ICS 19.040
K 04

中华人民共和国国家标准

GB/T 2423.10—2008/IEC 60068-2-6:1995
代替 GB/T 2423.10—1995

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)

Environmental testing for electric and electronic products—
Part 2:Tests methods
Test Fc: Vibration(sinusoidal)

(IEC 60068-2-6:1995,IDT)

2008-03-24 发布　　2008-10-01 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

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　试验设备 …… 4
5　严酷等级 …… 5
6　预处理 …… 8
7　初始检查 …… 8
8　试验 …… 8
9　中间检测 …… 9
10　恢复 …… 9
11　最后检测 …… 9
12　有关规范应给出的规定 …… 9
附录A（资料性附录）　试验Fc导则 …… 12
附录B（资料性附录）　主要用于元件应用的严酷等级示例 …… 21
附录C（资料性附录）　主要用于设备应用的严酷等级示例 …… 22

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10部分。

本部分等同采用IEC 60068-2-6:1995《环境试验　第2部分:试验方法　试验Fc:振动(正弦)》。

本部分等同采用的IEC 60068-2-6:1995由IEC导则104确定为安全性基础标准。

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) 删除国际标准的前言;

d) 为了与现有GB/T 2423其他各部分的名称一致,将本部分改为当前名称。

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。

本部分代替GB/T 2423.10—1995《电工电子产品环境试验　第2部分:试验Fc:振动(正弦)》,与其相比,本部分增加了数字信号控制和数字滤波方面的技术内容。对原有的内容也有删改和补充。

IEC 60068-2-34、IEC 60068-2-35、IEC 60068-2-36和IEC 60068-2-37目前已经停止使用,在本部分修订时不再引用。

本部分的附录A、附录B和附录C为资料性附录。

本部分由上海市质量监督检验技术研究院提出。

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归口。

本部分起草单位:信息产业部电子第五研究所、上海市质量监督检验技术研究院、广州大学、北京航空航天大学、上海市航天808所、信息产业部电子第四研究所。

本部分主要起草人:卢兆明、纪春阳、徐忠根、吴飒、胡京平、王群健、赵明磊、林佳怡、王德言。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 2423.10—1981首次发布;

——GB/T 2423.10—1995第一次修订。

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)。

本试验让样品承受一段给出频率的正弦振动,或承受在一定的时间周期内处于离散的频率的正弦振动。用规定振动响应的检查以确定样品的危险频率。

有关规范应指出样品在振动时是否工作;或在振动后是否应该能继续工作。

必须强调指出,振动试验总是需要一定的工程判断,供需双方应充分认识这一点。无论如何,正弦振动试验是一个确定的,相对简单的过程,因而适用于诊断和使用寿命试验。

本部分的正文部分首先论述了用模拟技术或数字技术在规定点控制试验的方法,详细给出了试验程序,并且对振动的要求、严酷度等级(频率范围、振幅和持续时间)的选择作出规定。有关规范的编写者应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。

第 3 章给出的术语和定义适用于本部分。

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。

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)

1 范围

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。

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 第1部分:总则(idt IEC 60068-1:1988)

GB/T 2423.43—1995 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 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(Ca)等动力学试验中的安装要求和导则(idt IEC 60068-2-47:1982)

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)

GB/T 4796—2008 电工电子产品环境条件分类 第1部分:环境参数及其严酷程度(IEC 60721-1:2002,IDT)

IEC 60050(721):1991 国际电工词汇(IEV)721电报 传真通讯 数据通讯

ISO 2041:1990 振动和冲击 词汇

3 术语和定义

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 reesonanc frequencies	3.10
检测点	check point	3.2.1
危险频率	critical frequencies	3.9
阻尼	damping	3.8
虚拟参考点	fictitious reference point	3.2.2.1
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
参考点	reference point	3.2.2
有限扫描频率	restricted frequencies	3.11
信号容差	signal tolerance	3.5
单点控制	single point control	3.3.1
扫频循环	sweep cycle	3.4

专用名词通常按 ISO 2041 和 GB/T 2421,但扫频循环(3.4)和信号容差(3.5)是由本部分特殊定义的。

以下专用名词的描述与 ISO 2041 或 GB/T 2421 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接触的部分,在使用中通常是固定样品的地方。如果是实际安装结构的一部分作夹具使用,则应取安装结构和振动台面接触的部分作固定点,而不应取样品和振动台面接触的部分作固定点。

3.2

测量点 measuring point

试验中采集数据的某些特定点具有两种形式,下面给出其定义。

注: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,对这方面更详细的叙述见附录 A.2.1。

3.2.1

检测点 check point

位于夹具、振动台或样品上的点。并且要求尽可能接近于一个固定点,而且在任何情况下都要和固定点刚性连接。

注 1:试验的要求是通过若干检测点的数据来保证的。

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,可选用单个检测点(即参考点),但该点应选自样品和夹具的固定点而不应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

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。

3.2.2.1

虚拟参考点 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参考点。

3.3

控制点 control point

3.3.1

单点控制 single point control

单点控制是通过使用来自参考点上传感器的信号,使该参考点保持在所规定的振动量级上来实现

的(见 4.1.4.1)。

3.3.2

多点控制　multipoint control

多点控制是将来自各检测点上每个传感器的信号,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(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

信号容差　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:指用于控制试验的信号如加速度、速度、位移(见 A.2.2)。

3.6

基本运动　basic motion

在参考点振动驱动频率上的运动(见 4.1.1)。

3.7

实际运动　actual motion

由参考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。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 frequencies

来自振动响应检查,实际上共振频率自动集中的频率。

3.11

有限扫描频率　restricted frequencies

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 10 m/s² 的整数值。

4 试验设备

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测点上的最大振幅。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、大质量的样品或在某些频率上要达到上面的要求是困难的。有关规范应指出下列适用的一条：

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

在装载大尺寸或大质量样品的情况下，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(见 A.2.4)。

4.1.3 信号容差

除非有关规范另有规定，应对加速度信号容差进行测量。测量应在参考点进行，其频率覆盖范围应取 5 000 Hz 或 5 倍的驱动频率的较小者。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，信号容差应不超过 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(见 A.4.4)。

对大或复杂的样品，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。但信号容差应记录在报告中(见 A.2.2)。

注：如果未使用跟踪滤波器且信号容差超过 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(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容差及受影响的频率范围记录在试验报告中(见 A.2.2)。

4.1.4 振幅容差

在所要求轴线上的检测点和参考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水平。

对较低频率或者大尺寸样品或大质量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。应在有关规范中规定，并记录在试验报告中。

4.1.4.1 参考点

参考点的控制信号容差：±15% (见 A.2.3)。

有关规范应规定是采用单点控制还是采用多点控制。如果采用多点控制，应明确是将各检测点上信号的平均值控制到所规定值，还是将所选择的一个点(例如最大振幅点)上的信号控制到所规定的值(见 A.2.3)。

注：如不可能采用单点控制，则采用平均值进行多点控制或对多个检测点中极大值点控制。在这种多点控制的情况下，这个点就是设定的参考点。这种方法应记录在试验报告中。

4.1.4.2 检测点

在每个检测点上：

低于或等于 500 Hz： ±25%；

高于 500 Hz： ±50%；

(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： ±0.05 Hz；

从 0.25 Hz 到 5 Hz： ±20%；

从 5 Hz 到 50 Hz： ±1 Hz；

高于 50 Hz： ±2%。

4.1.5.2 定频耐久

a) 固定频率： ±2%；

b) 近固定频率：

低于或等于 0.25 Hz： ±0.05 Hz；

从 0.25 Hz 到 5 Hz： ±20%；

从 5 Hz 到 50 Hz： ±1 Hz；

高于 50 Hz： ±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 8.1)，即在振动响应检查期间，采用下列容差：

低于或等于 0.5 Hz： ±0.05 Hz；

从 0.5 Hz 到 5 Hz： ±10%；

从 5 Hz 到 100 Hz： ±0.5 Hz；

高于 100 Hz： ±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(见 A.4.3)。扫频的速率应为每分钟一个倍频程，容差为±10%。这可能因为振动响应检查而有所不同(见 8.1)。

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

4.2 安装

除非有关规范另有规定，样品应按 GB/T 2423.43 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见 8.2.2 的注、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)。

对每一个参数，有关规范应从下面所列出的数值中选取。或者从其他已知来源得到的有关数据(例如 GB/T 4796)。如果与已知的环境有实质性差异，有关规范应做出相关的规定。

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，即拐点。

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(见 A.4.1 和 A.4.2)。

5.1 频率范围

有关规范应从表1中选取一个下限频率，并从表2中选取一个上限频率来确定频率范围。推荐的频率范围见表3。

B.1，C.1和C.2给出了特殊用途的严酷等级示例。

表1 下限频率

f_1/Hz
0.1
1
5
10
55
100

表2 上限频率

f_2/Hz
10
20
35
55
100
150
300
500
2 000
5 000

表3 推荐频率范围

从 f_1 到 f_2/Hz		
1	到	35
1	到	100
10	到	55
10	到	150
10	到	500
10	到	2 000
10	到	5 000
55	到	500
55	到	2 000
55	到	5 000
100	到	2 000

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。表4和表5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(示于表4和表5的同一横格线上)。因此在交越频率上振动量值是相同的(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一加速度幅值。有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应考虑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。因此在表 6 和图 3 中仅给出了位移幅值。

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(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，应采用与上述诸值相同的数值系列(见 A.4.3)。

表 4 低交越频率(8 Hz 到 10 Hz)推荐振动幅值

低于交越频率的位移幅值		高于交越频率的加速度幅值	
mm	(in)	m/s^2	(g_n)
0.35	(0.014)	1	(0.1)
0.75	(0.03)	2	(0.2)
1.5	(0.06)	5	(0.5)
3.5	(0.14)	10	(1.0)
7.5	(0.30)	20	(2.0)
10	(0.40)	30	(3.0)
15	(0.60)	50	(5.0)

注 1：表中所列全部数值均为峰值振幅。

注 2：供参考的英寸值是从毫米值导出的近似值，g_n 值也是为参考而给出的近似值。

注 3：表中 15 mm 的位移幅值主要适用于液压振动台选取。

表 5 高交越频率(58 Hz 到 62 Hz)推荐振动幅值

低于交越频率的位移幅值		高于交越频率的加速度幅值	
mm	(in)	m/s^2	(g_n)
0.035	(0.001 4)	5	(0.5)
0.075	(0.003)	10	(1.0)
0.15	(0.006)	20	(2.0)
0.35	(0.014)	50	(5.0)
0.75	(0.03)	100	(10)
1.0	(0.040)	150	(15)
1.5	(0.06)	200	(20)
2.0	(0.08)	300	(30)
3.5	(0.14)	500	(50)

注 1：表中所列全部数值均为峰值振幅。

注 2：供参考的英寸值是从毫米值导出的近似值，g_n 值也是为参考而给出的近似值。

表 6 仅适用于频率范围的上限到 10 Hz 的位移幅值的推荐值

位移幅值	
mm	(in)
10	(0.40)
35	(1.4)
75	(3.0)
100	(4.0)

注 1：表中所列全部数值均为峰值振幅。

注 2：供参考的英寸值是从毫米值导出的近似值。

注 3：大于 10 mm 的位移幅值主要适用于液压振动台选取。

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，用作为振动响应检查(见 8.1)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$^{+5\%}_{0}$(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见 A.1。

5.3.2.2 在预定频率上

有关规范在规定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(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 GB/T 2421—1999)。

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(见 A.9)。

8 试验

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线依次经受振动，而且轴向的选择应选最可能暴露故障的方向。

参考点的控制信号应从各检测点的信号导出，并用于单点或多点控制(见 A.4.5)。

有关规范应在下列给出的步骤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(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，必须规定特殊的措施(见 A.5)。

有关规范有要求时，控制规定的振动幅值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(见 A.7)。

8.1 振动响应检查

为了研究在振动条件下样品的响应特性，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 8.2)。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(见 A.3.1)。

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(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(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。如果危险频率发生的任何变化，有关规范应规定对此采取相应的措施。基本的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 和 A.3.1)。

8.2 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。

8.2.1 扫频耐久试验 endurance by sweeping

这种耐久程序应优先选用。

应按有关规范选择的频率范围、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。

8.2.2 定频耐久试验 endurance at fixed frequencies

用下列两种频率之一进行耐久试验：

a) 8.1 给出的振动响应检查出危险频率，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(见 A.1)。

b) 有关规范规定的预定频率。

试验应按有关规范应提供的振幅和持续时间进行(见 A.3.2)。

注：对装有减振器的样品，有关规范应规定是否应对装有减振器后的共振频率进行耐久试验(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(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

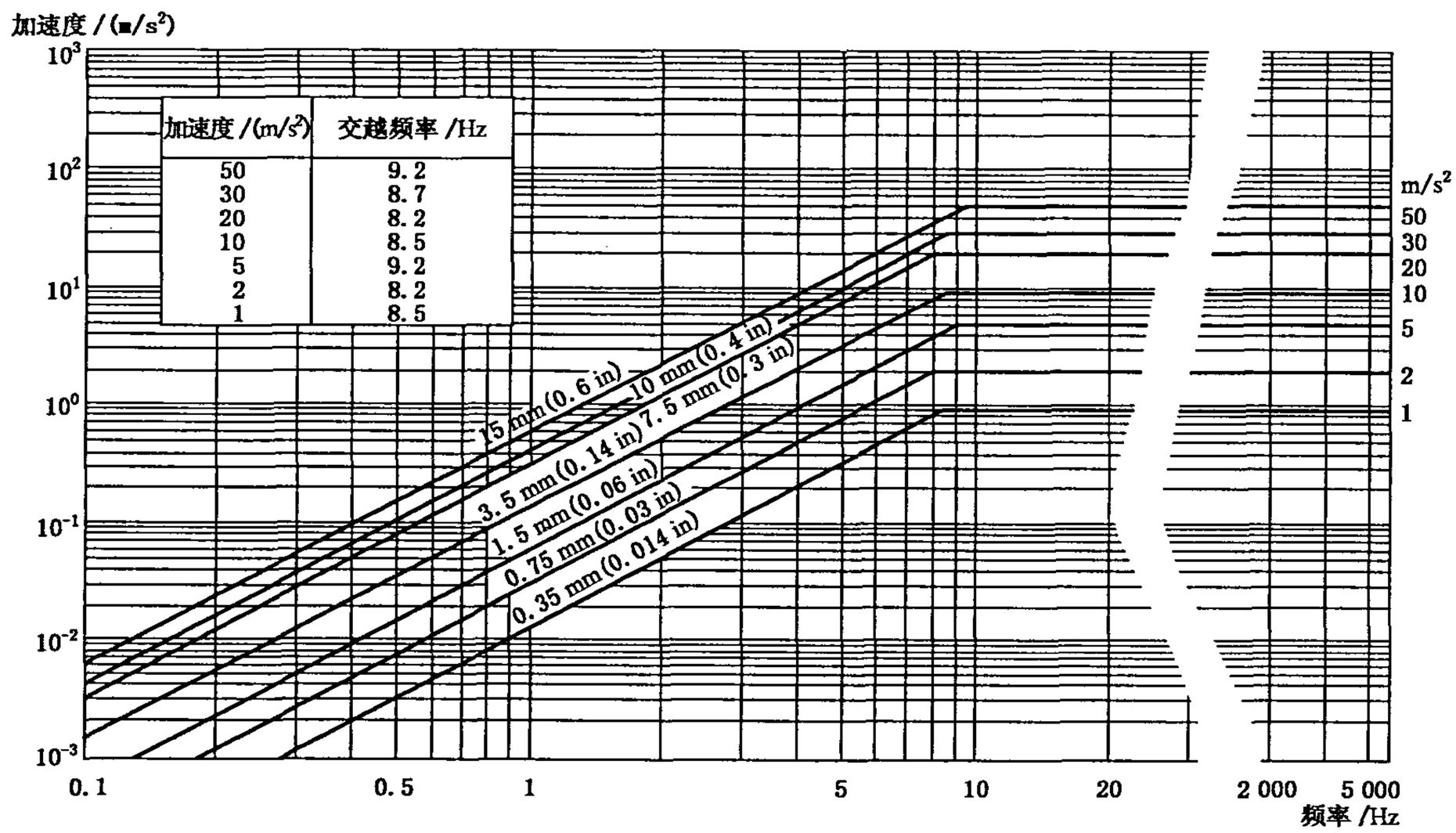
有关规范可规定对样品进行外观、尺寸和功能检查。

有关规范应提供接收或拒收样品的判据(见 A.9)。

12 有关规范应给出的规定

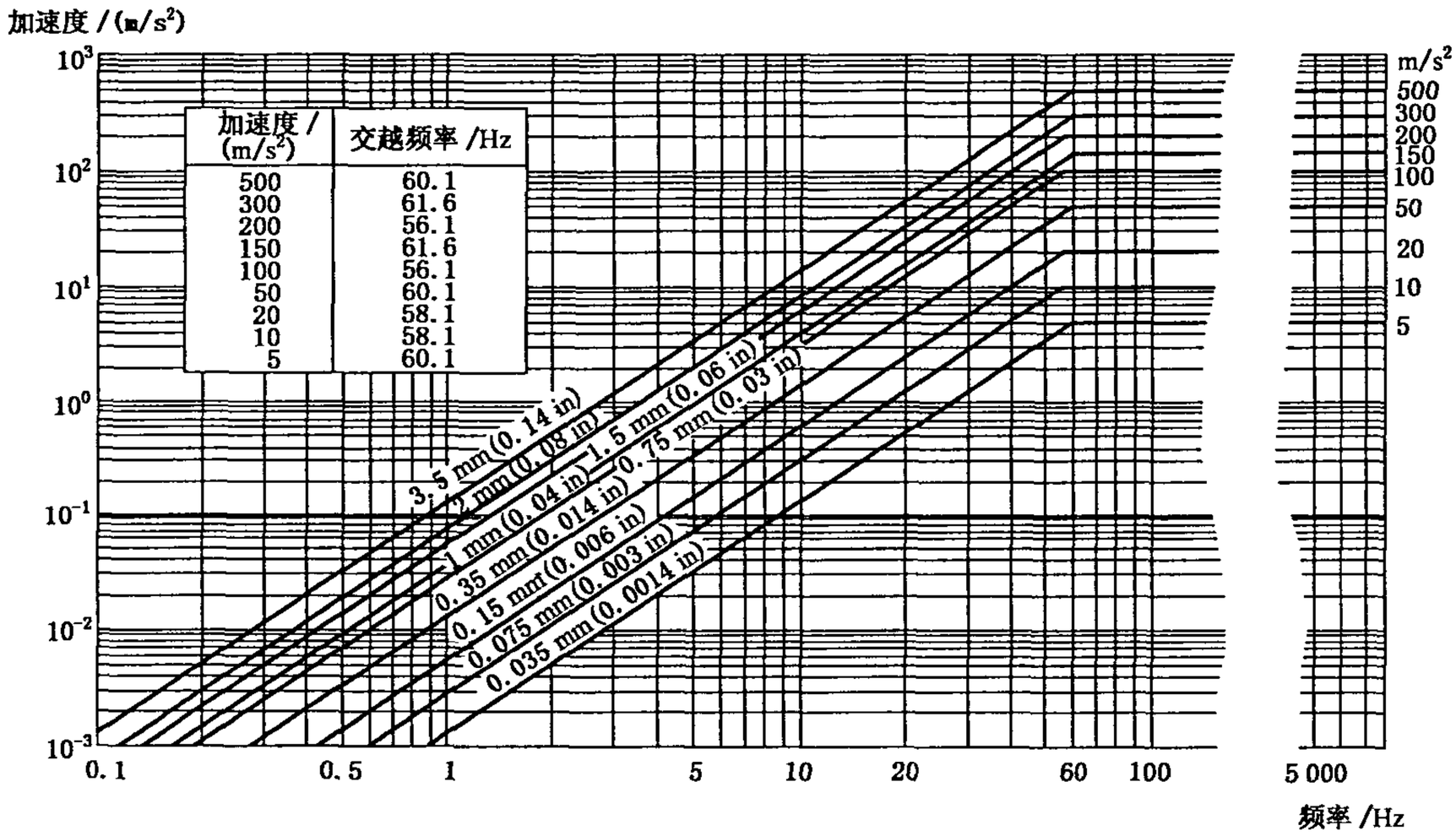
	章或条
a) 检测点的选择	3.2.1
b) 控制点的选择★	3.3.2
c) 横向运动	4.1.2.1

d) 旋转运动	4.1.2.2
e) 信号容差	4.1.3
f) 振幅容差	4.1.4
g) 置信水平	4.1.4
h) 单点或多点控制★	4.1.4.1
i) 安装	4.2
j) 严酷等级,实际环境(如果已知)	5
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	6
p) 初始检测★	7
q) 振动的轴线★	8
r) 力的限制	8
s) 进行试验的步骤和顺序★	8,8.1,8.2
t) 功能和功能检查★	8.1,9
u) 振动响应检查后所采取的措施★	8.1
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★	8.1
w) 预定频率	8.2.2
x) 样品装上隔振器后在共振频率上的条件试验	8.2.2
y) 恢复	10
z) 最后检测★	11
aa) 接收或拒收判据★	11



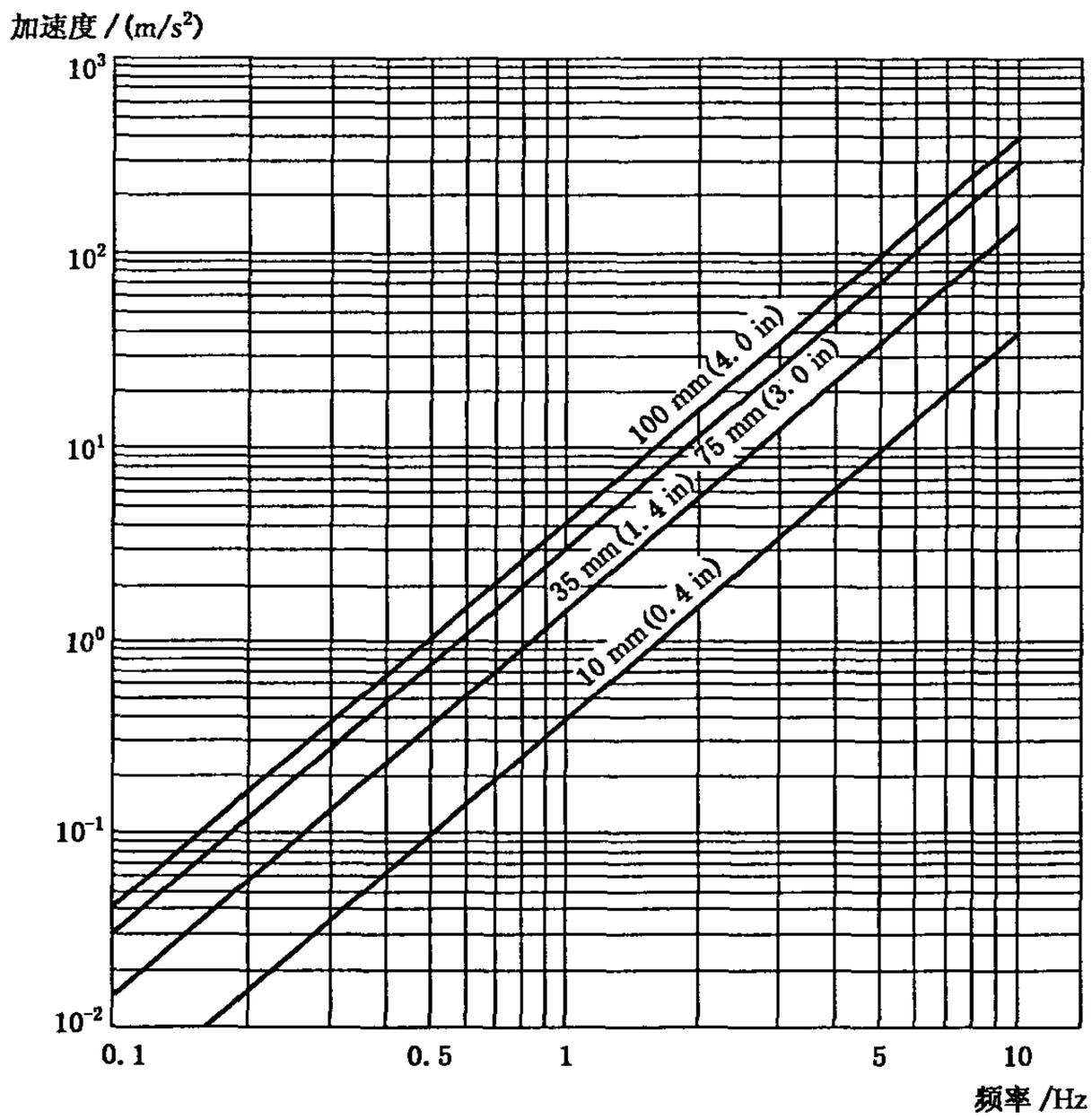
注:本图不是严酷等级中频率与幅值的精确图解。

图 1 采用较低交越频率(8 Hz～10 Hz)时的振动幅值



注：本图不是严酷等级中频率与幅值的精确图解。

图 2　采用较高交越频率(58 Hz～62 Hz)时的振动幅值



注：本图不是严酷等级中频率与幅值的精确图解。

图 3　振动位移幅值(仅用于上限频率为 10 Hz)的频率范围

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。然而根据样品危险频率的范围,按比例确定应增加的时间值(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时间来确定的。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 GB/T 2423.56—2006。

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，甚至必须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 信号容差引起的误差

当信号容差小于5%时，实际运动和基本运动没有明显的差异。

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

当信号容差大的情况下，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，就必须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。推荐使用跟踪虑波器。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容差的要求更合适(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 和信号容差 T 的关系：

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

其中 D 和 T 用百分比值表示。

(当信号容差 $T=5$ 代入上述公式，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，就是调整与每一检测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)中721-04-11)方法是通过分配器对测量通道在各个检测点间进行切换。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个检测点上，驱动信号频率为100 Hz时，每个检测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 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_t，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。就这二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_t 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(见 8.1)

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。频率的变化可能标志着疲劳的出现，并说明样品不适用于该工作环境。

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，初始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。

在第一步，为了进行估算减振器的传递特性需要用不同的振动幅值(见图 A.1)。然后进行第二步检查，即反复装上和去除减振器进行振动响应检查，以便确定减振器的影响。

如果不装用减振器，见 A.5.1。

A.3.2 耐久试验(见 8.2)

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 8.2.1)。

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，或局限于在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 8.8.2)。

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道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，见本附录 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。

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，最好根据实际怀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虑波器，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。

应考虑附录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倍频程(见4.1.6)，则 $k=\ln 2=0.693$。

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——倍频程数；

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	17 h
1～100	13 min	27 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 30 min	11 h	22 h
10～55	5 min	10 min	25 min	45min	1 h 45 min	4 h	8 h
10～150	8 min	16 min	40 min	1 h 15 min	2 h 30 min	7 h	13 h
10～500	11 min	23 min	55 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h
10～2 000	15 min	31 min	1 h 15 min	2 h 30 min	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	1 h	2 h	5 h	11 h
55～2 000	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	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	1 h 30 min	3 h	7 h	14 h

注1：表中列出的持续时间以1 oct/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。

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

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

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

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/分钟(oct/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——响应时间，单位为秒(s)；

BW——带宽，单位为赫(Hz)。

例如：

对 10 Hz 带宽的等带宽滤波器(CB)，

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

对带宽为 10%调谐频率 f 的等百分比带宽波率器(CPB)设定在的

$BW = 0.1\ f$；

$T_r = \frac{1}{BW} = 10$ 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 和表 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,则必须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。

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。如减振器上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参数。然而，在某些情况下采用连续激励而不允许恢复可能是不合理的。如果该基本共振频率的激励时间分布已知，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时间以免过热，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-弹簧系统中所产生的是动态应力。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，必须注意它的使用。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 8.2)。

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)。

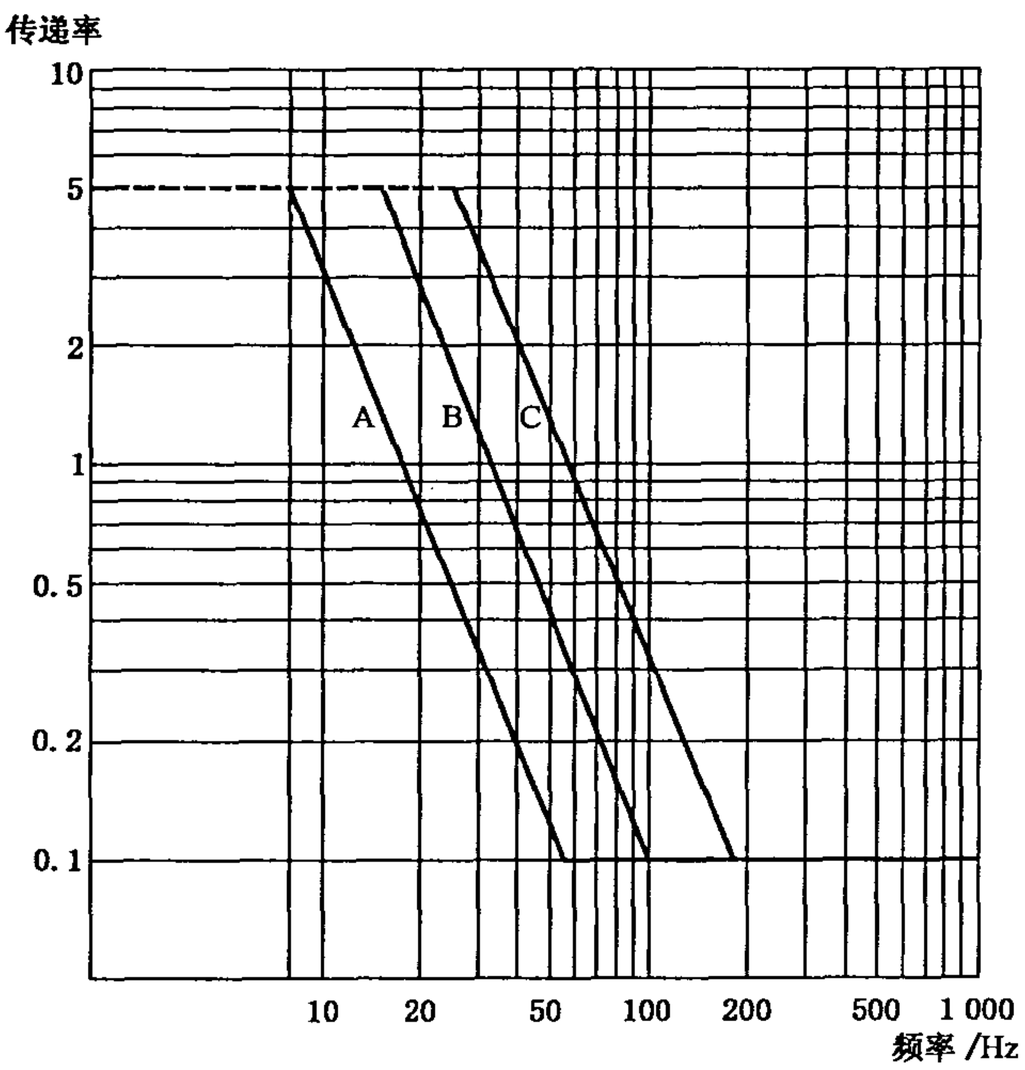


图 A.1 减振器的一般传递特性曲线

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章提供的严酷等级可能很多。为了简化使用，本附录表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[a] 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/s²	0.75 mm或 100 m/s²	1.5 mm或 200 m/s²	
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/s²）；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。				
[a] 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和表5）。				

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。

近似固定频率见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

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已知时，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示例（见表 C.1 和表 C.2）。它们是从本部分第 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，由有关规范中来规定。

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	打算按装在轮船、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。

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。

近似固定频率见 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[a] 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^2	0.35 mm 或 50 m/s^2	0.75 mm 或 100 m/s^2	1.5 mm 或 200 m/s^2	
1～35[b]	—	100	100	—	安装在重型旋转机械附近的设备
10～150[b]	10 20 100	— 20 —	— — —	— — —	大型电厂及通用工业设备

表 C.2（续）

幅值[a] 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/s²	0.35 mm 或 50 m/s²	0.75 mm 或 100 m/s²	1.5 mm 或 200 m/s²	
10～150	10 20 100	— 20 —	— — —	— — —	振动成分超过 55 Hz 的大型电厂及通用工业设备
10～500	10	10	—		一般飞机用设备较高值应用于接近但不处于发动机舱内的设备
10～2 000	—	10	10	— 10	高速飞机用设备较高值应用于接近但不处于发动机舱内的设备 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。					
[a] 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 和表 5)。 [b] 定位移试验。					

估算应力循环的方法见 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。

近似固定频率见 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。

GB/T 2423.10—2008/IEC 60068-2-6:1995

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 Fc:振动(正弦)
GB/T 2423.10—2008/IEC 60068-2-6:1995
*
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
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 1.75 字数 48 千字
2008 年 6 月第一版 2008 年 6 月第一次印刷
*
书号:155066·1-31547

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 2423.10-2008