

文章编号: 1672-8785(2013)09-0019-05

透射式红外镜头的高精度定心装调

邢 辉 焦文春 王 昀

(北京空间机电研究所, 北京 100190)

摘 要: 依据红外镜头光学系统的设计结果和公差分配, 确定了透镜的装框方式和透镜组件的装配方式, 并对镜框和镜筒结构进行了特殊设计。利用 OptiCentric 双光路定心仪对单透镜组件进行了定心。在用销钉对单透镜组件进行定位后, 用销钉对各个透镜组件进行了复位。在完成整个镜头定心装调后, 在红外传函仪上对镜头进行了像质检测。测试结果表明红外镜头的焦距和各个视场的传递函数均满足要求, 说明这种双光路定心装调方法是合理可行的。

关键词: 红外镜头; 双光路; 定心

中图分类号: V447+.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.09.004

High Precision Assembling of Diffractive Infrared Lens

XING Hui, JIAO Wen-chun, WANG Yun

(Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing 100190, China)

Abstract: A method for assembling a lens or a lens unit is determined according to the design result and tolerance of an optical system in which an infrared lens is used. The mount and barrel of the lens are designed specially. The center error of the lens unit is measured by an OptiCentric dual-path centrescope. After the lens unit is positioned with pins, each lens unit is reset with pins. When the whole lens unit is assembled, the image quality of the lens is detected in an infrared Modulation Transfer Function (MTF) measurement instrument. The result shows that both the effective focal length and the MTF of the infrared lens unit meet the required specifications and this new dual-path assembling method is reasonable and feasible.

Key words: infrared lens; dual-path; centring

0 引言

透镜的定心是透射式光学系统装调的基础, 其光轴引出的精度决定了系统装调的质量^[1]。传统的红外透射式光学系统构型简单, 透镜数量少, 装调公差宽松, 往往可以采用机械直装方法进行装调。随着红外侦察卫星分辨率指标的不断提高, 人们对红外遥感器提出了更高的要求, 使得红外光学系统需要不断更新换代, 其

透射式光学系统也变得更加复杂。不仅透镜数量大为增加、公差变得极其严格, 而且还加入了二次甚至高次非球面; 同时还必须考虑镜头的力学性能和空间环境的温度特性, 以达到高稳定性要求。这种技术发展趋势不仅对红外光学加工和光学检测技术提出了较高的要求, 而且还对红外透射式系统的装配工作提出了相应的要求。

收稿日期: 2013-07-11

作者简介: 邢辉(1979-), 男, 山东人, 工程师, 硕士, 主要从事光学装调与测试等方面的研究。

E-mail: xinghui322@126.com

现有的定心仪只能对反射镜和可见光透镜进行定心, 而红外透镜的材料大多为硅、锗等不透可见光材料。在采用传统机械加工工艺时, 一方面不能满足系统的装调公差要求, 另一方面传统的光机装配方式也难以满足镜头在发射及空间环境下的使用要求。因此, 我们在大量工程试验与工艺研究的基础上提出了一种新的针对高精度红外透射式镜头的装调方法, 实现了红外镜头的高精度装调。

1 测量原理

在光学镜头的装配过程中, 需要保证各个光学零件的共轴性, 即保证系统中的所有光学零件的球心严格位于同一条直线上, 从而使光学镜头的成像质量与设计结果一致^[1-3]。

1.1 单透镜偏心

对于单透镜来说, 保证共轴性就是要使光轴与几何中心线重合。如图 1 所示, 就是要保证透镜两个面球心 O_1 和 O_2 的连线与透镜外圆(圆

柱面) 的中心线重合。

1.2 反射像的测量原理

如图 2 所示, P 代表一个发光物体, 光线经过透镜的凸球面反射后成虚像于 Q 。假如球心 O 不在透镜的几何中心线上, 偏心则为 e 。当透镜绕几何中心线旋转时, 球心在 O 和 O' 两个极限位置之间作圆周运动, 该圆的直径为 $2e$ 。同时, 透镜的球面也在实线和虚线所示的两个极限位置之间作圆周摆动。设球面的曲率半径为 R , 透镜绕几何中心线旋转一周时入射角的变化量 δi 和反射角的变化量 $\delta \theta$ 可以表示为

$$\delta i = \frac{2e}{R} \quad (1)$$

$$\delta \theta = 2\delta i = \frac{4e}{R} \quad (2)$$

在近轴条件下, 球面反射镜虚像的跳动量可以表示为

$$QQ' = \frac{R}{2} * \delta \theta = 2e \quad (3)$$

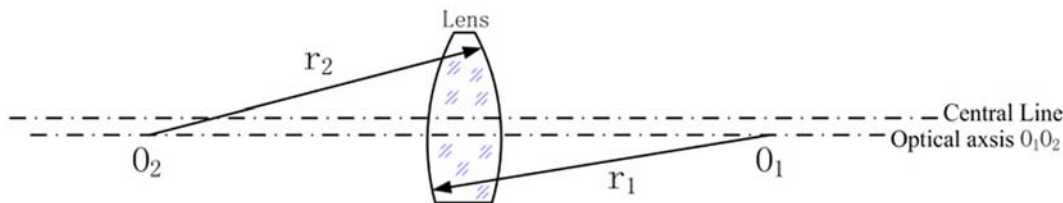


图 1 透镜偏心

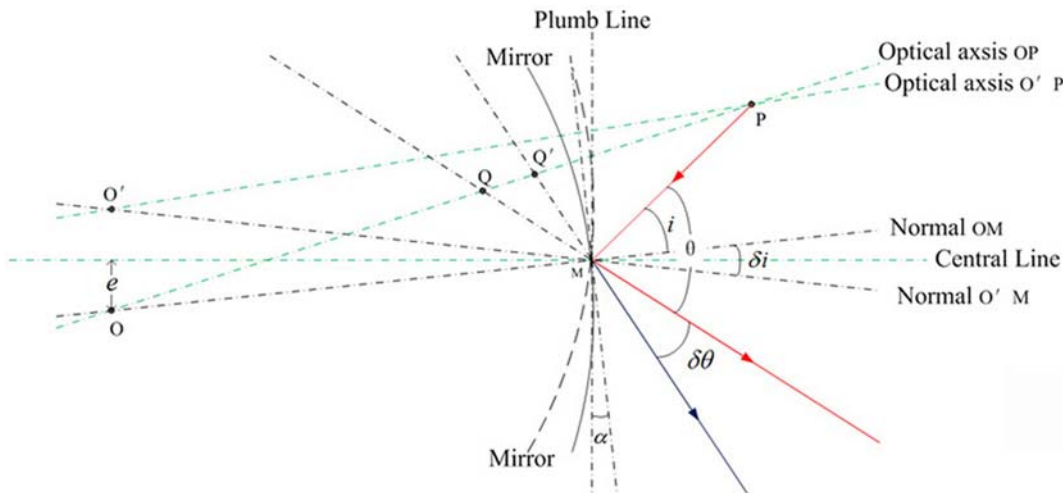


图 2 反射像的测量原理

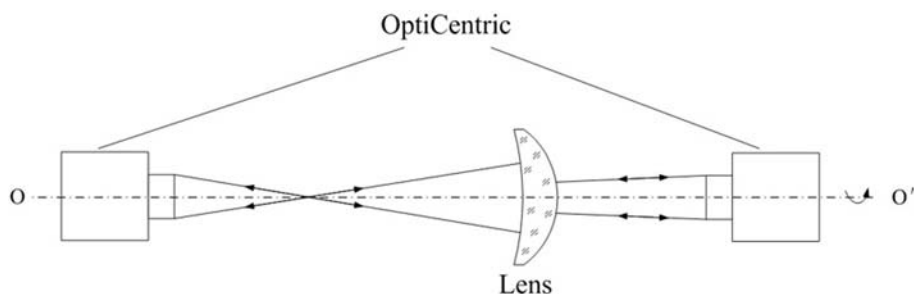


图3 双光路定心原理

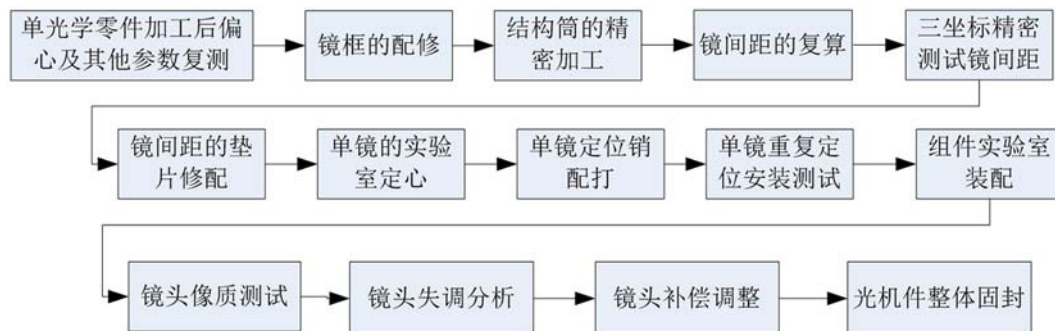


图4 装调流程

1.3 双光路定心原理

现有的定心测量仪器主要是针对可见光镜头材料的。可以用一个定心仪先后看透镜前后两个镜面的球心像，然后通过调整透镜的平移和倾斜情况使透镜光轴与几何中心线重合。红外透镜的材料大多为硅、锗等不透可见光材料，因此只能用图3所示的双光路分别对两个镜面进行反射像定心测试。

2 新的红外透射式镜头装调方法

根据目前的技术水平，再结合现有的仪器设备，我们制定了高精度红外透射式镜头的装配流程，如图4所示。

2.1 光机结构件的特殊设计

2.1.1 镜框设计

基于双光路定心原理对红外镜头进行定心测量。为了适应调整要求，我们对镜框进行了特殊设计，如图5所示。先通过4个螺纹孔对透镜组件进行固定，然后通过2个销钉孔对透镜组件进行重复定位。

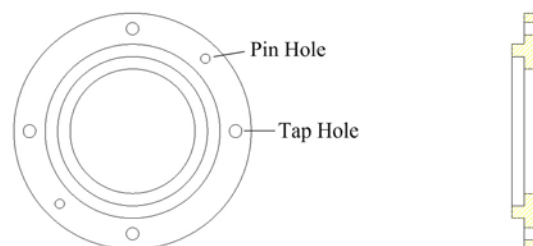


图5 镜框

2.1.2 镜筒设计

图6所示为镜筒的设计情况。为了便于透镜组件的安装，将整个镜筒设计成前、后镜筒两部分。除最后一组直接安装外，其他5个透镜组件均通过法兰与镜筒连接。镜筒内侧，即与透镜及透镜组件的配合面均布4个螺纹孔，用来调整透镜和透镜组件的径向平移。镜间距通过修磨调节垫片来控制。

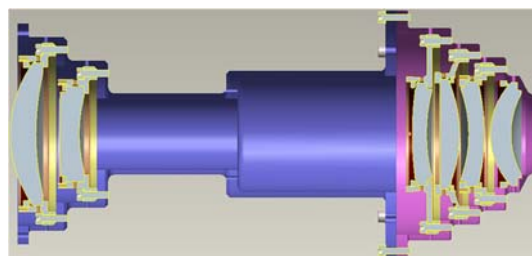


图6 镜筒

2.2 系统装调

2.2.1 计算机辅助装调

用干涉仪测量各个透镜的面形, 用干涉仪配合光栅尺测量各个透镜的曲率半径, 用三坐标测量机测量各个透镜的中心厚度。将实测的透镜面形、曲率半径和中心厚度输入到光学系统优化设计软件中, 然后重新对系统的镜间距进行优化。

2.2.2 第一透镜组件的定心

如图 7 所示, 将镜筒固定放置在转台上, 然后用 2 个千分表分别检测镜筒的外圆和端面基准, 调整状态的倾斜和平移, 直至在转台旋转一

周的过程中千分表的跳动量小于 0.02 mm 为止。

在 OptiCentric 定心仪的上、下光路中分别找到第一透镜上、下两个镜面的反射球心像, 然后转动转台并测量两个球心像的晃动量。通过镜筒的 4 个螺纹孔对第一透镜组件进行径向调整, 然后在镜框和镜筒配合面之间通过添加垫片对透镜组件进行倾斜调整, 直至透镜组件上下两个面的球心像晃动量均小于 5"。拧紧第一透镜组件与镜筒的连接螺钉。在拧紧过程中, 保持两个球心像不动, 通过拍打镜框与镜筒之间的销钉对第一透镜进行定位^[4-8]。

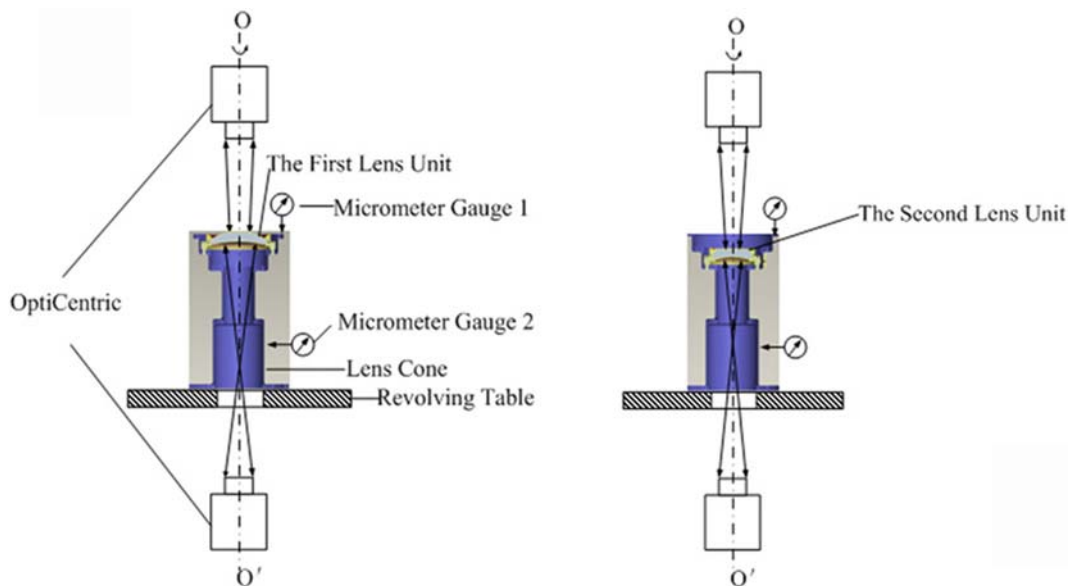


图 7 透镜组件装配

2.2.3 第二透镜组件的定心

在第一透镜组件完成定心装配之后, 松开镜框与镜筒之间的螺钉, 将第一透镜组件取出, 并装入第二透镜组件调节垫片及第二透镜组件。第二透镜组件以及后镜筒的各个透镜组件采用上述相同的流程, 最后依次将各透镜组件装回镜筒, 从而完成前后镜筒的装调工作。

2.2.4 前后镜筒对接

在前后镜筒的各个透镜组件分别完成装调之后, 安装前后镜筒间的定位销钉, 锁紧前后螺钉, 并用专用工装将其安装到定心设备的转台上, 如图 8 所示。用千分表测试镜筒的外圆基准

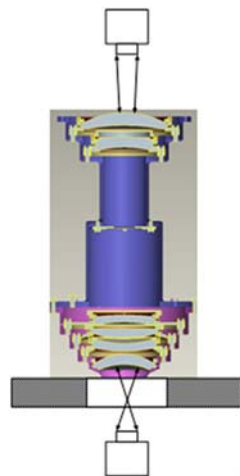


图 8 前后镜筒对接

面径跳和端面基准跳动, 通过调整转台使镜筒的外圆径跳和端面跳动都在 0.02 mm 以下。通过定心仪的上下光路分别找到第一透镜上表面和第六透镜下表面的球心像, 然后测量其晃动量。

2.3 测量误差的分析与合成

2.3.1 千分表的测量误差 σ_1

在打销钉时, 转台和镜筒的位置都会晃动。因此, 在对每个透镜组件进行定心之前都需要对镜筒的端面和外圆进行重新测量。镜筒的外径为 100 mm。由于千分表的测量精度为 0.001 mm, 镜头会产生约为 2'' 的倾斜。

2.3.2 转台的测量误差 σ_2

当转台转动一周时, 轴系的晃动量约为 1''。

2.3.3 定心仪的测量误差 σ_3

定心仪标称的测量误差为 0.2''。考虑到环境影响, 实际的测量误差约为 1''。

2.3.4 透镜组件的调整误差 σ_4

此误差与光学系统的公差要求有关。根据 2.2 节, 透镜组件的调整误差约为 5''。

2.3.5 销钉的重复定位误差 σ_5

由于透镜组件完成定心测量后必须取出, 再次安装时需要通过销钉进行定位, 由此引起

的透镜倾斜误差约为 3''。

2.3.6 误差合成

镜头由 6 个透镜组件组成, 因此需要用千分表对镜头的端面和外圆进行 6 次测量。其中有 5 个透镜组件需要重复安装定位, 并且还需要一次对接, 所以透镜组件的最大测量误差为

$$\sigma = \sqrt{7\sigma_1^2 + 7\sigma_2^2 + 7\sigma_3^2 + 6\sigma_4^2 + 5\sigma_5^2} \approx 18'' \quad (4)$$

2.3.7 小结

红外镜头的装配公差一般比可见光镜头的松, 大都在 30'' ~ 1' 之间。采用的装配流程需要满足红外镜头的装配公差要求。

3 实验结果及结论

在完成红外镜头装配后对系统的传递函数和焦距进行了测试。图 9 为现场测试图。表 1 列出了测试结果。可以看出, 镜头的传递函数接近设计值, 焦距与设计值相差 1.3 mm。由此可见, 用 OptiCentric 双光路定心仪器对红外镜头进行定心装调的方法是合理、可行的。



图 9 系统的传递函数及焦距测试

表 1 各个视场角的传递函数测试结果 (17 lp/mm)

		视场角				
		(-2.7°, 0°)	(-1°, 0°)	(0°, 0°)	(1°, 0°)	(2.7°, 0°)
MTF	设计值	0.83	0.84	0.84	0.84	0.83
	测试值	0.78	0.79	0.81	0.8	0.79
焦距	设计值	100 mm				
	测试值	101.3 mm				

(下转第 43 页)