

基于类正弦测微法实现视差的快速定量测试

牛津^{1,2}, 徐熙平¹, 王舒², 安志勇¹

¹ 长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130114;

² 瞬态冲击技术重点实验室, 北京 102200

摘要 根据现阶段光电瞄具的靶场测试需求, 针对目前传统视差检测方法存在的无定量、大误差、低效率等缺点, 提出了一种基于类正弦测微法的视差检测方法, 该方法可实现光电瞄具视差的快速定量测试。采取传统摆头法的快速观测原理, 利用类正弦测微法实现定量数据获取, 构建出一台具有类正弦微动细分机构的改进型视差检测装置。选取了三类典型的光电瞄具样品, 针对 4 种视差测试方法进行详细的测试效果对比实验。结果表明, 基于类正弦测微法的视差检测方法及其装置不仅能够保证 $0.01'$ 的测试精度, 而且能够满足光电瞄具靶场测试中效率高、精度高的需求, 测试效果优于其他传统视差检测方法。

关键词 测量; 光电检测; 视差测试; 类正弦测微法; 光电瞄具; 快速定量测试

中图分类号 TH745

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201838.0412003

Fast Quantitative Parallax Test Based on Sine-Like Micrometric Method

Niu Jin^{1,2}, Xu Xiping¹, Wang Shu², An Zhiyong¹

¹ School of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology,
Changchun, Jilin 130114, China;

² Key Laboratory of Transient Impact Technology, Beijing 102200, China

Abstract According to the requirement of target range test of photoelectric sights at present stage, aiming at the defects of non-quantitative, large error and low efficiency of traditional parallax detection methods, a parallax detection method based on sine-like micrometric method is proposed. Quick and quantitative test of photoelectric sight parallax can be realized by the proposed method. Taking the fast-observing principle of the traditional pendulum method, sine-like micrometric method is used to realize the quantitative data acquisition, and an improved parallax detecting device with sine-like micromotion subdivision mechanism is constructed. Three kinds of typical optoelectronic sights samples are selected, and the test effect comparison experiments of four kinds of parallax test methods are conducted in detail. The results show that the parallax detection method and device based on sine-like micrometric method can not only ensure the testing accuracy of $0.01'$, but also meet the requirement of high efficiency and high precision in the target range test of photoelectric sights, and the test result is superior to other traditional parallax detection methods.

Key words measurement; photoelectric detection; parallax test; sine-like micrometric method; photoelectric sights; fast quantitative testing

OCIS codes 120.4800; 120.4570; 080.2740; 080.3685

1 引 言

近年来, 光电瞄具是轻武器的主流瞄具, 可提高轻武器的打击精度和杀伤力, 因此逐渐成为现代轻武器不可分割的组成部分^[1]。光电瞄具往往在其目

镜的物方焦平面上加装分划板以方便观察与瞄准。当分划板安装的位置有偏差时, 使用者的眼睛稍作上下移动, 像面与分划板间就会有相对移动的现象, 进而导致瞄准误差, 即视差^[2]。视差是光电瞄具光学系统性能的重要参数之一, 直接影响着轻武器的

收稿日期: 2017-08-21; 收到修改稿日期: 2017-10-24

基金项目: 总装备部预研基金(614260610103)、吉林省重点科技攻关项目(201502040044GX)

作者简介: 牛津(1988—), 女, 博士研究生, 工程师, 主要从事光电检测及仪器方面的研究。E-mail: niujin0615@163.com

导师简介: 徐熙平(1964—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事光电检测及仪器方面的研究。

E-mail: xxp@cust.edu.cn(通信联系人)

瞄准精度。轻武器瞄具在研制、定型阶段的靶场测试任务,较之产品的出厂验收任务存在着一定的差异,有其特定的需求特点:一是测试结果要求为定量数据,且测试精度要求较高,需为装备定型提供依据;二是测试过程要求简便快捷,易于操作。这就要求测试人员在测试方法的选择方面做到精益求精。

光学系统的视差可以用“视差角”和“视度差”两种方法表示,因而视差的检验方法也相应地分为两种:一种是检验视差角的方法,另一种是检验视度差的方法^[3-4]。基于以上两种视差表示原理,现常用的视差检测方法有摆头法、视度检查镜法和数字式光电检测法。

摆头法采用分划板上刻有全视差公差带的平行光管,人眼在待测瞄具出射光瞳平面内摆动,观察其分划板刻线相对平行光管公差带刻线像的移动量是否在技术指标公差带内。视度检查镜法是通过视度检查镜求出待测瞄具分划板视度 V'_{SD} 和物像的平面视度值 V_{SD} 的视度差 ΔV_{SD} ,再转换成角度表示视差值。随着光电探测技术的迅猛发展,逐步出现了以电荷耦合器件(CCD)数字图像判读技术为依托的数字式光电检测法,如于秋水等^[5]研制的轻武器瞄具参数测试系统和王铨^[6]提出的视差自动测量系统,均采用数字式光电检测法^[7-9]。此方法是利用高分辨率 CCD 来捕获图像信息并测试视差值,基本原理与视度检查镜法相同。

摆头法是快捷、方便且成本低的视差测试方法,但只能给出定性的判据结果;由于视度检查镜本身的制作精度低,视度检查镜法难以提供更高精度的测试结果;数字式光电检测法是采用自动调焦技术的检测方法,可实现高精度的客观检测,但系统复杂、成本高,测试效率相对较低。

本文结合上述现有测试方法的优缺点,提出了一种新型视差测量方法,采用摆头法的观察方式和类正弦测微法,研制具有类正弦微动细分机构的改进型视差检测装置,实现光电瞄具视差参数的快速、定量、高精度测量。

2 测试原理

测试原理如图 1 所示,将摆头法观察方式及类正弦测微法相结合,操作微动细分读数机构,利用旋转手轮带动辅助分划度盘一起转动,同时通过螺杆传动顶针带动补偿镜偏转,补偿镜的偏转使测试系统的光轴产生微量旁位移,直至摆头法观察到左右或上下 4 个极限位置的待测光电瞄具的电子分划十字光标竖线 L_1 或横线 L_2 与上述方格分划板的该特定十字点处 P_1 的竖线或横线完全重合,从微动细分读数机构上读出左右、上下 4 个极限位置格值的角度差值 Δx 、 Δy ,即为此光电瞄具水平方向和垂直方向的视差值。读数机构的面板示意图如图 2 所示。

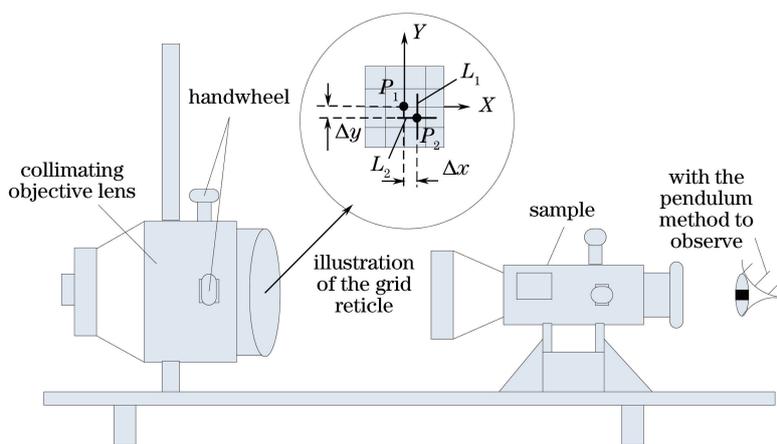


图 1 测试原理图

Fig. 1 Test schematic

2.1 摆头法观察方式

修改为“摆头法观察方式是当待测光电瞄具本身存在视差时,观察者眼瞳放在待测瞄具的出瞳平面内,并且上下、左右摆动头部,观察目标分划板像类正弦微动细分机构的改进型视差检测装置进行测

和电子分划板像之间的相对移动,由此可定性初步判定视差的正负及幅度的大小。

2.2 类正弦测微法

本研究所提出的类正弦测微法^[10],是基于具有量,并配合摆头法的观察方式进行视差检测。

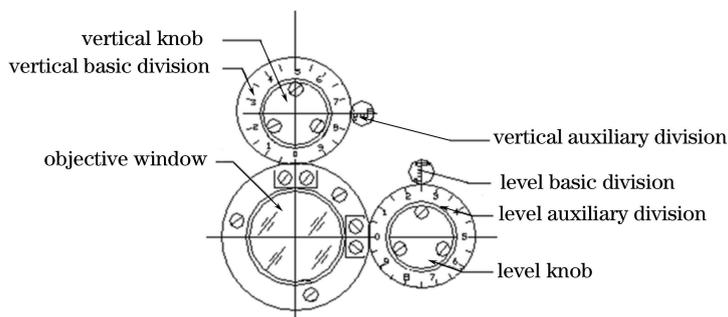


图 2 读数系统的面板示意图

Fig. 2 Schematic of the board of the reading institutions

2.2.1 改进型视差检测装置

改进型视差检测装置的主要部件是视差测定准直仪,该部件的设计中增加了微动细分读数机构,用以实现高精度微小角度的测量。微动细分读数机构采用类正弦测微机构^[11],如图 3 所示,螺杆推动顶针以类正弦方式移动;该机构实现简单,并具有较高的分辨力和较大的量程。其基本原理是通过微动读数细分机构中的螺杆传动推动平行玻璃板偏转,平行玻璃板的偏转使测量系统的光轴产生微量旁位移,从细分机构中相应的本分划和辅助分划读出平行玻璃板旁位移引起的角度变化,即可以反映光学瞄具的视差,如图 4 所示。其中,微动读数细分机构主要实现系统的读数细分目的,平行玻璃板的偏转实现系统的对零目的。微动对零细分机构对摆动角度 $I(I=5 \text{ mil}=0.3^\circ)$ 进行细分,则平行玻璃板的摆动角度 I 与旁位移量 z 的关系为:

$$z = f' \times \tan 0.3^\circ = 1.15 \text{ mm}. \quad (1)$$

式中 f' 代表准直物镜的焦距。

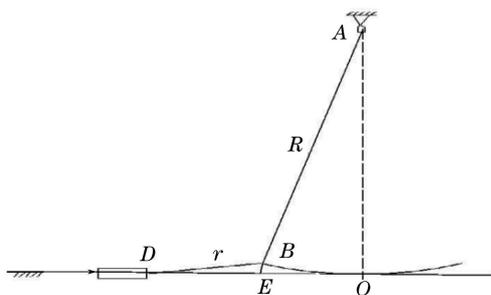


图 3 类正弦机构示意图

Fig. 3 Schematic of sine-like mechanism

2.2.2 精度分析

螺杆推动顶针以类正弦方式移动。设每 2.5 mil 角度偏移时, $z = 0.575 \text{ mm}$, 平板玻璃厚度 $d = 17.9574 \text{ mm}$, 折射率 $n = 1.613$, 则可知 $I = 4.82^\circ$ 。

如图 3 所示,根据整体机构摆长幅度,螺杆螺距

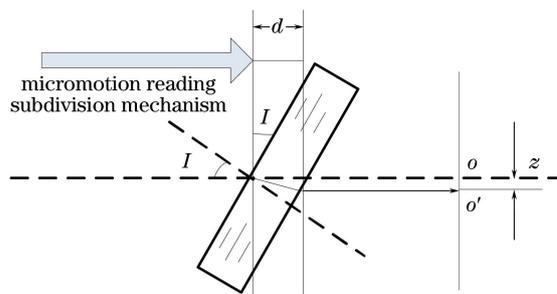


图 4 微动细分读数机构原理图

Fig. 4 Schematic of micromotion reading subdivision mechanism

$x = \tan I \times 37/2.5 \text{ mil} = 1.24696962 \text{ mm}$ 。装置采用 M8 × 1.25 的螺杆,摆长 $R = 2.5 \text{ mil} \times 1.25/\tan I = 37.08991726 \text{ mm}$ 。

如图 3 所示,设 $r = 16 \text{ mm}$ 以 O 为坐标原点。

1) 当摆动角度为 -2.5 mil 时, $\angle OAB = 4.816064258^\circ$, 则 A 点坐标为 $(0, 37.08991726)$ 。根据计算得: B 点坐标为 $(3.1139667148, 0.130951183)$, D 点坐标为 $(19.1134386, 0)$, $DE = 15.99946411 \text{ mm}$ 。

2) 当摆动角度为 1.5 mil 时, D 点的坐标为 $(-17.86343086, 0)$ 。以 A 点为圆心的圆的方程为:

$$x^2 + y^2 - 74.17983452y = 0, \quad (2)$$

以 D 点为圆心的圆的方程为:

$$(x + 17.86343086)^2 + y^2 = 16^2. \quad (3)$$

解(2)和(3)式联立的方程得到 B 点新坐标为 $(1.863499433, 0.046843248)$ 。又由 $\sin I = x/R$, 推得 $I = 2.8799100025^\circ$ 。

当摆动角度为 0.5 mil 时, D 点坐标为 $(16.61343086, 0)$, 以 D 点为圆心的圆的方程为:

$$(x + 16.61343086)^2 + y^2 = 16^2. \quad (4)$$

解(2)和(4)式联立的方程得到 D 点坐标为 $(0.613431666, 0.005073133)$, 计算得 $I = 0.94766045^\circ$ 。

依此类推,可得到摆动角度与微动位移量的计

算结果。可知,平板玻璃每转动 1 mil, z 改变 $1.15410233/5=0.230820466$ mm,平均值为玻璃每转动 0.01 mil, z 改变 0.002308205 mm。类正弦机构的最大偏差为 0.001031394 mm,根据准直物镜采用的焦距 f 为 219.63 mm、测量范围为 ± 10 mil 可知,微动读数细分机构结构简单,能够提高光学仪器的测量精度,精度达到 0.01 mil,即可以满足 0.01' 的视差测试精度^[12]。

3 测量装置

改进型视差检测装置由视差测定准直仪、固定导轨、瞄具固定座等组成,如图 5 所示。视差测定准直仪由平行光管、物镜窗、微动细分读数机构、方格分划板、白/微光可调光源、方位调节手柄、高低调节手柄、固定杆组成,是改进型视差检测装置的主体结构,如图 6 所示。

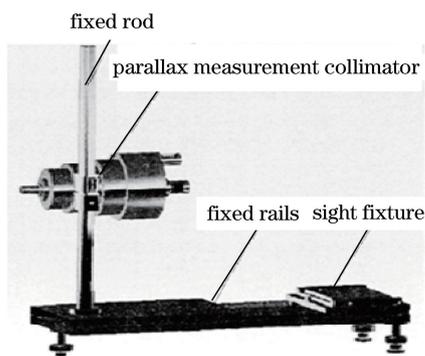


图 5 改进型视差检测装置示意图

Fig. 5 Schematic of improved parallax detection setup

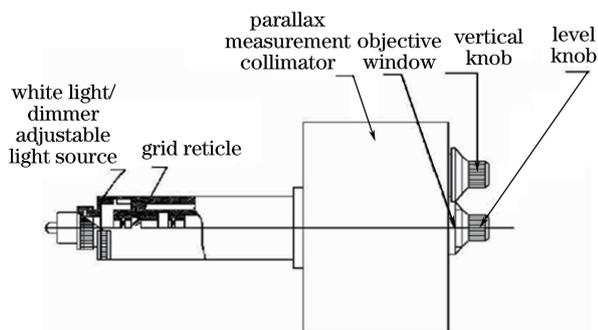


图 6 视差测定准直仪示意图

Fig. 6 Schematic of parallax determination collimator

平行光管的焦点处装有方格分划板,白/微光可调光源发出的光线经过平行光管后形成平行光,为待测光电瞄具提供无穷远的模拟目标;物镜窗为操作使用端,通过待测光电瞄具目镜可以观察到物镜窗内的方格分划板图像^[13-14]。

微动细分读数机构为测试操作的主要机构,如图 7 所示。其由水平旋钮和竖直旋钮组成,分辨率为 $2.16''$ (0.1 mil);水平旋钮和竖直旋钮分别在水平和竖直方向与方格分划板外切,转动水平旋钮和竖直旋钮可以使得方格分划板在水平方向或竖直方向进行微距离移动;水平旋钮和竖直旋钮上方各有一个玻璃面板,玻璃面板下刻画有精度为 1 mil 的刻度读数区间,为水平本分划、竖直本分划,范围为 0~5 mil;水平辅助分划和竖直辅助分划的环面均刻画有 100 个刻线,刻度值为 0.01 mil。采用微动细分读数机构可快速定量地检测出待测光电瞄具水平和竖直两个方向上的视差值,精度高达 0.01'。

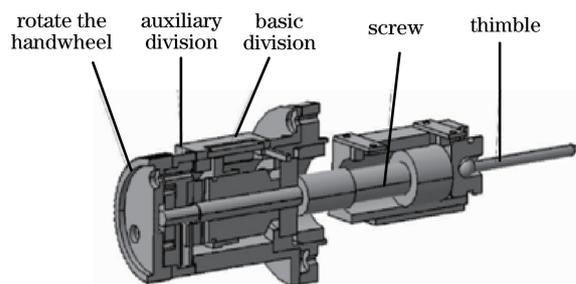


图 7 类正弦微动读数装置结构图

Fig. 7 Structure schematic of sine-like micromotion reading setup

白/微光可调光源由白光光源和微光光源组成,在照度 0.001~0.01 lx 范围内可调,可根据待测光电瞄具的种类来选择适配光源。方位调节手柄和高低调节手柄可以使平行光管在方位和高低方向调节并固定在固定杆上的合适位置。固定导轨用于稳固地支撑视差测定准直仪和瞄具固定座,并保证其在同一轴线内。瞄具固定座可根据待测光电瞄具的配枪情况更换适配连接座,以保证测量过程中待测光电瞄具的稳定。

4 比对验证实验

4.1 样品选取

目前,光电瞄具主要有白光瞄具、微光瞄具及光电复合式瞄具等类型,如枪用白光瞄具常用于短距离作战,要求瞄准精度高,因此视差指标严格;白光快速瞄具意在实现快速瞄准,因此视差指标较宽松;微光瞄具及光电复合式瞄具因具有各光电器件的特点,所以视差指标各有差异。

为了使对比实验更具有说明性和普遍性,随机抽取 XX 型白光瞄具(编号为 YP-1#)、白光快速瞄

具(编号为 YP-2#)和微光瞄具(编号为 YP-3#)作为实验样品,选取同一名专业测试人员,分别采用摆头法、视度检查镜法、数字式光电检测法和所提出的类正弦测微视差检测法对三具样品进行视差测试对比实验,并记录测试结果和完成时间。

三具样品的视差技术指标如表 1 所示。

表 1 三具样品的视差标称值

Table 1 Parallax nominal values of three samples

Numbering	Parallax nominal value
YP-1#	$\leq 1'$
YP-2#	$\leq 2'$
YP-3#	$\leq 2'$

4.2 摆头法实验

针对三具样品的技术要求,根据 GJB 4104.4-2000《轻武器测试规程 光学仪器》中对摆头法的要求,测试人员分别选用 $1'$ 和 $2'$ 的公差带进行视差测试,测试结果如表 2 所示。

从表 2 可知,针对不同类型的三具瞄具样品,摆头法可以快速地判别样品的视差值是否超差,但不

能给出具体定量的数值结果。

表 2 摆头法视差测试结果

Table 2 Parallax test results of pendulum method

Numbering	Parallax test result	Testing time /min
YP-1#	Horizontal and vertical directions: $1'$ tolerance zone is not out of tolerance	1
	Horizontal and vertical directions: $2'$ tolerance zone is not out of tolerance	
YP-2#	Horizontal and vertical directions: $2'$ tolerance zone is not out of tolerance	1
	Horizontal and vertical directions: $2'$ tolerance zone is not out of tolerance	

4.3 视度检查镜法实验

目前,国内常见的视度检查镜有两种,一种视差测试范围为 $-6 \sim +6$ SD,最小格值为 1 SD,编号为 SD-1;一种视差测试范围为 $-2.5 \sim +2.5$ SD,最小格值为 0.25 SD,编号为 SD-0.25。两种视度检查镜的实物图分别如图 8(a)、(b)所示。

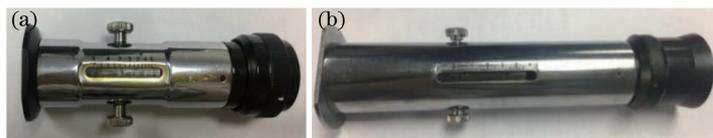


图 8 常见视度检查镜实物图。(a) SD-1;(b) SD-0.25

Fig. 8 Physical photo of common visibility check mirror. (a) SD-1; (b) SD-0.25

根据 GJB 4104.4-2000《轻武器测试规程 光学仪器》中对视度检查镜法的要求,分别选用 SD-1 和 SD-0.25 的视度检查镜对三具样品进行视差测试。

4.3.1 测试过程

以样品 YP-1# 测试为例,测试过程如下:

1) 提前测试出待测样品的出瞳直径和放大率,待测样品 YP-1# 的出瞳直径 $d_{YP-1\#}$ 和放大率 $\tau_{YP-1\#}$ 为:

$$d_{YP-1\#} = 15 \text{ mm}, \tau_{YP-1\#} = 1. \quad (5)$$

2) 首先调节视度检查镜 SD-1(或 SD-0.25)的视度,达到可以看清其分划板刻线。

3) 再将待测样品放置于平行光管、视度检查镜 SD-1(或 SD-0.25)之间,使得三者光轴重合,如图 9 所示。

4) 通过 SD-1(或 SD-0.25)和待测样品观察平行光管分划板,沿轴调节 SD-1(或 SD-0.25)直至看清平行光管分划板刻线像,读取 SD-1(或 SD-0.25)上的视度值并记为 $V_{SD,YP-1\#}$,如图 10(a)所示;SD-0.25 由于最小格值为 0.25 SD,因此只能读取估读值,如图 11(a)所示。

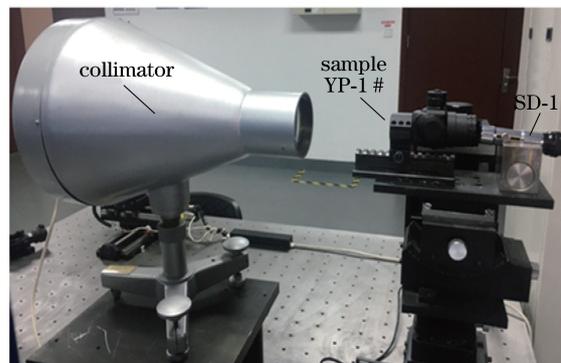


图 9 视度检查镜法测试 YP-1# 的视差实物图

Fig. 9 Physical photo of the parallax test for YP-1# by using visual inspection mirror method

5) 沿轴调节 SD-1(或 SD-0.25)直至看清 YP-1# 分划板刻线像,读取 SD-1(或 SD-0.25)上的视度值并记为 $V'_{SD,YP-1\#}$,如图 10(b)所示;SD-0.25 只能读取估读值,如图 11(b)所示。

6) 最后,按照下式计算待测样品的视差值:

$$\epsilon = \frac{3.44d}{\tau} \times \Delta V_{SD}, \quad (6)$$

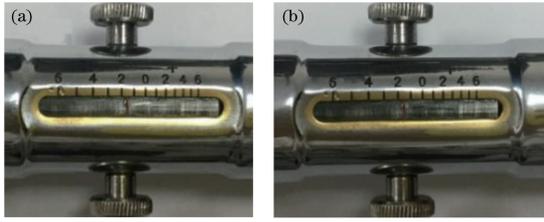


图 10 SD-1 视度值读取窗。(a) $V_{SD, YP-1\#}$; (b) $V'_{SD, YP-1\#}$

Fig. 10 SD-1 visibility value reading window.

(a) $V_{SD, YP-1\#}$; (b) $V'_{SD, YP-1\#}$

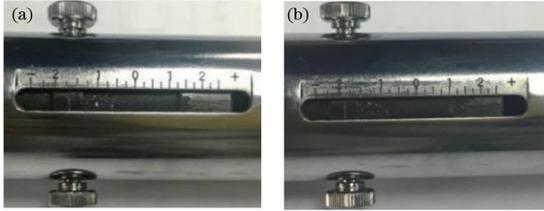


图 11 SD-0.25 视度值读取窗。(a) $V_{SD, YP-1\#} = -1.75$ SD (估读); (b) $V'_{SD, YP-1\#} = -1.98$ SD (估读)

Fig. 11 SD-0.25 visibility value reading window.

(a) $V_{SD, YP-1\#} = -1.75$ SD (estimated);

(b) $V'_{SD, YP-1\#} = -1.98$ SD (estimated)

式中 ϵ 为用角度表示的视差值,单位为角秒; τ 为待测瞄具的放大倍率; d 为待测瞄具的出瞳直径,单位为 mm; ΔV_{SD} 为视度检查镜测得的待测瞄具的视差值,单位为屈光度^[15-16]。

4.3.2 测试结果

1) 待测样品 YP-1# 采用 SD-1 测试, V'_{SD} 和 V_{SD} 均在同一格值中,无法判断其差值大小,因而无法得出准确值;

2) 待测样品 YP-1# 采用 SD-0.25 测试得到的视差估算值为:

$$\epsilon_1 = \frac{3.44d}{\tau} \times \Delta V_{SD} = \frac{3.44 \times 15}{1} \times (-0.23) = -0.198'; \quad (7)$$

3) 根据同样的测试过程,该测试人员分别使用视度检查镜 SD-1、SD-0.25 对其他两具样品也进行检测。三具样品的视差测试结果如表 3 所示。

从表 3 可知,针对不同类型的三具瞄具样品,视度检查镜法由于仪器精度较低,可给出定量的估算结果;对于不同测试人员,其测试方式存在差异,可能会导致测试结果在一定范围内浮动。另外,由于需要提前测试待测样品的放大率和出瞳直径,针对不同样品要重新调整光路,所以测试时间略长。

4.4 数字光电检测法实验

采用长春理工大学研制的白/微光瞄具性能检

测系统,分别对三具样品进行视差测试,测试装置如图 12 所示^[17-20]。

表 3 视度检查镜法视差测试结果

Table 3 Parallax test results by using visual inspection mirror method

Device	Numbering	Parallax test result	Testing time /min
SD-1	YP-1#	V_{SD} and V'_{SD} are in the same lattice value, cannot be determined	30
	YP-2#	Estimated value: 1.1'	29
	YP-3#	Estimated value: 1.5'	32
SD-0.25	YP-1#	Estimated value: -0.198'	28
	YP-2#	Estimated value: 1.0'	26
	YP-3#	Estimated value: 1.3'	29

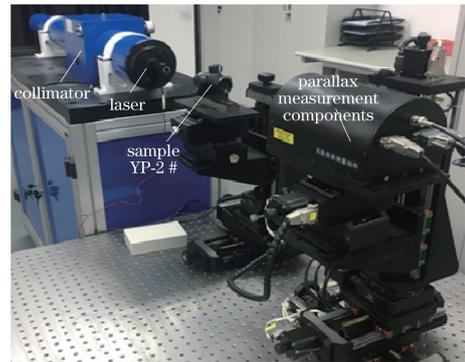


图 12 数字光电检测法测试装置

Fig. 12 Test setup of digital photoelectric detection method

4.4.1 测试过程

以样品 YP-2# 测试为例,测试过程如下:

1) 提前测试出待测瞄具 YP-2# 的出瞳直径及放大率值;

2) 首先用半导体激光器调整装置中的 CCD 摄像系统、待测瞄具 YP-2# 及平行光管的光轴,使三者的光轴一致;

3) 打开测试软件,移开待测瞄具 YP-2#,调整 CCD 摄像光学系统使平行光管产生的无穷远环形分划板成像清晰,如图 13 所示,设定为零视度基准;

4) 移入待测瞄具 YP-2#,调整 CCD 摄像系统前后移动,使环形分划板经待测瞄具后成像清晰,记录并完成平行光管分划板的视度值的测量;将环形分划板换成十字分划板,调整 CCD 摄像系统前后移动,使待测瞄具分划板成像基本清晰,如图 14 所示,完成待测瞄具分划板的视度值的测量;

5) 输入待测瞄具 YP-2# 的出瞳直径值和放大率值,利用计算机软件根据(6)式自动计算出待测瞄具视差值。



图 13 环形分划板像

Fig. 13 Circular reticle image

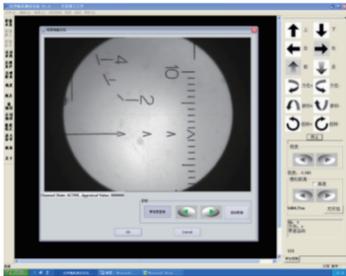


图 14 待测瞄具分划板像

Fig. 14 Reticle image of the sight to be measured

4.4.2 测试结果

根据同样的测试过程,测试人员对其他两具样品也进行检测,三具样品的视差测试结果如表 4 所示。

表 4 数字光电检测法测试结果

Table 4 Test results by using digital photoelectric detection method

Numbering	Parallax test result /($'$)	Testing time /min
YP-1 #	-0.1898	45
YP-2 #	0.9877	52
YP-3 #	1.2893	55

从表 4 可知,针对不同类型的三具瞄具样品,数字光电检测法可给出定量的精确视差结果,但由于需要提前测试待测样品的放大率和出瞳直径,针对不同样品要重新调整光路,操作过程较为复杂,测试时间较长。

4.5 类正弦测微视差检测法实验

采用改进型视差检测装置,分别对三具样品进行视差测试,测试装置如图 15 所示。

4.5.1 测试过程

以样品 YP-1# 测试为例,测试过程如下:

1) 根据待测光电瞄具的类型,选择恰当的白/微光可调光源,并调节至合适照度。根据待测样品的配枪类型,选择恰当的瞄具固定座,安装在固定导轨上,保证瞄具固定座轴向与视差测定准直仪保持一致。

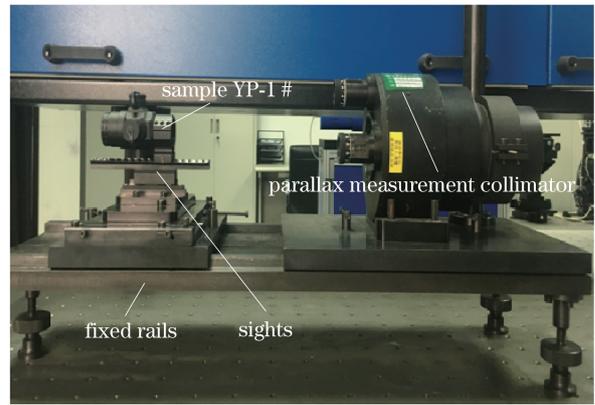


图 15 改进型视差检测装置图

Fig. 15 Improved parallax detection setup

2) 将待测样品安装于瞄具固定座上,打开并调节焦距、视度等机构使得人眼观察方格分划板到最清晰位置,并调节分划亮度至人眼观察舒适的档位,以看清待测光电瞄具电子十字分划为宜。

3) 通过待测样品的目镜可观察到物镜窗内的方格分划板的清晰像,选择中心点 P_1 作为测试基准点;待测样品的电子十字分划的竖线为 L_1 , 横向为 L_2 , 中心点为 P_2 , 如图 1 所示。调节待测光电瞄具的分划调节机构,将电子十字分划中心点 P_2 与测试基准点 P_1 完全重合。若待测光电瞄具的电子十字分划线条宽度与方格分划板的线条宽度有差别,需选取电子分划板线条的左侧或右侧来贴近方格分划板的线条,并在后续的此类操作中仍选择该侧进行测量。此步骤注意要先粗对准,后微调对准,保证二者可完全重合。

4) 如图 16 所示,读取水平旋钮和竖直旋钮上的读数值,分别记录为 x_0 、 y_0 。读数方法为:先读取水平本分划和竖直本分划上的数字,分别记为 x_0 、 y_0 ;再分别读取水平辅助分划和竖直辅助分划上的数字,分别记为 a_0 、 b_0 ,则 X 方向和 Y 方向最终读数 X_0 、 Y_0 分别为

$$X_0 = (x_0 + a_0), \quad (8)$$

$$Y_0 = (y_0 + b_0). \quad (9)$$

5) 测试人员保持头部水平,眼睛直视待测瞄具的目镜,根据摆头法的观察要领左右、上下微微摆头,预判断电子分划板竖线 L_1 、横线 L_2 与方格分划板的竖线、横线是否存在相对位移。

6) 根据步骤 4) 中的观察情况,一边上下摆头观察,一边微微旋动 12 竖直旋钮,直至观察到此时方格分划板上已选择的中心点 P_1 所在的横线与电子分划板竖线 L_1 摆动上极限位置重合;按照步骤 3)

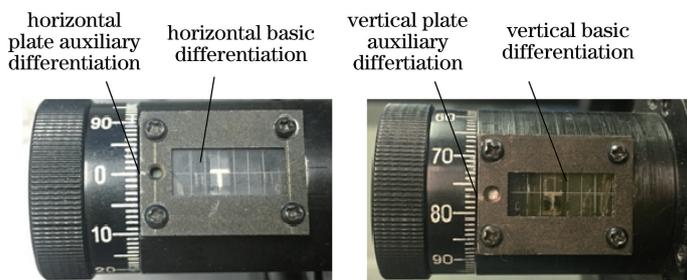


图 16 读数机构实物图

Fig. 16 Physical photo of the reading mechanism

的读数方法读取此时垂直方向的数值,记为 Y_1 ,单位为 mil;按照同样的操作,读取电子分划板竖线 L_1 摆动下极限位置重合的数值,记为 Y_2 ,单位为 mil;则垂直视差为: $|Y_2 - Y_1| \times 3.6$ 。

7) 同理根据步骤 5),左右摆头观察,可同样操作水平旋钮测量并读取相对摆动左极限数值 X_1 和右极限 X_2 ,则水平视差为: $|X_2 - X_1| \times 3.6$ 。

8) 根据测试经验,一般选取水平或者垂直方向视差的最大值作为此待测光电瞄具的视差值。

4.5.2 测试结果

根据同样的测试过程,测试人员对其他两具样品也进行检测,三具样品的视差测试结果如表 5 所示。

表 5 类正弦测微视差检测法测试结果

Table 5 Test results by using sine-like micrometric parallax detection method

Numbering	Parallax test result / (')	Testing time /min
YP-1 #	-0.78	15
YP-2 #	0.99	13
YP-3 #	1.29	14

5 实验结果比对与分析

通过以上比对实验,从测试精度、平均用时和操作难易度三个方面对 4 种测试方法进行比对,比对结果如表 6 所示。

表 6 4 种测试方法比对结果

Table 6 Comparison of four kinds of test methods

Test method	Test accuracy	Average time /min	Ease of operation
Pendulum method	No quantitative, low precision	1	Simpler
Visual inspection mirror method	Quantitative estimation, low precision	29	Complex
Digital photoelectric detection method	Quantitative calculation, high precision	51	More complex
Sine-like micrometric parallax detection method	Quantitative calculation, high precision	15	Simple

通过 4 种方法的比对可知,传统测试方法(如摆头法、视度检查镜法)具有仪器简单、操作快捷,可迎合靶场测试待测品种类多样、样品量大的特点,但是只能得到非定量的或精度较低的测试结果;现代测试方法(如数字式光电检测法)的精度可以满足现阶段光电瞄具的测试需求,但操作繁琐、测试效率低。所提出的类正弦测微视差检测法精度可达 $0.01'$,测试前无需对放大率和出瞳直径进行测试,有效节约测试时间,可满足光电瞄具“高精度、高效率”的视差测试需求。

6 结 论

从光电瞄具的靶场测试需求出发,对目前常用的视差测试法进行了详细的分析和比对。针对现存方法的不足之处,提出了一种快速定量视差检测法,该方法采取传统摆头法的观测原理,结合类正弦测微法对光电瞄具的视差进行定量检测;然后配套研制出一种具有测微读数机构的新型视差检测装置。该测试方法既保证了 $0.01'$ 的测试精度,又简化了结构,增加了白光、微光多种类光源,极大提高了测试

效率和设备通用性,能够针对各类的光电瞄具进行快速定量的视差参数检测。对比实验结果表明,该测试方法简便、精度高、测试范围广,测试结果可靠实用,对光电瞄具靶场鉴定、装配调试、出厂检测有很大的指导作用,可以进行推广使用。

参 考 文 献

- [1] Liu Y, Kuang Z L. Electro-optical sights for light weapons[J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(3): 171-176.
刘宇, 邝自力. 轻武器光电瞄准具[J]. 应用光学, 2006, 27(3): 171-176.
- [2] 朱海军. 测量仪器视差产生原因及处置方法的研究[J]. 科技资讯, 2016, 14(28): 180.
- [3] Cheng S C. Optical instrument calibration [M]. Beijing: Weapon Industry Press, 1992.
程守澄. 光学仪器检校[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1992.
- [4] Yang M Y, Kwon O D. Crater wear measurement using computer vision and automatic focusing [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1996, 58(4): 362-367.
- [5] Yu Q S, An Z Y, Yang R N, *et al.* Test of parallax parameters for optoelectronic sights in small arms [J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(8): 1732-1737.
于秋水, 安志勇, 杨瑞宁, 等. 轻武器光学瞄具的视差参数测试[J]. 光学精密工程, 2010, 18(8): 1732-1737.
- [6] Wang Q. Research on automatic parallax measurement of telescope system [D]. Tianjin: Tianjin University, 2014.
王铨. 望远系统视差自动测量技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [7] Fu R, An Z Y, Zhu H B, *et al.* A new diopter and optical parallax testing system based on CCD [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2010, 33(1): 22-25.
付饶, 安志勇, 朱海滨, 等. 一种基于 CCD 的视度视差测试新系统[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2010, 33(1): 22-25.
- [8] Cao W G, Zhu Y D, Duan J, *et al.* Measurement system based on diopter and optical parallax of CCD [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(z1): 500-503.
曹维国, 朱运东, 段洁, 等. 基于 CCD 的视度和视差测试系统研究[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(z1): 500-503.
- [9] Zhang X M, Zhao H. A CCD image processing based automatic measurement system for diopter and optical parallax [J]. Electro-Optic and Control, 2012, 19(4): 72-75.
张晓明, 赵辉. 基于 CCD 图像处理的视度和视差自动检测系统[J]. 光电与控制, 2012, 19(4): 72-75.
- [10] Wang S J, An Z Y, Wang J S, *et al.* The research of micromotion reading subdivision method [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2010, 33(4): 58-61.
王偲姣, 安志勇, 王劲松, 等. 零位走动量测量的微动对零读数细分机构研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2010, 33(4): 58-61.
- [11] Xie W D, Yin H. Dynamic force calibration method for force transducers based on sine force load [J]. Electrical and Mechanical Engineering, 2014, 31(4): 446-449.
谢伟东, 尹浩. 基于正弦力加载的力传感器动态标定技术研究[J]. 机电工程, 2014, 31(4): 446-449.
- [12] Zhao H, Li C G, Chen Z T, *et al.* Design of collimating lens with uniform illumination for LED based on double freeform surface [J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37(4): 0422001.
赵欢, 李长庚, 陈志涛, 等. 基于双自由曲面的 LED 均匀照明准直透镜设计[J]. 光学学报, 2017, 37(4): 0422001.
- [13] Wang G M, Lao D B, Zhou W H. Optical system design and tolerance analysis of photoelectric self-collimation theodolite [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(10): 102203.
王国名, 劳达宝, 周维虎. 光电自准直经纬仪光学系统设计与公差分析[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(10): 102203.
- [14] Liu C C, Cao T F, Ye H X, *et al.* Precise collimation technology and assembling optical modules in high power laser facility [J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(9): 0922001.
刘长春, 曹庭分, 叶海仙, 等. 大型精密光学系统准直误差分析方法及其应用[J]. 光学学报, 2015, 35(9): 0922001.
- [15] Mao M, Wu Y N, Qin K H, *et al.* Fast parallax range estimation and its application [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2015, 27(1): 120-127.
毛苗, 吴艳楠, 秦开怀, 等. 快速视差范围估计算法及其应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2015, 27(1): 120-127.
- [16] Sun X L. Research on the occlusion problem in visual measurement [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2013.
孙小玲. 视觉测量中遮挡问题的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.

- [17] Shi B. Research on digital divergence parallax technology [D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2012.
史博. 数字式视度视差技术研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2012.
- [18] Tian M, Liu J, Gao M. Parallax measurement of HUD based on computer vision [J]. Journal of Applied Optics, 2008, 29(5): 740-744.
田苗, 刘钧, 高明. 基于计算机视觉的平视显示器视差测量方法的研究 [J]. 应用光学, 2008, 29(5): 740-744.
- [19] Liu B Q, Zhou B. Automatic measurement of telescope system's parallax using CCD [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2005, 26(3): 253-255.
刘秉琦, 周斌. 利用 CCD 实现望远系统视差自动测试的研究 [J]. 半导体光电, 2005, 26(3): 253-255.
- [20] Li G, Zhou B, Dong W, *et al.* Measuring parallax of the telescope system with CCD device [J]. Optical Instruments, 2002, 24(2): 3-6.
李刚, 周冰, 董伟, 等. 一种视差的自动检测方法 [J]. 光学仪器, 2002, 24(2): 3-6.