

空间遥感器圆柱体电控箱的设计与分析

李延春, 董吉洪, 李 威, 郭权锋, 王克军, 罗志涛, 王海萍

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 针对空间相机上方形电控箱体积大、质量重、信号干扰大的缺点, 设计了一种体积小、质量轻且能有效减小信号干扰的圆形空间相机电控箱。通过对比分析方形、圆形电控箱的优缺点及对整机性能的影响, 给出了空间相机圆柱体电控箱的优化设计结果。相机电控箱采用轻质高强的 MB15 镁合金材料; 针对电控箱本身及其中对整机影响较大的电子元器件进行了相应的防辐照设计; 有限元分析结果显示, 应力远小于材料的屈服极限, 强度空间足够大; 设计的圆柱体电控箱结构固有频率达到了 120 Hz, 符合设计指标提出的不小于 100 Hz 的技术要求。设计的空间相机圆柱形电控箱能在复杂的空间环境下正常工作, 满足航天使用要求。

关键词: 空间相机; 电控箱; 有限元; 轻量化; 辐照

中图分类号: TH703

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI 20102711.0115

Design and Research for Columned Electrically Controlled Box of Space optical Remote Sensor

LI Yan-chun, DONG Ji-hong, LI Wei, GUO Quan-feng, WANG Ke-jun, LUO Zhi-tao, WANG Hai-ping
(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In view of the shortcomings of square electronic controlled box volume on some space optical remote sensor, such as large size, high weight and strong signal interference, a circular cylinder electrically controlled box was designed, which had smaller size, lighter weight and could effectively reduce signal interference. After compared the advantages and disadvantages of the two boxes, the design optimization results was given for the space optical remote sensor cylinder electronic control box. The MB15 magnesium alloy was used for electronic box, which had light weight and high-strength. Corresponding the box itself and the important electronic component, the anti-radiation design was performed. The analysis result showed that stress was much smaller than the yield strength of the material,

the strength space was large enough. The natural frequency of the box had achieved 120 Hz, which was much larger than the technical requirements of 100 Hz. The cylindrical electronic control box for the space optical remote sensor could work normally in the complex environment of space, meet the operation requirements.

Keywords: space optical remote sensor; electrically controlled box; finite element; lightweight; radiation

1 引言

近年来,随着航空航天技术的发展,作为“太空眼睛”的空间相机越来越受到各国的重视^[1-3]。但由于空间环境的复杂性,各种高能粒子及空间射线都易对相机的电控系统(尤其是电子元件)产生影响,从而造成各种不正常现象的发生^[4-7]。因此,如何对空间遥感的电学控制系统进行合理的支撑和防护,成为空间遥感器能否正常工作的关键。然而,传统的空间遥感的机上天箱多采用方箱式结构^[8-10],这种结构有其自身的优点和特点,但这种电控箱体积大、质量较重的缺点会使整个空间遥感的局部模态变坏,与空间遥感的整体设计理念不符。如何设计一种结构更加合理的电控箱系统成为了一个亟待解决的问题。

本文设计了一种新型的圆柱体电控箱,有效解决了方箱式电控箱在空间遥感应用中存在的问题。

2 两种电控箱对比

受火箭性能和发射成本的限制,空间遥感器在满足使用性能要求的情况下应尽量具有较小的质量和体积^[11]。初始设计时,空间遥感器上天箱采用的是传统的方箱式结构,三维结构如图1所示。经过分析、试验,发现该电控箱存在以下缺点:(1)电控

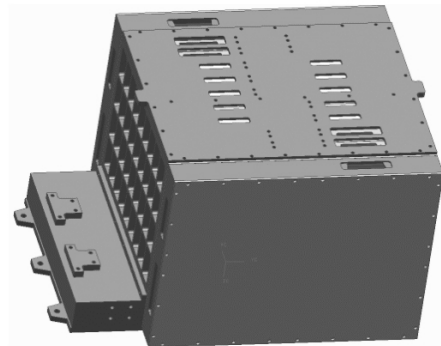


图1 方箱式电控箱三维结构图

表1 两种结构电控箱参数对比

序号	对比项目	方箱式电控箱	圆柱体电控箱
1	材料	MB15	MB15
2	体积	394 mm×268 mm×221.5 mm	Φ460 mm×90.5 mm
3	一阶频率	210.73 Hz	120.03 Hz
4	对整体模态影响	较大	较小
5	电子器件散热	电源板模块散热通道窄	模块直接固定在盖板上,散热好
6	散热方式	箱体辐射	箱体辐射
7	防辐照	好	好
8	电磁兼容	好	好
9	信号干扰	较严重	较轻微
10	美观度	差	好
11	机械件质量	7.2 kg	5.15 kg
12	总质量	14.7 kg	11 kg

箱高度太大,使传感器本体尺寸变长;(2)电控箱质量较大,造成传感器尾部局部模态下降;(3)电路板调试时,信号干扰较大。经过分析实验,发现这种方箱式结构很难克服上述缺点,而采用圆柱体结构的电控箱则能很好地解决这些问题。这两种电控箱的性能对比参数见表1。

由表1中数据对比可以看出,圆柱体电控箱在体积、质量及抗信号干扰等方面均比方箱式电控箱具有明显优势,并且该电控箱的外形与圆柱形的传感器主体匹配,更增加了传感器的美观性。相比较而言,只是在系统的一阶固有频率方面表现较低,但也满足不低于100 Hz的设计指标要求。

3 结构设计及分析

圆柱体电箱箱体采用三层圆饼叠加式结构,板框间、板框与盖板间及板框与密封盒间均采用止口密封,以保证整个箱体的电磁兼容性。其三维结构如图2所示。

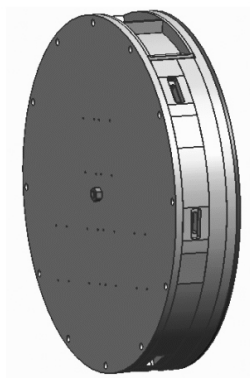


图2 圆柱体电控箱三维结构图

3.1 箱体的选材

在满足使用要求的情况下,空间传感器电控箱应尽量选用轻质高强的材料。为保证电控箱本身的电磁兼容性和导热性能,要求所选材料具有好的导电、导热性能。经过分析,该电控箱选用轻质高强的MB15镁合金材料。

3.2 电磁兼容及导热性能考虑

在复杂的空间环境里,要使相机正常工作,除电控系统本身具有好的电磁兼容性外,还要求用于支撑电控系统的电控箱具有良好的电磁密封性。为此,对电控箱外部各构件间采用止口搭接的方式进行电磁屏蔽,并通过合理设置紧固件之间的间距、用足够的压力将搭接处夹紧等措施,保证在冲击、振动等恶劣的环境条件下,连接表面仍然接触良好,不对电磁屏蔽效果和整个箱体的结构稳定性产生大的影响^[12-13]。

为保证元器件的使用寿命及可靠性,要求电控箱必须具有良好的导热和散热能力。对圆柱体电控箱,通过选用导热率高的材料、对箱体进行表面喷涂处理及对大功率元器件进行单独散热等措施,增强箱体的对外散热能力^[14-17]。

3.3 有限元分析

箱体线路板采用周边和中心一点相结合的支撑方式。为验证圆柱体电控箱的结构稳定性及为优化设计提供依据,对之进行了有限元分析,箱体各构件的材料特性^[18]见表2。

表2 箱体结构件的材料特性

材料名称/牌号	密度 $\rho(t/m^3)$	弹性模量 $E(GPa)$	泊松比 μ	应用构件
MB15	1.8	43	0.3	电路板框、盖板
2A12	2.7	71	0.33	支承轴、轴套
环氧玻璃纤维覆铜板	6.9	18.3	0.30	电路板

建立有限元模型时,在保持实际结构的几何尺寸及拓扑关系的前提下通过忽略倒角、对各零件之间连接的螺栓用节点约束代替、对连接处等敏感区域单元划得相对密些等措施对箱体进行合理简化^[8]。整个模型由大量的shell单元、少量的六面体单元和五面体过度单元组成,共有单元12 000多个,节点14 000个。分析时,约束安装CCD电控箱采用12处螺栓孔及中心支撑孔,如图3所示;低频正弦振动

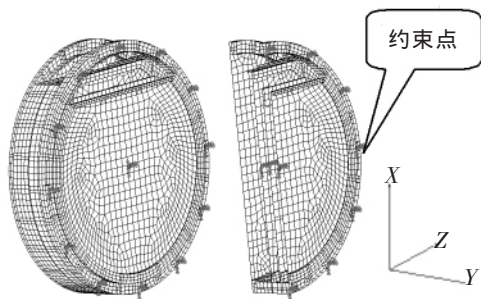


图3 电箱模态分析约束示意图

分析时, 振动激励载荷通过安装 CCD 电控箱使用的 12 处螺栓孔输入, 模态分析结果见表 3。

表3 电控箱模态分析结果

阶数	Fre. (Hz)	振型描述
一阶	120.03	第三块电路板轴向振动
二阶	121.38	第一块电路板轴向振动
三阶	125.45	第三块电路板轴向振动

结果显示, Y 向正弦振动 120.03 Hz 时, 第三块电路板响应最大, 其 Y 向最大位移响应为 0.22 mm, 小于设定的 2 mm; 其最大响应力为 13.9 MPa, 远远小于 41 MPa——这一实际可用作直升机尾橇材料的 3232/664 中温固化改性环氧树脂玻璃纤维复合材料的层间剪切强度^[19], 可见裕度足够。电控箱的各阶模态振型如图 4~6 所示。

由此可见, 这种结构的电控箱满足设计要求。

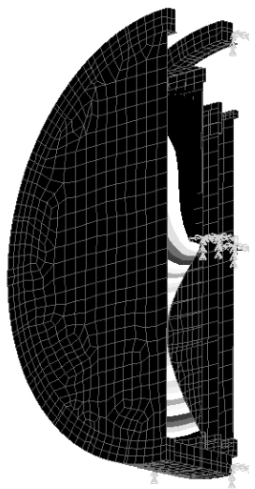


图4 电控箱一阶振型图

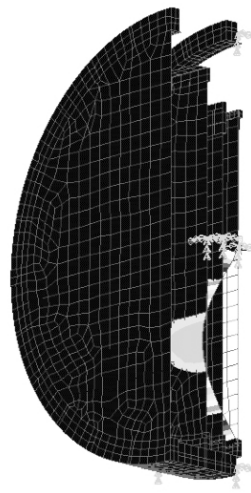


图5 电控箱二阶振型图



图6 电控箱三阶振型图

4 箱体防护设计

4.1 防腐蚀

作为一种轻型合金, 镁合金具有良好的切削性能、导热性能、阻隔电磁波性能及抗疲劳和无毒无磁性、较小的裂纹倾向等性能^[20-21], 但镁是极活泼的金属, 标准电极电位-2.36 V, 耐蚀性差^[22], 因此, 作为航天结构件使用时, 必须对其进行表面处理。

对镁合金进行表面防护的方法主要有化学转化、阳极氧化、电镀、化学镀等表面防护技术^[23]。比较而

言, 镁合金的化学镀镍磷因其镀层厚度均匀、硬度高、耐磨性和耐蚀性好、导电性及电磁屏蔽性好等优点, 更适合空间遥感器使用。

试验结果表明, 当镀层良好时, 0.02 mm 厚的镀层能使镁合金在 120 h 的盐雾试验中免受腐蚀, 而一旦镀层发生破坏, 基体与镀层间剧烈的电偶腐蚀仍能使 0.06 mm 厚的镀层发生腐蚀。而本电控箱电镀表面任何位置均保持 0.03 mm 以上的镀层厚度, 从而避免电化学腐蚀现象的产生。

4.2 防辐照

空间环境是诱发卫星异常和故障的主要原因之一, “多年的空间研究及实践证明, 空间辐射效应对在轨卫星构成严重威胁”^[4]。做为空间卫星中最重要的有效载荷之一的相机, 其在空间不可避免地受到空间辐射环境的影响, 因此, 在研制空间遥感器的同时, 需要同时考虑空间辐射环境因素。

在电控箱设计时, 箱壁最薄处的厚度为 3 mm, 并对所有零件均镀单边不少于 0.1 mm 的镍, 以使箱

体的各构件均成为一种复合防护材料, 在提高镁合金的防腐性能的同时提高了整个箱体的抗辐照能力。同时, 通过增加相应的钽片对整机影响较大的电子学器件进行防辐照设计^[24]。

5 结 论

本文比较了空间遥感器上传统方形电控箱与新设计的圆柱体电控箱的优缺点, 给出了空间遥感器上圆柱体电控箱的设计方法, 并运用有限元分析软件 MSC.PATRAN 对其结构强度、刚度、振型等进行了分析和理论验证。模态分析结果显示, 其一阶固有频率达 120.03 Hz, 大于 100 Hz 的技术指标。镀镍的方式对电控箱进行表面防护处理, 提高了箱体的耐腐蚀和抗辐照性能。结果显示, 电控箱能够在复杂的空间环境里满足使用要求。本设计为空间遥感器上电控箱的设计计算提供了参考, 本设计方案能在满足使用要求的前提下有效地降低箱体质量, 减少对电学器件的信号干扰, 设计是可行的。

参考文献

- [1] 黄巧林, 姜伟. 高分辨率航空光学遥感器发展新思路研究[J]. 航天返回与遥感, 2007, 28(4): 48-50.
- [2] 董吉洪. 大孔径光学反射镜球铰支撑设计与分析[J]. 光机电信息, 2010, 27(9): 29-34.
- [3] 李延春, 董吉洪, 陈立恒, 等. 紧凑型多光谱空间光学遥感器焦平面的设计与拼接[J]. 光机电信息, 2010, 27(8): 47-52.
- [4] 李波, 张旭辉. 空间光学遥感器天然辐射效应数据库研究[J]. 航天返回与遥感, 2005, 26(4): 37-44.
- [5] 王建设. 空间光学遥感器热平衡实验装置的设计[J]. 光学 精密工程, 2000, 8(6): 536-539.
- [6] 张立国, 李豫东, 刘泽洵, 等. TDI-CCD 总剂量辐射效应及测试[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(12): 2924-2930.
- [7] 吴一辉, 高庆嘉, 白越, 等. 反作用飞轮驱动电机的电磁设计[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(6): 1319-1325.
- [8] 王凤丽, 李威, 王延风, 等. 空间光学遥感器电控箱结构优化设计[J]. 机械设计与制造, 2008(3): 23-25.
- [9] 胡君, 王栋. 空间光学遥感器的多光谱 TDI CCD 的信号检测与生成[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(8): 1810-1818.
- [10] 吕浩杰, 胡国清, 邹卫, 等. 高性能 MEMS 电容压力传感器的设计及其热分析[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(5): 1166-1174.
- [11] 宋文渊, 史连艳, 姜兴渭. 红外多光谱扫描仪在发射段的结构可靠性 [J]. 导弹与航天运载技术, 1999, 4: 18-22.9
- [12] 白云同, 吕晓德. 电磁兼容设计[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.
- [13] 谢娜, 周海, 张军伟, 等. 大型激光装置光学元件的稳定化设计[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(10): 2411-2417.

- [14] 陈立恒, 吴清文, 罗志涛, 等. 空间相机电子设备热控系统的设计[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(9): 2145-2152.
- [15] 吴雪峰, 丁亚林, 吴清文. 临近空间光学遥感器热设计[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(5): 1159-1165.
- [16] 黎明, 吴清文, 江帆, 等. 三线阵立体测绘相机热控系统的设计[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(6): 1367-1373.
- [17] 吕浩杰, 胡国清, 邹卫, 等. 高性能 MEMS 电容压力传感器的设计及其热分析 [J]. 光学 精密工程, 2010, 18(5): 1166-1174.
- [18] 《工程材料使用手册》编辑委员会. 工程材料使用手册(3)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [19] 《工程材料使用手册》编辑委员会. 工程材料使用手册(6)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [20] 马壮, 王芄, 袁晓光, 等. 镁合金 Ni-P 化学复合镀研究现状[J]. 轻金属加工技术, 2008, 36(3): 6-8.
- [21] 许曙光. AZ91D 镁合金化学镀镍磷/镍铜磷[D]. 长春: 吉林大学硕士学位论文, 2006.
- [22] 朱京涛, 黄秋实, 白亮, 等. 不同本底真空度下 SiC/Mg 集紫外多层膜的制备与测试 [J]. 光学 精密工程, 2009, 17(12): 2946-2951.
- [23] 单大勇, 周婉秋, 韩恩厚, 等. 镁合金化学镀层的性能研究[J]. 材料保护, 2004, 37(4): 1-2.
- [24] 杨怀民. 电子设备总剂量辐射屏蔽与防护技术[J]. 电子技术参考, 2000, 4: 12-24.

作者简介: 李延春(1979-), 男, 汉族, 河南开封人, 硕士, 助理研究员, 2006年于吉林大学获得硕士学位, 主要从事空间相机的设计与研究, E-mail: feilong99031@yahoo.com.cn

长春新产业公司推出1 470 nm 半导体激光器系统

长春新产业光电技术有限公司推出了1 470 nm半导体激光器, 输出功率为800 mW, 发散角<3 mrad, 出光孔光斑5 mm×8 mm, 功率稳定性好, 波长稳定性高, 可靠性高, 经济实用, 并具有输出功率可控功能。此波长的光纤耦合激光系统输出功率可达20 W。

1 470 nm是半导体激光器的一个常见波长, 其最初主要用于光通信领域, 主要是为了实现光纤对广播的最小化吸收, 以使数据能被传输更远的距离。另外, 1 470 nm激光对于人体组织也有一定作用, 主要是基于水对光的吸收。光被人体细胞中的水吸收, 并使水变热, 直到细胞爆裂, 这种方法可用于前列腺治疗中的组织移出。在治疗过程中通过冲洗冷水, 不但能为患者减少痛苦, 还能带走细胞碎片。除此之外, 1 470 nm高功率半导体激光器还开辟出了一些新应用, 例如, 在理疗设备制造中, 用于白色聚合物的塑料焊接; 在国防应用中, 用于飞机前方的湍流探测; 或者用于泵浦掺钕晶体, 实现2 μm范围的激光波长。

