

文章编号:1001-5078(2007)10-1098-03

新型光轴平行度装调仪的设计与分析

史亚莉^{1,2}, 高云国¹, 邓伟杰^{1,2}

(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. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了实现某高能激光发射系统出厂后特别是外场使用时的快速装调, 设计了一个光轴平行度装调仪。介绍了平行度装调过程、仪器的光学和机械结构设计, 并建立了仪器的三维模型, 对设计进行了干涉检查和优化。在此基础上, 进行了有限元分析, 校核机构的强度。本装调仪的优点是尺寸小、质量轻、便于携带、装调速度快, 可以实现高能激光发射系统出厂后特别是外场使用时的快速装调。

关键词: 仪器测量与计量; 光轴平行度装调; 辅助装调; 有限元分析

中图分类号: TH741.1⁺4; TH703

文献标识码: A

Design and Analysis of a Novel Assistant Instrument for Aligning the Optical-axis Parallelism

SHI Ya-li^{1,2}, GAO Yun-guo¹, DENG Wei-jie^{1,2}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: This paper designed a novel assistant instrument to align the optical-axis parallelism of the high-energy laser launching system. The instrument can accomplish the alignment instead of assistant equipments that were used before. The aligning process, optical system and mechanical structure is discussed in this paper. After modeling the whole instrument with UG, the system is inspected and optimized. The FEA for the system is applied to verify the intention of the main parts with MSC. Patran/Nastran. The system has brief structure and light weight. The system can replace the equipments of the workshop with high precision and efficiency. It is not only can be used in the first alignment, but also used in the alignment of outfield.

Key words: instrumentation measurement and metrology; optical-axis parallelism; assistant alignment; FEA

1 引言

要研制出实用有效地高能激光发射系统, 需要解决的关键技术问题还很多, 光路的装调就是其中之一^[1]。通过装调, 系统可以在最接近设计的状态下工作。光轴的平行度是光电经纬仪和高能激光发射系统等多光轴光电系统的一个重要参数^[2-3]。在高能激光发射系统中, 跟踪光电传感器视轴与激光发射光轴的平行度是保证主激光沿跟踪测量轴精确地发射到跟踪目标上的关键。

高能激光发射系统在出厂前, 都要在装校车间进行检测和装调。以前用的装调辅助仪器是宽波段

平行光管和高精度直角双反射镜, 平行光管是所有装校车间都必备的装调用仪器, 用它在装校车间辅助完成高能激光发射系统的装调, 相对来说成本低, 精度也能达到要求^[4], 但是携带、装调不方便, 无法实现我们的设备在出厂后或者外场使用时的检测和装调。

为了满足用户要求, 实现某高能激光发射系统

基金项目: 国防科工委资助项目。

作者简介: 史亚莉(1982-), 女, 在读博士, 从事光学仪器设计、检测和装调方面的研究。E-mail: shiyali_825@126.com

收稿日期: 2007-01-05; **修订日期:** 2007-05-11

出厂后特别是外场使用时的快速装调,设计了一个新型光轴平行度装调仪。使用该仪器,可以代替宽波段平行光管和高精度直角双反射镜完成光轴平行度装调。该系统的尺寸为 $374\text{mm} \times 110\text{mm} \times 387\text{mm}$,质量大约 5kg ,方便携带,能够在外场中快速装调,装调后的平行度误差不大于 $20''$ 。

本文介绍了该装调仪的装调原理,仪器的光学设计和机械结构设计,用三维 CAD 软件 UG 建立了整个仪器的三维模型,对设计中存在的干涉现象进行检查和修改,并运用有限元分析软件 MSC. Patran/Nastran 对结构进行了有限元分析,校核了机构的强度。

2 光轴平行度装调过程

光轴平行度装调的光学示意图如图 1 所示,用虚线框住的是光轴平行度装调仪,从它出射的应该是两束不同波段的平行光 A 和 B,①和②分别是可见/红外探测器的视轴和激光发射光路的光轴。装调过程:在激光发射光路调好后,将平行度装调仪安装好,先通过调节装调仪的微调螺钉,使得通过激光发射光路的平行光 B 成像于光束监测系统中的 CCD2 中心,此时证明从装调仪发出的两束平行光 A 和 B 平行于已经装调好的激光发射光路。然后再调节可见/红外探测器的光路,当光斑中心与可见/红外探测器 CCD1 中心重合时,证明该光电探测器的视轴和激光发射光轴平行。用同样的方法可装调其他光电探测器视轴和激光发射光路的平行^[5]。

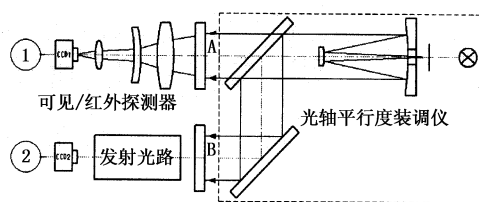


图1 光轴平行装调光学示意图

3 装调仪的设计

平行度装调仪的设计主要包括光学系统设计和机械结构设计,设计在满足性能要求的基础上遵守了光路简单、结构紧凑的设计原则。

3.1 系统性能要求

为了保证平行度装调精度,对平行度装调仪提出了以下几点要求:

- (1) 仪器能够产生两束平行光:一束光波段为 $3.7 \sim 4.8\mu\text{m}$;另一束光的波段为 $450 \sim 750\text{nm}$;
- (2) 两束平行光之间的平行度误差小于 $2''$;

(3) 仪器主光轴的方向可以两维可调,调节范围为 $\pm 25'$ 。

(4) 波段为 $450 \sim 750\text{nm}$ 的平行光束从激光发射光路的窗口入射,另外一束平行光从可见/红外探测器窗口入射。

3.2 光学系统设计

光学系统如图 2 所示,光学系统主要由光源、分划板、主镜、次镜、分色镜和反射镜组成。采用大口径折反式平行光管的原理^[6-7],原因是这种系统可有效减小体积和质量,同时光学性能比较好,可满足光轴平行装调的要求。主次镜是焦距为 500mm 的卡塞格林系统,主镜为抛物面,次镜为双曲面,抛物面与双曲面具有一个共同的焦点,双曲面的另一个焦点为系统的焦点。采用双反射式系统,可以消除色差;主镜采用抛物面,可以消除轴向球差。分划板放在系统的焦点上,上面刻有刻线。从分色镜出来的光束 A 波段为 $3.7 \sim 4.8\mu\text{m}$;从反射镜出来的光束 B 波段为 $450 \sim 750\text{nm}$ 。

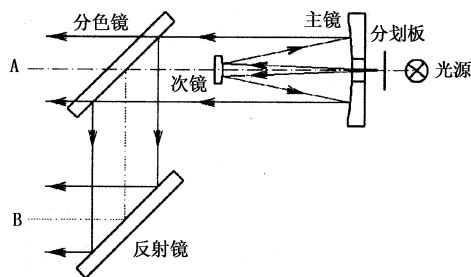


图2 平行度装调仪的光学系统图

光学系统的工作原理:宽波段的光源照亮分划板;因为分划板放在主次镜系统的焦面上,所以这时分划板上的刻线通过主次镜成一束宽波段平行光;这束平行光通过分色镜和反射镜后变为两束波段不同的平行光。

3.3 机械结构设计

如图 3 所示,机械结构主要由光源组件、分划板组件、主次镜组件、反射镜组件和光轴微调组件五个组件组成。前四个组件为固定组件,从反射镜组件出射的两束平行光之间的平行度为 $2''$,光轴微调组件是活动组件,可以实现系统主光轴 $\pm 25'$ 的两维调节,目的是为了在装调辅助系统工作前,调节主光轴的方向,保证从反射镜出来的波长为 $450 \sim 750\text{nm}$ 的平行光束的主光轴和激光发射光路的主光轴重合。系统工作时,通过连接法兰安装到跟踪发射系统上,装调结束后卸下。

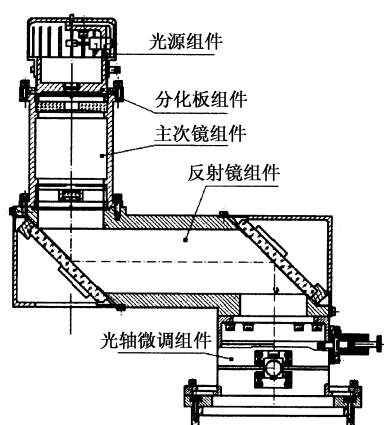


图3 装调辅助系统的结构图

4 有限元分析

根据前面介绍,系统由五个组件组成,其中四个组件为非运动组件,只有光轴微调组件承担着仪器主光轴的角度调节,是活动组件,作为主要分析对象。

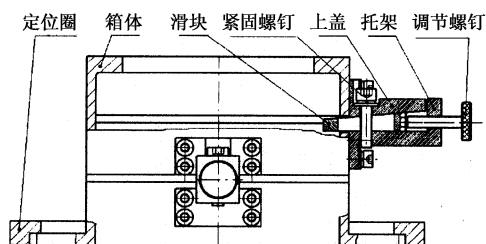


图4 光轴微调组件的结构图

如图4所示,光轴微调组件由支撑箱体、上盖、托架、滑块、紧固螺钉和调节螺钉等组成。当从反射镜出来的平行光经过激光发射系统后的成像光斑不在 CCD 中心时,两个调节螺钉可分别完成光斑中心 x 和 y 两个方向的调节。调节时,先松开紧固螺钉,再转动调节螺钉,同时观察经过发射系统的光斑位置,当光斑在 CCD 中心时,拧紧紧固螺钉。尽管设计人员在设计中已经过仔细的分析和反复推敲,但为了保证机构的强度,我们对支撑箱体、紧固螺钉和调节螺钉进行了分析。分析时支撑箱体的材料属性见表1。

表1 零件材料属性表

材料牌号	密度 ρ /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	弹性模量 E /MPa	泊松比 μ	抗拉强度 σ_b /MPa
65Mn	7.81	$2.1\text{e}5$	0.3	735

在对支撑箱体进行有限元建模时,首先,利用 UG 中的 [Assembly] 模块把四个固定组件装配好,然后,用 [Analysis] 模块计算出固定组件的质量和质心位置,这样,对于固定组件对支撑箱体的作用就可以

通过 MPC (Multi-Point Constraint) 的方式进行简化。

根据设计要求,仪器主光轴的两维角度调节范围为 $\pm 25'$, 要达到该调节量,滑块的纵向移动量为 $\pm y$, y 值大小由支撑箱体的尺寸和角度调节范围决定, $y = 106.5\text{mm} \cdot \tan 25' \approx 0.8\text{mm}$ 。也就是说,当滑块沿着托架运动时,通过上盖使箱体与上盖接触面升高或降低的最大变形量为 0.8mm 。使用有限元分析时,先估计一下滑块通过上盖作用在箱体上的载荷大小,然后再通过分析结果中加载位置的变形大小,对载荷大小进行修改,直到变形量为 0.8mm 为止。如图5所示,此时,载荷 $F = 288\text{N}$,箱体在此时所承受的应力也最大,最大应力值为 509MPa ,如图6所示,通过比较,小于材料的抗拉强度。考虑到安全系数,该零件尺寸的设计还是比较合理的。

MSC Patran 2005.01 May 03 10:53:20
Fringe: Default, All Stresses: Subcases, Displacements, Translational Magnitude, (NOK) (A) (B) (C)

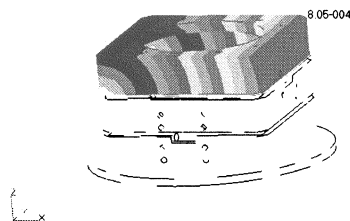


图5 箱体达到最大调节量时的变形图

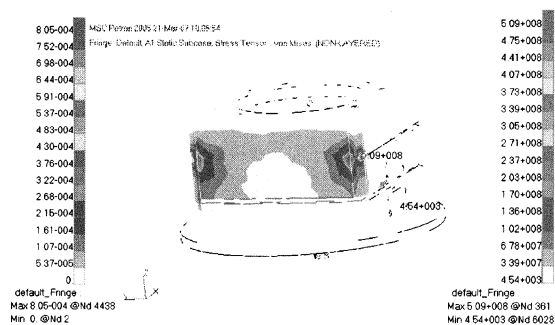


图6 箱体达到最大调节量时的应力图

紧固螺钉采用 M5 的螺钉,螺纹小径为 4mm ,根据单个螺纹连接的强度计算公式 $d_1 \geq \sqrt{\frac{1.3F}{[\sigma]}}$, F 为螺钉所受轴向载荷, $[\sigma]$ 为许用应力, d_1 为螺纹小径。根据前面的分析结果可知 F 为 288N , 则 $[\sigma] \geq \frac{1.3F}{d_1^2} = 24\text{MPa}$, 显然选择 M5 的螺钉满足要求。

调节螺钉所需的最大拧紧力分析:先计算出滑块所需的最大推力 $F_{\text{推}}$ 为 89N 。因为调节螺钉为单线螺纹,螺距为 0.5mm ,拧紧力臂为 8mm ,根据公式

(下转第 1104 页)

像可清楚看到,当有电子快门控制时,图像背景得到明显抑制;从它们的直方图(如图6和图7所示)看出,没有电子快门控制时的图像背景灰度值远远高于有电子快门控制时的背景灰度值;无电子快门控制的图像直方图双峰特性不明显,图像阈值分割难度大,而有电子快门控制时的图像直方图双峰特性非常明显,有利于以后的图像阈值分割。

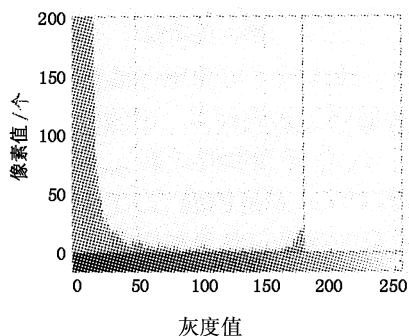


图6 有电子快门时图像直方图

Fig.6 image's histogram with electronic shutter

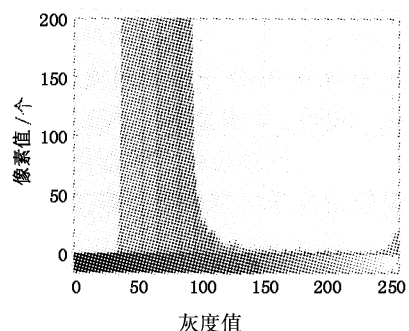


图7 无电子快门时图像直方图

Fig.7 image's histogram without electronic shutter

(上接第1100页)

$F_{推} \cdot s = F_{拧} \cdot l \cdot 2\pi$, s 为螺距, l 为力臂, 计算出调节时所需要的最大拧紧力 $F_{拧} = 0.9\text{N}$ 。

5 结论

以前同类设备的光轴平行度装调,都是在装校车间用宽波段平行光管和高精度直角双反射镜辅助实现,装调工序复杂,无法实现出厂后和外场中可装调的要求。而这种新型的平行度装调仪和宽波段平行光管相比,体积小、质量轻,大约5kg。使用它,无须高精度直角双反射镜,可以方便快速的实现高能激光发射系统的装调,并且可随车携带,随时用于外场装调,装调后两光轴的平行度误差不大于20"。

参考文献:

[1] 苏毅,万敏. 高能激光系统[M]. 北京:国防工业出版

5 结论

为了解决电视测角仪系统存在的目标背景亮度变化范围可能超出 CCD 动态范围,出现背景淹没导弹目标的问题,本文根据电视测角仪探测导弹辐射源的辐亮度高于背景辐亮度的特点,采用固定光圈加电子快门控制的方法,通过图像处理模块求出电子快门控制灰度值 μ_H , 然后与表示视频信号最佳灰度所预置的基准灰度值 μ_B 进行比较,计算出图像灰度误差 $\Delta\mu$, 根据 $\Delta\mu$ 的大小和极性,发出改变电子快门所需的 D0, D1, D2 三种状态电平,控制电子快门向减小误差灰度 $\Delta\mu$ 的方向变化,达到了控制 CCD 曝光量,使导弹目标图像清晰,背景干扰被抑制的目的。实验结果表明,采用该方法的电视测角仪具有非常好的抗背景干扰能力。

参考文献:

- [1] 刘华,王永年. 机载红外/电视成像跟踪系统关键技术研究[J]. 电光控制,1998,1:43-48.
- [2] 杨宜禾,岳敏. 红外系统[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
- [3] 王庆有. 图像传感器技术与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [4] 黄成斋. 跟踪测量电视全自动调光系统[J]. 光电工程,1999,26(3):17-19.
- [5] 李瑞铭,曹作良. TK-66CCD 摄像机电子快门的微机控制[J]. 天津理工学院学报,1995,11(1):11-14.
- [6] 李刚,周冰,孙新华,等. 激光制导装置出射激光束散角和光轴平等性的简易检测方法[J]. 光学技术,2004,30(5):628-636.
- [7] 凌军,刘秉琦,赵熙林. 几种光轴平行性测试方法的比较与探讨[J]. 应用光学,2003,24(1):43-45.
- [8] 敖磊,谭久彬,崔继文,等. 激光 CCD 二维自准直仪中圆目标中心精确定位算法[J]. 光学精密工程,2005,13(6):668-673.
- [9] 张勇,冯广斌,陈志斌. 脉冲激光测距机光轴平行性的自动检测研究[J]. 激光与红外,2003,3(4):228-230.
- [10] 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究[J]. 长春光学精密机械学院学报,2001,24(4):11-14.