



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 2423.10—2019/IEC 60068-2-6:2007  
代替 GB/T 2423.10—2008

---

## 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fc:振动(正弦)

Environmental testing—Part 2: Tests methods—Test Fc: Vibration (sinusoidal)

[IEC 60068-2-6:2007, Environmental testing—Part 2-6: Tests—  
Test Fc: Vibration (sinusoidal), IDT]

2019-06-04 发布

2020-01-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

本标准检测机构;<http://www.jiancexinxi.com/>

## 目 次

前言 .....	I
引言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 试验要求 .....	4
4.1 特性要求 .....	4
4.2 控制策略 .....	5
4.3 安装 .....	6
5 严酷等级 .....	6
5.1 频率范围 .....	7
5.2 振动幅值 .....	7
5.3 耐久试验的持续时间 .....	9
6 预处理 .....	9
7 初始检查 .....	9
8 试验 .....	9
8.1 概述 .....	9
8.2 振动响应检查 .....	10
8.3 耐久试验 .....	10
9 中间检测 .....	11
10 恢复 .....	11
11 最后检测 .....	11
12 有关规范应给出的规定 .....	11
13 试验报告应给出的信息 .....	12
附录 A (资料性附录) 试验 FC 导则 .....	13
附录 B (资料性附录) 主要用于元件应用的严酷等级示例 .....	23
附录 C (资料性附录) 主要用于设备应用的严酷等级示例 .....	24
附录 NA GB/T 4798(所有部分)和 IEC 60721-3(所有部分)的一致性对应程度 .....	26
参考文献 .....	27

## 前 言

GB/T 2423《环境试验 第2部分》按试验方法分为若干部分。

本部分为 GB/T 2423 的第 10 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 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)》。与其相比,主要技术变化如下:

- 增加了包装样品试验内容;
- 对严酷等级参数的选取做了更详细的规定(见第5章,2008年版的第5章);
- 增加了对控制策略的规范和描述(见4.2);
- 增加了试验报告的要求(见第13章)。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60068-2-6:2007《环境试验 第2-6部分:试验方法 试验 Fc:振动(正弦)》。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 2298—2010 机械振动、冲击与状态监测 词汇(ISO 2041:2009, IDT);
- GB/T 2421.1—2008 电工电子产品环境试验 概述和指南(IEC 60068-1:1988, 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、冲击和类似动力学试验样品的安装(IEC 60068-2-47:2005, IDT);
- GB/T 4798(所有部分) 电工电子产品应用环境条件[IEC 60721-3(所有部分)],两项标准各部分之间的一致性程度见附录 NA。

为了便于使用,本部分做了下列编辑性修改:

- 修改了标准名称。

本部分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。

本部分起草单位:工业和信息化部电子第五研究所、上海市质量监督检验技术研究院、北京航空航天大学、上海工业自动化仪表研究所。

本部分主要起草人:常少莉、卢兆明、李传日、纪春阳、蒋灿、徐忠根、史晓雯。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 2423.10—1981、GB/T 2423.10—1995、GB/T 2423.10—2008;
- GB/T 2423.7—1981。

## 引 言

GB/T 2423 的本部分给出的振动(正弦)试验方法,适用于在运输或使用期间可能在船舶、航空飞行器、陆用车辆、旋翼飞行器、空间应用,以及因机械或地震现象导致旋转、脉动或摆动力产生共振的元件、设备和其他产品(简称样品)。

本试验让受试样品在一定的时间周期内,进行给定频率范围或离散频率的正弦振动。用规定的振动响应检查确定样品的危险频率。

有关规范给出样品在振动试验时是否工作,或在振动试验后是否能继续工作。

需强调指出的是,供需双方需充分认识到:振动试验总是需要一定的工程判断。然而,正弦振动试验是一个确定性的、相对简单的过程,因而适用于诊断和使用寿命试验。

本部分的正文首先描述了用模拟或数字技术在规定点控制试验的方法,并给出了详细的试验程序,同时对振动的要求、严酷度等级(频率范围、振幅和持续时间)的选择都作出了规定。有关规范的编写者选择适用于该样品及其使用要求的试验程序和严酷度等级。

为了便于理解本部分,第3章给出了术语的定义。

附录A给出了本试验的导则,而附录B和附录C提供了对元件和设备严酷度的选择。

## 环境试验 第2部分:试验方法

### 试验 Fc:振动(正弦)

#### 1 范围

GB/T 2423 的本部分给出了一个标准的试验方法过程,用以确定元件、设备和其他产品(下文称样品)经受规定严酷度正弦振动的能力。如果试验要求采用非包装形式,表明受试样品是不带包装的。然而,如果试验要求样品带包装,就用带包装的产品,并将产品及其包装视为一个受试样品。

本试验的目的是确定样品的机械薄弱环节和/或特性降低情况。用这些资料,结合有关规范用以判定样品是否可以接收。在某些情况下,本试验方法可用于论证样品的机械结构完好性和/或研究它们的动态特性。也可根据经受本试验不同严酷等级的能力来划分元器件等级。

#### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 27025—2008 检测和校准实验室能力的通用要求(ISO/IEC 17025:2005, IDT)

IEC 60068-1 环境试验 第1部分:概述与导则(Environmental testing—Part 1: General and guidance)

IEC 60068-2-47 环境试验规程 第2部分 试验方法 振动、冲击和类似动力学试验中样品的安装(Environmental testing—Part 2-47: Tests—Mounting of specimens for vibration, impact and similar dynamic tests)

IEC 60721-3(所有部分) 产品环境条件的分类 第3部分:环境参数和严酷度的分类(Classification of environmental conditions—Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities)

ISO 2041 振动和冲击 词汇(Vibration and shock—Vocabulary)

#### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

注1:专用名词通常按 ISO 2041 和 IEC 60068-1,但扫频循环(3.4)和信号偏差(3.5)是由本部分特殊定义的。

定义索引:

实际运动	actual motion	3.7
基本运动	basic motion	3.6
中心共振频率	centred resonance frequency	3.10
检查点	check point	3.2.1
危险频率	critical frequencies	3.9
阻尼	damping	3.8
虚拟基准点	fictitious reference point	3.2.3
固定点	fixing point	3.1

$g_n$		3.12
测量点	measuring point	3.2
多点控制	multipoint control	3.3.2
基准点	reference point	3.2.2
扫描频率范围	restricted frequencies sweeping	3.11
信号偏差	signal tolerance	3.5
单点控制	single point control	3.3.1
扫频循环	sweep cycle	3.4

注 2: 以下专用名词的描述与 ISO 2041 或 IEC 60068-1 的定义不同,或未被定义在内。

### 3.1

#### 固定点 fixing point

样品与夹具或振动台面的连接点,通常是使用中固定样品的点。

注 1: 如果是实际安装结构的一部分作夹具使用,则取安装结构和振动台面接触的部分作固定点,而不取样品和振动台面接触的部分作固定点。

注 2: 当样品是带包装的产品时,样品与振动台接触表面可视为固定点。

### 3.2

#### 测量点 measuring point

试验中采集数据的某些特定点。

注 1: 一般有两种形式,下面给出其定义。

注 2: 为了评价样品的性能,可以在样品的许多点上进行测量。但在本部分中,这种情况不作为测量点看待,在这方面更详细的叙述参见附录 A 中 A.2.1。

#### 3.2.1

##### 检查点 check point

位于夹具、振动台或样品上,尽量靠近固定点,且在任何情况下都要与固定点严格刚性连接。

注 1: 试验的要求是通过若干检查点来保证的。

注 2: 如果存在 4 个或 4 个以下的固定点,则每个都用作检查点。对于带包装的产品,包装表面与振动台相接触的固定点,如果在测试的频率范围内振动台或夹具没有发生共振,可以用一个检查点。如果发生共振,就需要采用多点控制,见注 3。如果存在 4 个以上的固定点,则有关规范规定 4 个具有代表性的固定点作检查点用。

注 3: 在特殊情况下,例如对大型或复杂的样品,如果要求检查点不紧靠固定点,则在有关规范中规定。

注 4: 当大量的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,可选用单个检查点(即基准点),但该点选自样品和夹具的固定点而不选自夹具和振动台的固定点。这仅当夹具装上样品等负载后的最低共振频率充分高过试验频率的上限时才是可行的。

#### 3.2.2

##### 基准点 reference point

从检查点中选出的点,其信号用于试验控制,以满足本部分的要求。

#### 3.2.3

##### 虚拟基准点 fictitious reference point

为满足本部分的要求,从多个用人工或自动的方法合成的基准点中选出的点。

### 3.3

#### 控制点 control point

#### 3.3.1

##### 单点控制 single point control

采用来自基准点上传感器的信号,使该信号保持在规定的振动量级上实现控制的方法(见 4.1.4.1)。

## 3.3.2

**多点控制 multipoint control**

采用来自各检查点上传感器信号进行控制的方法。

注：信号是采用连续的算术平均或采用比较技术来处理，根据按有关规范来决定（见 4.1.4.1）。

## 3.4

**扫频循环 sweep cycle**

在每个方向按规定的频率范围往返。例如，10 Hz 到 150 Hz 到 10 Hz。

注：数字正弦控制系统生产厂商提供的手册经常以  $f_1$  到  $f_2$  表示扫频循环，而不是  $f_1$  到  $f_2$  到  $f_1$ 。

## 3.5

**信号偏差 signal tolerance**

$$T = \left( \frac{NF}{F} - 1 \right) \times 100\%$$

式中：

$NF$  —— 未经滤波的信号 r.m.s 值；

$F$  —— 经滤波的信号 r.m.s 值。

注：该参数用于控制试验的信号，如加速度、速度、位移（参见 A.2.2）。

## 3.6

**基本运动 basic motion**

在基准点驱动频率上的振动运动（见 4.1.1）。

## 3.7

**实际运动 actual motion**

由基准点传感器返回的宽带信号所描述的运动。

## 3.8

**阻尼 damping**

描述能量在系统结构中的耗散。

注：实际上阻尼取决于许多参数，诸如结构系统、振动模态、应变、作用力、速度、材料、连接滑移等。

## 3.9

**危险频率 critical frequencies**

下列情况下的频率：

—— 由振动引起的，样品呈现出不正常和/或性能变坏；

—— 机械共振和/或其他作用的响应，如颤动。

## 3.10

**中心共振频率 centred resonance frequency**

由振动响应调查得到的实际共振频率的中心频率。

## 3.11

**扫描频率范围 restricted frequencies sweeping**

覆盖危险频率的 0.8 倍至 1.2 倍频率扫描范围。

## 3.12

 **$g_n$** 

由地球引力产生的标准加速度，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  $g_n$  值圆整到整数值 10 m/s<sup>2</sup>。

## 4 试验要求

### 4.1 特性要求

由功率放大器、激振器、试验夹具、样品和控制系统组成完整的振动系统要求的特性。

#### 4.1.1 基本运动

基本运动应为时间的正弦函数,样品的各固定点应基本上同相位并沿平行直线运动,并符合 4.1.2 和 4.1.3 限定的要求。

#### 4.1.2 寄生运动

##### 4.1.2.1 横向运动

垂直于规定振动轴线的检查点上的最大振幅。当频率低于或等于 500 Hz 时,不大于规定振幅的 50%;超过 500 Hz 时,不大于规定振幅的 100%。横向运动的测量仅需在规定的频率范围内进行。在特殊情况下,例如对小样品,有关规范可以规定允许横向运动的振幅不大于 25%。

在某些情况下,对于大尺寸、高质心的样品或在某些频率上要达到上面的要求是困难的。在这种情况下,有关规范应指出适用下列哪项:

- a) 在报告中指出并记录超过上面要求的任何横向运动;
- b) 已知横向运动无害于样品,不监控。

##### 4.1.2.2 旋转运动

在装载大尺寸或高质心样品的情况下,应重视振动台产生寄生的旋转运动。因此,有关规范应规定一个允许的量值。实测量值应记录在试验报告中(参见 A.2.4)。

#### 4.1.3 信号容差

除非有关规范另有规定,应对加速度信号偏差进行测量。测量应与基准点进行比较,其频率覆盖范围上限可至 5 000 Hz 或 5 倍的驱动频率二者之中的较小者。如果有关规范另有规定,此最高分析频率可能延伸到或超过扫频试验频率上限。除非有关规范另有规定,信号偏差应不超过 5%(见 3.5)。

如有关规范规定,可使用跟踪滤波器将处于基本驱动频率的控制信号的加速度幅值恢复到规定值(参见 A.4.4)。

对大的或复杂的样品,在频率范围的某一部分信号不能满足规定的容差,且使用跟踪滤波器不可行时,加速度幅值不需要恢复。但信号偏差应记录在报告中(参见 A.2.2)。

注:如果未使用跟踪滤波器且信号偏差超过 5%,选择数字控制或模拟控制系统将会使可再现性受到较大影响(参见 A.4.5)。

无论使用跟踪滤波器与否,有关规范可要求将信号偏差及受影响的频率范围记录在试验报告中(参见 A.2.2)。

#### 4.1.4 振幅容差

在所要求轴线上的检查点和基准点上的基本运动幅值应等于规定值,并应在下列容差范围内。这些容差包括仪器误差。有关规范可要求在试验报告中给出测量不确定度评估及其置信度。

对较低频率或者大尺寸样品或高质心的样品达到要求的容差也许是困难的。在这种情况下需要较宽的容差或采用可替代的方法,这应在有关规范中规定,并记录在试验报告中。



#### 4.1.4.1 基准点

基准点的控制信号偏差： $\pm 15\%$ （参见 A.2.3）。

#### 4.1.4.2 检查点

在每个检查点上的控制信号偏差：  
 低于或等于 500 Hz： $\pm 25\%$ ；  
 高于 500 Hz： $\pm 50\%$ ；  
 （参见 A.2.3）。

#### 4.1.5 频率容差

提供下列频率容差。

##### 4.1.5.1 扫频耐久

低于或等于 0.25 Hz:	$\pm 0.05$ Hz;
0.25 Hz~5 Hz:	$\pm 20\%$ ;
5 Hz~50 Hz:	$\pm 1$ Hz;
高于 50 Hz:	$\pm 2\%$ 。

##### 4.1.5.2 定频耐久

a) 固定频率:	$\pm 2\%$ 。
b) 近固定频率:	
低于或等于 0.25 Hz:	$\pm 0.05$ Hz;
0.25 Hz~5 Hz:	$\pm 20\%$ ;
5 Hz~50 Hz:	$\pm 1$ Hz;
高于 50 Hz:	$\pm 2\%$ 。

##### 4.1.5.3 危险频率的测量

在比较耐久性试验前后的危险频率时（见 8.2），即在振动响应检查期间，采用下列容差：

低于或等于 0.5 Hz:	$\pm 0.05$ Hz;
0.5 Hz~5 Hz:	$\pm 10\%$ ;
5 Hz~100 Hz:	$\pm 0.5$ Hz;
高于 100 Hz:	$\pm 0.5\%$ 。

#### 4.1.6 扫频

扫频应是连续的，且频率应随时间按指数规律变化（参见 A.4.3）。扫频的速率应为每分钟一个倍频程，容差为 $\pm 10\%$ 。这可能因为振动响应检查而有所不同（见 8.2）。

注：数字控制系统扫频的“连续性”不是绝对准确的，但这种差别并无很大的实际意义。

#### 4.2 控制策略

##### 4.2.1 单点/多点控制

当有规定或有必要时，应规定多点控制策略。

有关规范应表明是用单点控制还是多点控制。假如指定为多点控制，有关规范应规定选择检查点信号的平均值或者一个被选定点的信号值（例如：可以是最大振幅点）作为控制值达到规定量级，可参考

A.2.3。

如果不能实现单点控制,按照有关标准,应采用检测点信号值的多点平均或者极值控制。在上述任一例的多点控制情况下,参考点是一个虚拟的参考点。所用的方法应在试验报告中记录。

采用多点控制不能保证每个检查点都达到要求的容差,但与单点控制相比较,此方法通常在虚拟基准点上能减少检查点与规定值的偏差。

可以采用以下策略。

#### 4.2.1.1 平均策略

在此方法中,根据每个检查点的信号值计算控制幅值,由检查点信号幅值经算术平均后得出合成控制幅值,然后,此幅值与规定幅值进行比较。

#### 4.2.1.2 加权平均策略

控制幅值  $a_c$  由检查点  $a_1$  至  $a_n$  的信号幅值按各自权重  $w_1$  至  $w_n$  平均后形成:

$$a_c = (w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \dots + w_n \times a_n) / (w_1 + w_2 + \dots + w_n)$$

此控制策略可以实现不同检查点信号对控制信号具有不同的影响作用。

#### 4.2.1.3 极值策略

在此方法中,由每个检查点测量的幅值中的最大(MAX)或最小(MIN)幅值构成合成控制幅值。这种策略将产生一个控制振幅,这个振幅以每个检测点的振幅信号最大值包络或者每个检测点的振幅信号最小值包络的形式呈现。

#### 4.2.2 多参量控制

有关规范若有规定,可以对于不同检查点、测量点或不同类型的控制变量(如力限振动试验)定义多参考控制策略。

当要求采用多参考控制时,控制策略应规定如下:

限制:所有的控制信号应小于相应的参考值。

切换:所有控制信号应高于相应的参考值。

### 4.3 安装

除非有关规范另有规定,样品应按 IEC 60068-2-47 的要求安装于试验设备上。对通常安装在减振器上的样品还可参见 8.3.2 的注及 A.3.1、A.3.2 和 A.5。

## 5 严酷等级

振动试验的严酷等级由三个参数共同确定,即频率范围、振动幅值和耐久试验的持续时间(按扫频循环数或时间给出)。

有关规范应规定每一参数值,可以是:

- a) 从 5.1~5.3 中选取的数值;
- b) 从附录 A 或附录 C 中示例选择;
- c) 从已知环境条件中获取;
- d) 从已知的其他相关数据,例如,IEC 60721-3 中得出。

在实际环境条件已知的情况下,为使试验有一定的灵活性,可规定加速度幅频特性曲线的形状,在这种情况下,有关规范应以频率函数描述曲线的形状。应尽可能在本部分给出的数值中选定不同的量级和相应的频率范围,即交越点。

附录 B 给出了元件的严酷等级示例,附录 C 给出了设备的严酷等级示例(参见 A.4.1 和 A.4.2)。

### 5.1 频率范围

如果采用选项 a) 的频率范围,可以从 5.1.1 选取频率范围的下限;从 5.1.2 选取频率范围的上限。

#### 5.1.1 下限频率 $f_1$ (Hz)

0.1, 1, 5, 10, 55, 100。

#### 5.1.2 上限频率 $f_2$ (Hz)

10, 20, 35, 55, 100, 150, 200, 300, 500, 1 000, 2 000, 5 000。

表 B.1、表 C.1 和表 C.2 给出了特殊用途的频率范围示例。

### 5.2 振动幅值

有关规范应规定振动幅值(位移幅值或加速度幅值,或两者都要)。

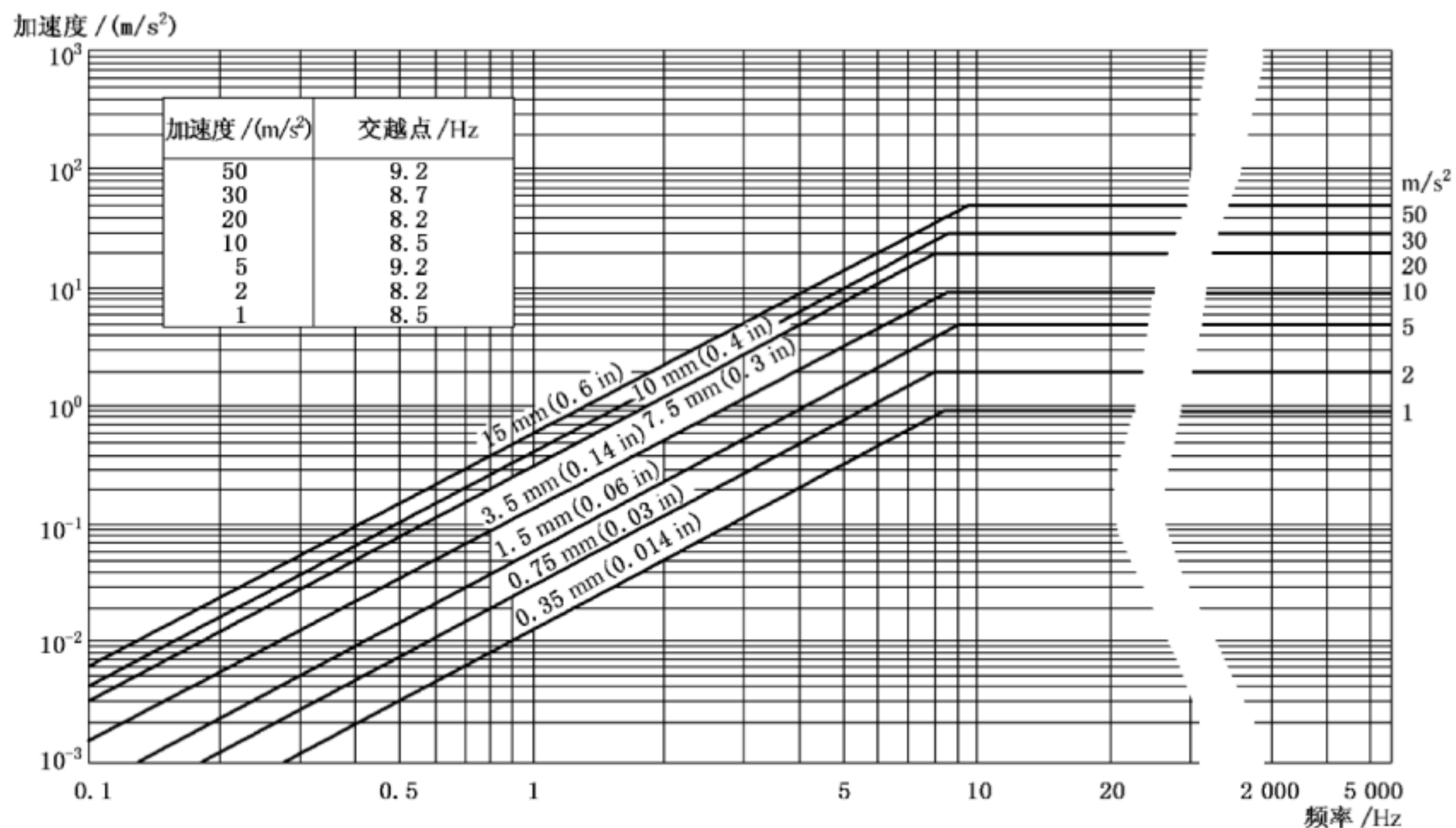
交越频率以下规定为定位移,交越频率以上规定为定加速度。图 1 和图 2 给出了不同交越频率时的位移和加速度幅值的推荐值。

每一个位移幅值都有一相对应的加速度幅值(示于图 1 和图 2 的同一横格线上)。因此在交越频率上振动量值是相同的(参见 A.4.1)。

当规定的交越频率在技术上不适用时,有关规范可以另行规定交越频率以及与其对应的位移-加速度幅值。某些情况下也可规定一个以上的交越频率。

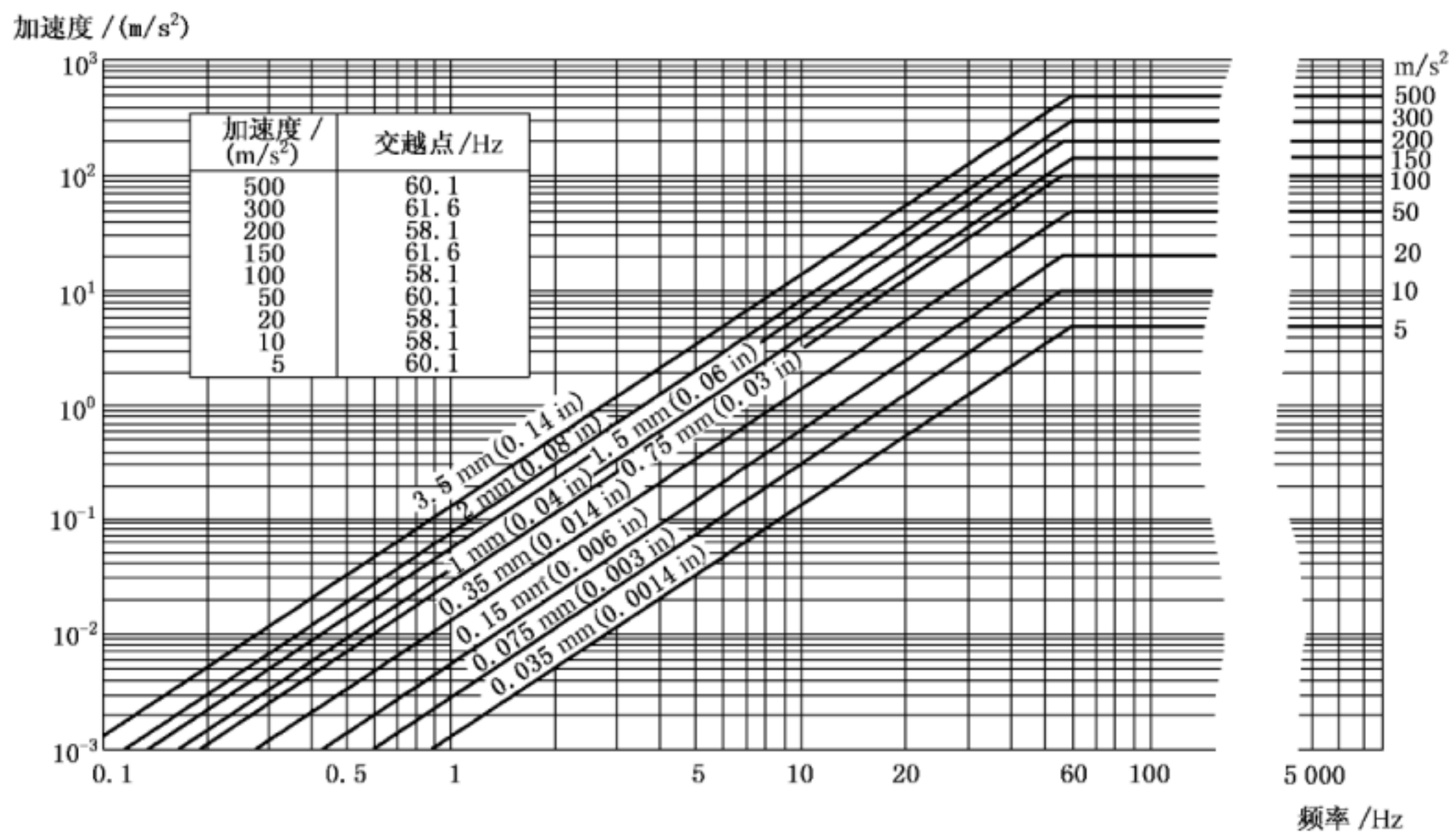
注: 振幅与频率的关系见图 1、图 2、图 3。但在用于低频区域时宜考虑 A.4.1 给出的内容。

上限频率仅到 10 Hz 的试验,通常在整个频率范围采用定位移幅值的方法。因此在图 3 中仅给出了位移幅值。



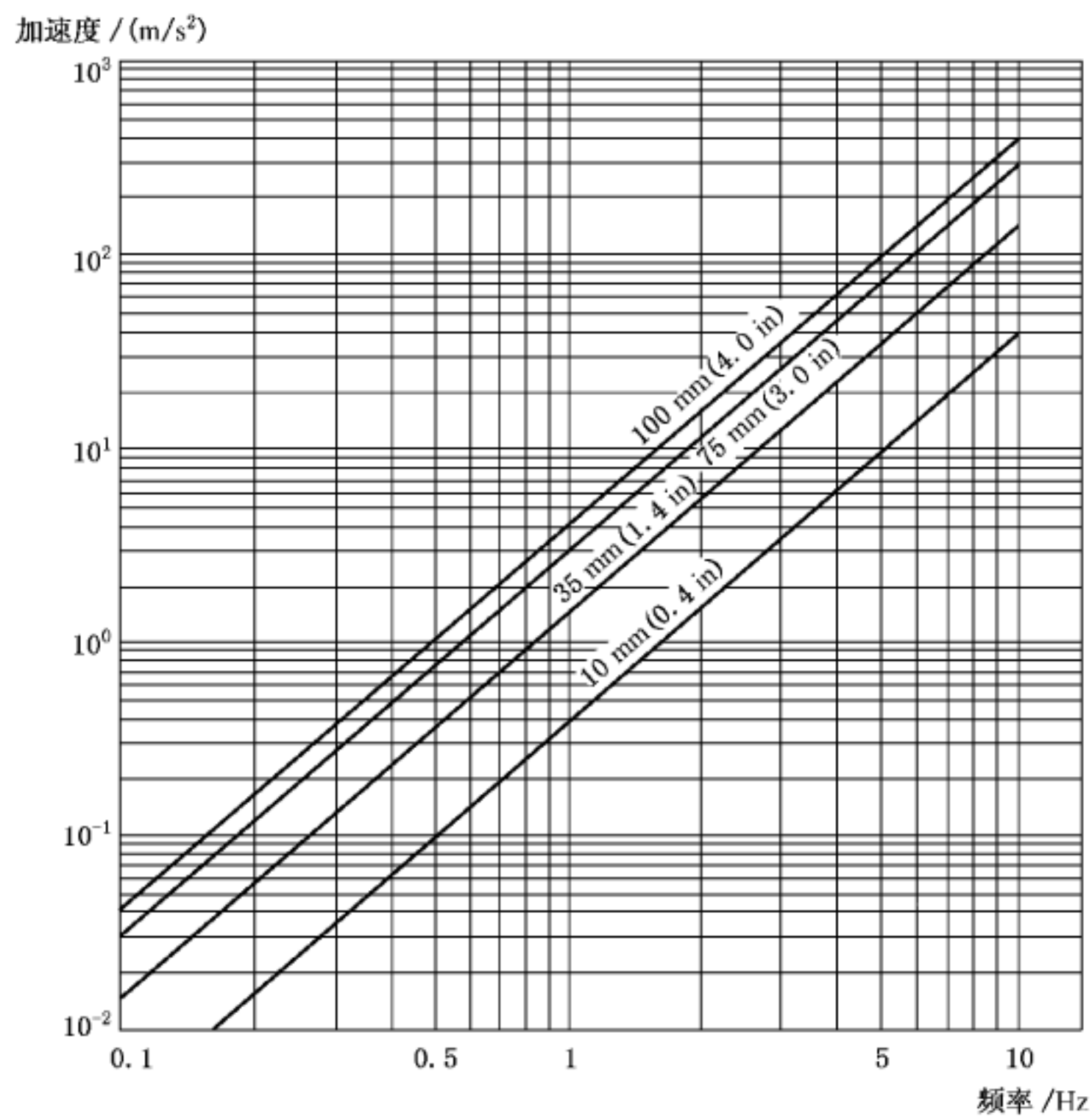
注: 本图不是严酷等级的精确图解。

图 1 采用低交越频率(8 Hz~10 Hz)时的振动幅值与频率的关系图



注：本图不是严酷等级的精确图解。

图 2 采用高交越频率(58 Hz~62 Hz)时的振动幅值与频率的关系图



注：本图不是严酷等级的精确图解。

图 3 振动位移幅值(仅用于上限频率为 10 Hz)与频率的关系图

### 5.3 耐久试验的持续时间

有关规范应从下面给出的推荐值中选取耐久试验的持续时间。如果规定的持续时间导致在每个轴线或频率上等于或大于 10 h, 则可分成几个单独的试验周期进行, 但不应减少样品所受的应力(参见 A.1 和 A.6.2)。

#### 5.3.1 扫频耐久

在每一轴线上的耐久试验持续时间以扫频循环数(见 3.4)给出, 有关规范可从下面给出的数值中选取:

1, 2, 5, 10, 20, 50, 100。

当需要更多的扫频循环数时, 应采用与上述值相同的数值系列(参见 A.4.3)。

#### 5.3.2 定频耐久

##### 5.3.2.1 在危险频率上

有关规范可以在下面给出的数值中选择时间, 作为振动响应检查(见 8.2)中在每一轴向上找到的各个危险频率上的耐久振动持续时间, 其容差为 $^{+5}_{0}\%$ (参见 A.1 和 A.6.2)。

10 min, 30 min, 90 min, 10 h。

近固定频率耐久的情况参见 A.1。

##### 5.3.2.2 在预定频率上

有关规范在规定的持续时间时应考虑到样品在全部工作寿命期间可能经受到的振动的总时间。应对每一规定频率和轴线的组合应进行上限为  $10^7$  次的应力循环(参见 A.1 和 A.6.2)。

## 6 预处理

有关规范可要求预处理并规定条件(见 IEC 60068-1)。

## 7 初始检查

有关规范应规定对样品进行外观、尺寸和功能检查(参见 A.9)。

## 8 试验

### 8.1 概述

有关规范应规定样品经受振动的轴线数和相对位置。如果有关规范未作规定, 样品应在三个互相垂直的轴上依次经受震动, 而且轴向的选择应选最可能暴露故障的方向。

基准点的控制信号应从各检查点的信号导出, 并用于单点或多点控制(参见 A.4.5)。

有关规范应在下列给出的步骤中选择适用的试验程序, 附录 A 给出了选择的导则。通常, 试验步骤是在同一个轴向上依次进行, 然后在其他轴向上重复进行(参见 A.3)。

对通常带减振器工作的样品需除去减振器进行试验时, 应规定特殊的措施(参见 A.5)。同样的, 对通常带包装运输的样品需要除去包装进行试验时, 也应规定特殊的措施(见 IEC 60068-2-47)。

有关规范有要求时, 控制规定的振动振幅要限制振动系统的最大驱动力。有关规范应规定限制最

大驱动力的方法(参见 A.7)。

## 8.2 振动响应检查

为了研究样品在振动条件下的响应特性,有关规范可以要求在定义的频率范围进行振动响应检查。一般应按耐久性试验相同的条件进行一个以上扫频循环(见 8.3)。如采用低于规定的振动幅值和扫频速率,可以更精确地确定响应特性。但应避免使样品承受过长的时间和过应力(参见 A.3.1)。

对于带包装样品的振动响应检查中,对包装内部的样品无法安装测量装置时,对样品激励力的测量可以检测包装内样品的共振频率,这是应该采取的一个重要程序。此时,对进行这样的测量或不对带包装样品频率响应调查,需要进行权衡。

为了对“未确定类型”样品或包装件进行振动响应检查,有必要测量不同的信号,如驱动力或振动速度等。有关规范若有规定,可以在试验前和试验后对样品的特性进行计算,如机械阻抗谱。

如果有关规范有要求,样品在振动响应检查期间应工作。若因样品工作而不能评价其机械振动特性时,应将样品处于不工作状态进行附加的响应检查。

在振动响应检查期间,为了确定危险频率,应对样品的特性和振动响应数据进行检查。这些频率、幅值和样品的特性应记录在试验报告中(参见 A.1)。有关规范应规定对此采取的措施。

若采用数字控制,在响应曲线的图表上确定危险频率时,应注意到每次扫频的数据采样点数或者控制系统在显示屏分辨率都是有限的(参见 A.3.1)。

在某种情况下,有关规范可以要求在耐久程序结束后再进行一次附加的振动响应检查,以便对试验前后的危险频率进行比较。如果危险频率发生任何变化,有关规范应规定对此采取相应的措施。基本要求是,试验前后的两次振动响应检查实际上应在相同的振幅下以相同的方式进行(见 4.1.5.3,参见 A.3.1)。

## 8.3 耐久试验

有关规范应规定采用下列两种耐久程序中的哪一种。

### 8.3.1 扫频耐久试验

这种耐久程序应优先选用。

应按有关规范选择的频率范围、扫频速率、幅值和持续时间进行扫频(见 5.3.1)。必要时可将频率范围分成几段分别进行,但不能因此而减少样品所受的应力。

### 8.3.2 定频耐久试验

用下列两种频率之一进行耐久试验:

a) 由 8.2 给出的振动响应检查得出的危险频率,用下列方法之一:

- 1) 固定频率  
——中心共振频率。

施加的频率应始终保持在实际危险频率上。

- 2) 近似固定频率  
——在有限的频率范围内扫描。

如果实际危险频率不是很清晰,例如出现颤动或有多个独立的样品同时进行试验时,为保证充分激励的效果,比较方便的是在危险频率 0.8 倍至 1.2 倍的频率范围内扫频。这种方法也可用于非线性共振的情况(参见 A.1)。

b) 有关规范规定的预定频率。

试验应按有关规范提供的振幅和持续时间进行(参见 A.3.2)。

注：对装有减振器/带包装的样品，有关规范规定是否对装有减振器/带包装材料后的共振频率进行耐久试验（参见 A.5）。

## 9 中间检测

当有关规范有要求时，样品在条件试验期间应工作，并进行性能检测。其工作和检测时间按规定总时间的百分比来确定（参见 A.3.2 和 A.8）。

## 10 恢复

当有关规范有要求时，在条件试验后最后检测前给出一段恢复时间，使样品处于与初始检测时相同的条件，例如在温度方面。有关规范应为恢复规定确切的条件。

## 11 最后检测

有关规范可规定对样品进行外观、尺寸和功能检查。  
有关规范应提供接收或拒收样品的判据（参见 A.9）。

## 12 有关规范应给出的规定

当有关规范采用本试验时，规范的编写者就应按下述各项提供材料，要特别注意有星号（\*）标记的项目，因为该项资料总是必不可少的。

	章条号
a) 检查点的选择	3.2.3
b) 控制点的选择*	3.3.2
c) 横向运动	4.1.2.1
d) 旋转运动	4.1.2.2
e) 信号偏差	4.1.3
f) 振幅容差	4.1.4
g) 置信度	4.1.4
h) 单点或多点控制*	4.1.4.1
i) 安装	4.3
j) 严酷等级，实际环境（如果已知）	第 5 章
k) 频率范围*	5.1
l) 振动幅值*	5.2
m) 特殊的交越频率	5.2
n) 耐久试验的持续时间*	5.3, 8.2
o) 预处理	第 6 章
p) 初始检测*	第 7 章
q) 振动的轴线*	第 8 章
r) 力的限制	第 8 章
s) 进行试验的步骤和顺序*	第 8 章, 8.2, 8.3
t) 功能和功能检查*	8.2, 第 9 章

u) 振动响应检查后所采取的措施*	8.2
v) 在最后响应检查时,如果发现共振频率变化时所采取的措施*	8.2
w) 预定频率	8.3.2
x) 样品装上隔振器后在共振频率上的条件试验	8.3.2
y) 恢复	第 10 章
z) 最后检测*	第 11 章
aa) 接收或拒收判据*	第 11 章

### 13 试验报告应给出的信息

试验报告至少应给出下列信息:

- a) 客户(名称和地址);
- b) 实验室(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) 试验类别(正弦);
- f) 试验目的(研制试验、鉴定试验等);
- g) 试验标准名称及版本号(相关的试验程序);
- h) 试验样品描述(唯一性标识、图纸、照片、数量等);
- i) 样品的安装方式(夹具标识,图纸,照片等);
- j) 试验设备描述(横向运动等);
- k) 控制和测量系统、传感器安置位置(描述、图纸、照片等);
- l) 所用的滤波器(滤波器的类型和带宽);
- m) 测量系统不确定度(校准数据、上次校准日期和下次校准日期);
- n) 控制策略(多点控制、多参考控制、最小或最大控制策略);
- o) 初始、中间或最终检查;
- p) 要求的严酷等级(根据试验规程);
- q) 文件中规定的试验严酷等级(检查点、试验谱);
- r) 试验结果(受试样品状态的评价);
- s) 试验情况记录;
- t) 试验总结;
- u) 试验负责人(签名);
- v) 发放(报告发放清单)。

注 1: 试验期间做记录,内容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。

注 2: 参见 ISO/IEC 17025 中 5.10 的相关要求。



附 录 A  
(资料性附录)  
试验 FC 导则

### A.1 引言

本试验的基本目的是提供一种能在试验室内再现样品可能经受到的实际环境影响的方法,而不是再现实际环境。

为了使不同的人在不同的地点,无论采用模拟或数字控制技术所做的试验有相似的结果,本试验所给出的参数是经过标准化的,并有合适的容差。参数的标准化还可以对元器件按其经受本部分所规定的某种振动严酷等级的能力进行分类。

在振动试验中,以往的规范通常要求先寻找共振,然后使样品在共振频率上按规定时间进行耐久试验。可惜一般的确定方法很难将容易引起失效的共振与在长期振动下不可能引起样品失效的共振区别开来。

此外,这种试验程序对于大多数现代化的样品也并不切合实际。因为在评价任何封闭器件或现代化小型装置的振动特性时,直接观察几乎是不可能的。若采用传感技术,则要改变该装置的质量-刚度分布,所以通常不能使用。即使可以使用,其成败的关键也取决于试验工程师在该装置中恰当地选择测量点的技巧和经验。

本部分提出将扫频耐久作为优选程序,可以使上面提到的困难减到最小,并且避免了确定有重要影响或有破坏作用的共振的必要性。若允许如同规定现行环境试验那样规定这些方法,则会对试验工程师的技术依赖减到最小。但由于需要规定试验方法,致使本方法的推荐受到影响。扫频耐久的时间是从有关的应力循环数导出的扫频循环数给出的。

在某些情况下,如果耐久性试验的持续时间打算长到足以保证样品的疲劳寿命与所要求的使用时间相当;或长到足以保证相当于使用中所受到的振动条件的无限寿命,就会导致扫频耐久试验的持续时间过长。因此给出了另一种方法,其中包括定频耐久试验。当采用定频耐久试验时,不是在预定频率上进行;就是在响应检查期间所发现的危险频率上进行。共振响应检查期间每条轴线上所发现的危险频率点较少,且不超过 4 个,则定频耐久是合适的。如果超过 4 个,采用扫频耐久试验会更合适。

在近似固定频率情况下,耐久持续时间值取决于危险频率值。然而,对于固有频率确定的情况下,根据样品危险频率的范围,按比例增加的耐久持续时间(见 5.3.2.1)。

当然,既用扫频耐久又用定频耐久也可能是合适的,但应注意到在定频耐久试验中仍需要一定程度上的工程判断。

有关规范应给出每个预定频率上的耐久持续时间。

定频耐久试验的持续时间是按危险频率情况下的时间确定的,并取决于预计的应力循环数。由于材料种类繁多,不可能给出应力循环的统一数据。对一般的振动试验,引用  $10^7$  作为上限数据而不需要超过它(见 5.3.2.1 和 5.3.2.2)。

在某些情况下,由随机的或复杂振动所构成的本底振动量级较高,采用正弦振动试验是不充分的,因此,在这种特殊情况下是否只做正弦试验由使用者确定。

如果知道实际环境基本上是随机振动,只要经济条件允许,耐久性试验就应采用随机振动方式进行。这种做法对设备类样品特别适用。对一些结构简单的元件型样品通常采用正弦试验就足够了。关于随机(数控)振动试验可参阅 IEC 60068-2-64。

## A.2 测量和控制

### A.2.1 测量点

在第3章中定义了两种主要类型的测量点,但必要时可能要测量样品内局部响应情况,以便证实这些测量点上经受的振动不会引起损坏。在某些情况下,如在设计阶段,为了避免严重破坏样品,甚至需要把这些测量点上的信号合并后输入到控制回路。应当指出,本部分不推荐这种技术,因为这是不可能被标准化的(见3.2)。

### A.2.2 信号偏差引起的误差

当信号偏差小于5%时,实际运动和基本运动没有明显的差异。

当小尺寸或低质心的样品装在大的振动台上时,通常不会因信号偏差而出现问题。实际上,即使振动系统是新安装的,并具备信号偏差的原始测量值,试验人员应意识到因为装载大型样品可能会存在问题。

当信号偏差大的情况下,测量系统将显示出不正确的振动量级,因为它包含了所需的频率和许多不想要的频率。这就导致在所需频率上产生低于规定值的幅值。但其容差在4.1.3所规定的范围内是允许的。然而当超过时,就需要把基频振级恢复到所要求的幅值。有许多方法可以做到这一点。推荐使用跟踪滤波器。如果基频振级被恢复,则样品将在所需的频率下经受预定的应力。

在此条件下,不需要的频率也将随之增加,其结果导致对样品的某些附加应力。如果由此而产生不切合实际的高应力,则放弃有关规范的信号偏差的要求更合适(见4.1.3)。

在数字控制系统中,未经滤波的宽带控制信号的附加信息可以通过将信号输入频谱分析仪获得。在规定的频率范围内进行频谱分析,可以给出诸如由颤动和冲击产生的基频、谐波频率和其他噪声分量。

注:下式给出了失真  $D$  和信号偏差  $T$  的关系:

$$\frac{D}{100} = \sqrt{\left(\frac{T}{100}\right)^2 + \frac{2 \times T}{100}}$$

式中  $D$  和  $T$  用百分比表示。

(当将信号偏差  $T=5$  代入上述公式,则结果失真  $D=32$ )

### A.2.3 控制信号的导出

控制信号的导出有多种方法。

如果规定用多点平均控制信号,即从算术平均导出,就是调整与每一检查点上峰值加速度成比例的直流电压来获得平均信号。

多路分时[见 IEC 60050(721):1991 中的条目 721-04-11]方法是通过分配器对测量通道在各个检查点间进行切换。为保证在任一个通道被选通时至少可拾取一个周期的信号,其切换频率不得高于振动信号频率。例如,当布置4个检查点上,驱动信号频率为100 Hz时,每个检查点切换停留时间不应小于0.01 s。当系统和跟踪滤波器一起使用时,可能会出现一些问题,需要予以特别的注意。

当试验必须进行定位移控制时,抽样数据系统可能会引起一些问题。原因是由于抽样信号间的相位差所引起的失真,使加速度信号二次积分后与位移幅值不成比例(见3.3.2)。

重要的是整个振动系统具有较低的本底噪声,以便在试验期间采用本部分规定的最大容差(见4.1.4.1)。振动系统噪声  $0.6 \text{ m/s}^2$ ,一般是可以接受的。

### A.2.4 旋转运动(见4.1.2.2)

大尺寸或高质心的样品会因为正弦激励而产生倾覆力矩,是因为刚性质量偏离振动台的推力轴线

形成惯性力偏矩以及惯性力之间互相作用引起的。此倾覆力矩可引起在任何与基本运动正交的平面上横向地围绕轴线旋转的运动。倾覆力矩会使样品承受附加的应力,甚至会给样品增加一个大到不符合实际情况的应力。这样就应适当地减少旋转运动,或至少要知道它的量级。在试验前一般无法预知样品的固有频率和相关模态,这些特性参数一般性的假设也是困难的。

通过考虑样品的质量  $m$ , 振动台的活动部分加上夹具的质量  $m_1$ , 样品的质心与振动台延伸轴线的距离  $d$  和样品质心到振动台水平推力轴线的高度  $h$ , 可以得到一些有用的近似判据。

理论上刚性样品最大预计倾覆力矩  $M_0$  可以用最大激励加速度  $A$  计算出:

——带偏心质量的刚体:  $M_0 = m \times d \times A$

——水平激励下, 高质心的刚体:  $M_0 = m \times h \times A$

当样品处在规定的频率范围内共振时, 上述公式同样也是有效的。  $m$  是共振质量,  $A$  是预计加速度响应的最大值。要注意上述二式中在使用时量纲的协调一致是很重要的。

电动的和液压振动试验设备有最大倾覆力矩的限制。就这两种型式的单个激振器而言, 生产商都会说明最大容许倾覆力矩, 以免损坏激振器。

具有多个激振器的振动台应有一个平衡倾覆力矩的最大能力, 还能抵御包括振动台的一些旋转运动(倾斜或翻滚)。

可采用下列判据:

如果  $m/m_1$  值小于 0.2, 不需检查。否则应进行下列检查。

对于单个振动试验设备(带或不带水平滑台)以及机械导向设备, 倾覆力矩是由弹性元件或轴承来平衡的。当样品倾覆力矩大于试验设备倾覆力矩最大允许的 50% 时才需要测量旋转运动。

对于多个激振器以及具有多自由度的试验设备, 倾覆力矩是通过一个控制系统控制各个激振器来平衡的。因此, 只有当样品的倾覆力矩大于试验设备抗倾覆力矩的最大能力时, 才需要测量旋转运动。

### A.3 试验程序

#### A.3.1 振动响应检查

振动响应检查用于多种目的, 特别是预知样品将经历诸如船、飞机和旋转机械等周期振动。当认为考核样品动态性能以及评估疲劳强度重要时, 振动响应检查也是有用的。

在响应检查时, 应仔细考虑与样品动态特性的线性相关的幅值, 因为仅在试验某个量级上出现的工作异常和颤振。

耐久性试验前后的振动响应检查可以用来确定共振频率和在某些响应频率所发生的变化。频率的变化可能预示了疲劳或退化已经发生, 这种变化可以认为样品不适合这个操作或运输环境。

当规定振动响应检查时, 有关规范应明确规定试验期间以及试验所采取的措施:

——动态放大值超过任何特定值时, 应要求做扫频耐久试验;

——频率变化试验;

——不可接受的响应等级试验;

——电噪声试验。

重要的是在振动响应检查期间, 为了探测样品内部部件所受到的影响而采取的任何措施, 都不应明显地改变整个样品的动态特性。应该记住, 在非线性共振的情况下, 样品可能随扫描方向改变而有不同的响应。在正弦扫频的上升和下降部分确定危险频率, 如果样品具有平稳(稳定)的结构可以在上升部分被确定。

如果怀疑存在非线性环节软化或硬化现象, 扫频起始频率应该由  $f_2$  替代  $f_1$ 。用上扫和下扫所确定的危险频率是有区别的。

当采用数字控制时,为了足以描述每个共振峰,从而确定样品的每个危险频率,在  $f_1$  到  $f_2$  区间有足够数量的数据点是很重要的。没有足够的数据点会使确定危险频率出现误差,特别当具有低阻尼比的样品在低频区间时。通常情况下,共振点的-3 dB 带宽内,最少有 3 个(有条件时 5 个)数据点就足够了。如果获得的数据不够充分时,但有存在着共振峰的显著迹象,响应检查就需要重复进行。在这种情况下,也可能有必要在更窄的频率范围进行扫频。

当采用数据的图形表示法来确定危险频率时,会产生进一步的误差,因为有些系统能力有限,不能精确地显示所有数据。因此,有必要在危险频率周围扩展图形以解决这一问题。

当有关规范要求振动响应检查时,所用减振器的有效性是很重要的。如果样品装用减振器,初次检查通常是在去除或锁住减振器情况下进行的,以便确定样品本身的危险频率。

再次检查应当在装上和去除减振器情况下,反复进行,以便确定减振器的影响。

在初次检查中,因为减振器没有使用,振动系统的传递特性由图 A.1 给出,其中应考虑不同振幅的影响。

如果不装用减振器,见 A.5.1。

### A.3.2 耐久试验(见 8.3)

扫频耐久试验最适合于模拟样品在使用中所经受到的应力响应(见 8.3.1)。

定频耐久试验适合有限范围使用的样品,例如工作场地受到机械振动影响,或局限于一种或几种类型车辆或飞机上安装的样品。在这种情况下,主要的频率通常是已知的或是可以预测的。为了证实诸如在机动运输环境中由于激励而引起的疲劳影响,定频耐久试验对迅速积累的重复应力也是适用的(见 8.3.2)。

在某些情况下,研究在某些离散频率上可能出现的疲劳问题,以及确定样品经受振动的一般能力是很重要的。在这些情况下,先进行定频试验,接着进行扫频试验将是合适的。这样可在尽可能短的时间内提供所需的数据。

对于小元件,若确信在 55 Hz 或 100 Hz 以下不存在共振,可以根据情况从这些频率上开始进行耐久性试验。

对通常装有减振器的设备,耐久试验时一般应装上减振器进行。若不能使用合适的减振器进行试验,例如被试设备和其他设备一起安装在一个公共的安装装置中,则可在有关规范中规定的不同严酷等级上进行不带减振器的试验。其幅值应根据减振器在该试验中的每一根试验轴线上的传递特性来决定。当减振器的特性未知时,见 A.5.1。

为了确定是否已达到可接收的最低结构强度,有关规范可以要求对具有可拆除或锁住的外部的减振器样品进行附加试验。在这种情况下,有关规范应规定所采用的严格等级。

要求产品带包装进行模拟运输试验,而包装不可用时,请参考 IEC 60068-2-47。

## A.4 试验严酷等级(见第 5 章)

### A.4.1 试验严酷等级的选择

为了能包括各种应用情况,本部分所给出的频率和幅值已经过选择。如果已知一个设备仅作一种用途时,最好根据实际环境的振动特性来确定严酷等级。如果设备的实际环境下振动特性未知时,应从附录 C 中选择合适的试验严酷等级。

当确定试验的严酷度时,规范的编写者应当考虑在 IEC 60721(见第 5 章)给出的信息。

由于位移幅值和相应的加速度幅值在交越频率上的振动量级是相同的。所以可在频率范围内连续扫描,在交越频率时从定位移变到加速度或相交变化。本部分给出了 8 Hz 到 10 Hz 和 58 Hz 到 62 Hz

两种交越频率。

若需要模拟已知的实际环境,可采用标准交越频率以外的交越频率。如果由此而引出高的交越频率,则必须考虑到激振器的能力。重要的是所选择的位移幅值在低频区并不对应于能与振动系统本底噪声电平相比较的加速度幅值。如果有必要可以用跟踪滤波器,所有试验都在低频率时,可在控制回路中使用位移传感器克服这个问题(见 5.2)。

#### A.4.2 元件试验严酷等级的选择

在许多情况下,由于不知道元件将要安装于何种设备内,也不知道要安装将经受何种应力,所以元件试验严酷等级的选择是复杂的。即使知道元件要用于某一设备的特定部位,也应该考虑到,由于结构、设备、分装置等的动态响应。元件要经受的振动环境还可能不同于设备要经受的振动环境。因此在选择与设备试验严酷等级有关的元件试验严酷等级时应谨慎并应对这些响应的影响留有余地。

当元件以防振方式安装在设备中时,采用设备的试验严酷等级和低于设备的试验严酷等级是合适的。

选择元器件试验严酷等级的另一种途径是按规定的严酷等级对元件进行试验和分类。以便设备的设计者可以选择他们适用的元件。

宜考虑附录 B 给出的在各种应用情况下试验严酷等级示例。

#### A.4.3 扫频

扫频时,频率须随时间按数据规律变化,即:

$$\frac{f}{f_1} = e^{kt}$$

式中:

$f$  —— 频率;

$f_1$  —— 扫频下限频率;

$k$  —— 决于扫频速率的因素;

$t$  —— 时间。

对本试验,如果时间以分钟计算,扫频速率是每分钟一个位频程(见 4.1.6),则  $k = \log_e 2 = 0.693$ 。

为了确定一个扫频循环的倍频程数,采用下列公式:

$$X = 2 \log_2 \left( \frac{f_2}{f_1} \right) = \frac{2}{\lg 2} \lg \left( \frac{f_2}{f_1} \right) = 6.644 \lg \left( \frac{f_2}{f_1} \right)$$

式中:

$X$  —— 信频程数;

$f_1$  —— 扫频的下限频率;

$f_2$  —— 扫频的上限频率。

利用上式得出的数值列在表 A.1 中,并给出了与推荐的扫频循环数及频率范围内有关的整数时间(见 5.3.1)。

对于一个数字式系统,正弦波输出可以由外部模拟信号合成器产生或者在内部用一帧包含正弦信号的数据产生。

第一种情况,产生的是连续的纯正弦波,这样模拟式系统与数字式系统没什么不同。

第二种情况,由 D/A 转换器产生的模拟驱动信号并不光滑,信号是由许多小的台阶组成,需要用平滑滤波器将发出信号中的小台阶变得光滑,产生基本上纯净的正弦波形。重要的是帧与帧之间要连续以产生光滑的正弦波。

表 A.1 每个轴向上的扫频循环数和相应的持续时间

频率范围 Hz	扫频循环数						
	1	2	5	10	20	50	100
1~35	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	<u>17 h</u>
1~100	13 min	27 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 30 min	11 h	22 h
5~100	9 min	17 min	45 min	<u>1 h 30 min</u>	3 h	7 h	14 h
5~200	11 min	20 min	55 min	<u>1 h 30 min</u>	3 h	7 h	14 h
5~500	13 min	25 min	1 h 0 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h
5~2 000	17 min	33 min	1 h 15 min	<u>2 h 30 min</u>	5 h	13 h	25 h
10~55	5 min	10 min	25 min	<u>45 min</u>	<u>1 h 45 min</u>	4 h	<u>8 h</u>
10~150	8 min	16 min	40 min	<u>1 h 15 min</u>	<u>2 h 30 min</u>	<u>7 h</u>	<u>13 h</u>
10~500	11 min	23 min	55 min	<u>2 h</u>	3 h 45 min	9 h	19 h
10~2 000	15 min	31 min	1 h 15 min	<u>2 h 30 min</u>	5 h	13 h	25 h
10~5 000	18 min	36 min	1 h 30 min	3 h	6 h	15 h	30 h
55~500	6 min	13 min	30 min	<u>1 h</u>	2 h	5 h	11 h
55~2 000	10 min	21 min	50 min	<u>1 h 45 min</u>	3 h 30 min	9 h	17 h
55~5 000	13 min	26 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 15 min	11 h	22 h
100~2 000	9 min	17 min	45 min	<u>1 h 30 min</u>	3 h	7 h	14 h

注 1: 表中列出的持续时间以 1 倍频程/min 的扫频速率计算出来的,并圆整到整数。其误差不超过 10%。  
注 2: 带下划线的数据是从附录 B 和附录 C 中得来的。

可通过下列公式来计算应力循环数的估计值  $N$ , 倍频程数  $X$  和一个扫频循环( $f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_1$ )的持续时间( $T$ ):

$$N(\text{应力循环}) = \frac{(f_2 - f_1) \times 60 \times 2}{\log_e 2 \times SR}$$

$$X(\text{倍频程}) = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \times 2}{\log_e 2}$$

$$T(\text{分钟}) = \frac{X}{SR} = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \times 2}{\log_e 2 \times SR}$$

式中:

$f_2$  —— 扫频上限频率;

$f_1$  —— 扫频下限频率;

$SR$  —— 扫频速率,单位为倍频程/min。

这种估算应力循环次数的方法对表 B.1、表 C.1 和表 C.2 也是有效的。

#### A.4.4 跟踪滤波器

##### A.4.4.1 模拟滤波器

可以是等带宽(CB)或等百分比带宽(CPB),在每一种情况下响应时间( $T_r$ )由下式给出:

$$T_r = \frac{1}{BW}$$

式中:

$T_r$  ——每一种情况下的响应时间,单位为秒(s);

$BW$  ——带宽,单位为赫兹(Hz)。

例如:

对于一个 10 Hz 带宽的等带宽滤波器(CB),

$$T_r = \frac{1}{10} = 100 \text{ ms 并恒定覆盖全部调谐范围。}$$

对于一个等百分比带宽滤波器,例如:设为 10%调谐频率  $f$  时,

$$BW = 0.1f;$$

$$T_r = \frac{1}{BW} = 10 \times \text{调谐频率周期。}$$

当控制回路使用了跟踪滤波器时,响应时间是非常重要的。较长的响应时间会降低总的控制响应时间并可能导致不稳定,甚至失控。此外,响应时间可能会限制正弦扫频试验中的扫描速率,特别是等百分比带宽滤波器(CPB)在低频段  $T_r$  可以是数十秒(见 4.1.3)。

因此许多跟踪滤波器要么在多个 CB 设置之间根据调谐频率自动切换,要么从低频到某个设定的频率区间内使用 CB 响应,高于这个频率时使用 CPB 响应。

在通常情况下,跟踪滤波器的响应至少应比控制器压缩速度快 5 倍,以避免相互间的影响和控制不稳定性。滤波器带宽总是小于工作调谐频率。

响应时间见表 A.2 和 A.3。

表 A.2 CB 响应时间

带宽 Hz	时间 s
0.1	10
0.5	2
1	1
5	0.2
10	0.1

表 A.3 CPB 响应时间

频率 Hz	带宽 %		
	1	5	10
	时间/s	时间/s	时间/s
5	20	4	2
10	10	2	1
50	2	0.4	0.2
100	1	0.2	0.1
500	0.2	0.04	0.02
1 000	0.1	0.02	0.02
2 000	0.05	0.01	0.005

#### A.4.4.2 数字滤波器

数字系统采用数字算法技术来再现一个等效的模拟跟踪滤波器。在基波信号的提取上最终效果没什么不同。但是,这种数字控制的代价是增加了回路响应时间,在较高频段可能会影响控制精度。

#### A.4.5 控制信号测量

数字系统在将数据数字化前采用了抗混滤波器。这种滤波器像扫频过程一样沿频率范围逐步渐进并有效地消除高频分量。其结果是,数字式系统看上去会有较低的均方根值,其结果在与一个等效的模拟控制系统比较时,有数字系统控制的试验具有较高的量值。在数字式控制系统和模拟式控制系统中使用跟踪滤波器就可以克服这个问题。

### A.5 通常带减振器的设备

#### A.5.1 减振器的传递特性

对通常应安装在减振器上的样品而没有减振器,并且减振器的特性也未知,有关规范又未提供其位置时,则需要对样品提供一个更真实的振动输入方法来修改规定的振动量级。这个修改的振动量级建议在图 A.1 所给的曲线上求出,其说明如下:

- a) 曲线 A 适用于当仅考虑单自由度系统时,其固有频率不超过 10 Hz 具有高回跳特性的有载减振器。
- b) 曲线 B 适用于当仅考虑单自由度系统时,其固有频率为 10 Hz~20 Hz 具有中回跳特性的有载减振器。
- c) 曲线 C 适用于当仅考虑单自由度系统时,其固有频率为 20 Hz~35 Hz 具有低回跳特性的有载减振器。

曲线 B 是根据在典型机载设备上所作的振动测量得出的。这种设备装有高阻尼金属机架,其固有频率在考虑的自由度系统时约为 15 Hz。

曲线 A 和曲线 C 所代表的减振器,其可利用的数据很少,而且这些数据是分别考虑 8 Hz 和 25 Hz 的固有频率从曲线 B 外推出来的。

为了包括各种联接型式的安装中可能出现的传递特性,对传递曲线进行了估计。因此,采用这种曲线考虑了由于平移和旋转运动的综合效应在样品周围产生的振动量值。

应从图 A.1 中选取最合适的传递曲线,并将规定的振动量级按该曲线选取的值增大到覆盖所要求的频率范围。试验工程师可能无法在试验室内重现这些试验量级。在这种情况下,试验工程师应该调整量级,以使在整个频率范围内总是能获得可能的最大量级。最重要的是应记录所采用的实际值。

对于一个使用环境良好(如机房)的产品,运输中的振动通常是最严酷的。

对这些产品通常应在带运输包装的条件下进行试验,如果包装不可用,但仍需要进行试验,应参考 IEC 60068-2-47 给出的详细信息。



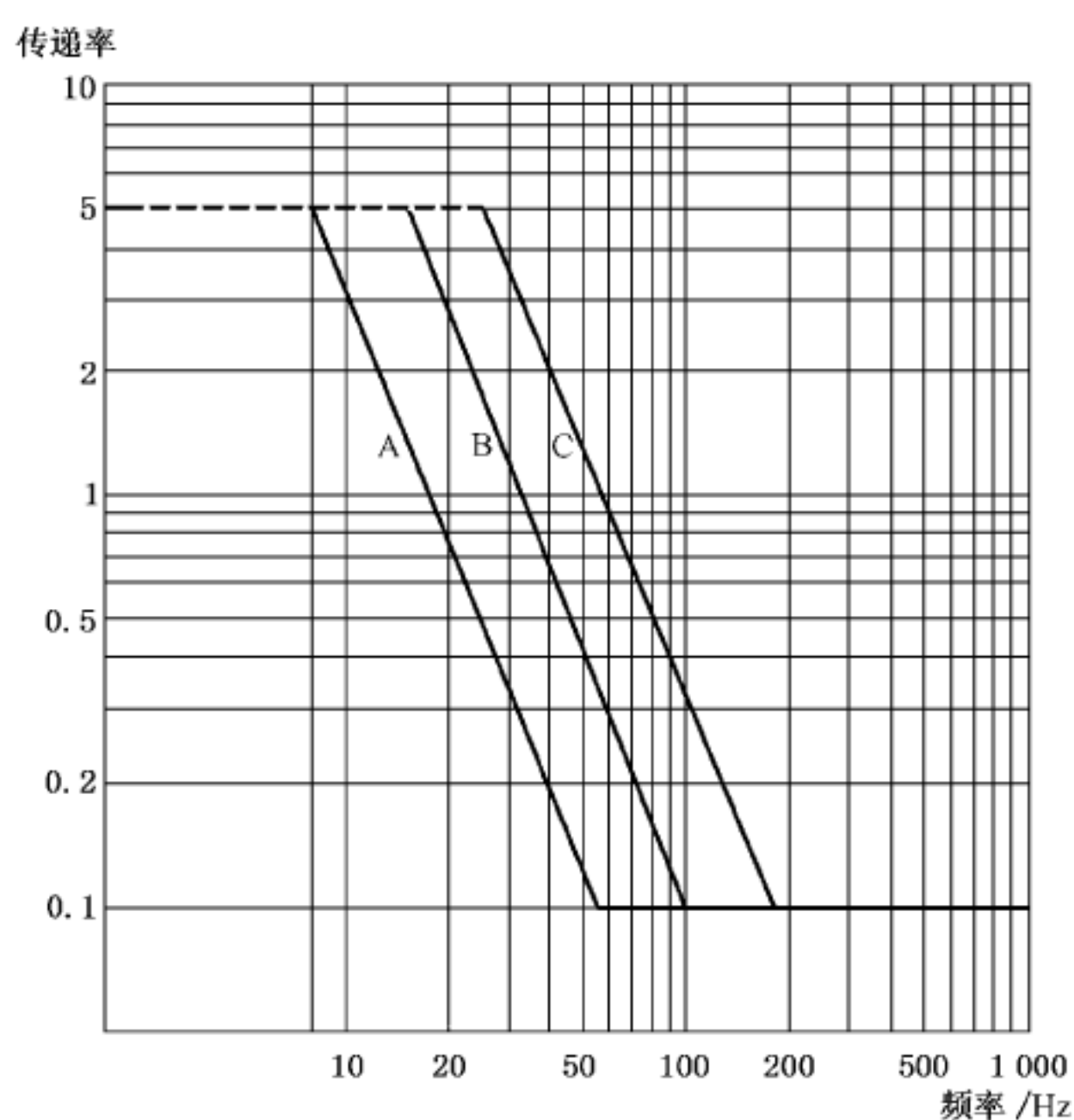


图 A.1 减振器的一般传递特性曲线

### A.5.2 温度效应

应该指出,许多减振器包含有温度敏感材料。这些温度敏感材料也可以用于包装。

如果减振器上或包装内的样品的基本共振频率在试验频率范围内,应谨慎地确定所有耐久试验时间长短。

在某些情况下采用连续激励而不准许恢复,这可能是不合理的。如果该基本共振频率激励的实际时间分布已知,则应设法模拟它。如果实际的时间分布未知,则可通过工程判断的方法来限制激励周期以避免过热,见 5.3。

## A.6 持续时间

### A.6.1 基本概念(见 5.3.1)

现行的许多规范都是根据持续时间来描述振动试验的扫频耐久状态。如果它们的试验频率范围不同,就不可能把一个共振样品的性能和另一共振样品的性能联系起来,因为所受的共振激励次数不同。例如,通常会认为在加速度和持续时间都相同的情况下,频率范围宽的比频率范围窄的更为严酷。但事实却恰恰相反。作为耐久参数的扫频循环数概念可以解决这一问题,因为此时共振可按相同的次数被激励,而不考虑频率范围。

### A.6.2 试验

如果试验仅用于证实一个样品在合适振幅下经受住振动和(或)在合适振幅下工作的能力,则该试验需连续进行。其试验时间应长到足以证实在规定的频率范围内满足这种要求。如果要证实一个设备经受振动累积效应的能力,例如疲劳和机械变形时,试验应有足够的持续时间以累积必需的应力循环。为了证实无限疲劳寿命,通常认为总数为  $10^7$  的应力循环是合适的。

### A.7 动态响应

试验样品内部产生的动态应力是造成损坏的主要原因。其经典的例子是把一个简单的质量-弹簧系统连接到一个惯性比该系统大的振动物体上时,在该质量-弹簧系统中产生的是动态应力。在共振频率上,弹簧内的应力将随着该质量-弹簧系统响应幅度的增大而增大。在这样的共振频率上进行耐久试验,需要进行许多工程判断。困难主要在于确定哪一种共振是重要的,另一个问题是如何使驱动频率保持在共振频率上。

特别在高频范围内,共振现象可能不十分明显,但仍然会出现局部的高应力。虽然有些规范试图用一个任意的放大值来规定共振频率的严酷等级,本部分没有采用这种方法。

本试验给出的程序是将振动幅值(位移或加速度)保持在与样品动态响应无关的规定值上。这与适合标准化要求的一般振动技术是一致的。

众所周知,当一个样品在其共振频率上被激励时,其视在质量可以高于它的工作安装结构质量。在这种情况下,应考虑样品的反作用。由于驱动力和结构的机械阻抗通常是未知的,所以对这些参数进行一般性的假设通常是非常困难的。

可以预见,借助于力的控制是减少上述问题的一种方法。因为目前还不可能给出程序、测量和容差方面的资料,所以未包含在本部分中。当有关规范要求这样进行试验时,可以用力传感器或依靠对驱动电流的测量来进行。后一种方法有某种缺点,因为驱动电流在本试验所规定的频率范围内的部分频率上可能与驱动力不成比例。然而,如果有好的工程判断方法,就能采用驱动电流的方法,特别是对有限的频率范围尤其是这样。

因此,当这种力控制试验具有吸引力时,需注意它的使用。当然,在某些情况下,例如元件,采用幅值控制方法将会更加合适(见第 8 章)。

### A.8 性能评价

如果适用,可在整个试验期间或试验过程中的适当阶段上,设备应按其典型的功能条件进行工作。在耐久试验的适当阶段上及其试验结束前,建议对样品进行功能检查。

对振动可能影响其开关特性的样品(例如干扰继电器的工作),应反复试验这些功能,以验证样品在试验频率内或可能引起干扰的频率上能满意地工作。

如果试验仅仅是为了验证样品能否经受住振动,则样品功能特性的评价应在耐久振动完成后进行(见 8.3 和第 11 章)。

### A.9 初始和最后检测

初始和最后检测的目的是为了比较特定的参数,以便评价振动对样品的影响。

除视觉检查外,检测应包括电气和(或)机械工作特性、尺寸等(见第 7 章和第 11 章)。

## 附录 B

(资料性附录)

## 主要用于元件应用的严酷等级示例

在第 5 章中提供的严酷等级很多。为了简化使用,表 B.1 给出了从第 5 章所推荐的耐久参数中选出来主要用于元件应用的严酷等级示例。其试验条件按本部分的规定。

表 B.1 扫频耐久——高交越频率示例

幅值 <sup>a</sup> 频率范围 Hz	在每一轴线方向上的扫频循环数			应用示例
	0.35 mm 或 50 m/s <sup>2</sup>	0.75 mm 或 100 m/s <sup>2</sup>	1.5 mm 或 200 m/s <sup>2</sup>	
10~55	10	10		大型工业电厂;重型旋转机械;轧钢机;大型商船或军舰
10~500	10	10		通用陆上基地和陆上运输;快速小型海上飞机(海军用或民用)以及一般用途飞机
10~2 000		10	10	空间发射器(200 m/s <sup>2</sup> );安装于飞机发动机处的元件
55~500	10	10		按 10 Hz~500 Hz 的应用示例,但是指 55 Hz 以下无共振的小型刚性元件
55~2 000		10	10	按 10 Hz~2 000 Hz 的应用示例,但是指 55 Hz 以下无共振的小型刚性元件
100~2 000		10	10	按 55 Hz~2 000 Hz 的应用示例,但是指非常小且又非常坚固的元件,例如密封的晶体管、二极管、电阻器和电容器
注:在一个频率范围内多于一个幅值时,只能用其中的一个。				
<sup>a</sup> 指交越频率以下的位移和交越频率以上的加速度幅值。交越频率在 58 Hz 和 62 Hz 之间(见 5.2)。				

估算应力循环数的方法见 A.4.3。

固定频率的耐久性试验:

在每个危险频率每个轴向上典型的耐久性试验持续时间是 10 min、30 min、90 min 和 10 h。

近固定频率见 A.1。

在预定的频率点上,耐久性试验时间应将在每个频率和轴向上的组合都按施加  $10^7$  应力循环作为上限。当环境条件已知时,在固定频率上耐久性试验的持续时间可基于存在的自然寿命期间的应力循环的次数。

**附 录 C**  
(资料性附录)  
主要用于设备应用的严酷等级示例

**C.1 总则**

当设备实际所受到的严酷等级已知时,可选择本附录(见 A.4.1)。当设备实际所受到的严酷等级未知时,则需按本附录给出的应用示例,选择类似的通用严酷等级。

下面给出若干主要供设备和其他产品用的,由频率范围、振动幅值、耐久时间组合的严酷等级实例(见表 C.1 和表 C.2)。它们是从第 5 章为耐久性试验规定的推荐参数中选出来的,并认为已包括了振动试验较一般的应用示例。本部分并不打算列出一个应有尽有的清单,因此,本附录示例未能包括的要求,应从本部分推荐的其他严酷等级中选取,并应在有关规范中规定。

在某些应用中,采用扫频耐久也许不合实际,可能要在危险频率上进行试验。这种试验应根据本部分的适用条文,并用本附录作为导则,由有关规范来规定。

表 C.1 不包括频率范围在 10 Hz 以下的示例,所以在 8 Hz 和 10 Hz 之间没有交越频率。在应用中,许多试验可能给出的起始频率 5 Hz,甚至 1 Hz,有关规范应有相关的规定。

**表 C.1 扫频耐久——低交越频率示例**

加速度 $m/s^2$ 频率范围 Hz	在每一轴线方向上的扫频循环数			应用示例
	5	10	20	
10~150	50	—	—	固定设备,如长期暴露在振动条下的大型计算机和轧钢设备
10~150	20	—	—	固定设备,如长期间歇暴露在振动条下的大型发射机和空调设备
10~150	—	20	20	打算安装在轮船、火车、陆用车辆上的设备或由这些运输工具运输的设备
注:在一个频率范围内多于一个幅值时,只能用其中的一个。				

估算应力循环的方法见 A.4.3。

**C.2 固定频率的耐久性试验**

在每个危险频率每个轴向上典型的耐久性试验持续时间是 10 min;30 min;90 min 和 10 h。

近固定频率见 A.1。

在预定的频率耐久性试验时间时,应将分配在每个频率和轴向上组合都按施加  $10^7$  应力循环作为上限。当环境条件已知时,在固定频率上耐久性试验的持续时间可基于存在的自然寿命期间的应力循环的次数。

表 C.2 扫频耐久——高交越频率示例

幅值 <sup>a</sup> 频率范围 Hz	在每一轴线方向上的扫频循环数				应用示例
	0.15 mm 或 20 m/s <sup>2</sup>	0.35 mm 或 50 m/s <sup>2</sup>	0.75 mm 或 100 m/s <sup>2</sup>	1.5 mm 或 200 m/s <sup>2</sup>	
1~35 <sup>b</sup>	—	100	100	—	安装在重型旋转机械附近的设备
10~150 <sup>b</sup>	10 20 100	— 20 —	— — —	— — —	大型电厂及通用工业设备
10~150	10 20 100	— 20 —	— — —	— — —	应用于大型发电站的设备,或为通用工业用途的、含有超过 55 Hz 的振动部件的设备
10~500	10	10	—	—	通用航空器设备,越靠近发动机机舱(但不属于发动机机舱内部),扫频循环数越高
10~2 000	—	10	10	— 10	高速飞行器。越靠近发动机机舱(但不属于发动机机舱内部),扫频循环数越高 飞行器发动机舱
注:在一个频率范围内多于一个幅值时,只能用其中的一个。					
<sup>a</sup> 指交越频率以下的位移和交越频率以上的加速度幅值。交越频率在 58Hz 和 62Hz 之间(见 5.2)。					
<sup>b</sup> 定位移试验。					

估算应力循环的方法见 A.4.3。

### C.3 固定频率的耐久性试验

在每个危险频率每个轴向上典型的耐久性试验持续时间是 10 min、30 min、90 min 和 10 h。

近固定频率见 A.1。

在预定的频率耐久性试验时间时,应将分配在每个频率和轴向上组合都按施加  $10^7$  应力循环作为上限。当环境条件已知时,在固定频率上耐久性试验的持续时间可基于存在的自然寿命期间的应力循环的次数。

附录 NA

GB/T 4798 (所有部分)和 IEC 60721-3(所有部分)的一致性对应程度

GB/T 4798 (所有部分)与 IEC 60721-3(所有部分)各部分之间的一致性程度如下:

GB/T 4798.1—2005 电工电子产品应用环境条件 第 1 部分:贮存(IEC 60721-3-1:1997, MOD)

GB/T 4798.2—2008 电工电子产品应用环境条件 第 2 部分:运输(IEC 60721-3-2:1997, MOD)

GB/T 4798.3—2007 电工电子产品应用环境条件 第 3 部分:有气候防护场所固定使用(IEC 60721-3-3:2002, MOD)

GB/T 4798.4—2007 电工电子产品应用环境条件 第 4 部分:无气候防护场所固定使用(IEC 60721-3-4:1995, MOD)

GB/T 4798.5—2007 电工电子产品应用环境条件 第 5 部分:地面车辆使用(IEC 60721-3-5:1997, MOD)

GB/T 4798.6—2012 环境条件分类 环境参数组分类及其严酷程度分级 船用(IEC 60721-3-6:1987, IDT)

GB/T 4798.7—2007 电工电子产品应用环境条件 第 7 部分:携带和非固定使用(IEC 60721-3-7:2002, MOD)

GB/T 4798.9—2012 环境条件分类 环境参数组分类及其严酷程度分级 产品内部的微气候(IEC 60721-3-9:1993, IDT)

GB/T 4798.10—2006 电工电子产品应用环境条件 导言(IEC 60721-3-0:2002, IDT)

参 考 文 献

- [1] IEC 60050(721):1991, International Electrotechnical Vocabulary—Chapter 721: Telegraphy, facsimile and data communication)
- [2] IEC 60068-2-64:1993, Environmental testing—Part 2-64: Test methods—Test Fh: Vibration broad-band random (digital control) and guidance
-

中华人民共和国  
国家标准  
环境试验 第2部分:试验方法  
试验 Fc:振动(正弦)

GB/T 2423.10—2019/IEC 60068-2-6:2007

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.org.cn

服务热线:400-168-0010

2019年6月第一版

\*

书号:155066·1-62516

版权专有 侵权必究



GB/T 2423.10-2019