



中华人民共和国国家标准

GB/T 2423.56—2023/IEC 60068-2-64:2019

代替 GB/T 2423.56—2018

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 60068-2-64:2019, Environmental testing—Part 2-64: Tests—
Test Fh: Vibration, broadband random and guidance, IDT)

2023-09-07 发布

2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
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	7
4.4 安装	7
4.5 测量系统	7
4.6 振动容差	8
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	11
5.2 加速度均方根值	11
5.3 加速度谱密度的谱型	11
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	12
8.3 试验前低量级激励均衡	12
8.4 随机试验	13
8.5 最终振动响应检查	13
9 恢复	14
10 最终检测和功能检测	14
11 有关规范应给出的信息	14
12 试验报告应给出的信息	15
附录 A (资料性) 标准试验谱	16
A.1 运输	16
A.2 固定安装	17
A.3 安装在轮式车的设备	18
A.4 安装在飞机直升机的设备	19
附录 B (资料性) 导则	21

B.1	一般介绍	21
B.2	试验要求	21
B.3	试验步骤	22
B.4	通常使用减振器设备	23
B.5	试验严酷度	23
B.6	设备性能	23
B.7	初始和最终检查	23
附录 C (资料性)	非高斯分布/高峰度试验导则	24
C.1	非高斯随机振动	24
C.2	产生非高斯随机振动的方法	24
C.3	附加分析	25
C.4	频率范围	26
附录 NA (资料性)	GB/T 2423 的组成文件	27
	参考文献	30
图 4	不同 α 和 β 值的 β 分布示例	6
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)	7
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)	8
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)	9
图 5	非高斯激励的时间历程——概率密度函数与高斯(正态)分布的比较	13
图 A.1	频率/振幅拐点——运输	16
图 A.2	固定安装谱线——频率/振幅断点	17
图 A.3	轮式车设备——频率/振幅断点	18
图 A.4	安装在飞机和直升飞机的设备	20
表 A.1	试验谱类型——运输	16
表 A.2	试验谱拐点——运输	17
表 A.3	试验谱类型——固定安装	17
表 A.4	试验谱拐点——固定安装	18
表 A.5	试验谱类型——安装在轮式车的设备	18
表 A.6	试验谱拐点——安装在轮式车的设备	19
表 A.7	试验谱类型——安装在飞机和直升机的设备	20
表 A.8	频谱拐点——安装在飞机和直升飞机的设备	20

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 2423 的第 56 部分。GB/T 2423 已经发布的部分见附录 NA。

本文件代替 GB/T 2423.56—2018《环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fh：宽带随机振动和导则》，与 GB/T 2423.56—2018 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了术语“峰度”(见 3.39)；
- b) 增加了术语“偏度”(见 3.40)；
- c) 增加了术语“ β 分布”以及“图 4”(见 3.41)；
- d) 增加了“非高斯振动试验时确定参数”的相关规定(见第 5 章)；
- e) 增加了“对于非高斯振动试验，应记录时间历程，并按按照相关规范要求确定峰度，偏度(如适用)和振幅概率密度”和“图 5”(见 8.4.1)。

本文件等同采用 IEC 60068-2-64:2019《环境试验 第 2-64 部分：试验 试验 Fh：宽带随机振动和导则》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- a) 为与现有标准协调，将标准名称改为《环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fh：宽带随机振动和导则》；
- b) 增加了附录 NA。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件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。

本文件起草单位：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、苏州苏试试验集团股份有限公司、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、广东莱伯通试验设备有限公司、广州赛宝腾睿信息科技有限公司、苏州信科检测技术有限公司。

本文件主要起草人：徐忠根、纪春阳、陈勃琛、吴飒、郭轩、刘放飞、许毅、黄晓光、张越、孙建勇、杨国富、王妙、吴焕。

本文件于 2006 年首次发布，2018 年第一次修订，本次为第二次修订。

引 言

确定性振动是指振动物理量随时间的变化规律适用确定的数学关系式来表达的一类振动。

非确定性振动是指振动物理量随时间的变化规律无法用确定的数学关系式来表达,而只能用概率论和统计学的方法来描述的一类振动,随机振动属非确定性振动。

严格来说随机因素无法被忽略,那么,一切振动都是随机的。

为了标准化的目的,试验的结果不依赖于试验装置的类型,本文件描述了各类随机振动试验的特性,旨在尽可能接近相同的严酷程度。

本文件对不同试验条件下的样品给出了不同的严酷等级。

随机振动试验以一定的工程判断为依据,试验者则根据有关规范选择合适的试验方法和相应的试验严酷等级。

本文件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。

本文件有可能涉及危险样品、操作和设备。它不能解决与其使用相关的所有安全问题。用户安全责任建立适当的安全和健康做法,并在使用前确定受监管限制的适用性。

GB/T 2423 包括了环境试验及其严酷等级的基础信息,并规定了各种测量和试验用大气条件,用于评定试验样品在预期的运输、贮存以及各种使用环境下的工作能力。在该系列标准中,GB/T 2423 每个文件分别介绍了一组试验和应用。GB/T 2423 旨在为产品规范指定者和产品试验者提供一系列统一且可重复的环境、气候、机械和组合试验,并包括了测量和试验用标准大气条件。

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

本文件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)结构不完整性的前提下抵抗动态载荷的能力。

宽带随机振动适用于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,适用于来评定样品是否可接收。

本文件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为样品。对于带包装样品的试验,本文件则和 GB/T 2423.43—2008 共同使用。

若样品在运输或实际寿命期环境中承受随机和确定性的混合振动时,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。

本文件主要适用于电工电子产品,也适用于其他领域的产品。附录 A 提供了这方面的指南。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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。

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

注: GB/T 2298—2010 机械振动、冲击与状态监测 词汇(ISO 2041:2009, 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)

注: GB/T 2421—2020 环境试验 概述和指南(IEC 60068-1:2013, IDT)

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)]

注: GB/T 2423.10—2019 环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Fc: 振动(正弦)(IEC 60068-2-6:2007, IDT)

IEC 60068-2-47 环境试验 第 2-47 部分:试验方法 振动、冲击和类似动力学试验样品的安装

注: 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)

IEC 60068-3-8 环境测试 第 3-8 部分:支持文件和指导 选择振动试验(Environmental testing—Part 3-8:Supporting documentation and guidance—Selecting amongst vibration tests)

注: 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 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)

注: 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)

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)

注: GB/T 4798(所有部分) 环境条件分类 环境参数组分类及其严酷程度分级 [IEC 60721-3(所有部分)]

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)

注: GB/T 16499—2017 电工电子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 (IEC Guide 104:2010, NEQ)

3 术语和定义

IEC 60050-300、IEC 60068-1、IEC 60068-2-6、IEC 60068-5-2 和 ISO 2041 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

横向运动 **cross-axis motion**

沿着非激励方向的运动,一般规定为与激励方向正交的两个轴向。

注: 横向运动应靠近固定点测量。

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,则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,在本文件将 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, 此时固定点就是包装与振动台的接触面, 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, 则用一个检查点。否则就采用多点控制, 但同时参考注 3。如果固定点多于 4 个, 则有关规范将规定出 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, 如果不要求检查点紧靠固定点, 则将在有关规范中规定。

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, 将选用单个检查点 (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, 以满足本文件要求。

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, 以满足本文件要求。

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

优选试验轴 preferred testing axes

对应于样品最薄弱轴向的 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。

[来源: ISO 2041:2018, 3.2.47]

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均方值。

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；
- 产生更新后的模拟驱动信号给振动系统功率放大器(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_e 。

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

初始斜率 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

由于实际平均时间与滤波器带宽的局限所导致的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”也适用于满足上述部分条件的情况。

[来源：IEC 60050-300:2001,311-06-07,有修改]

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,有关规范规定 ASD 是平直谱或其他谱形。

3.38

加速度谱密度真值 true acceleration spectral density

作用于试验样品上的随机信号的加速度谱密度。

3.39

峰度 kurtosis

第四阶统计矩,反映了振动幅值概率密度分布曲线的峰值特征。

注 1: 当持续时间无限长时,典型高斯分布的波形峰度为 3。

注 2: 峰度计算见公式(1)。

$$\text{kurtosis} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4 \cdot \frac{1}{\sigma^4} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

σ —— N 个样本点的标准偏差值;

x_i —— N 个样本点中的单个值;

\bar{x} —— N 个样本点的平均值。

3.40

偏度 skewness

第三阶统计矩,反映了振幅分布非对称性程度。

注 1：当持续时间无限长时，典型高斯分布的波形偏度为 0。

注 2：偏度计算见公式(2)。

$$\text{skewness} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3 \cdot \frac{1}{\sigma^3} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

σ —— N 个样本点的标准偏差值；

x_i —— N 个样本点中的单个值；

\bar{x} —— N 个样本点的平均值。

3.41

β 分布 beta distribution

定义在区间[0 1]中、由两个取正值的形状参数(由 α 和 β 表示)确定的概率分布族,它们以随机变量的指数形式出现并控制分布的形状。

如图 4 所示：

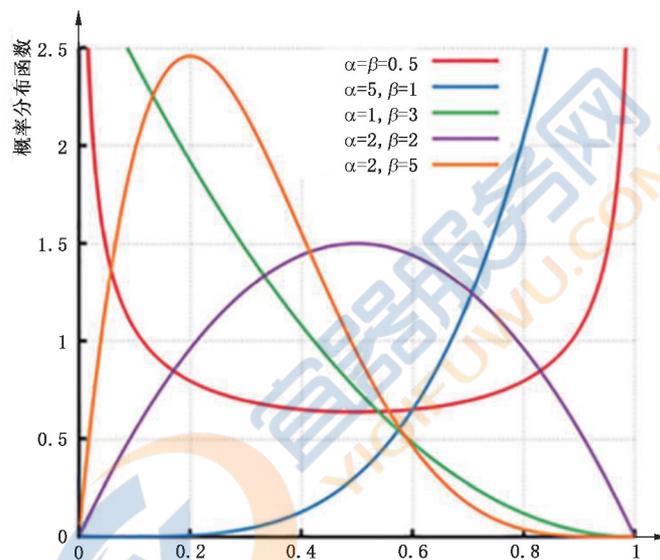


图 4 不同 α 和 β 值的 β 分布示例

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：

- a) 用低量级的正弦激励或随机激励进行初始振动响应检查(见 8.2)；
- b) 用随机激励进行机械载荷或应力试验；
- c) 最终振动响应检查,与初始响应检查的结果比较,可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的数据时,有关规范规定在试验前后不用进行振动响应检查。

对于非高斯试验,测试设备应能产生精确的概率分布和峰值因子的信号。通常,非高斯随机振动试验应使用为高斯随机振动试验而设计的振动器和放大器系统,但其峰值因子能力会增加。

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,且相对于激励方向处于同一直线上。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用监测。

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 中选择的曲线时应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

测量系统的特性应使其能准确判断,在基准点给定轴向测得的振动实际值是否在试验所要求的容差范围内。

整个测量系统包括传感器、信号调理器和数据采集与处理装置,其频率响应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平坦,并在 $\pm 5\%$ 以内。任何超出该范围的偏差应记录于报告中。

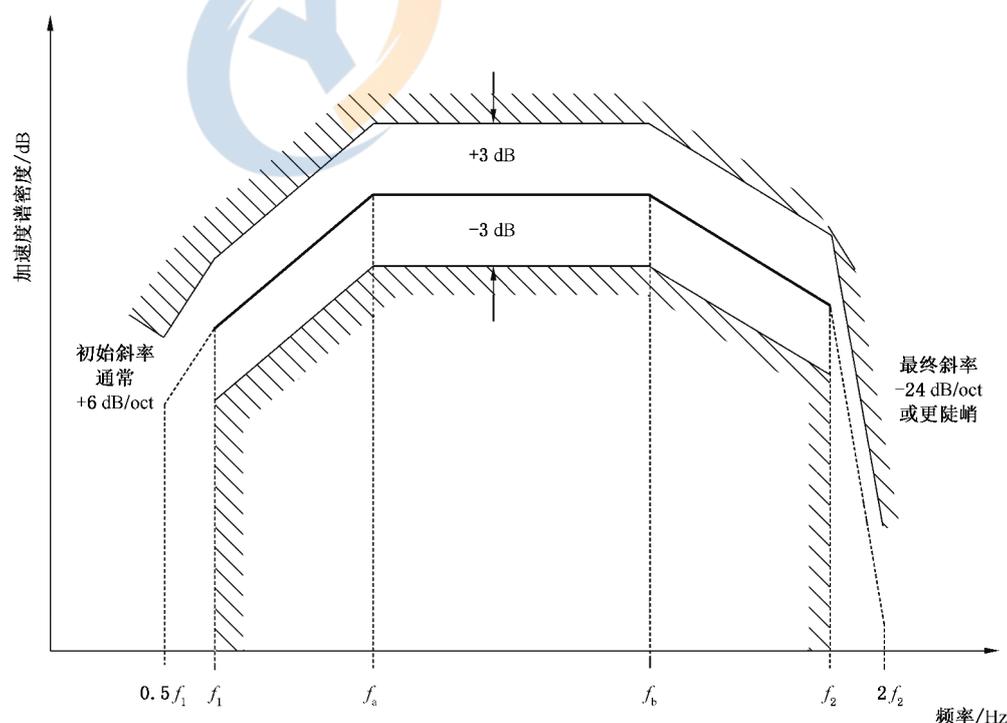


图 1 加速度谱密度的容差范围、初始斜率与最终斜率(参见 B.2.3)

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应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)。

驱动信号削波系数至少应为 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)。

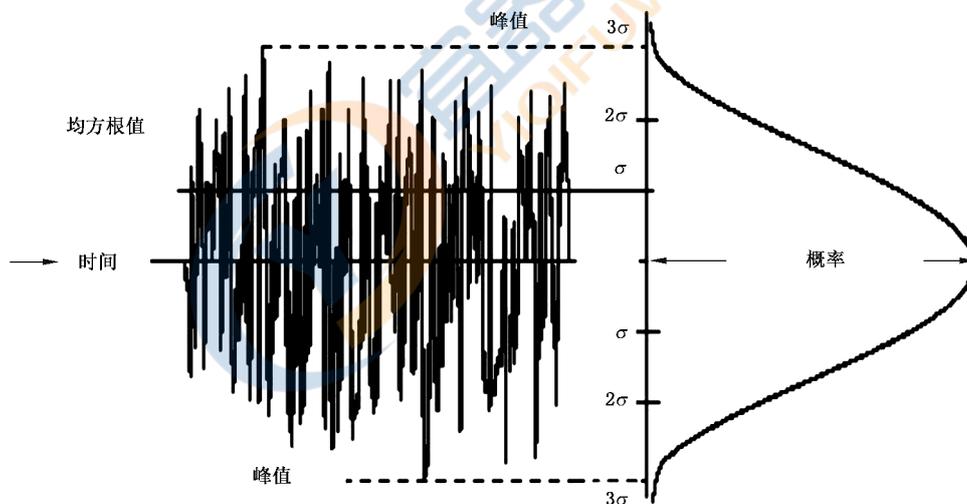


图 2 随机激励时间历程——高斯(正态)分布概率密度函数
(以峰值因子=3 为例,见 3.14 和 4.6.2)

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)。统计自由度由公式(3)给出:

$$N_d = 2B_e \times T_a \dots\dots\dots (3)$$

式中:

B_e ——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。

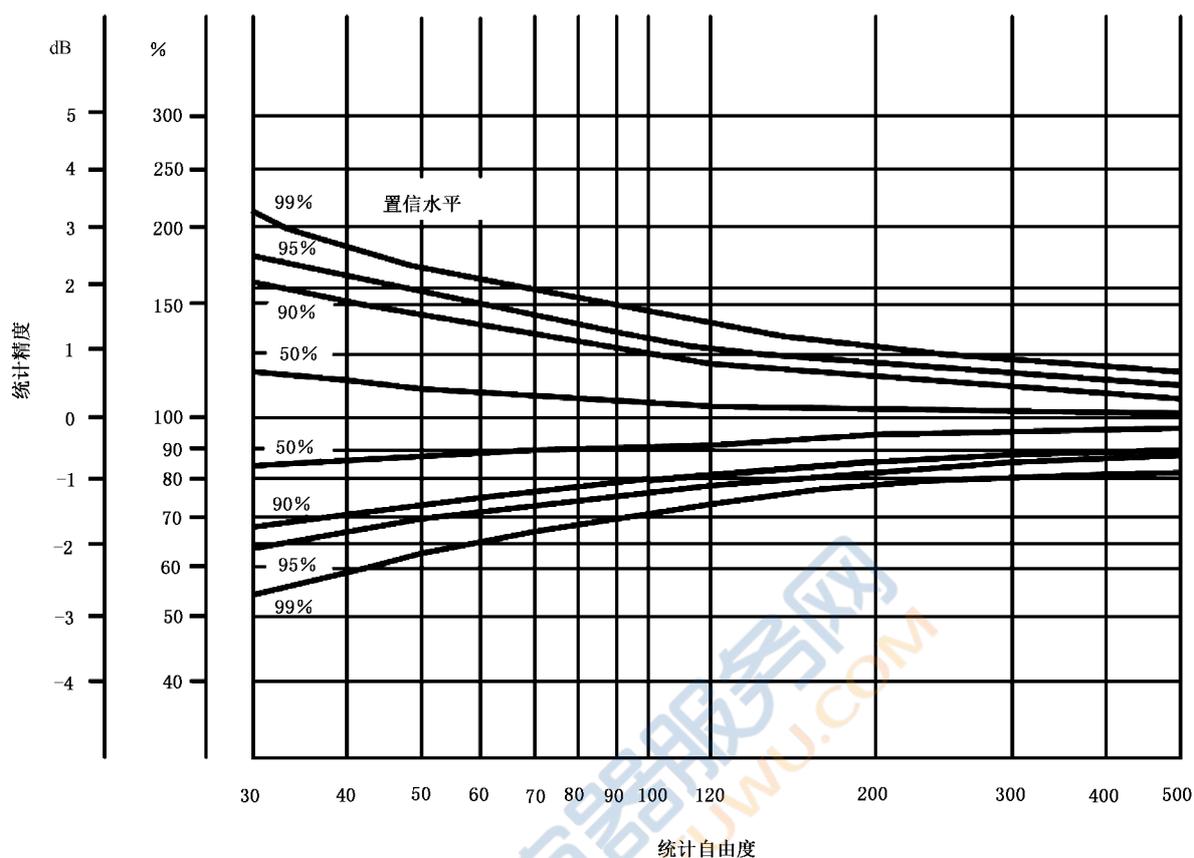


图3 在不同置信水平下加速度谱密度的统计精度与自由度的关系(见 4.6.3)

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要的频率分辨率 B_e ，应按数字式振动控制仪的频率范围除以谱线数(n)来选取。频率分辨率计算见公式(4)。

$$B_e = f_{\text{high}}/n \quad \dots\dots\dots(4)$$

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 f_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_e 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 $0.5 f_1$ 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_e 。

注：需在精确的 B_e 和粗略的 B_e 之间有折中，精确的 B_e 会导致较长的循环控制时间和较好的谱线定义，粗略的 B_e 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应记录在报告中。

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 ，见公式(5)。

$$a_c = (w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \dots + w_n \times a_n) / (w_1 + w_2 + \dots + w_n) \dots\dots\dots (5)$$

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，本文件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。它们应从下列方法选取：

- 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(所有部分)]。

对于非高斯振动试验,其试验严酷等级由与宽带高斯振动试验相同的参数确定,但应增加以下内容:

- 拟进行的非高斯试验的类型(参见附录 C);
- 所要的概率分布或峰度(和偏度,如适用);
- 所要的峰值因子。

5.1 试验频率范围

如果选择了上述 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

如果选择了上述 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 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。应从 5.1、5.2 和 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 $\pm 5\%$ 。

- 1; 2; 5; 10; 20; 30; 60(以 min 为单位)。
- 2; 5; 8; 12; 24(以 h 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进行目视检查,对尺寸和功能进行检测。

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,应在所规定的频率范围内,检查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,本文件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。振幅应转换为随机试验的加速度均方根值,以防止试验样品承受高于随机试验期间的应力。应采用 1 oct/min 的扫频速率来确定共振的频率与振幅。如果担心激发结构的充分谐振,则可在感兴趣的频率范围内采用更快的扫频速率来作为共振的频率和相对幅值的指标。在已知的共振处可采用更低的扫描频率或来回扫描的方法进行检查,但应限制最小时间,以确保获得所要求的结果。不应驻留时间过长,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,应确保足够长的时间,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。在最低共振频率响应峰值的-3 dB 带宽内至少有 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%。持续时间应选取较短的长度,但至少应足够长以保证自由度(DOF)至少达到 120(见图 3)。如果定期观察和记录满量程试验中的共振响应,则不用进行特殊共振检查。

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临界频率,然后记录在试验报告中。

8.3 试验前低量级激励均衡

在以规定值进行随机振动试验之前,为了均衡信号和进行初步分析,可能有必要对实际试验样品进行低量级的初始激励。重要地是在这个阶段施加可适用的最小加速度谱密度。

随机激励允许的持续时间如下:

- 低于规定均方根值的-12 dB: 无时间限制;
- 规定均方根值的-12 dB~-6 dB 之间: 不超过规定试验时间的 1.5 倍;
- 规定均方根值的-6 dB~0 dB 之间: 不超过规定试验时间的 10%。

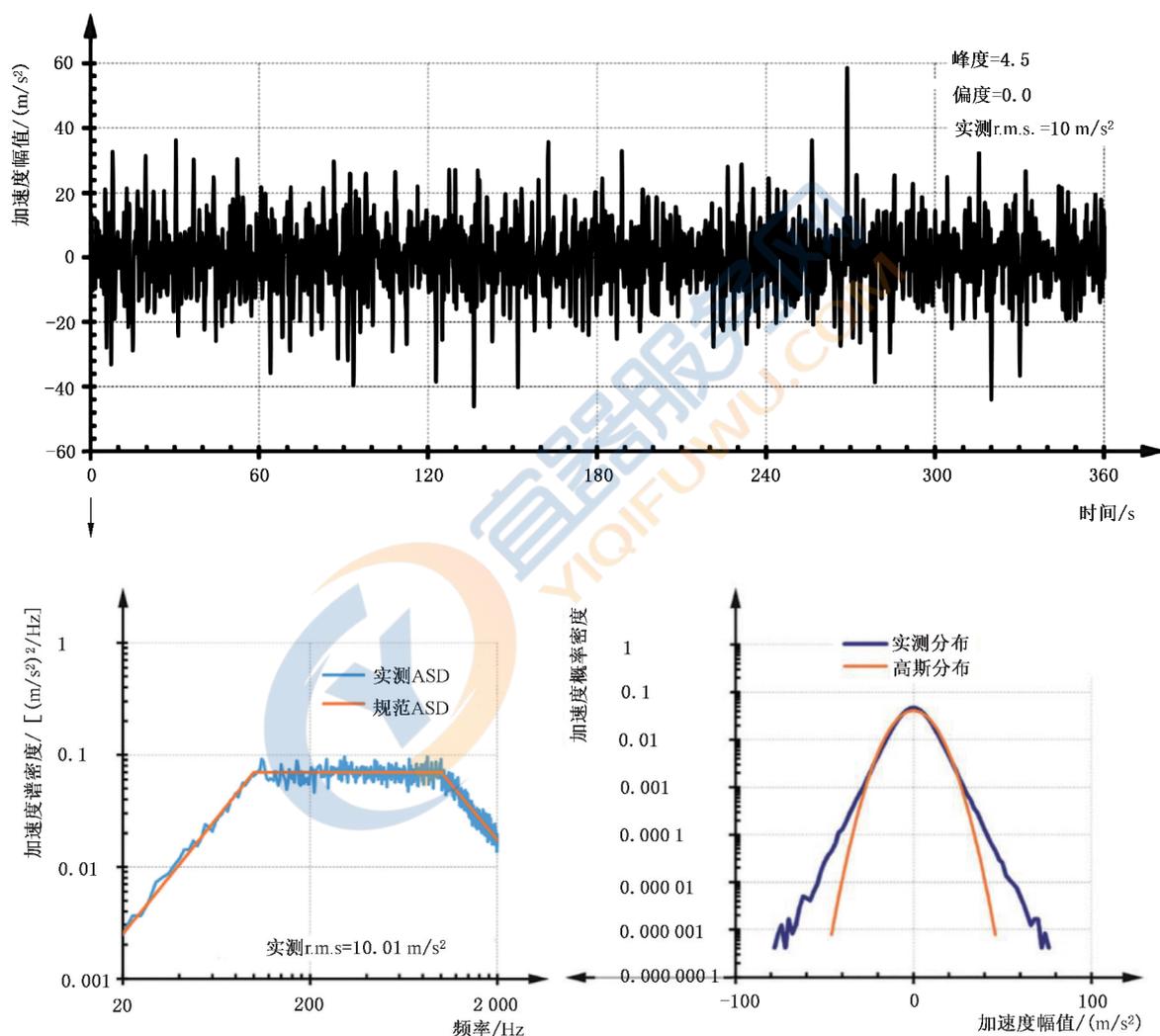
随机振动试验的规定时间不应扣除预试验的持续时间。

8.4 随机试验

8.4.1 通则

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。

对于非高斯振动试验,应记录时间历程,并按按照相关规范要求确定峰度、偏度(如适用)和振幅概率密度(见图5)。



注 1: 峰度=4.5(见 3.39)。

注 2: 偏度=0.0(见 3.40)。

图 5 非高斯激励的时间历程——概率密度函数与高斯(正态)分布的比较

8.4.2 中间检测和功能检测

如有关规范规定,在试验过程中试验样品应在规定的时间间隔内工作,并进行性能检测(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,可能要在随机振动试验完成后进行一次额外的振动响应检

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。应采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 给出了如何利用振动响应变化(如临界频率的变化)的使用指南。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应有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,应给出下列细节,要特别注意带(*)的条款,因为这些条目总是必要的。

	对应章节号
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) 为进行大尺寸或高质心样品试验而用的振动容差	4.6
h) 峰值因子/振幅分布,峰度和偏度(如适用)/驱动信号削波系数	5.3
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	第 6 章
q) 初始检测 *	第 7 章
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) 测试系统的不确定度	B.1
y) 性能和功能检测	第 10 章

12 试验报告应给出的信息

试验报告最少要包括以下信息。

- a) 用户:名称和地址。
- b) 实验室: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、数量、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,测试系统的不确定度: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: 试验需要做记录,内容需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。

附录 A
(资料性)
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。

A.1 运输

试验谱——运输参见图 A.1、表 A.1 和表 A.2。

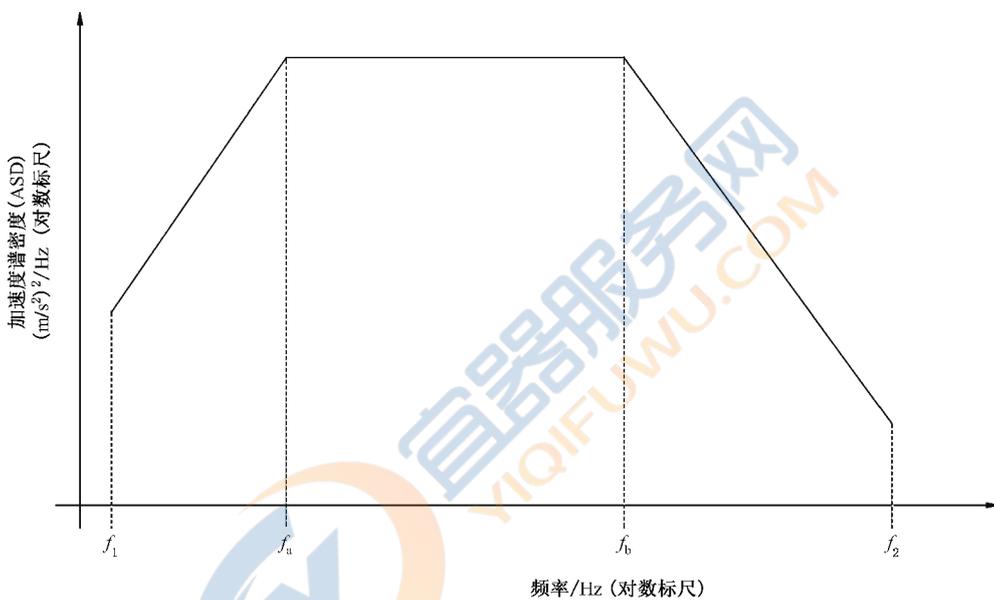


图 A.1 频率/振幅拐点——运输

表 A.1 试验谱类型——运输

序号	类型			
	描述	每个轴向的建议持续时间 h	轴向 数量	规范/引用文件
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
1 b	水平	1	2	源于 MIL-STD-810F
2	运输,水陆,恶劣环境 硬牵引挂车	0.5	3	—
3	通信设备;便携非固定使用; 粗率地装卸和搬运	0.5	3	ETSI EN 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 Hz	ASD f_1 (m/s ²) ² /Hz	f_a Hz	f_b Hz	ASD f_a, f_b (m/s ²) ² /Hz	f_2 Hz	ASD f_2 (m/s ²) ² /Hz	$a_{r.m.s}$ 值 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, 详见本文件。

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。

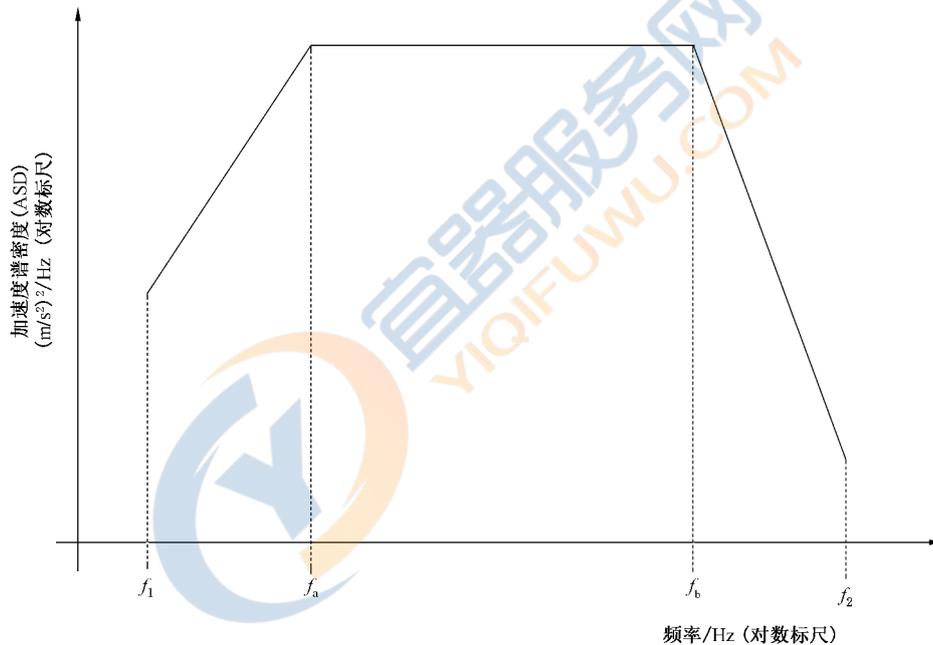


图 A.2 固定安装谱线——频率/振幅断点

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 h	轴向数量	规范/引用文件
1	通信设备;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 300 019-2-3-2013,T 3.2
2	通信设备;有气候防护条件固定使用;有防护的位置;在工作状态。 注: 有明显的不是由外部引起的振动的建筑物。	0.5	3	ETSI EN 300 019-2-3-2013,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 Hz	ASD f_1 (m/s ²) ² /Hz	f_a Hz	f_b Hz	ASD f_a, f_b (m/s ²) ² /Hz	f_2 Hz	ASD f_2 (m/s ²) ² /Hz	$a_{r.m.s.}$ 值 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

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。

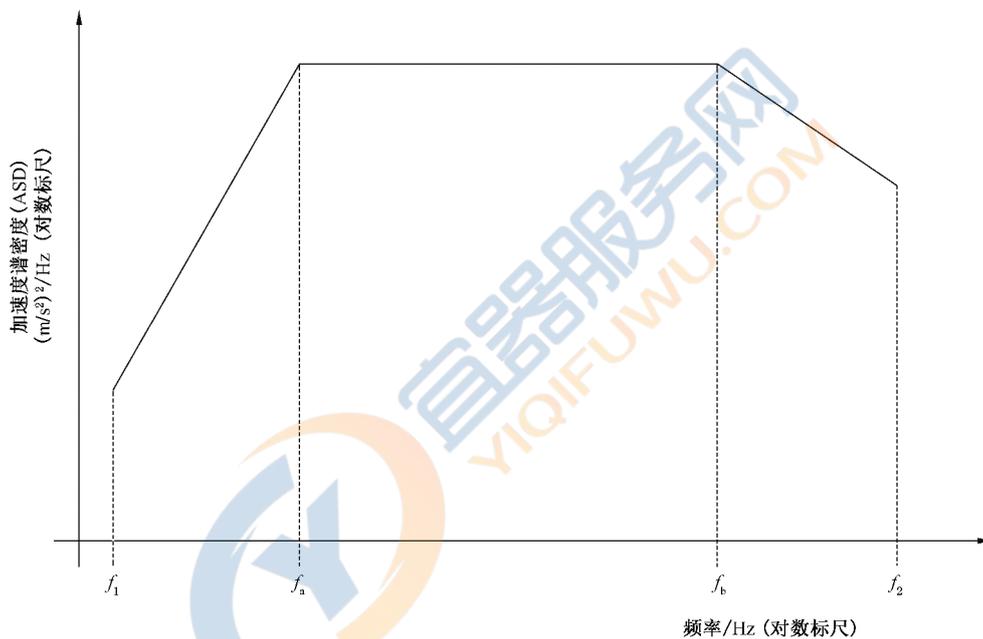


图 A.3 轮式车设备——频率/振幅断点

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 h	轴向数量	规范/引用文件
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	

表 A.5 试验谱类型——安装在轮式车的设备（续）

序号	类型			
	描述	每个轴向的建议持续时间 h	轴向数量	规范/引用文件
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		5	1	
4 c		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		5	1	
5 c		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 Hz	ASD $u_{ij} f_1$ (m/s ²) ² /Hz	f_a Hz	f_b Hz	ASD f_a, f_b (m/s ²) ² /Hz	f_2 Hz	ASD f_2 (m/s ²) ² /Hz	$a_{r.m.s.}$ 值 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

A.4 安装在飞机直升机的设备

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。

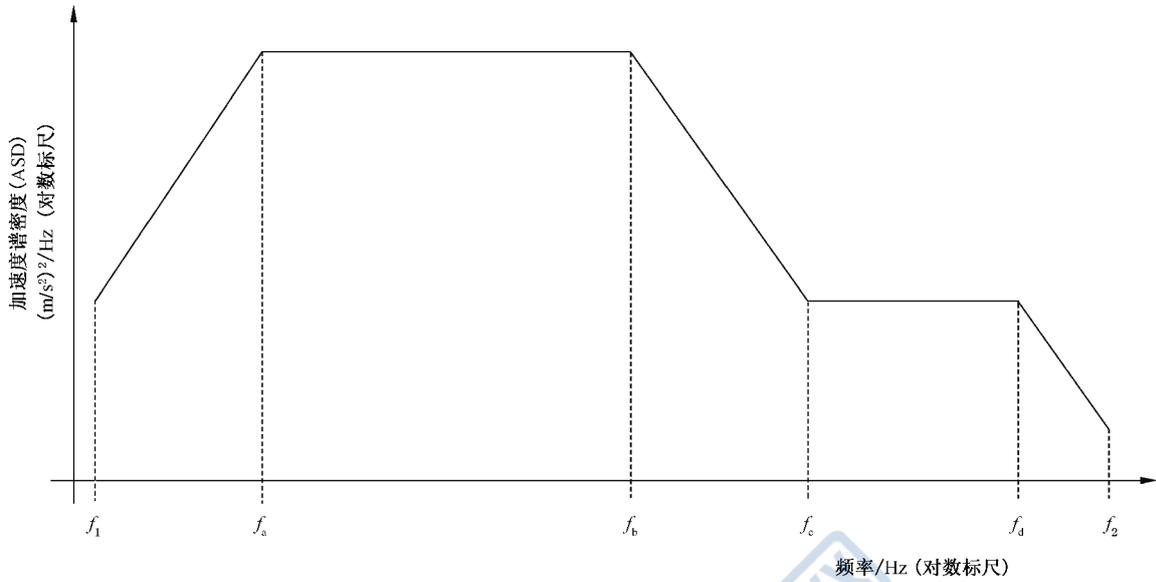


图 A.4 安装在飞机和直升飞机的设备

表 A.7 试验谱类型——安装在飞机和直升飞机的设备

序号	类型			
	描述	每个轴向的建议持续时间 h	轴向数量	规范/引用文件
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 Hz	ASD f_1 (m/s ²) ² /Hz	f_a Hz	f_b Hz	ASD f_a, f_b (m/s ²) ² /Hz	f_c Hz	f_d Hz	ASD f_c, f_d (m/s ²) ² /Hz	f_2 Hz	ASD f_2 (m/s ²) ² /Hz	$a_{r.m.s.}$ 值 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)

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 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应多次循环,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;但控制循环时间更长。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,上述试验参数应进行优化。

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,只用一个检查点,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,则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,它由公式(B.1)定义:

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

式中:

- $p(\chi)$ ——概率密度;
- σ ——驱动信号均方根值,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。

本文件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 初始和最终斜率

本文件要求在 f_1 和 f_2 频率范围内的加速度谱密度为平直谱(参见 A.2~A.5)。然而,实际试验必定有初始和最终斜率。为了使加速度的均方根值尽可能接近规定值,斜线尽可能的陡。

通常初始斜率不小于 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_c 。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,那么试验只要持续一段时间,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,试验将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,可在规定的不同试验等级下进行不带减振器的设备试验。宜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,宜参见 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,有关规范宜规定选用的严酷等级。

B.4 通常使用减振器设备

B.4.1 减振器的传递系数

对于本应带减振器进行试验但试验时减振器无法参试的情况,IEC 60068-2-47 提供了完整的处理方法。

B.4.2 温度影响

需要重点关注的是,许多减振器包含力学特性对温度敏感的材料。如果装上减振器后样品的一阶共振频率在试验频率范围内,则格外谨慎的确定施加激励的时间长度。当然在某些情况下,以不允许恢复的连续激励方式进行试验可能是不合理的。如果一阶共振频率的实际激励时间分布已知,则尝试对其进行模拟计算。如果实际的时间分布是未知的,则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具有广泛的应用范围。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则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其固有的机械鲁棒性则可根据设计要求确定。

在试验等级和真实环境间提供一个充分的安全区域内确定试验严酷等级。

B.6 设备性能

如适用,则在整个试验期间或在试验的适当阶段使样品在工作条件下以典型方式工作。

对于振动可能影响接通和断开功能的样品,例如对继电器工作的影响,重复这种功能测试进行以证明该性能可满足要求。

如果试验仅是为了证明样品不被破坏的能力,则宜在振动试验完成后评估样品的功能性能。

B.7 初始和最终检查

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,检测还可包括电气、机械操作性能和结构的特性。

附录 C

(资料性)

非高斯分布/高峰度过试验导则

C.1 非高斯随机振动

通常,随机振动试验利用设置了波形的峰值因子的振幅的高斯分布,以便在三部标准差附近截断振幅分布。近年来,已经出现了不同的技术可得到所要的加速度谱密度,但是会对波形分布进行修改使得产生高振幅的概率增大。通常,这会导致统计量的第四阶统计矩(峰度)分布大于正态分布或高斯分布。因此,该方法有时称为高峰度过或非高斯振动试验。通过一些已有的技术,也可使用峰度小于高斯分布的峰度和/或具有非零偏度的波形。

在许多情况下,高峰度过或非高斯振动试验可能是有利的,典型的应用是当振动和冲击同时发生时。当设备在陆地车辆上运输或安装在陆地车辆上时,通常会发生这种情况。在这种情况下,可能要将适当较大幅值的分量随机或伪周期性地叠加到波形中。高峰度过或非高斯振动试验也可用于复制中等振幅反复冲击的影响,例如在设备松动或经历“嘎嘎作响”时发生的影响。在这种情况下,可使用具有高峰度和非零偏度的波形。

本文件传统的宽带随机振动试验方法也可用于高峰度过或非高斯振动试验,只要稍作修改即可。

除有关规范明确规定,否则不使用高峰度过或非高斯振动试验代替传统的宽带高斯振动试验。

C.2 产生非高斯随机振动的方法

C.2.1 通则

高峰度过或非高斯振动试验大多采用与传统宽带高斯振动试验相同的控制方法。此外,振动控制用于建立非高斯波形的技术与高斯振动试验基本相同,但通常还要额外的步骤。

当前,存在不同的技术可用于将高斯波形修改为非高斯波形。不同的技术可能会产生明显不同的波形,仅指定加速度谱密度、偏度和峰度不足以产生具有相同特性的波形。因此,即使试验严酷等级相同,这些技术也不是一定可互换的,并且可能通过不同的技术来激发不同的故障模式。因此,在试验过程中记录和解释时间历程特性至关重要。

下面给出了将高斯波形修改为非高斯波形的三种方法的相关信息。注意这三种不同的方法仅作为对没有经验的规范编制人员提供说明指导。可用的方法不限于所描述的方法,并且确实存在许多其他方法和变式,它们也可用于有效地实现本文件的非高斯振动试验。

本附录描述的方法如下:

- 调幅技术;
- 相位修改技术;
- 非均匀相位技术。

用于生成非高斯波形的最合适技术的选择将取决于所要波形的应用和特性。本附录没有针对特定应用的最合适技术提出建议。任何选择由相关规范给定。

C.2.2 调幅技术

通常,通用宽带高斯数字随机振动测试控制器使用均匀分布的随机变量,通过使频谱的相位分量随机化来生成所要的波形。通过逆傅立叶变换将该频谱转换为波形,通常将乘以窗函数并进行时间上的叠加处理随机波形累加,形成振动激励系统的近似稳态输入。其中窗函数相乘可实现两个目标:扩展频

谱线,窗将泄漏限制到附近的频率。如果选择了合适的窗口和叠加方式,则结果可是真正固定的。如果叠加方式对于给定的窗口而言不足,则数据可能会稍微不稳定,其持续时间等于叠加持续时间。

生成非高斯波形的调幅方法与上述方法相似,不同之处在于窗口的振幅是随机变量。该随机变量的分布可来自任何分布,如果使用 β 分布,则可有效地限制峰度。

调幅技术如下。

- a) 产生具有明确频谱的波形。
- b) 产生零偏度的波形。
- c) 产生具有相对较长的高振幅“突发”波形。因此,产生较长的持续时间的波形以准确估计峰度。持续时间短的波形的峰度将有很大的不同。
- d) 可使用定义分布(例如带有 β 分布的参数)来控制波形的峰度。增加 β 分布的标准偏差会单调增加峰度。这使得选择特定峰度的参数的迭代过程相对简单。

C.2.3 相位改变技术

产生非高斯振动的另一种方法是像前文的技术一样在初始阶段从均匀分布中设置频谱的相位,随后,使用优化程序修改相位,使目标峰度和偏度与生成的波形之间的差异最小。

相位改变技术:

- a) 可产生峰度小于3和大于3的波形;
- b) 可产生偏度不为零的波形;
- c) 计算量大。

C.2.4 非均匀相位技术

如果为频谱选择的值是从非均匀分布中选择的,则所得波形将具有非高斯峰度和偏度统计量。

例如,如果从 β 分布中选择相位值,则在0到 2π 的范围内取值,平均值将为 π 。如果 β 分布的两个参数(α 和 β)相等且为正值,则分布将对称于平均值。如果 $\alpha=\beta=1$,则得到均匀分布。随着 α 和 β 值的增大,分布开始接近高斯分布,其方差随着 α 和 β 值的增大而减小。

当频谱的所有相位角为0时,波形的峰值振幅将是可能的最大值。相位角的分布从均匀分布变为 π 处集中,将增大最大峰值,因而使峰度变大。这可通过方差减小(α 和 β 增大)的 β 分布来实现。

甚至可使 β 参数($\alpha=\beta$)成为频率的函数,这样峰度将是频率的函数。这可用于产生在低频近似高斯但在高频具有大峰度的波形。

通过改变合成波形加窗、叠加和相加的方式,可实现对该技术的改变。这些可用于控制扩展波形中出现峰值的位置。这样,峰值可随机或伪周期出现。

非均匀相位技术。

- a) 只能产生峰度大于或等于3的波形。
- b) 只能生成负偏度和正偏度的波形。
- c) 产生的波形具有比高斯分布预期的多个短持续时间偏移。这些偏移的频率可随机或准持时的方式控制。
- d) 计算效率高。

C.3 附加分析

当进行非高斯或高峰度试验时,相关规范可指定导出波形的其他参数。这些附加参数不用于控制测试波形,而是用于建立波形的附加特性,可用于与感知损坏标准进行比较。取决于所关注的损伤标准,可使用不同的附加波形参数。可考虑以下几个或所有参数:

- a) 循环计数;

- b) 雨流计数；
- c) 量级穿越计数；
- d) 最大响应谱(MRS)；
- e) 疲劳损伤谱(FDS)；
- f) 时间矩。

如果出于比较的原因,它们的设置和边界定义通常不被定义,那么概率密度和其他方法可产生显著不同的结果(见 DIN 45667:1969-10)。

C.4 频率范围

相关规范可说明非高斯分布具有显著影响的频率范围。该频率范围的高频可能特别与包含高频高振幅事件的非高斯波形相关。这是因为为了充分定义此类事件,试验频率范围的上限频率应大于等效常规高斯振动试验通常所要的频率。还有一些用于产生非高斯随机振动的技术,专门地对可用频率范围的较低频率施加限制,从而防止以低频为特征的过度冲击。



附录 NA

(资料性)

GB/T 2423 的组成文件

除本文件外,GB/T 2423 的组成文件如下:

GB/T 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 A:低温(IEC 60068-2-1:2007,IDT)

GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 B:高温(IEC 60068-2-2:2007,IDT)

GB/T 2423.3—2016 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Cab:恒定湿热试验(IEC 60068-2-78:2012,IDT)

GB/T 2423.4—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Db 交变湿热(12h+12h 循环)(IEC 60068-2-30:2005,IDT)

GB/T 2423.5—2019 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ea 和导则:冲击(IEC 60068-2-27:2008,IDT)

GB/T 2423.7—2018 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ec:粗率操作造成的冲击(主要用于设备型样品)(IEC 60068-2-31:2008,IDT)

GB/T 2423.10—2019 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fc:振动(正弦)(IEC 60068-2-6:2007,IDT)

GB/T 2423.15—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ga 和导则:稳态加速度(IEC 60068-2-7:1986,IDT)

GB/T 2423.16—2022 环境试验 第2部分:试验方法 试验 J 和导则:长霉(IEC 60068-2-10:2018,IDT)

GB/T 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ka:盐雾(IEC 60068-2-11:1981,IDT)

GB/T 2423.18—2021 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Kb:盐雾,交变(氯化钠溶液)(IEC 60068-2-52:2017,IDT)

GB/T 2423.19—2013 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Kc:接触点和连接件的二氧化硫试验(IEC 60068-2-42:2003,IDT)

GB/T 2423.20—2014 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Kd:接触点和连接件的硫化氢试验(IEC 60068-2-43:2003,IDT)

GB/T 2423.21—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 M:低气压(IEC 60068-2-13:1983,IDT)

GB/T 2423.22—2012 环境试验 第2部分:试验方法 试验 N:温度变化(IEC 60068-2-14:2009,IDT)

GB/T 2423.23—2013 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Q:密封(IEC 60068-2-17:1994,IDT)

GB/T 2423.24—2022 环境试验 第2部分:试验方法 试验 S:模拟地面上的太阳辐射及太阳辐射试验和气候老化试验导则(IEC 60068-2-5:2018,IDT)

GB/T 2423.27—2020 环境试验 第2部分:试验方法 试验方法和导则:低温/低气压或温度/湿度/低气压综合试验(IEC 60068-2-39:2015,IDT)

GB/T 2423.28—2005 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 T:锡焊(IEC 60068-

GB/T 2423.56—2023/IEC 60068-2-64:2019

2-20:1979, IDT)

GB/T 2423.30—2013 环境试验 第2部分:试验方法 试验XA和导则:在清洗剂中浸渍 (IEC 60068-2-45:1980/Amd 1:1993, MOD)

GB/T 2423.32—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Ta:润湿称量法可焊性 (IEC 60068-2-54:2006, IDT)

GB/T 2423.33—2021 环境试验 第2部分:试验方法 试验Kca:高浓度二氧化硫试验

GB/T 2423.34—2012 环境试验 第2部分:试验方法 试验Z/AD:温度/湿度组合循环试验 (IEC 60068-2-38:2009, IDT)

GB/T 2423.35—2019 环境试验 第2部分:试验和导则 气候(温度、湿度)和动力学(振动、冲击)综合试验 (IEC 60068-2-53:2010, IDT)

GB/T 2423.37—2006 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验L:沙尘试验 (IEC 60068-2-68:1994, IDT)

GB/T 2423.38—2021 环境试验 第2部分:试验方法 试验R:水试验方法和导则 (IEC 60068-2-18:2017, IDT)

GB/T 2423.39—2018 环境试验 第2部分:试验方法 试验Ee和导则:散装货物试验包含弹跳 (IEC 60068-2-55:2013, IDT)

GB/T 2423.40—2013 环境试验 第2部分:试验方法 试验Cx:未饱和和高压蒸汽恒定湿热 (IEC 60068-2-66:1994, IDT)

GB/T 2423.41—2013 环境试验 第2部分:试验方法 风压

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 2423.45—2012 环境试验 第2部分:试验方法 试验Z/ABDM:气候顺序 (IEC 60068-2-61:1991, MOD)

GB/T 2423.47—2018 环境试验 第2部分:试验方法 试验Fg:声振 (IEC 60068-2-65:2013, IDT)

GB/T 2423.48—2018 环境试验 第2部分:试验方法 试验Ff:振动 时间历程和正弦拍频法 (IEC 60068-2-57:2013, IDT)

GB/T 2423.50—2012 环境试验 第2部分:试验方法 试验Cy:恒定湿热主要用于元件的加速试验 (IEC 60068-2-67:1995, IDT)

GB/T 2423.51—2020 环境试验 第2部分:试验方法 试验Ke:流动混合气体腐蚀试验 (IEC 60068-2-60:2015, IDT)

GB/T 2423.52—2003 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验77:结构强度与撞击 (IEC 60068-2-27:1999, IDT)

GB/T 2423.53—2005 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Xb:由手的磨擦造成标记和印刷文字的磨损 (IEC 60068-2-70:1995, IDT)

GB/T 2423.54—2022 环境试验 第2部分:试验方法 试验Xc:流体污染 (IEC 60068-2-74:2018, IDT)

GB/T 2423.55—2023 电工电子产品环境试验 第2部分:环境测试 试验Eh:锤击试验 (IEC 60068-2-75:2014, IDT)

GB/T 2423.56—2023 环境试验 第2部分:试验方法 试验Fh:宽带随机振动和导则 (IEC 60068-2-64:2019, IDT)

GB/T 2423.57—2008 电工电子产品环境试验 第2-81部分:试验方法 试验Ei:冲击 冲击响应谱合成 (IEC 60068-2-81:2003, IDT)

GB/T 2423.58—2008 电工电子产品环境试验 第 2-80 部分:试验方法 试验 Fi:振动 混合模式(IEC 60068-2-80:2005, IDT)

GB/T 2423.59—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Z/ABMFh:温度(低温、高温)/低气压/振动(随机)综合

GB/T 2423.60—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 U:引出端及整体安装件强度(IEC 60068-2-21:2006, IDT)

GB/T 2423.61—2018 环境试验 第 2 部分:试验方法 试验和导则:大型试件沙尘试验

GB/T 2423.62—2018 环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Fx 和导则:多输入多输出振动

GB/T 2423.63—2019 环境试验 第 2 部分:试验方法 试验:高温(低温、高温)/低气压/振动(混合模式)综合

GB/T 2423.64—2023 环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Fj:振动 长时间历程再现(IEC 60068-2-85:2019, IDT)

GB/T 2423.101—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验:倾斜和摇摆

GB/T 2423.102—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验:温度(低温、高温)/低气压/振动(正弦)综合



参 考 文 献

- [1] 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
- [2] 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
- [3] IEC 61373 Railway applications—Rolling stock equipment—Shock and vibration tests
- [4] ISO/IEC 17025 Accreditation criteria for the competence of testing and calibration laboratories
- [5] EN 61373 Railway applications—Rolling stock equipment—Shock and vibration tests
- [6] ENV 13005 Guide to the expression of uncertainty in measurement
- [7] DIN 45667:1969-10 Classification methods for evaluation of random vibrations
- [8] ETSI EN 300 019-2-3-2013 Environmental Engineering (EE)—Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment—Part 2-3: Specification of environmental tests—Stationary use at weather-protected locations
- [9] ETSI EN 300 019-2-7-2013 Environmental Engineering (EE)—Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment—Part 2-7: Specification of environmental tests—Portable and non-stationary use
- [10] LALANNE, C. Mechanical Vibration and Shock Analysis, Volume 5: Specification Development, Second Edition, ISTE—Wiley, 2009
- [11] MCNEILL Scot I. Implementing the Fatigue Damage Spectrum and Fatigue Damage Equivalent Vibration Testing, 79th Shock and Vibration Symposium, October 26-30, 2008, Orlando Florida, USA.
- [12] MIL-STD-810F Test method standard for environmental engineering considerations and laboratory tests
- [13] RTCA-DO-160D 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—2023/IEC 60068-2-64:2019

*

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.net.cn

服务热线:400-168-0010

2023年9月第一版

*

书号:155066·1-73312

版权专有 侵权必究



GB/T 2423.56-2023



码上扫一扫 正版服务到