

# 强激光与红外传感器光轴平行性测量仪器的研制

叶露<sup>1</sup>, 武晓阳<sup>2</sup>, 聂真威<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033 ;

2. 中国航天科工集团二院二十五所, 北京 100854 )

**摘要** 研制了一种可在野外使用的光轴平行性测量仪器, 该仪器利用热靶技术进行  $1.06\ \mu\text{m}$  激光谱段到  $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 、 $8\sim 12\ \mu\text{m}$  红外谱段的转换, 实现了对光电跟踪测量设备 25 MW 强激光发射器光轴与红外传感器光轴间的平行性误差测量。仪器的设计主体采用完全对称的结构和积木式的组装方式, 保证了仪器在野外恶劣环境下保持测量精度不变。通过巧妙地利用电磁开关控制, 实现了仪器靶面的远距离控制转换。装调工艺和检测措施确保了仪器的测量精度, 并通过各种环境试验验证了仪器的可靠性。对仪器精度和环境适应性测试表明, 该仪器测量精度达到  $10''$ , 并可在  $-30\ ^\circ\text{C}\sim +60\ ^\circ\text{C}$  的条件下, 保持精度  $\leq 10''$ 。

**关键词** 强激光发射器; 红外传感器; 光轴平行性; 测量仪器

中图分类号: TH741.14 文献标识码: A

## Development of measuring instrument of optical-axis parallelism for strong laser and infrared sensor

YE Lu<sup>1</sup>, WU Xiao-yang<sup>2</sup>, NIE Zhen-wei<sup>1</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China ;

2. Institute No. 25 of the Second Academy, China Aerospace Science and Industry Corporation, Beijing 100854, China )

**Abstract** : A measuring instrument for optical axis parallelism was developed. By transferring laser region of  $1.06\ \mu\text{m}$  to infrared region of  $3\sim 5\ \mu\text{m}$  and  $8\sim 12\ \mu\text{m}$  with a heat target technique, the parallel error of optical-axis between strong laser emitter and infrared sensor of a photoelectric tracking equipment was measured successfully. The structure of measuring instrument was designed as absolutely symmetrical and toy brick assembly shapes to maintain the measuring precision under the abominable conditions. Then, an ingenious electromagnetic switch was used to control and convert target surface for long distance and new assembly techniques and several check steps were taken to improve the measuring precision. Finally various environment tests were carried out to validate the reliability of measuring instrument. Experiment results show that the accuracy of the measuring instrument can reach up to  $10''$ , also can maintain its accuracy  $\leq 10''$  under temper-

ature of  $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Key words** : strong laser emitter ;infrared sensor ;optical-axis parallelism ;measuring instrument

## 1 引言

目前在大多数光电跟踪测量设备上,通常同时配有可见光、中波红外、长波红外及激光测距等多个光学系统,目的是使光电跟踪测量设备具备多谱段的探测能力和更强大的功能。

完成对目标的探测和测量任务,关键的条件之一是使各类成像光学系统与激光测距系统的光轴严格平行,保持相同的指向,从而保证光电跟踪测量设备的各系统间测量的一致性与准确性。然而,用于外场的光电跟踪测量设备常因使用环境恶劣,各传感器光轴平行性难以保证而影响光电跟踪测量设备总体性能的发挥,因此研制一种可在野外使用的光轴平行性测量仪器极其重要。

由于激光测距机和可见光、红外传感器在能量和光谱谱段方面存在着巨大差异,因此这种不同谱段光轴之间平行性检测仪器的研制一直是光电设备检测领域的难题之一。长春光学精密机械与物理研究所研制成功一种可测量 25 MW 强激光器发射光轴与红外传感器光轴平行性的仪器,该仪器测量精度达到  $10''$ ,并可在  $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +60\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下保持精度  $\leq 10''$ 。此检测仪器不仅能在光电跟踪测量设备的生产装配过程中使用,而且能在外场调试和设备使用期间,随时提供平行性检测能力,如今这种仪器已成功用于外场测量。

## 2 测量方法与仪器结构

### 2.1 工作原理

强激光与红外传感器光轴平行性测量仪器的光路如图 1 所示。仪器从功能上可分为 4 个部分。第一部分为激光能量衰减器,由减光片和半反半透镜组成,能对激光的能量进行衰减;第二部分为准直光路系统,用于激光准直光束聚焦;第三部分为热靶转换系统,由光源、热靶及热靶移动机构组成,热靶位于卡塞格林准直光路系统的焦面上;第四部分为光束折转系统,它由半反半透镜及

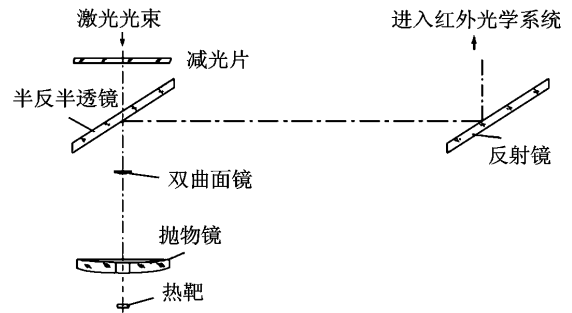


图 1 仪器光路图

Fig. 1 Light path of instrument

3 块平面反射镜组成,几个反射镜均与准直光路系统光轴成  $45^{\circ}$  角安装,且镜面之间相互平行。

仪器的测量过程是:被测设备激光测距机发出的激光光束经减光片和半反半透镜进入准直光路系统,在准直光路系统的焦面上,放置一块热靶,激光束聚焦在热靶上使热靶产生热量,形成一个热斑,这个热斑又作为红外目标源,再经准直光路系统及平面反射镜的反射进入被测仪器的红外光学系统,从被测仪器红外光学系统的监视器上可观察到这个热斑的像,热斑像的位置偏离视场中心的量即为激光测距机发射光轴与红外传感器光轴的平行性误差。这种测量方法的关键是首先要通过热靶将激光谱段 ( $1.06\text{ }\mu\text{m}$ ) 转换成可被中波和长波红外传感器所接收的红外谱段 ( $3 \sim 14\text{ }\mu\text{m}$ ) 然后再通过折转光路系统,将经过谱段转换产生的红外谱段光束引入到被测设备的红外光学系统,从而测量出被测设备的激光发射系统光轴与红外传感器光轴之间的平行性。

此外,在热靶上有一个星点孔,当光源照亮星点孔时,能够形成红外与可见光谱段的模拟目标,此时可测量红外与可见光学系统光轴的平行性。

### 2.2 仪器总体结构

若将所有光学元件都固定在同一支座上,必然会使仪器的外形尺寸过大,同时也不便于装调与检测,因此设计仪器时考虑将仪器分解为积木式,各部分便于连接。仪器的总体结构最终分

解成3部分,分别为通光筒、反射式平行光管、红外分光筒。通光筒作为主体其上安装有减光片、半反半透镜和平面反射镜,半反半透镜与平面反射镜的两个反射面平行;反射式平行光管采用卡塞格林准直光路系统,热靶及热靶移动机构固定在光管焦面上;红外分光筒内也固定有两块平面反射镜,这两块平面反射镜的反射面也相互平行,它将通光筒的出射光分成两束,分别进入中波红外光学系统和长波红外光学系统;反射式平行光管与红外分光筒作为两个独立的部件,可以很方便地与通光筒连接,便于使用和存放。图2为仪器的外形图。



图2 仪器外形图

Fig. 2 Instrument figure diagram

### 2.3 热靶移动机构

热靶是仪器的关键部件,热靶移动机构的功能是实现模拟目标源(星点)与热靶之间的位置变换。当仪器需要提供模拟目标时,星点位于准直光管的光轴上,进行激光平行性测试时,星点移出准直光管的视场,而热靶位于准直光管焦面上。因为要满足仪器野外使用的要求,这种转换应能够实现远距离的控制,本文设计的机构见图3。

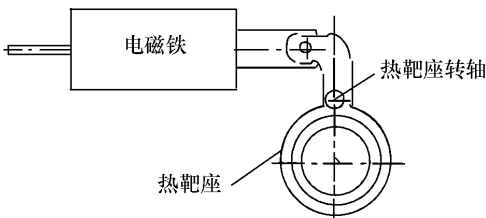


图3 热靶移动机构

Fig. 3 Hot target movement framework

热靶座通过转轴固定在光管焦面处,并与电磁开关相连接,控制电磁开关的吸合即可带动热靶座转动,从而实现模拟目标源(星点)与热靶之间的位置变换。这种结构简单紧凑,又可实现远距离控制,使仪器的功能更加完善。

## 3 保证精度的措施

保证仪器的精度就是保证激光光束在谱段转换和折转过程中保持原指向不变。激光束通过减光片和半反半透镜,经热靶谱段转换后要经过4次反射进入被测的红外光学系统,若保持其方向不变,需使得两个平面镜平板无楔角及反射镜面相互平行。

### 3.1 平面镜楔角对光束指向的影响

若平面镜楔角为 $\delta$ ,入射光束与出射光束的夹角为 $\alpha$ ,两者之间的关系为 $\alpha = (n - 1)\delta$ ,其中 $n$ 为光学玻璃的折射率。由公式可知,要保证 $\alpha$ 需控制 $\delta$ ,本仪器设计中规定减光片和半反半透镜平板平面平行度为 $5''$ ,引起的激光入射光束与出射光束的夹角约为 $2.5''$ 。

### 3.2 反射镜面的平行性对光束指向的影响

若两块反射镜反射面夹角为 $\delta$ ,光束通过两个反射面反射后出射光束改变为角 $\alpha$ ,两者关系为 $\alpha = 2\delta$ ,本仪器中通光筒及红外分光筒共使用了4块反射镜,其中每两块相互平行,装调时应分别控制通光筒内两个反射面及红外分光筒内两个反射面的夹角 $\delta$ ,以便保证仪器最终的精度要求。

### 3.3 保证稳定性的措施

从仪器的工作原理图可以看出,如果固定反射镜的通光筒变形,就会引起两个反射镜面平行性的变化,从而影响仪器的测量精度。由于野外使用环境恶劣,尤其是温度的变化使材料伸缩会使仪器的关键部件发生变形,由此带来较大的测量影响。同时,野外使用的仪器需要便携,且重量和体积都不能过大,不宜采用低膨胀系数的材料。为解决这个问题,仪器在结构设计上采用自补偿方式来调整由于温度变化引起的变形。本仪器中使用的4块反射镜分别固定在通光筒和红外分光筒上,两个光筒都设计成平行四边形,其结构完全对称,外壁、加强筋等均匀等厚,这种结构在温度

变化引起材料伸缩时,其变化的比例是一致的,不会改变两个反射镜面的平行性,因此这种结构有较强的温度适应性。

## 4 精度检测

在强激光与红外传感器光轴平行性测量仪器装调完成后,需进行精度检测,检测装置及布局见图 4。

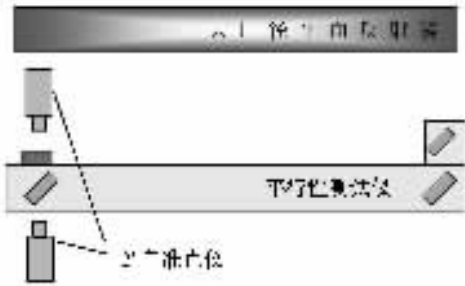


图 4 检测装置及布局示意图

Fig. 4 Check and test apparatus and their layout

检测分透射光路和反射光路两个部分,透射光路是检测光束通过减光片和半反半透镜后光束的偏转角,反射光路是检测光束经过 4 块反射镜反射后的偏转角,两者的合成即为最终的检测精度。透射光路检测时,首先将两个自准直平行光管互瞄使光轴平行,再将被测仪器放入光路,读取自准直平行光管像的偏移角度  $\alpha_1$ 、 $\beta_1$ ;反射光路检测时,将自准直平行光管对准大口径平面反射镜并自准成像,再将被测仪器放入光路,自准直平行光管发出的光束经 4 块反射镜反射,再经大口径平面反射镜后按原路返回,读取自准直平行光管像的偏移角度  $\alpha_2$ 、 $\beta_2$ ;仪器最终的测量精度为水平方向  $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ ,高低方向  $\beta = \beta_1 + \beta_2$ 。

## 5 环境适应性检测

仪器装调完毕,精度检测合格后,需对其进行环境适应性的检测。检测的项目为低温存储、高温工作及振动试验,试验条件见表 1。

表 1 环境试验项目及试验条件

Tab. 1 Environment test items and conditions

| 序号 | 试验项目 | 试验条件   |
|----|------|--|
| 1  | 低温存储 | -40 °C 4 h   |
| 2  | 高温工作 | +60 °C 4 h   |
| 3  | 振动   | 随机振动 X、Y、Z 轴 3 个方向<br>加速度 1.04g <sup>2</sup><br>10 Hz 0.015g <sup>2</sup> /Hz ,<br>40 Hz 0.015g <sup>2</sup> /Hz ,<br>500 Hz 0.015g <sup>2</sup> /Hz |

低温存储试验后,受检测环境条件的限制,无法实现仪器在低温状态下的精度检测,因而直接进行高温工作试验,试验结束后保持仪器在 +60 °C 的状态进行精度检测,其结果为仪器仍保持 < 10" 的精度,仪器从温度 +60 °C 降至室温的过程中,仪器精度保持不变。温度试验结束后,进行振动试验,试验后进行精度检测,结果仍未发生变化,从而证明仪器具有很好的环境适应性,仪器的结构设计及装调工艺都是合理的,能够满足野外作业的环境条件要求,具备良好的作业性能。

## 6 结 论

强激光与红外传感器光轴平行性的测试在我国光电设备检测领域还是一个空白,本仪器的研制成功填补了这一领域的空白,通过这种高精度检测仪器的使用,可提高光电测控设备的总体性能,从而使光电测控设备发挥其更强大的功能。

本仪器通过采用热靶技术对激光谱段进行转换,充分利用激光发射器的有效光束孔径,避免了由激光发散角所带来的测量误差,同时通过合理的结构和装调措施,使激光束在折转传输过程中保持原指向,从而使仪器达到很高的测量精度,通过焦距匹配可满足红外传感器一个像素的精度要求。同时,模拟目标源可测量可见光与红外光学系统的光轴平行性,因此该仪器可实现强激光、红外、可见三光轴平行性的测试。

## 参考文献：

- [ 1 ] 叶露,沈湘衡,刘则洵. 强激光与红外光学系统光轴平行性检测方法的探讨[ J ]. 应用光学 2007 28( 6 ) :760-763.  
YE L ,SHEN X H ,LIU Z X. Boresight between laser rangefinder and IR sensor[ J ]. *J. Appl. Opt.* 2007 28( 6 ) :760-763.( in Chinese )
- [ 2 ] 唐圣彪,屠大维,程胜. 激光同步扫描三角测距成像系统设计[ J ]. 光电子·激光 2002 ,13( 1 ) 56-58.  
TANG SH B ,TU D W ,CHENG SH. Design of laser triangulation range imaging system based on synchronized scanners [ J ]. *J. Optoelectron. · Laser* 2002 ,13( 1 ) 56-58.( in Chinese )
- [ 3 ] 何照才,胡保安. 光电测量[ M ]. 北京:国防工业出版社 2002.  
HE ZH C ,HU B A. *Optical Measurement System*[ M ]. Beijing :National Defence Industry Press 2002.( in Chinese )
- [ 4 ] 詹启海,常本康,富容国. 多光谱光学系统光轴平行性组合测试装置[ J ]. 应用光学 2005 26( 5 ) 4-6.  
ZHAN Q H ,CHANG B K ,FU R G. Optical axes boresight instrument for multispectral optical system[ J ]. *J. Appl. Opt.* , 2005 26( 5 ) 4-6.( in Chinese )

作者简介:叶露(1965 - ),女,山东宁津人,副研究员,主要从事光电装备性能检测及检测方法的研究工作。E-mail : y217@yahoo. com. cn