



中华人民共和国国家标准

GB/T 2423.64—2023/IEC 60068-2-85:2019

环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fj:振动 长时间历程再现

Environmental testing—Part 2: Test methods—
Test Fj: Vibration—Long time history replication

(IEC 60068-2-85:2019, Environmental testing—
Part 2-85: Tests—Test Fj: Vibration—Long time history replication, IDT)

2023-09-07 发布

2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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	2
4 试验要求	3
5 严酷等级	4
6 预处理	4
7 初始检测和功能检测	4
8 试验	4
9 恢复	6
10 最终检测和功能检测	6
11 有关规范应给出的信息	6
12 试验报告应给出的信息	7
附录 A (资料性) 导则	8
附录 NA (资料性) GB/T 2423 的组成文件	12
参考文献	15

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 64 部分。GB/T 2423 已经发布的部分见附录 NA。

本文件等同采用 IEC 60068-2-85:2019《环境试验 第2-85部分：试验 试验 Fj：振动 长时间历程再现》。

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 Fj：振动 长时间历程再现》；
- b) 增加了资料性附录 NA“GB/T 2423 的组成文件”。

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：北京航空航天大学、北京强度环境研究所、江苏瑞蓝自动化设备集团有限公司、国可工软(苏州)科技有限公司、广东莱伯通试验设备有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、北京卫星环境工程研究所、杭州亿恒科技有限公司、广州大学、西安光麒科技有限公司。

本文件主要起草人：吴飒、韦冰峰、张俊刚、解禾、叶建华、徐忠根、汪卫华、陈云斌、李盛峰、黄连生、沈晓媛。

引 言

振动环境是最基本和最常见的机械环境,根据振动环境的特性的不同,GB/T 2423《环境试验 第2部分:试验方法》系列标准给出了多种振动试验方法,例如 GB/T 2423.10[试验 Fc:振动(正弦)]针对较长持续时间的周期振动,GB/T 2423.48(试验 Ff:振动 时间历程和正弦拍频法)针对持续时间较短的瞬态振动,GB/T 2423.56(试验 Fh:宽带随机振动和导则)针对较长持续时间的稳态随机振动,GB/T 2423.58(试验方法 试验 Fi:振动 混合模式)针对的是在宽带随机背景上叠加正弦或窄带随机的混合振动信号。当样品受到的动态振动环境可被这些试验方法涵盖,通常推荐使用它们。关于如何估算样品的动态振动环境以及在此基础上选择合适的试验方法,参见 GB/T 2424.26《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》。

当元件、设备和其他产品在其寿命期内可能经历的振动的特性不能被上述振动试验方法涵盖时,本文件给出了一种基于规定的时间历程通过数字控制进行振动试验的方法,其时间历程应有很长的持续时间。与大多数其他振动试验方法相比,本文件给出的试验方法是通过规定一个确定的时域历程信号来定义振动要求,因而在制定相关规范时可以更灵活地针对具体情况对振动条件进行规定,而且除了试验设备的技术限制外,对振动特性几乎没有限制。而正因为如此,很难用单一的形式给出试验严酷等级和容差要求。进行长时间历程再现试验总是需要用户和规范制定者进行高度的工程判断,需要由有关规范的编制人员来选择与样品及其用途相适应的试验程序、试验时间历程和严酷等级、容差以及分析方法。

环境试验 第2部分:试验方法

试验 Fj:振动 长时间历程再现

1 范围

本文件所提供的振动试验方法用于验证样品在承受以时间历程(长时间历程再现)来定义试验要求的规定振动试验时,耐受动态荷载而不出现不可接受的功能和(或)结构完整性退化的能力。这些时间历程可以来自实际测量记录的,也可以由人工生成。对于这两种情况,本试验方法为非常特殊应用进行试验剪裁提供了可能。

本方法的典型应用是当需要进行的瞬态确定性振动、周期振动或随机振动试验的运动特性非常特殊,其他的试验标准不能涵盖的情况,包括不能用 IEC 60068-2-27 的经典冲击,或 IEC 60068-2-81 的冲击响应谱,或 IEC 60068-2-6 的周期性正弦振动,或 IEC 60068-2-64 的高斯或非高斯(高峰值)宽带随机振动来充分表征的时间历程。当然,用户也都了解长时间历程再现所用的时间历程是确定性的,而任何一种随机振动的模拟都是用准随机来进行近似的。

此外,为了产生能够表征所需信号的时间历程,本试验方法可能会与其他方法混合使用,这种情况下试验将十分复杂。

本试验的目的不同于 IEC 60068-2-57。IEC 60068-2-57 的目的主要是利用合成时间历程对瞬态振动进行评价。而长时间历程再现试验主要是用在真实环境中测得的实际时间历程来进行耐久试验和功能试验。它也可作为一种模拟非高斯时间历程的方法。

本文件适用于在运输或使用环境中会经历具有非常特殊性质振动的样品,例如飞机、飞船或地面车辆中的产品。它主要用于没有包装的样品,以及带运输包装的样件,其包装作为样品本身一部分。

当然,对于带包装的样件,则将样件作为一个产品,样件连同其包装视作一个样品。对于带包装产品的试验,本文件与 GB/T 2423.43—2008 结合使用。

尽管本文件主要适用于电工电子产品,但并不局限于此,也适用于其他领域的产品(参见附录 A)。

本文件适用于单轴激励。

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。

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、冲击和类似动态试验用试件的安装 (Environmental testing—Part 2-47: Tests—Mounting of specimens for vibration, impact and similar dynamic tests)

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 60068-2-64 环境试验 第2-64部分:试验方法 试验 Fh:宽带随机振动和导则(Environ-

mental testing—Part 2-64; Tests—Test Fh; Vibration, broadband random and guidance)

注：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）

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。

3.1

横向运动 cross-axis motion

沿着非激励方向的运动，一般规定与激励方向正交的两个轴向。

注：横向运动宜靠近固定点测量。

[来源：GB/T 2423.56—2023, 3.1]

3.2

固定点 fixing point

样品与夹具或振动台接触的部分，在使用中通常是固定样品的地方。

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样品的固定点。

[来源：GB/T 2423.56—2023, 3.3]

3.3

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 3.4~3.6。

3.4

检查点 checkpoint

位于夹具、振动台面或样品上的点，尽可能靠近样品的固定点，而且在任何情况下都要和固定点刚性连接。

[来源：GB/T 2423.56—2023, 3.7, 有修改]

3.5

控制点 control point

从检查点中选出的点，其信号用于试验控制，以满足本文件的要求。

[来源：GB/T 2423.56—2023, 3.5 有修改]

3.6

响应点 response point

位于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控制点。

[来源：GB/T 2423.56—2023, 3.10]

3.7

优选试验轴 preferred testing axes

对应于样品最薄弱轴向的 3 个正交轴。

[来源：GB/T 2423.56—2023, 3.11]

3.8

规定时间历程 specified time history

数据文件，包含需要在试验中再现的随时间变化的数字化加速度值。

注：规定的时间历程通常是基于寿命期实际环境的数字化记录数据，为了能在振动台上再现而进行了适当的处理（如滤波）。

3.9

控制时间历程 control time history

在控制点处测得的时间历程,用以模拟规定的时间历程。

3.10

时间历程误差 error time history

规定时间历程与控制时间历程之间的差异。

3.11

均衡 equalization

使时间历程误差的均方根值最小化的过程。

3.12

均方根值 root-mean-square value**RMS value**

在整个 $f_1 \sim f_2$ 频率区间内,所有函数值平方的均值的平方根。

[来源:GB/T 2423.56—2023,3.33,有修改]

3.13

试验频率范围 test frequency range

在有关规范中给出的,用于进行控制的频率范围。

3.14

概率密度函数 probability density function

对于给定的幅值,实际幅值落在给定增量范围内的概率与该增量范围幅度之比。

3.15

最大响应谱 maximum response spectrum; MRS

在给定阻尼比的情况下,单自由度线性系统对振动激励响应的最高峰值随其固有频率变化的曲线。

注:响应用系统中的质量相对于支座之间的相对位移来描述。

3.16

疲劳损伤谱 fatigue damage spectrum; FDS

在给定阻尼比和材料参数 b 的情况下,单自由度线性系统所经历的累积疲劳损伤随其固有频率变化的频谱。

注:参数 b 来自于 Basquin 定律,用以表征结构材料的 Wöhler 曲线。

4 试验要求

4.1 一般要求

进行试验时,所要求的指标针对的是由功率放大器、振动激励器、夹具、样品和控制系统组成的整个振动系统。

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

- a) 用低量级正弦激励或随机激励进行的初始振动响应检查(见 8.2 和 A.1);
- b) 用长时间历程再现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进行比较,根据动态特性的变化找出可能出现的机械失效(见 8.2 和 8.5)。

当动态特性是已知且认为其不重要,或者在满量级试验时可收集到足够数据的情况下,有关规范可不必在试验前后进行振动响应检查。

4.2 基本运动

有关规范应规定样品固定点的基本运动。各个固定点的运动在相位和幅值上应大体相同,且应与激励在同一直线方向上。

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。

控制点上的横向运动最大值不应超过规定轴向的50%。对于尺寸大或质心高的样品,达到这一要求可能是困难的,在此情况下,有关规范应规定采用下列中的哪种要求:

- 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) 已知不会对样品造成损伤的横向运动不需监测。

4.4 安装

样品应按 IEC 60068-2-47 的要求安装。

4.5 测量系统

测量系统的特性应能确定控制点处给定轴向上测得的振动量级是否在试验所要求的容差范围内。

长时间历程再现的测量频率范围在高频部分要比常规的振动试验更宽。

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。测量系统在该频率范围内的频率响应曲线应平坦,偏差在±5%之内。任何超出该范围的偏差应记录于试验报告中,见 A.8。

5 严酷等级

试验参数应取决于进行试验的目的和产品的实际使用条件。试验时间历程通常基于现场使用条件下的测量数据。为了适应所使用的试验设备,可对试验时间历程进行编辑。在所进行的编辑不有损于试验目的实现的前提下,试验参数可包含时间历程的重复次数。

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样品的外观、尺寸和功能及其他进行检测。

8 试验

8.1 一般要求

试验根据有关规范规定的顺序进行,步骤如下:

- a) 如果有要求,进行初始振动响应检查;
- b) 以连续方式进入满量级试验前,用低量级激励进行均衡;

- c) 长时间历程再现试验;
- d) 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,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。若样品对重力敏感,如水银倾斜开关,振动只能以正常工作姿态进行,则应在有关规范中加以规定。

当带有减振器的样品需要进行不带减振器的试验时,有必要作特殊处理,见 A.3 和 A.4,也可参考 IEC 60068-2-47。

8.2 初始振动响应检测

有关规范可能会规定在各轴向的试验前或试验前后进行振动响应检查。

当有关规范有规定时,应在所定义的频率范围内,检查样品上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。应按照有关规范规定的试验频率范围和试验量级,用正弦或随机振动进行振动响应检查。正弦振动应参考 IEC 60068-2-6,随机振动应参考 IEC 60068-2-64。

关于各种方法的更多信息和优缺点,参见 IEC 60068-3-8。

进行振动响应检查所选择的试验量级应使得样品的响应低于长时间历程再现试验时的响应,但又要足够高以便测得关键频率。

当用正弦激励时,至少进行一次扫频循环。扫频范围应覆盖有关规范规定的试验频率范围,加速度幅值 $\leq 10 \text{ m/s}^2$ 或者位移幅值为 $\pm 1 \text{ mm}$,取较小者。应对振幅进行调整,以防止样品承受高于长时间历程试验中的应力。应采用 1 oct/min 的扫频速率来测定共振的频率和幅值。如果担心激发出结构的完全共振,则可在感兴趣的频率范围内采用更快的扫频速率来标记共振的频率和相对幅值。在已知的共振处可采用更低的扫频速率或来回扫频的方法进行检查,但为获得所需结果,扫频时间应限制至最短。要避免驻留时间过长。振幅可根据需要进行调整。

在进行正弦激励时,应当知道对于非线性情况,对应最大响应的频率会在扫频过程中随着扫频方向而变化。在进行随机激励时,非线性会影响共振的形态。对于随机和正弦激励,共振的放大倍数可能与振动输入幅值相关。

用随机振动进行响应检查时,应注意试验时间要足够长以减小响应中随机变化带来的影响。随机振动响应检查的频率范围应覆盖规定的试验频率范围。在最低共振频率响应峰值的 -3 dB 带宽内应至少有 5 条谱线。

当采用随机激励时,所选信号的加速度均方根值在样品上产生的应力不应超过长时间历程再现试验时的 25%。持续时间应尽可能短,但至少应足够长以保证数据分析所需要的自由度(DOF)至少达到 $=120$ 。如果在满量级试验中对共振响应进行定期观察和记录,则不需要特意安排共振检查。

有关规范若有要求,样品应在本次检查中处于工作状态。对于因样品工作而无法评定机械振动特性的情况,应在样品非工作状态下补充进行一次振动响应检查。在这个阶段,应检查样品以确定关键频率,并应记录在试验报告中。

对“未定义类型”的样品或包装进行振动响应检查时可能需要测量不同的信号如驱动力或速度。若有关规范有规定,应在试验前后计算样品的机械阻抗。

注:机械阻抗和其他类似术语的定义见 ISO 2041。

8.3 试验前低量级激励均衡

为了均衡信号和进行初步分析,在以规定量级进行长时间历程再现试验前,可能有必要对实际样品进行低量级的初始激励。重要的是在这个阶段施加的加速度量级尽可能小。

初始激励允许的持续时间如下。

- a) 低于规定量级的 -12 dB :无时间限制。

- b) 规定量级的 $-12\text{ dB}\sim-6\text{ dB}$ 之间:不超过规定试验时间的1.5倍。
- c) 规定量级的 $-6\text{ dB}\sim 0\text{ dB}$ 之间:不超过规定试验时间的50%。
- d) 初始激励超过规定量级 -6 dB 的持续时间应限定在用绝对时间给出的限制范围内保持最小值。不过,时间历程本身固有的复杂特性可能要求更长的初始激励时间。初始激励所用参数应记录并纳入试验报告中。
- e) 除非有关规范另有规定,初始激励的持续时间不应计入规定的试验时间。

8.4 样品工作的试验

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工作,并应进行性能检测。

8.5 最终振动响应检查

如有关规范要求初始响应检查,可能需要在长时间历程再现试验完成后再进行一次振动响应检查,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。应采用与初始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给出了利用振动响应变化(如关键频率的变化)的使用指南。如果在两次检查中得到的结果不同,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 最终检测和功能检测

应按有关规范的要求对样品的外观、尺寸和功能及其他进行检查。

有关规范应给出样品接收或拒收的判据。

对振动响应结果的评价见 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,当适用时应给出下列细节,要特别注意带星号(*)的条款,因为这些条款总是必需的。

- a) 控制点*(A.2.2,A.2.3);
- b) 测量点*(3.3);
- c) 基本运动*(4.2);
- d) 固定点*(3.2);
- e) 横向运动(4.3);
- f) 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(4.3);
- h) 试验频率范围*;
- i) 规定的时间历程及为达到要求的严酷度而使用的所有因子;
- j) 时间历程的持续时间及重复次数或试验总持续时间(A.3);
- k) 合适的间歇时间;
- l) 预处理(第6章);

- m) 初始检测 * (第 7 章);
- n) 优选的试验轴向和试验顺序 * (8.1);
- o) 初始和最终振动响应检查(8.2,8.5);
- p) 中间检测;
- q) 恢复(第 9 章);
- r) 最终检测和接收或拒收的判据(第 10 章);
- s) 测量系统的不确定度;
- t) 功能和功能检测(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:发布日期、唯一性编号。
- 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) 样品说明:初始状态、唯一编号、数量、照片、图纸等。
- h) 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,见 4.5。
- k) 有关规范若要求,测量系统的不确定度:总不确定度、校准数据、最后/下一校准期限。
- l) 初始/中间/最终检测。
- m) 试验规范文档:测量点、规定时间历程的文件名或文件号、控制时间历程文件名或文件号、试验持续时间、重复次数。
- n) 试验结果:样品状态的评价。
- o) 试验观察和措施。
- p) 试验摘要。
- q) 试验负责人:姓名和签字。
- r) 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: 参见 ISO/IEC 17025。

附 录 A
(资料性)
导 则

A.1 一般介绍

长时间历程再现试验方法使用测量得到的时间历程响应数据,通过振动激励器闭环控制的方式进行实验室试验。当需要在试验中保留复杂时间历程的特定细节,且只能通过直接再现实际使用载荷来实现时,长时间历程再现试验方法优于随机振动方法或冲击响应谱(SRS)方法。长时间历程再现试验的优点是由其导致的潜在损伤,即样品内部应力强度和其他内部载荷效应,与使用环境中的情况匹配性最高。另一个优点是,在考虑未知因素的影响并建立适当的置信限时,本方法可更方便地引入相关因子。

为了确保长时间历程再现试验条件在振动激励器的能力范围内,需要对测量得到的时间历程进行一些处理。典型地,可能有必要采用两个量级的试验或使用数据处理工具,例如滤波。

无论何种类型的振动激励器都是可接受的,只要能够满足本试验方法给出的试验要求。可预期长时间历程再现试验中使用的大多数数字振动控制仪的性能是相似的。通过振动控制仪的一些可选参数,可对规定时间历程和控制时间历程之间的差异进行估算。这种估算未考虑 ISO/IEC 17025 中定义的其他不确定性因素。可通过这些相互依赖参数的选择,以便在两个时间历程之间实现最佳的相似性。

规定时间历程的均衡可能需要反馈控制的多次重复,持续时间取决于多个因素,例如硬件配置,整个系统的传递函数,控制算法和试验参数,可在试验前进行调整。

振动响应检查能提供有关样品/振动台相互作用的基本信息。例如,该检查可能会发现试验夹具振动放大或夹具与样品之间存在共振。因此,建议在将样品装入夹具前,对夹具进行动态响应检查或模态试验,并进行必要的修改,以避免将不符合真实情况的载荷施加到样品上。

A.2 试验要求

A.2.1 单点控制

时间历程激励是通过在特定位置对被测样品的振动运动进行采样并将其控制在指定范围内来实现的。该位置可在样品固定点处或附近(输入控制),也可在样品上的指定点(响应控制)。长时间历程再现试验的振动运动进行单点采样(单点控制)。

输入控制试验是将样品某个正常连接点上所施加激励的时间历程控制在规定范围内。响应控制试验是使得样品的响应达到规定的时间历程。当规定的严酷度代表实际使用中的样品响应时,两种控制方法均适用。

响应控制试验要求样品和安装夹具的动态特性与实际使用时的动态特性相似。这通常需要了解样品和安装夹具的动态特性,可通过试验进行评估。

通常,长时间历程再现试验中控制信号所选择的位置宜与现场测量时进行数据采集的位置保持一致。否则,该试验方法的许多优点将无从显现。然而,当无法达到这一要求时,可采用下文中的程序。

A.2.2 输入试验控制

以下导则适用于输入控制试验。宜基于以下原则选择控制点:

- a) 对于具有单个固定点的样品,控制点宜靠近固定点;
- b) 对于具有多个固定点的样品,并且当固定点之间的时间历程严酷等级相似时,宜选择所产生的

严酷等级最接近试验要求的那个点。

在任何情况下,有关规范宜对控制点进行规定。

A.2.3 响应控制试验

以下导则适用于响应控制试验。宜基于以下原则选择控制点。

- a) 从测量数据中选择控制位置时,宜从可用测量数据中选择样品上具有代表性的位置作为控制点。宜根据充分再现运行条件的整体动态响应优化原则来选择控制点位置。
- b) 为避免对样品的过试验或欠试验,可能有必要在样品端部增加额外的限制控制点。

进行响应控制试验需要了解样品动态响应特性及其与试验装置的相互作用。这些信息是从预试验获得的。当要求在非正常环境温度下进行该试验时,宜在规定的极端温度下获取这些特性。

A.2.4 参数校核

与时间历程有关的不同参数在下文进行描述。为得到对两个时间历程相似性的综合评估,有必要采取一些处理方法。这些方法给试验设计人员提供了定性和定量的评估手段,增加了参数校核过程的可信度。

对长时间历程再现试验进行校核过程中会用到以下参数,所有的校核方法都有一定的局限性。因此在校核过程中推荐采用多种校核方法:

- a) 时间历程比较,差异和重叠;
- b) 时间历程误差的均方根值;
- c) 瞬态峰值量级;
- d) 峰值保持谱;
- e) 幅值概率密度;
- f) 最大响应谱;
- g) 疲劳损伤谱;
- h) 循环计数法(如量值穿越或雨流计数法);
- i) 功率谱密度;
- j) 数据块统计的各阶矩,如均值、标准差、偏度、峰度。

要求的时间历程的峰值与测得的样品响应时间历程的峰值之间的比较,对于包含明显瞬态成分的时间历程尤其有用,可进行定量比较和限制措施的应用。峰值保持量级提供了一种额外的比较方法,尽管这可被认为是一种相对粗糙的定量方法。

当时间历程持续时间长且属于振动类型时,则振幅概率密度比较法是一种更有用的比较时间历程幅值的方法。同样,可进行规定限制范围内的定量比较。

规定的时间历程与测得的样品响应时间历程之间最大响应谱(MRS)的比较提供了一种分析方法,可比较两个时间历程在宽频范围内的效应。将试验样品响应的最大响应谱与规定的时间历程的最大响应谱叠加在一起就可进行简单的可视化比较。

疲劳损伤谱的局限性在于它需要有关样品疲劳特性的假设。

量值穿越或雨流法等循环计数的技术用来对时间历程内相对幅值的发生比例进行比较。这些幅值的出现可与样品的疲劳或其他损伤模式相关联。量值穿越或雨流计数法的局限性在于未反应时间历程的频率信息。

规定时间历程与控制时间历程的量值穿越计数直方图比较用来检查与幅值有关的误差,并对控制进行优化。

用功率谱密度(PSD)可给出较长持续时间历程的频率成分。然而,记录长度不足可能会导致明显的统计误差。这种情况下,采用块统计技术可提供更合理的统计手段。

对于长持续时间的历程,用块统计技术可对诸如幅值均方根值,均值、标准差、偏度和峰度进行量化和采取限制措施。

试验规范宜给出所选用的参数及容差。下列容差数值可作为参考。

- a) 在至少 90% 的时间内,控制时间历程与规定时间历程的偏差不宜超过 20%。
- b) 瞬时峰值量级和块均方根值(RMS)宜在 10% 之内。
- c) 给定幅值概率的幅度宜在规定幅度的 20% 之内。
- d) 最大响应谱宜在根据规定时间历程计算得出的频谱的 ± 3 dB 之内。
- e) 疲劳损伤谱宜在根据规定时间历程计算得出的频谱的 ± 6 dB 之内。
- f) 循环和量值穿越计数宜在规定时间历程计数的 10% 之内。
- g) 功率谱密度(PSD)宜在规定时间历程功率谱密度的 ± 3 dB 之内。
- h) 试验时间宜在规定值的 $\pm 2\%$ 之内。

A.3 试验程序

如果试验只是为了证明样品在适当的激励量值下耐受能力和工作能力,则试验只需持续足以证明该要求的时间即可。如果要证明某件样品承受振动累积影响的能力,例如疲劳和机械变形,则试验宜持续足够的时间以积累必要的应力循环,尽管这可能会使持续时间超出规定值。

为了对正常使用时安装在减振器上的设备进行耐久性试验,通常需要安装减振器。如果无法使用适当的减振器进行试验,例如样品是与其他样品一起安装在公共减振系统上的情况,则可能需要在不安安装减振器的情况下采用不同的严酷等级对设备进行试验。确定严酷等级时宜考虑到减振系统在每个试验轴向上的传递特性。当减振器的特性未知时,宜参见 A.4。

有关规范若要求在样品上进行额外试验,需将外部减振器移除或闭锁,以便证明达到最小可接受的结构阻尼。在这种情况下,所施加的严酷等级宜由有关规范规定。

A.4 正常使用时带有减震器的样品

A.4.1 减震器的传递率因子

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。

A.4.2 温度效应

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,则在确定施加激励的时间长度时要格外小心。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,宜尽量去模拟。如果实际的时间分布是未知的,则根据工程判断来限定激励时间,以避免出现过热。

A.5 试验严酷等级

在可能的情况下,宜将施加于样品的试验严酷等级与样品所处的环境相关联。

在确定试验严酷等级时,宜在试验严酷等级和实际环境条件之间留出可能需要的足够安全裕度。

A.6 样品性能

如适用,宜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运行工作。

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干扰,这种功能测试宜重复进行以证明该性能可以满足要求。

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。

A.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,检测还可包括电气、机械操作性能及结构特性。

A.8 频率范围

时间历程再现所采用的波形不必是稳态的或服从高斯分布。时间历程再现方法的基本要求是所要再现波形的频率范围需在所用试验设备的能力范围之内。如果只是要再现振动响应,波形的频率范围比试验设备的能力范围稍微小一些就够了。但是,如果要再现冲击波形,对其频率范围的限制要严格很多,典型的情况是试验设备能力的十分之一。实际上时间历程再现试验所使用的波形通常是振动背景上叠加一些瞬态冲击。

有关规范宜当说明时间历程再现的波形中具有主要影响的频率范围。为再现一些瞬态成分的波形,可能需要对频率上限进行设定。为了能充分定义这些事件,频率范围上限可能要比同样的常规高斯振动试验所需的频率上限更高。

实际上,所需波形和振动控制系统的输入一般会与样品控制点上测得的波形有一定差别。只是由于在控制点上测得的波形是所需波形的数字化表征,振动控制系统对其进行修改以便在激振器上再现。

振动控制系统要对所需的波形进行修改来补偿振动系统的频响特性,同时也保证波形的特性在振动系统的能力范围内(典型情况为加速度、速度和位移限制范围)。对振动系统频响特性所进行的补偿是基于线性假设的。因而,振动系统的非线性行为可能得不到正确的补偿,为将这种非线性特性带来的误差限制在最小程度,一些商用时间历程再现控制系统允许针对波形中不同的部分采用不同的补偿模型。

为确保时间历程再现试验在试验设备的能力范围内,难免要对所测波形进行一定的调整。为保证所需波形的频率范围在试验设备的频率范围内,可能需要对所需波形进行低通滤波。为避免超出试验设备的位移或速度限制,可能需要对波形进行高通滤波以去除低频成分。是否要进行高通滤波可通过对加速度波形进行积分得到速度波形,然后再对速度波形进行积分得到位移波形来判断。对时间历程所进行的相应的积分过程会引入积分误差,特别是数据中存在小幅值均值偏移的情况。另外,考虑到所驱动的运动部分的总质量,给定波形的加速度峰值不宜造成所需的推力超过激振器的极限。在进行了必要的波形处理后,始终有必要验证其是否在所用试验设备的物理和控制能力之内。

当前的时间历程再现控制软件的试验频率上限大约是 10 kHz。然而,大多数机械激振系统的频率范围要小于这个值。通常的频率上限是 2 kHz~3 kHz,大型电动振动台和水平滑台要更低一些。电液伺服系统的实际频率上限可能是 500 Hz。

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 及导则: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:温度/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-

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 2423.64—2023/IEC 60068-2-85:2019

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:大型试件砂尘试验

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)

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 2423.10 环境试验 第2部分:试验方法 试验Fc:振动(正弦)
- [2] GB/T 2423.28 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验T:锡焊
- [3] GB/T 2423.43—2018 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
- [4] 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
- [5] GB/T 2423.58 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Fi:振动 混合模式
- [6] ISO 2041 Mechanical vibration, shock and condition monitoring—Vocabulary
- [7] ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
- [8] IEC 60050-300 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 300; 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 (available at <http://www.electropedia.org>)
- [9] IEC 60068-1 Environmental testing—Part 1; General and guidance
- [10] IEC 60068-2-27 Environmental testing—Part 2-27; Tests—Test Ea and guidance; Shock
- [11] IEC 60068-2-57 Environmental testing—Part 2-57; Tests—Test Ff; Vibration—Time-history and sine-beat method
- [12] IEC 60068-2-81 Environmental testing—Part 2-81; Tests—Test Ei; Shock—Shock response spectrum synthesis
- [13] IEC 60068-3-8 Environmental testing—Part 3-8; Supporting documentation and guidance—Selecting amongst vibration tests
- [14] IEC 60068-5-2 Environmental testing—Part 5-2; Guide to drafting of test methods—Terms and definitions
- [15] IEC 60721-3(所有部分) Classification of environmental conditions—Part 3; Classification of groups of environmental parameters and their severities
- [16] Downing, S. D., Socie, D. F. (1982). Simple rain flow counting algorithms. International Journal of Fatigue, Volume 4, Issue 1, January, 31-4.
-