

某雷达模块的振动夹具设计*

李新帅^{1,2}, 张华国³, 钟剑锋², 帅立国¹, 刘国维²

(1. 东南大学机械工程学院, 江苏 南京 211189; 2. 南京电子技术研究所, 江苏 南京 210039;
3. 河南中烟工业有限责任公司南阳卷烟厂, 河南 南阳 473007)

摘要:随着电子产品环境适应性要求的提高,特别是振动性能要求的不断提高,振动试验在电子产品环境试验中的作用日益显著。振动试验通过模拟产品在运输、安装及使用过程中所遇到的各种振动环境影响,来确定产品是否能承受各种环境振动,从而判断其能否达到实际使用要求。同时,振动夹具在振动试验中起着重要的作用,其设计的好坏决定着振动试验的成功与否。文中首先对振动夹具的设计进行了理论分析,然后通过某雷达模块振动夹具的设计过程,提出了利用软件仿真并进行逐步优化的设计方法,总结了设计振动夹具的心得,为以后的振动夹具设计提供参考。

关键词:振动;夹具;优化

中图分类号: TG75 文献标识码: A 文章编号: 1008-5300(2014)02-0023-03

Design of Vibration Fixture for a Radar Module

LI Xin-shuai^{1,2}, ZHANG Hua-guo³, ZHONG Jian-feng², SHUAI Li-guo¹, LIU Guo-wei²

(1. Mechanical Engineering College, Southeast University, Nanjing 211189, China;

2. Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China;

3. Nanyang Cigarette Factory of Henan Tobacco Industry Co. Ltd., Nanyan 473007, China)

Abstract: With the increase of environmental suitability, especially the vibration performance for electronic products, vibration tests play a more and more important role in environmental trials of electronic products. Through simulations of various environmental vibration impacts during the process of transportation, installation and operation, it is determined whether the product can withstand various environmental vibrations and whether it can meet the actual operation requirements. The vibration fixture plays a significant role in the vibration tests and determines whether the vibration test is successful or not. In this paper the design of the vibration fixture is theoretically analyzed first. Then with the design process of the vibration fixture for a radar module as an example, the design method of software simulation and gradual optimization is put forward. The vibration fixture design experience is summarized at last to provide some reference for future vibration fixture design.

Key words: vibration; fixture; optimization

引言

振动试验在电子产品环境试验中具有重要的作用,它通过对产品在运输、安装及使用过程中所遇到的各种振动环境影响的模拟,来确定产品是否能承受各种环境振动,从而判断其能否达到实际使用要求。而振动夹具是振动试验中重要的一环,它是试件与振动台之间振动能量传递的载体,同时也起着扩大振动台

台面的作用,因此试件能否得到正确的试验,与振动夹具的设计优劣密切相关。

振动夹具的设计随试验要求、振动台、试件等的不同而不同,但都要求质量尽可能小,刚度尽可能大,在试验频率范围内不出现或少出现共振。根据文献[1],一个好的夹具还应满足以下6个要求:1)在整个试验频率范围内,夹具的频响特性要平坦,夹具的第一阶固有频率应尽量高于最高试验频率,还应避免发生

* 收稿日期:2014-01-03

夹具与产品的共振耦合;2)夹具与产品连接面上的各连接点的响应要尽量一致,以确保试验时激励输入的均匀性;3)夹具的刚度质量比要足够大,以提高固有频率;4)在振动台推力达到要求的条件下,夹具的质量最好是试件的2~4倍,以减少试件对振动台的反振;5)夹具的阻尼要尽量大,而且夹具垂直于激振方向的运动要小,以免对振动试验构成干扰;6)波形失真应尽量小,在夹具第一阶固有频率之前,波形失真度不应大于25%,在夹具第一阶固有频率之后,不应大于60%。从文献[2]和[3]可以总结出夹具的第一阶固有频率是评价夹具优劣的一个重要指标,因此如何提高固有频率是夹具设计首先要考虑的问题。文中将对某雷达模块振动夹具进行设计,然后用第一阶固有频率的要求(即夹具的固有频率要尽量高于试验频率,以避免夹具的共振耦合)来衡量。

1 振动夹具设计的理论分析

关于如何提高固有频率,已经有了很多研究,也有了经验,这里主要从以下2个方面分析如何提高固有频率。

从材料选用的角度分析^[4],从固有频率公式

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

可知,要提高固有频率 f 的大小,就要尽量增大 k/m (k 为弹性系数, m 为质量)的比值,而 k 和 m 分别与材料的弹性模量 E 和材料密度 ρ 成正比,所以选用的材料 E/ρ 的比值应尽量大。目前较适合夹具设计的材料主要有铝合金、钢、镁合金等,其中铝和镁的 E/ρ 值较大,但由于镁材料性能不稳定,容易发生化学反应,所以铝合金在夹具设计中应用最广泛。

从振动夹具的固定方式分析,振动夹具固定在振动台上,可以简化为受周期性激振力的有阻尼弹簧质量系统^[5],如图1所示。

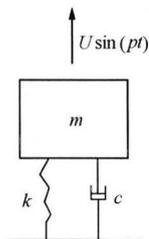


图1 阻尼强迫振动系统

其振动方程为

$$m \ddot{z} + c \dot{z} + kz = U \sin(pt) \quad (2)$$

式中: z 为夹具以平衡位置为起点的垂直位移; c 为阻

尼系数; $U \sin(pt)$ 为周期性的激振力; U 为激振力幅值; p 为激振频率; t 为振动时间。

其振幅响应为

$$A = \frac{U}{k \sqrt{(1 - \gamma^2)^2 + (2\gamma D)^2}} \quad (3)$$

式中: γ 为频率比,即 $p/\sqrt{k/m}$; D 为阻尼比,即 $c/(2\sqrt{k/m})$ 。

从振幅响应分析可知,要想尽量保证振幅较小,且响应平坦,就应适当提高阻尼比 D 。在设计时多设计几个固定孔,不仅可以使频响平稳,振幅响应适当,也可以在一定程度上增加刚度,提高固有频率。另外,设计时也要注意整个振动夹具的重心,要尽量保证整个夹具的重心跟振动台的重心在一条直线上,而且要尽量使重心偏低,以提高夹具的稳定性。

2 振动夹具的初步设计

某雷达模块的尺寸为330 mm × 162 mm × 25.4 mm,总体上呈长方体,其固有频率为620 Hz,要求设计的夹具可以一次对多个模块进行试验。

(1)根据其要求进行振动夹具设计。首先估算振动夹具要求的质量范围^[6],由试验推力 $F = (M_0 + M_1 + M_2 + M_3) \times a$ 计算出振动夹具要求的质量不超过67.5 kg(M_0 为夹具的质量, M_1 、 M_2 、 M_3 分别为振动台电枢、试件质量和螺钉质量, a 为试验时的加速度)。

(2)根据经验进行振动夹具的结构设计。结合该雷达模块的结构及特点,决定初步设计如图2所示的夹具。它主要包括底板、顶板及2个侧板。由于雷达模块本身有锁紧机构,只要底板和顶板之间的距离达到162 mm,就可以保持锁紧状态。另外,底板比顶板厚,可以使重心降低,从而提高夹具的稳定性。

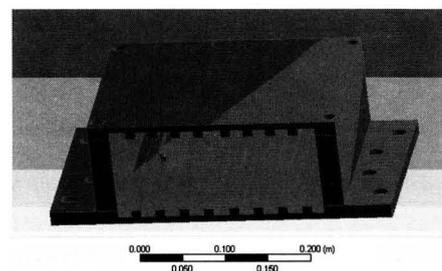


图2 结构初步设计

3 振动夹具的仿真和优化

根据试件的基本要求,对振动夹具进行仿真分析,估算夹具的固有频率,然后对其结构进行相应的改进

和优化。

仿真采用的软件是 Ansys Workbench,利用该有限元软件进行振动夹具的模态分析,主要分析其一阶固有频率和对应的振型,然后进行结构改进。

(1) 振动夹具的材料选用铝合金,其主要参数为:密度 $2\ 770\ \text{kg}/\text{m}^3$,弹性模量 $71\ \text{GPa}$,泊松比 0.33 。

(2) 振动夹具仿真主要经过三维建模、网格划分、约束设置、模态分析等步骤。其中网格划分选用六面体网格,约束是对底板的孔进行固定约束,同时对4个部分的连接处进行焊接约束,来模拟整个夹具的焊接。经计算,设计的夹具(见图2)质量为 $23.35\ \text{kg}$,仿真后的一阶固有频率为 $625.92\ \text{Hz}$,其振型如图3所示。

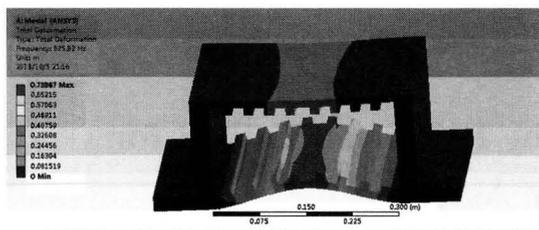


图3 振动夹具初步设计的一阶振型

从一阶振型图(图3)可以看出,振动夹具底板中间位置的相对位移较大,而且整个夹具的固有频率较低,在试验阶段很可能形成共振。为此,在中间位置增加一个加强模块来提高刚度,也可减小中间位置的相对位移。

(3) 经过改进的振动夹具如图4所示。其主要改进之处是在中间位置增加了一个加强模块,该加强模块可以通过楔形锁紧机构固定到夹具上,以方便其安装拆卸;同时又适当增加了底板的厚度,以进一步提高夹具的稳定性。经有限元分析,其改进后的质量为 $30.9\ \text{kg}$ 。

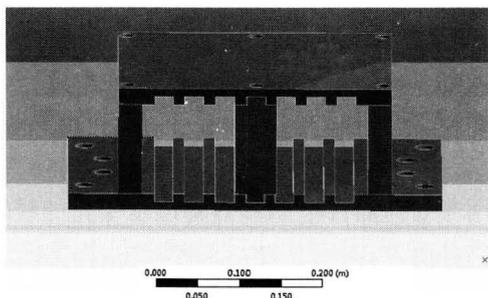


图4 改进后的振动夹具

用 Workbench 对改进后的夹具进行仿真,约束不变,其仿真后的结果如图5所示。

从图5可以看出,振动夹具的一阶固有频率提高到了 $1\ 414.6\ \text{Hz}$,基本可以满足固有频率的要求,达

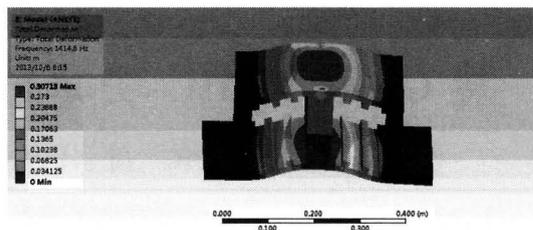


图5 改进后振动夹具的一阶振型图

到在试验范围内不出现共振或很少出现共振的条件。同时,在进行振动夹具的加工时,因底板、侧板、顶板连接处的焊接形式为局部焊接,不可能对整个接触面进行焊接,因此为了增强连接,提高稳定性,可以考虑在连接处先用螺钉固定,再进行局部焊接。

(4) 为了验证螺接约束带来的固有频率的提高,在经过上述改进后的振动夹具的基础上进行仿真,约束为4个部分连接处螺钉的约束、焊接约束和底板固定孔约束,仿真结果如图6所示。

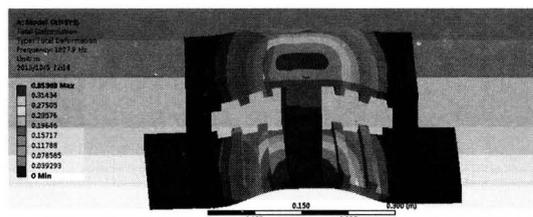


图6 改变约束条件后振动夹具的一阶振型

从图6可以看出,当振动夹具经过上述约束后,其固有频率有了进一步的提高,虽然中间位置的相对位移略有提高,但其位移较大处开始转移到加强模块上,而且在进行振动试验时,试件可以对称放置在靠近边缘的位置。这样,在加工过程中先采用螺钉将其定位定向,再对其连接处进行局部焊接。焊接时可以先开V形槽,然后用钎焊的方法进行焊接,其操作简单,焊后的夹具性能优良,基本符合夹具的设计要求。

4 结束语

从某雷达模块振动夹具设计的优化过程,总结出以下几点:

1) 振动夹具的设计要在提高固有频率的基础上进行结构优化,通过对设计结构的分析,来增强刚度,提高固有频率。

2) 进行振动夹具加工时,要考虑各种加工方法的利弊,充分利用各种方法的优点。如在进行该夹具加工时,可以先用螺钉对夹具的各个部分进行定位定向,再进行局部焊接,这样不仅可以使整个夹具稳定,还可以增强刚度。

(下转第29页)

结果如图8所示。红外法的测量结果受放大倍数影响较大,随放大倍数增大测量更准确,温度值也更大,其中最高精度(25倍)比最低精度(1倍)高约40%。

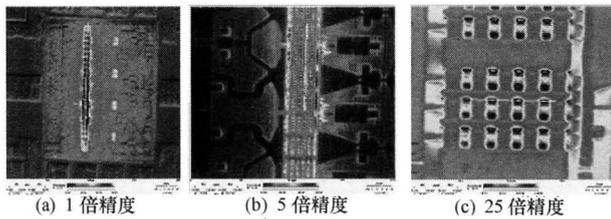


图8 样品1的红外法测温结果

图9给出了样品1的2种测试方法结果对比,可以看出电学法和中等精度(5倍)红外法的测试结果基本一致,空间精度大致相当于10 μm量级的红外精度。

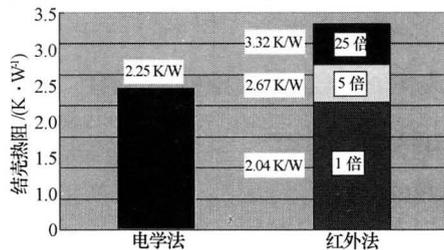


图9 样品1采用2种测试方法的结壳热阻对比
(壳指样品底部)

电学法的优点:1)多用途。可测结温、结壳热阻、接触热阻、焊接热阻等;2)高效率。一次测量可得到不同脉宽、占空比下的结温;3)热分析。可看到散热途径上的热信息,含各层的热阻和热容。但该方法不直观,需要外围电路。电学法主要用于热设计,也可用于检验。红外法的优点:1)直观。可直接看到结温及芯片温度分布;2)真实测量。非接触式、实际工作状态测量。但该方法不能给出对象的各层热阻信息,且

只能开盖测量。红外法主要用于批检。从应用角度来看,电学法更注重热设计,可测参数多,用途广;而红外法侧重于批检,可很方便直观地发现“过热点”。

3 结束语

本文介绍了GaAs MMIC功率放大器热特性的电学法测量的原理及方法,利用静态电学法对某GaAs MMIC样品进行了测量,分析了样品的热阻构成及不同样品的差异,并将该结果与红外测量结果进行比较,在可比范围内符合较好,最后给出了2种测温方法的优劣比较。电学法分析半导体器件的热特性具有快速、非破坏性等优点,为器件的热特性分析提供了方便的测试方法。

参考文献

- [1] DARPAR. DARPAR 战略规划 & 微系统技术[Z]. 中国电子科技集团公司. 2009.
- [2] FUKUI H. Thermal resistance of GaAs field-effect transistors [C]//International Electron Devices Meeting, 1980, 26: 118-121.
- [3] 彭利军, 杨坤涛, 章秀华. 光学测温技术中的物理原理[J]. 红外, 2006, 27(10): 1-4.
- [4] DAMIJANOVIC D D. Remodeling the p-n junction[J]. IEEE Circuits and Devices Magazine, 1993, 9(6): 35-37.
- [5] 冯士维, 谢雪松, 吕长志, 等. 半导体器件热特性的电学法测量与分析[J]. 半导体学报, 1999, 20(5): 358-363.

魏涛(1984-),男,博士,主要从事相控阵雷达电子设备的热控技术研究。

南京:东南大学出版社,2002.

- [6] 冯志华. 动力子结构理论在振动模态分析中的应用[J]. 苏州丝绸工学院学报, 2000, 20(3): 11-15.

(上接第25页)

3)本文对振动夹具进行了局部优化,但还未达到最佳值,还可结合动力学设计方法中的拓扑优化和参数优化等进行结构的合理性优化。

参考文献

- [1] 刘旭. 浅谈振动夹具的设计及振动夹具模态分析[J]. 民营科技, 2009(2): 16-17.
- [2] 奚德昌, 赵钦森. 振动台及振动试验[M]. 北京:机械工业出版社, 1985.
- [3] 张志旭, 朱学旺. 振动夹具一阶共振频率的试验数据识别[J]. 航天器环境工程, 2009(26): 62-64.
- [4] 何胜强. 振动夹具改进方法探索[J]. 科技信息, 2011(21): 41.
- [5] 邱成梯, 赵焯曼, 蒋全兴. 电子设备结构设计原理[M].

李新帅(1989-),男,硕士,主要从事电子设备结构设计工作。

张华国(1973-),男,助理工程师,主要从事通用机械设备维修工作。

钟剑锋(1967-),男,研究员级高级工程师,主要从事雷达大型阵面结构、微波及T/R组件结构研究。

帅立国(1968-),男,博士生导师,主要从事触觉系统以及物联网的研究。

刘国维(1971-),男,高级工程师,主要从事设备结构设计工作。