

文章编号: 1672-8785(2020)12-0024-06

红外探测器振动试验中的传感器 安装研究

石佳节 石 英 赵 楠 许富翔

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 介绍了振动试验的概念、目的以及各个组成部分, 并对各种试验作了简单说明。通过振动试验可以检验红外探测器各部分的薄弱环节。传感器在保证试验数据的准确性中起到了决定性的作用。主要从传感器的安装方法、安装角度以及控制点选择等方面进行了分析。正确的传感器固定方式可使系统静态噪声从 0.105 mV 降至 0.019 mV。在试验中, 传感器的单点控制会导致探测器的一些频率点数据放大 22.9 倍。通过多点控制研究与应用将振动量级控制在 1.007 倍, 有效保证了振动试验的准确性。

关键词: 振动试验; 传感器固定; 安装角度; 传感器接线; 安装位置

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2020.12.004

Research on Sensor Installation in Vibration Test of Infrared Detector

SHI Jia-jie, SHI Ying, ZHAO Nan, XU Fu-xiang

(North China Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The concept, purpose as well as the components of vibration test are introduced, and a brief description of various tests is given. In addition, the weaknesses of infrared detector which can be examined by vibration test are elaborated. The sensors play a decisive role in ensuring the accuracy of test data. The installation method, installation angle and the control point selection of the sensors are mainly analyzed. The correct fixation mode of the sensor can reduce the static noise of the system from 0.105 mV to 0.019 mV. In the test, the single-point control of the sensor will lead to the amplification of some frequency point data of the detector by 22.9 times. The research and application of multi-point control can control the magnitude of vibration at 1.007 times, effectively ensuring the accuracy of the vibration test.

Key words: vibration test; sensor fixing; mounting angle; sensor wiring; installation position

收稿日期: 2020-08-07

作者简介: 石佳节(1984-), 男, 北京人, 工程师, 主要从事红外探测器可靠性试验方面的研究。

E-mail: 1065720219@qq.com

0 引言

目前, 振动试验广泛应用于军工产品、电子元器件、航天装置、汽车产品、医药等各个领域。它是军品可靠性验证的重要组成部分, 也是红外探测器科研与生产过程中的环境适应性试验项目之一。振动试验可以检验产品的品质、功能以及稳定性, 是帮助产品跃入高品质行列不可或缺的利器。2020 年 3 月, 长征 7A 运载火箭发射失败, 专家分析其原因之一有可能是共振现象导致火箭解体。因此, 振动试验的重要性不言而喻。在振动试验中, 很多因素都会影响试验结果。其中, 传感器的安装起着重要作用。基于多年来在红外探测器可靠性试验方面的经验, 本文简要介绍振动试验的概念和应用, 然后从试验中传感器的安装方法、安装角度以及控制点选择等方面进行探讨。

1 振动试验

1.1 振动试验的定义

振动试验用于评定被测物体在运输及使用环境中抵抗外界干扰的能力。其中, 振动是指物体相对于平衡位置所作的往复运动。

1.2 振动试验的目的

振动对红外探测器的影响主要包括以下几点: (1) 结构性损坏。这种损坏包括产品各组成部分产生变形、裂纹以及断裂等。(2) 工作性能失灵。在振动的环境下, 产品性能不稳定或者变差, 甚至无法正常工作。(3) 工艺损坏。例如, 连接件松动(接触不良)、螺钉松动以及焊点脱焊等。

为了提高探测器的可靠性, 利用振动试验来暴露产品的薄弱环节, 以改进产品工艺和设计, 从而使产品在力学环境中保持稳定性能。这也是振动试验的最终目的。

1.3 振动试验分类

振动包含正弦振动和随机振动。主要参数有位移、加速度和速度。

1.3.1 正弦定频试验

在选取的频率上按规定的量值进行扫频振

动试验。按规定的扫频速率从低频到高频, 再从高频到低频, 并以此作为一个循环直到达到规定次数为止。线性扫频速度由单次扫频时间或扫频速率(单位为 Hz/s)决定。对数扫频速率为每分钟倍频程, 单次扫频时间 $T=3.32\log f_2/f_1$ [6-7]。

1.3.2 随机振动试验

在规定的频率范围内, 按功率谱密度的总均方根值作随机振动, 并达到规定的时间。随机振动分为随机叠加正弦试验和随机叠加随机试验两类。前者在规定的频率范围内, 并在随机振动的基础上叠加若干个频率的正弦振动, 然后按规定的量级在规定的时间内完成。后者在规定的频率范围内, 并在宽带随机振动的基础上叠加若干窄带随机峰值, 然后按规定的量级在规定时间内完成 [4-5]。

2 振动试验中的传感器安装

在振动试验中, 传感器将振动台的加速度、速度以及位移等参数反馈给振动测试系统。它对保证振动试验数据的确定性具有重要作用 [2]。

2.1 传感器的固定

传感器与振动台或被测试件之间应接触良好, 因此需强调其稳固性。若传感器固定不当导致松动, 则试验结果会产生误差。但不管采用何种固定方式, 固定物本身的响应都会对振动试验产生影响。这就是所谓的寄生振动。因此, 尽可能使固定物的固有频率大于振动试验上限频率的 5~10 倍。下面介绍实际应用中的几种传感器固定方法。

2.1.1 螺纹连接

螺纹连接是频率响应较好的一种方法。在大量级振动、复杂的冲击试验中, 只有螺纹连接才能保证最优良的传递特性。为防止干扰, 通常在传感器下加绝缘块(如玻璃钢或胶木等), 并用两个螺丝分别连接传感器和绝缘块; 也可采用绝缘螺栓和垫片, 但需注意垫片要尽可能薄。安装时应注意力矩不能过大或过小。力矩过大会损坏传感器本身的螺纹和壳体, 还

会导致传感器基座面发生弯曲, 从而影响其灵敏度; 力矩过小的话, 传感器易松动, 会产生寄生振动。

2.1.2 特种胶粘接

使用 502 胶水粘接时不会破坏夹具和台面, 但其粘接强度不如螺丝。在振动量级小于 20g 时, 可以使用该方法。当结构或夹具表面不是金属材料时, 由于没有足够厚度的安装面, 粘结方式非常重要^[1]。从过去的实践中发现, 电磁振动台的漏磁、漏电现象会对探测器测试输出产生一定影响。一般在传感器下面垫上薄的环氧绝缘板, 并用 502 胶水将其粘接。结果表明, 效果还不错。

2.2 传感器的安装角度

固定传感器时应使感振方向与被测组件的振动方向一致。假设不一致时的偏角为 α , 并设振动试验的加速度为 a , 则传感器的测量值 $a' = a \cos \alpha$ 。由此可见, 偏角越大, 测量结果的相对误差越大; 加速度越小, 测量结果的绝对误差越大。因此, 对于小量级加速度振动试验来说, 更要注意安装时传感器感振方向与实际方向的一致性。

2.3 传感器的接线

在传感器接线时, 应使传感器与振动台控制仪之间的电缆接头保持良好的导电性和绝缘性。接头应保持清洁, 否则会影响传感器的绝缘阻值, 容易导致反馈信号衰减。因此平时注意保持电缆接头清洁, 操作时应戴无污染手套。此外, 对于压电式传感器, 还要注意线缆连接的噪声问题。连接线的运动会使其产生拉伸、弯曲变化, 进而产生噪声干扰。在一次试验过程中发现, 当电缆不运动时, 系统监测的噪声为 0.019g; 当线缆作无规则运动时, 不同抖动幅度产生不同的噪声值, 系统最大噪声达到 0.105g (见表 1)。因此, 应选用抗干扰能力强的电缆。尤其在小量级试验中, 应通过用绝

缘胶布固定连接线来防止其运动。

2.4 传感器的安装位置

用于控制的传感器是振动系统中不可缺少的环节。它将测到的振动信号反馈给振动控制仪, 后者控制振动台的加速度、位移和速度。在安装时, 应选择合适的位置。若安装在振动量级响应大的位置上, 被测试件则会欠试验; 若安装在响应小的位置上, 被测试件则会过试验。目前采用的控制方法分为单点控制和多点控制两种。选择时需综合考虑被测组件大小、夹具安装方式、试验频率以及设备能力等因素。

2.4.1 单点控制

由于振动台的台面较小, 不易直接安装试验样品, 需要通过试验夹具来过渡连接。利用原台面的安装孔进行刚性连接, 并将其合成为一个新的整体。由于推力较小的振动台只有一个控制点 (仅能安装一个控制传感器), 通常会将控制传感器安装到台体中心位置 (见图 1)。

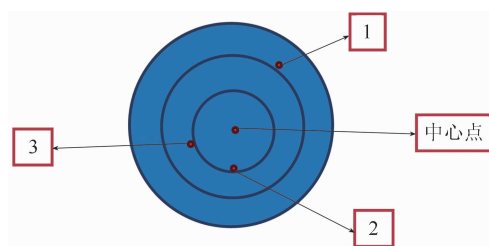


图 1 传感器安装位置的示意图

如图 1 所示, 将中心点作为控制点, 并将点 1、2 和 3 用于监测量值变化。表 2 列出了不同位置的加速度数据。根据其中的量值变化规律发现, 误差会随着频率的升高而增大。这种方法不仅违反了控制点选用原则, 而且还忽视了是利用夹具间接把控制信号传到试验样品上的, 并由此带来了测试误差。所以应将控制点位置选在夹具与试验样品连接的最近处。

2.4.2 多点控制^[3]

当遇到复杂的大型工装夹具或被测样品

表 1 噪声变化表

状态	静止	幅度 1	幅度 2	幅度 3
噪声值 (g)	0.019	0.038	0.066	0.105

表 2 控制点的加速度对比

频率/Hz	中心点加速度(g)	位置 1(g)	位置 2(g)	位置 3(g)
18.15	0.5026	0.5145	0.5202	0.5155
39.68	0.5015	0.5148	0.519	0.5158
69.41	0.5008	0.5133	0.5184	0.5135
100.1	0.50	0.5129	0.5185	0.5136
147	0.4999	0.5129	0.5177	0.5138
231.2	0.4997	0.5268	0.5183	0.5197
461.8	0.4996	0.5206	0.5144	0.5188
643.2	0.4998	0.6311	0.5453	0.5623
1067	0.5022	0.6987	0.5555	0.5785
1177	0.5012	0.8752	0.6222	0.5964
1248	0.5113	1.018	0.6517	0.6389

时, 单点控制无法满足试验要求, 因此就必须选择多点控制, 即在振动台面、夹具或试验样品上安装多个传感器。在试验中, 利用这些传感器反馈的控制信号来控制振动台。多点控制方法有最小值控制、最大值控制和平均控制三种。其中, 平均控制方法就是将多路传感器的平均值作为控制信号。

图 2 所示为一种红外探测器振动夹具。首先选择单点控制, 将控制传感器安装在夹具中心位置(点 1)上, 并将点 2 和点 3 作为探测器核心位置检测点。下面以一个随机振动均方根值为 6.065g 的试验为例。

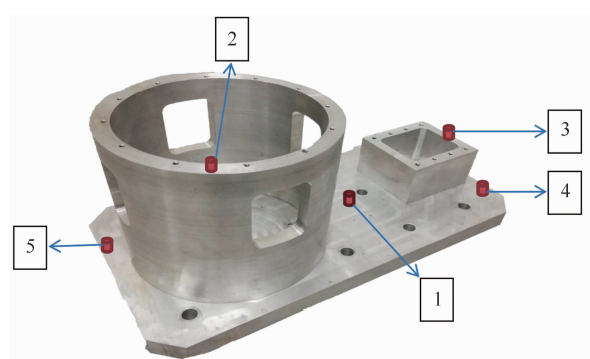


图 2 工装夹具图

图 3 和图 4 分别为单点控制时传感器 2 和 3 的监测图。从图 3 中可以看出, 频率在 1066 Hz、1363 Hz、1994 Hz 处产生了过载, 最大达到 24.9 倍。从图 4 中可以看出, 频率在 1355 Hz 处产生了过载, 最大达到 22.9 倍。

表 3 列出了各位置点的加速度均方根值。

其中点 3 的超差达到 1.32 倍。

表 3 不同位置的加速度均方根值

位置	1	2	3
量值(g)	6.07	6.928	8.029

下面采用第二种方案, 即两点平均控制。将点 4 和点 5 作为控制点, 并将点 2 和点 3 作为探测器核心位置检测点。

图 5 和图 6 分别为两点平均控制时传感器 3 和 4 的监测图。表 4 列出了各位置点的加速度均方根值。可以明显看出, 两点平均控制更接近实际控制。目前, 这种控制方法在大型结构振动试验中应用普遍。恰当地运用多点平均控制方法, 不仅可以抑制样品的强烈响应, 而且还可以将试件整体的平均振动尽量控制在实际值附近。这在一定程度上还能改善夹具动态特性对试验的影响。

表 4 加速度均方根值对比

位置	4 和 5(平均值)	2	3
量值(g)	6.085	6.118	6.097

3 总结

随着各种应用的不断发展, 探测器振动试验要求越来越严格。从过去的耐振试验到后来的振动噪声监测, 再到现在的振动时图像采

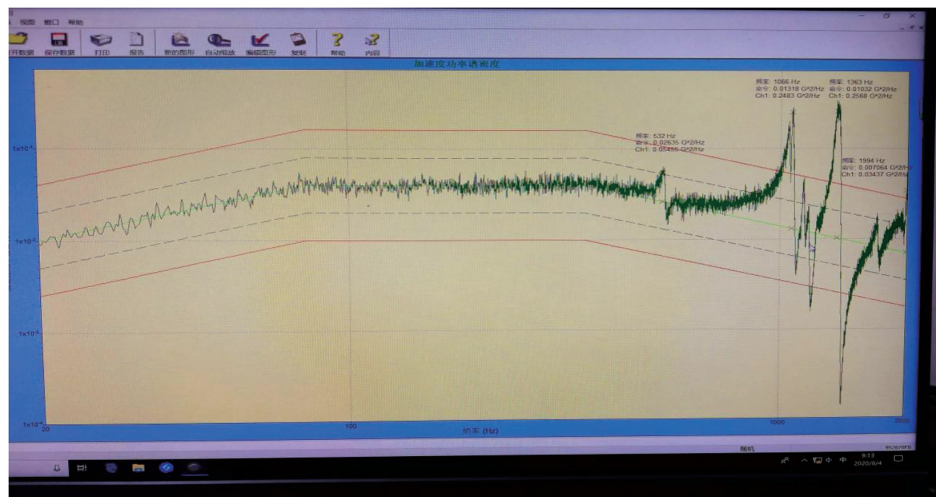


图 3 单点控制时传感器 2 的监测图

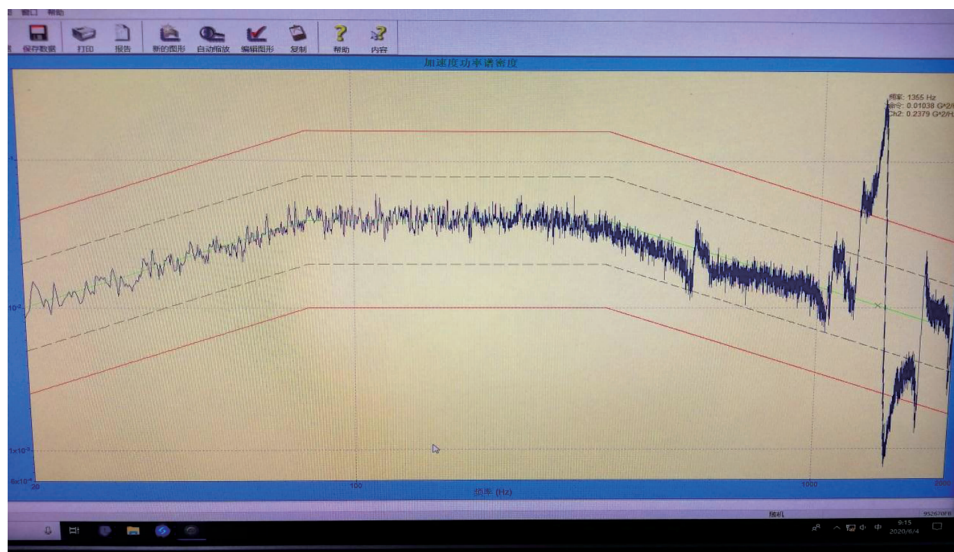


图 4 单点控制时传感器 3 的监测图

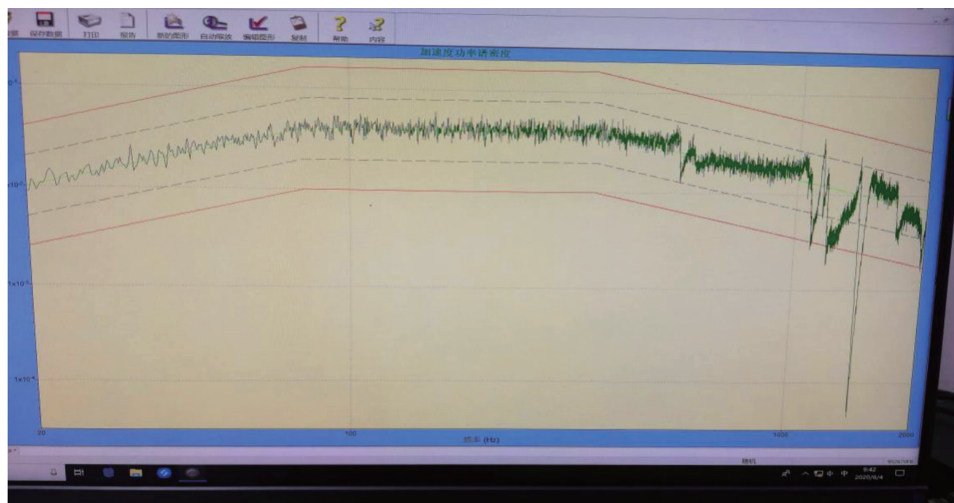


图 5 两点平均控制时传感器 2 的监测图

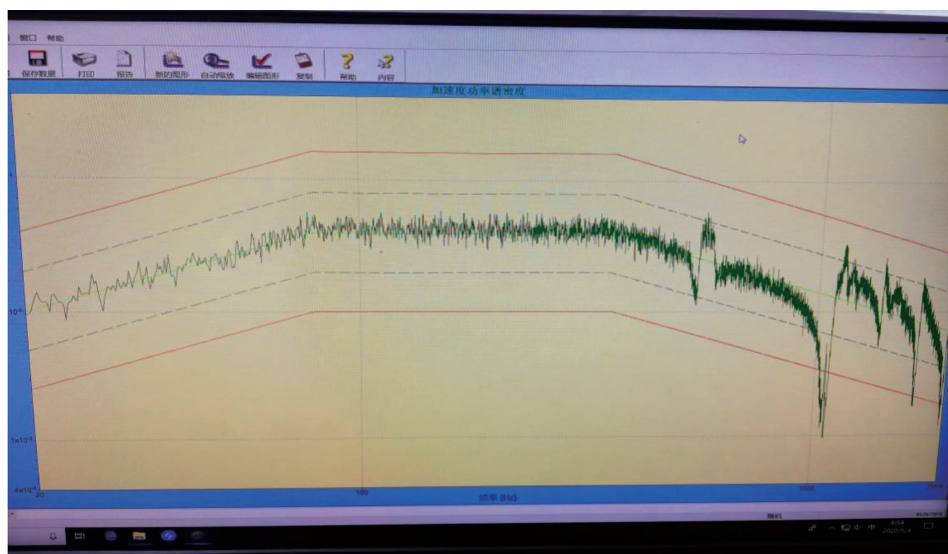


图 6 两点平均控制时传感器 3 的监测图

集, 试验数据的准确性影响着探测器的噪声值和图像质量, 有时还会起到误导作用。这对试验人员提出了更高的要求。尤其在传感器的应用中, 相关数据分析证实多点控制方法更能反映振动数据的准确性。后续将采用不同的试验样品和辅助夹具, 并沿着不同的试验方向进行更深一步的研究。

参考文献

- [1] 朱宜生. 振动试验中传感器和夹具使用 [R]. 乐山: 第四届电子产品可靠性与环境试验技术经验交流会, 2003.
- [2] 熊杰. 振动试验中试验样品及传感器安装 [J]. 科学与财富, 2017, **19**(18): 184-185.
- [3] 陈宁, 魏永胜. 振动试验中多点控制方法的分析与应用 [J]. 机械研究与应用, 2014, **21**(4): 74-76.
- [4] 胡志强. 随机振动试验应用技术 [M]. 北京: 中国计量出版社, 1996.
- [5] 《力学环境试验技术》编著委员会. 力学环境试验技术 [M]. 西安: 西北大学工业出版社, 2003.
- [6] 振动试验类型及试验设备的基本参数和选型 [EB/OL]. www.pinlue.com/article/2019/01/06-12/098023012812.html, 2019.
- [7] 振动试验及振动试验设备 ppt 课件 [EB/OL]. <https://wenkubaiducom/view/62616e9c92c69-ec3d5bbfd0a79563c1ec4dad727.html>, 2020.