

文章编号: 1672-8785(2012)10-0007-04

空间遥感器非球面光学系统补偿器 调整装置设计

袁 涛 何 欣

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 根据空间遥感器非球面镜检测及光学系统装校对补偿器的调整要求, 设计了一种 V 型支撑调整装置。阐述了该装置的组成、自由度调整功能以及部分设计原则。分析结果表明, 该装置状态稳定, 调整精度高, 位移调整精度为 $1.39 \mu\text{m}/\text{deg}$, 俯仰调整精度为 $0.0073 \sim 0.0232 \mu\text{rad}/\text{deg}$ 。用该装置对某离轴三反相机的光学元件和光学系统进行了检测和装调, 取得了良好的效果。

关键词: 空间遥感器; 非球面镜; 补偿器; 调整装置

中图分类号: TH703 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.10.002

Design of Compensator Adjustment Device for Aspheric Optical System of Space Remote Sensor

YUAN Tao, HE Xin

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: According to the adjustment requirements for compensators proposed in aspheric mirror inspection and optical system assembling, a V-shaped supporting and adjusting device is designed. The components, freedom adjusting function and partial design principles of the device are presented. The analysis result shows that the device is stable and has an adequate adjusting precision. Its displacement adjusting precision and angle pitch adjusting precision are $1.39 \mu\text{m}/\text{deg}$ and $0.0073 \sim 0.0232 \mu\text{rad}/\text{deg}$ respectively. The device is used to inspect and assemble the optical components and optical system of an off-axis three-mirror space remote sensor and good effectiveness is obtained.

Key words: space remote sensor; aspheric mirror; compensator; adjusting device

0 引言

为了适应航天事业的发展 and 满足天文学研究等领域的需要, 大口径、大视场光学系统已经得到了发展和应用^[1-2]。其中, 大口径、大视场离轴非球面光学系统具有无中心遮拦、可改善像质以及可简化系统结构等优势。随着光学设

计技术和先进光学制造技术的不断发展, 非球面光学元件设计、加工和检测技术的突破使得非球面光学系统的应用范围变得越来越广泛。

补偿检测技术是一种实用的非球面检测方法^[3]。此种方法可以用小的补偿器检测大口径的非球面反射镜, 具有检测精度高和速度快等特点, 已被越来越多地用于大口径非球面镜的

收稿日期: 2012-07-23

作者简介: 袁涛 (1980-), 男, 安徽阜阳人, 副研究员, 博士, 主要从事空间光学遥感器的结构设计和动力学减振研究。E-mail: yt.icepoint@yahoo.com.cn

检测^[4]。该技术成功地解决了过去需要依靠同等直径以上的平面镜才能完成抛物面主镜检验的难题。

在非球面反射镜检测和离轴非球面光学系统装调中,补偿器必须经过空间位置调整才能在光学系统中发挥作用,因此就需要使用补偿器调整装置^[5-6]。本文说明补偿器调整装置的设计要求,然后阐述补偿器调整装置的设计方法,并分析调整装置的位移和俯仰调整精度,最后结合工程实际应用给出结论。

1 设计要求

图 1 所示为非球面镜光学检测的光路及系

统组成。

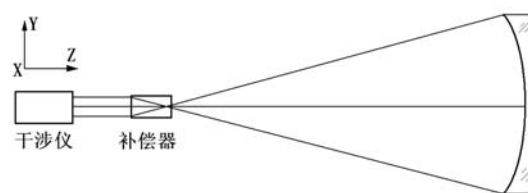


图 1 非球面镜光学检测的示意图

在该光学系统中,补偿器的调整要求是调节补偿器的高度 Y_M 、与干涉仪的相对位置 X_M 、俯仰角 X_R 以及摆转角 Y_R 。

图 2 所示为离轴非球面光学系统装调的光路及系统组成。

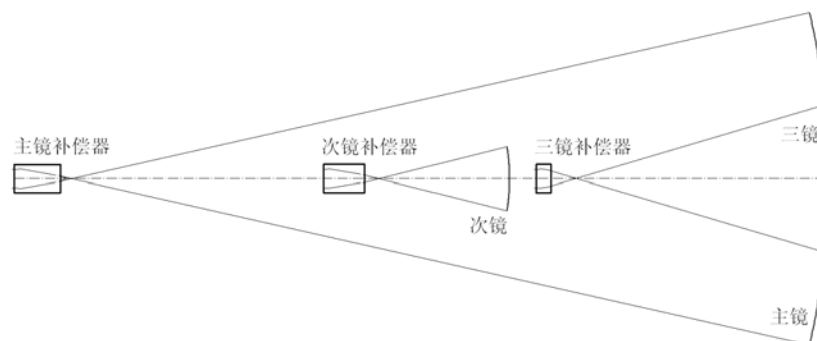


图 2 离轴非球面光学系统装调的示意图

在该光学系统中,不但要求具有上述单个补偿器的调整自由度,而且要求多个补偿器之间保持同光轴及适当的间隔。

综上所述,该装置需要满足以下要求: X_M 、 Y_M 、 Z_M 位移以及 X_R 、 Y_R 转动,共 5 个自由度。

另外,补偿器调整装置的位移调整精度要求较高,须达到 $2.5 \mu\text{m}/\text{deg}$;俯仰精度须达到 0.05

$\mu\text{rad}/\text{deg}$;而且应具有较高的稳定性,无低频固有振动频率。

2 调整装置的设计

2.1 结构组成

光学系统装调的补偿器调整装置由大理石导轨、主镜补偿器调整架、次镜补偿器调整架和三镜补偿器调整架等组成,如图 3 所示。

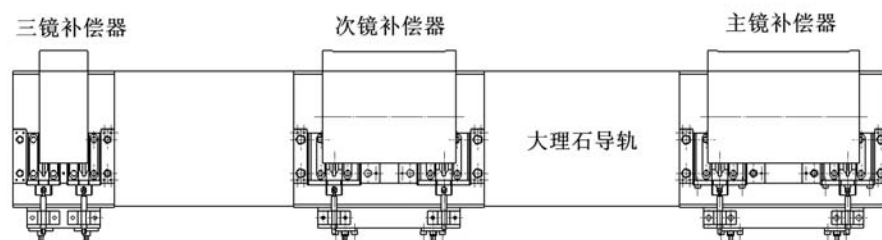


图 3 补偿器调整装置的系统构成

各个补偿器调整架的结构相类似, 均由定位板、方箱、挡板、支撑块和滑块等组成, 如图 4 所示。

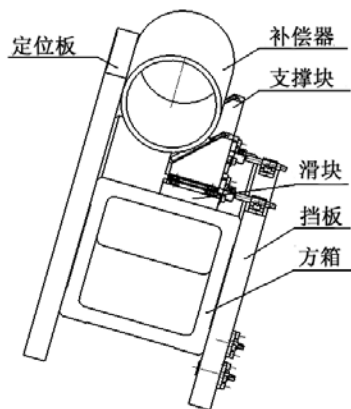


图 4 补偿器调整架的结构组成

2.2 补偿器定位方法

若要使补偿器在正确的位置上实现其功能, 需要对其进行粗定位和精密调整。

2.2.1 粗定位

按照理论值在装调平台上摆放干涉仪、大理石导轨、补偿器和调整装置等, 即可实现补偿器的粗定位。

2.2.2 精密调整

在完成粗定位后, 补偿器的精密调整便可以通过调整装置来实现。

2.3 材料选择

大理石和铸铁都具有很好的稳定性。大理石易于高精度定制加工, 可提供精确测量和定位基准; 铸铁具有良好的阻尼特性, 可吸收振动, 降低振动对结构的影响。

45 钢是一种常用的结构材料, 具有良好的综合机械性能。H62 具有良好的耐磨特性及自润滑性能。配备的 H62 螺套和 45 钢螺杆, 可实现高精度啮合。

表 1 列出了补偿器调整装置所采用的部分材料及其特性。

2.4 设计方法

补偿器调整装置是采用以下方法设计的。

表 1 材料属性表

	ρ (g/cm ³)	E (GPa)	σ_b (MPa)
45	7.81	200	700
H62	8.43	100	600
HT150	7.30	130	150
Marble	2.7	55	166

2.4.1 共享基准设计

如图 3 所示, 主镜补偿器调整架、次镜补偿器调整架和三镜补偿器调整架共用一个大理石导轨, 而且基准都在一个平面上。这样可以保证各补偿器的光轴在 X 方向上的位置保持一致。

2.4.2 作用力指向设计

如图 5 所示, 通过球面及其切面传递的力始终垂直于切面, 力的指向稳定。该设计可以在出现滑块及对其支撑块进行调节时避免发生偏置和卡滞等问题, 使调节进给保持顺畅。

2.4.3 重力预紧设计

如图 6 所示, 在重力 mg 、定位板对补偿器的法向支撑力 R_b 以及支撑块对补偿器的法向支撑力 R_s 的作用下, 补偿器获得了平衡。根据牛顿定律推算, 此时支撑块已受到补偿器的与 R_s

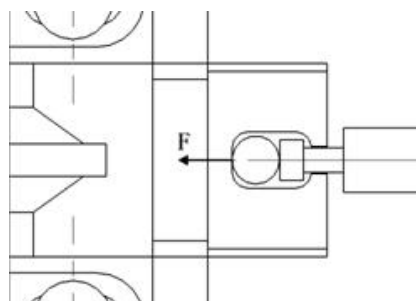


图 5 滑块的受力方向

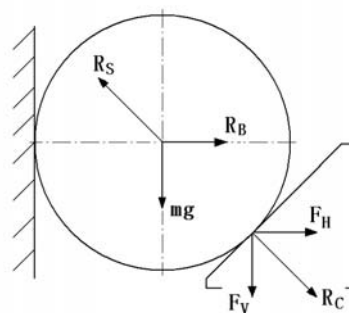


图 6 支撑块的受力分析

大小相等的力 R_c 的作用, R_c 在水平方向上的分量 F_H 通过力的传递作用在了螺杆和支座之间, 因而可消除配合间隙。

2.4.4 力平衡设计

如图 7 所示, 通过对方箱两侧的定位板和挡板等的尺寸 p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 进行参数化设计, 可以获得重力平衡, 使补偿器调整架和补偿器组合体的质心位置处于中心位置。该设计可以改善由光学装调平台低频振动所导致的结构不稳定性。

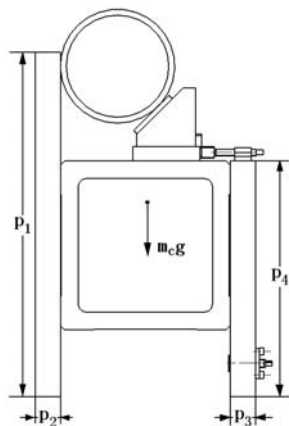


图 7 重力平衡的示意图

3 调整精度分析

离轴三反光学系统共有三个补偿器, 均需要进行高度 Y_M 和俯仰角 X_R 调整。三个补偿器的调整进给机构是一致的, 因此其位移调整精度也是一样的。因为三个补偿器的轴向长度不同, 所以其俯仰的调整精度也不同。

3.1 位移调整精度

如图 8 所示, 支撑块的楔角为 45° , 因此有以下关系式:

$$\delta_o = \delta_I \quad (1)$$

式中, δ_I 为调节螺杆的进给量, δ_o 为补偿器沿 Y 方向的位移调整量。

支撑块的调整采用单头细牙螺杆, 其导程为 0.5 mm , 因此补偿器的位移调整精度为 $1.39 \mu\text{m}/\text{deg}$ 。

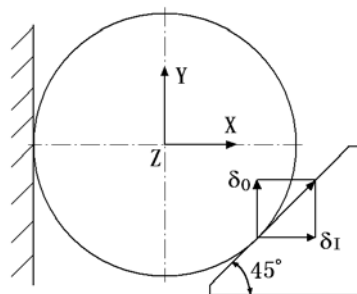


图 8 补偿器的位移调整分析

3.2 俯仰调整精度

由位移调整精度推知, 主镜补偿器的俯仰角调整精度为 $0.0073 \mu\text{rad}/\text{deg}$ 。类似地, 次镜补偿器的俯仰角调整精度为 $0.0085 \mu\text{rad}/\text{deg}$; 三镜补偿器的俯仰角调整精度为 $0.0232 \mu\text{rad}/\text{deg}$ 。

4 实际应用及结论

该补偿器调整装置的位移调整精度优于 $2.5 \mu\text{m}/\text{deg}$, 俯仰角调整精度优于 $0.05 \mu\text{rad}/\text{deg}$, 符合使用要求。另外, 通过适当的设计可以使其具有较高的稳定性和灵敏度。

用该补偿器调整装置顺利地完成了某离轴三反相机光学系统的装调任务, 达到了预期效果, 说明该装置可以满足装调要求, 并具有工程应用价值。

参考文献

- [1] 薛栋林. 基于光学自由曲面的离轴三反光学系统[J]. 光学精密工程, 2011, 19(12): 2813-2820.
- [2] 赵文才. 改进的离轴三反光学系统的设计[J]. 光学精密工程, 2011, 19(12): 2837-2843.
- [3] 张海洪. 凸非球面的检验方法[J]. 红外, 2002, 23(12): 23-26.
- [4] 陈旭. Offner 补偿器的结构设计及装调分析[J]. 光学精密工程, 2010, 18(1): 88-93.
- [5] 陈钦芳. 离轴非球面反射镜补偿检验的计算机辅助装调技术研究[J]. 光子学报, 2010, 39(12): 2220-2223.
- [6] 刘磊. 大口径反射光学系统装调装置设计研究[J]. 光学精密工程, 2005, 13(Z1): 134-137.