

飞船光学瞄准镜结构的初步分析与计算

郭培基

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 飞船光学瞄准镜是外层空间用的光学仪器, 本文利用有限元分析技术对其结构进行了初步的分析和计算, 得出了结构可行的重要结论, 为该系统的进一步优化设计奠定了基础。

关键词: 光学瞄准镜结构; 有限元分析

1 引言

飞船光学瞄准镜是工作在外层空间的光学仪器, 为了保证光学瞄准镜不仅在空间状态下能正常工作, 而且在发射飞行过程中不破坏, 不产生残余变形, 要求光学瞄准镜有足够的刚度和强度, 为此在设计阶段就要对所设计的光学瞄准镜结构, 进行动力学特性分析及空间环境激励下的动态响应仿真, 以评价瞄准镜结构的动力学特性, 预估发射状态下瞄准镜结构抗冲击振动和过载能力以及在空间状态下抗机械振动干扰的能力, 为结构的改进提供依据。

2 分析与计算

- (1) 结构在自重载荷释放时, 光学元件位移是否在许用范围内。
- (2) 结构动态特性分析: 自振频率、振型及应变能求解、动态刚度分析。
- (3) 结构动态响应分析:

a. 冲击与过载响应—应力求解, 判断光学瞄准镜在发射过程中是否被破坏或产生残余变形。

根据要求冲击载荷沿 Y 向加载, 基础输入, 载荷函数形式为

$$F(t) = \begin{cases} 50g \sin\left(\frac{\pi}{8}t\right) & (0 < t < 8 \text{ ms}) \\ 0 & t > 8 \text{ ms} \end{cases}$$

根据要求过载载荷的载荷函数为

$$F(t) = \begin{cases} 15 \text{ g} & t \leq 10 \text{ s} \\ 0 & t > 10 \text{ s} \end{cases}$$

b. 低频振动响应—位移响应求解, 判断光学瞄准镜在各个低频带载荷谱激励作用下, 光学元件位移响应是否在许用范围内。

这里根据要求, 沿 Y 向加载, 基础输入的幅频参数如表1所示。

Table 1 Vibration load

frequency	amplitude
4- 10	5.88 mm
10- 20	2.35 g
20- 70	5.88 g
70- 100	3.92 g

c. 随机振动响应—位移响应求解, 在较高频率范围内, 将各频率成份的载荷同时作用于结构, 发现各阶模态响应情况, 判断此响应时, 光学元件位移响应是否在许用范围内。

这里根据要求, 沿 Y 向加载, 基础输入的 PSD 如表2。

Table 2 PSD of Load

frequency	PSD
10- 150	3 db/oct
150- 500	0.07 g ² /Hz
500- 2000	- 12 db/oct

3 工程分析模型的建立

3.1 物理模型的建立

结构有限元模型的建立首先应在忠实于仪器的几何形状及其属性的前提下进行, 其次要考虑当前软、硬件的限制, 因此在保证一定精度的前提下, 单元数量不宜过大, 在关键的力传递路途上, 网格划分要密些, 非关键部位要本着能量等效原则, 准确描述其等效单元的质量、质心位置及连接刚度。根据这些原则, 光学瞄准镜的模型我们直接由屏幕样机生成, 模型的总节点数为5532, 总单元数为4986。见图1

3.2 数学模型的建立

根据结构的分析内容, 其分析的数学

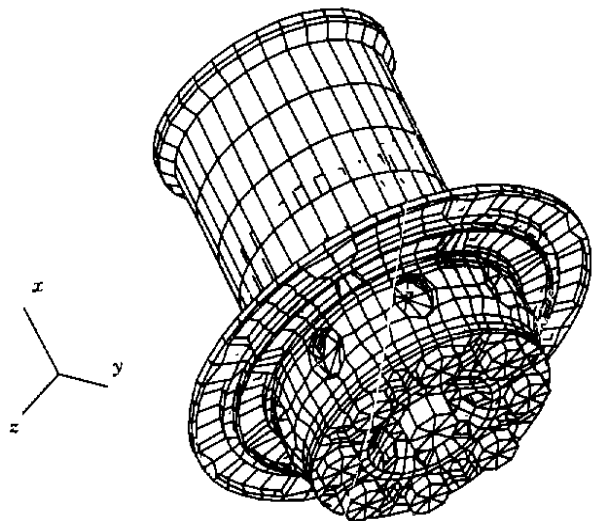


Fig. 1 FEA model of the optical dimming lens

模型可建立如下:

3.2.1 静力分析模型的建立

由于仪器在太空中处于失重状态,而仪器的制造、安装、调试等过程均在地面的重力场中进行,这相当于仪器在太空中产生了一个重力加速度的重力释放,为保证地面调试好的仪器在由于重力释放而产生的变形情况下仍然工作正常,需要对其进行重力作用下的静力分析,分析的方程为:

$$KU = F \quad (1)$$

其中: K 为总体刚度矩阵

U 为总体节点位移列阵

F 为总体载荷列阵,即结构自重

3.2.2 模态分析

为了了解仪器本身的动态特性及质量,确定结构刚度的薄弱环节,就得对结构进行模型分析,不考虑外界载荷及阻尼的影响,结构的无阻尼自由振动方程为:

$$M\ddot{U} + KU = 0 \quad (2)$$

式中: M 为总体质量矩阵

\ddot{U} 为节点加速度列阵

求解上方程,可得结构的振型表达式,同时得到系统的自振频率。

3.2.3 动力学响应分析

结构的动力学响应方程为

$$M\ddot{U} + \dot{U} + KU = F(t) \quad (3)$$

式中: 为总体阻尼矩阵

\dot{U} 为节点速度列阵

$F(t)$ 为总体载荷列阵

对随机振动,由于随机振动的影响往往不易在时域上加以确切地描述,故通常采用频域分析的方法,利用傅立叶变换将时域函数变换为频域函数,或者说将振动波形在频率域上进行分解,通过对频域函数如功率谱密度函数的分析,可以得出振动能量在频率域上的分布的信息。通过对方程(3)进行傅氏变换,得到频率域上激励响应的关系式:

$$X(\Omega) = H(\Omega)F(\Omega)$$

式中: $X(\Omega)$ 为响应的傅氏变换列阵

$F(\Omega)$ 为激励函数的傅氏变换列阵

$H(\Omega)$ 为结构的传递函数矩阵

Ω 为激励的频率

由此可得激励与响应的功率谱密度关系式:

$$S_x(\Omega) = H(\Omega)S_F(\Omega)H^T(-\Omega)$$

式中: $S_x(\Omega)$ 为响应功率谱密度矩阵

$S_F(\Omega)$ 为激励的功率谱密度矩阵

4 初步分析及计算结构

4.1 动态特性

Table 3 Natural frequency and mode shape of optics aiming lens

rank	natural frequency(Hz)	description of mode shape	position of max. stress
1	381.06	whole structure's oscillating around y axle	root of shell
2	381.06	whole structure's oscillating around z axle	root of shell
3	420.97	orientation rule's oscillating along x axle	center of orientation rule
4	496.42	whole structure's oscillating along x axle and orientation rule's oscillating along x axle	center of orientation rule
5	868.77	whole structure's oscillating around y axle and orientation rule's fluctuating along z	root of shell

4.2 应力响应

Table 4 stress response

load	max. stress (kg/mm ²)	position	σ_b (kg/mm ²)	σ_s (kg/mm ²)
lash	0.81	root of shell	26	
over load	0.43	root of shell	26	

4.3 位移响应

Table 5 Displacement response

load	criterion of displacement(mm)	max. displacement (mm)	optics part's max. displacement (mm)
weight	0.01	0.00143	0.00105
low frequency vibration	0.01	0.004987	0.004409
random vibration	0.01	0.000032	0.000031

5 结 论

(1) 光学瞄准镜在冲击及过载载荷下最大主应力均远小于许用应力, 说明瞄准镜在飞船发射及过载过程中有足够的抗破坏能力。

(2) 光学瞄准镜在冲击及过载载荷下最大主应力均远小于微屈服应力, 说明结构不会产生残余变形。

(3) 在自重、低频振动、随机振动载荷作用下, 光学部件最大位移处位移均小于允许位移, 说明瞄准镜光学系统能保持良好工作状态。

此工作得到卢 镔研究员, 牛晓明等(AD) 组同志的大力支持和帮助, 在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 卢 镔, 光电经纬仪动态特性分析. 光学机械, 1989(3): 25- 34
[2] 牛晓明, 空间光学仪器结构件的动态特性分析及优化. 光学 精密工程. 1995, 3(6): 99- 106

Preliminary analysis and calculation on structure of spaceship optics aiming lens

Guo Piji

(*hangchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*
hinese Academy of Science . hangchun 130022)

Abstract

The spaceship optics aiming lens is a kind of optical instrument in the space. In the paper engineering analysis and calculation have been done by using FEA. An important conclusion of being feasible on structure has been obtained. Based on the analysis further optimum design could be approached

Key words : Optics aiming lens, FEA

郭培基 男, 1968年生。1991年在华中理工大学获学士学位, 1994年在长春光机所获得工学硕士学位, 现为长春光机所所在职博士研究生。从事“新型遥感立体成像技术”, “XU Z02型激光气象雷达”各“921- 3光学瞄准镜”等项目的工作。