

# 车载光电稳定平台外框架优化设计

刘长顺<sup>1,2</sup>,王 兵<sup>1</sup>,陈兆兵<sup>1</sup>

(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:**为使车载稳定平台在动态载荷状态下满足系统精度要求,对车载光电稳定平台外框架进行了优化设计。介绍了外框架材料的选择原则与外框架的结构形式;运用UG软件对外框架进行三维建模;采用理论分析与有限元计算相结合的手段,对外框架结构进行了分析与设计;并基于MSC软件进行了仿真校核。结果表明:本文设计的外框架能在满足刚度强度的前提下实现较小的转动惯量,静力状态下的最大变形量为 $2.6\ \mu\text{m}$ ,满足使用要求。

**关键词:**光电稳定平台;外框架;有限元分析

**中图分类号:**V556.5 **文献标识码:**A

## Optimization design of external border for vehicle opto-electronic stabilized platform

LIU Chang-shun<sup>1,2</sup>, WANG Bing<sup>1</sup>, CHEN Zhao-bing<sup>1</sup>

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract:** An external border for the vehicle opto-electronic stabilized platform was optimized to improve its system accuracy under a dynamic loading mode. The material choice principle and structure mode of the external border were introduced. Then, the external border was modeled by using UG software, and its structure was analyzed and designed with the finite element method combined with a theoretical analysis. Based on the MSC software, the model was checked and verified. Experimental results demonstrate that the designed border can achieve a smaller rotation inertia with better rigidity and strength and its maximum distortion is  $2.6\ \mu\text{m}$  in a static state. The result means that this structure can satisfy the operating request.

**Key words:** opto-electronic stabilized platform; external gumball; finite element analysis

### 1 引言

稳定平台在飞机、舰艇、车辆、导弹、卫星等许多领域具有极其广泛的应用,它主要涉及目标的捕获、跟踪与瞄准等功能的实现。在惯性系统中,稳定平台为加速度计提供姿态基准,为外架设备提供稳定的承载平台。因此,如何通过合理的设计使平台满足系统的使用要求已成为当前工程应用中最关心的问题之一<sup>[1-6]</sup>。

外架设备是平台系统的服务对象,与外框架相连的2套轴系精度决定了整个系统的精度,因此外框架的结构变形对平台整体精度与稳定性具有重要影响。在车载动态使用环境条件下,光电系统对稳定平台系统要求十分严格,稳定平台结构刚度须满足承载要求高、设备尺寸大、有动载荷等要求。系统采用的是框架结构形式,外框架通过纵摇轴系与两个立柱连接,立柱固定在基座上;同时通过横摇轴系与内框架连接,内框架为外架设备提供安装位置。这种框架结构形式决定了外框架在系统中受到的力最为复杂,因此对外框架进行设计优化十分必要。

针对当前稳定平台设计普遍存在结构笨重、回转惯量大,外框架在系统中受力复杂等问题,本文分析了外框架材料的选择及结构形式,通过软件建模对外框架进行了优化设计,最后通过仿真或试验等手段验证了优化设计<sup>[7-11]</sup>的可行性。

### 2 外框架结构设计

整个平台系统采用的框架结构如图1所示,

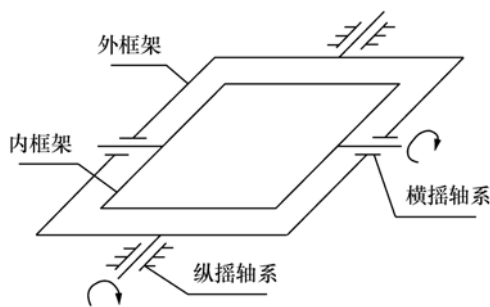


图1 稳定平台结构示意图

Fig.1 Schematic drawing of stable platform structure

这种结构形式简单,易实现平台台面(即内框架)稳定,是较为常用的结构。外框架结构通过横摇轴系和纵摇轴系实现运动。

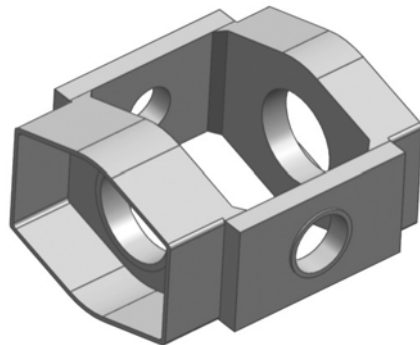


图2 外框架结构图(54 kg)

Fig.2 Drawing of frame structure(54 kg)

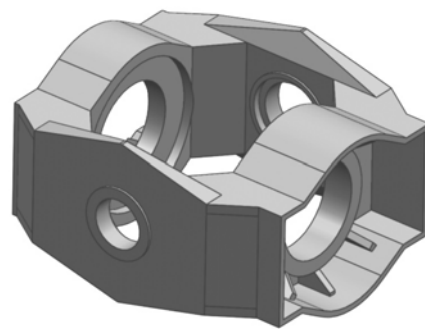


图3 外框架结构优化图(73.4 kg)

Fig.3 Optimization drawing of framework structure (73.4 kg)

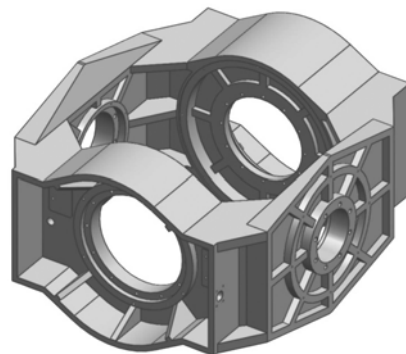


图4 外框架轻量化结构图(48.1 kg)

Fig.4 Drawing of lightweight framework structure (48.1 kg)

外框架上相互正交的2个轴系构成了整个系统的纵摇和横摇摆动。由于其在精度、刚度等方面对系统的贡献和影响最大,因此需要对外框架的结构形式进行优化设计。在设计中采用图2~图4所示的3种基本结构形式。3种基本结构的几何特性与物理特性不同,考虑到结构的转动惯量以及结构的装调方便,认为图3所示的结构较为合理,因此对图3的外形结构进行了轻量化处理。与原结构相比,图4所示结构的轻量化率为52%,比图2结构的重量减少了12%。

### 3 有限元模型建立

为了对优化后的结构强度与刚度进行校核,需要进行有限元分析。采用UG软件建立外框架结构的三维实体模型,然后利用PATRAN软件对模型进行前处理,采用NASTRAN软件计算分析结果。在模型建立过程中,为了减小模型的计算量,对不影响模型主体结构性能的小结构,入小孔、倒角等特征进行了简化处理。

#### 3.1 网格划分

为了保证该外框架结构的有限元模型网格具有良好的协调性,在网格划分中需要保证各网格单元尺寸控制在一定精度内。本结构的网格划分采用了10节点性质的四面体实体单元模型。对大部分规则区域进行自动划分,某些对模型构成关键影响的小结构体则采用手工划分的方式,从而能够在保证网格划分工作量不大的情况下满足局部的高精度要求。整个框架共划分为3 659个单元,7 657个节点,有限元模型见图5。

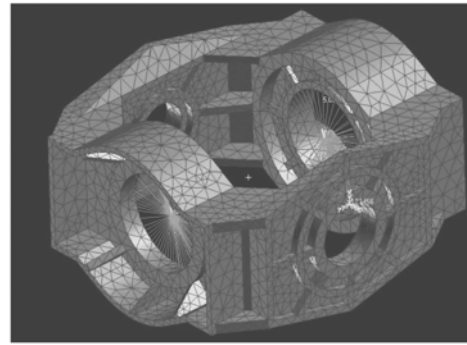


图5 外框架的有限元模型

Fig. 5 Finite element model of framework

#### 3.2 材料选择与工况设置

在材料选择方面,主要考虑以下两方面:

(1)材料刚度与强度的选择。考虑到结构的大承载能力及轻量化设计要求,对在车载动载荷条件下的结构强度设计,要尽量选择比刚度和比强度大的材料;

(2)系统材料匹配问题。外框架、内框架、立柱与基座所构成的两套轴系决定了整个系统的精度。由于系统结构外形尺寸大(1 300 mm × 1 100 mm × 800 mm),在环境温度变化较大的情况下,不同材料因线膨胀系数的不同会产生不同的伸缩量,从而在系统内部产生应力,影响精度与结构稳定性。因此,设计时应保证外框架的材料与基座、内框架、基座在热膨胀系数方面相近或一致。

依据以上要求并结合以往设计经验,对材料进行粗选,表1列出了ZL104、HT250、ZG310-570、新型铸铝材料AlSi20RE的主要性能。

表1 各材料性能表

Tab. 1 Performance list of each material

材料	热膨胀系数 $\alpha/(10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	密度 $\rho/(g \cdot \text{cm}^{-3})$	泊松比	弹性模量 $E/\text{GPa}$	比刚度 $E/\rho$	比强度
ZL104	23	2.7	0.3	70	25.9	87
ZG310-570	11	7.8	0.3	190	24.4	73
HT250	10	7.25	0.27	120	16.6	29
AlSi20RE	18	2.58	0.27	76.7	29.7	116

对比以往设计所采用的铸铝、铸铁等材料<sup>[12]</sup>,AlSi20RE具有明显的性能优点,比如刚度

和比强度高、应力低、表面光洁、消振性能好、加工性能好等;另外,该材料具有良好的流动性,可

铸成薄壁结构和形状复杂的零件。经过综合对比,选用 AISI20RE 新型铸造铝合金作为外框架材料。

为了有效仿真该平台外框架的实际工作环境,需要对该结构进行工况设置,本结构装配后可以认为是单一的刚体结构,工作时仅有两个轴框与其他结构接触。为了简化运算,设置轴框四周的接触力为均布力,且假设两个轴框的受力一致,均为该结构重力的一半,设为 53 N。将设置好的有限元模型提交至 NASTRAN 软件,可以得到静力状态下结构的应力、应变量和模态状态下的谐振频率值。

#### 4 模型分析与结果探讨

图6、图7分别为该结构经过 MSC 软件分析后的整体结构应变图和模态结果图。在分析过程中分别对结构进行静力学变形分析和动力学模态分析,分析的条件和工况相同。

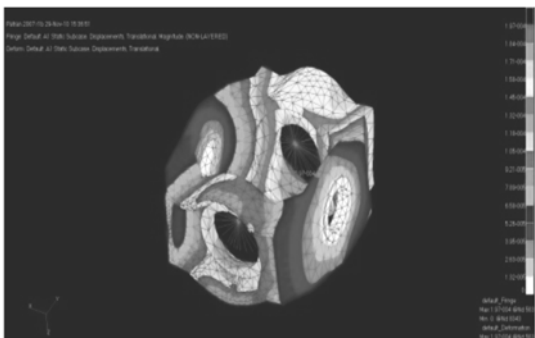


图6 静力学变形分析图

Fig.6 Diagram of statical deformation analysis

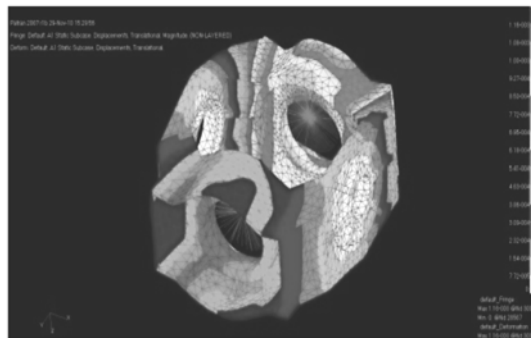


图7 动力学模态分析图

Fig.7 Diagram of dynamical modal analysis

由动力学模态分析结果可知,该结构的一阶模态刚度可达到 97.4 Hz,完全能够避开车载时的共振频率(该结构为车载系统,正常工作时油机的振动频率为 -50 Hz,可以认为它是该结构的固有共振频率);由静力学变形分析可知,该结构的最大应变为 2.6  $\mu\text{m}$ ,各项指标均满足设计要求,验证了该结构优化的有效性和可行性。

#### 5 结论

对车载稳定平台的外框架结构进行了结构优化,采用 UG 软件对该结构进行了三维建模,采用 MSC. PATRAN 有限元前处理软件对结构模型进行了工况设置,采用 MSC. NASTRAN 有限元后处理软件对模型进行了仿真分析。结果显示:本文所选择的外框架结构能够在满足刚度、强度要求的前提下实现较小的转动惯量设计要求,静力状态下的最大变形量为 2.6  $\mu\text{m}$ ,表明这种优化设计是合理可行的。

#### 参考文献:

- [1] 魏颖,张波,李丽,等.基于体系结构的软件可靠性评估[J].光学精密工程,2010,18(2):485-490.  
WEI Y,ZHANG B,LI L,*et al.*. Architecture-based software reliability evaluation[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010,18(2): 485-490. (in Chinese)
- [2] 胡新宁,王厚生,王晖,等.超导转子旋转驱动装置的设计[J].光学精密工程,2010,18(1):169-174.  
HU X N,WANG H S,WANG H,*et al.*. Design of drive device for spinning superconducting rotors[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010,18(1):169-174. (in Chinese)
- [3] 郑猛,冯其波,邵双运,等.CR扫描仪激光扫描光学系统的设计[J].光学精密工程,2010,18(1):21-27.  
ZHENG M,FENG Q B,SHAO SH Y,*et al.*. Design of laser scanning optical systems for computed radiography[J]. *Opt.*

- Precision Eng.* ,2010,18(1):21-27. (in Chinese)
- [4] 李晓韬.应用惯性冲击原理的非对称夹持式压电旋转驱动器的实验研究[J]. *光学精密工程*,2010,18(1):156-161.  
LI X T. Design of asymmetrical rotated piezoelectric actuators based on impact driving principle[J]. *Opt. Precision Eng.* , 2010,18(1):156-161. (in Chinese)
- [5] 陈旭,刘伟奇,康玉思,等.非球面补偿器的结构设计及装调[J]. *光学精密工程*,2010,18(1):88-93.  
CHEN X,LIU W Q,KANG Y S,*et al.* . Design and tolerance analysis of offner compensator[J]. *Opt. Precision Eng.* , 2010,18(1):88-93. (in Chinese)
- [6] 李琳,杨勇.空间曲线切口式柔性铰的设计[J]. *光学精密工程*,2010,18(10):2192-2198.  
LI L,YANG Y. Design of flexure hinges with space curve notches[J]. *Opt. Precision Eng.* ,2010,18(10):2192-2198. (in Chinese)
- [7] 龚雨兵,杨世模,陈志远.长缝光谱仪主结构的稳健优化设计[J]. *光学精密工程*,2009,17(11):2638-2645.  
GONG Y B,YANG SH M,CHEN ZH Y. Robust optimization design of primary structures of long slit spectrometers[J]. *Opt. Precision Eng.* ,2009,17(11):2638-2645. (in Chinese)
- [8] 韩旭,马军,居波,等.三线阵测绘相机热光学试验交会角测试系统[J]. *光学精密工程*,2009,17(12):2959-2965.  
HAN X,MA J,JU B,*et al.* . Measuring system of space intersection angle for three-line mapping camera in thermal-optical test[J]. *Opt. Precision Eng.* ,2009,17(12):2959-2965. (in Chinese)
- [9] 韩旭,吴清文,董得义,等.室温硫化胶层建模在透镜结构分析中的应用[J]. *光学精密工程*,2010,18(1):118-125.  
HAN X,WU Q W,DONG D Y,*et al.* . Application of RTV adhesive modeling to structure analysis of reflective mirror[J]. *Opt. Precision Eng.* ,2010,18(1):118-125. (in Chinese)
- [10] 刘强,房建成,韩邦成,等.磁悬浮飞轮锁紧装置及其优化设计[J]. *光学精密工程*,2010,18(8):1814-1821.  
LIU Q,FANG J CH,HAN B CH,*et al.* . Locking device for magnetic bearing flywheel and its optimization[J]. *Opt. Precision Eng.* ,2010,18(8):1814-1821. (in Chinese)
- [11] 杨洪涛,贾继强.机载光电平台内框架刚度及模态有限元分析[J]. *计算机仿真*,2005,22(11):311-314.  
YANG H T,JIA J Q. Finite element modality and stiffness analysis of airborne electro-optical platform inner-ginbal[J]. *Computer Simulation*,2005,22(11):311-314. (in Chinese)
- [12] AWAD A N. Investigate the parameters effect on thermogravimetry analysis (TGA) performance for SOx additive in FCC units[J]. *J. Environmental Sci. Eng.* ,2010,4(10):44-50.

作者简介:刘长顺(1982—),男,辽宁丹东人,硕士,研究实习员,主要从事光电对抗设备结构设计方面的研究。

E-mail: lcsnuaa@163.com