

高能电子束冲击试验靶标监测系统研制

徐 振, 谷 松

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 小卫星技术国家地方联合工程研究中心,
吉林 长春 130033)

摘 要: 高能电子束进行韧质辐射靶标冲击试验时, 靶标定位监测系统需要监测靶标重复定位位置的变化, 记录靶标冲击试验时所产生的动态图像。首先, 根据双目视觉原理, 设计了靶标重复定位辅助系统, 监测靶标空间位置的变化; 然后, 根据使用工况要求, 设计了用于观测靶标冲击试验的 ICCD 镜头, 实时记录靶标的动态图像; 最后, 通过搭建靶标监测系统测试平台, 针对靶标重复定位辅助系统的定位精度和 ICCD 镜头的分辨率等参数进行了测试。试验结果表明, 靶标重复定位辅助系统的空间位置定位精度为 2%, ICCD 镜头分辨率优于 600 lp/mm。因此, 该监测系统能够满足高能电子束试验中的靶标精确定位和靶标动态图像的使用要求。

关键词: 定位系统; 双目视觉; ICCD 镜头; 韧质辐射靶

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)S-0049-04

Design of target monitoring system in high-energetic particle burst experiment

Xu Zhen, Gu Song

(National & Local United Engineering Research Center of Small Satellite Technology, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In high-energetic particle burst experiment, target monitoring system has the function of bremsstrahlung conversion target filament accurate positioning, and acquiring the dynamic image of bremsstrahlung conversion target filament in experiment. First, an accurate positioning system of the micro target filament was designed to monitor the original position, according to the binocular stereo vision theory. Then, ICCD camera lens was developed to record the dynamic image collision experiment in working conditions. Finally, an experiment platform simulating the real using condition was established to test the positioning accuracy error of this system and high optical resolution. The experiment results indicate that the accuracy error of this positioning system is 2%, and the optical resolution of ICCD camera lens is better than 600 lp/mm, which illustrate that this built positioning system can reach the goal of the accurate positioning of the bremsstrahlung conversion target filament in the high-energetic particle burst experiments, and ICCD camera lens can meet the need of high-energetic particle burst experiment.

Key words: positioning system; binocular stereo vision; ICCD camera lens; bremsstrahlung conversion target filament

收稿日期: 2014-10-19; 修订日期: 2014-11-21

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划(2012AA121502)

作者简介: 徐振(1984-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事空间光学仪器结构设计方面的研究。Email: haidao40@163.com

0 引言

单脉冲的电子束与韧致辐射靶作用时,在产生 X 光的同时,部分电子束能量会沉积在靶内,这部分沉积的能量会导致靶材料被烧蚀破坏,甚至会被直接烧穿。因此,因此一个韧质辐射靶经过一次电子束轰击后就耗尽了,为了再次做实验时能够保证靶丝能够精确的复位,需要有高精度重复定位辅助系统的精确定位来实现^[1-2]。

在进行电子束冲击试验时,会产生一定的可见光信号^[2]。为清晰记录被测目标动态信息,需要一定倍率的放大,并具有较高的空间分辨率,以保证 ICCD 相机能够完成对靶标的拍摄。某试验任务对监测系统的指标要求为:

(1) 对直径 0.1 mm 长度 1 mm 靶丝,监测系统能够分辨靶丝位置变化优于 10 μm ;

(2) ICCD 成像镜头分辨率优于 500 lp/mm,放大倍率不小于 10。

文中针对上述使用要求,在研究精确测量技术和高分辨率光学系统的基础上,对靶标监测系统进行了设计,并通过试验进行了验证。

1 监测系统工作原理

试验所用的靶标安装在八边形真空腔体的中轴处,如图 1 所示,传感器 1 和传感器 2 安装在腔体的左上方和右上方,组成了靶标重复定位辅助系统,监测靶标的空间位置变化情况;传感器 3 安装在观察窗 3 处,记录试验的动态信号。

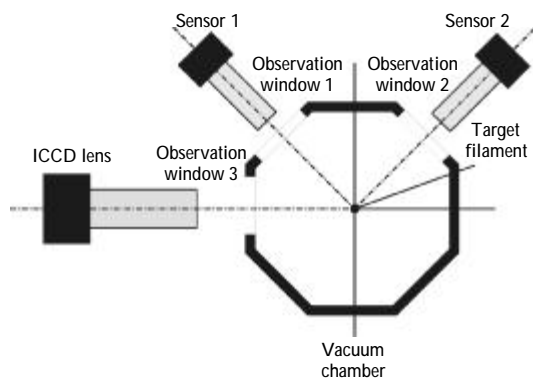


图 1 靶标定位监测系统布局图

Fig.1 Layout chart of target monitoring system

靶标重复定位辅助系统采用了立体视觉三维坐

标测量方法,实现靶标辅助重复定位^[3-8],其工作原理为从 2 个或 2 个以上的视点观察同一物体得到不同视角下的感知图像,通过计算分析不同图像中同一像点的视差来获取物体表面的三维形状信息^[9-10],并计算出被测目标的位置信息,与人类双目视觉的立体感知过程类似。

2 靶标重复定位辅助系统设计

2.1 传感器设计

传感器 1 和传感器 2 的光学系统最小分辨距 $\sigma=55 \mu\text{m}$, CCD 的像元大小为 5.5 μm ,不能满足系统要求靶标定位精度优于 10 μm 的要求。

因此,设计中采用了图像质心算法^[11-14]计算出光斑的质心,分析光斑质心的位置变化情况,进而判断靶标的精确位置。

2.2 固定结构设计

基于靶标重复定位辅助系统的使用要求,其结构应具有如下功能:

(1) 较高的稳定性,保证监测系统正常工作;

(2) 能够快速调整传感器光轴角度,捕捉被测目标。

基于上述要求,传感器固定结构采用了“三顶三拉”的角度调整机构^[15],如图 2 所示,2 个拉力螺钉组件和锁紧螺钉,实现“三拉”功能;而支撑球和 2 个支撑螺钉实现“三顶”功能。通过调整 2 个支撑螺钉,实现了传感器角度的微调,并具备机构锁死功能。

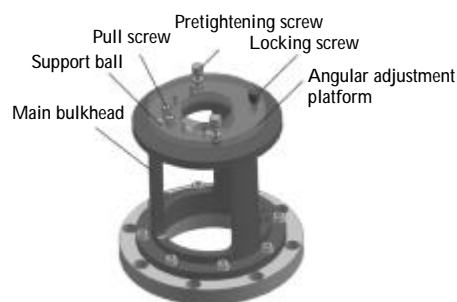


图 2 复位系统调整机构图

Fig.2 Structure chart of positioning system

3 ICCD 成像镜头设计

3.1 光学系统设计

ICCD 相机镜头要求前工作距离为 100 mm,放大倍率达到 10 倍,且物方的数值孔径达到 0.3。根据

上述要求,对 ICCD 观测相机的光学镜头进行了设计。此系统分为前、中、后三组,共轭距为 1 486 mm。图 3 为 ICCD 相机镜头的光学系统。

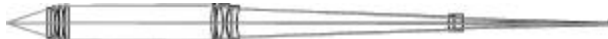


图 3 ICCD 相机镜头光学系统光路图
Fig.3 Optical path chart of ICCD camera lens

ICCD 相机的 Nyquist 频率约为 25 lp/mm,从图 4 中可以看到,系统的 MTF 曲线在 25 lp/mm 处优于 0.5,可以满足使用要求。

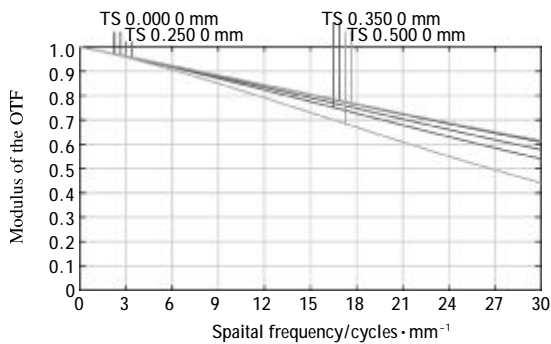


图 4 ICCD 相机镜头光学系统传递函数曲线
图 4 MTF of ICCD camera lens

3.2 结构设计

ICCD 镜头的轴向长度达到 1 468 mm,镜片直径 100 mm 左右,具有轴向长度与直径比较大的特点。从结构件加工工艺复杂性和镜片装调难易程度考虑,将 ICCD 镜头进行了划分:前镜筒组、中间镜筒组合后镜筒组,如图 5 所示。

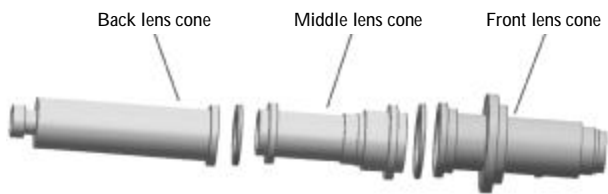


图 5 ICCD 镜头结构示意图
Fig.5 Structure chart of ICCD camera lens

4 靶定位监测系统试验

为了验证监测系统能够满足使用要求,搭建了试验平台,重点对监测系统重复定位精度和 ICCD 镜头分辨率进行了检测。

4.1 靶标重复定位辅助系统定位精度试验

实验平台由模拟工况工装、三维微位移平台、以及目标靶丝组成,如图 6 所示。

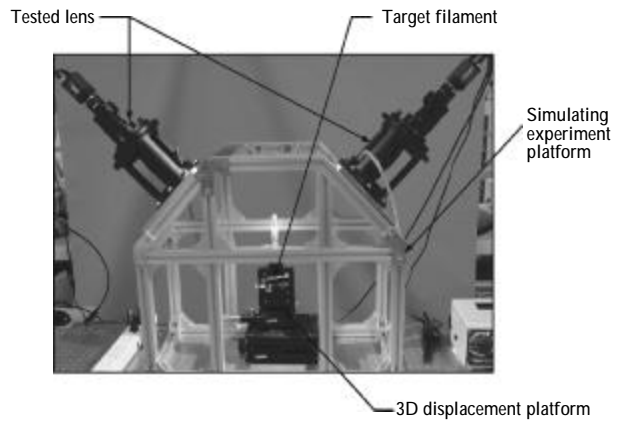


图 6 测量定位精度实验平台
Fig.6 Experiment platform of positioning precision test

试验中,将长 1 mm 芯径为 100 μm 的靶丝安装在微位移平台上,分别沿 X 向、Y 向和 Z 向进行调整,位移量为 σ ;靶标重复定位辅助系统实际测量的位移量为 σ' ,比较 σ 和 σ' 的差值,确定系统的定位精度。试验结果表明,监测系统能够分辨靶丝的位置变化优于 2 μm,误差小于 2%。

4.2 ICCD 镜头分辨率检测

ICCD 镜头选用 600 lp/mm 正弦光栅作为成像目标,检测光路如图 7 所示。图 8 为 ICCD 镜头检测过程中 600 lp/mm 正弦光栅成像样张,光栅条纹是可以清晰分辨的,因此 ICCD 相机镜头的物方分辨率达到 600 lp/mm。

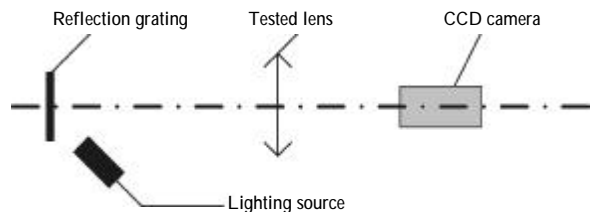


图 7 ICCD 镜头分辨率测试图
Fig.7 Optical resolution test of ICCD camera lens

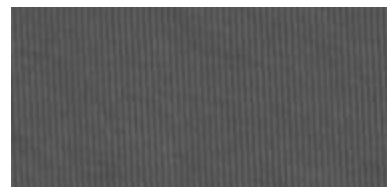


图 8 600 lp/mm 线光栅成像样张
Fig.8 Test image of 600 lp/mm optical grating

5 结论

靶标监测系统,用于靶标多次试验中的高精度

重复定位和靶标动态信息的记录。基于双目定位原理,利用显微镜和 CCD,通过图形质心算法,研制了微小靶丝高精度重复定位辅助系统;根据试验中靶标动态信息拍摄的要求,研制了前工作距离为 100 mm,放大倍率达到 10 倍的 ICCD 成像镜头。试验结果表明,监测系统能够分辨靶丝的位置变化优于 $2\ \mu\text{m}$,误差小于 2%;ICCD 成像镜头分辨率优于 600 lp/mm。

参考文献:

- [1] Yu Haijun, Zhou Weijun, Zhu Jun, et al. Detection of destruction process for bremsstrahlung converter target [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2010, 22(5): 1129-1130. (in Chinese)
- [2] Yu Haijun, Zhu Jun, Jiang Xiaoguo, et al. Damage diagnosis for bremsstrahlung converter target of Dragon-I linear induction accelerator [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2011, 23(4): 1035-1038. (in Chinese)
- [3] Zhu Shiping, Qiang Xifu. Analysis of 3D coordinate vision measuring methods with feature points on work piece [J]. Optics and Precision Engineering, 2000, 8(2): 192-197. (in Chinese)
- [4] Song Limei. Design and application of vision measurement system based on binocular stereo [J]. Journal of Southwest University of Science and Technology, 2006, 21(1): 30-34. (in Chinese)
- [5] Zhang Qingjun, Hu Xiulin, Ye Bin. Binocular vision-based relative position and attitude determination between spacecrafts [J]. Journal of Astronautics, 2008, 29 (1): 156-161. (in Chinese)
- [6] Han Jiandong, Lv Naiguang, Wang Feng, et al. 3D data registration method based on optical location tracking technology [J]. Optics and Precision Engineering, 2009, 17 (1): 45-51. (in Chinese)
- [7] Liu Jianwei, Liang Jin, Zhang Dehai. Industrial vision measuring system for large dimension work-pieces[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18 (1): 126-134. (in Chinese)
- [8] Li Ruifeng, Li Qingxi. Calculation of the position between mobile robot and object based on two CCD cameras [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2007, 39(11): 1719-1722. (in Chinese)
- [9] Zhen Yuanjie, Yang Jie. Application of binocular vision system based on one camera in computer vision[J]. Infrared and Laser Engineering, 2004, 33(4): 392-396. (in Chinese)
- [10] GuoYubo, Yao Yu. Structural parameter optimization of binocular vision measuring system [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 35(S): 506-509. (in Chinese)
- [11] Ye Haijia, Chen Gang, Xing Yuan. Stereo matching in 3D measurement system using double CCD structured light [J]. Optics and Precision Engineering, 2004, 12 (1): 71-75. (in Chinese)
- [12] Chen Gang, Yao Yingxue. 3D datum mosaic method of multi view and large scale based on optical coding [J]. Optics and Precision Engineering, 2008, 16(7): 1309-1314. (in Chinese)
- [13] Li Xiaotong, Ceng Zhaofeng. Geometrical Optics Aberration Optical Design [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2004. (in Chinese)
- [14] Xia Aili, Ma Caiwen. Measurement of focal spot centroid based on image processing [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2011, 22(10): 1542-1545. (in Chinese)
- [15] Zhang Yanan, Shen Lili, Shen Weixing, et al. Design of support distribution for attitude-adjusting mechanism of large lens [J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(12): 2625-2631. (in Chinese)