

# 一种航天遥感器调焦机构试验研究

高飞<sup>1,2</sup>, 张葆<sup>1</sup>, 刘大禹<sup>3</sup>

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100039;  
3.长春奥普光电技术股份有限公司, 长春 130033)

**摘要:** 调焦机构是航天光学系统的重要组成部分, 调焦机构的精度直接影响到光学系统的成像。为提高调焦机构的精度, 简化中间环节, 设计了一种新型的调焦机构。针对航天光学系统对调焦机构的要求, 对该调焦机构的试验进行了设计, 针对控制精度、晃动和高低温进行了试验, 并分析了影响调焦机构精度的主要因素。试验结果表明: 该调焦机构可以满足使用要求, 且具有响应快、定位精度高、传动效率高、适用范围广等优点。

**关键词:** 调焦机构; 试验测试; 调焦精度

中图分类号: V416.8

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 9870 (2008) 02 - 0030 - 02

## Study on the test for a Kind of Aerospace Remote Sensor's Focusing Structure

GAO Fei<sup>1,2</sup> ZHANG Bao<sup>1</sup> LIU Dayu<sup>3</sup>

(1.Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics ,Chinese Academy of Sciences ,Changchun 130033 ;  
2.Graduate School of the Chinese Academy of Sciences ,Beijing 100039 ;  
3.Changchun UP Optotech Co. ,Ltd ,Changchun 130033)

**Abstract :** The focusing mechanism is very important to the spaceflight optics system , and its precision will affect image of the whole optical system directly. A new type of focusing mechanism is described in order to enhance the precision and predigest the redundant taches. Designed some tests in allusion to fulfill the need of this mechanism , and carried through tests to verify the precision , shake、high and low temperature ; Then analyzed main factors which effected the precision of focusing mechanism. The results show that the focusing mechanism could meet with using requirement , and had advantages of fast response , high orientation precision , high transmission efficiency , and widely used.

**Key words :** focusing structure ; experiment test ; focusing precision

调焦机构是航天光学系统的重要组成部分<sup>[1]</sup>, 调焦机构的精度直接影响到光学系统的成像质量。为提高调焦机构的精度, 简化中间环节, 特设计了一种新型的调焦机构, 并针对航天光学系统对调焦机构的要求, 进行了一组试验来验证此结构的性能。

### 1 调焦机构设计

设计了一种行程 30mm; 负载为 10kg; 可适用在环境温度为-40 ~ +55 之间的航天光学调焦机构。调焦机构采用的是由直线电机驱动直线导轨和直线位移传感器相结合的组合方式, 将旋转运动改

收稿日期: 2008-01-12

基金项目: 中国科学院院长奖获得者科研启动专项资金资助

作者简介: 高飞(1979-), 女, 吉林松原人, 硕士研究生, 主要从事光机整体检测, E-mail: gaofeib108@126.com。

为直线运动,取代了不必要的中间环节,降低了加工难度,简化了结构,提高了精度。调焦机构如图1所示。

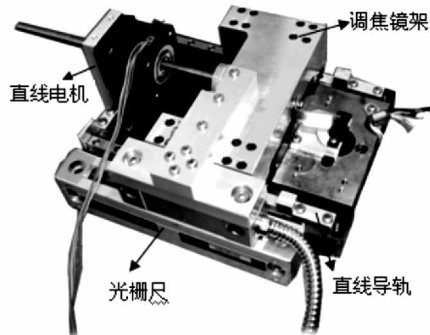


图1 调焦机构组成

Fig.1 Composition of focusing structure

调焦机构主要由以下几部分组成：直线导轨、直线步进电机、直线位移传感器、数字信号处理器、步进电机功率驱动模块。

在导轨选取方面,由于滚动直线导轨具有摩擦阻力较小、预压无间隙、驱动功率小、定位精度较高、维护保养简便等特点<sup>[2]</sup>,因此本方案选用滚动直线导轨。

在电机选取方面,利用直线步进电机代替旋转电机的传统驱动方式,将旋转运动改为直线运动,取代了不必要的中间环节,提高了传动效率,因此选用直线步进电机作为驱动。

在传感器选取方面,使用的是光栅尺式位移传感器进行直接测量,可有效避免中间传动装置和测量装置带来的误差,比以前采用电位计进行测量的

定位方式,精度有了很大的提高。

## 2 试验及分析

空间相机调焦机构在满足高精度要求的同时,还必须适应大的工作温度范围。因此,对本调焦机构进行了精度及温度的测试。

### 2.1 控制精度试验

现场测试环境如下：室温 20.5℃；湿度 55%，将镜座置于三坐标测量机的平台上，利用直线电机控制镜架做往返运动，用三坐标测量机测量各位置相对初始位置的位移量与电机的输入量进行比较，如图2所示。

由图3、图4可知，利用三坐标测量机与电机的输入量进行比较得出控制精度的最大绝对误差为 0.003mm，满足设计要求。

### 2.2 晃动实验表

将平面镜固定在镜架上，利用 0.2"自准值平行光管作为检测工具，通过调整平行光管找到平面镜所成的像，驱动镜座作直线运动，通过自准直平行光管读取光栅尺显示位置的晃动值。如图5所示。

由图6、图7可知，使用 0.2"自准值平行光管作为检测量具，通过平行光管读取平面镜在固定位置所成像的数据，得到机构的晃动量在水平方向最大为 5.8"，垂直方向最大晃动量为 2.9"，无论水平还是垂直方向均满足机械轴晃动小于 15"的要求。



图2 控制精度试验

Fig.2 Test of controllable precision

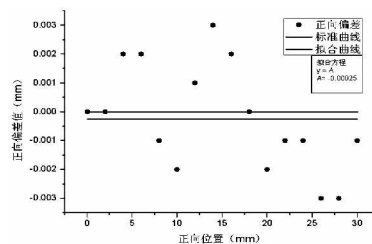


图3 正向控制精度

Fig.3 Forward controllable precision

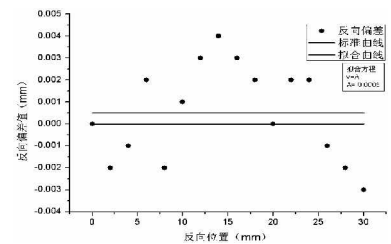


图4 反向控制精度

Fig.4 Backward controllable precision



图5 晃动试验

Fig.5 Test of shake

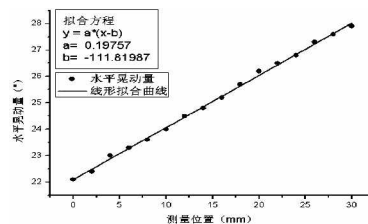


图6 水平晃动

Fig.6 Horizontal shake

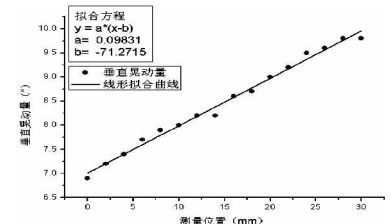


图7 垂直晃动

Fig.7 Vertical shake

(下转第26页)

$\varepsilon$  为随机误差向量  $\alpha \triangleq (\alpha_{11} \ \alpha_{12} \ \alpha_{13} \ \dots \ \alpha_{11} \ \alpha_{N2} \ \alpha_{N3})^T$  为系统误差向量。

根据非线性回归分析理论, 估计样条系数与系统误差, 可用极值问题

$\min_{b,a} \|Y - F(b,a)\|_2^2$  的解作为样条系数与系统误差的估计。

记  $\gamma = (b^T, \alpha^T)^T$ ,  $V(\gamma) = \left( \frac{\partial F}{\partial \gamma} \right)$ ,  $S(\gamma) = \|Y - F(\gamma)\|_2^2$ , 求

参数  $\gamma$  的 LS 估计可用 Gauss-Newton 法:

给定初值  $\gamma^{(0)}$ ,  $\alpha^0$ ; 构造序列  $\{\gamma^{(i)}\}$

$$\begin{cases} D^{(i-1)} = [V(\gamma^{(i-1)})^T V(\gamma^{(i-1)})]^{-1} V(\gamma^{(i-1)})^T [Y - F(\gamma^{(i-1)})] \\ S(\gamma^{(i-1)} + \lambda_{i-1} D^{(i-1)}) = \inf_{0 \leq \lambda \leq 1} S(\gamma^{(i-1)} + \lambda D^{(i-1)}) \\ \gamma^i = \gamma^{(i-1)} + \lambda_{i-1} D^{(i-1)} \end{cases}$$

算法步骤:

由 Newton-Raphson 算法求解回归模型的最小二乘解, 具体步骤如下:

(1) 由任意给定目标初值给出初值  $\beta_0$ ;

(2) 由  $\beta_0$  和相关方程求解估计值  $\hat{Y}$ ;

(3) 由实测数据  $Y$  与估计值  $\hat{Y}$  对  $\|\hat{Y} - Y\|^2$  按最小梯度法求出  $\beta_1$  和残差总和  $e$ ;

(4) 利用  $\beta_1$  重复步骤 (2)、(3), 直到前后

两次残差和之差小于一定得门限, 得到  $\beta$  即为样条系数的最优估计, 同时得到其协方差矩阵;

(5) 可以得到目标位置、速度、加速度的估计。

## 6 结论

目前, 越来越多的机载探测系统采用了复合探测设备。为了更好地发挥复合探测设备的效能, 提高复合探测设备的测量定位精度, 必须对复合探测设备的多路探测信息进行融合处理。本文从目标的定位方程入手, 通过分析距离、方位角、俯仰角测元的加权融合, 给出了雷达/红外跟踪数据组成的数学模型, 可以提高测量系统的抗干扰能力和结果的可靠性, 并且可以推广到其它设备构成的机载复合探测系统上。

## 参考文献

- [1] 陈福增. 多传感器数据融合的数学方法[J]. 数学的实践与认识, 1995(2): 11-16.
- [2] 李小宁, 徐智勇, 张涯辉. 多传感器数据融合的权值因子确定[J]. 飞行器测控学报, 2005, 24(1): 64-67.
- [3] 王青, 黄燕, 石晓荣. 雷达/红外双模制导背景下的模糊目标跟踪器[J]. 系统仿真学报, 2003, 8: 1152-1154.

(上接第 31 页)

## 2.3 高、低温实验

利用高、低温试验箱对调焦机构进行试验, 配重的质量为 10.3 千克, 在最低温度 -40 时保温 1h, 期间瞬时环境最低温度为 -42; 在最高温度为 55 时保温 1h, 期间瞬时环境最高温度 56.6。电机在以上工作环境及时间下均能正常工作, 可见此机构可以满足高低温试验的要求。

从试验结果来看, 影响调焦机构精度的主要因素有:

(1) 滚动直线导轨的自身误差, 如: 两端 V 型槽中心线的不直线性、滑轨与滚珠接触部位的尺寸偏差、滚珠直径的偏差; 安装直线导轨时的安装误差<sup>[3]</sup>。

(2) 直线步进电机自身的因素, 由于直线电机在运动过程中会产生发热等问题, 会对自身精度产生一定影响。

(3) 光栅尺式位移传感器的制造误差, 受温

度影响时的尺身变形及安装误差。

根据以上的实验数据可以看出无论是控制精度、晃动精度还是高低温实验, 此机构均可以满足设计要求。

## 3 结论

本文设计了一种以直线电机、直线导轨和光栅尺式位移传感器相组合的航天光学调焦机构, 通过控制精度试验、晃动试验、高低温试验验证该结构性能良好, 完全满足航天光学调焦系统的应用。

## 参考文献

- [1] 丁亚林, 田海英, 王家骥. 空间遥感相机调焦机构设计[J]. 光学精密工程, 2001, 9(1): 35-38.
- [2] 林为才, 王晶. 一种新型调焦机构的设计[J]. 长春理工大学学报, 2007, 30(4): 46-48.
- [3] 毛英泰. 误差理论与精度分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982: 147-151.