

# 某电子设备的阻尼减振设计

李晓颜 王建月 赵云峰 李诗成 王立峰

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

**文 摘** 某电子设备在工作过程中承受振动和冲击等动载荷环境,其动态响应过大而导致电气特性下降,无法满足使用要求,因此对其进行阻尼减振设计。结果表明,经处理后电子设备的振动减振效率大于55%,冲击加速度放大倍数小于1.6,有效改善了电子设备的工作环境。

**关键词** 电子设备,动载荷,阻尼,减振,缓冲

## Damping Design for Electric Equipment

Li Xiaoyan Wang Jianyue Zhao Yunfeng Li Shicheng Wang Lifeng

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

**Abstract** Electric equipment suffers dynamic load such as vibration and shock at work, as a result, failing to work normally as the response exceeded its tolerance, thus the damping design was applied to reduce vibration and absorb shock. Tests results show that vibration reduction efficiency is larger than 55 percent, magnification of shock response is less than 1.6, and the work environment of electric equipment is improved efficiently.

**Key words** Electric equipment, Dynamic load, Damping, Reduce vibration, Absorb shock

### 0 引言

随着航天技术的发展,振动和噪声已成为该领域必须解决的关键技术问题<sup>[1]</sup>。宽频带随机激振引起结构的多共振峰响应可导致电子器件失效,仪器仪表失灵,机械零部件寿命缩短,影响武器装备的精度与可靠性,严重时甚至造成失效,引发灾难性后果。以黏弹性阻尼材料为基础的阻尼减振技术得到了长足的发展<sup>[2]</sup>,为解决多共振峰振动控制问题提供了一条经济而有效的途径,成为航天工程中必不可少的关键技术之一<sup>[1-4]</sup>。

某电子设备在工作过程中要承受随机振动载荷以及半正弦冲击、恒加速度等动态载荷,此外还经历温度冲击等环境条件,导致其动态响应过大,严重影响其电气特性,无法满足使用要求。本文采用阻尼减振技术对其进行减振缓冲处理,根据其安装空间和连接方式,选用结构简单的T型减振器结构形式,选用高性能硅橡胶阻尼材料,采用有限元模拟的方法进行优化设计,并进行了试验验证。

### 1 设计要求

(1)需要减振部分的质量约为500 g。

(2)工作温度范围:-3 ~ +70℃。

(3)设备分别承受均方根加速度值为6.1 g(振动条件I)、4.5 g(振动条件II)的振动载荷;在-3℃、常温、+70℃条件下,减振后设备三个方向的谐振频率不大于80 Hz,谐振点放大倍数不大于6,减振效率大于50%。

(4)常温下承受加速度峰值25 g、持续时间为8 ms的半正弦冲击载荷,处理后设备的冲击响应放大倍数不大于1.6。

### 2 阻尼减振结构设计

#### 2.1 结构形式

T型减振器结构简单、使用方便,已广泛应用于我国多种航天产品,其结构形式如图1所示,每件减振器包含2件T型橡胶减振垫、1件金属限位垫片和1件金属限位衬套,在设备底部的四个安装角安装4件减振器。金属限位垫片和限位衬套起到限位和安装连接的作用。

收稿日期:2012-11-05

作者简介:李晓颜,1978年出生,硕士,主要从事阻尼减振技术研究。E-mail:lxyan78@163.com

## 2.2.2 计算结果

### 2.2.2.1 振动条件 I

进行随机响应分析首先需要进行频率响应分析。对阻尼减振处理的电子设备施加单位加速度、频率为 20~2 000 Hz 的动载荷,设置 500 个计算步长,进行频率响应分析。在频率响应计算结果的基础上,输入均方根加速度为 6.1 g(振动条件 I)的功率谱密度函数进行随机振动响应分析。经计算,减振器用金属材料不锈钢和橡胶阻尼材料性能如表 1 所示时,满足减振设计要求。

表 1 选用材料性能

Tab.1 Capability of material

材料	弹性模量 /MPa	泊松比	密度 / $10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	阻尼系数
不锈钢	$2.1 \times 10^5$	0.3	7.8	-
ZN-37	2.2	0.49	1	0.18

有限元数值计算结果和计算数据分别如图 4 和表 2 所示。

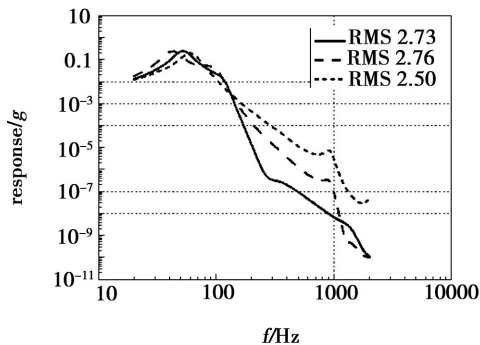


图 4 随机响应曲线

Fig.4 Random response curves

表 2 随机响应计算与试验结果

Tab.2 Calculation results of random response and the test results of random response

数据来源	方向	频率/Hz	放大倍数	减振效率/%
计算	x	56	3.1	55
	y	38	2.0	54
	z	49	2.6	59
试验	x	52	2.9	56
	y	32	1.7	61
	z	44	2.4	66

从表 2 可以看出,谐振频率、放大倍数和减振效率均满足设计要求,计算结果与试验结果相比非常接近,验证了有限元计算模型和计算方法的有效性。由于数值计算的谐振频率与放大倍数均比试验结果略高,从而减振效率计算结果比试验结果也略高。

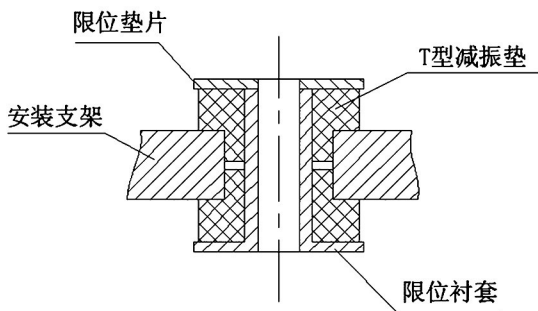


图 1 减振器结构示意图

Fig.1 Structure of the damper

## 2.2 有限元数值模拟

### 2.2.1 结构有限元模型

为预测减振器的减振效果,并对结构设计和材料性能提供指导,采用有限元仿真软件 MSC. NASTRAN 进行数值模拟<sup>[5]</sup>。计算中,采用三维实体单元对电子设备划分网格。有限元模型如图 2 所示,模型共有 32 659 个单元、38 723 个节点。

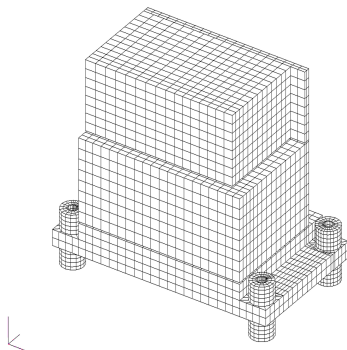


图 2 设备有限元模型

Fig.2 FEM model of equipment

边界条件的施加以减振器垂向(y 向)为例,约束减振器金属限位衬套和限位垫片侧向(x、z 方向)的所有自由度及 y 方向的转动自由度,放松 y 方向的平动自由度,并在 y 方向施加动态载荷(频率响应计算时施加单位加速度),如图 3 所示。

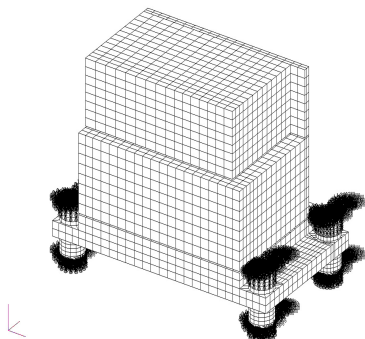


图 3 模型边界条件示意图

Fig.3 Model boundary condition

### 2.2.2.2 振动条件 II

在频率响应计算结果的基础上,按均方根加速度为 4.5 g 的振动条件 II 进行随机振动响应分析,计算结果和数据分别如图 5 和表 3 所示。

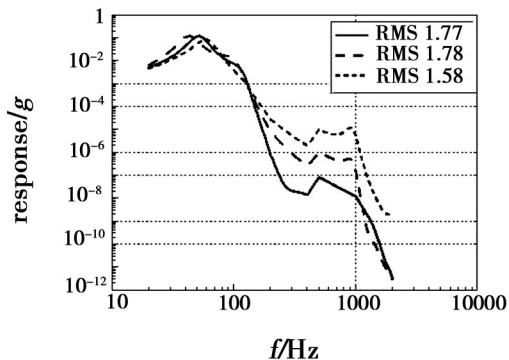


图 5 随机响应曲线

Fig.5 Random response curves

表 3 随机响应计算结果

Tab.3 Calculation results of random response

方向	谐振频率/Hz	放大倍数	减振效率/%
x	59	3.7	61
y	43	2.5	60
z	56	2.9	65

可见,在振动条件 II 作用下,谐振频率、放大倍数和减振效率等阻尼减振效果也满足设计要求。

### 3 试验考核

根据有限元数值计算结果确定的材料性能,航天材料及工艺研究所自行研制的高性能硅橡胶阻尼材料 ZN-37 符合设计要求,并且在较宽的温度范围内具有稳定的力学和阻尼性能,弹性模量及硬度的变化很小,耐高低温性能优异,耐老化性能突出,特别适合航天产品的工作环境<sup>[4]</sup>。因此选用 ZN-37 阻尼材料制备相应减振器样件,并按设计要求进行随机振动、冲击试验验证。

#### 3.1 振动试验 I

按均方根加速度为 6.1 g 的试验条件 I 进行随机振动试验,数据见表 2。可见,三个方向的谐振频率均小于 55 Hz,谐振点放大倍数不大于 3,减振效率均大于 50%,表明减振器具有良好的减振效果,减振后电子设备的电气性能满足使用要求。

#### 3.2 振动试验 II

按均方根加速度为 4.5 g 的试验条件 II,在低温(-3℃)、常温、高温(+70℃)条件下进行随机振动试验,试验结果见表 4。可以看出,在 3 种温度下,三个方向的谐振频率均小于 60 Hz,谐振点放大倍数不大于 6,减振效率均大于 50%,减振后电子设备的电气性能满足使用要求。

表 4 振动条件 II 随机响应试验结果<sup>1)</sup>

Tabl.4 Test results of random response

温度/℃	方向	f/Hz	Q	η/%
-3	x	50	3.3	57.5
	y	32.5	2.1	70
	z	45	2.3	67.5
	指标	64	≤6	≥50
常温	x	55	3.5	55
	y	35	2.2	70
	z	50	2.7	62.5
	指标	≤64	≤6	≥50
70℃	x	57.5	3.5	52.5
	y	35	2.4	62.5
	z	52	2.8	60
	指标	≤60	≤6	≥50

注:1) f 为谐振频率;Q 为放大倍数;η 为减振效率。

### 3.3 冲击试验

按加速度为 28 g、持续时间为 8 ms 的半正弦冲击条件进行试验,试验结果见表 5。

表 5 减振器冲击试验结果

Tab.5 Results of shock test

方向	冲击放大倍数(≤)	测试结果
x	1.6	1.4
y	1.6	1.1
z	1.6	1.4

可以看出,经阻尼减振处理后,三个方向的冲击放大倍数均不大于 1.6,满足设计要求,电子设备的电气性能满足使用要求。

### 4 结论

(1) 采用高性能硅橡胶 T 型减振器结构,对某电子设备进行处理,减振缓冲效果明显。

(2) 有限元数值模拟计算结果与试验结果接近,验证了计算模型和计算方法的有效性,为结构提供了有效的指导。

#### 参考文献

- [1] 王曼霞. 阻尼材料和技术及其在航天工业上的应用[J]. 中国航天, 1992(6): 37-40
- [2] 潘坚, 雷治大. 阻尼减振技术在航天领域中的实践[J]. 宇航材料工艺, 1991(4): 87-90
- [3] 赵云峰. ZN 系列粘弹性阻尼材料的性能及应用[J]. 宇航材料工艺, 2001, 31(2): 19-23
- [4] 赵云峰. 高性能黏弹性阻尼材料及其应用[J]. 宇航材料工艺, 2009, 39(5): 1-6
- [5] 马爱军, 周传月, 王旭. Patran 和 Nastran 有限元分析专业教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 5-75

(编辑 任涛)