



中华人民共和国国家标准

GB/T 2423.56—2018/IEC 60068-2-64:2008
代替 GB/T 2423.56—2006

环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fh:宽带随机振动和导则

Environmental testing—Part 2: Test methods—
Test Fh: Vibration, broadband random and guidance

(IEC 60068-2-64:2008, Environmental testing—Part 2-64: Tests—
Test Fh: Vibration, broadband random and guidance, IDT)

2018-12-28 发布

2019-07-01 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

目 次

前言 I

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 试验要求 6

 4.1 一般要求 6

 4.2 基本运动 6

 4.3 横向运动 6

 4.4 安装 6

 4.5 测量系统 6

 4.6 振动容差 7

 4.7 控制 9

 4.8 振动响应检查 10

5 严酷等级 10

 5.1 试验频率范围 10

 5.2 加速度均方根值 10

 5.3 加速度谱密度的谱型 10

 5.4 试验持续时间 11

6 预处理 11

7 初始检测和功能检测 11

8 试验 11

 8.1 一般要求 11

 8.2 初始振动响应检查 11

 8.3 试验前低量值激励均衡 12

 8.4 随机试验 12

 8.5 最终振动响应检查 12

9 恢复 13

10 最终检测和功能检测 13

11 有关规范应给出的信息 13

12 试验报告应给出的信息 14

附录 A (资料性附录) 标准试验谱 15

附录 B (资料性附录) 导则 21

参考文献 24

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 56 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 2423.56—2006《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Fh：宽带随机振动(数字控制)和导则》。与 GB/T 2423.56—2006 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 删除了带宽符号“ B_c ”(见 2006 年版的 3.1)；
- 增加了“横向运动”“实际运动”“固定点”“控制方法”“单点控制”“测量点”“采样频率”“多点控制策略”“峰值因子”“试验频率范围”的术语和定义(见 3.1、3.2、3.3、3.4、3.4.1、3.6、3.12、3.13、3.16、3.37)；
- 修改了“多点平均控制”为“多点控制”以及术语定义(见 3.4.2, 2006 年版的 3.20)；
- 增加了加速度谱密度符号“ASD”(见 3.18)；
- 术语“控制加速度谱密度”的定义中增加了“或虚拟基准点”(见 3.19, 2006 年版的 3.5)；
- 修改了“驱动信号的削波”“有效频率范围”“加速度谱密度示值”“均方根值”“标准差”的术语定义(见 3.21、3.22、3.27、3.33、3.34, 2006 年版的 3.10、3.11、3.17、3.28、3.29)；
- 增加了频率分辨率符号“ B_r ”(见 3.26)；
- 增加了统计自由度符号“DOF”(见 3.36, 2006 年版的 3.31)；
- 将术语“真实加速度谱密度”定义中的“随机波”修改为“随机信号”(见 3.38, 2006 年版的 3.33)；
- 删除了“偏差”“阻尼比”“失真度”“扫频循环”“窗函数”的术语定义(见 2006 年版的 3.3、3.8、3.9、3.32、3.34)；
- 修改了“一般要求”的有关内容(见 4.1, 2006 年版的 4.1)；
- 修改了“基本运动”中的有关内容,并增加注(见 4.2, 2006 年版的 4.3.1)；
- 增加了“测量系统”(见 4.5)；
- 增加了“控制”(见 4.7)；
- 修改了“振动响应检查”中的有关内容(见 4.8, 2006 年版的 4.2)；
- 增加了规定“试验样品应按 IEC 60068-2-47 的要求安装。所有情况下,在 IEC 60068-2-47 中选择曲线时需先平方后乘以加速度谱密度(ASD)或直接乘以正弦振幅。”(见 4.4, 2006 年版的 4.4)；
- 增加了规定“在开始、中间和结束试验时计算基准点的概率密度函数应各持续 2 min。有关规范应规定正态分布的容差”以及“图 2”(见 4.6.2, 2006 年版的 4.3.3)；
- 增加了标题“ASD 和 r.m.s 值”(见 4.6.1, 2006 年版的 4.3.4)；
- 增加了规定“如果有关规范规定在试验中要满足置信水平,应使用图 3 来计算统计结果的准确性”(见 4.6.3, 2006 年版的 4.3.5)；
- 修改了频率分辨率 B_r 的选取方法和公式以及相关内容(见 4.6.4, 2006 年版的 4.3.6)；
- 修改了“加速度谱密度”为“加速度均方根值”(见 5.2, 2006 年版的 5.3)；
- 修改了“初始检测”为“初始检测和功能检测”(见第 7 章, 2006 年版的第 7 章)；
- 修改了“振动响应”为“初始振动响应”以及相关内容(见 8.2, 2006 年版的 8.2)；
- 修改了“随机振动试验”为“随机试验”以及相关内容(见 8.4, 2006 年版的 8.4)；

- 修改了“试验持续时间”(见 5.4, 2006 年版的 5.5);
- 修改了“中间检测”为“中间检测和功能检测”以及相关内容(见 8.4.2, 2006 年版的 8.5);
- 修改了“最终检测”为“最终检测和功能检测”以及相关内容(见第 10 章, 2006 年版的第 10 章);
- 增加了“试验报告应给出的信息”(见第 12 章);
- 删除了规范性附录“振动响应检查”(见 2006 年版的附录 A);
- 增加了资料性附录“标准试验谱”(见附录 A)。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60068-2-64:2008《环境试验 第 2-64 部分:试验 试验 Fh:宽带随机振动和导则》。

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 2422—2012 环境试验 试验方法编写 导则 术语和定义(IEC 60068-5-2:1990, IDT);
- 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 16499—2017 电工电子安全出版物的编号及基础安全出版物和多专业共用安全出版物的应用导则(IEC Guide 104:2010, NEQ)。

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:广州大学、工业和信息化部电子第五研究所、北京航空航天大学、上海市质量监督检验技术研究院、苏州苏试试验仪器股份有限公司、北京中元环试机电设备技术有限公司、中国航空综合技术研究所。

本部分主要起草人:徐忠根、纪春阳、李传日、卢兆明、徐立义、张越、徐明、刘启华。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 2423.56—2006。

引 言

GB/T 2423 的本部分宽带随机振动试验适用于在生存期内将经受随机振动的元件、设备和其他产品,以后的文字中称为“试验样品”。本试验方法是基于数字化控制的随机振动试验技术。有关规范如有要求,本部分允许对试验方法予以适当调整,以适用其他种类产品的试验样品。

与大多数其他试验相比,试验 Fh 不是以确定性技术而是以统计技术为基础。因而宽带随机振动试验是以概率和统计平均的形式来描述。

需注意的是随机振动试验总是需要一定程度的工程判断,供需双方都要充分认识到这个事实。有关规范的编写者需选择试验方法和适合于试验样品及其应用的严酷等级。

本试验方法主要基于使用电动或一套带计算机辅助控制系统的伺服液压振动台。

附录 A 和附录 B 是资料性附录,给出了不同条件试验的试验谱示例、编制规范时需考虑的细则和导则。

环境试验 第2部分:试验方法

试验 Fh:宽带随机振动和导则

1 范围

GB/T 2423 的本部分提供了随机振动标准的试验方法,用以确定样品在承受规定的随机振动试验下未出现不可接受的功能退化和(或)整体结构的符合性的前提下抵抗动态载荷的能力。

宽带随机振动可以用来识别应力累积效应和特定功能的退化。这些信息和相关规范相结合,可以用来评定样品是否可接收。

本部分适用于在运输或工作环境中可能遭受随机振动的样品,如在飞机、太空飞船和陆地交通工具中,它主要用于没有包装的样品,以及在运输过程中其包装作为样品本身一部分的样品。但是,对于已包装的样品,则将样品连同其包装视作样品。对于带包装样品的试验,本部分可以和 GB/T 2423.43—2008 共同使用。

若样品在运输或实际生存周期环境中承受随机和确定性的混合振动,如在飞机、航天器和集装箱运输中,仅以单纯的随机情况来检验该样品是不够的。参照 GB/T 2424.26—2008 估计样品动态振动环境,并在此基础上选择合适的试验方法。

本部分主要适用于电工电子产品,也适用于其他领域的产品(参见附录 A)。

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 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 2424.26—2008 电工电子产品环境试验 第3部分:支持文件和导则 振动试验选择(IEC 60068-3-8:2003, IDT)

IEC 60050-300 国际电工技术 术语(IEV) 电子测量和电子测量仪器 第311部分:测量总则 第312部分:电子测量总则 第313部分:电子测量仪器分类 第314部分:关于仪器种类的专业术语(International electrotechnical vocabulary—Electrical and electronic measurements and measuring instruments—Part 311: General terms relating to measurements—Part 312: General terms relating to electrical measurements—Part 313: Types of electrical measuring instruments—Part 314: Specific terms according to the type of instrument)

IEC 60068-1 环境试验 第1部分:概述和指南(Environmental testing—Part 1: General and guidance)

IEC 60068-2-6 环境试验 第2-6部分:试验方法 试验 Fc: 振动(正弦)[Environmental testing—Part 2-6: Tests—Test Fc: Vibration (sinusoidal)]

IEC 60068-5-2 环境试验 第5-2部分:试验方法编写导则 术语和定义(Environmental testing—Part 5-2: Guide to drafting of test methods—Terms and definitions)

IEC 60721-3(所有部分) 环境条件分类 第3部分:环境参数组及其严酷程度的分类分级(Classification of environmental conditions—Part 3: Classification of groups of environmental parameters)

and their severities)

IEC Guide 104 安全出版物的编写及基础安全出版物和多专业共用安全出版物的应用导则(The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications)

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：所使用的术语通常在 IEC 60050-300、IEC 60068-1、IEC 60068-2-6、IEC 60068-5-2 和 ISO 2041 中定义。如果这里包含其中一个来源的定义，则就会指出其推导过程，并指出这些来源中定义的偏离。

3.1

横向运动 cross-axis motion

沿着非激励方向的运动，一般沿着与激励方向正交的两个轴进行。

注：横向运动需靠近固定点测量。

3.2

实际运动 actual motion

由基准点传感器返回的宽频信号所代表的运动。

3.3

固定点 fixing point

试验样品与夹具或振动台接触的部分，在使用中通常是固定试验样品的地方。

注：如果实际安装结构的一部分作为夹具使用，则固定点指的是安装结构的固定点而不是试验样品的固定点。

3.4

控制方法 control methods

3.4.1

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的控制方法。

3.4.2

多点控制 multipoint control

采用来自各个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还是采用比较技术来处理，需根据有关规范来决定。见 3.13。

3.5

g_n

由于地球引力引起的标准加速度，随海拔高度和地理纬度而变化。

注：为了便于使用，在本部分将 g_n 圆整为 10 m/s^2 。

3.6

测量点 measuring points

试验中采集数据的某些特定点。

注：这些点分为三类，具体定义见 3.7~3.9。

3.7

检查点 check-point

位于夹具、振动台面或试验样品上的点，尽可能靠近试验样品的固定点，而且在任何情况下都要和

固定点刚性连接。

注 1: 采用多个检查点是保证满足试验要求的一种措施。

注 2: 如果固定点少于或等于 4 个, 则全部用作检查点。对于带包装的产品, 此时固定点就是振动台接触的包装表面, 如果在试验的频率范围内没有振动台或安装结构的共振效应, 可以用一个检查点。否则就需要采用多点控制, 但同时参考注 3。如果固定点多于 4 个, 则有关规范需规定出 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试验样品, 如果不要检查点紧靠固定点, 则需在有关规范中规定。

注 4: 当大量的小试验样品安装在一个夹具上时, 或当一个小试验样品具有许多固定点时, 可选用单个检查点 (即基准点) 来导出控制信号。该信号反映的是夹具的特性而不是试验样品固定点的。这仅当夹具装上试验样品等负载后的最低共振频率比试验频率的上限高很多时才是可行的。

3.8

基准点 (单点控制) reference point (single-point control)

从检查点中选出的点, 其信号用于试验控制, 以满足本部分要求。

3.9

虚拟基准点 (多点控制) fictitious reference point (multipoint control)

从多个检查点中用手动或自动方式导出的点, 用于试验控制, 以满足本部分要求。

3.10

响应点 response points

位于试验样品上的特定部位的点, 从这些点上获得数据进行振动响应分析。

注: 这些点不同于检查点或基准点。

3.11

优先试验轴 preferred testing axes

按实际情况选择相应于试验样品最薄弱的 3 个正交轴。

3.12

采样频率 sampling frequency

每秒采集离散幅值的数量, 用于以数字方式记录或表示一个时间历程。

3.13

多点控制策略 multipoint control strategies

采用多点控制时计算参考控制信号的方法。

注: 不同频率区域控制方法的讨论见 4.7.1。

3.14

平均 averaging

确定由多个检查点对应谱线上的加速度谱密度经算术平均形成的控制加速度谱密度的过程。

3.15

极值 (极大值或极小值) extremal (maximum or minimum)

确定由多个检查点对应谱线上的加速度谱密度的极大值或极小值形成的控制加速度谱密度的过程。

3.16

峰值因子 crest factor

峰值和时间历程的均方根值之比。

[ISO 2041]

3.17

-3 dB 带宽 -3 dB bandwidth

在频率响应函数中对应于单一共振峰值最大响应 0.707 倍的两点之间的频率宽度。

3.18

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

当在带宽趋于零和平均时间趋于无穷的极限状态下,各单位带宽上通过中心频率窄带滤波器的加速度信号方均值。

3.19

控制加速度谱密度 **control acceleration spectral density**

在基准点或虚拟基准点上测量到的加速度谱密度。

3.20

控制系统回路 **control system loop**

包括下列操作:

- 基准点或虚拟基准点上模拟随机信号的数字化;
- 进行必要的数据处理;
- 为振动系统功率放大器产生一个更新的模拟驱动信号(参见 B.1)。

3.21

驱动信号的削波 **drive signal clipping**

驱动信号最大值的限制,用峰值因子表达(见图 1)。

3.22

有效频率范围 **effective frequency range**

0.5 倍 f_1 到 2.0 倍 f_2 的频率范围(见图 1)。

注:由于存在初始斜率和下降斜率,有效频率范围大于 f_1 与 f_2 之间的试验频率范围。

3.23

加速度谱密度误差 **error acceleration spectral density**

规定的加速度谱密度值和控制实现的加速度谱密度值之差。

3.24

均衡 **equalization**

使加速度谱密度误差最小化的过程。

3.25

最终斜谱 **final slope**

加速度谱密度大于 f_2 的部分(见图 1)。

3.26

频率分辨率 **frequency resolution**

B_c

加速度谱密度中频率间隔的宽度,以赫兹为单位。

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(T)的倒数为分辨率。在频率范围内,频率线数等于频率间隔数。

3.27

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。

3.28

初始斜谱 **initial slope**

加速度谱密度小于 f_1 的部分(见图 1)。

3.29

仪器误差 instrument error

由控制系统及其输入的每一个模拟环节引起的误差。

3.30

随机误差 random error

由于不同的实际平均时间与滤波器带宽的限制导致加速度谱密度估计误差。

3.31

记录 record

用于快速傅立叶变换计算的时域的等间隔数据点的集合。

3.32

可再现性 reproducibility

按下列不同条件下对相同参量相同数值进行测量的结果之间的一致性程度：

- 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；
- 不同的仪器使用习惯。

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, 修正]

3.33

均方根值 root-mean-square value

在 f_1 与 f_2 区间内单值函数的所有频率的均方根值，是在该区间内的函数值的平方的平均值的平方根值（见图 2）。

3.34

标准差 standard deviation

σ

根据振动理论，当振动幅值的平均值等于 0 时，对于随机时间历程，振动的标准差等于均方根值（见图 2）。

3.35

统计精度 statistical accuracy

加速度谱密度真值与加速度谱密度示值之比。

3.36

统计自由度 statistical degrees of freedom

DOF

用时间平均方法来估算随机数据的加速度谱密度时，统计自由度取决于频率分辨率和有效平均时间（见图 3）。

3.37

试验频率范围 test frequency range

在 f_1 与 f_2 （见图 1）之间的频率范围，有关规范需规定 ASD 是平直谱或其他谱形。

3.38

真实加速度谱密度 true acceleration spectral density

作用于试验样品上的随机信号的加速度谱密度。

4 试验要求

4.1 一般要求

进行试验时,整个振动系统包括功率放大器、振动发生器、试验夹具、试验样品和控制系统等都应满足必要的性能要求。

标准的试验方法一般由以下试验顺序组成,这些顺序应用于试验样品中各相互垂直的轴向:

- 1) 用低量值的正弦激励或随机激励进行初始振动响应检查(见 8.2);
- 2) 用随机激励进行机械载荷或应力试验;
- 3) 最终响应检查,与初始响应检查的结果比较,可以根据动态特性的变化找出导致可能出现的机械失效(见 8.2 和 8.5)。

当动态响应是已知且无关,或者在满量级试验的情况下可收集到足够的数据时,有关规范规定可以不需要在试验前后进行振动响应检查。

4.2 基本运动

有关规范应规定试验样品各固定点的基本运动。这些固定点应在相位和幅值上具有大体相同的运动,且相对于激励方向应是线性运动。若各点的运动很难达到完全相同时,则应采用多点控制。

注:对于大型结构和高的频率范围,如 20 Hz~2 000 Hz,试验样品的动态特性可能要求采用多点控制。

4.3 横向运动

如果有关规范有要求,则应在试验前通过施加有关规范规定的正弦或随机振动来检查横向运动,或在试验时利用两正交轴的附加监测通道来检查横向运动。

在两个相互垂直轴向的任一轴上测得检查点的各频率点的加速度谱密度在 500 Hz 以上时不应超出规定值,在 500 Hz 以下时不应超出规定值的 -3 dB。垂直于指定轴向的任一轴的总加速度均方根值不应超过指定轴向的均方根值的 50%。例如在小试验样品情况下,有关规范可以限制横向运动的加速度谱密度以保证其不超过基本运动的 -3 dB。

在某些频率上或者对于尺寸大或质心高的试验样品,达到这些值可能是困难的。同样,在此情况下,有关规范用大的动态范围规定严格等级时,要达到这些值也可能是困难的。在此情况下,有关规范应规定采用下列其中的一条:

- a) 超出上述给定值的任何横向运动都应记录在试验报告中;
- b) 已知不会对试验样品造成损伤的横向运动不需监测。

4.4 安装

试验样品应按 IEC 60068-2-47 的要求安装。所有情况下,在 IEC 60068-2-47 中选择曲线时需先平方后乘以加速度谱密度(ASD)或直接乘以正弦振幅。

4.5 测量系统

测量系统的特性应能使从基准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(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。该范围以外的任何进一步的偏差应记录于报告中。

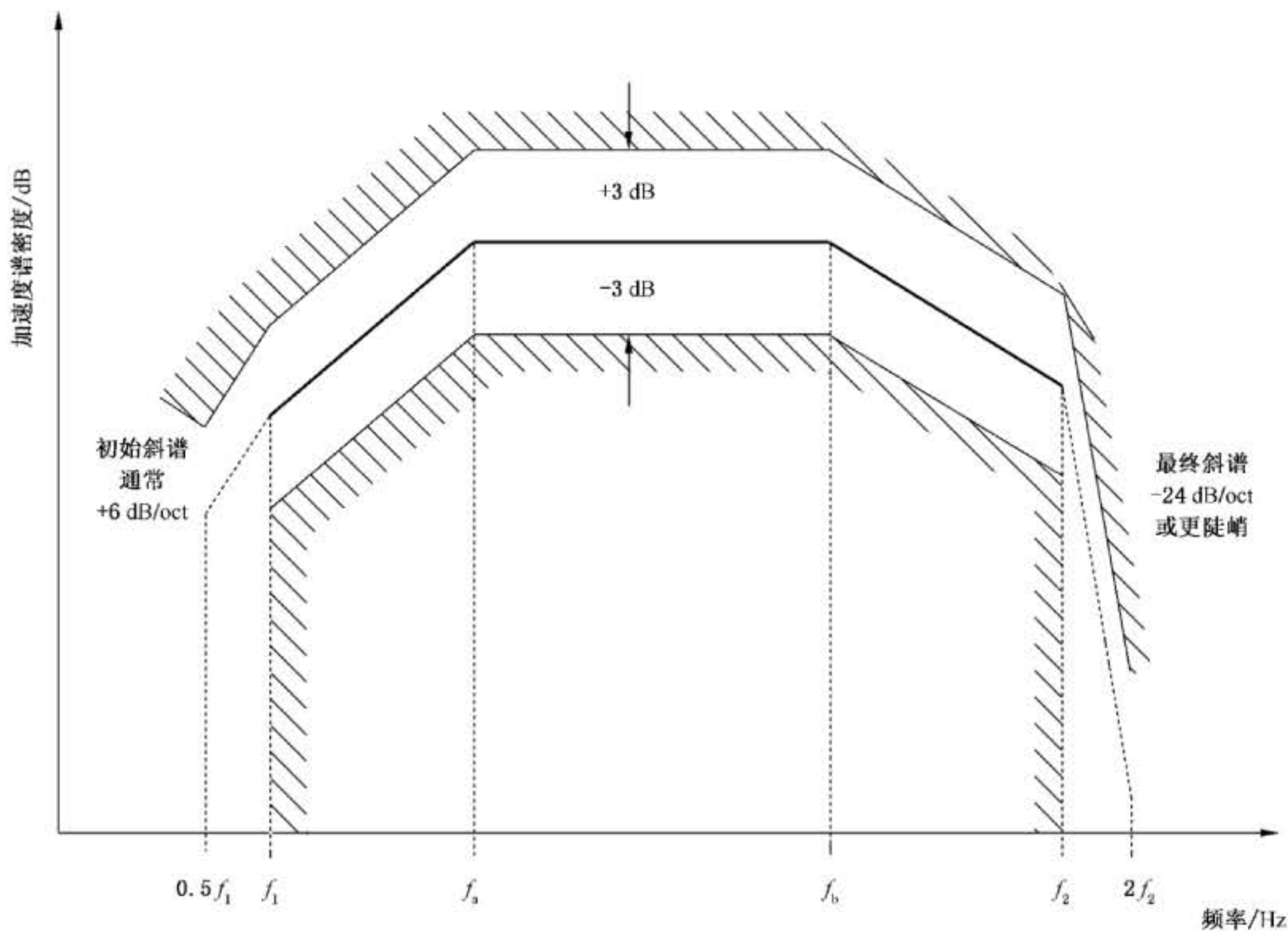


图 1 加速度谱密度的容差范围、初始斜率与最终斜率(参见 B.2.3)

4.6 振动容差

4.6.1 ASD 和 r.m.s 值

在规定方向上基准点的含仪器误差和随机误差的规定加速度谱密度示值在如图 1 所示 f_1 和 f_2 之间的±3 dB 容差范围内。

在 f_1 和 f_2 内,计算或测量得到的加速度均方根值不得偏离规定加速度谱密度的均方根值的 10% 以上。此值适用于基准点和虚拟基准点。

在某些频率上或对于尺寸大或质心高的试验样品,达到这些值可能是困难的。在这些情况下,有关规范应规定较宽的容差。

初始和最终斜率应分别不低于+6 dB/oct 和不高于-24 dB/oct(也可参见 B.2.3)。

4.6.2 分布

如图 2 所示,基准点的瞬时加速度值应近似呈正态(高斯)分布。若有明确要求,在系统常规标定时应进行检定(参见 B.2.2)。

驱动信号削波值至少应为 2.5(见 3.16)。检测基准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。

如果采用虚拟基准点控制,要求的峰值因子适用于所有形成加速度谱密度控制的检查点。

在开始、中间和结束试验时计算基准点的概率密度函数应各持续 2 min。有关规范应规定正态分布的容差(见图 2)。

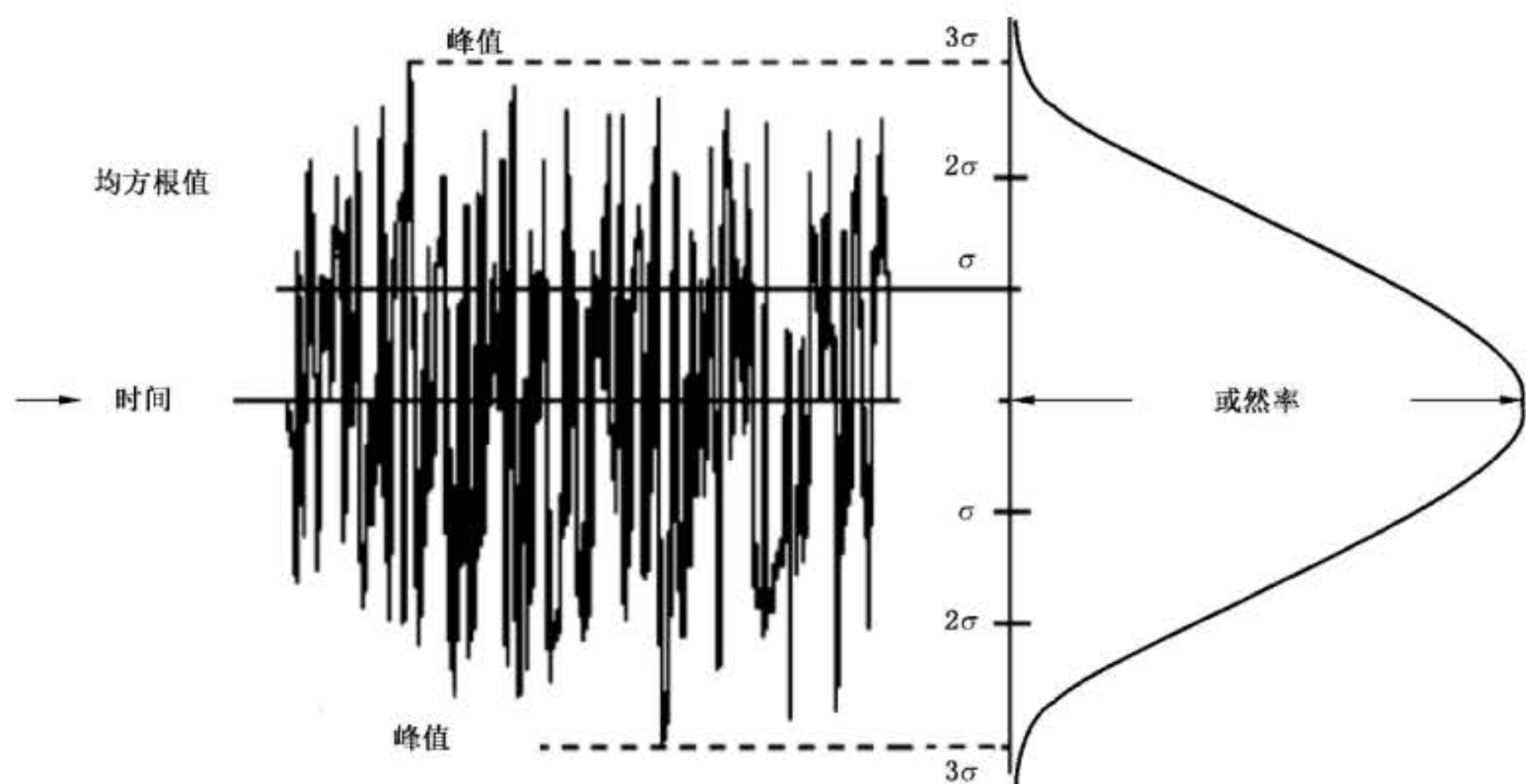


图2 随机激励时间历程；
高斯(正态)分布概率密度函数
(以峰值因子=3 为例,见 3.14 和 4.6.2)

4.6.3 统计精度

统计精度由统计自由度 N_d 和置信度值确定(见图 3)。统计自由度由下式给出：

$$N_d = 2B_c \times T_a \dots\dots\dots (1)$$

式中：

B_c ——频率分辨率；

T_a ——有效平均时间；

N_d ——除有关规范另有规定, N_d 不应低于 120 DOF 统计自由度。如果有关规范规定在试验中要满足置信水平,应使用图 3 来计算统计结果的准确性。

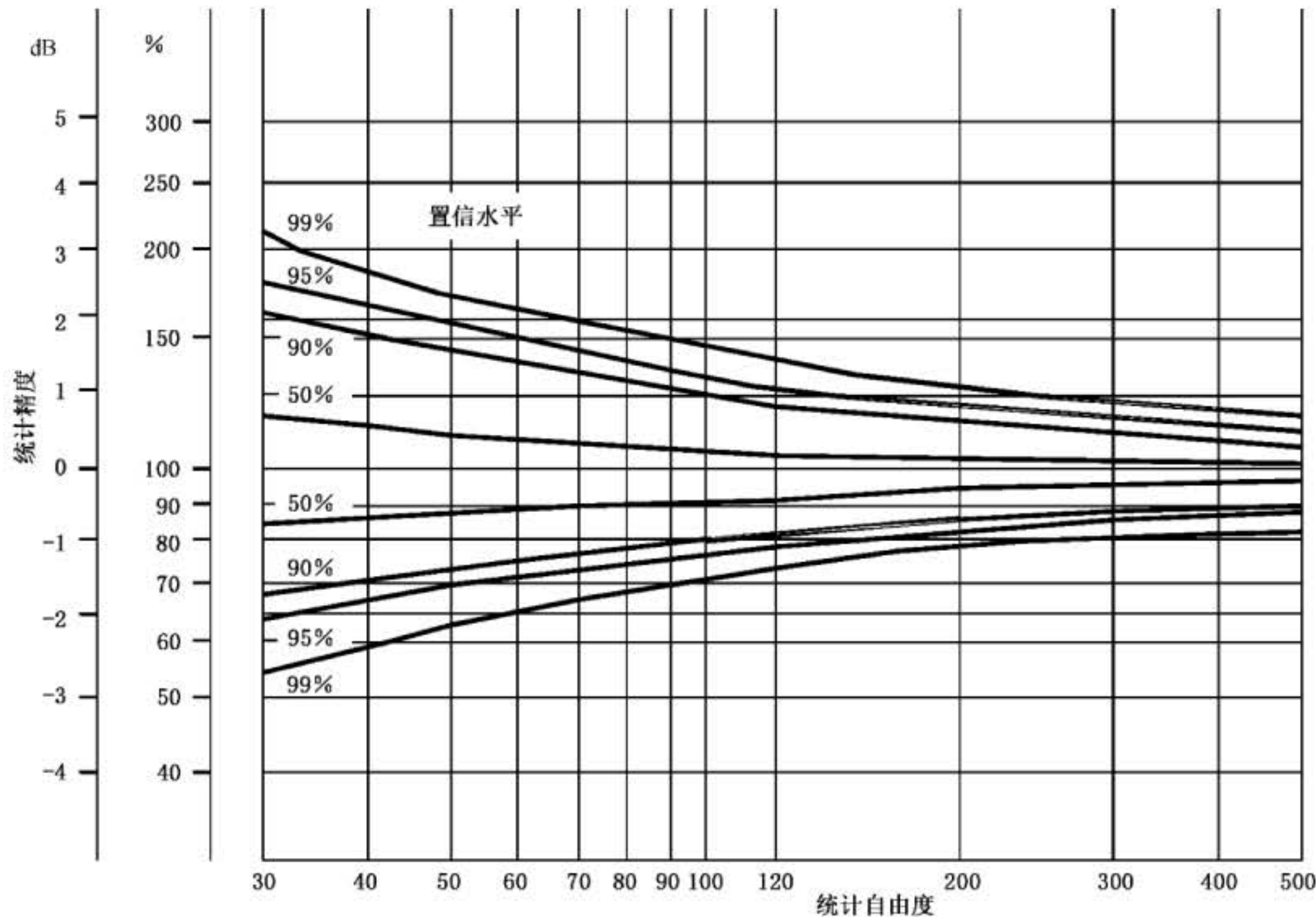


图3 在不同置信水平下加速度谱密度的统计精度与自由度的关系(见 4.6.3)

4.6.4 频率分辨率

使加速度谱密度真值与示值之间误差最小所必需的频率分辨率 B_c ，应按数字式振动控制仪的频率范围除以谱线数(n)来选取。

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

式中：

f_{high} ——从数字振动控制系统提供的选择项中选取的频率范围，并应等于或大于 $2f_2$ ，即 $f_{\text{high}} \geq 2f_2$ ，见图 1，单位为赫兹(Hz)；

n ——在 f_{high} 频率范围内等分的谱线数。

谱线数 n 应至少取 200。有关规范应规定频率分辨率[也可见第 11 章 j)]，并记录在试验报告中。

应适当选择 B_c 以使至少有一条频率线与图 1 中的 f_1 一致且第 1 条频率线在 $0.5f_1$ 处；同时以这两条频率线确定初始斜谱。如果这样给出的值不同，那么应选择最小的 B_c 。

注：需在精确的 B_c 和粗略的 B_c 之间有折衷，精确的 B_c 会导致较长的循环控制时间和较好的谱线定义，粗略的 B_c 则会导致较短的循环控制时间和较差的谱线定义。

4.7 控制

4.7.1 单点/多点控制

当规定或需要使用多点控制时，应规定其控制方法。

有关规范应规定是采用单点控制，还是采用多点控制。若规定采用多点控制，则有关规范应规定是检查点信号内的平均值，还是所选控制点信号中的极值，并将其控制在规定的量级。对于多点控制，有关规范应规定是否每个控制通道的未经处理的频谱也需记录在报告中。

注：如果不可能实现单点控制，那么需通过控制检查点信号的平均值或极值来实现多点控制。在多点控制的任何一种情况下，该点应是虚拟基准点。所使用的方法需记录在试验报告中。

以下方法(4.7.1.1~4.7.1.3)是适用的。

4.7.1.1 平均法

在这种方法中，控制值由各检查点的信号计算。每个频率点上的控制值是从检查点的该频率点下的信号值的算术平均。并在每个频率点上将此算术平均控制值与规定的信号值进行比较。

4.7.1.2 加权平均法

检查点的信号值 $a_1 \sim a_n$ 按照 $w_1 \sim w_n$ 加权后平均合成每个频率的控制值 a_c ：

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

这种控制策略为不同检查点的信号对每个频率上的控制值贡献不同提供了可能。

4.7.1.3 极值法

在这种控制方式中，合成的控制值取自由各检查点的每一条频率线测量的信号值的最大(MAX)或最小(MIN)极值计算。这个策略以各检查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)。

4.7.2 多参考控制

有关规范若有规定，可对不同的检查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:所有的控制信号均应处于其对应的参考谱的下方;
- 替代:所有的控制信号均应处于其对应的参考谱的上方。

4.8 振动响应检查

振动响应检查对于评估振动试验的效果是一种方便而灵敏的方法,见 IEC 60068-3-8。IEC 60068-3-8 规定了振动响应检查的目的、用途和方法。试验 Fc(IEC 60068-2-6)给出了正弦激励响应检查的要求,本部分给出了随机响应检查的要求。

在正弦激励的情况下,对非线性共振而言,应注意共振频率将会随着扫频的方向变化而变化。对于随机激励而言,非线性会影响共振特性。对于正弦和随机激励而言,输入的幅值会影响共振的放大倍数。

对于未定义振动响应检查类型的试验样品或带包装试验样品,测量如驱动力或速度等不同的信号是必要的。有关规范应规定在试验前后计算试验样品的机械阻尼的范围。

注: ISO 2041 中给出了机械阻尼和其他相似术语的定义。

5 严酷等级

试验严酷等级由下列参数组成:

- 试验频率范围;
- 加速度均方根值;
- 加速度谱密度的谱型;
- 试验持续时间。

有关规范应规定每一个参数值。它们从下列方法选取:

- a) 从 5.1~5.4 的给定值中选取;
- b) 按不同环境条件,从附录 A 的示例中选取;
- c) 如果给出明显不同的值时,则应从已知环境求得;
- d) 由已知相关的数据资料中获得(例如 IEC 60721-3)。

5.1 试验频率范围

如果选择了选项 a),则 f_1 和 f_2 可能从下列数值(Hz)中选取:

- a) f_1 : 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100;
- b) f_2 : 20; 50; 100; 200; 500; 1 000; 2 000; 5 000。

频率 f_1 和 f_2 以及它们与加速度谱密度的关系如附录 A 中谱的示例。

5.2 加速度均方根值

如果选择了选项 a),则 f_1 和 f_2 之间的加速度均方根值可能从下列数值(以 m/s^2 为单位)中选取:
1; 1.4; 2; 2.8; 3.5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 35; 50; 70; 100; 140; 200; 280。

注:若采用 g_n 表达, g_n 取 10 m/s^2 。

5.3 加速度谱密度的谱型

规定加速度谱密度谱型包含上升、下降、平直谱(参见谱 A.1~A.4)。对于一个标准试验,应根据试验项目的力学环境来选择其中一条谱。加速度谱密度值应根据均方根值、频率和谱型通过控制系统来计算。在特殊情况下,可能要规定每个单独形状的加速度谱密度谱型。此时,有关规范应按频率函数规

定加速度谱密度曲线形状。应尽可能从 5.1、5.2 和谱 A.1～A.4 给定值中选取不同的谱密度值和相应的频率范围(拐点)。

5.4 试验持续时间

试验持续时间应由有关规范给出,或可能从下列数值中选取,容差为+5%:

1;2;5;10;20;30;60(以分钟为单位);

2;5;8;12;24(以小时为单位)。

6 预处理

有关规范若要求进行预处理,则应规定相应的条件。

7 初始检测和功能检测

应按有关规范的要求对试验样品的外观、尺寸和功能及其他进行检查。

8 试验

8.1 一般要求

试验根据有关规范规定的顺序进行。其步骤如下:

——如果有要求,进行初始振动响应检查;

——在满量级试验前,以低量级激励连续均衡;

——随机振动试验;

——如果有要求,进行最终振动响应检查。

除非有关规范另有规定,试验样品应依次在每一个选定试验轴上经受激励。除非有关规范另有规定,沿着这些轴的试验顺序是不重要的。若试验样品对重力敏感,如水银倾斜开关,该试验只能以正常工作姿态进行,则应在有关规范中加以规定。

基准点各频率的控制加速度谱密度,如单点控制,则从一个检查点获得;如多点控制,则从多个检查点获得。

对后者,有关规范应规定,根据下面的控制方法,哪些检查点用于控制(见 4.7):

——各检查点加速度谱密度的平均值(平均法);

——检查点加速度谱密度的加权平均值(加权平均法);

——所有检查点各频率的极大极值或极小极值(极值法)。

在上述多点控制的任何一种情况下,控制谱成为一个没有实际检查点的虚拟谱。

当带有减振器的试验样品需要进行不带减振器的试验时,应作特殊处理(参见 IEC 60068-2-47)。

8.2 初始振动响应检查

不要求振动响应检查,除非有关规范另有规定。但是,有关规范也可规定,在随机振动试验前或前后,进行各轴的振动响应检查。

有关规范中规定,应在所定义的频率范围内,分析试验样品至少一点的动态响应。有关规范应明确定义响应点的数目和位置。振动响应检查应在试验频率范围内并按有关规范规定的量级进行正弦或随机振动。IEC 60068-2-6 给出了正弦振动的参考条件,本部分给出了随机振动的参考依据。关于各方法的更多信息和优缺点,参见 IEC 60068-3-8。

振动响应检查应伴随着所选的检测量级进行,以使试验样品的响应维持在低于随机试验但对于临界频率检测是足够高的量级。

当用正弦激励时,有关规范应规定至少进行一次覆盖试验频率范围的扫频循环,且扫频时,加速度幅值 $\leq 10 \text{ m/s}^2$ 或者位移幅值为 $\pm 1 \text{ mm}$,取较小值。振幅应能转换为随机试验的加速度均方根值,以防止试验样品的应力比随机振动试验中的大。应采用 1 oct/min 的扫频速率以适用确定响应的频率与振幅。如果担心引起结构充分的谐振,则可能要用更快的扫频速率来作为利率频段内共振的频率和相对幅值的指标。要求研究较慢扫频速率或在一已知共振附近的来回扫频多次,但应限制最小时间,以确保获得所要求的结果。应避免驻留时间过长,此时振幅可根据需要进行调整。

用随机方法进行振动响应检查时,应考虑足够长的时间,以使响应的随机变化达到最小。进行随机振动响应试验应使用 $f_1 \sim f_2$ 的频谱。在最低的共振频率上 -3 dB 频带内至少有 5 条谱线。

当采用随机激励时,加速度均方根值不应超过随机振动试验中规定值的 25%。持续时间应尽可能短,但至少应足够长以保证自由度至少达到 $\text{DOF}=120$ (见图 3)。如果定期观察和记录满量程试验中的共振响应,则不需要进行特殊共振检查。

有关规范若有要求,试验样品应在该检查中处于运行模式。因为试验样品运行而无法评定机械振动性能,应进行试验样品没有运行时的附加振动响应检查。在这个阶段,应检查试验样品以确定危险频率,然后记录在试验报告中。

8.3 试验前低量值激励均衡

在以规定值进行随机振动试验之前,为了均衡和进行初步分析,可能有必要对实际试验样品进行低量值的随机试验。重要的是在这个阶段施加的加速度谱密度保持最小。

随机激励允许的持续时间如下:

- 均方根值低于 -12 dB : 无时间限制;
- 均方根值在 $-12 \text{ dB} \sim -6 \text{ dB}$ 之间: 不超过规定试验时间的 1.5 倍;
- 均方根值在 $-6 \text{ dB} \sim 0 \text{ dB}$ 之间: 不超过规定试验时间的 10%。

随机振动试验的规定时间不包含均衡的持续时间。

8.4 随机试验

8.4.1 概述

有关规范应选择合适的试验频率范围($f_1 \sim f_2$)、总加速度均方根值、加速度谱密度谱型和试验时间。若有关规范有要求,为了核实随机输入波的平稳性,在检查点上应按适当的时间间隔进行加速度谱密度和加速度均方根值的多次测量,这应记录在试验报告中。

8.4.2 中间检测和功能检测

如有关规范有规定,在试验过程中试验样品应在规定的时间间隔内进行中间检测,并检测其性能(参见 B.6)。

8.5 最终振动响应检查

在进行初始振动响应检查的情况下,有关规范也会要求在随机振动试验完成后进行另外的振动响应检查,以确定自初始振动响应检查后试验样品是否发生了变化或失效。应用与初始振动响应检查相同的方式、相同的响应点和相同的参数进行最终振动响应检查。IEC 60068-3-8 给出了如果利用振动响应变化的使用指南,如危险频率的变化。如果在两次分析中得到的结果不同,有关规范应说明如何处理。

9 恢复

有时在试验后和最终检测前需要一段恢复时间让试验样品达到与初始检测时相同的条件,例如温度。有关规范应规定需要恢复的条件。

10 最终检测和功能检测

应按有关规范规定对试验样品进行外观、尺寸和功能检测等其他。

有关规范应给出试验样品可接受或拒收的判据。

对振动响应结果的评价,参见 IEC 60068-3-8。

11 有关规范应给出的信息

当有关规范中采用本试验时,只要适用,应尽可能给出下列细节,要特别注意带星号(*)的条款,因为这些条目总是必需的。

- a) 控制点*(3.4);
- b) 测量点*(3.6);
- c) 基本运动*(4.2);
- d) 固定点*(4.2);
- e) 横向运动(4.3);
- f) 试验样品安装*(4.4);
- g) 为测试大尺寸或高质心试验样品而用的振动容差(4.6);
- h) 峰值因子*/分布/驱动信号削波(4.6.2);
- i) 统计精度(DOF 数值)(4.6.3);
- j) 频率分辨率*(4.6.4);
- k) 控制方法(4.7);
- l) 试验频率范围*(5.1);
- m) 加速度均方根值*(5.2);
- n) 加速度谱密度的谱型*(5.3);
- o) 试验持续时间*(5.4);
- p) 预处理(6);
- q) 初始检测*(7);
- r) 试验轴向和试验顺序*(8.1);
- s) 临界频率(8.2);
- t) 初始和最终振动响应检查(8.2 和 8.5);
- u) 中间检测(8.4.2);
- v) 恢复(第 9 章);
- w) 最终检测和接受或拒收的判据*(第 10 章);
- x) 测试系统的不确定性(B.1);
- y) 性能和功能检测(第 10 章)。

12 试验报告应给出的信息

试验报告至少应包括以下信息：

- a) 用户：名称和地址；
- b) 试验室：名称和地址；
- c) 试验报告标识：发行日期、特有编码；
- d) 试验日期；
- e) 试验目的：研发试验、验证试验等；
- f) 试验标准，版本：有关的试验程序；
- g) 试验样品说明：初始状态、唯一编号、质量、照片、图纸等；
- h) 试验样品安装：安装用具编码、图纸、照片等；
- i) 试验设备性能：横向运动等；
- j) 测量系统，传感器位置：描述、图纸、照片等；
- k) 有关规范若要求，测试系统的不确定性：总不确定度、校准数据、最后/下一校准期限；
- l) 控制方法：单点/多点控制，多点参考控制；
- m) 初始/中间/最终检测；
- n) 要求严酷度：试验规范规定；
- o) 有关规范若要求，要求严酷度文件：测量点、试验谱、试验时间、频率分辨率、DOF 值、分布等；
- p) 试验结果：试验样品状态的评价；
- q) 试验观察和措施；
- r) 试验摘要；
- s) 试验人员：姓名和签字；
- t) 发送：报告分送清单。

注 1：试验需做记录，内容需包括如带试验参数的试验记录的时间列表，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：也可参见 ISO/IEC 17025。

附录 A
(资料性附录)
标准试验谱

可从不同的标准,如 MIL-STD -810F、EN 61373、RTCA-DO-160D,及汽车公司和电子公司的内部规范,得到一些环境条件的标准谱。试验参数连同以下标准环境条件,作为试验范例。详情参见表中引用的规范。

谱 A.1 运输

试验谱——运输参见图 A.1、表 A.1 和表 A.2。

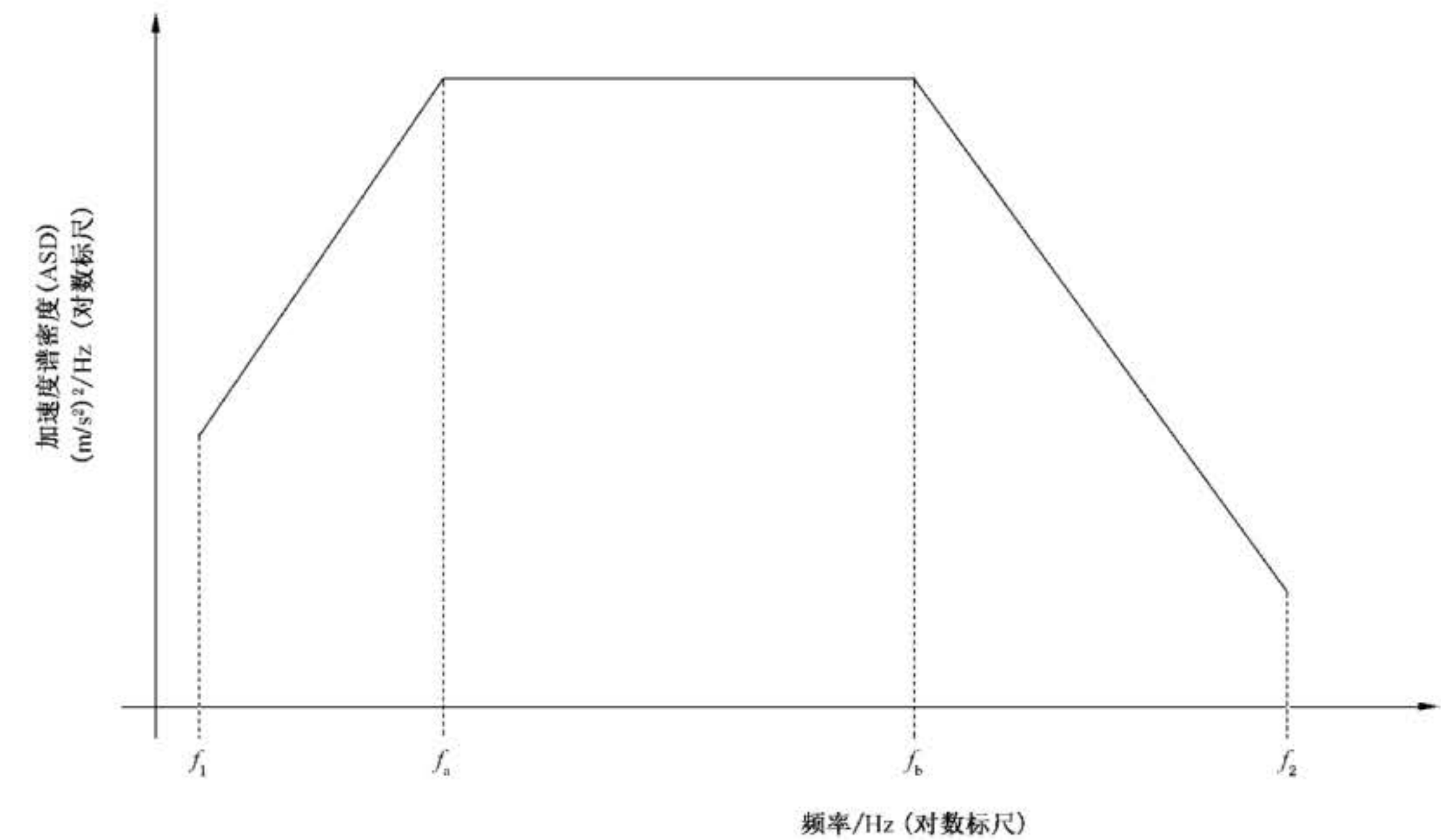


图 A.1 频率/振幅拐点——运输

表 A.1 试验谱拐点——运输

序号	类型			
	描述	每个轴向的建议持续时间	轴线	规范/引用文件
		h	轴号	
1	全美高速公路的汽车运输;约束货物			
1 a	垂直	1	1	MIL-STD-810F 源于 MIL-STD -810F
1 b	水平	1	2	
2	运输,水陆,恶劣环境 硬牵引挂车	0.5	3	
3	通讯设备;便携非固定使用; 粗率的装卸和搬运	0.5	3	ETSI 300 019-2-7
4	便携设备;运行	0.5	3	

表 A.2 试验谱拐点——运输

序号	类型							
	f_1	ASD f_1	f_a	f_b	ASD f_a, f_b	f_2	ASD f_2	$a_{r.m.s.}$ 值
	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz
1 a	(10) ^a	1.44	5	40	1.44	500	0.014 4	(10.2)
1 b	5	0.65	5	20	0.65	500	0.015	6.5
2	10	1.0	10	200	1.0	500	0.3	18.7
3	10	2.0	10	12	2.0	150	0.16	8.0
4	10	0.037	30	200	0.33	500	0.053	9.9
^a 括号内的值, 详见规范。								

谱 A.2 固定安装

试验谱——固定安装详情参见图 A.2、表 A.3 和表 A.4。

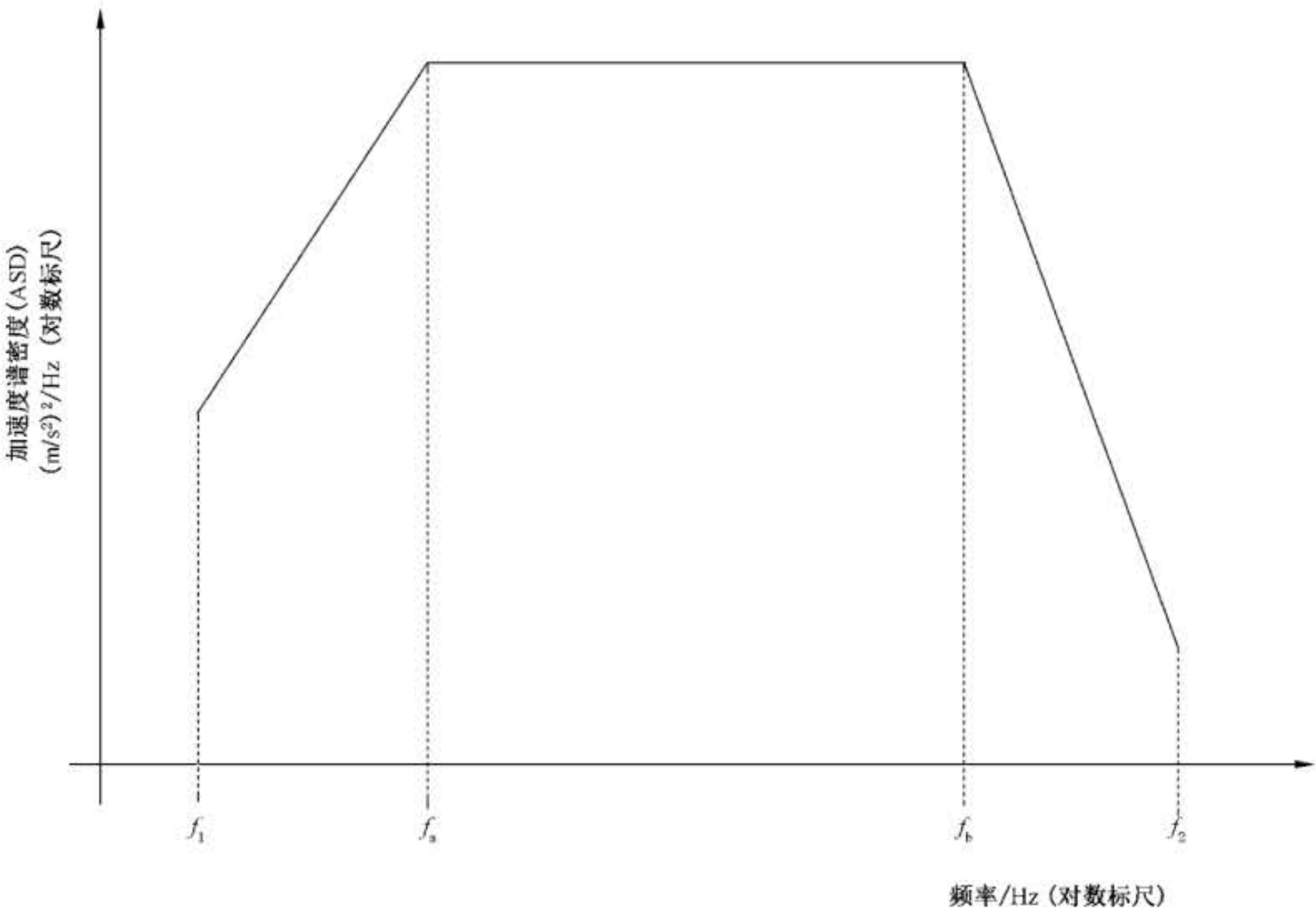


图 A.2 固定安装谱线——频率/振幅断点

表 A.3 试验谱类型——固定安装

序号	类型			
	说明	每个轴向的建议持续时间	轴线	规范/引用文件
		h	轴号	
1	通讯设备；在气候保护位置固定使用；部分温控位置；在工作状态。 注：固定使用，如：中央计算机，个人计算机，打印机，工作状态。高灵敏元件仪器；工作状态。建筑物无明显振动。	0.5	3	ETSI EN 300 019-2-3, T 3.2
2	通讯设备；有气候防护条件固定使用；有防护的位置；工作状态。 注：有明显的不是由外部引起的振动的建筑物。	0.5	3	ETSI EN 300 019-2-3, T 3.5
3	由外部引起明显振动的建筑；非工作状态	1	3	

表 A.4 试验谱拐点——固定安装

序号	类型							
	f_1	ASD f_1	f_a	f_b	ASD f_a, f_b	f_2	ASD f_2	$a_{r,m,s}$ 值
	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz
1	5	0.001 3	10	50	0.02	100	0.001 3	1.1
2	5	0.002 5	10	50	0.04	100	0.002 5	1.5
3	10	0.022	30	200	0.20	500	0.005 2	7.0

谱 A.3 安装在轮式车的设备

试验谱——安装在轮式车的设备详情参见图 A.3、表 A.5 和表 A.6。

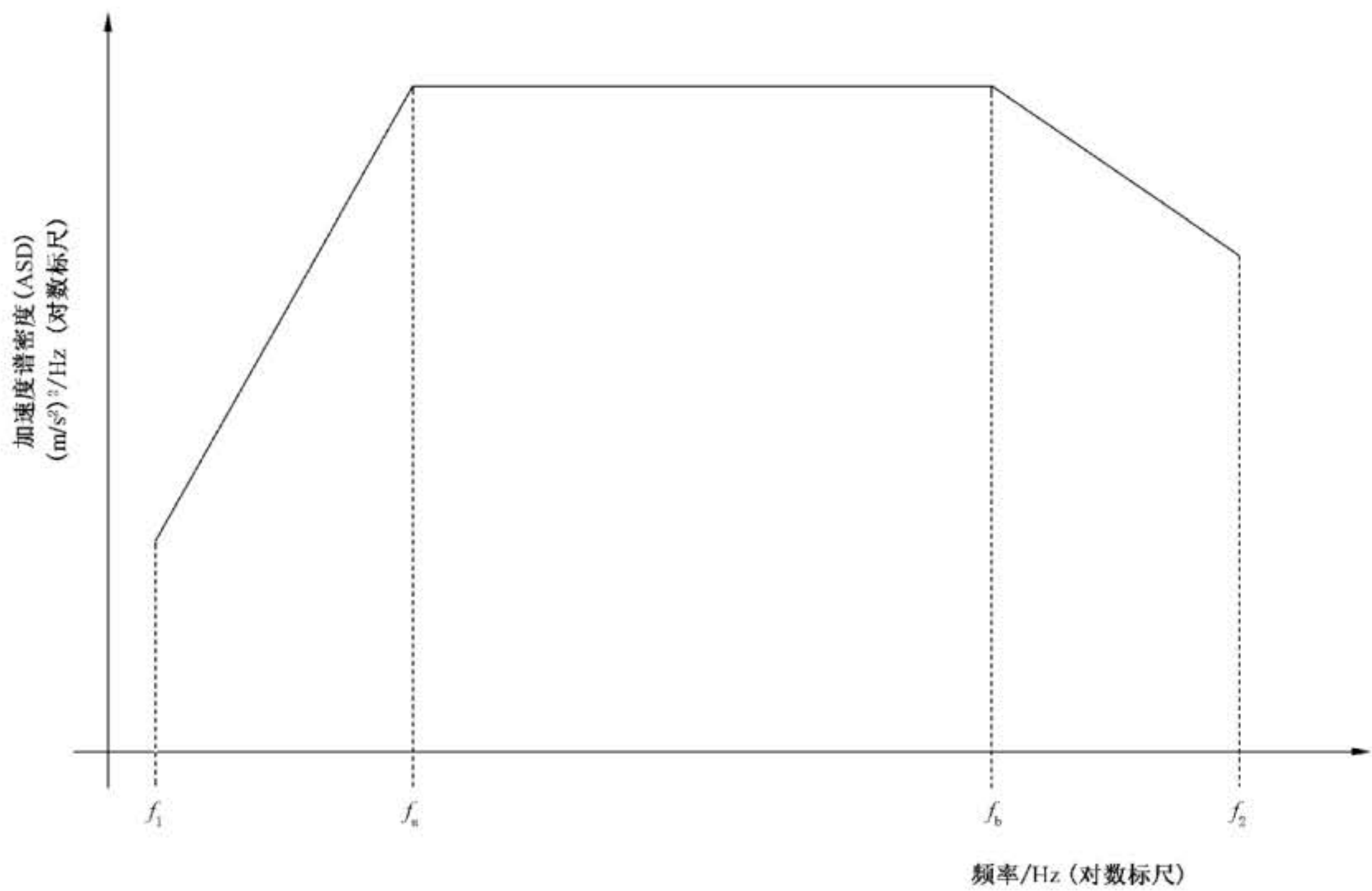


图 A.3 轮式车设备——频率/振幅断点

表 A.5 试验谱类型——安装在轮式车的设备

序号	类型			
	描述	每个轴向的建议 持续时间	轴线	规范/引用文件
		h	轴号	
1	机动车;装上车底盘	8	3	
2 a	机动车;安装区域:发动机舱(开间);连接引擎(架)或在散热器上 竖向	8	1	
2 b	水平纵向	8	1	
2 c	水平横向	8	1	
3 a	轨道车辆;安装在车身;试验样品质量<500 kg 竖向	5	1	IEC 61373;Cat.1 B
3 b	水平纵向	5	1	
3 c	水平横向	5	1	
4 a	轨道车辆;安装在转向架;试验样品质量<100 kg 竖向	5	1	IEC 61373;Cat.2
4 b	水平纵向	5	1	
4 c	水平横向	5	1	
5 a	轨道车辆;安装在车轴;试验样品质量<50 kg 竖向	5	1	IEC 61373;Cat.3
5 b	水平纵向	5	1	
5 c	水平横向	5	1	

表 A.6 试验谱拐点——安装在轮式车的设备

序号	类型							
	f_1	ASD f_1	f_a	f_b	ASD $f_a \cdot f_b$	f_2	ASD f_2	$a_{r,m,s}$ 值
	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz
1	10	10	10	50	10	1 000	0.1	33.8
2 a	5	0.4	11	15	4.0	200	0.1	11.0
2 b	5	0.15	12	18	0.9	200	0.07	6.7
2 c	5	0.15	10	15	1.9	200	0.15	10.0
3 a	5	1.86	5	20	1.86	150	0.034	7.8
3 b	5	0.9	5	20	0.9	150	0.016	5.4
3 c	5	0.37	5	20	0.37	150	0.006 7	3.5
4 a	5	1.49	10	100	11.8	250	1.9	42.4
4 b	5	0.33	10	100	2.62	250	0.42	20.0
4 c	5	1.13	10	100	8.96	250	1.44	37.0
5 a	10	68.6	20	100	545	500	22	300
5 b	10	13.9	20	100	110	500	4.45	135
5 c	10	55.5	20	100	441	500	17.84	270

谱 A.4 安装在飞机和直升飞机的设备

试验谱——安装在飞机和直升飞机的设备详情参见图 A.4、表 A.7 和表 A.8。

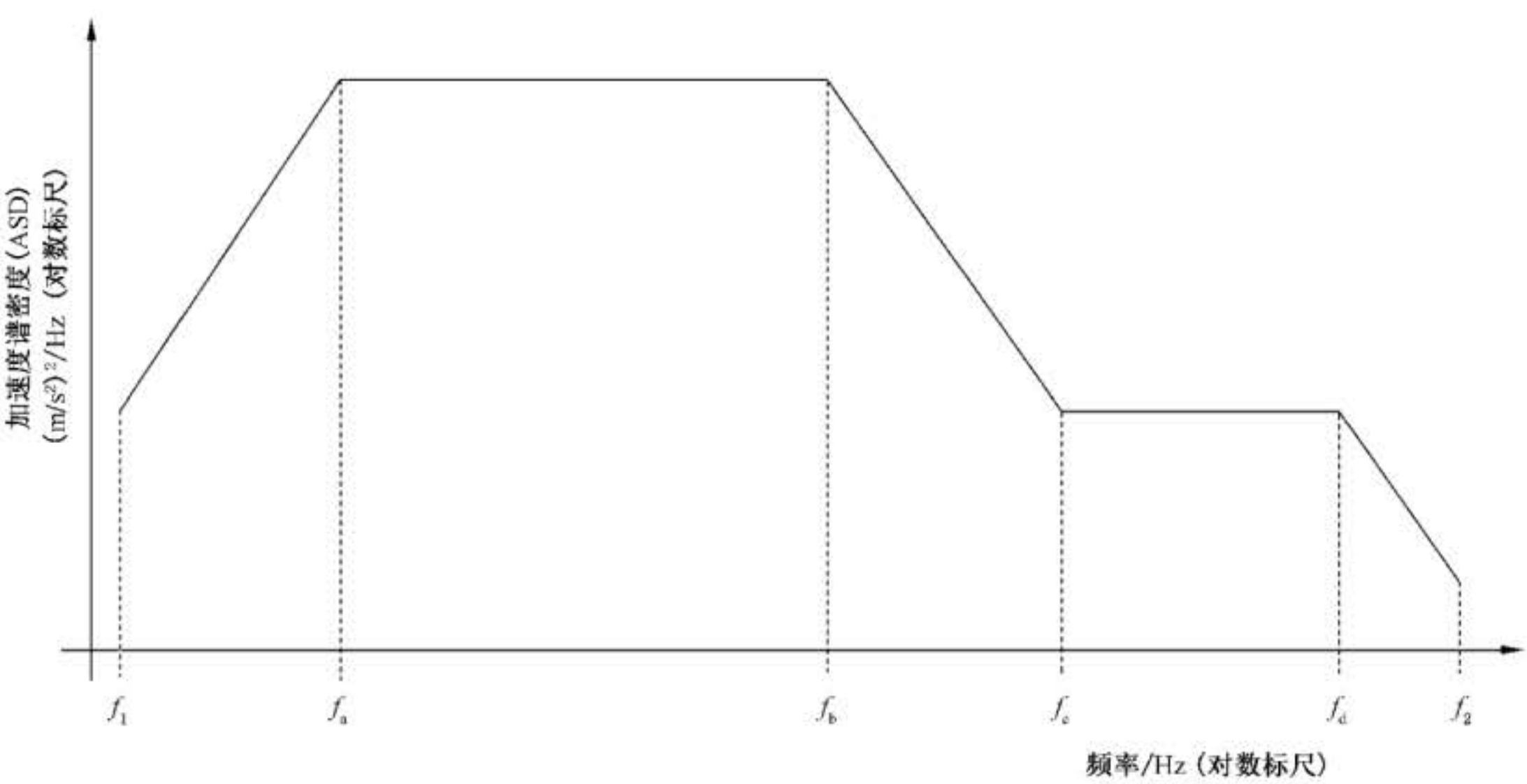


图 A.4 安装在飞机和直升飞机的设备

表 A.7 试验谱类型——安装在飞机和直升机的设备

序号	类型			
	描述	每个轴向的建议持续时间	轴线	规范/引用文件
		h	轴号	
1 a	固定的机翼发动机或涡扇发动机(亚音速和超音速)。 机身 注: 机身,除结构部分;直接与引擎相关,标准。	1	3	RTCA DO-160D
1 b	机身 注: 机身,除结构部分;直接与引擎相关,增强。	1	3	
1 c	仪表盘,操纵台和设备架	1	3	
1 d	机翼和轮舱,尾翼 注: 发动机吊舱,挂架,机翼,尾翼,起落架。	1	3	
2	螺旋桨飞机	1	3	
3 a	直升飞机 驱动元件外的部分	1	3	
3 b	驱动元件	1	3	

表 A.8 频谱拐点——安装在飞机和直升飞机的设备

序号	类型										
	f_1	ASD f_1	f_a	f_b	ASD f_a, f_b	f_c	f_d	ASD f_c, f_d	f_2	ASD f_2	$a_{r.m.s.}$ 值
	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz
1 a	10	1.2	10	40	1.2	52	500	2.0	2 000	0.13	41.4
1 b	10	2.4	10	40	2.4	52	500	4.0	2 000	0.25	58.3
1 c	10	1.2	10	40	1.2	100	500	0.2	2 000	0.012 6	14.9
1 d	10	4.0	10	100	4.0	200	500	8.0	2 000	0.5	79.7
2	10	2.4	10	40	2.4	52	500	4.0	2 000	0.25	58.3
3 a	5	0.2	70	300	2.0	500	500	2.0	500	0.2	26.0
3 b	10	0.012	150	2 000	2.58	2 000	2 000	2.58	2 000	2.58	70.0

附录 B

(资料性附录)

导 则

B.1 一般介绍

要做到试验的再现性并不容易。因为随机信号的统计特性、试验样品的复杂响应和分析过程带来的误差,不可能确切地预测试验样品上随机输入的加速度谱密度与试验样品上规定的加速度谱密度在预定的容差范围内是否一致。因为现场估计是不可能的,在试验后进行复杂、费时的分析是必要的。

用来做随机振动试验的大多数数字振动控制设备的性能是相似的。应用振动设备中的一些可选参数,可以通过初步的计算来估计加速度谱密度示值和真值之间的差别而引起的不确定性。不考虑引用自 ENV 13005 的 ISO/IEC 17025(GB/T 27025)中定义的其他因素不确定性去描述测量中不确定性。因此可以通过选择这些相关参数,以达到两种加速度谱密度之间的最相近。

规定加速度谱密度的均衡需要多次循环,其持续时间取决于多种因素:诸如硬件配置、整个系统的传递函数、规定加速度谱密度的形状、控制算法和试验前可以调整的试验参数。这些相关试验参数包括最高分析频率、频率分辨率和驱动信号削波的峰值因子。

随机振动的控制算法包括控制精度和控制循环时间的折衷,控制循环时间受诸如每个循环记录次数的影响。高控制精度,要求有更多输入的数据,因此要有更长循环时间和更慢的加速度谱密度的动态变化响应。而且频率分辨率受误差和循环时间影响较大。一般来说,一个窄的分辨率带宽会产生高的控制精度;但需要更长控制循环时间。为了使试验样品加速度谱密度的真值和示值之间的偏差最小,上述试验参数需要进行优化。

振动响应检查给出了试验样品与振动发生器相互作用的基本信息。例如这种检查能显示试验夹具过大的放大倍数或夹具与试验样品间同时产生共振。因此建议安装试验样品前,要对夹具进行动态响应检查或模态分析并进行必要的修正,以避免试验样品的加载不切实际。

B.2 试验要求

B.2.1 单点和多点控制

要求用基准点处测得的随机信号计算出的加速度谱密度来验证。

对于刚性或小尺寸的试验样品,比如元部件试验,即已知试验样品的动力影响小和试验装置具有足够的刚性,只需一个检查点,它也是基准点。

对于大的或复杂的试验样品,比如固定点适当分布的设备,需要从多个检查点中选择一个或若干个作为基准点。对于虚拟点,用检查点测得的随机信号来计算加速度谱密度。对大型或复杂试验样品推荐采用虚拟点。

B.2.1.1 单点控制

在一个基准点进行测量,并且直接将显示的加速度谱密度与规定的加速度谱密度进行比较。

B.2.1.2 多点控制

当规定和有必要进行多点控制时,选择两个频域控制方法是可行的。

B.2.1.2.1 平均法

在这种方法中,用每个检查点信号来计算加速度谱密度。合成的加速度谱密度由各检查点加速度谱密度的算术平均值算出。

然后,将这种算术平均加速度谱密度和规定加速度谱密度进行比较。

B.2.1.2.2 极值法

在这种方法中,合成的加速度谱密度由每个检查点测得的加速度谱密度的每一条谱线的极大值或极小值包络算得。这种方法也可称为“极大值”或“极小值”法,因其产生的加速度谱密度可以代表每一个检查点加速度谱密度的包络线。

B.2.2 分布

B.2.2.1 瞬时值分布

在试验中使用的随机驱动信号瞬时值的分布一般认为正态或高斯分布,它由以下公式定义:

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

式中:

$p(\chi)$ ——概率密度;

σ ——驱动信号方均根值,等于标准差;

χ ——驱动信号瞬时值。

假定驱动信号时间历程的平均值是零。

标准随机概率密度函数如图 2 所示。

B.2.2.2 峰值因子

峰值因子通过瞬时值到均方根值的极大值比率,表征激励(控制)信号的分布(也可见图 2)。

峰值因子只能用于数字振动控制系统的输出驱动信号,由于系统的非线性,即功率放大器、振动发生器、试验夹具和试验样品可能改变检查点的随机波形。这些非线性有很宽的频带,一般难以控制。

本部分中要求的峰值因子不小于 2.5(见 4.6.2)。对于正态分布随机振幅,这意味着,如果采用 2.5 的峰值因子,则大约 99% 瞬时驱动信号直接施加于功率放大器。

B.2.3 初始和最终斜谱

本部分要求在 f_1 和 f_2 频率范围内的加速度谱密度为平直谱(参见谱 A.1~A.4)。然而,实际试验必定有初始和最终斜坡。为了使加速度的方均根值尽可能接近规定值,斜线应尽可能的陡。

通常初始斜率不应小于 6 dB/oct。当在 f_1 处加速度谱密度值太高和有必要减小位移幅值以满足振动设备性能限制时,初始斜率可以加大。

一般,数字振动控制设备在相邻谱线之间有一个大约 8 dB 的加速度谱密度的动态范围。为获得更陡的斜率,有必要采用比最初规定的更窄的频率分辨率 B_o 。如果不能实现,或者达到最大斜率仍不能得到规定的位移,有必要在低频范围中修改加速度谱密度负容差。

上述这些方法不适用于在 f_2 之上。该斜率应该等于或陡于 -24 dB/oct。

B.3 试验步骤

当试验只是简单地说明试验样品在适当激励环境下的工作能力时,那么试验只需持续一段时间,充

分证明在规定的频率范围内满足该条件。在需要证明某一试验样品承受振动载荷累积效应的能力时,例如疲劳和机械变形,试验应有足够时间去积累必要的应力循环,尽管该持续时间会超出 5.4 规定的数值。

对通常安装在减振器上的设备耐久性试验,这个减振器通常要固定。如果不能用合适的减振器进行试验,例如,该设备与其他设备一齐安装在一个公用的固定装置上,可以在规定的不同试验等级下进行不带减振器的设备试验。应根据试验每个轴向减振系统的传递率来确定试验等级。如果减振器的特性未知,需参考 B.4.1。

有关规范可能要求在附加减振器取消或失效时对试验样品进行额外试验,以确定设备能达到合适的最小结构耐力。在这种情况下,有关规范应该规定选用的严酷等级。

B.4 通常使用减振器的设备

B.4.1 减振器的传递系数

当试验连接的减振器不能用于测试时,IEC 60068-2-47 提供了完整的解决方法描述。

B.4.2 温度影响

许多减振器的材料可能会对温度敏感。如果带减振器试验样品的一阶共振频率在试验频率范围内,应特别注意任一种激励的持续时间长度。但是在某些情况下,持续施加激励而不允许恢复是不合理的。如果这种实际的基本共振频率的激励时间分布是已知的,应尽量模拟它。如果实际的时间分布是未知的,应由工程判断来限定激励时间,以避免出现过热。

B.5 试验严酷度

选择的频率范围和给定的加速度谱密度量级应包含广泛的应用范围。当在应用中仅用了一项,如果实际环境已知,以真实环境的振动特性为基础的严酷度等级是优先的。

只要可能,用于试验样品的试验严酷等级应根据试验样品在运输或运行时所承受的环境条件确定或者如果试验的目的是为了评价机械健壮性可根据设计要求确定。

在确定试验严酷等级时,应该考虑在试验等级和真实环境间提供一个充分的安全区域。

B.6 设备性能

有时试验样品在试验全过程或试验的适当阶段处于工作状态。

对于振动会影响开关功能的试验样品,比如干扰继电器的工作,用重复操作的功能来验证在试验中是否能够很好地运行。

如果试验仅仅为了验证完整性,试验样品的功能可在试验完成后进行评价。

B.7 初始和最终检测

初始和最终检测的目的是比较特定参数以评估振动对试验样品的影响。

除外观要求外,检测还包括电器、机械操作性能和结构的特性。

参 考 文 献

- [1] IEC 61373:1999 Railway applications—Rolling stock equipment—Shock and vibration tests
 - [2] ISO/IEC 17025:2005 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
 - [3] ENV 13005:1999 Guide to the expression of uncertainty in measurement
 - [4] ETSI EN 300 019-2-3 Environmental Engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment—Part 2-3: Specification of environmental tests; Stationary use at weather—protected locations
 - [5] ETSI EN 300 019-2-7 Environmental Engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment—Part 2-7: Specification of environmental tests; Portable and non—stationary use
 - [6] MIL-STD-810F:2000 Test method standard for environmental engineering considerations and laboratory tests
 - [7] RTCA-DO-160D:1997 Environmental conditions and test procedures for airborne equipment
-

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 Fh:宽带随机振动和导则

GB/T 2423.56—2018/IEC 60068-2-64:2008

*

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1月第一版

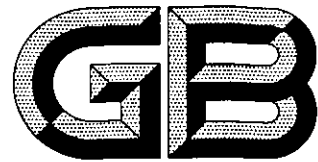
*

书号:155066·1-62201

版权专有 侵权必究



GB/T 2423.56-2018



中华人民共和国国家标准

GB/T 2423.56—2006/IEC 60068-2-64:1993

电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fh:宽带随机振动(数字控制)和导则

Environmental testing for electric and electronic products—
Part 2: Test methods—
Test Fh: Vibration, broad-band random(digital control)and guidance

(IEC 60068-2-64:1993, IDT)

2006-11-08 发布

2007-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 定义 1

4 试验要求 5

5 严酷等级 7

6 预处理 7

7 初始检测 7

8 试验 8

9 恢复 9

10 最终检测 9

11 有关规范应给出的信息 9

附录 A(规范性附录) 振动响应检查 15

附录 B(资料性附录) 导则 17

附录 C(资料性附录) 百分数和 dB 间的转换 24

图 1 瞬时加速度值分布的容差带 10

图 2 加速度谱密度的容差限 10

图 3 高斯(正态)概率密度函数 11

图 4 信号削波示意图 11

图 5 削波后的非高斯概率密度函数 11

图 6 在不同置信度水平下加速度谱密度的统计精度与自由度的关系 12

图 7 加速度谱密度与频率的关系 12

图 8 宽带随机振动试验的流程图 13

图 9 正则化的减震器的传递率因子 14

前 言

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

本部分为 GB/T 2423 系列标准的第 56 部分。

本部分等同采用 IEC 60068-2-64:1993《环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fh:宽带随机振动(数控)和导则》(英文版),但按 GB/T 20000.2—2001《标准化工作指南 第2部分:采用国际标准的规则》的 4.2b)和 5.2 的规定作了下列编辑性修改:

- 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。

本部分的附录 A 为规范性附录,附录 B、附录 C 为资料性附录。

本部分由中国电工协会提出。

本部分由全国电工电子产品环境标准化技术委员会(SAC/TC 8)归口。

本部分由广州大学、信息产业部电子第五研究所、上海市电子仪表标准计量测试所、北京航空航天大学、航空一集团第 301 研究所、北京市海淀区中元微型仪器公司、苏州试验仪器总厂负责起草。

本部分主要起草人:徐忠根、纪春阳、卢兆明、王德言、徐明、徐立义、张越、任珉、杨泽群、杜学英。

引 言

宽带随机振动试验标准一般适用于可能经受随机振动的电工电子产品,本部分规定的试验方法是以随机振动的数字控制为基础。有关规范如有要求,本部分允许对试验方法予以适当调整,以适用其他种类产品的试验样品。本部分替代已有的模拟方式宽带随机振动试验方法(试验 Fd,GB/T 2423.11—1982~GB/T 2423.14—1982)。

应当指出,随机振动试验是一个复杂的过程,它要求对试验的基本原理和技术有相当程度的理解,在试验中还需要具备相当多的工程判断经验。

与大多数其他试验相比,试验 Fh 不是以确定性技术而是以统计技术为基础。因而宽带随机振动试验是以概率和统计平均的形式来描述的。

附录 A(规范性附录)给出了振动响应检查的要求。

本部分的 11 章详细地列出了有关规范的编写者在采用本试验时应给出的信息。

附录 B(资料性附录)给出了本试验的导则。

附录 C(资料性附录)供有关章节参考,它给出了引用值(用 dB 或百分数表示)与其可替换值之间的转换。

电工电子产品环境试验

第 2 部分:试验方法

试验 Fh:宽带随机振动(数字控制)和导则

1 范围

本部分提供了两种标准的试验方法(方法 1 和方法 2),以确定试验样品承受规定宽带随机振动的能力。不能认为一种试验方法比另一种试验方法更严酷,差别主要是试验方法 2 提供更多的信息去量化所应用的试验,因此具有更好的再现性。

本部分还揭示了由随机振动引起的应力累积效应和特定的机械性能下降,以及使用这些信息和相关规范来评定试验样品的可接受程度。有时,本部分也用来证明样品的机械环境适应性和/或研究它们的动态特性。

本部分适用于在运输或工作环境中可能遭受随机振动的样品,如在飞机、太空飞船和陆地交通工具中,它主要用于没有包装的样品,以及在运输过程中其包装作为样品本身一部分试验样品。

本部分主要适用于电工电子产品,但并不局限于此,也可适用于其他领域的产品。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过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 2298—1991 机械振动与冲击 术语(idt ISO 2041:1990)

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 2423.10—1995 电工电子产品环境试验 第 2 部分 试验方法 试验 Fc 和导则:振动(正弦)(idt IEC 60068-2-6:1982)

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(Ga)等动力学试验中的安装要求和导则(idt IEC 60068-2-47:1982)

GB/T 4796 电工电子产品环境参数分类及其严酷程度分级(GB/T 4796—2001, idt IEC 600721-1:1991)

IEC 60050-301:1983 国际电工技术 术语(IEV)301 章:电子测量总则

IEC 60050-302:1983 国际电工技术 术语(IEV)302 章:电子测量仪器

IEC 60050-303:1983 国际电工技术 术语(IEV)303 章:电子测量仪器(高级版)

IEC 60068 环境试验

IEC 60068-2 环境试验 第 2 部分:试验方法

3 定义

使用的术语一般在 GB/T 2298—1991 或 IEC 60050(301、302、303):1983 与 GB/T 2421—1999 或者 GB/T 2423.10—1995 中定义过。为方便读者,这里包括了出自上述标准但略有出入的定义,并且指出了它们的差别。

另外,下面增加的术语和定义也适用于本部分。

3.1

—3 dB 带宽 B_r —3 dB bandwidth

B_r

在频率响应函数中对应于单一共振峰值最大响应 0.707 倍的两点之间的频率宽度(见 4.3.6.2)。

[GB/T 2298—1991, 修正]

3.2

加速度谱密度 acceleration spectral density

当在带宽趋于零和平均时间趋于无穷的极限状态下,各单位带宽上通过中心频率窄带滤波器的加速度信号方均值(见 4.3.4)。

[GB/T 2298—1991, 修正]

3.3

偏差 bias error

由于采用有限的频率分辨率估计加速度谱密度引起的系统误差(见 4.3.6.2)。

3.4

检测点 check-point

位于夹具、振动台或样品上的用于信号检测的点,应尽可能靠近某个固定点并与之刚性连接(参见 A.2.4.1)。

注 1: 应有足够多的检测点以满足试验要求。

注 2: 若固定点少于或等于 4 个,则全部作为检测点。否则,按照有关规范中规定取 4 个有代表性的固定点作为检测点。

注 3: 在特殊情况下,例如大型或复杂样品,若检测点无法靠近固定点,则有关规范应有规定。

注 4: 当许多小样品安装在同一个夹具上或一个小样品上有若干个固定点时,可以选择单个检测点(参考点)来获取控制信号。此信号与夹具有关而不与样品的固定点有关。此时夹具的最低共振频率应充分高于试验频率的上限。

3.5

控制加速度谱密度 control acceleration spectral density

在参考点上测量到的加速度谱密度(见 4.3.3)。

3.6

控制系统回路 control system loop

包括下列操作:

——参考点上模拟随机信号的数字化;

——进行必要的数据处理;

——产生更新后的模拟随机信号给振动系统功率放大器(参见 B.1)。

3.7

峰值因子 crest factor

峰值和方均根值之比(见 4.3.3)。

[GB/T 2298—1991]

3.8

阻尼比 damping ratio

粘性阻尼系统中实际阻尼和临界阻尼的比值。

3.9

失真度 distortion

失真度:

$$d = \frac{\sqrt{a_{\text{tot}}^2 - a_1^2}}{a_1} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

a_1 ——信号中基频分量的加速度方均根值;

a_{tot} ——包含 a_1 在内的所有加速度总的方均根值。

(等同于 GB/T 2423.10—1995 第 3 章定义,不同于 GB/T 2298—1991 定义)

3.10

驱动信号的削波 drive signal clipping

对驱动信号瞬时值的限制(见 4.3.3)。

3.11

有效频率范围 effective frequency range

实际从频率低于 f_1 斜谱前端到高于 f_2 斜谱后端的频率范围(见图 2)。

3.12

加速度谱密度误差 error acceleration spectral density

规定的加速度谱密度值和控制实现的加速度谱密度值之差。

3.13

均衡 equalization

使加速度谱密度误差最小化的过程。

3.14

最终斜谱 final slope

加速度谱密度大于 f_2 的部分(参见 B.2.4)。

3.15

频率分辨率 frequency resolution

加速度谱密度的频率间隔宽度,以赫兹为单位。它等于数字分析中子样记录长度的倒数。在给定的频率范围内,谱线的数量和间隔的数量相等(见 4.3.6)。

3.16

g_n acceleration of gravity

由于地球引力引起的标准加速度,它随海拔高度和地理纬度变化(见 5.3)。

在本部分中 g_n 圆整为 10 m/s^2 。

3.17

加速度谱密度示值 indicated acceleration spectral density

受仪器误差、随机误差和偏差影响的分析仪示值(见 4.3.6)。

3.18

初始斜谱 initial slope

加速度谱密度小于 f_1 的部分(参见 B.2.4)。

3.19

仪器误差 instrument error

由控制系统及其输入的每一个模拟环节引起的误差(参见 B.2.3.2)。

3.20

多点平均控制 multipoint control, averaging

由多个检测点的加速度谱密度经算术平均形成的控制加速度谱密度(参见 B.2.1.2)。

3.21

多点最大值控制 multipoint control, external

由多个检测点对应谱线上的加速度谱密度的最大值形成的控制加速度谱密度(参见 B.2.1.2)。

3.22

优先试验轴 preferred testing axes

按实际情况尽可能选择相应于样品最薄弱的 3 个正交轴(见 8.1)。

3.23

随机误差 random error

由于不同的实际平均时间与滤波器带宽的限制导致加速度谱密度估计误差(参见 B.2.3.3)。

3.24

记录 record

用于快速傅立叶变换计算的时域的等间隔数据点的集合(参见 B.1)。

3.25

参考点 reference point

从检测点中选出的点,其信号用于试验控制,以满足本部分要求。

注:该点可能是虚拟参考点(参见 A.2.4.2)。

3.26

可再现性 reproducibility

按下列不同条件下对相同参量相同数值进行测量的结果之间的一致性程度:

- 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;
- 间隔较长的不同的测量时间;
- 不同的仪器使用习惯。

注:术语“再现性”也可应用于满足上述部分条件的情况。

[IEC 60050(301,302,303)]

3.27

响应点 response points

位于试验样品上的特定部位的点,从这些点上获得数据进行振动响应分析。这些点不是检测点或参考点。(参见 A.3.1)。

3.28

方均根值 root-mean-square value

在 f_1 与 f_2 区间内单值函数的方均根值,是在该区间内的函数值的平方的平均值的平方根值(见 4.3.4)。

[GB/T 2298—1991,修正]

注:本试验方法,加速度、速度和位移的方均根值可以按 B.2.5 计算。

3.29

标准差 σ standard deviation, σ

根据振动理论,当振动幅值的平均值等于 0 时,振动的标准差等于方均根值。

[GB/T 2298—1991,修正]

3.30

统计精度 statistical accuracy

加速度谱密度真值与加速度谱密度示值之比(见 4.3.5)。

3.31

统计自由度 statistical degrees of freedom

用时间平均方法来估算随机数据的加速度谱密度时,统计自由度取决于频率分辨率和有效平均时间(见 4.3.5)。

[GB/T 2298—1991, 修正]

3.32

扫频循环 sweep cycle

在规定的频率范围内的往复扫频一次,例如 5 Hz-500 Hz-5 Hz(参见 A.2.5)。

[GB/T 2423.10—1995]

3.33

真实加速度谱密度 true acceleration spectral density

作用于试验样品上的随机波的加速度谱密度(见 4.3.6)。

3.34

窗函数 window function

在处理加权数据时为减少误差而使用的截断函数(见 4.3.6.2)。

[GB/T 2298—1991]

4 试验要求

4.1 总则

进行试验时,整个振动系统包括功率放大器、振动发生器、试验夹具、试验样品和控制系统等都应满足必要的性能要求。

本部分提供了两种试验方法。

方法 1 通常仅应用于随机振动。但有关规范也可能要求在随机振动之前或前后用正弦或随机振动激励进行振动响应检查(见 8.2 和 8.6)。

方法 2 在随机振动试验之前用正弦或随机振动激励进行振动响应检查以寻找最窄的 -3 dB 带宽的共振。在某些条件下,有关规范可能要求进行附加的振动响应检查(见 8.6)。

4.2 振动响应检查

试验 Fc(GB/T 2423.10—1995)正弦波激励的要求已在规范性附录 A 中规定。随机振动试验 4.3 的随机激励的要求也在附录 A 中规定。

4.3 随机振动试验

4.3.1 基本运动

有关规范应规定试验样品各固定点的基本运动,这些点应具有大体相同的运动,其基本运动应该是直线运动,并具有随机的特征。其瞬时加速度值应呈正态(高斯)分布。若各点的运动很难达到完全相同时,则应采用多点控制。

4.3.2 横向运动

在垂直于指定轴向的任一轴上测得的检查点的加速度谱密度不应超过规定值的 5 dB,并且相应加速度方均根值不应超过基本运动规定值的 50%。在特殊情况下,例如小样品,有关规范应限制横向运动的加速度谱密度以保证不超过基本运动 3 dB。

在某些频率上或者对于尺寸大或质心高的样品,达到这些值可能是困难的。在这种情况下,有关规范应说明采用下列两条中的一条:

- a) 超出上述给定值的任何横向运动都应记录在试验报告中;
- b) 已知不会对试验样品损伤的横向运动不需监测。

4.3.3 分布

在图 1 给定的容差带内,参考点的瞬时加速度值应呈正态(高斯)分布。对大部分随机振动试验系统,其分布通常会落在容差带内。在系统常规标定时应进行检定(参见 B.2.2)。

如果使用虚拟的参考点进行控制,所有用来构成加速度谱密度的检测点都应满足此分布要求。

有关规范应规定峰值因子或驱动信号的削波至少应为 2.5。应对从检测点得到加速度波形进行检查以确保当前信号中包括不低于规定方均根值 2.5 倍的峰值。

4.3.4 振动容差

在要求方向上检测点和参考点的含仪器容许误差的规定加速度谱密度示值在如图 2 所示 f_1 和 f_2 之间容差应在 ± 3 dB 范围内(参见 B.2.3.2)。当使用方法 2 时,有关规范应规定最大允许偏差(见 8.1 和 B.2.3.4)。

在 f_1 和 f_2 内,计算或测量得到的加速度方均根值应在规定加速度谱密度的方均根值的 $\pm 10\%$ 之内。此值适用于单点和多点控制。

在某些频率上或对于尺寸大或质心高的样品,达到这些值可能是困难的。在这些情况下,有关规范应规定较宽的容许误差。

初始和最终斜谱应分别不低于 $+6$ dB/oct 和不高于 -24 dB/oct(参见 B.2.4)。

4.3.5 统计精度

统计精度由统计自由度(N_d)决定。统计自由度按式(2)计算:

$$N_d = 2B_r \times T_e \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

B_r ——频率分辨率;

T_e ——有效平均时间;

N_d ——应不低于 120(参见表 B.2 和图 6)。

4.3.6 频率分辨率

使加速度谱密度真值与示值之间误差最小所必需的频率分辨率,对于方法 1 应在 4.3.6.1 的限定值内,对方法 2 应在 4.3.6.2 计算的限定值内。

4.3.6.1 方法 1

频率分辨率的最大值应从表 1 中选取。

表 1 频率分辨率,方法 1

单位为赫兹

试验频率范围		频率分辨率的上限值
f_1	f_2	
1	100	0.5
5	500	2.5
20	2 000	10
50	5 000	25

4.3.6.2 方法 2

频率分辨率 B_r 应从共振频率响应检查中选择最窄的 -3 dB 带宽 B_r (参见 A.2.6 和 A.3.1)。频率分辨率由式(3)计算:

$$B_r = a \times B_r \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中 $a < 1$, 因子 a 考虑了系统误差 E_b , 应从表 2 中取值(参见 B.2.3.4)。

表 2 矩形窗函数中的因子 a 和系统误差

系统误差 E_b /dB	± 3	± 2	± 1	± 0.5
因子 a	0.87	0.75	0.56	0.40

注: 对其他类型窗函数, 因子 a 应除以表 B.3 中的因子 W (参见 B.2.3.4)。

4.4 安装

除有关规范另有规定,样品应按 GB/T 2423.10—1995 的规定安装,它参考 GB/T 2423.43—1995。

5 严酷等级

5.1 总则

试验严酷等级根据由下列参数组成：

- 试验频率范围；
- 加速度谱密度值；
- 加速度谱密度的谱型；
- 试验持续时间。

有关规范应规定每一个参数值。它们从下列参数中选取：

- a) 从 5.2~5.5 的给定值中选取；
- b) 当从已知环境条件中得出明显不同值时，则取该值；
- c) 由已知相关的数据资料中获得(例如 GB/T 4796)。

5.2 试验频率范围

如果选择了 5.1 中选项 a)，则试验频率范围应从表 3 中选取。

表 3 试验频率范围

单位为赫兹

f_1	f_2
1	100
5	500
20	2 000
50	5 000

频率 f_1 和 f_2 以及它们与加速度谱密度的关系如图 2 所示。

5.3 加速度谱密度

如果选择了 5.1 中选项 a)，则在 f_1 和 f_2 之间的加速度谱密度(图 2 中 0 dB)应从下列数值(以 $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ 为单位)中选取：

0.05; 0.1; 0.5; 1.0; 5.0; 10.0; 50.0; 100.0

若采用 g_n 表达, g_n 取 10 m/s^2 。

5.4 加速度谱密度的谱型

规定加速度谱密度谱型为平直谱(见图 2)。在特殊情况下,可能要规定近似形状的加速度谱密度谱型。此时,有关规范应按频率函数规定加速度谱密度曲线形状。应尽可能从 5.2 和 5.3 给定值中选取不同的谱密度值和相应的频率范围,即拐点。此外,有关规范应规定在不同谱密度值之间的斜率。

5.5 试验持续时间

每一个轴向的持续时间应从下列数值中选取,以分钟为单位,容差为 0~5%:

1; 3; 10; 30; 100; 300

6 预处理

有关规范若要求进行预处理,则应规定相应的条件。

7 初始检测

应按有关规范的要求对样品的外观、尺寸和功能进行检测(参见 B.7)。

8 试验

8.1 总则

试验根据有关规范规定采用方法 1 或方法 2 按照不同的试验流程进行。其步骤如下：

方法 1：

- 如果有要求，进行初始振动响应检查(见 8.2)；
- 试验前用低量值激励进行均衡(见 8.3)；
- 随机振动试验(见 8.4)；
- 如果有要求，进行最终振动响应检查(见 8.6)。

方法 2：

- 初始振动响应检查(见 8.2)；
- 试验前用低量值激励进行均衡(见 8.3)；
- 随机振动试验(见 8.4)；
- 如果有要求，进行最终振动响应检查(见 8.6)。

除有关规范另有规定，样品应依次在每一个选定试验轴上经受振动激励。除有关规范另有规定，沿着这些轴的试验顺序是不重要的。

参考点的控制加速度谱密度，如单点控制，则从一个检测点获得；如多点控制，则从多个检测点获得。对后者，有关规范应说明，是各检测点信号的平均值应控制在规定的范围内，或是选定点的信号值，例如最大幅值，应控制在规定的范围内。在多点控制的任何一种情况下，这个点都成为虚拟的参考点。

当带有减振器的样品需要进行不带减振器的试验时，应作特殊处理(参见 B.4)。

8.2 振动响应检查

当有关规范中规定选用方法 1 时，并不要求把振动响应检查作为试验方法的一部分。但是，有关规范也可规定，在随机振动试验前或前后，进行振动响应检查(见 4.2 和附录 A)。

当有关规范中规定选用方法 2 时，应在试验频率范围内分析样品的振动特性。振动响应检查可按有关规范中规定的正弦或随机激励进行，规范应规定样品上的响应测量点(见 4.2 和附录 A)。

当用正弦激励时，有关规范应规定至少进行一次覆盖试验频率范围的扫频循环，且扫频时，加速度幅值 $\leq 10 \text{ m/s}^2$ 或者位移幅值为 5 mm，取较小值。如果要获得更加精确的响应特性，振幅和扫频速率可与规定的值不同。应避免持续时间过长。

为了防止样品的应力比随机振动试验中的大，也可能减小振动幅值，比如当样品对正弦振动很敏感时。

当采用随机激励时，加速度方均根值不应超过随机振动试验中规定值的 25%。持续时间应尽可能短，但至少应足够长以保证自由度至少达到 $N_d = 120$ (参见 B.2、3.3 和图 6)。

8.3 试验前低量值激励均衡

在以规定值进行随机振动试验之前，为了均衡和进行初步分析，可能有必要对实际样品进行低量值的随机试验。重要的是在这个阶段施加的加速度谱密度保持最小。

随机激励允许的持续时间如下：

- g_a 方均根值低于 -12 dB：无时间限制；
- g_a 方均根值在 -12 dB ~ -6 dB 之间：不超过规定试验时间的 1.5 倍；
- g_a 方均根值在 -6 dB ~ 0 dB 之间：不超过规定试验时间的 10%。

随机振动试验的规定时间不包含均衡的持续时间。

8.4 随机振动试验

有关规范应选择合适的试验频率范围(f_1 到 f_2)、加速度谱密度、加速度谱密度谱型和试验时间。若有关规范有要求，为了核实随机输入波的平稳性，在检测点上应按适当的时间间隔进行加速度谱密度和加速度方均根值的多次测量，这应记录在试验报告中。

8.5 中间检测

如有关规范有规定,在试验过程中样品应在规定的时间间隔内进行中间检测,并检测其性能(参见 B.6)。

8.6 最终振动响应检查

当应用方法 2 或相关规范规定应用方法 1 进行初始振动响应检查的情况下,有关规范也会要求在随机振动试验完成后进行另外的振动响应检查,以确定自初始振动响应检查后样品是否发生了变化或失效。必须用与初始振动响应检查相同的方式、相同的响应点和相同的参数进行最终振动响应检查。如果在两次分析中得到的结果不同,有关规范应说明如何处理。

9 恢复

有时在试验后和最终检测前需要一段恢复时间让样品达到与初始检测时相同的条件,例如温度。有关规范应规定需要恢复的条件。

10 最终检测

应按有关规范规定对样品进行外观、尺寸和功能检测。

有关规范应给出样品可接受或拒收的判据。

11 有关规范应给出的信息

当有关规范中采用本试验时,只要适用,应尽可能给出下列细节,要特别注意带星号的条款,因为这些条目总是必需的。

	条款
a) 初始振动响应检查,方法 1(正弦或随机激励)	4.1,8.2
b) 使用正弦或随机激励的振动响应检查,方法 2*	4.1,8.2
c) 最终振动响应检查,方法 1 和方法 2	4.1,8.6
d) 固定点*	4.3.1
e) 横向运动	4.3.2
f) 峰值因子或驱动信号削波*	4.3.3
g) 振动容差	4.3.4
h) 允许偏差(方法 2)*	4.3.4
i) 安装	4.4
j) 试验频率范围*	5.2,8.4
k) 加速度谱密度值*	5.3,8.4
l) 加速度谱密度谱型*	5.4,8.4
m) 试验时间*	5.5,8.4
n) 预处理	6
o) 初始检测*	7
p) 方法 1 或方法 2*	8.1
q) 多点控制	8.1
r) 试验轴向和试验顺序	8.1
s) 响应点(方法 2)	8.2
t) 加速度谱密度的多次测量	8.4
u) 中间检测	8.5
v) 恢复	9
w) 最终检测和接受或拒收的判据*	10

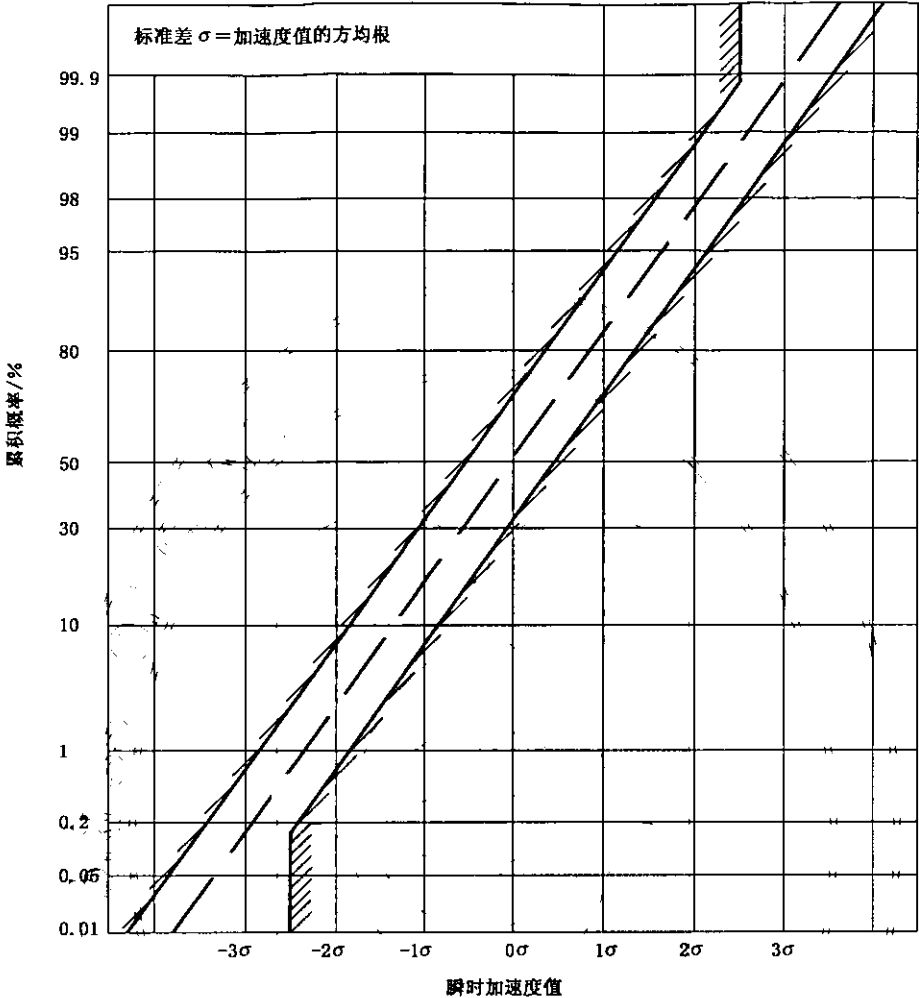


图 1 瞬时加速度值分布的容差带

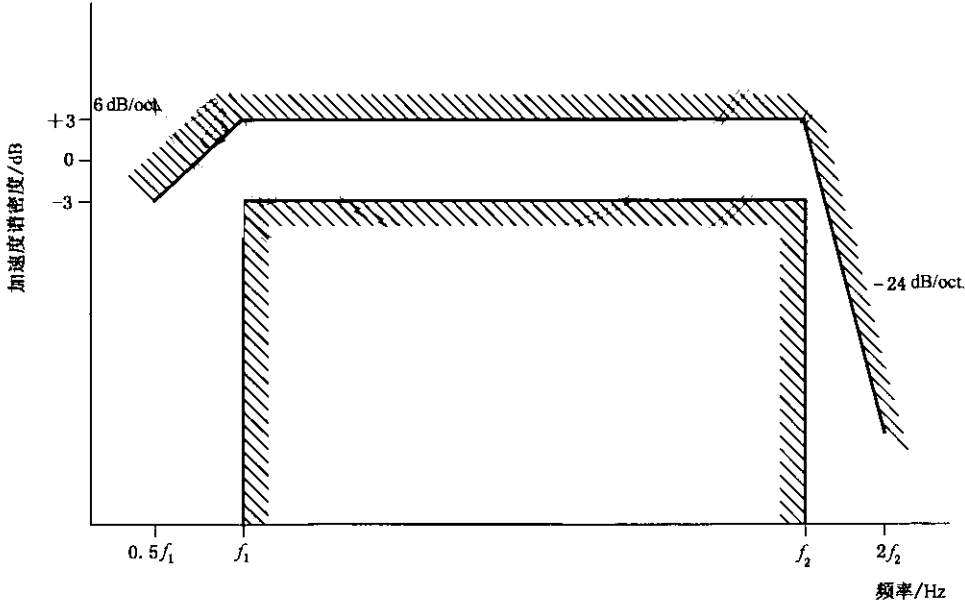


图 2 加速度谱密度的容差限

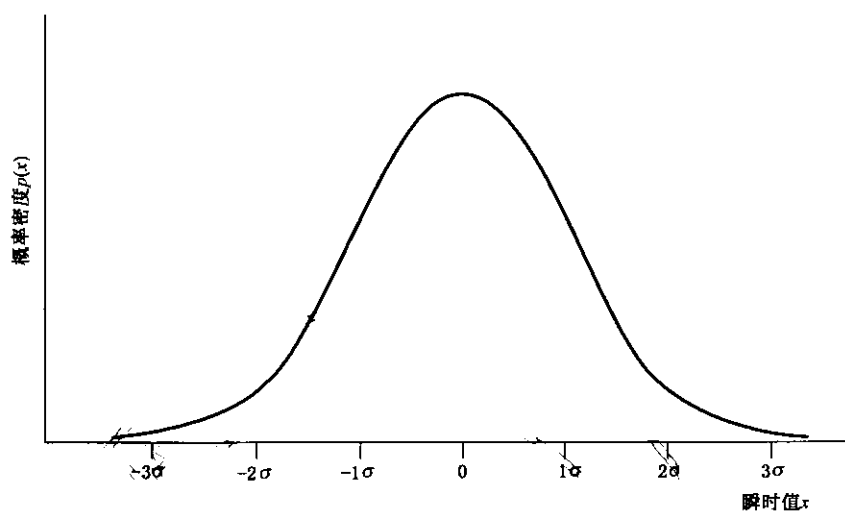


图3 高斯(正态)概率密度函数

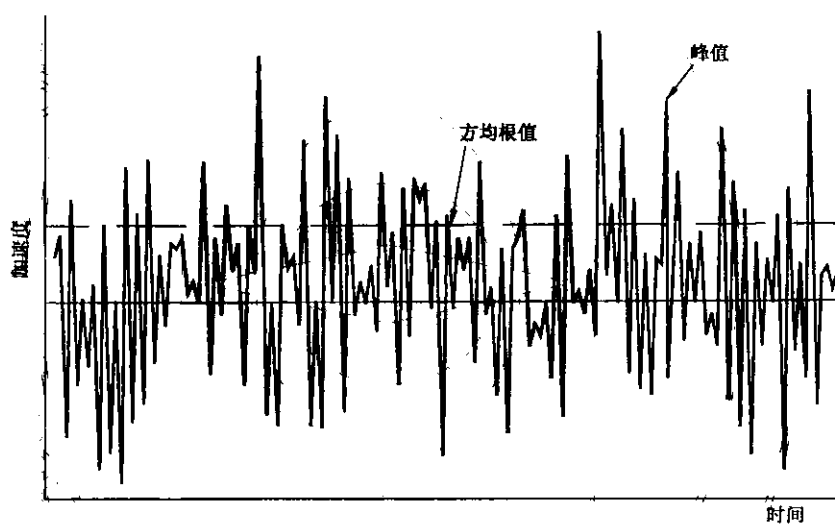


图4 信号削波示意图

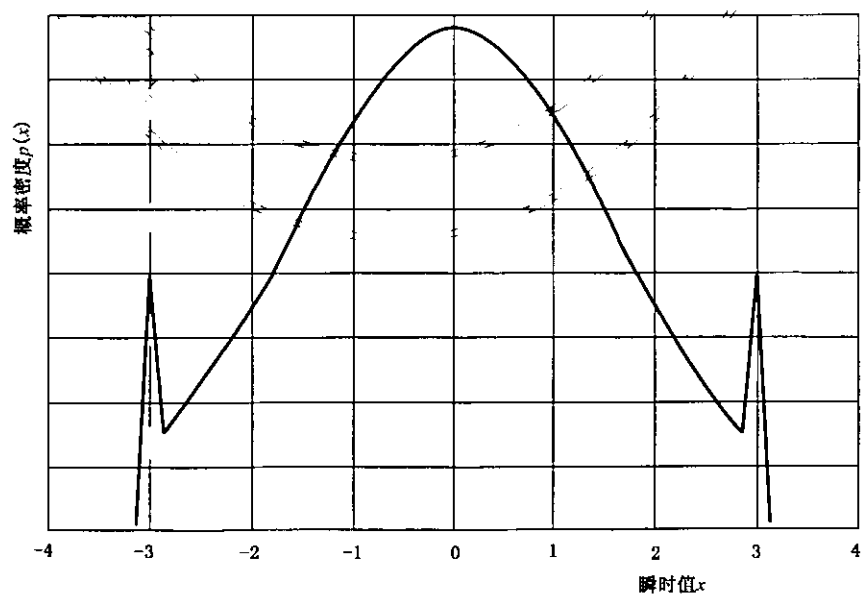


图5 削波后的非高斯概率密度函数

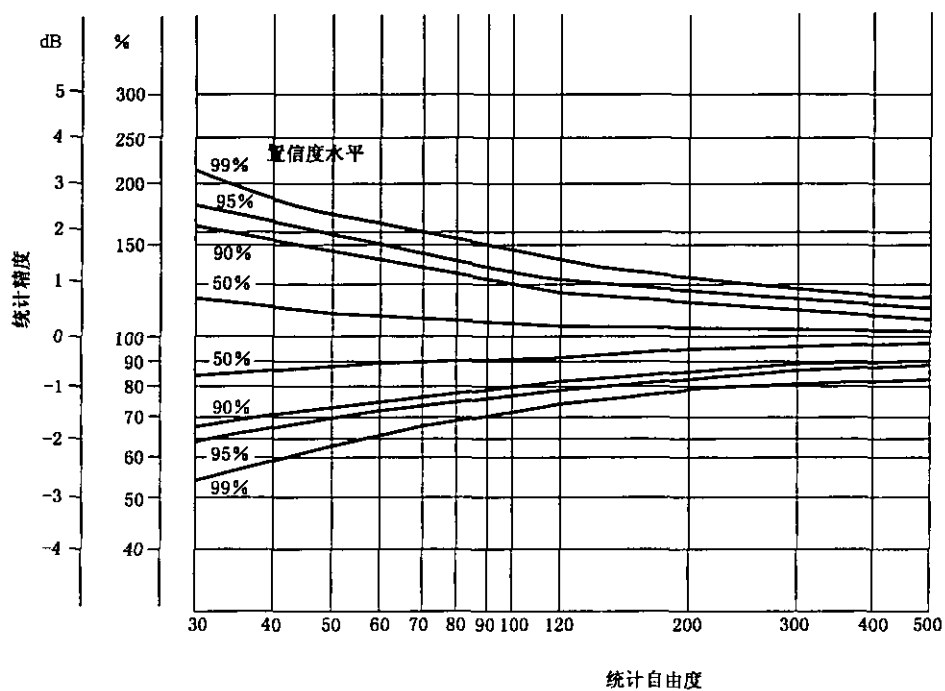


图 6 在不同置信度水平下加速度谱密度的统计精度与自由度的关系

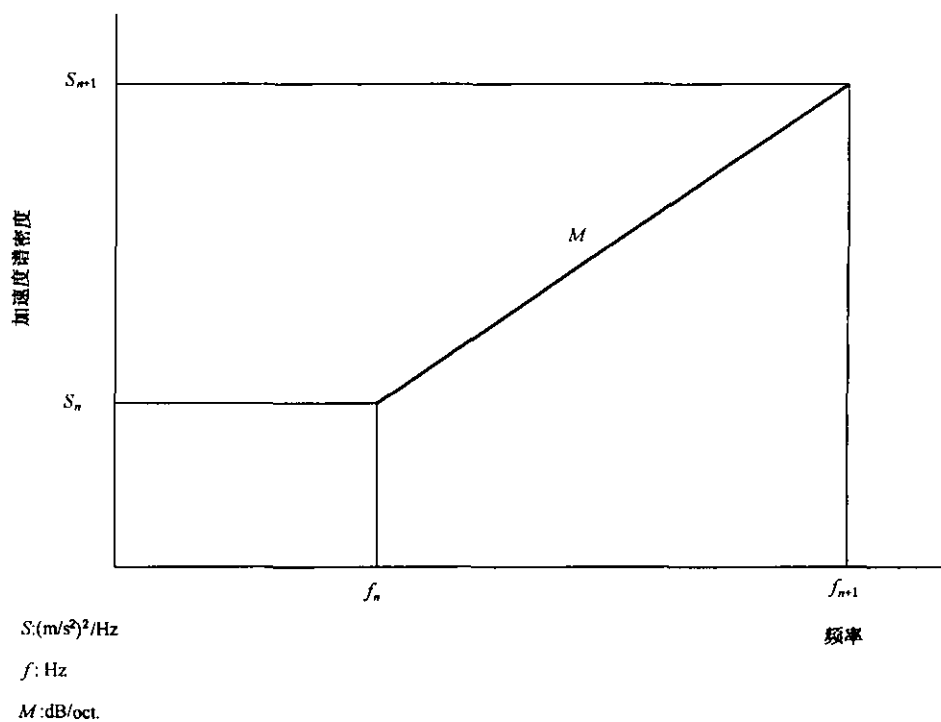
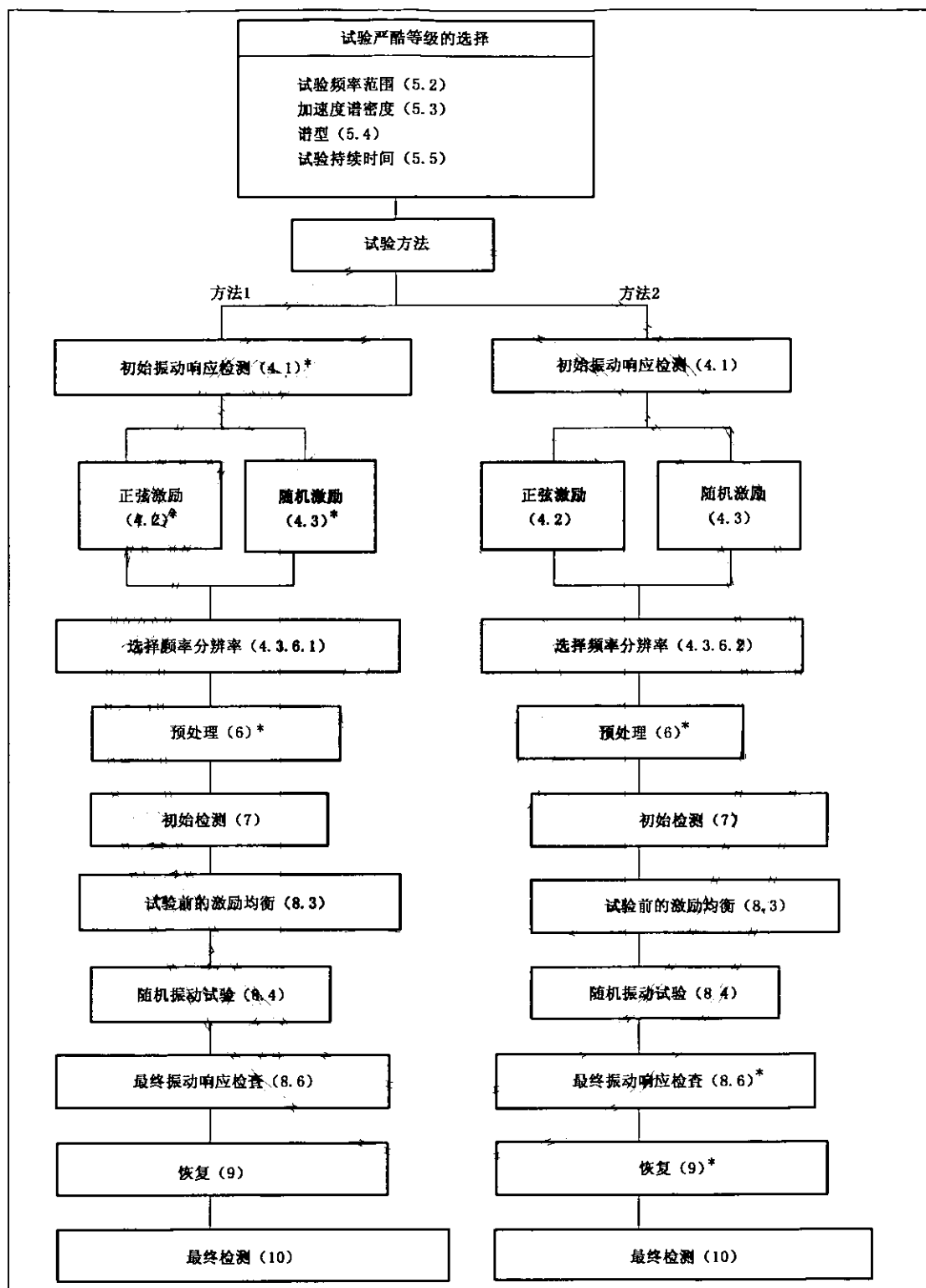


图 7 加速度谱密度与频率的关系



*:若有关规范有规定。

图 8 宽带随机振动试验的流程图

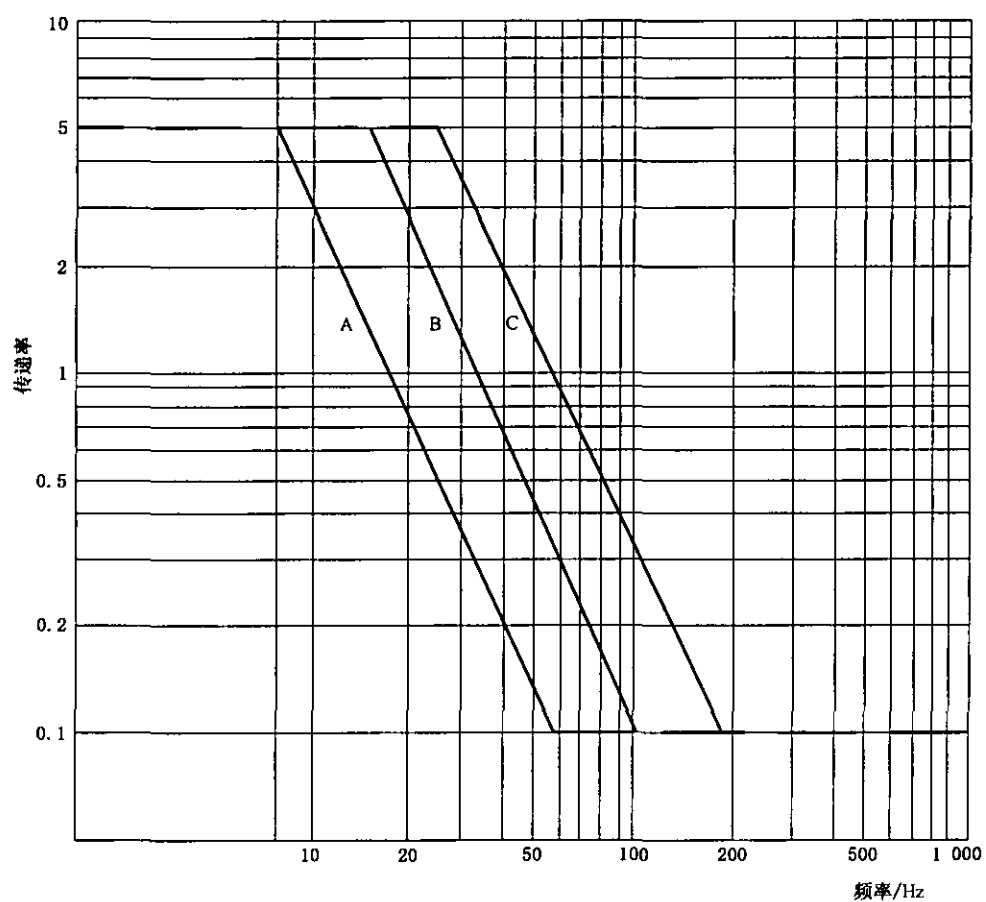


图 9 正则化的减震器的传递率因子

附录 A
(规范性附录)
振动响应检查

A.1 引言

振动响应检查对检查样品的动态特性非常有用；如果需要确定机械或结构的影响，对于方法 1 可能是必要的。

对于按照方法 2 进行的随机振动试验，为了选择最窄的带 -3 dB 带宽 B_r 的共振峰值来计算公式 (2) 中的极限频率分辨率 B_e ，振动响应检查是必要的。

必须从多个测点上获得样品的频率响应特征以避免由于选择响应点为某一特定振动模态的节点而丢失结构的共振。因此，用于寻找 B_r 的信号应从有关规范规定的响应点中选择。当有关规范不能确定这些响应点的具体位置时，建议由试验工程师来选择响应点的位置。

应注意测试装置基本不能改变样品该部分或整体的动态特性。

在非线性共振的情况下，在扫频过程中共振频率会随扫频方向的变化而改变。放大率也取决于输入振动的幅值。

随机振动试验之后进行的振动响应检查可以用来确认共振频率的改变。这些改变可能说明样品特性发生变化或产生了破坏。

A.2 正弦振动

试验应满足的要求如下，通常与试验 F_c 一致 (GB/T 2423.10—1995)。

A.2.1 基本运动

基本运动应是时间的正弦函数，以保证有关规范规定样品的固定点基本上以同相位和在平行线上作直线运动，并满足 A.2.2、A.2.3、A.2.4 中所规定的限制条件。

A.2.2 横向运动

在垂直于指定轴的任一轴上检测点的最大振动幅值，在 500 Hz 以下应不超过规定幅值的 50%，在 500 Hz 以上应不超过规定幅值的 100%。在特殊情况下，比如小样品，除有关规范另有规定，允许横向运动的幅值可限制在 25% 以内。

在某些频率点上或尺寸大或质心高的样品，达到这些限值可能是困难的。在这些情况下，有关规范作如下说明：

- a) 任何超出上面给定限值的横向运动都应记录在报告中；
- b) 不必监控已知对试验样品无任何损伤的横向运动。

A.2.3 失真度

应对参考点的信号进行加速度失真度的检测，并且其频率覆盖到 5 000 Hz 或者驱动频率的 5 倍，取两者的较小者。然而，这个最大分析频率可达扫频试验频率的上限，除有关规范另有规定，可以超过它。

如 3.9 所规定，失真度不应超过基本运动的 25%。

当采用正弦激励进行振动响应检查 (见 8.2) 并且失真度高时，测量系统显示出的振动量级是不正确的，因为它包含了需要的频率成分和许多不需要的频率成分。这会导致在要求的频率处幅值比规定的低。在规定的失真度范围内是容许的；而超过这个范围，有必要把基本幅值修正到规定幅值。这有多种方法来修正它，但建议使用跟踪滤波器。如果基本幅值得到修正，样品在要求频率上将产生预期的应力。但是不需要的频率成分也在增加，由此产生一些附加应力。如果这样造成不切合实际的高应力，更

适合的方法是修正失真度要求。

对于大型、复杂的样品,当频段中某些部分不能满足规定失真度要求并且不适合使用跟踪滤波器时,不必修正加速度,此时失真度应记录在试验报告中。

不管是否使用跟踪滤波器,有关规范可要求记录失真度和受影响的频率范围。

A.2.4 振动容差

在检测点和参考点上沿着指定轴向基本运动应符合规定的容差范围。这些容差包括测试的不确定性。当超出容差时,应记录在试验报告中。

A.2.4.1 检测点

对于单点控制,在每个检测点上的振动幅值容差为:

- 500 Hz 以下为 $\pm 25\%$;
- 500 Hz 以上为 $\pm 50\%$ 。

A.2.4.2 参考点

通常在进行单点控制试验时,参考点处振动幅值的容差为 $\pm 15\%$ (参见 B.2.1)。

如果很难达到要求,就要通过进行多点平均值控制或多点极值控制,在这两种多点控制中,控制点是虚拟的参考点。

A.2.4.3 频率

容差为:

- 1 Hz~5 Hz 时为 $\pm 20\%$;
- 5 Hz~50 Hz 时为 $\pm 1\%$;
- 50 Hz 以上时为 $\pm 2\%$ 。

如果要进行初始和最终振动响应检查,可采用下列容差:

- 1 Hz~5 Hz 时为 $\pm 10\%$;
- 5 Hz~100 Hz 时为 $\pm 0.5\%$;
- 100 Hz 以上时为 $\pm 0.5\%$ 。

A.2.5 扫频

通常,在整个试验频段内扫频是连续的,频率不超过 1 oct/min 的速率随时间按指数规律变化(见 3.32)。

数字控制系统并不是严格“连续”扫频,但这差别实际并不明显。

A.2.6 B_e, B_r 的计算

在进行正弦激励扫频过程中,规定响应点处的响应应除以输入的振动值绘制成图。该曲线能显示共振和与之相应的-3 dB 带宽 B_r 。按式(3)计算频率分辨率 B_e 时应取共振点的最窄带宽 B_r 。这个过程可以确定频率分辨率;以最低限度地检查到参考点加速度谱密度的峰谷值。

A.3 随机激励

当进行随机激励的响应检查时,应遵守 4.3 的规定,并建议输入呈平直谱型的加速度谱密度。

A.3.1 B_e, B_r 的计算

规定响应点上的加速度谱密度应除以参考点上的输入加速度谱密度,并绘制成图。绘图时,该曲线的平方根可以显示共振点及其相应-3 dB 带宽 B_r 。可选择最窄带宽 B_r 处的共振点,并根据式(3)来估计频率分辨率 B_e 。

应注意,这种响应检查方法频率分辨率需要足够高,以便能够充分地确定最窄-3 dB 带宽,并建议最窄-3 dB 带宽内至少包含有 5 条谱线。

附录 B

(资料性附录)

导 则

B.1 一般要求

要做到试验的再现性并不容易。因为随机信号的统计特性、样品的复杂响应和分析过程带来的误差,不可能确切地预测样品上随机输入的加速度谱密度与样品上规定的加速度谱密度在预定的容差范围内是否一致。因为现场估计是不可能的,在试验后进行复杂、费时的分析是必要的。

用来做随机振动试验的大多数数字振动控制设备的性能是相似的。应用振动设备中的一些可选参数,可以通过初步的计算来估计加速度谱密度示值和真值之间的差别而引起的不确定性。因此可以通过选择这些相关参数,以达到两种加速度谱密度之间的最相近。

规定加速度谱密度的均衡需要多次循环,其持续时间取决于多种因素:诸如硬件配置、整个系统的传递函数、规定加速度谱密度的形状、控制算法和试验前可以调整的试验参数。这些相关试验参数包括最高分析频率、频率分辨率和驱动信号削波的峰值因子。

随机振动的控制算法包括控制精度和控制循环时间的折衷,控制循环时间受诸如每个循环记录次数的影响。高控制精度,要求有更多输入的数据,因此要有更长循环时间和更慢的加速度谱密度的动态变化响应。而且频率分辨率受误差和循环时间影响较大。一般来说,一个窄的分辨率带宽会产生高的控制精度和小的偏差;但需要更长控制循环时间,这可能导致更大的随机误差,参见 B.2.3.3。为了使样品加速度谱密度的真值和示值之间的偏差最小,上述试验参数需要进行优化。

与方法 2 相比,方法 1 达到可再现的可能性更低(见第 1 章)。对于方法 2,振动响应检查给出了样品与振动发生器相互作用的基本信息。例如这种检查能显示试验夹具过大的放大倍数或夹具与样品间同时产生共振。因此,为实现再现性,应当选择最适当的试验装置和试验参数。

方法 1 在谱线少的情况下对于低阻尼比和低共振频率的样品会产生很大的系统偏差。表 B.1 表明,如果试验样品的阻尼比为 0.1,相应的共振频率低于 f_z 的 3%(见表 3),则系统偏差将达 3 dB 或更大。在这些情况下,有关规范应规定更宽的容差或推荐用方法 2 来保证最小的试验偏差和更高的再现性。但是,除非进行频率响应检查,很难预测与表 B.1 有关样品的阻尼比和共振频率。只有很小的或刚性样品会很容易满足方法 1,而不需要频率响应检查。

表 B.1 含 200 条谱线在给定系统偏差下的低价共振频率极限

阻 尼 比	系统偏差为 3 dB 和 6 dB 时的共振频率(以 f_z 的百分比计)	
	3 dB	6 dB
	%	%
0.005	62	51
0.01	35	29
0.05	7	6
0.1	3	2.5

B.2 试验要求

B.2.1 单点和多点控制

要求用参考点处测得的随机信号计算出的加速度谱密度来验证。

对于刚性或小尺寸的样品,比如元部件试验,只需一个检测点,它也是参考点。

对于大的或复杂的样品,比如固定点适当分布的设备,需要从多个检测点中选择一个或一个虚拟点

作为参考点。对于虚拟点,用检测点测得的随机信号来计算加速度谱密度。对大型或复杂样品推荐采用虚拟点(见 3.4)。

B.2.1.1 单点控制

在一个参考点进行测量,并且直接将显示的加速度谱密度与规定的加速度谱密度进行比较。

B.2.1.2 多点控制

当规定和有必要进行多点控制时,选择频域控制是可行的。

B.2.1.2.1 平均法

在这种方法中,用每个检测点信号来计算加速度谱密度。合成的加速度谱密度由各检测点加速度谱密度的算术平均值算出。

然后,将这种算术平均加速度谱密度和规定加速度谱密度进行比较。

B.2.1.2.2 最大值法

在这种方法中,合成的加速度谱密度由每个检测点测得的加速度谱密度的每一条谱线的最大值包络算得。

这种方法产生的加速度谱密度可以代表每一个检测点加速度谱密度的包络线。

B.2.2 分布

B.2.2.1 瞬时值分布

在试验中使用的驱动信号瞬时值的分布一般认为正态或高斯分布,它由式(B.1)定义:

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

式中:

$p(x)$ ——概率密度;

σ ——驱动信号方均根值,等于标准差;

x ——驱动信号瞬时值。

假定驱动信号时间历程的平均值是零。

标准概率密度函数如图 3 所示。

正态分布是理论上的,实际上通常不可能有真正的正态数据。大部分信号具有一定的取值范围,但通常正态分布信号值则必需是无限的。

假定正态分布的理由如下:

——关于正态分布有大量的理论知识。这便于建立给定状态的模型,然后对结果进行统计。

——中心极限定理表明,当许多任意分布的变量加在一起时,这些变量的总和趋向于正态分布。信号的滤波处理等价于大量观测值的叠加,并倾向于形成正态的分布信号。

——一个正态变量的任何线性变换仍然是正态的。

——现场测到的随机振动数据的瞬态变量分布通常可近似为正态分布。

B.2.2.2 峰值因子

峰值因子或者信号削波量级限制了宽带随机过程的瞬时值(见图 4)。

本标准中要求的峰值因子不小于 2.5(见 4.3.3)。对于正态分布随机振幅,这意味着,如果采用 2.5 的峰值因子,则大约 99% 瞬时驱动信号直接施加于功率放大器。

但是,当有关规范在低频域(譬如低于 20 Hz)内规定了更高的加速度谱密度时,峰值位移可能会超过振动设备的能力。在这些情况下,有必要减少峰值因子到一个合适的量级,以便产生可接受的峰值位移。

如果施加与高频率范围相比含有大量低频段的加速度密度谱型时,则使用不小于 2.5 的峰值因子可能造成结果的驱动信号不服从正态分布。在函数中会出现 2 个类似于正弦波的尾脉冲(见图 5)。

峰值因子只能用于数字振动控制系统的输出驱动信号,由于系统的非线性,即功率放大器、振动发

生器、试验夹具和样品可能改变检测点的随机波形。这些非线性有很宽的频带，一般难以控制。

B.2.3 容差

B.2.3.1 振动容差

规定参考点处加速度谱密度容差极限，应考虑所有误差，经组合后可以代表总体误差。为了选定控制统计与分析精度的参数，应明确下列误差：

- 仪器误差(参见 B.2.3.2)；
- 随机误差(参见 B.2.3.3)；
- 系统偏差(参见 B.2.3.4)。

三种不同类型的误差应相互协调。在 B.2.3.2、B.2.3.3 和 B.2.3.4 中，对如何在总体误差中分配单个误差作出了说明。

B.2.3.2 仪器误差

仪器误差由与之相关的传感器、电缆、放大器、抗混叠滤波器和模-数转换电路误差组成。它应从试验规定的总容差限值中减去。

B.2.3.3 随机误差

当分析随机信号时，应特别注意因有效平均时间(T_s)的有限长度引起的随机误差。

查看估计加速度谱密度 $G(f)$ 的过程， $\bar{G}(f)$ 的方均误差 E 由式(B.2)给出：

$$E\{[\bar{G}(f) - G(f)]^2\} = \text{Var}[\bar{G}(f)] + b^2[\bar{G}(f)] \quad \text{.....(B.2)}$$

式中：

$E\{\}$ ——误差估计值，它是误差函数；

$\text{Var}[\bar{G}(f)]$ ——方均误差的随机部分；

$b^2[\bar{G}(f)]$ ——方均误差的偏差部分。

随机误差：

$$\text{Var}[\bar{G}(f)] = \frac{G^2(f)}{B_s T_s} \quad \text{.....(B.3)}$$

正态化随机误差：

$$E_r^2 = \frac{1}{B_s T_s} \quad \text{.....(B.4)}$$

式中：

E_r ——方均误差中正态随机部分。

大多数数字振动控制设备都通过快速傅立叶变换来估计加速度谱密度，最终估计的加速度谱密度的每一频率线都会成为 χ^2 函数的抽样分布。估计误差的随机部分为：

$$E_r = (1/n)^{1/2} \quad \text{.....(B.5)}$$

式中：

n ——持续时间为 T_s 的信号样本进行平均的次数。

因此，通过 E_r 可找到统计自由度 N_d 与分析参数之间的关系：

$$N_d = 2n = 2B_s T_s \quad \text{.....(B.6)}$$

当用指数平均来满足高阶迭代时， N_d 为：

$$N_d = 2(2p - 1) \quad \text{.....(B.7)}$$

式中：

$1/p$ ——对指数平均有贡献的最后估计的小数部分。

当加速度谱密度的估计是由每次迭代中 n 次线性平均值完成时，则关系式变为：

$$N_d = 2n(2p - 1) \quad \text{.....(B.8)}$$

表 B.2 和图 6 给出了在不同置信度下加速度谱密度的统计精度与自由度的对应关系。

表 B.2 在不同置信度下加速度谱密度统计精度

自由度 N_d	置 信 度 水 平							
	50%		90%		95%		99%	
	dB	%	dB	%	dB	%	dB	%
30	-0.64	86	-1.64	68	-1.95	64	-2.53	56
	0.86	122	2.10	162	2.52	179	3.38	217
62	-0.47	90	-1.18	76	-1.40	72	-1.83	66
	0.59	115	1.40	138	1.63	146	2.23	167
100	-0.38	91	-0.95	80	-1.12	77	-1.46	71
	0.45	111	1.08	128	1.29	135	1.71	148
120	-0.35	92	-0.87	82	-1.03	79	-1.35	73
	0.41	109	0.98	125	1.17	131	1.56	143
254	-0.25	94	-0.61	87	-0.72	85	-0.95	80
	0.27	106	0.66	116	0.79	120	1.04	127

B.2.3.4 偏差

由方均误差的式(B.2)可知,随机误差和系统误差都与频率分辨率 B_e 有关。

应知道数据处理过程的某些特征,因它直接影响频率分辨率 B_e 和偏差 E_b 。

作为一阶近似正则化系统,偏差为:

$$E_b = \frac{B_e^2}{24} \times \frac{G''(f)}{G(f)} \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

式中:

$G''(f)$ ——加速度谱密度对频率的二阶导数。

由式(B.9)导出:

$$E_b = \frac{1}{12} \times \left(\frac{B_e}{B_r} \right)^2 \times rW \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

式中:

r ——是样品的共振质量与剩余总体可动质量的比率、系统固有频率和品质因子 Q 的函数;

W ——窗函数因子,它由振动控制系统确定。

加窗处理是一种主要的影响有效频率分辨率的数据处理方式。

当估算加速度谱密度时,在每一个窗口记录中进行平均处理。这使得不同窗口类型导致不同有效频率分辨率。

在表 B.3 中,对一些典型的窗函数给出了窗函数因子 W 的数值。

表 B.3 典型窗函数和相应因子 W

窗函数	因子 W
矩形窗	1
三角窗	1.33
汉宁窗 $(0.54 + 0.46 \cos x)$	1.36
海明窗 $(0.5 + 0.5 \cos x)$	1.50
布莱克麦哈利斯窗(4项)	2.00

B.2.4 初始和最终斜谱

本部分要求在 f_1 和 f_2 频率范围内的加速度谱密度为平直谱(见图2)。然而,实际试验必定有初始和最终斜坡。为了使加速度的方均根值尽可能接近规定值,斜线应尽可能的陡。

通常初始斜率应该是 6 dB/oct 或更陡。当在 f_1 处加速度谱密度值太高和有必要减小位移幅值以

满足振动设备性能限制时,初始斜率可以加大。随机位移幅值计算参见 B.2.5c)。

一般,数字振动控制设备在相邻谱线之间有一个大约 8 dB 的加速度谱密度的动态范围。为获得更陡的斜率,有必要采用比方法 1 和方法 2 规定更窄的频率分辨率 B_n 。如果不能实现,或者达到最大斜率仍不能得到规定的位移,有必要在低频范围中修改加速度谱密度负容差。

上述这些方法不适用于在 f_2 之上的规定加速度谱密度的那一部分的最终斜率。该斜率应该等于或陡于 -24 dB/oct。

B.2.5 加速度、速度和位移的方均根值计算

有效频率范围内的加速度、速度和位移的总方均根值是包含加速度谱密度值(S)、频率范围和斜率(M)的相应频率子域内的方均根值之和的平方根。

这些均方值可由下列各式计算, S 单位: $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ (下标 n 和 $n+1$ 见图 7)。

a) 加速度方均值,以 $(\text{m/s}^2)^2$ 为单位:

对 $M \neq -3$:

$$A^2 = \frac{3S_{n+1}}{M+3} \times \left[f_{n+1} - f_n \left(\frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \dots\dots\dots (\text{B.11})$$

对 $M = -3$:

$$A^2 = (S_{n+1}) \times (f_{n+1}) \times \left[\ln \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \dots\dots\dots (\text{B.12})$$

对 $M = 0$:

$$A^2 = S_n (f_{n+1} - f_n) \dots\dots\dots (\text{B.13})$$

b) 速度方均值,以 $(\text{m/s})^2$ 为单位:

对 $M \neq -3$:

$$V^2 = \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 \times \frac{3S_{n+1}}{M-3} \times \left[\frac{1}{f_{n+1}} - \frac{1}{f_n} \times \left(\frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \dots\dots\dots (\text{B.14})$$

对 $M = -3$:

$$V^2 = \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 \times \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}} \times \left[\ln \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \dots\dots\dots (\text{B.15})$$

c) 位移方均值,以 mm^2 为单位:

对 $M \neq 9$:

$$D^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2} \right)^2 \times \frac{3S_{n+1}}{M-9} \times \left[\frac{1}{f_{n+1}^3} - \frac{1}{f_n^3} \times \left(\frac{f_n}{f_{n+1}} \right)^{M/3} \right] \dots\dots\dots (\text{B.16})$$

对 $M = 9$:

$$D^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2} \right)^2 \times \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}^3} \times \left[\ln \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right) \right] \dots\dots\dots (\text{B.17})$$

式(B.12)、式(B.15)、式(B.17)中 \ln 是自然对数。

这些公式基于对数坐标系中的直线,应用时斜率 M 定义为:

$$M = 3 \frac{\log \left(\frac{S_{n+1}}{S_n} \right)}{\log \left(\frac{f_{n+1}}{f_n} \right)} \dots\dots\dots (\text{B.18})$$

B.3 试验步骤

试验步骤的流程图如图 8 所示。

附录 A 给出了处理正弦或随机激励振动响应检查的具体说明。

当试验只是简单地说明试验样品在适当激励环境下的工作能力,那么试验只需持续一段时间,充分

证明在规定的频率范围内满足该条件。在需要证明某一样品承受振动载荷累积效应的能力时,例如疲劳和机械变形,试验应有足够时间去积累必要的应力循环,尽管该持续时间会超出 5.5 规定的数值。

对通常安装在减振器上的设备耐久性试验,这个减振器通常要固定。如果不能用合适的减振器进行试验,例如,该设备与其他设备一齐安装在一个公用的固定装置上,可以在规定的不同试验等级下进行不带减振器的设备试验。应根据试验每个轴向减振系统的传递率来确定试验等级。如果减振器的特性未知,应参考 B.4.1。

有关规范可能要求在附加减振器取消或失效时对试验样品进行额外试验,以确定设备能达到合适的最小结构耐力。在这种情况下,有关规范应该规定选用的严酷等级。

B.4 通常使用减振器的设备

B.4.1 减振器的传递系数

通常当样品安装在特性未知的减振器上时,必须调整不带减振器的试验样品严酷等级以提供更合理的振动激励。推荐用图 9 的曲线来获得修正值,具体说明如下:

- a) 曲线 A 相应于看作具有单一自由度时,固有频率不超过 10 Hz 的高弹性的带减振器情形;
- b) 曲线 B 相应于具有如上所述的,固有频率范围在 10 Hz~20 Hz 的中等弹性的带减振器情形;
- c) 曲线 C 与相应于具有如上所述的,固有频率范围在 20 Hz~35 Hz 的低弹性的带减振器情形。

曲线 B 是在作为单自由度固有频率接近 15 Hz 情况下,对安装高阻尼金属装置的典型航空设备进行振动测量获得的。

曲线 A 和 C 所表示的减振器的数据很难得到。它们是由固有频率分别为 8 Hz 和 25 Hz 时曲线 B 外推得到的。

估计传递率曲线已经包络了安装时模态耦合可能出现的传递特征。因而,这些曲线为由平动和转动的综合影响,对试验样品产生的振动水平留有余量。

最适合的传递曲线应从图 9 中选取。在规定使用随机激励的情况下,对每个频率规定的加速度谱密度应乘以相应曲线上对应值的平方。

由此产生的加速度谱密度可能导致试验量值在试验室中不能实现。此时,试验量值按照在整个频率范围内获得可能最大的加速度谱密度的原则进行调整,实际数据量值应记录在试验报告中。

B.4.2 温度影响

许多减振器的材料受温度影响。如果带减振器样品的一阶共振频率在试验频率范围内,应特别注意任一种激励的持续时间长度。但是在某些情况下,持续施加激励而不允许恢复是不合理的。如果这种实际的基本共振频率的激励时间分布是已知的,应尽量模拟它。如果实际的时间分布是未知的,应由工程判断来限定激励时间,以避免出现过热。

B.5 试验严酷度

B.5.1 试验严酷度的选择

选择的频率范围和给定的加速度谱密度量级应包含广泛的应用范围。当在应用中仅用了一项,如果实际环境已知,以真实环境的振动特性为基础的严酷度等级是优先的(见 B.5.2)。

只要可能,用于试验样品的试验严酷等级应根据试验样品在运输或运行时所承受的环境条件确定或者如果试验的目的是为了评价机械健壮性可根据设计要求确定。

在确定试验严酷等级时,应该考虑在试验等级和真实环境间提供一个充分的安全区域。

一般持续时间越短,试验置信度水平越低。因此,应特别注意频率分辨率 B_f 和有效持续时间 T_e 的选择以使随机误差和偏差最小。

B.5.2 各种应用中典型试验等级的范例

GB/T 4796 列出了不同使用的环境条件,在有些情况下实际的试验等级与 GB/T 4796 所列出的不同。

B.6 设备性能

有时样品在试验全过程或试验的适当阶段处于工作状态。

对于振动会影响开关功能的样品,比如干扰继电器的工作,用重复操作的功能来验证在试验频率范围内是否能够很好地运行。

如果试验仅仅为了验证完整性,样品的功能可在试验完成后进行评价。

B.7 初始和最终检测

初始和最终检测的目的是比较特定参数以评估振动对样品的影响。

除外观要求外,检测还包括电器、机械操作性能和结构的特性(见第7章和第10章)。

附 录 C
(资料性附录)
百分数和 dB 间的转换

在本部分中幅值以百分数或分贝给出。为了便于不同的用户使用本标准,表 C.1 给出了相关条款的转换。它考虑了不同情况下不同类型的量纲(电压/功率)和加权(正/负)。

表 C.1 转 换

条 款 参 考	量 纲 单 位	
	规定的%或 dB	相当的 dB 或 %
3.1	-3 dB	70.7%
4.1	-3 dB	70.7%
4.3.2	+5 dB 50% +3 dB	320% -6 dB 200%
4.3.4	+3 dB -3 dB +10% -10%	+200% 50% +0.8 dB -1.0 dB
4.3.6.2 表 2	-3 dB +3 dB -3 dB +2 dB -2 dB +1 dB -1 dB +0.5 dB -0.5 dB	70.7% 200% 50% 158% 63% 126% 79% 112% 89%
5.3	0 dB	100%
8.2	25%	-12 dB
8.3	-12 dB -6 dB 0 dB	25% 50% 100%
A.1	-3 dB	70.7%
A.2.2	50% 100% 25%	-6 dB 0 dB -12 dB
A.2.3	25%	-12 dB
A.2.4.1	+25% -25% +50% -50%	+1.9 dB -2.5 dB +3.5 dB -6 dB

表 C.1 (续)

条 款 参 考	量 纲 单 位	
	规定的 % 或 dB	相当的 dB 或 %
A. 2. 4. 2	+15 %	+1. 2 dB
	-15 %	-1. 4 dB
B. 1 表 B. 1	3 %	-30. 5 dB
	+3 dB	200 %
	+3 dB	200 %
	+6 dB	400 %
B. 2. 3. 3 表 B. 2	50 %	-6 dB
	90 %	-0. 9 dB
	95 %	-0. 5 dB
	99 %	-0. 1 dB
B. 2. 4	8 dB	630 %
图 2	+3 dB	+200 %
	0 dB	100 %
	-3 dB	50 %