

·测试、试验与仿真·

观瞄系统光轴平行性原位检测研究

杨建昌, 易 璁, 闫宗群, 王林森

(装甲兵工程学院 控制工程系, 北京 100072)

摘要:介绍了一种利用PSD器件实现观瞄系统光轴平行性的原位检测方法, 对大轴间距光路采用折转光路设计进行压缩, 减小了测试系统外形尺寸, 提高了系统机械稳定性; 对光斑重心位置的测量采用了高精度位置传感器PSD, 简化系统结构, 提高了测量精度。

关键词:观瞄系统; 光轴平行性; 原位; 检测

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2017)-01-0065-04

Research on Original Position Inspection of Optic-axis Parallelism for Observation and Aiming Systems

YANG Jian-chang, YI Quan, YAN Zong-qun, WANG Lin-sen

(Department of Control Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: An original location inspection method using the position sensitive detector (PSD) for the optic-axis parallelism of the observation and aiming system is introduced. The bend-over design of optic path compresses the big axis distance into small, reduces the size of the detection system and enhances its stability. The high precision PSD is used to detect the gravity position of light spot to simplify system structure and improve measurement accuracy.

Key words: observation and aiming system; optic-axis parallelism; original position; inspection

近年来, 光电位移检测技术的应用已较为成熟, 光电位置敏感器件PSD(position sensitive detector)是一种应用于光电传感器的半导体位置敏感元件, 与CCD图像传感器相比, PSD敏感表面连续分布, 以输出模拟信号来反映入射光点能量重心位置, 因此分辨率高, 误差小。且PSD具有体积小、噪声低、光谱响应范围大、响应速度快、价格低、应用电路简单, 不需要复杂光学聚焦系统的优点, 因而广泛应用于各类精确测量、人工智能等领域。因而, 采用PSD实现光轴精度原位检测, 对于简化测试条件, 提高测量精度是可行的。

1 检测系统设计原理

在各型观瞄系统中, 由于白光观察瞄准系统和

激光接收系统通常共用光学通道, 而仅在棱镜处分光, 在结构设计、生产中能保证棱镜组件粘接时瞄准镜分划板中心与激光接收小孔光阑中心共轭, 因此在结构上保证了整机瞄准光轴与激光接收光轴的平行性要求, 如图1。

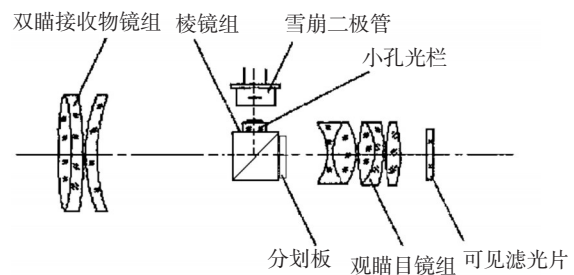


图1 观察瞄准系统和激光接收系统结构图

收稿日期: 2016-10-24

基金项目: 2014CX04

作者简介: 杨建昌(1975-), 男, 陕西西安人, 博士研究生, 装甲兵工程学院讲师, 研究方向为目标探测与识别。

这样,三轴平行性检测实际上就变成了瞄准光轴与激光发射光轴二轴的平行性检测。

瞄准光轴与激光发射光轴的平行误差实际上是观瞄系统物镜主点到分划板中心连线与发射轴的误差。反映在分划板上则是激光在分划板上的光斑与分划板中心不重合,如图2。

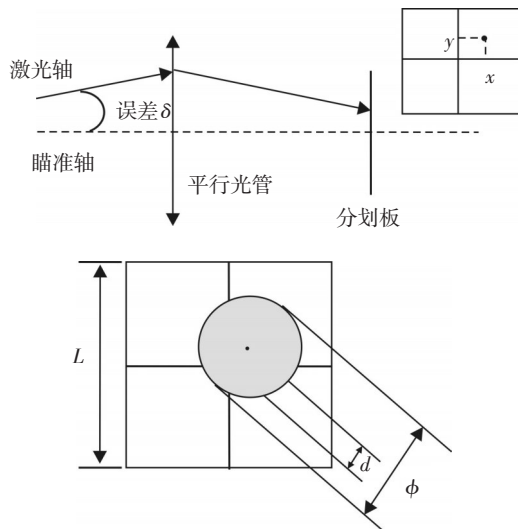


图2 光轴误差测量的原理图

平行光管焦距 f , 瞄准光轴与激光发射光轴的平行误差为 δ (按密位计算), 激光光斑中心在分划板上的位置与分划板中心距离为 d , 则有下式

$$\delta = d / f \quad (1)$$

因此,只需要测量出光斑偏离轴心距离 d 值,即可得出平行误差角为 δ 。光斑偏移量为

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2)$$

激光光斑中心在分划板上的位置与分划板中心的距离的水平分量 x 和垂直分量 y 可以由 PSD 测出。

2 检测系统设计方案

2.1 检测系统结构

检测系统结构框图如图3所示。

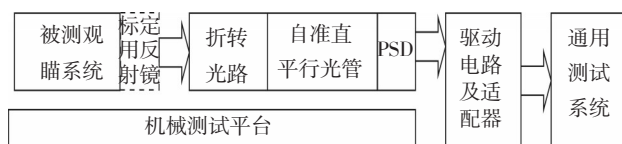


图3 检测系统结构框图

其中机械测试平台用于使测试系统与车体固定,同时平台上设置有微调机构,用于调整测试系统的空间位置。瞄准镜在设计制造时,通常将镜体外表面加工成基准面,它与光轴高度垂直,用作调试时的基准。系统中,对于调整平行光管光轴与瞄准镜光轴平行则基于此基准。在对准时,在瞄准镜物方镜体外表面紧贴一平面反射镜,调整机械平台上微调机构,通过自准直平行光管进行对准,使之与被测试系统瞄准光轴同轴平行,而同时通过瞄准镜分划对准平行光管分划,使两光轴同轴。

2.2 检测光学系统的设计

观瞄系统镜体露于车体上的部分很少,大口径的平行光管无法调整到理想位置,且稳定性差,因此文中采用了折转光路将大轴间距进行压缩,缩小了平行光管口径,同时对整体光路进行折转,以减小测试系统整体尺寸,增强系统机械稳定性,系统光路如图4所示。

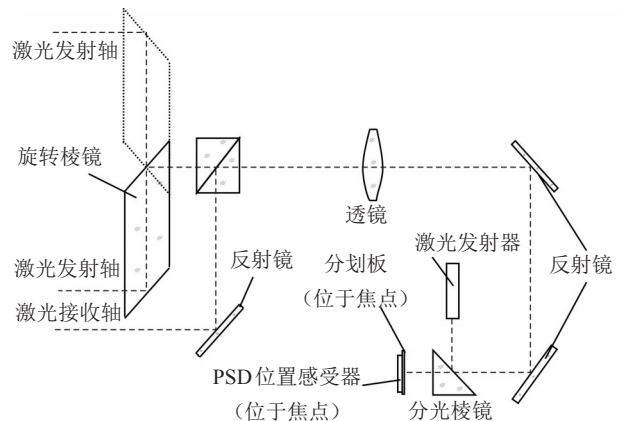


图4 系统光学设计图

2.3 PSD传感器的选择

通过市场调查对比,选用了欧光 DL16-7 型 PSD,有效感光面积为 $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$,位置分辨率为 $0.06 \mu\text{m}$,位置探测误差为 $\pm 1.00\%$,响应波段 $350 \sim 1100 \text{ nm}$ 峰值波长为 900 nm ;暗电流为 30 nA ($V_R = 10 \text{ V}$);峰值灵敏度为 0.62 A/W 。

3 误差分析

光轴误差检测系统的误差分析,是以误差理论作基础,依次分析系统各个部分误差因素对最终测

量精度的影响。由于影响系统精度的误差来源较多,而且误差之间的关系极为复杂,要完全提出它们之间的数学关系尚不可能,因此在对光轴平行度检测系统进行误差分析时,将复杂的实际系统加以简化理想化,即在分析某个环节的误差时,其他各环节部件都是理想的,不存在误差,最后对误差按一定的简化模型加以合成。

通过对整个检测系统的论证与分析,在该系统中可导致误差的主要环节有:对准误差,折转光路组件对光束的折转误差,透镜误差以及PSD测量误差。

3.1 对准误差

对准误差分为两部分,一部分是自准直平行光管对准误差 α ;另一部分为平面反射镜两平面平行误差 β ,将会对光轴平行度 δ 产生 2β 的影响。如图5。

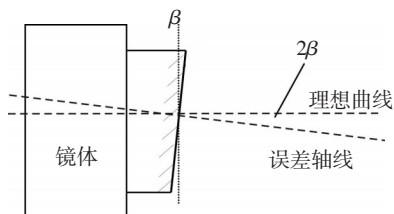


图5 平面反射镜引入的误差

3.2 旋转棱镜对光路的折转误差

旋转棱镜在对轴距进行压缩时,旋转棱镜两平行反射面平行度的误差 γ ,则将引入的误差为 2γ ,如图6。

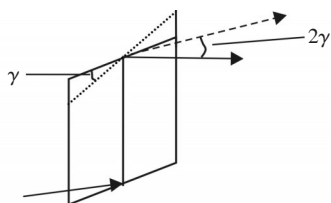


图6 旋转棱镜引入的误差

3.3 透镜像差

透镜像差对光路的影响主要分为轴向和径向,在系统中,径向影响占主要因素。用下式表示

$$x' = x + \Delta x_{(x,y)}, y' = y + \Delta y_{(x,y)} \quad (3)$$

其中, x, y 是无畸变图像坐标; x', y' 为畸变后的相应坐标,每个坐标的位置误差量通常取决于点的位置,如图7。

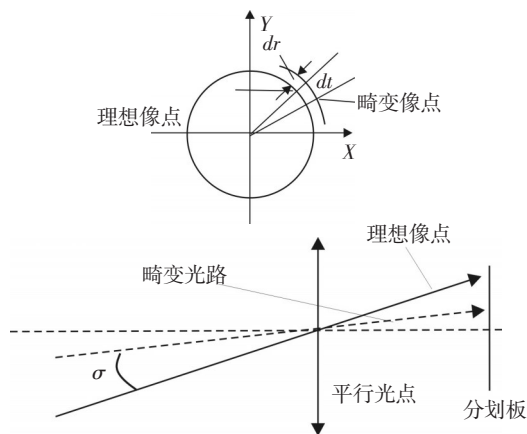


图7 透镜畸变产生的误差

在理想状况下,即无其他误差时,径向误差 Δr 对光轴平行度 δ 的数值产生影响,而切向误差 Δt 对光轴平行度 δ 的方位产生影响。该影响属透镜固有性质,对光轴平行度 δ 引入的误差 σ 取决于透镜成像质量。

3.4 PSD测量误差

PSD 位置分辨率为 $0.06 \mu\text{m}$, 位置探测误差为 $\pm 1.00\%$, 文中 PSD 对光斑位置探测误差 Δr 为

$$\Delta r = \pm 1.00\% \cdot d \quad (4)$$

其中, d 为光斑偏离平行光管光轴的距离,在近轴情况下,有

$$d = f \cdot \delta \quad (5)$$

则

$$\Delta r = \pm 1.00\% \cdot f \cdot \delta \quad (6)$$

Δr 对光轴平行度 δ 的影响如图8。

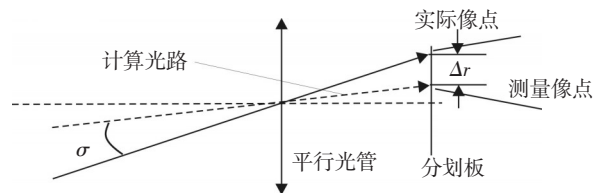


图8 PSD测量误差

Δr 对光轴平行度 δ 的影响为引入误差 ζ , 在近轴情况下,有下式

$$\zeta = \Delta r / f = \pm 1.00\% \cdot \delta \quad (7)$$

3.5 误差合成

按误差理论中误差合成高斯方法,合成误差 $U_{0.95}$ 为

$$U_{0.95} = \sqrt{\sum \varepsilon_i^2} = \sqrt{\alpha^2 + (2\beta)^2 + (2\gamma)^2 + \sigma^2 + \varepsilon^2} = \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2 + 4\gamma^2 + \sigma^2 + (0.01\delta)^2} \quad (8)$$

式中, $U_{0.95}$ 为置信概率为 0.95 时的不确定度,由系统误差(不确定度)分量 ε_i 合成。其中 α 取决于平行光管焦距大小,焦距越大, α 越小,对准精度越高,但其外形尺寸和质量会随之增加,稳定性也会随之降低,由于各误差对光轴的影响为矢量值,具有方向性,各测量误差存在相互抵消的可能,针对具体被测观瞄系统,理论测量精度达到了测量要求。

4 结论

通过实际测试,测试精度比理论值稍低,原因在于实际测量中各环节误差之间的相互关系比误

差模型要复杂,同时测量中伴有随机误差,但是,测试精度仍能达到较高标准。

由误差模型可知,在加工工艺一定的情况下,PSD 的应用,大大降低了对光斑位置的测量误差,提高了光轴平行度测量精度。相比较现行的测试方法,本系统的测试精度有了很大的提高。

参考文献

- [1] 刘晓伟. 光轴误差的数字化检测技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2007.
- [2] 曾嫦娥. 脉冲激光测距机瞄准轴与接收轴平行性测试方法研究[J]. 光学技术,2005(9).
- [3] 曾超. 光电位置传感器 PSD 特性及其运用[J]. 光学仪器,2002(8).
- [4] 罗先河. 光电检测技术[M]. 北京:北京航空航天大学,2000.
- [5] 程守澄. 光学仪器检校[M]. 北京:兵器工业出版社,1992.
- [6] 王旭高. 弱信号检测技术[M]. 北京:高等教育出版社,1991.
- [7] 苏大图. 光学测量与像质鉴定[M]. 北京:北京工业学院出版社,1988.

《光电技术应用》期刊简介

《光电技术应用》期刊是中国电子科技集团公司主管,中国电子科技集团公司光电研究院主办,公开发行的学术性中文科技期刊。以光电技术为主要专业特色,传播光电技术、光电系统应用技术专业领域的先进科技信息,报道新型科技成果,推动工程技术交流,促进行业科技进步与发展。

期刊所设栏目主要有:综述,光电系统,光学设计,红外技术,激光技术,光电探测,光电器件与材料,信号与信息处理,电路与控制,测试、试验与仿真等。

期刊拥有优秀的编委会成员,审稿专家涉及光电技术的各个领域,具有审稿速度快、质量高,编辑人员具有较高的职业素质,工作认真负责、反馈速度快,期刊版面设计合理、美观大方,印刷质量好,出刊及时。

竭诚欢迎广大读者踊跃投稿。