

文章编号:1002-2082(2007)02-0125-04

CCD 在微光夜视瞄准镜检测系统中的应用

高有堂^{1,2}, 常本康¹, 田 思^{1,2}, 邱亚峰¹, 乔建良^{1,2}

(1. 南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094;

2. 南阳理工学院 电子与电气工程系, 河南 南阳 473004)

摘要: 多环境试验条件下的微光枪瞄检测技术一直是军备生产所关注的问题。由于在振动、射击、冲击、跌落和高低温环境等载荷作用下,微光枪瞄机械、光学和电性能结构及参数会发生改变,致使微光枪瞄不能正常工作和使用,所以设计了多环境试验条件下的微光枪瞄检测与测试系统。对测试系统的光路进行了规划,即对被检查对象(微光枪瞄)的安装要求是微光枪瞄的物镜应置于平行光管出射光口的“较近处”。给出了由CCD 组成检测系统的工作原理,分析了系统成像的详细过程。通过对平行光管和CCD 变焦镜焦距计算,并结合实际工程应用,使该检测系统的测量精度(≤ 0.05 密位)和测量范围(≥ 40 密位)均满足了项目使用要求。

关键词: 系统成像; CCD; 微光瞄准镜; 光学设计

中图分类号: TN247

文献标志码: A

Application of CCD in detection system for low-light-level night-vision sight

GAO You-tang^{1,2}, CHANG Ben-kang¹, TIAN Si^{1,2}, QIU Ya-feng¹, QIAO Jian-liang^{1,2}

(1. Institute of Electronic Engineering and Optical Technology, NanJing University of Science &

Technology, Nanjing 210094, China; 2. Department of Electronic and Electrician

Engineering, Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473004, China)

Abstract: The low-light-level (LLL) weapon sight measurement under different environment conditions are always interested by military equipment manufacturers. Due to the impact of shock, vibration, shooting, high temperature or low temperature environment as well as other environmental factors, the mechanics, optics and electric performance of the LLL sights will be changed, and the LLL sights can't function properly. A test and measurement device was designed to test weapon LLL sights operating in different test conditions. The working principle of the detection system established with CCD is given, and the detailed imaging process of the system is analyzed. Based on the calculation of the focal length for the collimator and CCD zoom lens as well as the practical application, the system is designed with measurement accuracy better than 0.05 mil and the measuring range greater than 40 mil.

Key words: system imaging; CCD; LLL sight; optical design

收稿日期:2006-09-15; 修回日期:2006-12-10

基金项目:总装备部某军品研究所科技攻关项目(JY50820041130);河南省科技厅基金项目(0524220069)

作者简介:高有堂(1965—),男,河南周口人,南京理工大学在读博士,南阳理工学院副教授,主要从事微光夜视技术、光电图像处理与系统研究工作。E-mail:gaoyoutang@163.com

引言

环境适应性是装备的重要质量特性。对军用瞄准镜而言, 没有好的环境适应性就无法发挥作战效能^[1]。环境试验是兵器研制过程中一个必不可少的重要环节, 对提高兵器的可靠性有着重要作用。一件兵器不论采用多么先进的技术, 设计和制造得多么精巧, 最终要适应其使用的环境, 在该环境的实战中稳定地发挥作用, 取得更大的歼敌效果。兵器对环境的适应性最终必须靠环境试验来检验, 这是关系到士兵生命的重要问题。例如, 有的兵器在平原地区使用得非常好, 但不能想当然地认为它在高原、寒冷和酷热地区使用时会表现得同样好。实际上它很可能表现得不那么好, 或者表现得很不好。要提高微光夜视瞄准镜装备的环境适应性, 及时、充分地开展环境试验和系统检测技术的研究是必由之路。本文介绍了检测系统组成, 阐述了系统性能指标与工作原理, 最后给出检测系统的检测过程与多环境试验对微光夜视瞄准镜的影响。

1 检测系统技术要求

微光夜视瞄准镜检测系统主要用于多试验环境下测量微光夜视瞄准镜零位移的偏差量, 具体讲是在软件的自动控制下精确测定由于振动、射击、冲击、跌落和高低温等环境试验而引起的瞄准镜视轴变化量。

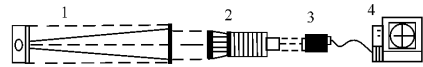
检测系统技术要求: 测量范围 ≥ 40 密位(军事上衡量角度和方向有时候要用到密位), 原华约集团国家和中国通常采用 6 000 密位制, 即把一个圆周分为 6 000 等份, 那么每一等份是 1 密位, $1 \text{ 密位} = 0.06^\circ = 0.001\ 047 \text{ rad} \approx 0.001 \text{ rad}$ 。美国等西方国家采用 6 400 密位制(国民党的“中正式”指北针也采用 6 400 密位制), 误差精度 ≤ 0.05 密位, 光照度为 $(0.2 \sim 1) \text{ lx}$, 光源色温 $(2\ 856 \pm 50) \text{ K}$; 光谱范围 $(0.4 \sim 1.0) \mu\text{m}$; 具有对测量数据进行处理、分析、报表生成、存储和查询等功能。

2 检测系统工作原理

系统由硬件和软件 2 部分组成: 软件部分完成微光图像采集、处理和数据分析; 硬件部分由靶板(平行光管上的分划板)、平行光管、被检测对象(微光夜视瞄准镜)、CCD 数字相机和计算机组成。辅助硬件设置有 USB 电缆线、摄像头支架、变焦镜头、微光瞄准镜座、平行光源及电源等。图 1 所示为

检测系统硬件组成示意图。

CCD 用于线度测量的技术是非常有效的非接触检测技术, 已广泛应用于各种加工件的在线高精度和高速度检测领域。由 CCD 像传感器、光学系统、计算机数据采集和处理系统构成的 CCD 光电线度检测仪器的使用范围和优越性是现有机械式、光学式、电磁式测量仪器都无法比拟的。这与 CCD 本身所具有的高分辨率、高灵敏度、像素位置信息强、结构紧凑及其自扫描的特性密切相关。该测量方法无须配置复杂的机械运动机构, 从而减少了产生误差的来源, 使测量更准确、更方便^[2-3]。



1—平行光管; 2—被检测对象(夜视瞄准镜);
3—CCD 数字相机; 4—计算机

图 1 检测系统硬件组成示意图

Fig. 1 Hardware construction of measuring system

试验前, 由 CCD 摄像设备采集微光夜视瞄准镜平行光管上的“十字”分划板(也称靶板)和微光瞄准仪荧光屏分划板合成的迭加图像, 再通过 USB 2.0 电缆线将图像传送到计算机等待处理计算。随后对微光夜视瞄准镜进行多环境试验(振动、冲击、跌落、射击和高低温), 用 CCD 采集微光夜视瞄准镜试验后的靶板(平行光管上的分划板)和微光瞄准仪荧光屏分划板图像。计算机计算数据前先对系统进行标定, 即通过靶板给出的标尺长度, 计算出每个像素实际表示的密位值。计算机计算数据时, 是将靶板十字中心定为参考点, 产品内部分划板的箭头定为准星模板, 由计算机读出产品试验前后准星模板和参考点的坐标值(即像素值), 再分别算出准星模板和参考点分别移动了多少像素。根据标定时算出的每个像素实际表示的密位值, 即可计算出水平偏差量和垂直偏差量的密位值。最后根据产品零位偏差量要求知, 该方法不仅可提高微光瞄准镜零位的检测精度, 而且还能准确判断产品是否合格。图 2 所示是微光夜视瞄准检测系统原理框图。



图 2 微光夜视瞄准检测系统原理框图

Fig. 2 The principle block diagram of LLL night-vision sight measurement system

3 系统成像分析与计算

由于平行光管光源发出的光经过“十字”靶板,此时“十字”靶板调节在平行光管物镜的焦平面上,即平行光管发出的是平行光束,因此靶板的像相当于无穷远成像。又由于“十字”靶板是装在平行光管上静止不动的,所以对它的检测主要是鉴定微光枪瞄物镜位移的变化。对被检查对象(微光枪瞄)的安装要求是微光枪瞄的物镜应置于平行光管出射光口的“较远处”,以便接收“十字”靶板图像。 D_p 是平行光管物镜, f_p 是对应的焦距; D_o 是瞄准镜物镜, f_o 是对应的焦距; D_e 是瞄准镜目镜, f_e 是对应的焦距; D_c 是CCD变焦物镜, f_c 是对应的焦距。图3所示是系统成像光路图。

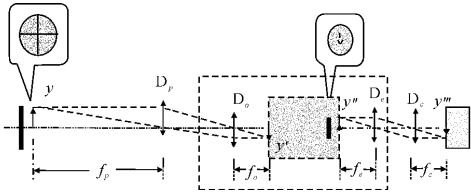


图3 系统成像光路图

Fig. 3 Optical path diagram of system imaging

同时,微光枪瞄像增强器的荧光屏上还有小分划板,小分划板位移变化直接影响枪瞄的瞄准精度,CCD采集到的图像将是两分划板迭加在一起的微光图像。图4所示是微光枪瞄经过振动环境试验前后检测系统获取到的微光图像。

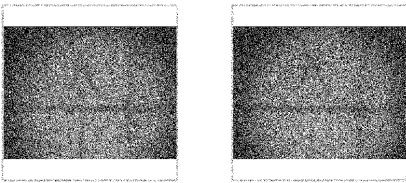


图4 振动试验前后检测系统获取到的微光图像

Fig. 4 LLL images acquired by detection system before and after vibration

由于被接收微光瞄准镜经设计、加工和装调后已经保证了严格的成像关系,采用轴向装载被测对象(微光瞄准镜)方法,保证了重复装载带来的人为误差。成批生产同一型号微光瞄准镜,环境试验前的检测与环境试验后的检测必须使CCD摄像机的焦距保持一致,这样才能保证测量精度。

因CCD摄像机的变焦物镜接收来自微光瞄准镜目镜显示出射的图像,因此,CCD也应置于距瞄准镜目镜较近的位置。同上面的“较远处”一样,

都是为了降低光信号强度的损失。设计时,CCD探测器矩形光敏感面必须位于镜头物镜的焦平面上,根据选择的CCD型号可以知道光敏感面为 $6.4\text{ mm} \times 4.8\text{ mm}$ 。结合常用平行光管,实验选择焦距 $f_p=550\text{ mm}$,直径为 55 mm 的平行光管^[4]。

3.1 平行光管焦距计

平行光管是用来产生平行光的,它不仅是装校、调整、检验光学仪器的重要工具,也是重要的量度仪器。本测试系统将靶板视为“无穷远”目标,这个“无穷远”目标最小为 0 mm ,最大为 50 mm ,而计算机测试精度的保证是通过计算采集到的目标像素 $1\ 600 \times 1\ 200$ 的大小来定标计算的,所以采集到的目标图像应尽可能以CCD像敏感面为标准。为了达到测量 $(0 \sim 50)\text{ mm}$ “无穷远”目标变化时靶板的精度,可选择可变的CCD摄像机镜头满足系统测量要求。

根据图3分析,平行光管分划板(其长为 y)位于平行光管物镜 D_p 的焦平面上时,由它发出的光经过物镜 D_p 后成为平行光,经过微光瞄准镜 D_o 物镜后,成像在其微光瞄准镜的光阴极焦平面上,长为 y' 。由图中相似成像关系可以得出待测透镜的焦距 f_p :

$$f_p = \frac{y}{y'} f_o \quad (1)$$

式中: f_o 是微光瞄准镜物镜 D_o 的焦距,其值为 80 mm ; y 是光管分划板的有效直径,其值为 40 mm ; y' 是光管分划板成在微光瞄准镜光电阴极焦平面上的图像,最大值等于光电阴极的输入直径 φ ,根据测量的瞄准镜选择像增强器光阴极输入输出为 $\varphi 20/20$ 。

把上面数据代入(1)式,得到:

$$f_p = \frac{y}{y'} \cdot f_o = (80 \times 40) / (0 \sim 20) = 160\text{ mm} \sim \infty$$

根据上面的计算并结合常用平行光管,实验选择焦距 $f_p=550\text{ mm}$,直径为 55 mm 的平行光管。

3.2 CCD镜头焦距计算

根据图3的光路和成像分析,平行光管分划板图像经过平行光管镜头 D_p 和微光瞄准镜物镜 D_o 成像在像增强器的阴极上,成像关系为 $y' = \frac{f_o}{f_p} y$,为负像。像增强的图像传输是倒像方式,在荧光屏显示为正像(y''),且 $y'' = y'$ 。 y' 图像再经过微光瞄准镜目镜 D_e 和变焦镜头 D_c 成像在CCD探测器的像敏感面上,成像关系为 $y''' = \frac{f_c}{f_e} y''$,为负像。要求 y''' 图像

成像在 CCD 敏感面以较短边 4.8 mm 为直径的圆内^[5],综合上面的关系可得到以下关系:

$$y''' = \frac{f_c}{f_c'} \cdot \frac{f_o}{f_p} y \tag{2}$$

根据上面检测系统部件的选择,平行光管 D_p 的焦距 = 550 mm, 相对孔径 D/f 为 1/10, 所以平行光管的直径为 55 mm。本次检测的微光瞄准镜是物镜 D_o , 焦距为 $f_o = 80$ mm; 像增强器为倒像方式, 输入/输出直径为 $\varnothing 20/20$; 瞄准镜(目镜 D_e) 的焦距 $f_e = 20$ mm。CCD 摄像机 DH-HV 系列为 CMOS 传感器, 尺寸约为 1.41 cm, 理论计算像敏面宽高

为 6.72 mm × 5.04 mm, 实际应用像敏面宽高约为 6.4 mm × 4.8 mm。

由上面给出的数据, 平行光管分划板可视直径应该是 $0 \text{ mm} \leq y \leq 55 \text{ mm}$, 实际制作的分划板为 $5 \text{ mm} \leq y \leq 50 \text{ mm}$ 。终端 CCD 像敏面显示的图像以充满像敏面高 4.8 mm 为直径的圆, 这样有利于系统检测与分析, 所以取最大值为 4.8 mm。

把上述的数据代入下面的关系式(3), 得到如表 1 的 CCD 变焦镜头焦距计算数据:

$$f_c = \frac{y''' f_c' f_p}{y f_o} \Big|_{y=5} \rightarrow 50 \tag{3}$$

表 1 CCD 变焦镜头焦距计算数据(单位: mm)

Table 1 Calculated data of CCD zoom lens focus (unit: mm)

平行光管分划直径(y)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
瞄准镜目镜焦距(f_e)						20				
平行光管焦距(f_p)						550				
瞄准镜物镜焦距(f_o)						80				
CCD 像敏面成像(y''')						4.8				
CCD 变焦镜头焦距/ (f_c)	132	66	44	33	26.4	22	18.9	16.5	14.6	13.2

由上述计算表格的数据可以看出, 在平行光管分划板可视直径取 $5 \text{ mm} \leq y \leq 50 \text{ mm}$ 时, 终端 CCD 像敏面显示的图像, 按照充满像敏面要求: CCD 变焦镜头焦距 (f_c) 应为 $12.9 \text{ mm} \leq f_c \leq 132 \text{ mm}$, 实际工程选择的 CCD 变焦镜头焦距 (f_c) 为 $12 \text{ mm} \leq f_c \leq 75 \text{ mm}$, 完全可以达到系统检测指标要求。

4 结 论

利用本文构成的微光夜视瞄准镜多环境试验检测系统对瞄准镜实际环境试验进行测试, 参照美军 MIL-STD-810 标准和我国 W2360《兵器产品自然环境试验方法环境因素监测》标准、环境工程军用标准 GJB 4239-2001《装备环境工程通用要求》, 其测试数据可靠, 完全达到军方要求。

在多环境试验的基础上, 对微光夜视瞄准镜的重要部件(如光学镜片、分划板、像增强器及环型紧固垫圈等)展开建模, 进行分析和优化, 为微光夜视瞄准镜的多环境试验优化设计提供了可靠依据。对获得的图像运用现代图像处理和小波分析理论, 发现其测量精度 ≤ 0.05 密位, 测量范围 ≥ 40 密位, 满足项目使用要求。

参考文献:

[1] 祝耀昌. 产品环境工程概论[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
ZHU Yao-chang. Introduction to Environmental Engineering Products [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2003. (in Chinese)

[2] 吴鸣镝. 稳瞄炮长镜加装 CCD 摄像机技术分析[J]. 应用光学, 2006, 27(5): 405-408.
WU Ming-di. Technology analysis of adding CCD camera to gunner's periscopes sight[J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(5): 405-408. (in Chinese)

[3] 李红岩, 达飞鹏, 金亚. 三维测量空间编码技术的研究[J]. 应用光学, 2006, 27(4): 344-349.
LI Hong-yan, DA Fei-peng, JIN Ya. Study on spatial encoding technique in 3-D measurement[J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(4): 344-349. (in Chinese)

[4] 王中民. 瞄准仪器原理与设计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.
WANG Zhong-min. The principle and design of sight device [M]. Beijing: Beijing University of Science and Technology Press, 1996. (in Chinese)

[5] 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2001.
WANG Qing-you. Application Technology of CCD [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2001. (in Chinese)