

航空相机减震系统设计

苗用新^{1,2}, 张 堃^{1,2}, 郭 劲¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要:减震器采用减震材料加垫片形式作为减震腔填充结构, 简化了系统结构, 降低了制造、维修成本。减震系统采用“三点圆周均布”方式安装减震器, 抑制航空相机在 X, Y, Z 轴方向上的转动。最终, 通过适当选择减震参数达到航空相机精度要求。

关键词:减震器; 机载设备; 仿真

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

Design of the Absorber System of the Airborne Camera

MIAO Yong-xin^{1,2}, ZHANG Kun^{1,2}, GUO Jin¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Absorbing materials combined with shims are used for filling the absorbing chamber, it makes the structure of the system more sample, the manufacture and repairing cost cheaper. The “tri-point circumferential uniform distribution” used in the absorber system to assemble the absorbers, limits the angular displacement of X, Y and Z axis of the EO tracing equipment. Finally, the absorber system satisfies the precision requirements of the EO tracing equipment by choosing suitable parameters.

Key words: absorber; airborne equipment; simulation

1 引言

航空相机一般是以吊舱的形式装挂于作战飞机上, 它利用前视红外、电视、激光等光电传感器对地面目标进行搜索、识别、跟踪以及激光指示。空对地攻击时航空相机首先搜索、发现、识别目标, 当满足截获目标条件后手动或自动截获目标, 并实现设备自动跟踪目标^[1]。对机载设备来说, 其振动环境比较恶劣, 尤其对于机载航空相机, 各种振动经过弹性构件传递到设备基座, 从而引起设备环架和台体振动。设备环架、台体及惯性仪表和负载实际上是一个多自由度的弹簧-质量-阻尼系统, 因此当激励频率和系统的某阶固有频率相等时, 将引起共振。强烈的振动通过环架的不等刚度和质心偏移, 使陀螺仪产生漂移, 视频图像模糊, 交变干扰力矩也会使陀螺仪产生过大的角运动, 影响平台稳定系统的工作。所有这些最终都会降低平台的跟踪精度, 甚至

造成丢失目标。因此, 为了减小惯性仪表的误差, 提高平台的稳定精度和跟踪精度, 需要对设备安装专门的隔振装置。

2 振动对跟踪精度的影响

2.1 振动源

分析航空相机的工作环境, 了解各振动源的工作机理及其施加方式, 这样才能有的放矢地解决振动的问题, 达到设计要求。机载设备振动源主要包括: 外界干扰和内部干扰^[2]。

外界干扰: 载机发动机组产生的振动; 载机航线、速度、高度急剧变化产生的振动; 各种大气现象及空气动力现象, 相对航空相机窗口的空气流动和

基金项目: 中科院二期创新项目 (No. Q05C06Z) 资助。

作者简介: 苗用新 (1982 -), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事机载光电设备研究。E-mail: myx1982@126.com

收稿日期: 2008-05-16; **修订日期:** 2008-06-25

低频热动力现象引起的振动;机炮发射时的撞击力以及外挂投放时产生的振动;载机地面滑跑和地面牵引时产生的振动;喷气发动机的高声强噪声以及机炮发射时的炮口爆炸波等产生的振动;由于安装误差或者设备升降使得光电设备的重心和安装固定点不在同一个平面上产生的角振动等。

内部干扰:航空相机内部的调光机构引起的振动;航空相机的调焦与变倍引起的振动;由于俯仰、偏摆、调焦等动作引起航空相机的重心不固定产生的振动;航空相机座架的摇摆产生的振动等。

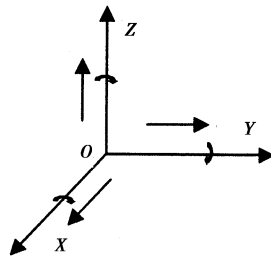


图1 振动在坐标系下的分解

2.2 线振动对跟踪精度的影响

为使问题分析简化,将航空相机载体在空中的航行速度假设为零,这样的假设基于航速引起的成像质量降低可由像移补偿装置来解决^[3]。建立直角坐标系:航空相机光学系统镜头为坐标原点,光轴方向为Z轴,把振动分解为沿三个坐标轴的基本运动,即绕三个轴的转动加沿三个轴的平动,如图1所示。这些运动的结果使被摄取的物点曝光成像在航空相机焦面的不同位置上,这种光学影像的相对位移使得像质下降。

航空相机的复合运动中包含三种线位移:沿OX向、OY向、OZ向的平动,由坐标系的建立可知光轴方向与光轴重合,认为OX向、OY向的光学系统是对称的,其运动规律是一致的。仅考虑线振动时,光轴平动对像质的影响小于另外两个方向平动^[4]。

2.3 角振动对像质的影响

当相机固定点的振动相位与振幅不一致时,就会发生角位移,认为绕X轴、Y轴的形式与规律是一致的,故以Y轴为例进行讨论。

$$\Delta\Psi_Y = \Delta S_Z / L$$

其中, ΔS_Z 是X轴上两固定点Z向距离差; L 是X轴上两固定点X向距离差。

为使问题简单化,仍考虑简谐振动,并且认为各个固定点上的振幅相同:

$$\Delta\Psi_Y = \frac{\Delta S_Z}{L} = \frac{S_Z \sin(\omega t + \Psi_{Y_1}) - S_Z \sin(\omega t + \Psi_{Y_2})}{L}$$

当其中相位 Ψ_{Y_1}, Ψ_{Y_2} 相差角度为 π 时取得极大值:

$$\Delta\Psi_Y = \frac{2S_Z \sin(\omega t + \Psi_{Y_1})}{L} \quad (1)$$

同理可得:

$$\Delta\Psi_Z = \frac{2S_Y \sin(\omega t + \Psi_{Z_1})}{L} \quad (2)$$

对于振动而引起的相机转动,其回转中心的位置是由相机座架与飞行器连接点的多少及其相对位置所决定的。为了便于讨论可认为三个轴的回转中心都通过相机的镜头,这时相机的转动没有引起光学系统的主光轴平移,转动量最大的反映到了像点在像面的位移,故认为此时转动影响最大。图2为绕Y轴转动情况。

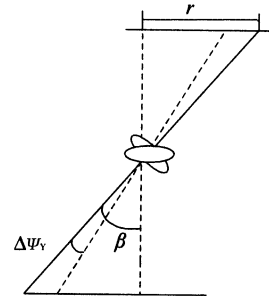


图2 绕Y轴扭转分析

图中: $r = f \times \tan\beta$ 。此式微分有: $dr = \frac{f}{\cos^2\beta} d\beta$ 。产生 $d\beta$ 的原因正是由于相机的转动即角振动,有:

$$d\beta = \frac{d\Psi_Y}{dt} dt$$

$$\cos^2\beta = \frac{f^2}{f^2 + r^2}$$

将式(1)代入可以求得整个曝光时间 T_ϕ 内像点的移动距离:

$$\Delta r = dr = \frac{f^2 + r^2}{f} \cdot \frac{2\omega S_Z \cos(\omega t + \Psi_{Y_1})}{L} T_\phi$$

又因为 T_ϕ 远小于 $2\pi/\omega$,对于绕Z轴的转动:

$$dZ = r d\Psi_Z$$

$$\Delta Z_{\max} = r T_\phi \frac{2\omega S_Y}{L}$$

假定各固定点的振幅都相等($S_Y = S_Z$),比较 $\Delta r_{\max}$ 和 ΔZ :

$$\Delta r_{\max} = \frac{f^2 + r^2}{f} \cdot \frac{2\omega S_Z T_\phi}{L}$$

$$\frac{\Delta r_{\max}}{\Delta Z_{\max}} = \frac{f^2 + r^2}{fr} \geq \frac{2fr}{fr} = 2 \quad (3)$$

所以,仅考虑角振动时,绕水平轴转动对像质的影响大于绕光轴转动。

把相机绕水平轴转动和平动的最大位移进行比较,并且考虑相机镜头的半视场角为 5° ,有:

$$\frac{\Delta r_{\max}}{\Delta X} = \frac{2(f^2 + r^2)}{fL} \cdot \frac{H}{f} \geq \frac{2H}{L} \quad (4)$$

3 减震系统设计

通过上述分析可得,仅考虑线振动,沿光轴方向平动对像质的影响小于另外两个方向平动,可以忽略不计;仅考虑角振动,绕水平轴转动对像质的影响大于绕光轴转动;综合考虑线振动和角振动,角振动所引起的像质变化大于线振动,尤其是在垂直于光轴的平面内尤为严重。所以在设计减振系统时,主要应考虑使航空相机不因载机机体的振动而产生角振动,并考虑线振动的隔离,此外,还应注意排除固定点线振动所引起的角振动^[5]。

减震器设计如图3所示,为方便维修护理,将减震器外壳设计腔体和端盖两部分,这样可以方便装卸减震器来维修更换减震材料或垫片;减震材料被分层填充减震器内腔,并用金属垫片分隔各个减震层从而提高见证腔内系统的刚度的,减少应力集中。

为了有效减小振动对航空相机,尤其是对航空相机成像质量的影响,设计减震系统结构框架如图4所示。稳定的三角结构,抑制了载机振动对航空相机造成的角位移。对于该系统还应满足:三个支撑减震器的固定点安装在同一平面内,且航空相机质心与该平面近似在一个平面内,并与各支撑减震器固定点等距(如图4中坐标系所示位置);支撑减震器以环形均匀固定在支撑盘上,且各支撑自然长度和减震系数均相等。

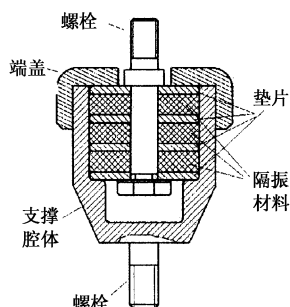


图3 减震器结构

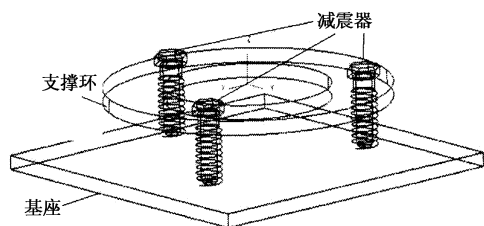


图4 减震系统结构示意图

某型直升机上航空相机的振动环境参数为:振动源激振频率为30~100Hz,振动加速度3g。通过MATLAB仿真,以正弦信号表示平稳飞行状态时载机振动,用随机信号模拟载机不平稳振动。当振动源激振频率为30Hz,50Hz,100Hz时,系统减震仿真结果如图5~10所示。

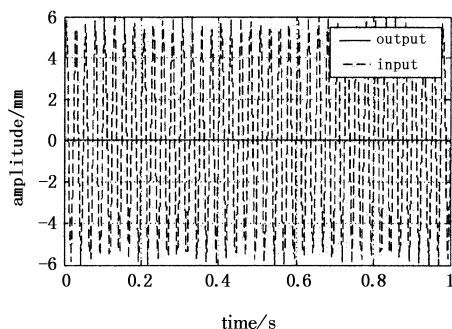


图5 平稳振动(频率30Hz)时系统减震效果

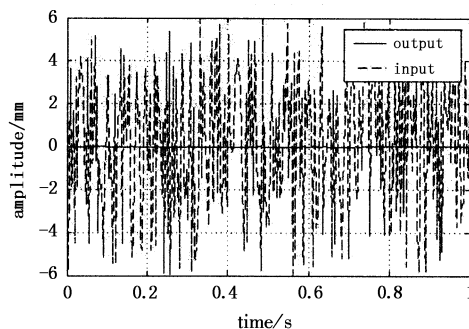


图6 随机振动(频率30Hz)时系统减震效果

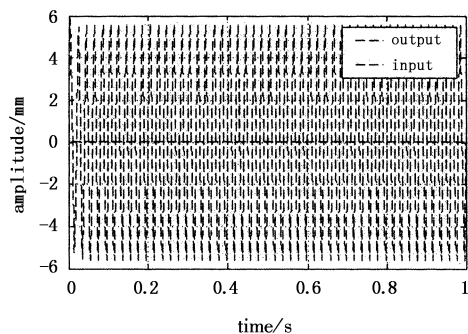


图7 平稳振动(频率50Hz)时系统减震效果

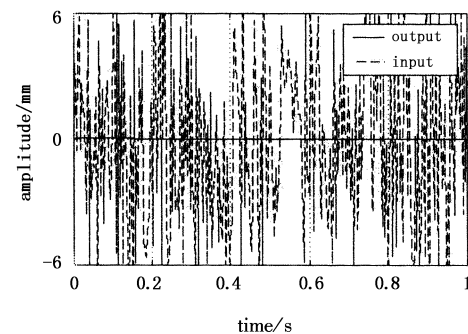


图8 随机振动(频率50Hz)时系统减震效果

(下转第1129页)

4 系统检测结果

依据最后系统验收实测:刀口仪测量组合系统星点弥散圆直径小于 0.02mm ; WYKO 干涉仪检验波面误差峰-谷(PV)值为 1.23λ ($\lambda = 0.6328\mu\text{m}$), 均方根(RMS)值为 0.18λ ; 尺寸链两镜间距相对误差为 0.024% , 后截距相对误差为 0.017% 。各项指标均满足设计要求, 系统顺利通过验收。

5 结论

(1) 对于大口径非球面的检测用补偿检验十分便利, 但是补偿器的设计、补偿器精度的保证以及光路调整都较为困难。

(2) 轻质镜的加工, 用三点扩九点的支撑方法和四点环抱的夹持方式镜面不容易变形。

(3) 对于大口径、多镜面光学系统用激光辅助调节光路较为方便。

(4) 出现像散时, 定点手修结合轻质大盘抛光

的方法能够快速消除像散, 且保持非球面面形。

参考文献:

- [1] 潘君骅. 光学非球面的设计、加工与检验[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 10-11.
- [2] 杨力. 先进光学制造技术[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 191-193.
- [3] 林大键. 工程光学系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987: 41-48.
- [4] D Malacara. Optical Shop Testing[M]. New York: Wiley, 1978: 9-10, 69-75.
- [5] 郝沛明. 凸非球面加工[J]. 光学学报, 1991(11): 931.
- [6] 袁莉, 潘宝珠. 大口径平像场激光扩束器光学系统地研制[J]. 激光与红外, 2007, 37(7): 672-672.
- [7] 蒋筑英, 李剑白, 等. 光学系统成像质量评价及检验文集[M]. 北京: 中国计量出版社, 1988: 116-120.

(上接第 1120 页)

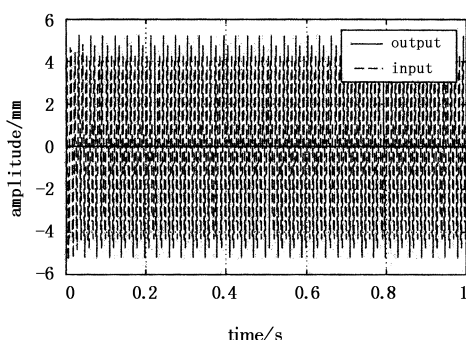


图9 平稳振动(频率100Hz)时系统减震效果

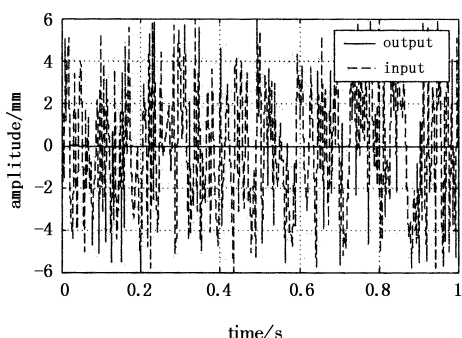


图10 随机振动(频率100Hz)时系统减震效果

如图5~图10所示, 平稳震动时系统减震后航空相机的最大位移小于 $0.3\mu\text{m}$; 在随机振动时系统减震后航空相机的最大位移为 $0.5\mu\text{m}$ 。系统设计满足航空相机分辨率精度要求。

4 结论

(1) 减震系统中减震器采用三角形圆周均布设计, 消除沿 X, Y, Z 轴转动引起的航空相机精度误差;

(2) 通过改变减震器螺栓预紧力, 可以方便调节系统固有频率, 避免产生共振;

(3) 适当选择减震材料, 可以调节减震系统精度;

(4) 减震器采用减震材料加垫片的结构来填充支撑腔体, 降低生产成本, 同时降低维修成本。

参考文献:

- [1] 贾平, 张葆. 航空光电侦察平台关键技术及其发展[J]. 光学精密工程, 2003, 11(1): 82-88.
- [2] 沈宏海, 刘晶红, 贾平. 摄像稳定技术[J]. 光学精密工程, 2001, 9(2): 115-120.
- [3] 梅德庆, 陈子辰. 微制造平台的精密隔振系统研究[J]. 光学精密工程, 2001, 9(6): 506-510.
- [4] 金光, 王家骥, 倪伟. 利用坐标变换推导经纬仪三轴误差[J]. 光学精密工程, 1999, 7(5): 89-94.
- [5] 付芸, 徐长吉, 丁亚林. 航空遥感相机扫描反射镜支撑技术[J]. 光学精密工程, 2003, 11(6): 550-554.