

大视场夜视镜视场测试技术研究

马延平¹, 胡文惠², 王子薇^{3*}, 杨帆³, 周继德³

(1. 海军装备部驻南京地区第三军事代表室, 南京 210016; 2. 陆军工程大学 指挥控制工程学院, 南京 210007;
3. 中国电子科技集团公司第五十五研究所, 南京 210016)

摘 要: 提出了一种基于高精度转台的视场测试方法, 其测试结果与产品视场角设计值相符, 具有较高的准确性, 改善了传统视场测试方法在大视场夜视镜的总视场和合像测试中存在的调节困难、误差大、耗时长等问题, 提升了大视场夜视镜生产装调和测试的效率, 为后续大视场夜视镜的计量和改进设计提供了参考。

关键词: 微光夜视技术; 大视场夜视镜; 视场; 合像; 测试技术

中图分类号: TN223 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)03-0230-05

Research on the Field of View of Panoramic Night Vision Goggle

MA Yanping¹, HU Wenhui², WANG Ziwei³, YANG Fan³, ZHOU Jide³

(1. *The 3rd Military Representative Office in Nanjing Region of Naval Equipment Department, Nanjing 210016, CHN*; 2. *Institute of Command and Control Engineering, Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, CHN*; 3. *The 55th Research Institute of CETC, Nanjing 210016, CHN*)

Abstract: A novel measurement method of field of view (FOV) was proposed based on high precision turntable, which was consistent with the designed value of FOV. The novel method could solve problems, such as adjustment difficulty, large error and long time consuming in traditional measurement methods of FOV and image continuity, thus providing reference for the measurement and improvement of PNVG.

Key words: low-light-level night vision technology; panoramic night vision goggle; field of view; image continuity; metrology

引 言

微光夜视技术是研究在夜间微弱光照条件下, 利用月光、星光等近红外光来实现光电信息的相互

转换、增强、显示等物理过程及其应用的一门技术^[1]。基于微光夜视技术的直视型微光夜视镜具有功耗小、重量轻、成像效果好、符合人眼观察习惯、被动成像方便隐蔽使用等特点, 在军用和民用领域

收稿日期: 2022-06-22

作者简介: 马延平(1982—), 男, 工程师, 主要从事电子信息产品监督工作; (E-mail: 903281973@qq.com)

胡文惠(2001—), 女, 主要从事计算机研究工作; (E-mail: 1525310519@qq.com)

王子薇(1988—), 女, 高级工程师, 主要从事微光夜视技术研究工作。(E-mail: vickywzw@qq.com)

* 通讯作者

都具有广泛的应用^[2]。

传统的直视型微光夜视镜,包括单筒单目、单筒双目、双筒双目等形式,其共同特点为由1个或2个平行的单筒通道组成,单筒通道的视场决定了夜视镜的总视场。由于每个目镜只有一个像增强器,其分辨力是固定的,如需增大视场角,则必然会降低系统的分辨力。所以传统直视型微光夜视镜的视场角一般为40°左右^[3]。而人眼的视场角可达150°左右,传统微光夜视镜的视场角远远无法满足人眼的需求。

随着微光夜视技术的不断进步,微光夜视镜产品逐渐向着大视场、轻量化、数字化的方向不断发展,水平视场角可达100°至120°的大视场夜视镜被研制出来,能够改善使用者的姿势感知能力,减少视觉盲区^[4]。大视场夜视镜的单筒结构与传统直视型微光夜视镜区别较大^[5],每个单筒是由2个成一定夹角的通道组成,总视场角由单个通道的视场和通道间的夹角共同决定。

目前传统的直视型微光夜视镜的视场测试一般采用测试单筒通道的视场来实现,采用转台^[6]或刻有角度的大视场平行光管^[7],即视场仪进行检测。由于通道间存在夹角,且水平视场与垂直视场角不同,以上方法在视场实际测试过程中,存在不适用或调节困难、误差大、耗时长的问题。文章提出了一种新的基于高精度转台的大视场夜视镜视场角与合像特性的测试方法,为大视场夜视镜的计量和改进设计提供了参考。

1 大视场夜视镜的视场测试方案

1.1 大视场夜视镜与传统夜视镜的区别

传统的标准型双筒双目型夜视镜由2个平行且对称的夜视镜单筒通道组成,共有2个物镜、2个像增强器、2个目镜,单筒光路中物镜、像增强器、目镜和人眼在一条直线上,夜视镜的总视场角与单筒的视场角一致,约为40°左右。大视场夜视镜与标准型夜视镜的结构区别较大,共有4个物镜、4个像增强器和4个目镜,4个通道在水平方向依次排列,但不平行,中心2个通道和人眼在一条直线上,侧边2个通道分别向外侧倾斜,与人眼成夹角,如图1所示。

大视场夜视镜的结构示意如图2所示,图中每个通道的视场为40°,侧边通道与中心通道的水平夹角为30°。从图中可以看出,2个通道的物镜、像增强器分别成像后,通过拼接的目镜进入同一只人眼,单眼可以观察到70°的水平视场,双眼可以观察到100°的水平视场,垂直视场则仍为40°。

标准型夜视镜观察到的图像为1个40°的圆形



图1 标准型夜视镜与大视场夜视镜^[8]

Fig.1 PNVG and standard form NVG

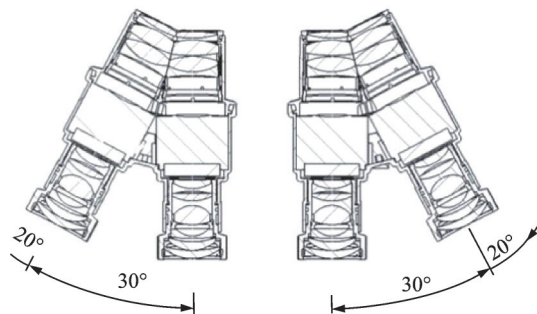


图2 大视场夜视镜的夹角示意图

Fig.2 Inclination of panoramic night vision goggle

视场,而大视场夜视镜则能够观察到3个不完整的圆形视场,如图3所示。大视场夜视镜单通道间的夹角导致了每个通道视场的折叠,也导致了使用者眼位的不同,观察到的视场不一致,从而难以测量大视场夜视镜的视场特性。

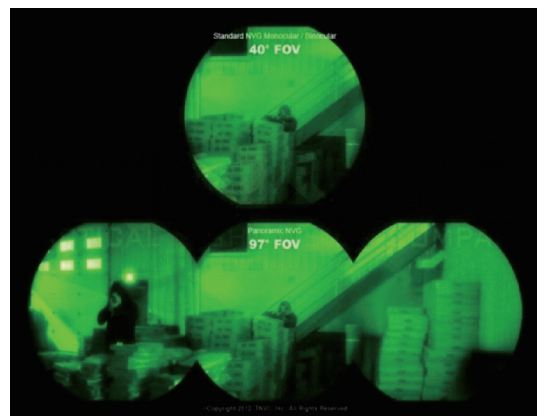


图3 标准型夜视镜与大视场夜视镜的视场^[9]

Fig.3 FOV of standard form NVG and PNVG

对于传统的双筒双目夜视镜,其各自单筒分别成像,相互独立。在使用时可以通过调节瞳距以及人眼的自动适应来将两个单筒所成的像进行融合,最终得到舒适的观察效果。而对于大视场夜视镜,其属于四筒双目型的结构形式,左右两边各有两个单筒融合成一个完整的图像,因此所成的图像存在一个重叠区域,该区域的成像效果直接影响夜视镜

图像的连续性以及使用者的观察效果。文中将该重叠区域的成像效果称之为合像,如图4所示。

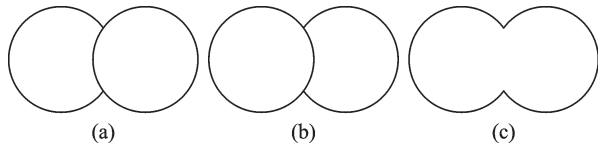


图4 合像示意图

Fig.4 Schematic of image continuity

1.2 当前大视场夜视镜视场测试方法存在的问题

国外针对大视场夜视镜视场角的测试方法^[10]为将大视场夜视镜固定于离墙面距离为 D 的位置,在墙面上放置两个LED光源,通过夜视镜观察并调整LED位置,使其分别位于夜视镜的左侧边缘和右侧边缘,测试并记录两个LED之间的距离 L 。根据上述测试结果,夜视镜水平视场角为: $\theta=2 \times \arctan(L/2D)$ 。其测试原理图如图5所示。使用该方法进行测试存在如下缺点:

- 1、由于大视场夜视镜水平视场角较大,要求测试墙面宽度较大,测试时难以保证墙面光照均匀性;
- 2、放置夜视镜时需要使得夜视镜中间两筒光轴与墙面垂直,标定难度较大;
- 3、测试时需要根据实际观察情况调整LED位置,使其正好分别位于夜视镜左右视场边缘处,调整时间较长。

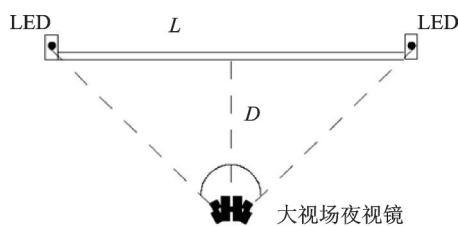


图5 视场测试原理图

Fig.5 Test schematic of FOV of PNVG

1.3 大视场夜视镜的新型视场测试方法

针对1.2中测试方法的缺点,结合GJB2025-1994^[6]中的双筒夜视镜视场角测试方法和大视场夜视镜结构特点,设计了如图6所示的视场角测试系统。本系统主要由靶标、准直物镜、转台和测试工装组成。其光路图如图7所示,靶标位于准直物镜的焦面处,在准直物镜另一侧为平行光出射,再通过夜视镜进行成像,最后通过人眼观察靶标图像。

在该系统中,积分球光源色温为 $2\,856 \pm 50\text{ K}$,需

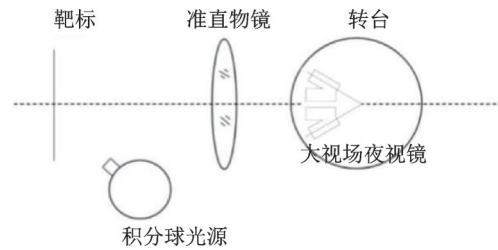


图6 大视场夜视镜的视场角测试系统

Fig.6 Test system of FOV of PNVG

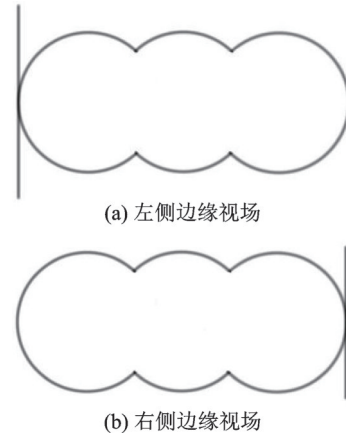


图7 大视场夜视镜边缘视场测试图像

Fig.7 Images of the edge of the field of PNVG

通过调节积分球光源亮度及光源距离靶标的距离,使得靶标中心处照度为 $1 \times 10^{-1}\text{ lux}$,且整个靶面照度均匀性不低于90%;该系统中所用靶标是一个背景为白色,在中间有一条黑色的垂直方向分划线的正方形靶标;该系统使用的测试工装应使得大视场夜视镜外侧两单筒光轴的交点与转台的旋转中心相重合。

在测试时,首先调节夜视镜物镜,使靶标上的分划线成像清晰;然后旋转转台,使靶标上的分划线正好与夜视镜左侧视场边缘相切,记录此时的转台读数为 θ_1 ;再次旋转转台,使靶标上的分划线正好与夜视镜右侧视场边缘相切,记录此时的转台读数 θ_2 ,如图7所示。由此得到夜视镜的水平视场角为: $\theta = |\theta_2 - \theta_1|$ 。此方法同样可用于垂直视场角的测试。

1.4 大视场夜视镜合像的图像连续性测试方法

国外针对大视场夜视镜的图像连续性的测试方法为使用大视场夜视镜观察网格靶标^[10],如图8所示。若在图像融合区域观察到网格没有错位,则表示合像质量完好;若在图像融合区域观察到网格存在明显错位,则表示合像质量较差。之后可根据观察结果进行合像质量装调。但该测试方法只能定性判断出图像偏离的方向,无法给出定量数值用于指导装调。由此导致有时需要重复多次装调后

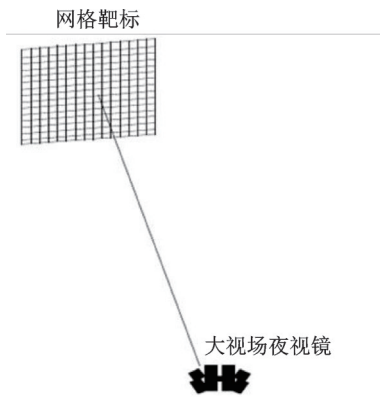


图8 大视场夜视镜图像连续性测试

Fig.8 Assessment of image discontinuity of PNVG

才能最终得到完全融合的图像。

针对上述测试方法的缺点,为了更好的提升合像质量装调的效率,提出如下新的测试方法。在上述视场角测试系统的基础上,将靶标更换为带刻度的十字分划线,如图9所示。

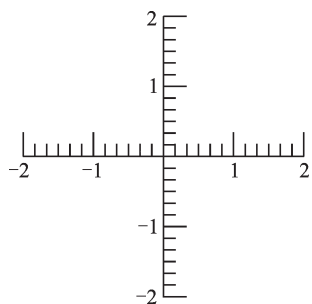


图9 合像测试靶标图案

Fig.9 Target pattern of image continuity

使用该系统进行测试时,可以在目镜端观察到如图10所示的现象:其中,(a)表示该单筒合像完全融合,不存在偏差;(b)表示该单筒合像在水平方向上存在30'的角度偏差;(c)表示单筒合像在垂直方向上存在20'的角度偏差;(d)表示单筒合像在水平方向和垂

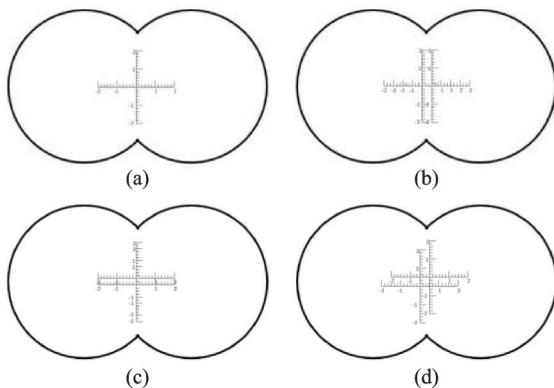


图10 合像调节方法

Fig.10 Adjusting method of image continuity

直方向上均存在30'的角度偏差。使用该方法,不仅可以定性测试出大视场夜视镜单筒的合像质量,还可以定量测试得到水平和垂直方向上的角度偏差数值,并根据偏差量进行校正,最终得到完全融合的图像。

2 实验结果与讨论

2.1 视场测试结果

分别根据1.2节和1.3节中的测试方法,针对2款大视场夜视镜各1台样机进行了视场测试,每台夜视镜各测试5次,测试结果如表1所示。表中方法1为1.2节所示的方法,方法2为1.3节中文中提出的新测试方法。

表1 视场角测试实验结果

Tab.1 Test data of FOV

型号	次数	方法1		方法2	
		水平 视场角	垂直 视场角	水平 视场角	垂直 视场角
A	1	102°10'	41°5'	102°3'	41°2'
A	2	102°25'	41°10'	102°1'	41°1'
A	3	102°5'	41°6'	102°5'	41°2'
A	4	102°7'	41°1'	102°5'	41°3'
A	5	102°13'	41°2'	102°	41°1'
B	1	95°15'	35°4'	95°2'	35°3'
B	2	95°5'	35°	95°	35°1'
B	3	95°20'	35°8'	95°3'	35°
B	4	95°	35°3'	95°1'	35°4'
B	5	95°12'	35°6'	95°5'	35°0'

其中,A型号的大视场夜视镜视场设计值为水平视场角102°,垂直视场角41°;型号2的大视场夜视镜视场设计值为水平视场角95°,垂直视场角35°。

从表1可知,使用上述两种测试方法多次测量同一台大视场夜视镜样机,对于方法1,两种型号产品测试得到的水平视场角和垂直视场角偏差最大为20'和9',偏差率约为0.3%和0.4%。对于方法2,两种型号产品测试得到的水平视场角和垂直视场角偏差最大为5'和4',偏差率约为0.1%和0.2%。由此可知方法2具有较好的准确性。

随后,又随机选择了两款不同大视场夜视镜产品的各3台样机进行了视场测试,每台夜视镜各测试5次,其平均视场测试值如表2所示。

从表2可知,对于型号A,两种测试方法得到的水平视场角和垂直视场角偏差最大不超过22'和5',偏差率约为0.4%和0.2%。对于型号B,两种测试

表 2 6 台大视场夜视镜视场角平均测试结果
Tab.2 Average test data of FOV of 6 PNVGs

样机 型号	样机 编号	方法 1		方法 2	
		水平 视场角	垂直 视场角	水平 视场角	垂直 视场角
A	1	102°10'	41°	102°	41°
A	2	102°25'	41°5'	102°3'	41°
A	3	102°5'	41°5'	102°1'	41°1'
B	4	95°15'	35°6'	95°	35°1'
B	5	95°6'	35°	95°1'	35°2'
B	6	95°10'	35°3'	95°	35°

方法得到的水平视场角和垂直观场角偏差最大不超过 15' 和 5', 偏差率约为 0.3% 和 0.2%。

根据上述结果可知,无论是针对同一台样机进行多次测试,还是针对同一型号的不同样机进行测试。相比于方法 1,方法 2 的测试结果稳定性更高,偏差更小,测试重复性较好,可以应用于产品的批量测试中。

2.2 视场测试精度分析

方法 2 主要的测试误差来源于转台的读数误差及测试工装的调平误差。其中本次试验中采用的转台为 GCM-1106M 型转台,它的测试分辨率 δ_1 为 1'; 影响测试工装调平误差的主要因素有水准器灵敏度、调平机构灵敏度和人为读数误差等,通常其误差 δ_2 小于 0.23"。根据公式(1),可计算得到系统的测试精度约为 1',能够满足视场测试的精度需求。

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \quad (1)$$

根据上述视场测试结果及测试系统精度分析结果可知,方法 2 的精度可以满足大视场夜视镜实际生产和检验过程中的视场指标测试。

2.3 合像测试结果

根据上文提出的合像的图像连续性测试方法,已在大视场夜视镜的批量生产过程中进行了验证。表 3 所示为 6 台大视场夜视镜产品生产过程中针对

表 3 使用新合像测试方法后的装调时间变化

Tab.3 Time changes of new methods of image continuity adjustment

样机编号	更改前装调 时间/min	更改后装调 时间/min	装调时间差值/ min
1	50	20	30
2	45	18	27
3	48	15	33
4	40	12	28
5	52	20	32
6	45	15	30
平均值	46.7	16.7	30

合像指标分别在使用该测试方法前后所需的装调时间统计。结果表明,新的合像测试方法可以量化的测试出图像的偏差量用于指导装调,使用该方法可以将该项指标的装调时间极大的缩短,平均可将装调时间减少 64.2%,极大地提升了生产效率。

3 结 论

文章提出了一种基于高精度转台的针对大视场夜视镜视场以及合像的测试方法,解决了大视场夜视镜的视场测试调节困难、误差大、耗时长的问题。文中针对两款不同型号的大视场夜视镜进行了实际测试。结果表明,该测试方法可以适应多款不同视场角的大视场夜视镜,测试结果与产品视场角设计值相符,具有较高的准确性,并确保大视场夜视镜合像的图像连续性,提升使用者观察效果;针对同一型号产品的不同样机,测试所得的结果具有较好的一致性。该方法的应用较大程度的提升了大视场夜视镜生产装调的效率,具有很好的实用性,为后续大视场夜视镜的计量和改进设计提供了参考。

参 考 文 献

- [1] 郭 晖,向世明,田民强.微光夜视技术发展动态评述[J].红外技术,2013,2:63-68.
- [2] 洪乙又,王子薇,周继德,等.微光夜视系统光照动态范围研究[J].华中师范大学学报(自然科学版),2019,6:977-981.
- [3] 洪乙又,周继德,杨 帆,等.用于头盔式微光夜视仪的轻量化光学系统设计[J].光电子技术,2020,3:186-194.
- [4] Estrera Joseph P, Timothy E Ostromek, Isbell Wayne, et al. Modern night vision goggles for advanced infantry applications [C]. Proc. SPIE5079, Helmet- and Head-Mounted Displays VIII: Technologies and Applications, Orlando, USA, 2003:196-207.
- [5] Thorndycraft David. Assessment of panoramic and conventional night vision goggles [C]. Proc. SPIE 5079, Helmet-and Head-Mounted Displays VIII: Technologies and Applications, Orlando, USA, 2003:137-153.
- [6] 李春亮,林 桦,宋玉芳,等.GJB 2025-1994 飞行员夜视成像系统通用规范[S].国防科工委军标出版发行部,1994.
- [7] 李景生,陈 炜,刘维娜,等.GJB5477-2005 微光夜视眼镜通用规范[S].国防科工委军标出版发行部,2005.
- [8] Angel Share-Dawn.NVG eyepiece focus (diopter) study [C]. Proc. SPIE 5079, Helmet- and Head-Mounted Displays VI: Technologies and applications, Orlando, USA, 2001:138-147.
- [9] TNVC. GPNVG-18 L-3 ground panoramic night visiongoggle [EB/OL]. https://d21vohm8qekcig.cloudfront.net/wp-content/uploads/2012/12/GPNVG_Article.pdf,2022-05-31.
- [10] Marasco P L, Task H L. Optical characterization of wide field-of-view night vision devices[R]. Air force research lab wright-pattersonafb oh human effectiveness directorate, 1999.