

机载多框架光电吊舱无转角隔振方式设计

田素林^{1,2}, 白鸿柏³, 张葆¹, 李嘉全¹

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;
3. 中国人民解放军军械工程学院, 石家庄 050003)

摘要:分析了光电侦察吊舱隔振器的作用以及对机载光电吊舱测量精度的影响, 提出了一种多框架光电吊舱的隔振措施, 该方法通过对振动的分级衰减, 可以有效隔离由光电吊舱载体引起的 20Hz 以上的振动。通过对隔振器的结构设计, 使隔振器按照 X、Y、Z 向平动, 不产生转角, 解决了隔振和精确测量的矛盾。

关键词:多框架; 光电吊舱; 转角; 隔振器

中图分类号: V248.1

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 9870 (2009) 04 - 0538 - 04

Designing of a Non-angle Revolving Damper Based on Aircraft-borne Multi-frame Turret

TIAN Sulin^{1,2}, BAI Hongbai³, ZHANG Bao¹, LI Jiaquan¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039;
3. People's Liberation Army Ordnance Engineer College, Shijiazhuang 050003)

Abstract: Analyzed the function of damper to photoelectric turret and the influence of measuring precision to aircraft-borne photoelectric turret. In order to obtain exact measure precision, we adopt a new technique based on multi-frame turret to vibration isolation. The technique can effectively isolate above 20Hz vibration which caused by the aircraft. And, through structural designing, can make the damper move according to X, Y, Z to the stable motion, has no-angle revolving. The technique can solved the contradiction between damper and the precision measuring on turret.

Key words: multi-frame; photoelectricity image turret; angle revolving; damper

现代军事战争要求光电侦察手段更丰富, 侦察距离更远, 目标定位更准确。光电侦察吊舱集成了可见光电式、红外热像仪、激光测距机/指示器等不同光谱波段光学传感器, 广泛用于飞机、舰船、车辆等运动载体上, 通过远距离无线电链路数据传输, 将侦察结果回传给后方的控制情报站。对所侦察的目标, 不仅能够实时跟踪锁定, 而且要求能够准确定位, 以便于指挥炮火跟进, 因此, 光电侦察吊舱测量基准与飞机基准应该严格对齐。而光电吊舱需要高精度视轴稳定技术, 实现对目标的清晰观察。隔振器可以隔离中高频振动, 而低频振动依靠陀螺仪敏感实时修正。为了解决隔振器软连接带来

的光电侦察吊舱测量基准与飞机基准发生角偏转的问题, 提出了一种基于多框架光电吊舱的无转动隔振措施。

1 光电吊舱的形式及隔振器的作用

光电吊舱内的摄像机通过方位与俯仰运动实现对空间目标的全方位扫描, 其结构方式通常采用常平架结构, 方位与俯仰轴带动电视/红外摄像机实现方位与俯仰二维旋转运动。由于光电吊舱外挂飞机机腹之外, 还要考虑飞机飞行时其风阻力对飞机和光电吊舱自身的影响, 所以通常将光电吊舱的外形做成球形形状, 以减小迎风面积, 减小阻力影

响。其结构原理图如图1所示。

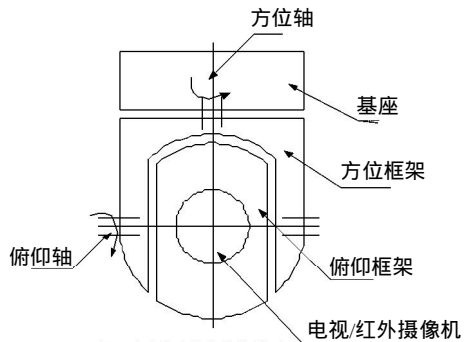


图1 光电稳定吊舱结构原理图

Fig.1 Principle of photoelectric turret structure

光电吊舱一般安装在飞机或舰艇上,载体的运动是随机而复杂的。相对于线振动,一定频率的角振动会加大摄像系统的像移量,使像质下降,降低光学系统的分辨率。计算表明,线振动振幅为1mm的影响和地物相对于飞机上的CCD探测器产生的像移都可忽略不计,并且传递函数很高;角振动影响却非常大,传递函数很低;振幅的角振动(30")产生的像移是线振动振幅为1mm时产生像移的436倍。因此角振动对成像质量的影响比线振动大得多^[1]。不仅如此,振动引起的隔振器转动会导致光电吊舱的吊舱坐标系相对于飞机坐标系发生旋转,使具有测量功能的光电吊舱的测量不准确,带来较大测量误差。

为消除振动带来的视频图像的像移,获得清晰稳定的实时图像,工程上通常采用主动隔振和被动隔振组合的方式对振动进行隔离,对低频,采用陀螺仪实时敏感并纠正载体的姿态变化,可以实现视轴在惯性空间内的稳定。对20Hz以上的中高频振动,由于受到光电吊舱框架结构刚度、关节连接刚度的限制,系统带宽一般低于25Hz。所以高于20Hz的振动就不能依靠主动隔振的方式进行隔离。实际上20Hz以上的角振动同样会使光学系统产生像移,使光学系统的传递函数下降,因此必须采用相应的隔振措施隔离20Hz以上的中高频振动。通常采用隔振器来实现这一功能。隔振器的作用等效于一个低通滤波器,理想的隔振器是将X、Y、Z三个方向上20Hz以上的振动全部隔离,并且隔振器三个方向的固有频率相同或接近,即要求隔振器能够实现所谓的“三向等刚度”。

2 隔振器对机载光电吊舱测量精度的影响

光电侦察吊舱一般需要完成两项任务:目标侦

察和目标定位。对目标侦察,要求摄像系统具有足够的地面分辨率,并且图像清晰稳定,无抖动、模糊现象。对目标定位,要求光电吊舱系统能够在自动跟踪状态下,准确测量出目标相对于飞机的空间位置,从而解算出目标的实际位置^[3],测量原理如图2所示。其中,A-目标相对飞机的方位角;E-目标相对飞机的俯仰角;L-目标距飞机的距离。

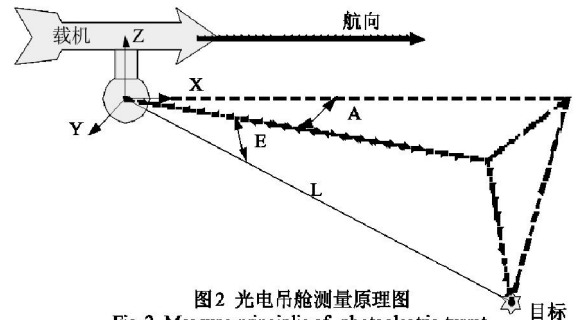


图2 光电吊舱测量原理图

Fig.2 Measure principle of photoelectric turret

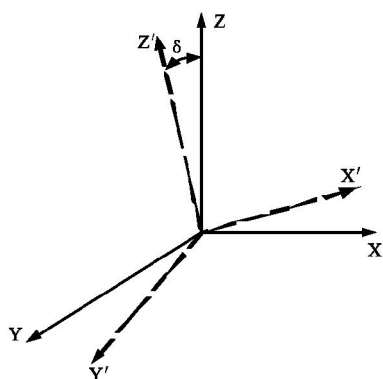
图2 光电吊舱测量原理图

Fig2. Measure principle of photoelectric turret

影响飞机系统对目标空间位置准确定位的因素有:光电吊舱的测角误差、光电吊舱相对于飞机基准的安装误差、隔振器误差、飞机惯导误差、链路误差等^[4],以上影响因素中,最不确定的因素为隔振器带来的测量误差。光电吊舱通过隔振器与飞机相连,相当于柔性连接,由隔振器的转动带来的测量误差是随机误差,因此很难定量测量修正。在设计时一般都会尽量减小该误差,例如隔振器对称布局,隔振器支撑中心与仪器重心尽量一致等等,会减小隔振器误差,但减小效果并不明显。实践表明,光电吊舱重量越轻,由隔振器引起的测量误差越大。这是因为重量较轻的光电吊舱更容易受到飞机的激振产生较大的旋转运动。此外还与飞机的巡航速度有关。如果飞机的飞行速度较高,例如达到500km/h时,风洞试验表明,由光电吊舱产生的风阻力将达到10~20kg,那么隔振器误差将会被极大化,系统的目标定位精度将难以满足要求。图3是隔振器变形后引起的平台坐标系与载机坐标系发生偏转的示意图。 δ 为偏转角,该值是一个随机变量。由隔振理论可知,隔振器越软,即隔振器固有频率越低,变形角 δ 越大,测量误差越大,而隔振效果越好。因此,隔振器的隔振能力和测量精度是一个矛盾过程。

3 多框架光电吊舱隔振设计

为提高光电吊舱的视轴稳定精度,同时克服外界风阻力矩对稳定视轴带来的不利影响,通常采用



X、Y、Z—载机坐标系 X'、Y'、Z'—隔振器旋转后的平台坐标系
图3 隔振器变形后引起的平台坐标系与载机坐标系的偏转

Fig.3 Position revolution between aircraft and turret

一种四框架两轴稳定结构来作为光电吊舱的主体结构。该结构的优点是可以有效隔离风阻力对光轴稳定的影响,实现粗、精稳定结合,提高视轴稳定精度,实现对目标的稳定跟踪。因此,该结构是较为广泛应用的机载光电稳定结构。针对多框架光电吊舱,提出并应用了一种可以避免转动、并且在各个方向均能有效隔离振动的得隔振方案。

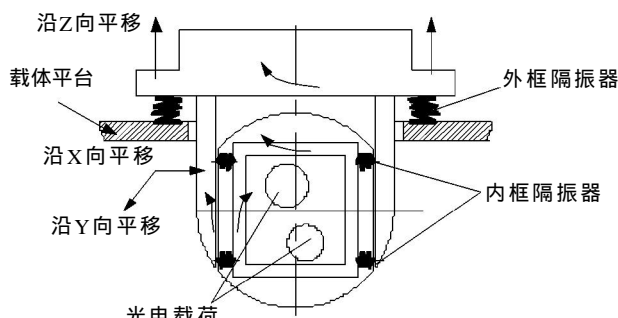


图4 多框架光电吊舱无角旋转隔振原理图

Fig.4 principle of no revolving damping of photoelectric turret

多框架光电吊舱隔振原理如图4所示,由外方位、外俯仰和内方位、内俯仰两层框架结构构成,外隔振器实际是基座隔振器,光电吊舱整体坐在四个均匀分布的隔振器上,外隔振器安装在飞机上,实现对光电吊舱整体隔振。而内框架隔振器安装在外俯仰框架上,内方位、内俯仰框架坐在内隔振器上。外框架隔振器隔离Z向振动,X、Y自由度被限制,绕X、Y、Z向的旋转运动也同时被限制。内框架隔振器隔离X、Y方向的振动,Z向自由度被限制,绕X、Y、Z向的旋转运动也同时被限制。两极隔振的基本思想是通过逐步减耦,限制隔振器的旋转运动,隔振器的能量转化过程只能通过直线运动来实现。因为由平动产生的位移矢量在一个平面内运动,对光电吊舱的测量几乎没有影响。所以

该隔振器方案对测量精度的影响仅限于隔振器定位导杆与隔振器基体之间的间隙量。而该间隙量相对于软连接而言几乎可以忽略不计。因此可以大大提高光电吊舱系统的测量精度。

隔振材料采用金属橡胶垫,该材料是优异的隔振吸振材料,随着外力和外界激励的加大,其固有频率会减小,即该材料具有刚度渐软特性。结构如图5、图6所示。通过振动试验评估隔振器隔振效果,由振动理论可知,隔振器所能隔离的振动频率要大于其自身固有频率的 $\sqrt{2}$ 倍,因此可以计算出外框架隔振器Z向固有频率要低于14Hz,X、Y向固有频率高于90Hz(认为接近刚体)。而内框架隔振器X、Y向固有频率要低于14Hz,Z向固有频率高于90Hz。

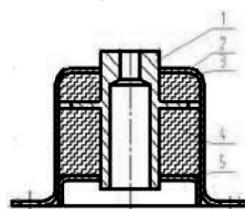


图5 外框架隔振结构图
Fig.5 Stucture of outer
framer damping

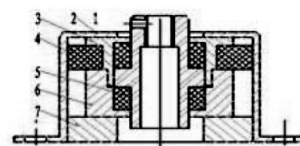


图6 内框架隔振结构图
Fig.6 Stucture of inter
framer damping

4 隔振器试验结果

振动试验表明,在相同负载和激励下,外框架隔振器Z向固有频率低于12Hz,并且随着激励加大,其固有频率随之降低。而X、Y向固有频率接近100Hz,可以近似认为X、Y向为刚体,即外框架只能能够在Z向实现对振动的隔离,并且绕X、Y、Z不能旋转,沿X、Y向不能移动。图7为Z向振动试验图谱。图8为X、Y向振动图谱。内框架隔振器能够隔离X、Y向振动,Z向受限制,图9是内框架隔振器X、Y向振动图谱。图10是Z向振动图谱。由图可知,X、Y向固有频率小于17Hz,可以隔离24Hz以上振动。由于金属橡胶隔振垫具有刚度减软特性,激励加大,固有频率会降低,基本可以满足隔离20Hz以上振动的要求。而Z向固有频率接近100Hz,近似为刚体。通过结构设计,内框架隔振器不能绕X、Y、Z向旋转和Z向移动。

内外框架隔振器组合后,光电吊舱和载体基准间尚有微小转动变化,其绝对值大小取决于隔振器内导柱和基座的配合间隙和被限制方向的刚度,以及隔振器之间的分布距离。工程应用上可以按照实际需要加以约束。

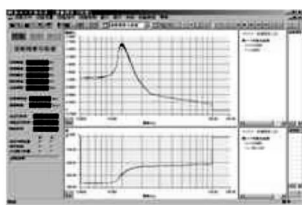


图7 外隔振器Z向
振动图谱

Fig.7 Z-vibration atlas of out-
er damper

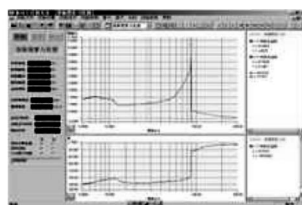


图8 外隔振器X、Y向
振动图谱

Fig.7 X、Y-vibration atlas of
outer damper

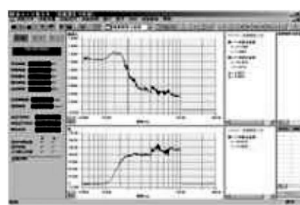


图9 内隔振器X、Y向
振动图谱

Fig.9 X、Y-vibration atlas of
inner damper

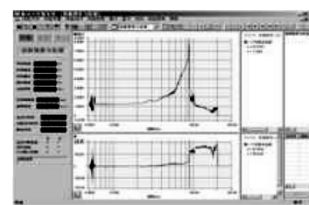


图10 内隔振器Z向
振动图谱

Fig.9 Z-vibration atlas of
inner damper

图11是光电吊舱未加隔振器和内外框架加装隔振器航拍图像比较图,因为航路设计的原因,图像内容不一致。从图中可以看到,经过隔振器对振动衰减后,视频图像改善明显,隔振效果得到了验证。



无隔振时光电
吊舱航空拍图

内外框架加装隔振器后
光电吊舱航空拍图

图11 未加隔振器和加装隔振器后光电吊舱航拍图像比较
Fig.11 Comparisons of acfophotography of the photoelectric
turret with danmper and no damper

5 结论

提出一种适合多框架光电吊舱的隔振方法,采用金属橡胶隔振器作为隔振元件,通过内外组合的隔振方式,可以有效隔离外部高于20Hz的中高频振动,与陀螺仪组合后可以实现在全振动频谱范围内对视频图像视轴的稳定。方案在设计原理上实现了对光电平台隔振器转动的隔离,实现了微小转动

变化,解决了机载跟踪测量设备隔振和精确测量二者的矛盾。试验表明,采用金属橡胶隔振垫制成的隔振器,组合后角变形在系统变形许可范围内,产生的测量误差在可接受范围之内。由于充分利用了吊舱结构,隔振系统不增加体积,重量的增加也很小,因此具有实际工程应用价值。本文从隔振器隔振方式上论述了减小光电吊舱转动的方法,对内外隔振器的试验验证了方式的正确性,飞行试验表明隔振器对光电吊舱成像像质提高明显。但光电吊舱在实验室振动环境下的测角精度检测,目前尚无成熟有效的方式,需要进一步探讨。

参考文献

- [1] 张葆,贾平.动载体成像系统底座无角位移减振器的设计[J].光学设计,2003,29(4):464-466.
- [2] 段志姣,王宇.机载光电系统稳定精度测试方法研究[J].光学与光电技术,2008,6(3):53-56.
- [3] 钱义先,程晓薇.振动对航空CCD相机成像质量影响分析[J].电光与控制,2008,15(11):55-58.
- [4] 李岷,马军,周兴义.机载光电稳定平台检测技术的研究[J].光学精密工程,2006,14(5):847-852.
- [5] 王国富,余法山.机载光电转台的谐振分析及自适应滤波器设计[J].光学精密工程,2007,15(11):1802-1808.
- [6] 程耀东.机械振动学[M].杭州:浙江大学出版社,1988.
- [7] 李德葆,张元润.振动测量与试验分析[M].北京:机械工业出版社,1992.