

基于 GB/T 2423.10-2019 正弦振动试验的试验方法研究

胡凯, 黄鲲, 张仕彬

(威凯检测技术有限公司, 广州 510663)

摘要: 振动试验是评价开发产品或模型在未来的使用工况中可能受到外界复杂的作用力或自身共振对自身影响的一种力学可靠性环境试验。随着现代工业产品工艺的日益科学化, 工业产品的可靠性要求随之越来越高, 所以振动试验成了可靠性试验中必不可少的部分。日常的振动试验主要分为正弦振动和随机振动两大类。本文结合标准 GB/T 2423.10-2019《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)》, 对具体振动试验过程中出现的不满意试验结果进行分析, 并就相关技术问题展开技术探讨。旨在让试验人员可以对振动试验的技术要点有更深刻的理解或延伸。

关键词: 振动; 产品; 试验方法; 分析; 技术探讨

中图分类号: TV32+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-7204(2020)05-0039-06

Research on Test Method Based on GB/T 2423.10-2019 Sinusoidal Vibration Test

HU Kai, HUANG Kun, ZHANG Shi-bin

(Vkan Certification and Testing Co., Ltd., Guangzhou 510663)

Abstract: Vibration test is a kind of mechanical reliability environmental test to evaluate the influence of complex external forces or self-resonance on the developed product or model in the future use conditions. With the increasingly scientific technology of modern industrial products, the reliability requirements of industrial products are becoming higher and higher, so the vibration test has become an indispensable part of the reliability test. The daily vibration test is mainly divided into two categories: sinusoidal vibration and random vibration. This article combines the standard GB/T 2423.10-2019 *Electrical and Electronic Products Environmental Test Part 2: Test Method Test Fc: Vibration (Sinusoidal)*, analyzes the unsatisfactory test results during the specific vibration test process, and discusses related technical issues start a technical discussion. It is designed to allow testers to have a deeper understanding or extension of the technical points of vibration testing.

Key words: vibration; products; test methods; analyzes; technical discussion

引言

振动试验是产品在设计开发阶段、验证阶段重要的可靠性验证试验环节, 它能够在振动台提供的模拟力学环境下模仿设计开发的产品在未来的使用、安装和运输过程中受到外界的各种破坏力或自身的共振对产品造成的影响^[1]。同时给予设计/结构工程师评价产品结构、评价产品在预期复杂的力学环境中的使用寿命提供有力

的参考和分析价值。

日常的振动试验主要分为正弦振动和随机振动两大类。本文结合标准 GB/T 2423.10-2019《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)》, 对正弦振动试验技术展开探讨, 并以实际测试为例进行具体说明。希望通过本次探讨, 加深试验技术人员对振动试验的理解, 提高测试项目的检测水平。

1 GB/T 2423.10 电工电子产品的正弦振动试验

正弦振动是振动参量可由时间自变量的正弦函数描述的一种周期性往复运动。安装在飞机、车辆或船舶上的结构部件或功能性部件均容易因使用环境的特质而产生典型的正弦振动。正弦振动试验的主要目的是帮助开发设计人员寻找产品自身结构的缺陷、考核产品的疲劳性强度或模拟产品在实际使用中可能受到较为单一的、呈正弦函数规律性变化的力学可靠性环境试验。

标准 GB/T 2423.10-2019《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）》为常用的汽车正弦振动试验方法标准，试验主要包含以下几个重点要素：

1.1 试验条件的确认和设备的选择

频率范围、振幅（位移幅值或加速度幅值）、交越频率点、扫频速率、振动方向和试验持续时间都是振动试验的基本条件，缺一不可。

试验设备的选择我们可以根据基本公式：

$$F = (M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \cdots) * A \quad (1)$$

式中：

F—要求设备输出的推力；

M₁—设备动圈质量；

M₂—夹具质量；

M₃—样品自重质量；

M₄—拓展台面质量，

A—加速度幅值。

根据式（1）来确定设备是否满足试验要求的加速度。对于相对而言的小型样品进行大加速度试验，在实验室配套允许的情况下我们可以选择小型拓展台面 / 大加速度的振动台。反之相对而言的大型样品进行小加速度试验，我们则可以选择大型拓展台面 / 小加速度的振动台。

此外，加速度幅值（A）、速度（V）、位移幅值（D）三个振动参数也存在如下关系^[2]：

$$A = \omega V = \omega^2 * D * 10^{-3} \quad (2)$$

式中：

A—试验加速度（m/s²）；

V—试验速度（m/s）；

ω—角速度（ω=2πf）；

f—试验频率（Hz）；

D—单峰位移幅值（mm）。

1.2 样品与振动台要刚性固定

刚性固定^[3]的基础就是要求试验人员要尽可能地接近理想状态将样品一动不动地按照实际使用状态与振动台“连接”在一起。因此样品还要根据台面的孔径、孔距设计夹具。此外振动试验前应对试验夹具进行振动响应检查^[4]。夹具的振动响应检查，我们则以其一阶共振频率是否在目标试验频率范围内作为最基础的初步判断夹具是否符合试验的要求。

而且样品的安装、固定方式应避免因垂直于规定振动轴线的检测点上的最大振幅而产生的横向运动^[5]和由于自身尺寸大或高质心在正弦激励下产生的倾覆力矩。对于因倾覆力矩产生的旋转运动^[5]，我们可以通过考虑样品的质量 M_a，振动台的动圈、拓展台面以及夹具的质量 M_b，样品的质心与振动台延伸轴线的距离 D 和样品质心到振动台水平推力轴线的高度 H，得到理论上刚性样品最大预计倾覆力矩 F。可用最大激励加速度 A 计算得出：

带偏心质量的刚体：

$$F = M_a * D * A \quad (3)$$

水平激励下，高质心的刚体：

$$F = M_b * H * A \quad (4)$$

1.3 样品的固定点和检测点

标准中特别对固定点和监测点进行了定义和作用解释，并说明了传感器要在干扰尽可能小的前提下尽可能地安装在最优的固定点上作检测或监控。

2 具体试验及分析

不正确的试验方法将会导致样品呈现出错误的物理

结构动态特性结果，而不准确的振动试验结果，将会误导结构工程师对确定样品机械结构和动态特性的错误判断。我们应在设备自身不可避免的误差下，尽可能地规范试验方法从而提高样品振动试验的高再现性，从而更真实地模拟样品在实际使用过程中的颠簸场景或更准确地找出样品的结构脆弱的位置。

笔者借助试验室现有的振动台、标准件样品和传感器等仪器，通过大量试验，总结影响振动试验结果的相

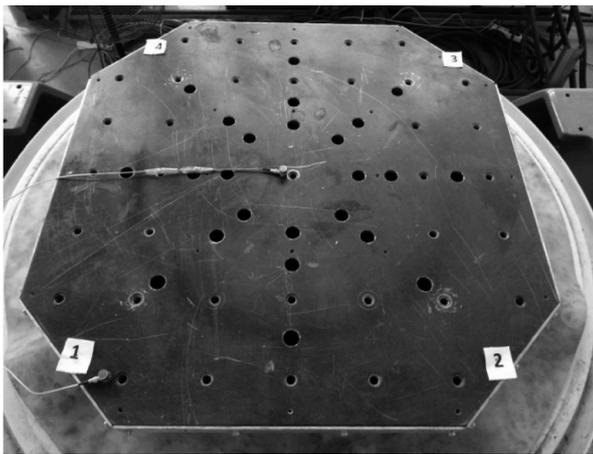


图1 响应传感器分别贴在1、2、3、4位置

表1 测试结果

响应传感器位置	一阶共振频率 (Hz)	幅值比	二阶共振频率 (Hz)	幅值比	三阶共振频率 (Hz)	幅值比	四阶共振频率 (Hz)	幅值比
1 位置 (如图1所示)	1 319.85	2.60	1 395.33	8.34	1 639.05	238.62	无	无
2 位置 (如图1所示)	1 387.19	10.51	1 639.05	175.48	无	无	无	无
3 位置 (如图1所示)	1 316.00	2.46	1 396.33	8.75	1 639.05	171.00	1 914.09	4.77
4 位置 (如图1所示)	1 391.25	10.42	1 643.85	225.09	无	无	无	无

关因素。下文通过具体的试验数据，分析相关因素对试验结果造成的影响。

2.1 传感器的布置

正弦参数设置如下：

频率范围 5~2 000 Hz；加速度 0.25 g；幅值比大于 1.5；扫频速率 1 Oct/min。

监测传感器分别在图1所示的四个位置上进行监测，测试结果见表1，测试曲线图见图2~5。

从表1数据总结可见，如果控制传感器布置在响应传感器的位置，加上拓展台面自身的响应特性，会使夹具控制信号失真，有可能造成共振叠加。所以，振动试验的传感器应尽可能地布置在拓展台面中心

2.2 试验夹具

正弦参数设置如下：

频率范围 5~1 000 Hz；加速度 0.25 g；幅值比大于 1.5；扫频速率 1 Oct/min。

样品分别用2种不同的夹具进行固定。第一种方式：将拓展台面当做样品的夹具，然后样品固定在拓展台面上（如图6所示）以上述参数进行测试。第二种方式：将动圈当做样品的夹具，样品直接固定在振动台动圈

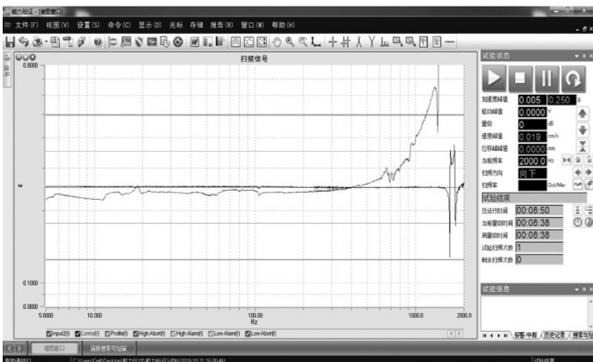


图2 贴在1位置的5~2 000 Hz 正弦振动曲线

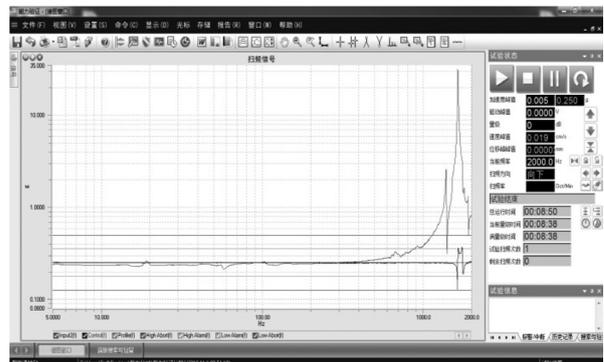


图3 贴在2位置的5~2 000Hz 正弦振动曲线

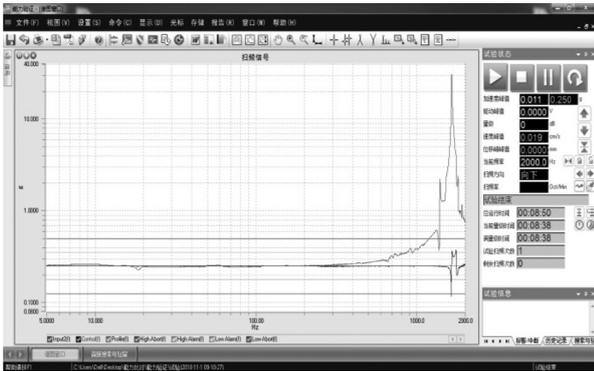


图4 贴在3位置的5~2 000 Hz正弦振动曲线

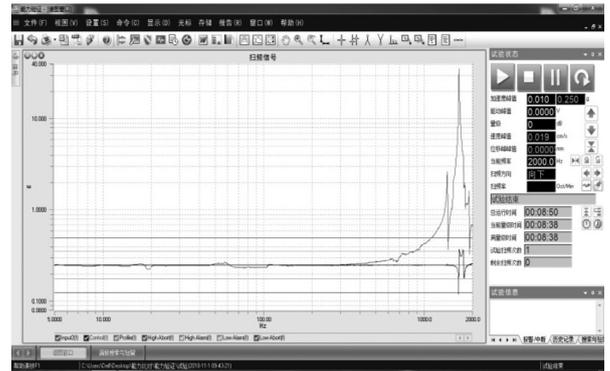


图5 贴在4位置的5~2 000 Hz正弦振动曲线

表2 测试结果

固定样品的夹具	一阶共振频率 (Hz)	幅值比	二阶共振频率 (Hz)	幅值比	三阶共振频率 (Hz)	幅值比	四阶共振频率 (Hz)	幅值比
样品固定在拓展台面上 (如图6所示)	911.03	2.020 2	无	无	无	无	无	无
样品固定在振动台动圈上 (如图8所示)	无	无	无	无	无	无	无	无

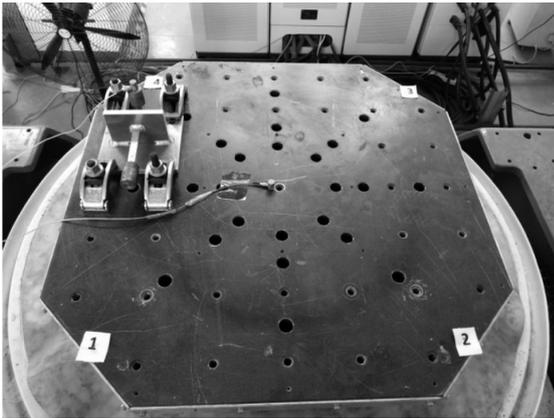


图6 样品固定在拓展台面上

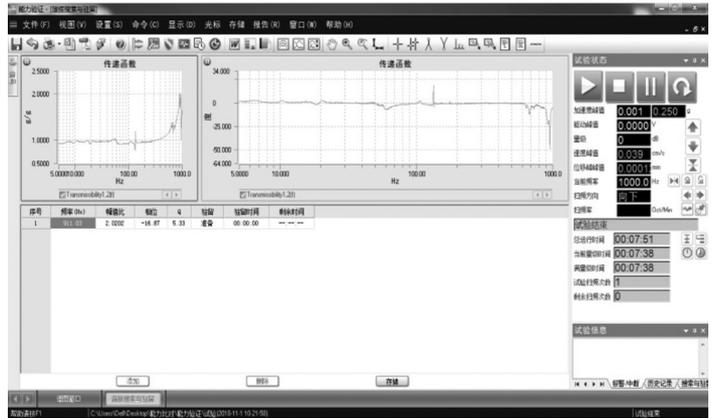


图7 5~1 000 Hz正弦振动曲线

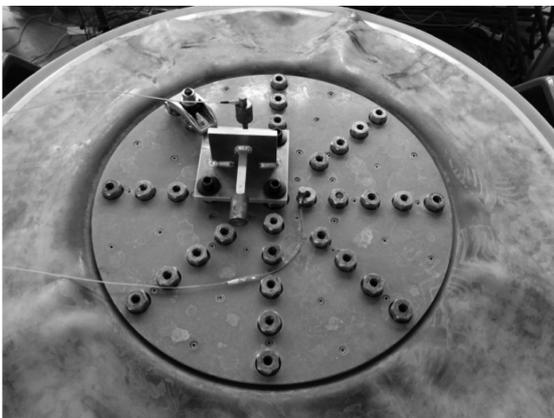


图8 样品固定在振动台动圈上

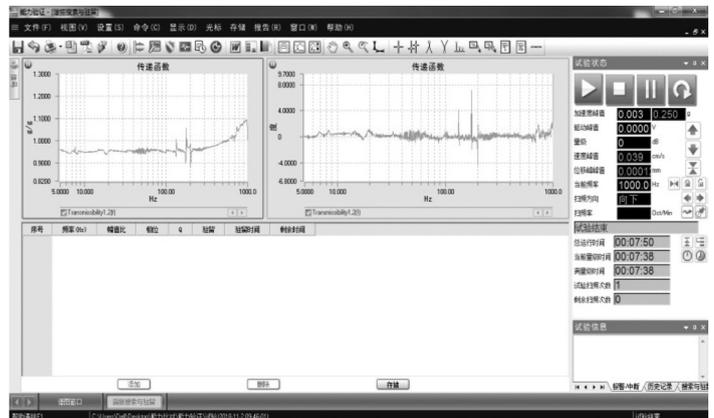


图9 5~1 000 Hz正弦振动曲线

上(如图 8 所示)以上述参数进行测试。测试结果见表 2, 测试曲线图见图 7 和图 9。

从表 2 数据总结可见, 样品固定在拓展台面上测得的一阶共振频率很有可能是台面自身的一阶共振频率。而样品固定在动圈上测得的不存在一阶共振频率的结果更为准确。

2.3 样品不同的安装方式

正弦参数设置如下:

频率范围 5~1 000 Hz; 加速度 0.25 g; 幅值比大于 1.5; 扫频速率 1 Oct/min。

样品分别用 2 种不同的夹具进行固定。第一种方式: 将样品的三个安装孔螺栓直接刚性连接台面, 一个安装孔用拱形工具固定(如图 10 所示)以上述参数进行测试。第二种方式: 将样品的四个安装孔均用拱形工具固定(如图 12 所示)以上述参数进行测试。测试结果见表 3, 测试曲线图见图 11 和图 13。

表 3 测试结果

固定样品的夹具	一阶共振频率(Hz)	幅值比	二阶共振频率(Hz)	幅值比	三阶共振频率(Hz)	幅值比	四阶共振频率(Hz)	幅值比
一个安装孔用拱形工具固定(如图 10 所示)	165.91	1.98	966.91	93.16	无	无	无	无
四个安装孔均用拱形工具固定(如图 12 所示)	185.48	2.09	541.49	1.71	942.21	128.90	无	无

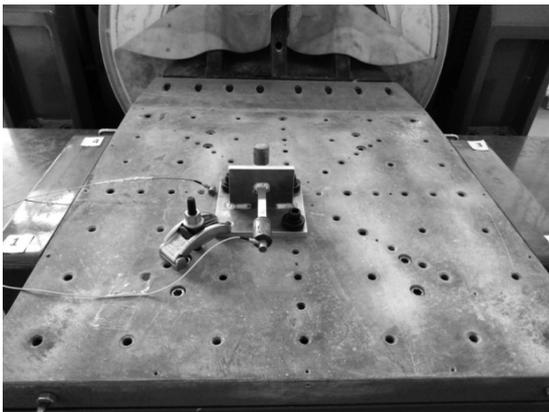


图 10 用拱形工具压样品一个角

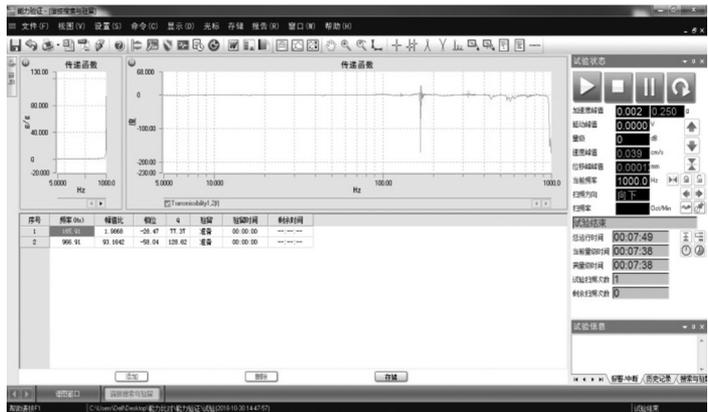


图 11 5~1 000 Hz 正弦振动曲线

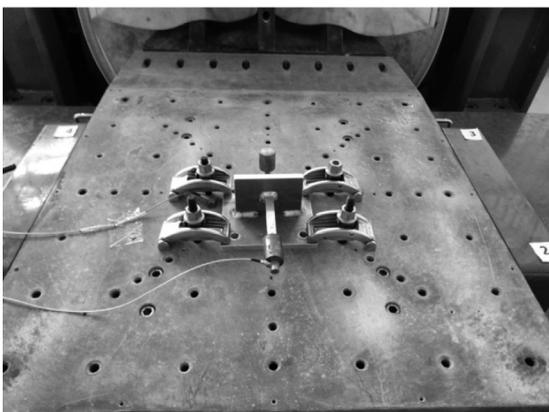


图 12 用拱形工具压样品四个角

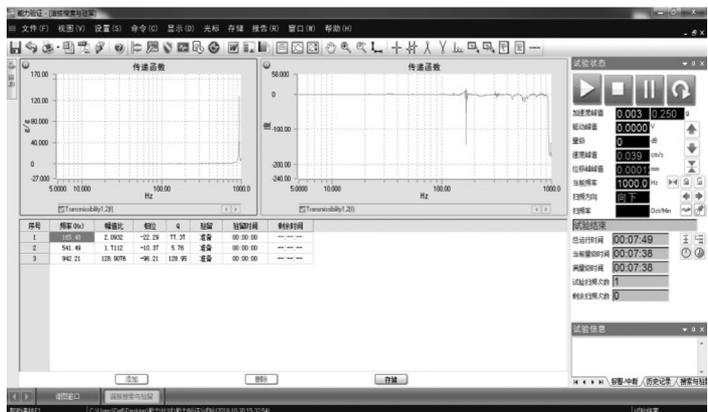


图 13 5~1 000 Hz 正弦振动曲线

从表 3 数据总结可见, 样品通过自身的螺孔与台面螺孔一一对应进行刚性固定所测得的共振频率更加准确。而通过拱形工具将样品“弹性安装”在台面测得的共振频率出现漂移。

3 振动试验方法建议

1) 控制传感器应尽可能地在拓展台面上居中布置, 并且尽可能地靠近样品与夹具的固定点, 这样能避免控制信号的衰减或失真造成的“欠试验”或“过实验”;

2) 振动试验的夹具应有良好的连接特性、较高的传递特性和适当的过渡特性^[4]。夹具与样品的组合中心尽可能地落在振动台的中心线上。夹具与振动台面连接时, 螺栓拧进振动台面上螺孔的深度至少要等于螺栓直径的两倍。此外, 夹具要考虑其材料的刚度和疲劳特性。对材料的刚度有很大的要求, 刚度不足样品容易损坏。通常我们用公式:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5)$$

式中:

f—响应频率;

k—材料刚度;

m—质量。

也就是说, 要想提高响应频率, 就要尽量减轻夹具的重量^[6]。

3) 样品的固定方式应优先采用螺旋刚性连接, 尽量避免“压板—垫块”方式; 样品的固定方式应尽可能地模拟实际安装、使用状态。

4 结论

本文结合 GB/T 2423.10 电工电子产品的正弦振动试验方法的介绍, 以及承担振动能力验证和平常的振动试验积累, 对振动试验的方法进行了简单探讨, 也对传感器的不同位置布置、不同夹具的样品安装方式、样品的不同固定方式所产生的振动试验结果的主要影响因素进行了技术分析和探讨, 为相关振动试验提供一定的技术建议和参考。

参考文献:

- [1] 刘道标, 宦海洋. 振动试验方法的研究及发展趋势 [J]. 环境技术, 2006, 24(3): 21-25.
- [2] 戴秀芬, 黄凯, 等. 大量级振动试验分析与应用研究 [J]. 科技创新与应用, 2007, (11): 33.
- [3] 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 [S].
- [4] 胡志强. 环境与可靠性试验应用技术 [M]. 北京: 中国质检出版社, 2016.
- [5] GB/T 2423.10-2019, 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) [S].
- [6] 宋宝利, 肖建伟. 夹具对振动试验的重要性 [J]. 环境技术, 2013, (z2):92-94.

作者简介:

胡凯 (1990.4-), 男, 本科, 助理工程师, 主要研究方向: 环境可靠性试验技术。

黄鲲 (1980.3-), 男, 工学硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 新能源汽车动力电池。

张仕彬 (1980.4-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 汽车电子电器、智能网联。