

对影响空间光学仪器动力学特性的支撑方式的探讨

李 丽

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 探讨了不同支撑方式对空间相机动力学特性的影响, 探索了提高空间相机动力学特性, 降低响应的途径, 为实际工程中相机结构的参数选择提供了有用的参考。

关键词: 动态刚度; 动态响应; 有限元法; 空间相机

1 引 言

空间相机在发射过程及在太空运行中将要承受各种形式的动力载荷。尽管相机本身具备高分辨率探测器, 但在工作过程中各种动态干扰将会使光轴产生抖动而导致成像质量的下降。因此相机系统应具备良好的动力学特性, 使外界干扰传递到相机而产生的有害影响降低到最小。本文结合工程实际, 采用现代化设计方法, 对影响相机动力学特性因素(主要是相机支撑结构的结构形式、尺寸、材料、阻尼, 进行了详细的分析, 探讨了提高空间光学仪器动力学特性的方法和途径。

2 工程分析模型的建立

本文所讨论的空间相机属于大型空间仪器。总质量为275 kg, 总尺寸为1.67 mm × 0.65 m × 0.65 m。相机采用的光学系统是折反式光学系统。

相机的支架结构是连接相机与飞船的构件。它由两个环套和两根梁组成(支架结构一), 如图1。相机套在环套中, 梁的端部固定在飞船上。支架结构对整个相机系统的动力学特性具有决定性的影响。

故本文将相机支架结构为整体建立了工程分析的模型。由于空间相机对精度要求较高,故而主镜、次镜与心轴和支承结构的连接部位及相机支架结构等力的传递路径和位移及应力变化梯度大的地方网络划分较密,同时兼顾计算机的容量和速度,对其他部位进行必要的简化。为进行动力学计算,需要降低运算规模,采用 GUYAN 约化法降低求解矩阵的阶数,选取了足以表征结构特点的主自由度进行了矩阵缩约。相机及支架结构有限元模型采用的自由度为13524,主自由度为158。

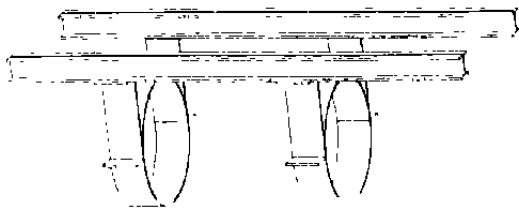


Fig. 1 Support structure 1

3 动力学特性的分析

(1) 动态特性分析的内容

相机支架结构的动态特性如何决定了相机动态刚度的好坏。通常用结构的固有频率、振型以及阻尼等参数来描述其动力学特性。动态特性分析的过程实际上也是特征参数的求解过程,即模态分析的过程。

(2) 模态分析计算

求解特征值问题的常用算法有两类,一类为基于矢量迭代法的求解方法,另一类为基于矩阵凝聚技术的求解方法,其中基于矢量迭代法的子空间迭代法应用最为广泛,本文中固有振型和振型矢量则是在此基础上求解的。

当采用支架结构方案一时,相机前三阶固有频率分别为19.31 Hz, 52.83Hz, 104.1 Hz,前两阶振型为相机的侧向振动,第三阶振型为相机的轴向振动。由模态分析的结果知相机支架结构的侧向刚度较差。为防止共振发生,应尽量使仪器避开前三阶频率,同时改进支架结构的性能参数,以减小位移响应和应力响应。

4 影响相机动力学特性的因素

图2是单自由度下的幅频特性曲线,其中横座标是频率比 λ ,纵座标为放大因子 β 。由该曲线可以看出,可以采用提高系统的固有频率和增加系统阻尼两个途径来改进系统动力学特性。

固有频率决定于系统的质量和刚度大小及其分布,因此支架的结构形式,尺寸、材料及系统的阻尼均为影响系统动力学特性的因素。

(1) 支架的结构形式对系统动力学特性的影响

由模态分析可知支架结构侧向和轴向的动态刚度较低。为了提高支架结构侧向的动态刚度,可以在梁和环套之间安装四条筋,为提高轴向刚度可横向加两条梁。此为支架结构二。如图3所示,经过计算,支架结构的一阶频率上升到56.2 Hz,动态刚度得到明显提高。

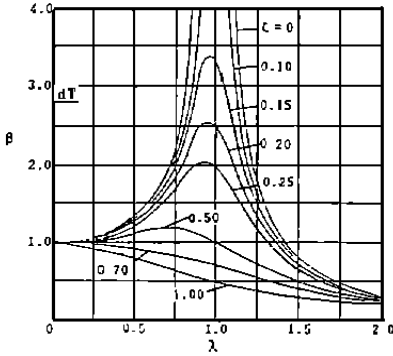


Fig. 2 Amplitude-frequency behaviour curves

此外,考虑到相机重心并没与主支承重合而产生偏心,故将支架结构一改进成支承中心与相机重心相重合的形式(支架结构三),如图4所示,将采用支架结构三时系统的固有频率和采用支架结构一和支架结构二时系统的固有频率进行比较,比较结果见图5。

由图五看出,支架结构三与支架结构一相比较,动态刚度提高并不十分明显。这是因为虽然在结构形式上支架中心与相机重心相重合,但能量仍由两环套从支架向相机输入,这说明这种均布的支架结构形式并不能改变力的传递路径。因此三者之中,最优的结构形式为支架结构二。

(2) 支架结构的材料对相机动力学特性的影响。

为使支架结构具有较高的动态刚度,应选比刚度较高的材料,力的传递路径及连接环节材料的选取也十分重要。支架结构的环套,支脚及梁的材料对动力学特性有相当大的影响。对采用不同材料的支架结构的相机进行模态分析,其固有频率对比如下:

Table 1 Natural frequency of support structure of different material

material	first mode frequency	second mode frequency	third mode frequency	weight
LY12	56.2 Hz	67.4 Hz	115.2 Hz	108 kg
ZTL4	58.5 Hz	74.1 Hz	135.5 Hz	193.6 kg
45	63.4 Hz	83.4 Hz	156.8 Hz	312 kg

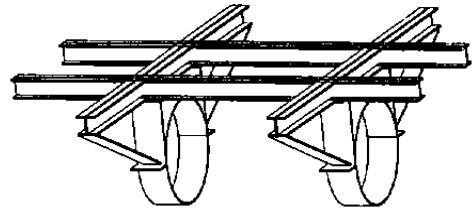


Fig. 3 Support structure 2

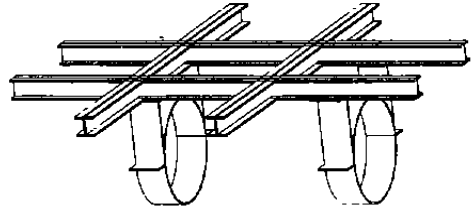


Fig. 4 Support structure 3

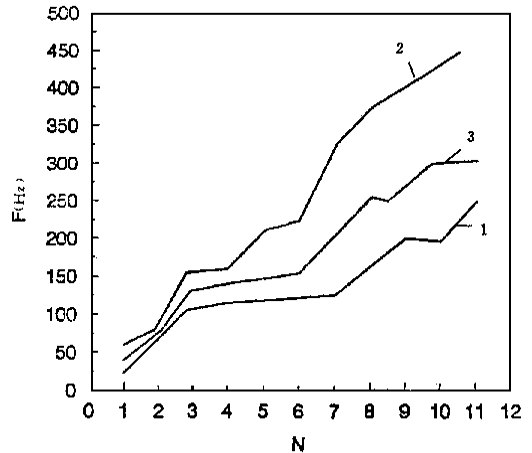


Fig. 5 Curves of frequency vs different support structure

由表一可看出, 采用铸钛或钢做为支架结构材料时, 支架的动态刚度有一定幅度的提高。当采用钢做为支架材料时, 支架结构的重量明显增大, 甚至超过了相机本身的重量, 这在发射和工作过程中会很大程度地提高成本。铸钛是一种比刚度较好的材料, 但是较为昂贵, 且重量也相对较重, 故在采用铝支架可行的前提下建议不采用其它材料。

(3) 阻尼对相机动力学特性的影响

由于阻尼的存在使系统的能量得到不断耗散。由图2可知加大阻尼可以降低系统的动力学响应。为此应选择适当的阻尼方式, 即适当选择辅助支承处的橡胶, 在主支承与相机之间加入减振材料, 或在支架与基础之间加入减振垫, 以达到吸收能量、减振隔振的目的。由于减振材料弹性模量较低, 有可能使结构产生一定的刚体位移, 因此应适当增加减振材料的刚度并适当选择其厚度。因篇幅所限, 本文仅以主支承与相机之间加入的减振圈为研究对象, 来讨论改变阻尼以改进动态特性的办法。以固有频率 F , 低频振动下主、次镜相对位移 δ 为参变量, 以减振圈弹性模量 E 和厚度 h 为参数经过计算, 分别绘出 $F - E, F - h, \delta - E, \delta - h$ 曲线, 见图6- 图9。

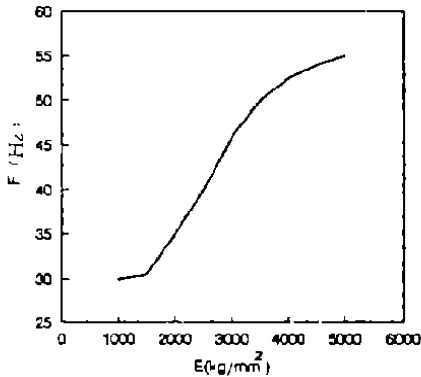


Fig. 6 Curve of F vs. E

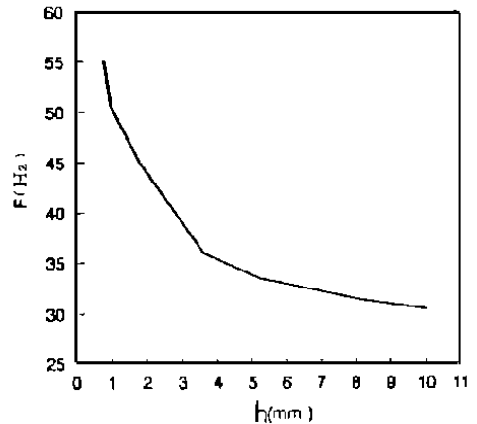


Fig. 7 Curve of F vs. h

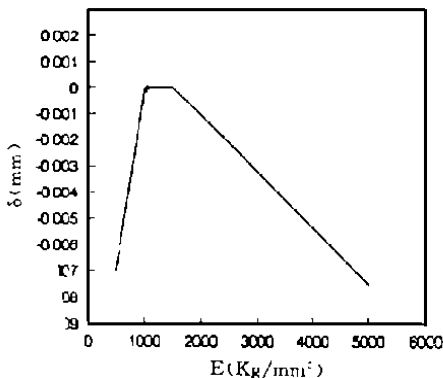


Fig. 8 Curve of δ vs. E

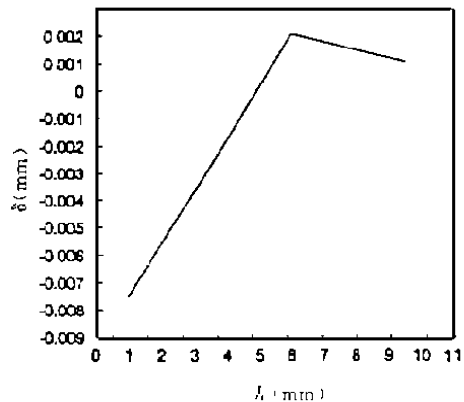


Fig. 9 Curve of δ vs. h

由图6- 图9可以看出, 减振材料的加入使系统的固有频率有所降低, 同时也使系统的动态响应得以减小, 据此可以选取弹性模量较小(如 2500 kg/mm^2), 厚度为 5 mm 的减振材料。

5 结 论

本文通过对空间遥感相机支架结构的动态特性分析, 探讨了影响空间相机动力学特性的几种因素, 找到了提高仪器动态刚度、降低响应的途径, 即对支架结构的结构形式, 材料和阻尼等参数进行改进, 得到了可行方案。

参 考 文 献

- [1] M. J. Corcker, Structural Vibration of Space Power Station. SPIE, 1987, **871**, 375- 391
- [2] 卢 镒, 空间遥感相机结构的计算机辅助工程分析. 光学机械, 1989(4) , 15- 25

Research of Several Influence Factors on Dynamical Property of Optical Device

Li Li

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

This paper probes into some factors that influence on the dynamical properties of space camera , and finds the methods of improving the dynamical stiffness and reducing response . It also provides certain reference for practical engineering problems.

Key words: Dynamical stiffness, Dynamical response, FEM , Space camera

李 丽 女, 1971年10月生, 1989- 1993年就读于南京理工大学攻读学士学位, 1993- 1996年就读于中国科学院长春光机所, 获硕士学位。现从事空间遥感相机的研制工作。