1 说明**

本验证方法的基础是使用并联固定滤波器式均衡器/分析器试验装置。其中均衡和分析滤波器,就

中心频率和带宽来说实际上是相同的。这个系统可以是手动的,或者是自动的。分析器部分用来验证随机振动条件试验的要求是否已被满足。

分析后的频谱精度取决于滤波器的特性及待分析的频谱,所给出的曲线表示均衡后并且未被分析器检测的残留波纹。这种波纹定义为残余波纹。残余波纹的计算是以试验样品和夹具对振动台系统的典型响应为依据的。

本验证方法在中、低频区内难以应用。

## B2 均衡器总偏差的测量

均衡器滤波器装置的测量,应使所有滤波器装置在具有同等电平的条件下进行。测定均衡器输入到输出的传递函数应使用从  $f_1 \sim 2f_2$  的正弦扫描信号,扫描的速率不得超过每分钟一个倍频程。在  $f_1 \sim f_2$  范围内按分贝(dB)计算的偏差就是总偏差。

注:为了足以保证滤波器装置在每次试验时有良好的功能,应经常测量总偏差。

## B3 残余波纹估计

残余波纹取决每一滤波器的等效相对带宽  $B_e$ ,  $B_e$  定义为:

$$B_e = C_i B_r \quad \dots\dots\dots (B1)$$

式中:  $C_i$ —— $B'_p/A_n/B_{pn}$ ,  $B'_p$  就是图 B1 和图 B2 中相对于 4.2 中应用频率响应特性测量方法得出的有关幅值比  $A_p/A_n$  所给出的频率比;

$B_r$ ——滤波器的相对带宽,规定为 3 dB 带宽和中心频率之比。

若不想以足够的频率精度确定  $B_{pn}$  以实行频率响应特性测定,则  $C_i=1$ 。

得出  $A_p/A_n$  值后,选取图 B1 和图 B2 中的合适曲线,然后在上述计算的  $B_e$  值下读出残余波纹。允许在曲线之间采用线性插值法。为了找出最大误差的一对峰谷,通常要研究几对峰谷。

例:使用具有 25 Hz 恒定带宽的滤波器,测得的总偏差为 4.4 dB,因此采用  $\pm 2.2$  dB。

由频率响应测量可以看出,预计值在 1.25 kHz~1.30 kHz 左右(等于滤波器相对带宽  $B_r=25/1250 \times 100\%=2\%$ ),这里测得峰谷幅值比  $A_p/A_n=7$  dB 和对应的峰谷频率比  $B_{pn}=2.8\%$ 。

采用  $B_{pn}=2.8\%$  则:

$$C_i = \frac{B'_p}{B_{pn}} = \frac{1.4}{2.8} = 0.5$$

因此:  $B_e=0.5 \times 2\%=1\%$ 。

这就得出均衡后的估计残余波纹在 2.0 dB 与 -2.5 dB 以内,但当总偏差为  $\pm 2.2$  dB 时,残余波纹估计在 2.2 dB 与 -2.5 dB 内(见 B4 第二段)如果不用精密的频率响应测量而确定  $B_{pn}$ ,则  $C_i=1$ ,因此  $B_e=B_r \times 1=2\%$ : 可见估计的残余波纹较大,即 +3.0 dB 和 -4.1 dB。

如上所述,可以估计 1.25 kHz 左右的频率区给出了最大的残余波纹,但还应研究其它频率区内的其他峰谷。

图 B1

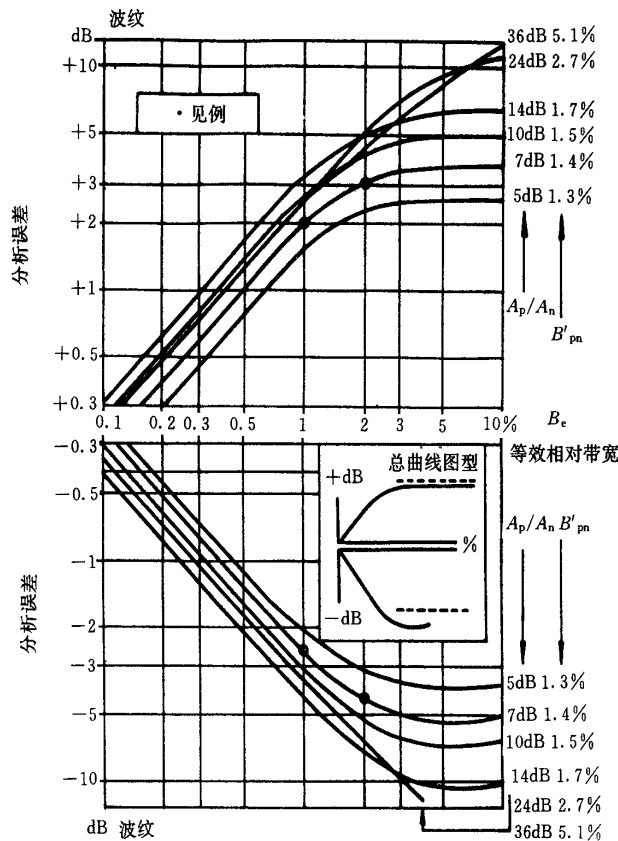


图 B2 均衡后的残余波纹  
(全部分析器滤波器读 0 dB)

**B4 加速度谱密度的均衡和验证**

如果条件试验的持续时间允许,建议在条件试验的同时验证加速度谱密度的频谱。否则在条件试验后进行验证。在后一种情况下,应在预调激励阶段较低电平时做初步验证。

加速度谱密度的验证应在预定方向的全部控制点上和横向的若干规定控制点上进行测量。

按 B3 求得的估计残余波纹、按规定的加速度谱密度测量仪上读出的偏差以及仪器误差三者之和,在规定的频率范围内应在表 B1 所示容差内。如果按 B2 求得的总偏差大于残余波纹,则就应用这个总偏差来代替按 B3 计算的波纹。

表 B1

预 定 方 向		横 向
基 准 点	各 控 制 点	控 制 点
±3 dB	±5 dB	<+5 dB

**B5 总方均根加速度的验证**

在整个随机振动条件试验过程中,总方均根加速度应按 5.3 和 5.4 进行测量和控制。这个值在校正仪器误差后应在 ±1.0 dB 以内。

大于  $f_2$  的方均根加速度,按 5.3 进行测量。

## 附录 C

(标准的附录)

## 应用正弦扫描技术的验证方法

## C1 说明

本验证方法是用频率响应测量(见 4.2)来确定试验样品、所用夹具和均衡器系统(如有的话)的动态特性是否在规定容差范围内,这是一种间接方法(见 C3 章)。如果这样,那么无须使用任何直接的加速度谱密度的频谱分析,就能完成随机振动条件试验,并只用测量总方均根加速度的方法就能控制它。

验证方法可使用两种方式,取决于是否使用均衡器。这种均衡器的带宽应等于或大于三分之一倍频程。如果使用均衡器,主要应注意均衡电平在整个验证过程中应保持常数(非自动系统)。

如果试验样品较振动台的运动单元的质量要小,且试验样品和夹具的刚性较大,即在频率范围内没有严重共振,那么这种验证方法特别适用。

如果本验证方法应用于高再现性,则对动态特性未知的每一新装置,要求使用象附录 A 所示的验证方法直接验证加速度谱密度(见 C4 章)。

## C2 噪声发生器的加速度谱密度频谱的测量

噪声信号的加速度谱密度应从 5 Hz~10 kHz 按照频率的函数加以分析。在进行本测量期间,噪声发生器应象条件试验期间一样,接上带有必须给出所要求频谱形状的滤波器,并加上负载(即输出信号)。

分析器带宽  $B$  应该小于、等于 5 Hz 或小于、等于中心频率的 5%(取其中较大者),扫描速度不得超过  $0.2B/t$ ,这里  $t$  是有效平均时间。如果采用 RC 平均电路,那么  $t=2RC$ 。建议  $Bt>60$ 。

注:本测量只有在必要时才做。

## C3 加速度谱密度的间接验证

对所规定频率范围应按 4.2 进行频率响应测量。应在预定方向的全部控制点上和横向的若干规定控制点上测量。

按噪声发生器的信号频谱和在每一频率上的响应的分贝值之和的偏差,表示条件试验加速度谱密度的预计偏差。这个偏差(在  $f_1\sim f_2$  范围内最大值和最小值之差,加上仪器误差)在预定方向应不超过表 C1 所列数值。

表 C1

不用均衡器		采用均衡器	
基准点	控制点	基准点	控制点
6 dB	10 dB	2 dB	6 dB

在频率响应测量时所测得的横向加速度幅值,应不超过任何频率下预定方向的任何控制点上的幅值。

表中所示的均衡器应有等于或大于三分之一倍频程的带宽。用于校正未加载振动台的一般频率响应的仪器(有时称激励均衡器),在本标准中不认为是均衡器。

## C4 加速度谱密度频谱的直接验证

在试验样品或基本相同的试验样品装入同一夹具之前,应先做好加速度谱密度频谱的直接验证(因



为振动方向、夹具或试验样品的变化,预计会导致未知的频率响应,所以要进行加速度谱密度频谱的直接验证)。

#### C5 总方均根加速度的验证

在整个随机振动条件试验过程中,应按 5.3 和 5.4 测量和控制在规定频率范围内的总方均根加速度,这个值在校正仪器误差后应在 $\pm 1.0$  dB 内。

大于  $f_2$  的方均根加速度应按 5.3 进行测量。

---