

无人机电视侦察系统减振装置的分析与设计

张 葆

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 介绍了无人机减振装置设计原理和需注意的问题,并具体确定了该装置的设计参数。

关键词: 减振器; 振动; 阻尼

1 引 言

由于现代科学技术发展,迫切需要各种科学仪器应用到非常环境下。我们所设计的减振装置就是为电视摄像系统应用到无人侦察机上服务的。在无人机的非常环境下,由于飞机发动机产生的振动很大,无人机上又没有陀螺稳定措施,为获取稳定、清晰的电视图像和保证仪器可靠工作,必须采取减振措施。减振效果优劣直接决定电视摄像系统的工作性能。因此,为完成无人机电视侦察系统的研制任务,妥善解决减振问题具有十分重要意义。

2 减振的工作原理

为了不失一般性,我们不妨将振动简化为一个单自由度系统的强迫振动,这种简化模型与一般工程应用十分近似如图1,设基座振动为:

$$X_b = a_b \sin \omega t$$

根据力学定律得:

$$m \ddot{x} + \beta \dot{x} + kx = a \sin(\omega t + \gamma)$$

解此二阶常系数非齐次线性微分方程,它的通解为齐次方程一般解及非齐次方程的特解之和。

$$\text{即: } x = x_1 + x_2 = e^{-\alpha t} (a' \sin(\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} t + \alpha_p) + a'' \sin(\omega t + \gamma - \beta_p))$$

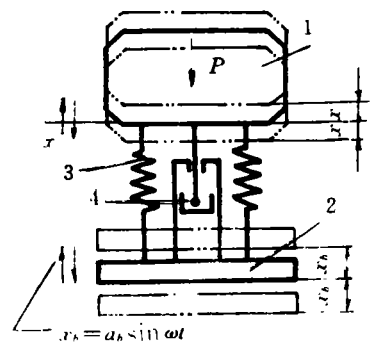


图1 减振装置工作原理简图

- 1. 仪器
- 2. 基座
- 3. 减振装置
- 4. 阻尼器

由上式分析可见:仪器的振动由二部分构成,一部分是振幅随时间增加而减小的自由振动($t \rightarrow \infty, e^{-\beta t} \rightarrow 0$);另一部分是振幅不衰减的强迫振动。衰减自由振动对仪器的影响将很快消失,而强迫振动对仪器的影响不容忽视,所以作进一步推理分析得仪器振动振幅与基座振幅之比 η_b :

$$\eta_b = \frac{a''}{a_b} = \sqrt{\frac{1 + 4\beta_0^2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2})^2 + 4\beta_0^2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}}$$

根据上述方程得出不同阻尼情况下振幅比与频率比的关系曲线如图 2,依图可见:

(1)当 $\omega = \omega_0$ 时,振幅比将大大超过 1,如 $\beta_0 = 0$,振幅比 η_b 为无穷大,这时,将出现共振。此外,还可以看出在 $\omega/\omega_0 = 0 \sim \sqrt{2}$ 范围内振幅比 η_b 都大于 1,因此选用减振装置时,一定要恰当,否则会起反作用。

(2)在 $\omega/\omega_0 = f/f_n < \sqrt{2}$ 时,阻尼可起到降低振幅值的作用。但是在 $f/f_n > \sqrt{2}$ 时,阻尼增大将使隔振效果下降。另一方面,频率比增加到一定程度后,振幅比减小亦不明显。阻尼的选择应兼顾两方面的作用,既能保证在系统共振时,振幅放大不多,又能保证有满意的减振效果。

(3)从理论上讲,隔振元件的刚度越低越好,但是,由于 f_n 过小往往会增大减振器的体积。

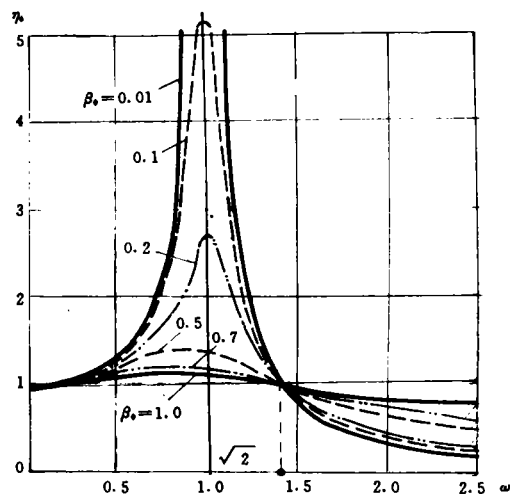


图 2 在不同阻尼情况下振幅比和频率比的关系曲线

3 减振装置的布局和设计

电视摄像系统的三个转动自由度较严重地影响电视的摄像效果。因此我们设计减振装置重点控制转动自由度。为控制转动自由度,一方面采取对称布置性能参数相同的四个减振器,并且使质心尽量落在四只减振装置支点所决定的平面内,或质心距该面距离较短。

减振装置性能参数主要有 ω/ω_0 和刚度系数 K_0 。依上述分析,为达到减振目的, ω/ω_0 值应大于 $\sqrt{2}$, β_0 要适当的小,因为减振装置具有减小振动的同时,还要减小冲击的影响,因为冲击脉冲可能包含由零到无穷大的频率分量,因此,不可避免地造成共振。所以 β_0 亦不能过小,这里我们选取 $\beta_0 = 0.2$ 。

电视摄像系统总重量 10kg,采用四只减振装置,对称安装在飞机上,如图 3。

飞机发动机的转速 3600 转/分(即飞机振动频率为 60Hz)。

每个减振器承受重量为 $W = 100\text{N}/4 = 25\text{N}$,飞机振动的角频率 $\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 60 = 376.8\text{rad/s}$ 。飞机机身的振动幅度为 0.1mm,电视侦察系统要求振动幅度不能超过一个象素(0.008mm),因此由公式求出 $\omega/\omega_0 \approx 4$

$$\begin{aligned} k &= \omega_0^2 m = 0.0625 \omega^2 m \\ &= 0.0625 \times 376.8\text{rad/s} \times (25/9800) \\ &= 22.54\text{N/mm} \end{aligned}$$

根据 $K = 22.54\text{N/mm}$,和 $\beta = 0.2$ 指标,确定我们设计减振装置的结构和材料如图 4。

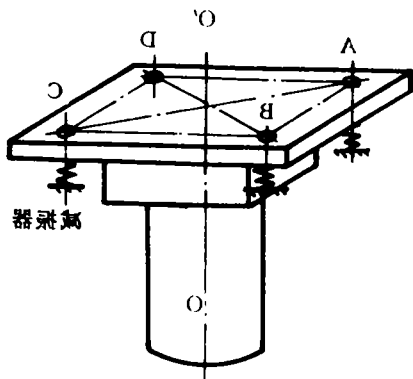


图3 减振装置安装

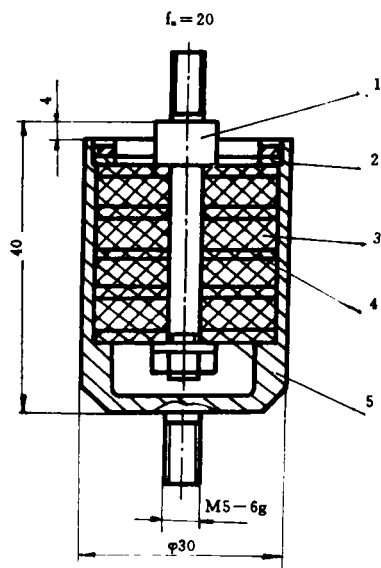


图4 减振装置结构图

1. 支杆 2. 海棉橡胶垫 3. 毡圈 4. 橡胶垫 5. 外壳

4 结束语

上述只是设计减振装置理论上的指导,由于振动的条件十分复杂,影响的因素较多,很难与实际情况完全接近。

隔振系统安装完毕,检查隔振效果是否达到要求。根据图5曲线,需要在振动台上进行现场模拟试验。在试验中,各种情况下,对振动的几个方向,测量振动的大小,或根据电视图像的效果来检验隔振设计是否达到要求,如果超出设计要求,查明原因,修改设计参数,更换隔振元件和改变减振装置的安装位置,直到取得满意的效果。上述设计经过实验证明对电视图像的影响极小,效果良好。

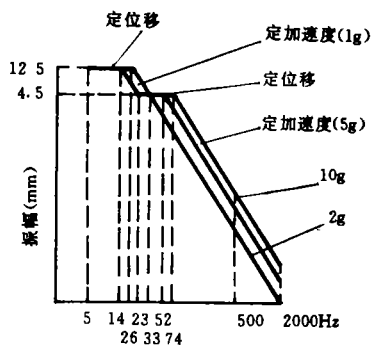


图5 安装于飞机上的摄像设备的振动曲线

参考文献

- [1] CREDE, C. E., Vibration and Shock Isolation John Wiley and Sons INC New York.
- [2] [丹] J. T 勃劳希, 机械振动和冲击测量
- [3] 黄文虎等, 振动与冲击手册

Analysis and Design of Damper Applied to Unmanned Reconnaissance Plane

Zhang Bao

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

Abstract

We have introduced the principle of damper which is applied to unmanned plane, emphasizing some problem and determining parameters.

Key words: Damper, Vibration, Damping