

文章编号:1001-5078(2009)04-0415-04

· 光电技术与系统 ·

空间旋转多光谱多光轴校准技术研究

韩 军¹, 王 晶¹, 陈文建²

(1. 西安工业大学光电工程学院, 陕西 西安 710032; 2. 西安应用光学研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要: 论文总结了多光轴在空间旋转时形成的原因及其误差量, 形成了兼顾安全和便捷的技术途径: 首先以摄像机模拟非可见且对人眼有危害的激光器; 其次设计加工出一种专用的回转基准调校基座和基准光源, 通过转动基座, 检测出摄像机光轴和可见光轴在空间不同相对位置的误差, 采用双光楔方法进行调节; 最后依托过渡工装使激光器光轴相对其安装面的精度与摄像机一致, 由此保证了激光轴与可见光轴在任意方位角处均保持平行; 其平行度误差不超过 0.1 mrad。

关键词: 多光谱; 空间旋转光轴; 平行性; 机械轴; 双光楔

中图分类号: TH744 **文献标识码:** A

Research of Calibration Technology of Spatial Rotative Multispectral and Multibeam Axes

HAN Jun¹, WANG Jing¹, CHEN Wen-jian²

(1. School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China;

2. Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: The calibration technology on the Optoelectronic system with visible, laser, and rotational mechanical axis is discussed in this paper, this is the calibration of multispectral spatial rotation optical axis, the characteristics is not only the parallelism adjustment of optical axis where relative rotational movement occurs, but also the danger of invisible high-energy laser. The reason and error resulted from the multibeam axis spatial rotation are summarized, proposing the adjustment technique with both safety and convenience. It begins that the harmful invisible laser is simulated by the visible light camera. Then, the special rotative adjustment pedestal and the reference source are designed and processed, and the error of the different spatial relative position between camera axis and visual axis is measured by turning the rotative pedestal and adjusted utilizing dual-optical wedge technique. Finally, the axis of laser and telescope in the discretionary azimuth is kept parallel based on the consistence of precision in laser axis relative to fitting surface and camera through the transition frock, the error is limited to be less than 0.1 mrad.

Key words: multispectral; spatial rotative optical axis; parallelism; mechanical axis; dual-optical wedge

1 引 言

多光谱空间旋转光轴平行性的调校是光电系统研制的关键环节, 本文涉及的光电系统具有可见光轴, 激光光轴以及机械轴, 且光路在空间发生旋转和折转, 是一种典型的多光谱多光轴空间旋转问题。

该光电系统结构如图 1 所示, 高功率非可见的

激光器安装在基座上, 基座的上部是一个方位轴系, 能够支撑头部组件绕基座连续回转, 反射镜与头部组件固联可相对基座旋转, 此外还可俯仰转动, 瞄准

作者简介: 韩 军(1966 -), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 现任西安工业大学光电工程学院光信息科学与技术系主任。E-mail: han-jun513@126.com

收稿日期: 2008-11-06; 修订日期: 2009-01-06

具组件包含可见光望远镜及识别激光器($0.9\mu\text{m}$, 2mJ)安装在头部组件上,与反射镜一起绕方位轴旋转。三种不同波长的光束,沿方位轴射出,经反射镜折转后,从保护玻璃射出,反射镜可随头部组件绕方位轴旋转,同时也可以绕俯仰轴旋转。

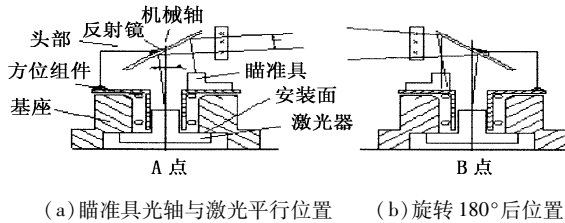


图1 多光谱空间旋转光轴结构示意图

设计要求在头部任意旋转角度处,三种不同光谱的轴线严格平行,误差允许范围 0.1mrad ,轴系正交性要求,俯仰偏摆 0.15mrad ,水平跳动 0.15mrad ,即要求出射光轴在方位或俯仰转动中,扫出一个非常近似的平面,而不是圆锥面。

该系统的挑战性体现在:①空间旋转轴系和机械轴系交织,使轴系很复杂;②非可见高能量激光十分危险。

该轴系调校的关键点在于,首先将激光轴与回转机械轴调同心否则永远无法达到任意空间位置多光谱多光轴平行。原因如下:设激光光轴与回转机械轴有同心度误差,即在纸面投影水平 α 角的平行差。如果简单地把瞄准具光轴调整到与激光平行,在图1(a)所示位置似乎可以达到三轴平行,然而如果头部旋转 180° 后到图1(b)所示位置,则光轴平行差将达到 4α 之大。

如何保证激光轴与机械轴同心,又使可见光轴与激光轴平行,将是本文重点阐述内容(轴系正交性问题本文不进行探讨)。

2 轴系精度测试的原理和方法

为了阐述校准技术方案,首先介绍一下这种多光谱立体轴系精度测试方法^[1]。这种光电系统测试的方法如图2所示,在被测仪器周围架设一圈抛物面反射镜,转动头部,用瞄准镜对准靶面中心,发射激光(工程中简化为旋转底座,用一个抛物面镜,实现位置测试),理想的状态是,每个角度发射的激光,都与靶心重合,实际测试时,激光和可见光都会有误差,会形成离散,如图3所示。激光光斑呈现出圆周分布,分布圆中心与瞄准点通常也不重合,分布圆的直径,代表了激光轴与机械回转轴同轴度误差,离散中心与瞄准点的偏差,代表了可见光轴与机械轴的同轴度误差。

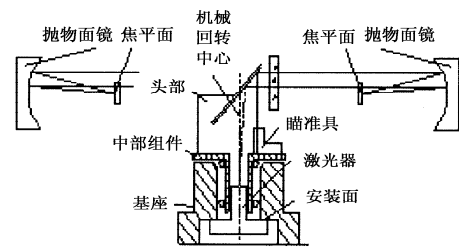


图2 空间旋转多光谱多光轴平行性的测试

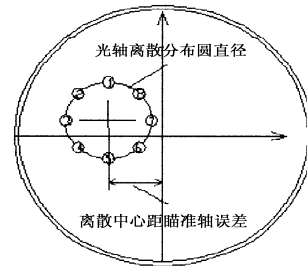


图3 空间轴系误差的直观体现

3 该光电系统校准的技术方案

轴系校准的目标就是将离散圆半径缩小到 0.2mrad ,将偏差控制在 0.1mrad 。针对这个特定的光电系统,所采用的调校原理是:以回转机构的机械轴为调校基准,使可见光光轴与激光光轴都与其同心,从而达到三轴平行的目的^[2]。

针对这种特定的光电系统,采用了如下技术方案:

(1)首先用摄像机代替有危害的激光器,形成局部模块环调试。

(2)采用大口径平行光管代替抛物面反射镜调校,提高适应性。

(3)采用双光楔进行光轴微调。

3.1 摄像机模拟激光器

为了使调校过程安全可靠,采用基准摄像机的光轴来模拟高能量的激光光轴,通过调整摄像机电子分划来保证摄像机光轴与旋转机械轴的同心,再通过图4所示的方法,利用专用调校工装,校准激光器,使其与摄像机光轴一致^[3]。

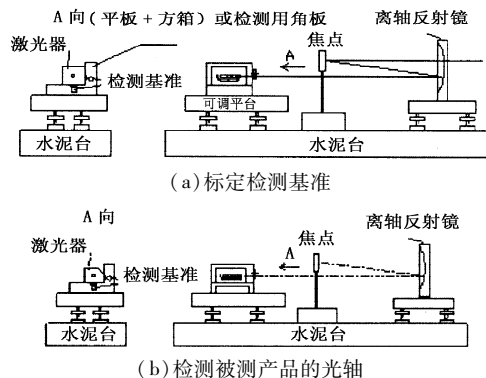


图4 激光器和摄像机光轴一致性调校原理示意图

在图4(a)中,将摄像机与基准靠实,在图4(b)中,将被检产品(激光器)与基准应靠实发射激光,观察光斑是否落在焦点上。

3.2 采用大口径平行光管代替抛物面反射镜调校

采用大口径平行光管代替抛物面反射镜调校,其前提是用摄像机光轴模拟了激光光轴,视被校准的两个光轴均为接收轴^[4]。

系统的调校装置如图5所示,由基准平行光管,折转反射镜、折转反射棱镜、高精度回转光具座和基准摄像机系统等组成。

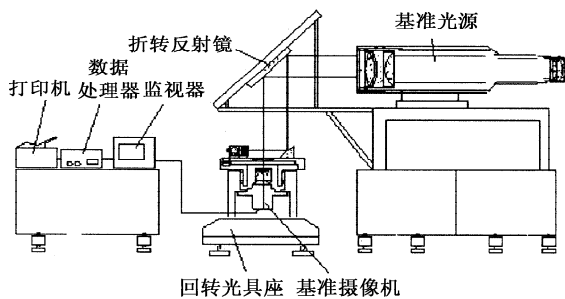


图5 调校原理图

折转反射棱镜和基准平行光管构成基准光源,在两个组件上分别设置检测面,用于水平,该器件能自动检测两个组件的水平状态。待调校产品安装在高精度回转光具座上,光具座提供铅垂的回转运动,基准摄像机系统安装在待调校产品内部,模拟高强度激光的光轴,凭借电十字分划调整实现与待调校产品机械轴同心^[5],摄像机的视频信号在监视器中显示。待调整的可见光系统处于产品的上部,调整专用光具座组件,使其对准基准光源分划,此时基准光源分划在摄像机系统成像,保持头部不动,转动光具座,使产品的底座相对头部旋转45°,从可见光系统目镜中观察基准像,调整,使之对准,再观察显示器的图像,记录误差,以此类推,共测试8个点,形成偏差的离散分布。经过初始调校后,发现其离散明显缩小,通过若干次调整,离散半径缩小到0.2mrad左右时,采用双光楔调整方法,使可见光的瞄准点,落在分布圆中心,误差小于0.1mrad。

当调校完成后,按照图4方法,将高能量的激光器光轴校准,再装入到光电系统中,从而完成调校的整套工作。

3.3 双光楔微调原理

双光楔调整能够保证可见光轴与激光光轴按照预定方向微调,如图6所示,光线垂直入射光楔的前表面后经过一系列的折射,从后表面出射产生一定的偏向角,实现在光路中转折光轴的作用,对于偏转角为 δ 的光楔,在光路中折转光轴如图6所示,从望

远镜中可以看到如图7所示图像,在图7中, K_1, K_2 分别为第一,第二光楔的最厚点,光线通过第一光楔所形成像的集合构成 $\Phi_1 = 2\delta$ 的圆,经第二光楔所成的像,则是以 Φ_1 圆周为中心的圆,其直径为 $\Phi_2 = 2\delta$ 。

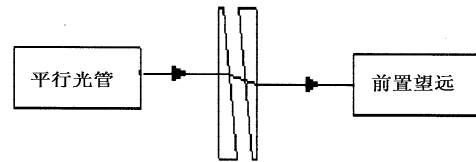


图6 双光楔组件在光路中的示意图

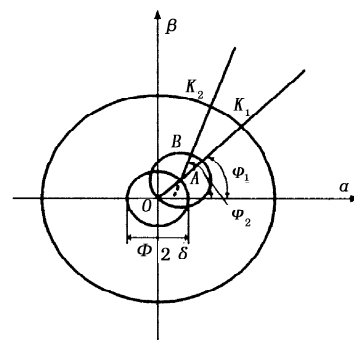


图7 从望远镜中看到的图像

通过图7所示,可以看出最后形成的目标像的位置取决 K_1, K_2 点的位置,设像点的最终位置为 B ,其坐标为 (α, β) , K_1, K_2 点与水平轴(这里为 α 轴)的夹角为 φ_1, φ_2 ,则像点和原点 K_1, K_2 的关系为:

$$\begin{cases} \alpha = \delta(\cos\varphi_1 + \cos\varphi_2) \\ \beta = \delta(\sin\varphi_1 + \sin\varphi_2) \end{cases}$$

现假设 $\varphi_1 - \varphi_2 = M$,通过对这两式子的推算,可以得到:

$$\begin{cases} \tan\varphi_1 = \frac{\frac{\alpha}{\beta} \sin M + 1 + \cos M}{\frac{\alpha}{\beta} + \frac{\alpha}{\beta} \cos M - \sin M} \\ \varphi_2 = \varphi_1 - M \end{cases}$$

由以上公式可以知道:当被调整的量(光轴偏角) α, β 已知时,可以通过计算机实时确定出原点 K_1, K_2 的位置,通过转动光楔 φ_1, φ_2 ,则主光路被调整到 α, β 位置,采用这个原理可以从理论上计算出 φ_1, φ_2 ,再转动光楔角,使得光轴被调到中心位置。

4 在空间的平行误差的数学模型

不同旋转角度条件下,激光与可见光在空间的平行误差将发生变化。设 ε 表示激光轴与回转机械轴在如图1所示的纸面投影的平行误差,若在此时调整可见光与其平行,则在该处出射光将达到三轴平行,随着头部组件的转角变化,误差将被引入,且

随方位轴的转角发生变化,如表1所示。

表1 不同旋转角度条件下,激光与可见光在空间的平行误差

回转光具座转过的角度/(°)	可见光轴与激光轴的空间角误差/(°)
0	0
45	$2\arcsin(\sin 22.5^\circ \sin \varepsilon)$
90	$2\arcsin(\sqrt{2}/2 \sin \varepsilon)$
135	$2\arcsin(\sin 67.5^\circ \sin \varepsilon)$
180	2ε
225	$2\arcsin(\sin 67.5^\circ \sin \varepsilon)$
270	$2\arcsin(\sqrt{2}/2 \sin \varepsilon)$
315	$2\arcsin(\sin 22.5^\circ \sin \varepsilon)$
360	0

该误差为原始误差和方位转角的函数,即:

$$\xi = f(\varepsilon, \theta) = \begin{cases} 2\arcsin(\sin \frac{\theta}{2} \sin \varepsilon); \theta \in [0, \pi] \\ 2\arcsin(\sin \frac{2\pi - \theta}{2} \sin \varepsilon); \theta \in [\pi, 2\pi] \end{cases}$$

由表1和函数 ξ 可知,随着旋转角度的不同,可见光轴与激光光轴之间的误差在 $[0, 2\varepsilon]$ 内变化,因此,在对该系统进行调校的过程中不仅要保证光轴的平行,保证机械轴与光轴的平行也成为必要。

5 实验及数据分析

5.1 光轴调校的实验

在调校原理的指导下,对方案进行实验验证,实验过程:将待调整的可见光系统处在产品的上部,如图8所示,调整专用光具座组件,使其对准基准光源分划,此时在摄像机系统能看见基准光源分划的像,转动光具座,使待调校系统的底座相对头部旋转

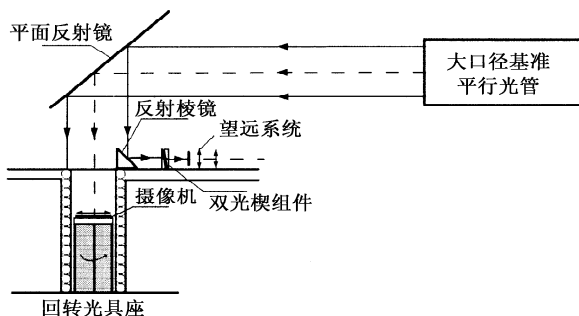


图8 调校光轴示意图

90°,从可见光系统目镜中观察基准像,调整,使之再次对准基准光源分划,以此类推,共测试4个点,形成离散的偏差,转动双光楔组件中的两片光楔,使得可见光轴与激光光轴同心,当可见光轴与激光光轴之间的偏差小于0.1mrad时,光轴调校完成。

5.2 实验数据

实验数据表(如表2所示)展示了可见光在摄像机系统所成像的位置(摄像机成像系统中以激光光轴的位置为原点建立坐标系),数据表示了四次调整中光具座相对旋转0°,90°,180°,270°时的位置,以及离散圆的中心位置,通过数据可知,经过四次调校后,离散圆的半径(即激光轴与机械轴的平行度误差)控制在0.2mrad内,可见光轴相对激光光轴的位置是(0.025,0)mrad,明显在0.1mrad范围内,完全符合精度要求,充分证实了所论述技术方案的可行性。

表2 实验数据

单位/mrad	0°	90°	180°	270°	中心位置
光轴初始位置	(-0.2, -0.1)	(-0.1, -0.3)	(-0.3, -0.3)	(-0.3, -0.1)	(-0.2, -0.2)
一次调校后的位置	(0,0)	(0, -0.25)	(-0.2, -0.2)	(-0.25,0)	(-0.1, -0.1)
二次调校后的位置	(0.15,0.15)	(0, -0.05)	(-0.2, -0.2)	(-0.25,0.25)	(-0.075,0.075)
三次调校后的位置	(0.2,0.2)	(0.1, -0.1)	(-0.05,0)	(-0.1,0.15)	(0.05,0.05)
四次调校后的位置	(0.1,0.1)	(0.1, -0.05)	(-0.05, -0.1)	(0.1, -0.05)	(0.025,0)

6 结束语

经过测试验证,本调校原理和调校装置可以满足针对该系统激光光轴,可见光光轴,机械轴三轴平行性调校的技术指标要求。证实了所采用的技术方案可以准确,方便地实现将光轴偏差控制在0.1mrad的范围内,达到了调校的目的,提高了调校的效率。

参考文献:

- [1] 付跃刚,王志坚,李博.多光谱光学系统平行性的调校和检验方法探讨[J].长春光学精密机械学院学报,2001,24(4):11-14.
- [2] 富容国,常本康,钱芸生,等.激光指示器光轴调校技术[J].光学技术,2007,33(2):239-240.
- [3] 叶露,马军.光轴与其安装基面平行度检验方法的探讨[J].计量技术,2004,7:65-66.
- [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.
- [5] 陈文建,郑宝忠,杨建莉.多光谱多光轴自动校准技术[J].应用光学,2004,25(1):60-64.