

文章编号:1007-1180(2011)12-0032-05

多光谱多光轴设备光轴平行性测量装置研制

叶 露¹, 赵建川²

(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. 海军驻长春地区军代表室, 吉林 长春 130033)

摘 要: 多光谱多光轴设备光轴平行性校准装置用于多传感器小型光电测量设备中各探测单元探测光轴平行性的标定和测量, 同时具有提供无穷远目标的功能。本文所研制的多光谱多光轴设备校准装置采用卡塞格林反射式平行光管结构, 有效通光口径 $\varphi 350$ mm, 可对可见光系统、中波红外系统、长波红外系统及激光测距系统进行光轴平行性的测量, 测量精度优于 $5''$ 。

关键词: 多光谱多光轴系统; 光轴平行性; 测量仪器

中图分类号: TB92 文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112812.0032

Development of Measuring Optical-axis Parallelism Instrument for Multispectral and Multi Axial Facility

YE Lu¹, ZHAO Jian-chun²

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

Changchun 130033, China;

2. Naval Military Representative Office in Changchun, Changchun 130033, China)

Abstract: Parallelism calibration apparatuses equipped with multispectral and multi axial system are extensively used for the calibration and measurement of parallelism among detection units in the small multi-sensor photoelectric measurement equipment, meanwhile provide infinite targets for detection units. A sort of multispectral and multi axial calibration apparatus with Cassegrain reflective collimator are researched, its effective aperture is $\varphi 350$ mm, may measure the optical-axis parallelism among visible light system, middle infrared system, long wave infrared system and laser distance measuring system, measuring accuracy is better than $5''$.

Keywords: multispectral and multi axial system; optical-axis parallelism; calibration apparatus

1 概 述

目前在航空航天领域使用的小型光电测量设备都同时具有可见光、红外和激光测距等多个光学传感器,这些光电传感器间光轴平行性的标定与测量是小型光电测量设备装调与检测的重要环节。标定与测量多谱段、多光轴光电传感器间的光轴平行性需建立能够被这些光电传感器同时响应的测量基准,多光谱多光轴设备校准装置即为该使用目的所研制的测量仪器。以某型号光电测量仪器为例,该仪器配备有1个可见光传感器、2个红外传感器和1台激光测距机,布局分散但相距较近,如图1所示。对这类小型光电测量设备,研制作为测量基准的多光谱多光轴设备校准装置可采用一体化包容概念的紧凑式结构设计,该结构具有转折光路少、平行性好、精度高的优点。一体化包容概念就是采用大口径的平行光管,平行光管的口径能够包容小型光电测量设备的每个传感器。平行光管出射光束的准直性要满足测量精度的要求,建立光学测量的条件和基准,通过谱段转换,形成不同谱段传感器各自的可探测目标,给出各个传感器光轴与光学目标基准的偏差,通过调整传感器光轴指向,达到使各个传感器光轴相互平行的目的,保证红外成像器、可见光成像系统与激光测距机等各类不同谱段传感器光轴的平行性。

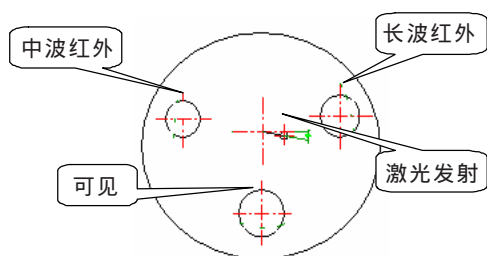


图1 某型号光电测量仪器传感器分布示意图

要实现对多光谱多光轴平行性的校准,测量装置应具有以下功能:

(1) 能对光电设备不同谱段传感器的光轴进行平行性校准;

(2) 可同时作为红外、可见波段模拟目标源;

(3) 校准装置应有可调基座,能够完成轴线水平与俯仰两个方向的调整功能;

(4) 校准装置应具有较好的密封性能和环境适应性,能够适宜各种环境下的工作与校准。

2 多光谱多光轴设备校准装置技术要求

根据多光谱多光轴设备校准装置使用功能要求,规定其技术指标如下:

(1) 激光入射与出射平行度: $\leq 5''$;

(2) 出射平行光束平行度: $\leq 5''$;

(3) 可调基座俯仰方向精密调整范围: $> \pm 3^\circ$;

(4) 可调基座方位方向精密调整范围: $> \pm 3^\circ$;

(5) 可调基座高低方向精密调整范围: $> 100\text{ mm}$;

(6) 检验装置重量: $\leq 35\text{ kg}$;

(7) 可调基座重量: $\leq 25\text{ kg}$ 。

3 校准装置光学结构设计

多光谱多光轴设备校准装置采用卡塞格林系统^[1],光学结构见图2,由抛物镜和双曲面镜组成,激光能量衰减片置于激光发射器前方,靶面为星点孔和热效应靶,可按测试需求方便地转换。光学系统参数:有效孔径 $D=350\text{ mm}$,系统焦距 $f=3\ 000\text{ mm}$,中心遮拦 $\varphi 50\text{ mm}$,光学系统次镜前端设置减光片,口径 $D=120\text{ mm}$,为使激光通过减光片后方向不发生变化,减光片要求修等光程,平行度误差优于 $5''$,带来的激光光束偏向角优于 $3''$,满足技术指标要求。

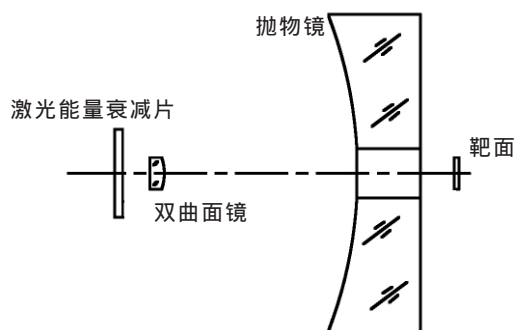


图2 光学结构图

由于光管用于测量各分立光学系统光轴间的平行性,因此对光管光束的准直性要求严格。而影响光束准直性的参数是离焦量,光束孔径角与离焦量的关系为: $u=D \cdot \Delta / f^2$, 其中 Δ 为离焦量, D 为光学系统口径, f 为光学系统焦距。按该公式计算,离焦量 0.625 mm 时,光束发散角为 $5.0''$,因此,离焦量控制在 ± 0.312 mm 内,可保证光管出射的准直光束发散角 $< 5''$,从而满足技术指标的要求。

卡塞格林系统中抛物镜与双曲面镜间距的微量变化会引起焦面较大的位移量,通过光学设计可知本系统中的变化关系是 1:80。对于温差为 30 °C 的使用环境条件,光管机械材料的线膨胀系数为 $8.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$,引起的抛物镜与双曲面镜间距变化 0.052 2 mm,焦面位移量 4.176 mm,如此大的焦面位移量必然对光管出射光束的平行性产生巨大影响,因此,光管采用卡塞格林系统时,必须将焦面设计为可调整的结构形式,随着使用环境温度的不同,实时调整焦面位置,确保光管出射光束平行。

4 机械结构设计

多光谱多光轴设备校准装置是一台可供室内使用的设备,同时也要求可在室外使用。这就要求其设备具有可便携性,在外场使用时要求使用方便,而且要有一定的稳定性、可靠性。因此, $\varphi 350$ 平行光管的结构设计在总体上就要考虑这个因素。

从总体结构设计上,考虑将 $\varphi 350$ 平行光管的整机设计为两个部分,其中 $\varphi 350$ 平行光管镜筒设计为一个部套,外场使用的移动支架为一个部套。

$\varphi 350$ 平行光管镜筒部套,在镜筒上设计一个底平面,其底平面即是镜筒的基准,光学系统的光轴与之平行。在底平面上布有 4 个螺钉,这 4 个螺钉在室内可用于与检测平台连接,在外场使用时可用于与移动支架的上基平台面联接。

$\varphi 350$ 平行光管镜筒设计时,为保证光学系统的

稳定性,镜筒为一个整体,镜筒的前端安装次镜座,镜筒的后端安装主镜室。

根据光学系统尺寸以及镜筒的刚度综合考虑,镜筒长定为 360 mm,这样,镜筒两端的定位孔在加工工艺上很容易达到两孔同心。

主镜室的安装方式是以镜筒内孔及其端面定位,主镜前端以弹性压圈压紧定位,次镜座的安装方式也是以镜筒内孔及其端面定位。这样,主镜、次镜光轴偏差量就很小,调整起来很方便。

主镜在主镜室内的安装是以主镜外圆定位,主镜前端以弹性压圈压紧定位。给予适当的压紧力,使主镜压紧和提供一定的温度补偿。在主镜室的中孔固定一个遮光筒,以消除杂散光。而遮光筒的底端面及外圆就提供给光源座作为定位基准。

次镜的直径为 50 mm,光学系统的中心遮拦只允许 50 mm,因此,次镜室的固定方式只能采取次镜的后夹方式,次镜室的外圆小于次镜的外圆。次镜室固定在次镜座上,次镜座为一个四叶片形状座体,其最大通光孔径 352 mm,最小通光孔径为 50 mm,而四叶片的宽度为 4 mm,这样挡光量就可以减到最小,而且使四叶片的座体有一定的刚度。四叶片形状的次镜座在加工中有一定的难度,其中中心位置的余量可采用线切割的方法,这样切削应力小,零件变形小,整个零件的外圆及中心孔等一次加工出来,保证了同轴以及端面的跳动。

减光片与次镜同轴固定,轴上中心孔内安装激光笔,激光笔与光管光轴基本平行,测试前可先发射激光束对准被检仪器方向,从而方便快捷地进行调整。

在光管的像面处,安装有可移动的靶面,移动靶面由电磁开关控制。电磁开关为通电状态时,移动靶面的星点孔位于光轴上,同时可见光源点亮,此时可检测可见光传感器与红外传感器光轴间的平行度,或检测可见光传感器与可见传感器光轴间的平行度。电磁铁开关为断电状态时,可见光源同时熄灭,移动靶面的热靶位于光轴上,此时可检测激

光与红外传感器光轴间的平行度。这样,通过靶面的移动,即可实现激光、可见、红外不同谱段光轴平行性的检验^[2-3]。

为使光管有更好的温度适应性,设计了靶面前后离焦机构,可实现距离焦面 ± 4 mm调整量。

全部安装后总长 560 mm,光管总重量 < 35 kg。移动支架采用四点支撑的框架,同时安装 4 个脚轮。在框架上端面配置一个平台面,可以方便地连接 $\varphi 350$ 平行光管镜筒。根据使用的要求,在配置的平台面上可以进行方位调整,调整范围 $> \pm 3^\circ$ 。4 个支撑地脚可进行高度 ± 45 mm 的调整,通过调整前或后地脚可使光管光轴进行俯仰方向的调整,调整范围 $> \pm 3^\circ$,同时调整 4 个地脚可使光管中心高度在 $500\text{ mm} \pm 50\text{ mm}$ 范围内变化,移动支架总重量 < 25 kg。图 3 为校准装置总装图与实物图。

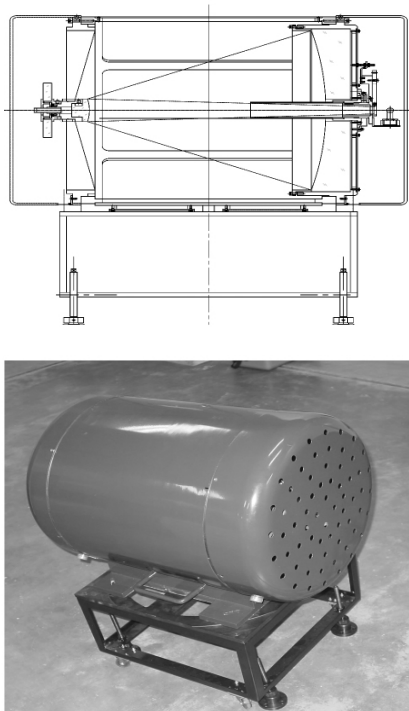


图3 校准装置总装图与实物图

5 出射光束平行性的测量标定

多光谱多光轴设备校准装置作为光轴平行性检验的基准,其自身的出射光束平行性必须优于 $5''$,才能保证多传感器光轴平行性的校准精度,因此,必须对多光谱多光轴设备校准装置出射光束平行性进行检验验证。验证的方法是采用五棱镜扫描法,对全口径内的出射光束平行性进行检验,验证方法原理示意图如图 4。

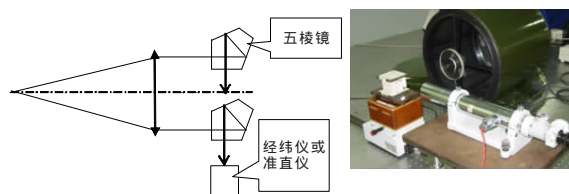


图4 校准方法原理示意图与实测现场

检验步骤:

- (1) 将五棱镜放在直线导轨上对准平行光管,导轨长度要满足五棱镜移动距离大于光管口径;
- (2) 自准直仪(或经纬仪)透过五棱镜瞄准光管焦面上的目标;
- (3) 移动五棱镜,从光管全口径的一端移到另一端,通过自准直仪(或经纬仪)观察星点像位置的变化情况,用读数盘测量,应不大于 $5''$ 。

如果校准结果超出使用要求,反复调节光管焦面位置,直至出射光束平行性满足要求。

6 结 论

多光谱多光轴设备校准装置的研制在小型光电测量设备的装调与检验上发挥了重要作用,尤其在激光测距光轴与其他成像传感器光轴平行性检测方面,设备装调的效率和所达到的光轴平行性精度都有了很大的提高,对提高小型光电测量设备的生产效率和质量保证作出了应有的贡献。

参考文献

- [1] 王彬,蒋世磊. 卡塞格林系统计算机辅助装调技术研究[J]. 光学仪器, 2008, 30(1): 50-54.

- [2] 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.
- [3] 叶露, 武晓阳, 聂真威. 强激光与红外传感器光轴平行性测量仪器的研制[J]. 中国光学与应用光学, 2008, 1(1): 100-104.

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。

E-mail: y217@yahoo.com.cn

飞秒超快激光法制备超小尺寸银纳米孔取得进展

尽管光学衍射极限极大地限制了纳米结构的制备方法, 但是这方面的努力和进步一直都没有停止过。在这样的进程中超快激光起到了重要的作用, “用超快制备超小结构”成为其特色。目前, 这方面的努力大致可以分成 3 类: (1) 光束聚焦时以光子作为辅助, 即非线性光学效应; (2) 光束聚焦时以金属探针针尖作为辅助; (3) 光束聚焦时以原子分子作为辅助。总的看来, 作为辅助的光子、探针针尖、原子分子等, 它们的尺度越来越小, 相应能够制备的纳米结构的尺寸也越来越小。飞秒超快激光液体中烧蚀法属于第 3 类, 此前国际上虽然工作众多, 但是制备出的结构多为平庸的纳米颗粒, 很少有非球形的纳米结构的报道。

中科院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室 (筹) 的表面物理国家重点实验室赵继民副研究员在进行表面及纳米体系的超快光学研究中, 采用上述方法制备银纳米结构, 在观测到个别非球形纳米结构之后, 改进了国际上现有的方法, 研究和改变了各种复杂的实验条件以求制备出较小尺寸的银纳米孔。他与表面物理国家重点实验室孟胜研究员一起, 细致分析了实验中观察到的超小银纳米孔形成的微观物理机制, 并基于密度泛函理论构造了纳米孔形成的分子层次模型, 揭示了其中包覆剂分子如何起到关键作用; 并与先进材料与结构分析实验室杨槐馨研究员、纳米物理与器件实验室徐红星研究员等通力合作, 进行了大量的实验表征和探索, 制备出的纳米孔达到直径为 2.3 nm, 深度为 3 nm。

更进一步, 研究人员通过改变分子大小实现了改变银纳米孔直径的大小, 制备出直径 1.6 nm 的银纳米孔, 印证了提出的物理机制的正确性并拓展了应用前景。迄今为止, 国际上还没有其他 top-down 实验方法可以实现这样小尺寸的金属的纳米结构。

新方法结合了飞秒超快激光和化学包覆剂分子的优点, 其中纳米孔的形成基于渐进生长物理机制。超小直径的单个的银纳米孔可能应用在带孔洞的金属覆盖的近场光学扫描探针、高分辨成像覆盖掩膜、磁性等离子共振研究、单孔生物传感器等领域。以上工作极大地促进了以光学方法制备纳米结构的进展。

相关研究论文发表在近期的 Nano Lett. 11, 3251-3257 (2011) 上, 并获得了相关发明专利。

上述工作得到了基金委、科技部、科学院百人计划、科学院创新工程的支持。