

无人机载光电平台无角位移减振器研究进展

Recent Advance of Non-Angular Vibration Absorber for Opto-Electronic Platform of UAV

军械工程学院 李玉龙 何忠波 白鸿柏 刘树峰

[摘要] 论述了无人机光电平台无角位移减振器的研究现状及发展趋势,对多种现有减振器做了简要的分析,并着重提出了高精度小型化无角位移减振器的研制思路。

关键词: 光电平台 无角位移减振器 研究现状 集成创新

[ABSTRACT] The current research situation and trend of development of non-angular vibration absorber for opto-electronic platform of UAV are introduced, and various existing vibration absorber is analyzed in brief. The development idea of small high-precise non-angular vibration absorber is emphatically introduced.

Keywords: Opto-electronic platform Non-angular vibration Current situation Composite innovation

随着科学技术突飞猛进的发展和人们对未来战争认识的改变,在现代战争中,无人机的地位日趋提升,在信息化作战条件下日益成为作战的杀手锏装备。在无人机的头部或下部,我们常常看到一个转动的凸出物体,它就是无人机观察周围情况、获取图像实施侦察探测的“眼睛”——光电平台。光电平台是获取敌情、地形和有关作战情报的主要装备,是实施正确指挥和精确打击的前提,是取得作战胜利的重要保证。因此,国内外军事专家称它为战场力量的“倍增器”。但是,无人机光电平台处在十分复杂的空间多自由度的振动环境中,这些振动,特别是角振动(角位移),不仅会引起光电设备成像模糊,而且会导致光电设备坐标系偏离无人机惯性坐标系(由惯性陀螺决定),使侦察探测目标的地理坐标信息产生严重偏差,显著地降低了获得敌情的可靠性^[1]。因此,既能减少平台光电设备的振动,又能避免平台光电设备产生角位移。适应无人机使用的高精度小型化无角位移减振器一直被国内外军事专家视为一件利器。

我国对无角位移减振器的研究起步较晚成果甚少,西方发达国家又将其视为严禁对华出口的绝密级技术,以至我军某些中高空远程无人侦察机和卫星中继型无人侦察机光电平台不得不采用普通的有角位移减振器,

严重地影响了其作战性能。可见,我国对高精度无角位移减振器的需求十分迫切^[2-3]。

1 国内外研究现状

1.1 国内外光电平台稳定技术的研究与应用现状

国外在光电平台稳定技术这方面的研究较早,发展比较迅速,美国、法国、以色列、南非等国家都有代表性产品装备于部队,例如美国目前用于阿帕奇改进型 AH-64D 的箭头(M-TADS/PNVIS)光电稳定瞄准具;法国的用于“虎”战斗“支援护航”直升机改型的侦察与武器瞄准系统 STRIX;以色列拉菲尔武器发展局与美国诺思罗普·格鲁曼公司合作研制的“蓝盾”LITENING I 和 LITENING II 的吊舱;南非“茶隼”直升机的光电侦察光电平台等都已经装备于部队。且目前攻击直升机用的瞄准和视觉增强系统正在发展成为第二代,扩展了可视范围,与第一代前视红外系统相比分辨率提高了 67%,如美国 DRS 公司的桅杆式光电瞄准系统 Mast Mounted Sight(MMS)的稳定精度达到了 20 μrad 以下^[4]。

国内对光电平台稳定技术的研究相对落后,上世纪 80 年代才有关于陀螺稳定装置较为全面的分析及瞄准具稳定平台的初步研究,90 年代初才开始机载陀螺稳定平台的研制。随着对红外、激光、电视、控制等基础研究的研究,中科院成都光电所、长春精密机械与物理研究所、618 所、华中光电技术研究所、清华大学精密机械与机械学系、长春理工大学、中航 613 所、兵器 205 所等单位都在光电稳定技术方面做了一定程度研究,使我国在机载、车载、舰载等光电稳定系统中出现了一些成熟的产品装备部队,且某些稳定系统精度可达到微弧度级。但是,和国外相比,国内光电平台稳定技术的发展水平仍然较低,整体技术落后 10 多年^[5]。

1.2 国内现有无角位移减振器的现状与分析

目前减小动载体振动对光电系成像质量影响的方法有:惯性稳像、电子稳像、光学稳像、被动隔振稳像、振动主动控制稳像等。由于被动隔振具有可靠性高、能源消耗量少、结构简单、经济实用等特点,因而在动载体光电设备的底座上,采取被动隔振措施,以消除光电荷载的高频振动,及对成像质量影响较大的角振动和较大振幅线振动,无角位移减振器的研制和应用就是被动隔振

稳像技术应用的具体实例^[6]。

目前国内有较多的专家学者对无角位移减振器进行了研究:张葆,贾平等^[6]提出了用振动被动控制技术解决动载体成像模糊的基本理论与设计原则,分析了各种振动形式对动载体成像质量的影响程度,得出了角振动对成像质量影响较大的结论,并指出,设计减振器时,应尽量减小相机因飞机机体的角振动和固定点线振动耦合产生角振动。他们根据这一研究基础设计了一种直线导轨式无角位移减振结构,即首先将振动引起的角位移进行运动分解,用直线导轨将角位移转换成所建笛卡尔坐标系三轴向的线位移,然后配合一种三向等刚度减振器,消耗各方向的运动能量。此类减振系统不仅可以避免三个轴向振动耦合引起的角位移,又能起到减振的作用以隔除高频振动并消减振动能量的传递。三向等刚度减振器在

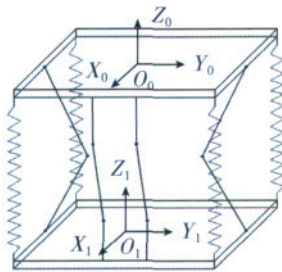


图1 空间连杆式无角位移减振机构示意图

Fig.1 Diagram of space linkage non-angular displacement vibration absorber

两种型号无人机电视侦察平台的应用均取得满意的效果^[6-7]。

安源、许晖、张雷等^[8]应用空间连杆机构学原理和减振理论,设计了有空间连杆机构组成的无角位移减振装置,其结构如图1所示。通过计算不同激励下无角位移减振装置的响应与目前普遍采用隔振方案的角振动隔振效果进行对比,分析显示,使用该减振装置对光电平台进行隔振可使角振动的隔振效果提高了2个数量级^[8]。许晖还分析了此类减振机构的隔振机理及运动特性,并利用三维建模软件建立三维模型,结合 MSC. Visual Nast ran 4D 仿真分析软件对该减振机构进行了振动仿真分析,仿真结果证明了该无角位移减振器设计原理的正确性及该类减振装置隔振性能的优越性^[9]。

舒陶、李伟、陈祖金等^[10-11]根据机载光

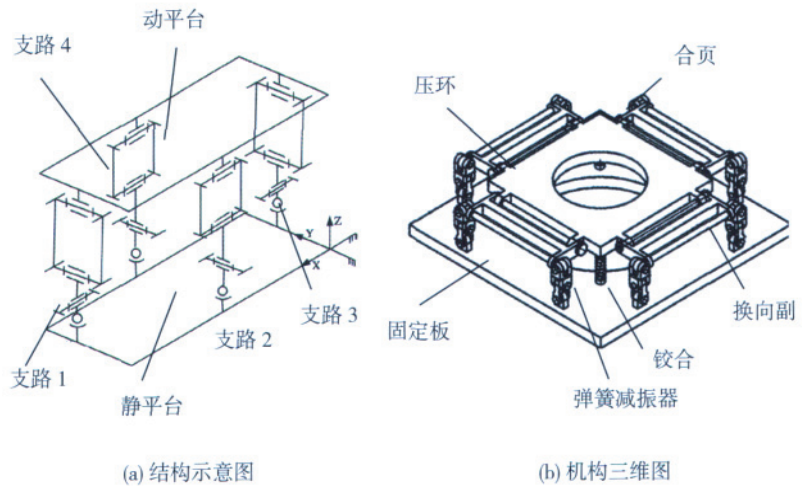


图2 平行四边形无角位移减振机构图

Fig.2 Diagram of parallelogram non-angular displacement vibration absorber

电设备无角位移减振的性能要求设计了将角振动转化为线振动的减振机构如图2(a)为结构示意图,(b)为机构三维图所示。该机构引入新型平移结构——平行四边形机构,并建立了控制角位移误差的数学模型。经过模型分析和产品研制实践,证明这种设计结构可以解决动载体上设备的无角位移隔振要求^[10-11]。

钱义、梁伟等利用空间机构学及平行四边形平动原理,研制了一种新的双平行四边形无角位移减振稳像平台,其三维模型如图3所示。该课题组首先对新减振稳像平台系统进行理论分析,论证该平台减振系统能够限制角位移、满足三向减振的理论可行性;然后利用动力学仿真软件对系统进行的动力学仿真分析,结果显示,该隔振系统对频率高于100Hz的振动衰减高达34dB;最后,设计出了双平行四边形隔振系统实例,并对无角位移机构进行了光学测试试验,试验结果显示该系统三向角振动耦合最大角度小于8°,隔振效果很好^[12]。查阅文献可知,国外也有类似的双平行四边形隔振平台^[13]。

安源、许晖等^[14-15]根据动力学普遍原理建立了动载

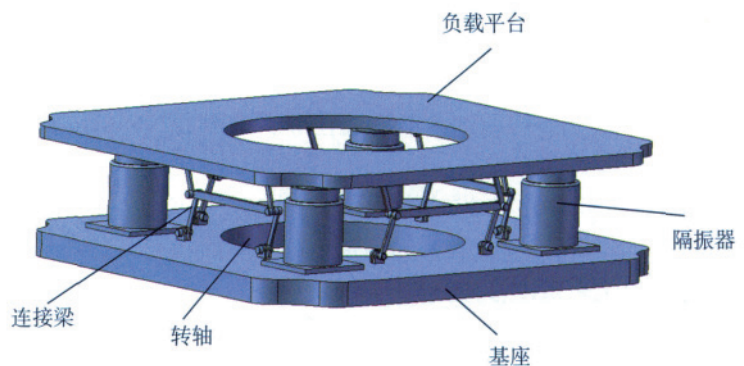


图3 无角位移减振器

Fig.3 Non-angular vibration absorber

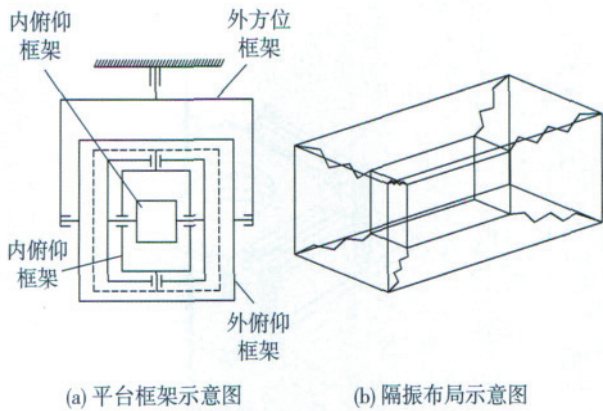


图4 两轴四框架减振结构图

Fig.4 Vibration absorber structure with two-axle and four-frame

体光电系统的隔振系统数学模型,通过对动载体平台振动形式振动对成像质量影响的进一步分析,利用分层隔振思想,设计了两轴四框架光电减振平台,平台框架示意图如图 4(a),采用在内外框架之间合理对称布置弹性件(三向等刚度减振器)的方法(如图 4(b)),解除了三向线振动耦合引起的角振动,有效提高了角振动的隔离效果^[14-15]。

另外,梁爽、安志勇,等^[16]还应用空间机构学原理和减振理论设计由基座平台、运动平台、空间连杆机构和减振元件组成的两自由度无角位移减振机构,并进行了运动学建模和分析^[16]。

以上为现有的或正在研制的无角位移减振器,总体上可分为空间平行四边形无角位移减振器、直线导轨式无角位移减振器和内外框架式三向等刚度无角位移减振器。前两者是从结构上限制光电平台基座与荷载间的转动自由度,角位移机构和减振机构是分体式组合结构,所以结构尺寸庞大无法在无人机上应用;后者是采用多个阻尼刚度都尽量相同的对称布局的减振器来实现内外框架角振动和线振动的耦合,其采用的两轴四框架光电平台是目前国内外最先进的光电平台的框架结构,其具有稳定性好、抗干扰能力强、响应快等优点^[17]。但由于适用于无人机光电平台的高精度小型化无角位移减振器,为了避免产生过大的角位移,两轴四框架结构在各框架之间均采用刚性连接,其缺点是外框架的振动直接传递到内框架及任务载荷上,不能有效地减少振动对成像质量的影响。如果内外框架采用小型化无角位移减振器(有角位移限制能力)柔性连接,就可以同时保证图象质量和测量精度。所以,设计高精度小型化无角位移减振器的意义重大。长春光机所与军械工程学院专家^[18]共同提出了基于成熟技术集成创新的思想提出一种适合多框架光电吊舱的隔振方法,采用金属橡胶作为隔振元件设计了小型化的能够限制一定自由度的减振器如图 5 所示,其中,(a)

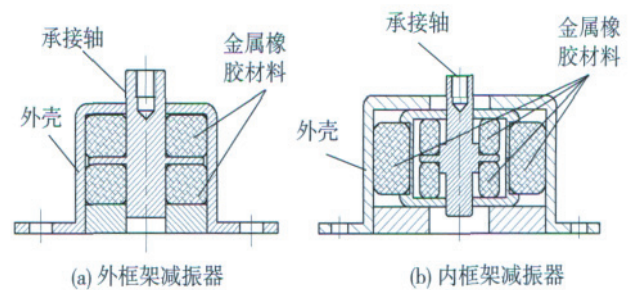


图5 小型化无角位移减振器

Fig.5 Small non-angular displacement vibration absorber

为外框架减振器,(b)为内框架减振器。该内外框架减振器内外组合使用,合理布置,不仅能有效地限制光电平台转动自由度,还可以隔离外部高于 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。

2 结束语

综上所述,现有的无角位移减振器空间平行四边形无角位移减振器和滑动导轨式无角位移减振器,其限制角位移的机构和减振机构是分体式组合结构,尺寸庞大,质量较重无法在无人机上应用。并且无角位移减振器的设计还受现有无人机光电平台形状、结构的限制,改变连接尺寸和连接方式较为困难。而两轴四框架光电平台结构是目前国内外比较先进的光电平台框架结构,具有稳定性好、抗干扰能力强、响应快等优点。如果内外框架间嵌入既能够从结构上限制转动自由度,又可以将振动衰减到容许频率范围内的新型无角位移减振器,合理布置减振器在内外框架之间的位置,就可以同时保证图象质量和测量精度,实现光电平台高精度无角位移减振的要求。这就需要设计者在结构设计上根据以往的成熟经验大胆地进行集成创新,设计出高精度小型化的新型无角位移减隔振器。这种把本身能限制一定数量自由度的高精度小型化的减振器组合使用的方法有较大的应用前景。无论是对我军现役无人机光电平台减振设备的技术升级改造,还是在研无人机高精度侦察探测光电平台结构设计,以及提高我军诸如远程火炮等装备的打击精度具有重要的军事意义。但是目前设计研究不够成熟、内部结构不够合理、金属橡胶减振材料加工精度有待提高,研究空间仍然很大。

参考文献

- [1] 赵鹏. 振动对航空相机成像质量影响分析. 激光与红外, 2001, 31(4): 240-242.
- [2] 张葆. 国外机载光电平台的发展. 航空制造技术, 2008(9): 69-71.

(下转第 85 页)

统,数据库的规模不断扩大,从而产生了大量的数据。为给决策者及设计人员提供一个统一的全局视角,建立了数据仓库。但大量的数据往往使人们无法辨别隐藏在其中的能对决策及设计提供支持的信息,传统的查询、报表工具无法满足挖掘这些信息的需求。因此,需要一种新的数据分析技术处理大量数据,并从中抽取有价值的潜在知识,数据挖掘(Data Mining)技术由此应运而生。数据挖掘技术也正是伴随着数据仓库技术的发展而逐步完善起来的。

数据挖掘是指从数据集合中自动抽取隐藏在数据中的那些有用信息的过程^[8]。其目标是从数据库中发现隐含的、有意义的知识。它可以帮助决策者及设计者分析历史数据及当前数据,并从中发现隐藏的关系和模式,进而为设计工作提供参考。它是一种新的信息处理技术,其主要特点是对数据库中的大量数据进行抽取、转换、分析和其他模型化处理,并从中提取辅助决策的关键性数据。它涉及很多交叉性新兴学科,如数据库、人工智能、数理统计、可视化、并行计算等领域。

数据挖掘的过程也叫知识发现的过程。数据挖掘是知识发现(Knowledge Discovery in Database, KDD)中的重要技术,它并不是用规范的数据库查询语言(如SQL)进行查询,而是对查询的内容进行模式的总结和内在规律的搜索。传统的查询和报表处理只是得到事件发生的结果,并没有深入研究发生的原因,而数据挖掘则主要了解发生的原因,并且以一定的置信度对未来进行预测,用来为决策行为提供有利的支持。

在发动机设计知识管理中使用数据挖掘工具,可以在凌乱的设计、试验数据中,找到有用的设计知识,不断充实、更新设计知识库。

5 结束语

在航空发动机设计院(所)实施知识管理并非一朝一夕之事,应该依据本院(所)实际情况选择适当的策略,分步实施。首先,制定发动机设计知识分类规则,然后利用基于信息技术的知识获取工具收集有用的设计、试验等相关知识,并形成设计知识库,实现知识资源共享。目前,设计院(所)基本上都建成了园区局域网,提供了大范围数据通道,并且能在电子内容创造方面改善和监视内部控制。在此基础上,应该集成搜索引擎、智能代理、文档管理、数据挖掘、设计知识库、知识门户、知识地图、设计知识专家系统等知识工具,最终形成知识获取、共享平台。

有效的知识获取是实现知识共享的前提,也是实现知识管理的基础。基于知识的航空发动机设计是发动机设计的重大创新,可以从根本上改变现行设计模式,

提高发动机的现代设计水平,大幅度地提高设计效率和质量,从而缩短研制周期、降低研制成本、减少投资风险,可带来显著的效益。

参考文献

- [1] 王众托. 知识管理. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 马雪芬, 戴旭东. 支持产品现代设计的六维度设计知识分类体系与知识建模研究. 机械设计与制造, 2010(9):36-42.
- [3] 陈光. 航空发动机结构设计分析. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [4] 弗里茨·马克卢普. 美国的知识生产与分配. 北京: 中国人民大学出版社, 2007.
- [5] 弗莱保罗. 知识管理. 北京: 华夏出版社, 2004.
- [6] 刘长福. 航空发动机构造. 北京: 国防工业出版社, 1989.
- [7] 唐钦能, 高峰, 王金平. 知识地图相关概念辨析及其研究进展[J]. 情报理论与实践, 2011(1):21-26.
- [8] 邱晓辉. 知识发现与数据挖掘分析. 情报探索, 2011(1):47-52.

(责编 良辰)

(上接第 80 页)

- [3] 刘洵, 王国华, 毛大鹏, 等. 军用飞机光电平台的研发趋势与技术剖析. 中国光学与应用光学, 2009, 2(4):269-288.
- [4] 李文魁, 王俊璞, 金志华, 等. 直升机机载光电吊舱的发展现状及对策. 中国惯性技术学报, 2004, 12(5):75-80.
- [5] 雷金利. 大负载光电稳定平台技术研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2009.
- [6] 张葆, 贾平, 黄猛. 动载体成像模糊的振动被动控制技术. 光学技术, 2003, 29(3):281-283.
- [7] 张葆, 贾平, 黄猛, 等. 动载体成像系统底座无角位移减振器的设计. 光学技术, 2003, 29(4): 464-466, 472.
- [8] 安源, 张雷, 金光, 等. 光电平台无角位移减振装置设计研究. 计算机仿真, 2008, 25(7): 298-301.
- [9] 许晖, 安源, 金光, 等. 光电平台无角位移减振机构运动分析, 半导体光电, 2006, 27(5): 611-613, 627.
- [10] 舒陶, 任宏光, 陈祖金. 机载光电设备减振机构的振动分析及实现. 航空兵器, 2007(4): 45-48.
- [11] 李伟, 舒陶, 陈祖金. 新型无角位移减振机构设计, 航空兵器, 2009(4):45-47.
- [12] 钱义, 梁伟, 高晓东. 航空稳像光电平台设计. 光子学报, 2009, 38(8):2108-2111.
- [13] Khorramif. A three degree-of freedom adaptive passive isolator for launch vehicle payloads. Proceedings of SPIE, 2000, 3991:164-175.
- [14] 安源, 许晖, 金光, 等. 动载体光电平台角振动隔振设计, 半导体光电, 2006, 27(5):614-617.
- [15] 许晖, 安源, 金光, 等. 光电平台无角位移减振机构运动分析, 半导体光电, 2006, 27(5):611-613, 627.
- [16] 梁爽, 安志勇, 于秋水. 两自由度无角位移减振机构运动学建模和分析. 光电工程, 2009, 36(5):6-10.
- [17] 贾平, 张葆. 航空光电侦察平台关键技术及其发展. 光学精密工程, 2003, 11(1):82-88.
- [18] 田素林, 白鸿柏, 张葆, 等. 机载多框架光电吊舱无转角隔振方式设计. 长春理工大学学报(自然科学版), 2009, 32(4):538-541.

(责编 小城)