

通信收发机铝壳组件振动模态分析*

高峰,张德银,刘志勇

(中国民航飞行学院,广汉 618307)

[摘要] 研究了机载空地通信系统收发机铝壳组件的振动模态,首先用有限元分析软件建立了实际尺寸的机载空地通信系统收发机铝壳组件分析模型,分析用实体单元采用适应性很强并有退化性的 Solid185,材料属性参数采用实际测得的参数值,对模型进行了自由网格划分并开启等级为 7 的智能分网,根据实际安装尺寸对底部方形安装孔内孔面及其周围一定范围内的节点加载 0 约束,获得了铝壳组件各振动模态参数,并分析了 1 阶、2 阶、3 阶模态的振型情况。根据模态分析结果和实际使用条件,利用约束阻尼结构对机载空地通信系统收发机铝壳组件进行减振设计,测试结果表明:在高频段约束阻尼结构减振效果较好,在中低频段的减振效果稍差,约束阻尼结构的预紧压力大小会明显影响到低频段的减振效果。

关键词: 通信收发机;铝壳组件;振动模态;减振

Vibration Modal Analysis of Aluminum Shell of Communication Transceiver

GAO Feng, ZHANG Deyin, LIU Zhiyong

(Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

[ABSTRACT] The vibration modal of aluminum shell of airborne air-to-ground communication transceiver are investigated in this paper. The analysis mode of the aluminum shell of airborne air-to-ground communication transceiver with actual size is built up using the finite element analysis software. The adaptive and degenerative Solid185 is adopted as analytical solid element mode. The practical measured parameter value is applied to the material parameter of Solid185. The free mesh division is adopted by this mode and the open class of the intelligent mesh division is 7. The loaded zero restrains are applied to joints of the internal surface and its surrounding of square mounting hole at the bottom of this mode. The vibration modal parameters of this aluminum shell of airborne air-to-ground communication transceiver are obtained by the finite element analysis software and the the first order, second order and third order vibration modal are analysed. Based on the results of modal analysis and actual applied conditions, the restrain damping structure is used to damping design of the aluminum shell of airborne air-to-ground communication transceiver. The contrast damping measured results of aluminum shell with and without the restrain damping structure show the restrain damping structure has perfect damping effects at high frequency band, but the damping effects at middle and low frequency band are worse than those at high frequency band. And the damping effects at low frequency band were influenced by the preloaded pressure of the restrain damping structure.

Keywords: Communication transceiver; Aluminum shell; Vibration modal; Damping

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.12.088

机载电子设备在飞行过程中,长期承受振动、冲击及摩擦力作用,会使设备产生疲劳损坏,电参数漂移,器件引线或焊点断裂,以及引线位移使器件分布参数发生变化等^[1]。影响机载电子设备性能的环境因素比较多,如高温、高压、强电磁干扰、机械振动与冲击等。美国空军航空电子整体研究项目的结果表明,机械振动与冲击

是导致航空电子设备产生故障的第二大因素^[2]。由于机载电子设备小型化、轻量化以及愈来愈严酷的应用环境,振动和冲击对机载电子设备的影响已变得非常突出。为防止振动和冲击对机载空地通信系统设备功能与结构的破坏,一般采用外部加减振器与机载通信设备连接减振,这与电子设备小型化和功能集成化的发展趋势背道而驰。探索在一定振动和冲击环境中去掉外部减振器,从而实现机载空地通信系统设备硬装的前提条

* 基金项目:中国民航局科技基金项目(MHRDZ201127)和中国民航飞行学院青年基金(Q2013024)。

件是,必需知道机载空地通信系统设备动态特性即振动模态。本文以某型机载空地通信系统设备铝壳组件为研究对象,根据该型号收发机实际几何尺寸,研究其振动模态。

某型机载空地通信系统设备铝壳组件实际振动情况千姿百态、瞬息变化,其在进行自由振动时所具有的振动特性叫做振动模态。振动模态分析就是以振动理论为基础,以模态参数为目标的分析方法,它往往通过一定理论模拟或试验手段来确定振动模态参数^[3]。根据理论模拟或试验手段获得振动模态,为机载空地通信系统收发机设备内电路板减振设计提供了理论依据,也为实际的机载空地通信系统收发机设备铝壳组件与内部电路板之间的减振应用提供了理论基础^[4]。

1 振动模态及其分析方法

振动问题一般是由激励、振动系统和响应3部分组成,振动问题的研究对象即为振动系统。外界激励力等因素叫做激励(输入),作用于系统使之产生振动响应(输出)。模态分析是振动研究中很重要的内容,所谓振动的模态是机械结构的一种属性。在结构力学中,可以用它来描述振动系统的特性。对于任何机械系统,各点对于外力的振动都可以表示为由固有频率、模态阻尼、模态振型等模态参数表征的各振动模态的叠加^[5]。因此,以机械结构系统为对象进行振动特性分析,可通过求取表征模态的性能参数来进行。通过建立用模态参数表示的振动系统的运动方程,并确定其模态参数的过程便称为模态分析^[6]。

结构模态分析技术分为理论模态分析和试验模态分析两大类,它们是解决复杂结构动态特性设计的重要手段。理论模态分析是以线性振动理论为基础,研究激励、系统和响应三者间的关系;试验模态分析是解决如何通过对结构的动态测试和信号分析来确定被测系统的模态参数,其理论基础是系统频率响应和模态参数的关系,核心内容是描述系统结构动态特性的固有频率和振型等模态参数。基于上述的模态分析基本理论,试验模态分析必须解决两个核心问题:第一,采用哪些测试方法才能获取包含振动系统全部模态信息的频率响应值或曲线,这是试验模态测试方法问题;第二,如何从测试的频率响应曲线中提取出部分或全部模态参数,这是试验模态参数识别问题^[7]。

2 振动模态有限元分析

由于某型机载空地通信系统收发机设备由多个组件组成,应对各组件进行单独分析,为了简要说明分析方法,本文仅关注某型机载空地通信系统设备铝壳组

件振动模态分析。机载空地通信系统收发机铝壳组件几何尺寸(长×宽×高)为253mm×159mm×52mm,铝壳厚度为1mm;安装孔为长方形,尺寸为23mm×15mm,位于机件底部,距机件底部左边71mm,距机件底部前边24mm,模型如图1所示。

某型机载空地通信系统收发机铝壳组件使用软件ANSYS 13.0进行分析计算^[8],单元采用Solid185。Solid185是一种适应性很强的实体单元,且具有退化性,材料属性参数如表1所示。采用自由网格划分,默认单元大小为7,并开启智能分网,等级为7,分网后节点个数为45888,单元个数为136785,如图2所示。

根据某型机载空地通信系统收发机实际安装要求,其底部约束如图3所示。铝壳组件除了对方形安装孔内孔面加载0约束外,还对底部安装孔周围一定范围内的节点加载0约束。求解后模态结果如表2所示。

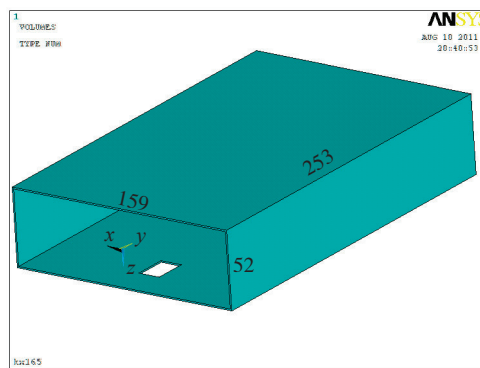


图1 某机载通信收发机铝壳组件几何尺寸
Fig.1 Geometric dimension of aluminum shell

表1 收发机铝壳组件材料属性

| | |
|----------------------------|------|
| 材料 | Al |
| 泊松比 | 0.27 |
| 杨氏模量 /GPa | 70 |
| 密度 / (kg·m ⁻³) | 2800 |

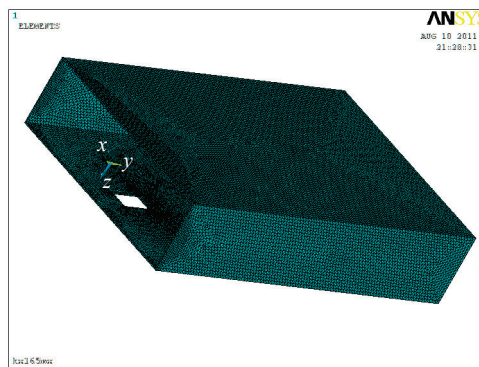


图2 某机载通信收发机铝壳组件有限元网格
Fig.2 Finite element mesh of aluminum shell

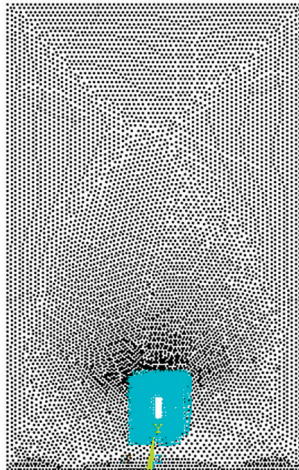


图3 某机载通信收发机铝壳组件底部约束
Fig.3 Bottom constraint of aluminum shell

表2 加工能力元参数及对应设备信息

| 阶数 | 频率 /Hz | 阶数 | 频率 /Hz |
|----|--------|----|--------|
| 1 | 34.70 | 11 | 1167.7 |
| 2 | 69.855 | 12 | 1301.0 |
| 3 | 174.87 | 13 | 1382.1 |
| 4 | 348.93 | 14 | 1457.2 |
| 5 | 497.87 | 15 | 1652.8 |
| 6 | 573.74 | 16 | 1716.1 |
| 7 | 581.59 | 17 | 1728.3 |
| 8 | 682.10 | 18 | 1988.6 |
| 9 | 887.96 | 19 | 2040.0 |
| 10 | 1051.4 | 20 | 2128.8 |

图 4、图 5、图 6 分别显示了某型机载空地通信系统收发机设备铝壳组件的 1 阶、2 阶、3 阶模态的振型情况。从图 4 分析可知,当该铝壳组件受到频率为 34.70Hz 的自由振动的 1 阶振型时,则铝壳组件后部承受最大振幅,并且振动幅度随偏离安装孔距离变长而呈增长之势。从图 5 分析可知,当该铝壳组件受到频率为 69.855 Hz 自由振动的 2 阶振型时,则铝壳组件两侧承受最大振幅,并且两侧上棱角承受最大破坏力。从图 6 分析可知,当该铝壳组件受到频率为 174.87Hz 自由振动的 3 阶振型时,则铝壳组件前部上侧承受最大振幅,并且前部上侧中心处承受最大破坏力。其他类型的振动模态振型中心振动频率参数如表 2 所示。

3 机载空地通信系统收发机铝壳组件减振设计

从某型机载空地通信系统收发机设备铝壳组件振

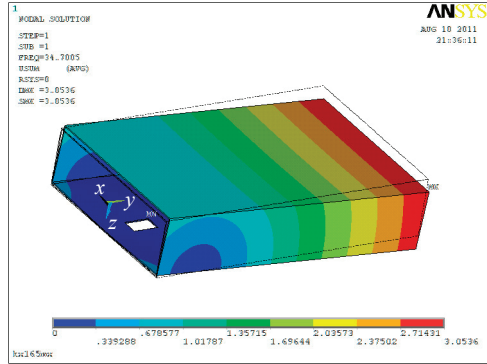


图4 某机载通信收发机铝壳组件的1阶振型
Fig.4 The first order vibration modal of aluminum shell

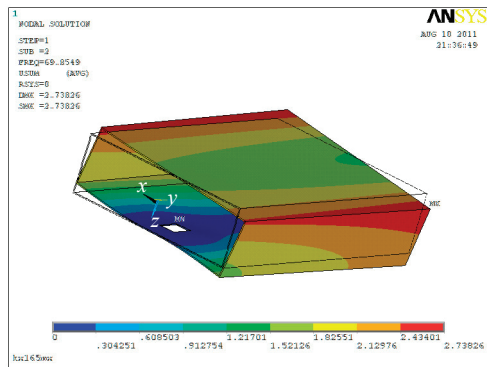


图5 某机载通信收发机铝壳组件的2阶振型
Fig.5 The second order vibration modal of aluminum shell

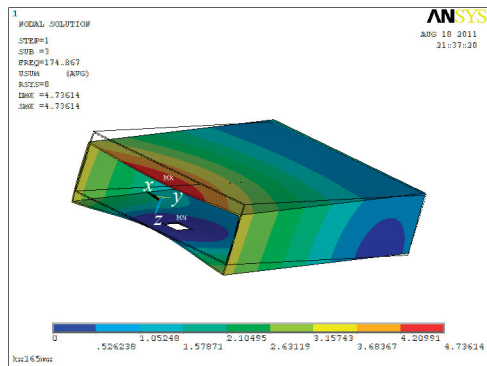


图6 某机载通信收发机铝壳组件的3阶振型
Fig.6 The third order vibration modal of aluminum shell

动模态来看,振动对该型设备具有很大影响,是造成外接信号线、天馈线和内部电路板松动的重要原因,所以对该型设备进行减振设计非常重要。本文采用减振效果较好的约束阻尼结构对该收发机设备铝壳组件进行减振设计^[9]。考虑到机载空地通信系统收发机晶振组件印制电路板安装空间及固定方式,设计约束阻尼结构采用酚醛层压玻璃布板弹性层和同样尺寸的医用硅橡胶阻尼层粘合而成,安装位置设于安装孔处,介于铝壳组件与主印制电路板之间,并且阻尼层与印制板间也采取粘合措施;而印制板另一面和固定螺钉间加垫硅橡

胶柱。然后把减振前后的某型机载空地通信系统收发机设备放到激振台上测试减振效果,如图7所示。图7中线1为未加约束阻尼结构的振动响应曲线,线2为加了内部约束阻尼结构后的振动响应曲线。图7显示约束阻尼结构有一定的振动隔离效果,并具有改进优化的潜力。由图7可见,在高频段(1000Hz以上)约束阻尼结构具有较好的减振效果,但在中低频段的减振效果稍差。实测发现,约束阻尼结构的预紧压力大小会明显影响低频段减振效果,太紧和太松都不好,适度的压力减振效果最好。

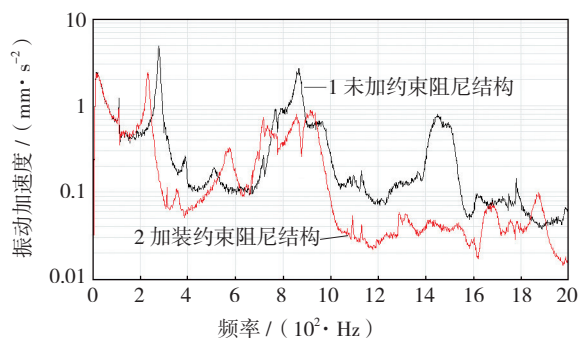


图7 内部加装约束阻尼结构前后振动响应曲线图
Fig.7 Vibration response curve of the contrast damping measured results

4 结论

本文用有限元分析软件建立了实际尺寸的某型机载空地通信系统收发机铝壳组件分析模型,然后对模型进行有限元分析,获得了各振动模态参数,以及1阶、2阶、3阶振动模态的振型。从低频振型分析中发现振动对某型机载空地通信系统收发机铝壳组件有重大影响,所以考虑约束阻尼结构对某型机载空地通信系统收发机铝壳组件进行减振设计。然后把加装内部约束阻尼结构的该收发机设备放到激振台上测试减振效果。测试结果显示内部约束阻尼结构对某型机载空地通信系统收发机有一定的振动隔离效果,在高频段(1000Hz以上)约束阻尼结构具有较好的减振效果,在中低频段的减振效果稍差。实测发现,约束阻尼结构的预紧压力大小会明显影响低频段减振效果,太紧和太松都不好,适度的压力减振效果最好。

参考文献

- [1] HEYLEN W, LAMMENS S, SAS P. Modal analysis theory and testing[J]. Communications Magazine IEEE, 1997,22(5):64-70.
- [2] RISTO H, MATTI K, RAIJA U. Verification of the thermal design of electronic equipment[J]. Technical Research Centre of Finland, Vtt Publications, 1997, 86(13): 564-568
- [3] 曹树谦,张文德,萧龙翔. 振动结构模态分析: 理论、实验与

应用[M]. 天津: 天津大学出版社, 2001.

CAO Shuqian, ZHANG Wende, XIAO Longxiang. Modal analysis of vibration structure: theory, experiment and Application[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2001.

[4] 孟钥然,李传日,李当当. 基于实验模态分析的航空电子机箱振动特性研究[J]. 强度与环境, 2010, 37(5):34-39.

MENG Yueran, LI Chuanri, LI Dangdang. Dynamic characteristics research of an airborne electronic box based on experimental modal analysis[J]. Structure & Environment Engineering, 2010, 37(5):34-39.

[5] 董政,蔡爽,徐利梅,等. 二自由度两弹簧系统振动实验设计与分析[J]. 电子科技大学学报, 2006, 3(4):550-553.

DONG Zheng, CAI Shuang, XU Limei, et al. Design and analysis of a two-spring-two-freedom vibration system[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology, 2006, 3(4):550-553.

[6] 张令弥. 振动测试与动态分析[M]. 北京: 航空工业出版社, 1992:2-4.

ZHANG Lingmi. Vibration test and dynamic analysis[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1992:2-4.

[7] 张思. 振动测试和分析技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992:3-7.

ZHANG Si. Vibration testing and analysis technique[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1992:3-7.

[8] 张亚峰. 车载电子设备的抗振设计[J]. 电子机械工程, 2003, 19(2):6-12.

ZHANG Yafeng. Anti-vibration design of vehicle-borne electronic equipment[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2003,19(2):6-12.

[9] 戴德沛. 阻尼减振降噪技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1986:21-29.

DAI Depei. Damping technology for vibration and noise control[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1986:21-29.

(责编 大漠)

(上接第87页)

473(1-2): 509-515.

[15] 牟仁德,许振华,贺世美,等. $\text{La}_2(\text{Zr}_{0.7}\text{Ce}_{0.3})_2\text{O}_7$ 新型高温热障涂层[J]. 材料工程, 2009(7):67-71.

MU Rende, XU Zhenhua, HE Shimei, et al. $\text{La}_2(\text{Zr}_{0.7}\text{Ce}_{0.3})_2\text{O}_7$ a new oxide ceramic material for thermal barrier coatings[J]. Journal of Materials Engineering, 2009(7):67-71.

[16] LI M H, ZHANG Z Y, SUN X F. Oxidation and degradation of EB-PVD thermal-barrier coatings [J]. Oxidation of Metals, 2002, 58(5):499-512

[17] HESNAWI A, LI H F, ZHOU Z H, et al. Effect of surface condition during pre-oxidation treatment on isothermal oxidation behavior of MCrAlY bond coat prepared by EB-PVD[J]. Surface & Coatings Technology, 2007, 201(15):6793-6797.

[18] ZHANG K, REN C, HE Y D, et al. Preparation of YSZ coatings by thermal pressure and filtration of sol-gel paint (TPFSP) for thermal barrier application[J]. Surface & Coatings Technology, 2011, 205(19):4343-4348.

(责编 大漠)