

〈微光技术〉

强光对超二代像增强器图像的干扰研究

王冰^{1,2}, 赵威^{1,2}, 柴国庆^{1,2}, 胡启立^{1,2}, 李晓龙^{1,2}

(1.中国洛阳电子装备试验中心, 河南 洛阳 471003; 2.光电对抗测试评估技术重点实验室, 河南 洛阳 471003)

摘要: 通过开展非相干强光对高性能超二代微光像增强器的饱和和干扰实验, 得到了非相干强光对高性能超二代微光像增强器的干扰现象, 对其干扰图像、干扰过程和干扰后恢复情况进行了分析, 研究了强光辐射对微光像增强器电子增益的影响, 分析了干扰光辐射照度与干扰形成光斑尺寸之间的关系。

关键词: 微光夜视; 像增强器; 超二代; 非相干光干扰; 电子增益; 干扰光斑尺寸

中图分类号: TN223 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8891(2014)10-0844-05

Research on Intense Light Disturbance to Super Gen II + LLL Image Intensifier

WANG Bing^{1,2}, ZHAO Wei^{1,2}, CHAI Guo-qing^{1,2}, HU Qi-li^{1,2}, LI Xiao-long^{1,2}

(1.Luoyang Electronic Equipment Test Center of China, Luoyang 471003, China;

2.Key Laboratory of Electro-Optical Countermeasures Test & Evaluation Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: In this paper, the saturated jamming against Super Gen II+ Image Intensifier by incoherent light was studied by experiment and simulation. The jamming image, jamming process and recovery time were analyzed through its interference phenomenon. The influences of incoherent light intensity to electron gain and jamming spot size of the image intensifier were researched. The detailed analysis was done and some valuable conclusions were made.

Key words: low light level night vision, image intensifier, Super Gen II+, incoherent light jamming, electron gain, jamming spot size

0 引言

微光夜视技术是实现夜间观察的一种光电技术, 在现代高新技术战争中发挥着重要作用。微光像增强器作为微光夜视系统的核心器件, 其性能的更新换代不断推动着微光夜视技术向前发展, 极大地提升了微光夜视装备的夜间侦察能力^[1-3]。据有关资料报道, 美国和欧洲各国三代、超二代微光管已大批量生产, 年生产能力在 10 万只以上, 相应的微光产品已广泛用于陆、海、空各个领域, 美国每年仅用于陆军装备的微光夜视产品经费就达数千万美元^[4]; 国内的超二代和高性能超二代像增强器技术已经成熟, 在各军兵种夜视产品和国民经济相关领域得到了广泛应用^[5]。作为微弱光电信号探测器件, 微光像增强器在使用时不可避免地会受到各种有意或无意光辐射的干扰, 如激光照射、环境照明变化、强烈闪光等, 在强光辐射条件下易受干扰、致盲或在一定时间内失效, 丧失探

测能力, 导致其无法正常工作。因此, 开展强光辐射干扰微光像增强器研究, 对提高微光夜视系统的抗干扰能力是很有意义的。

近年来, 国内外开展了不同类型光辐射对夜视设备干扰机理研究, 但大多集中在激光对光电探测器件的干扰效应、干扰机理研究等方面。非相干光干扰是近年来发展起来的软杀伤性失能技术, 是针对微光夜视设备最有效的对抗手段之一。与激光干扰相比, 非相干光对微光探测器件的作用机理、干扰现象、破坏效应等方面都有很大不同。国内曾报道采用烟火技术施放非相干光干扰微光夜视观瞄设备的干扰技术^[6-7], 对微光夜视器材的强光防护阈值试验方法进行了探讨^[8], 但针对非相干光照射对微光像增强器的干扰、破坏效应和机理缺乏相应的研究。本文开展了针对超二代像增强器的非相干光饱和和干扰实验, 得到了非相干光对高性能超二代微光夜视设备的干扰现象, 对微光像增强器的干扰现象、干扰过程以及强光辐射对像

收稿日期: 2014-06-24; 修订日期: 2014-09-04.

作者简介: 王冰 (1981-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事光电对抗测试评估方面的研究工作。Email: wangbingly@163.com.

增强器电子增益影响等方面进行了分析,研究了干扰光强度与饱和干扰面积之间的关系,分析了受到饱和干扰后像增强器的恢复情况。

1 实验设计

1.1 干扰源和干扰对象

非相干光源采用 Al/KClO₄ 系列干扰药剂,燃烧后产生非相干强光,波段涵盖可见光波段和近红外波段。干扰对象选用国产 1XZ18/18WHS 型像增强器的高性能超二代微光夜视设备,采用近贴式聚焦电子光学系统,输入窗口采用防光晕玻璃窗,输出窗口为光学纤维面板窗。该微光夜视设备采用 S25 多碱光电阴极 (Na-K-Cs-Sb),光谱响应为 380 nm~900 nm,峰值响应波长为 420 nm,对于色温 2856 K 的标准光源的光阴极灵敏度为 600 μA/lm,对 800 nm 的光阴极灵敏度为 55 mA/W,对 850 nm 的光阴极灵敏度为 40 mA/W,增益为 10000 (cd/m²)/lx,中心(边缘)分辨率 60 lp/mm,等效背景照度为 0.25 μlx,信噪比为 20。荧光屏采用高性能的 P31 材料 (ZnS:Cu),其发光效率约为 77.9 lm/W。

表 1 干扰对象主要性能参数

Table 1 The main parameters of LLL Image Intensifier

像增强器类型	1XZ18/18WHS
电子光学系统	近贴式聚焦电子光学系统
输入窗口	防光晕玻璃窗
输出窗口	光学纤维面板窗
光电阴极类型	S25 多碱光电阴极
响应波段	400~900 nm
光电阴极灵敏度	600 μA/lm (色温 2856 K), 55 mA/W (800 nm), 40 mA/W (850 nm)
增益	10000 (cd/m ²)/lx
分辨率	中心(边缘)分辨率 60 lp/mm
等效背景照度	0.25 μlx
信噪比	20
荧光屏材料	P31 材料 (ZnS:Cu)
发光效率	77.9 lm/W

1.2 实验方法

实验在夜间进行,环境照度约 10⁻² lx,干扰源和合作目标置于微光夜视设备一定距离外的视场内,微光夜视设备对干扰源所在区域进行侦察,使合作目标和背景能够清晰成像;辐射强度测量设备实时测量干扰源产生的非相干光辐射强度,图像采集设备实时采集微光夜视设备受干扰前后输出的图像,采集速度为 35 帧/s。

实验系统如图 1 所示。

1.3 安全干扰距离分析

当入射光强度和时间足够大时,可直接损坏像增强器的光电阴极或荧光屏。考虑到对实验设备的保护,首先要对像增强器损伤阈值进行理论计算,进而对实验时像增强器与干扰源之间的距离关系进行合理设计。

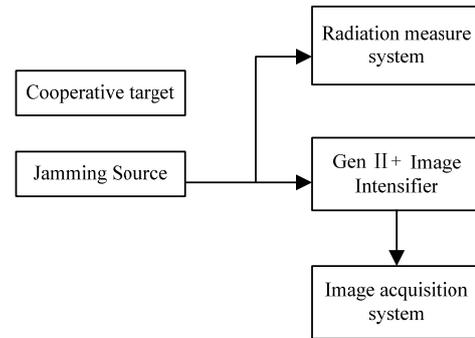


图 1 干扰实验测试框图

Fig.1 The jamming experiments systems schematic

设干扰源的辐射强度为 I ,那么经过透射率为 τ_R 的大气传输后在距离 R 处产生的照度 E 为:

$$E = I\tau_R/R^2 \quad (1)$$

若微光夜视设备光学系统透过率为 τ ,相对孔径为 T ,则入射在光电阴极上的照度 E_{in} 为:

$$E_{in} = \pi\tau T^2 E/4 \quad (2)$$

若像增强器的增益系数为 G_t ,通过像增强器的电子倍增效应,微光夜视设备荧光屏的输出亮度 L_{out} 为:

$$L_{out} = E_{in} \cdot G_t \quad (3)$$

设微光夜视设备荧光屏电子束流功率密度破坏阈值 P_m ,对于发光效率为 η 的 P₃₁ 荧光屏来说,其破坏亮度阈值 L_m 有:

$$L_m = \eta P_m / \pi \quad (4)$$

当荧光屏的输出亮度 L_{out} 大于荧光屏的破坏阈值 L_m 时,荧光屏会因电流过大、温度过高而灼伤。此时对应的干扰源辐射强度 I 为:

$$I = 4\eta P_m R^2 / (\pi^2 \tau \tau_R T^2 G_t) \quad (5)$$

这就是不同干扰距离条件下,非相干光对微光夜视设备的损伤阈值计算公式。

研究表明,微光像增强器的荧光屏所能承受的电子束功率密度^[9]约为 10 W/mm²~200 W/mm²,超过这个值后可能由于荧光屏温度过高而灼伤,计算时取最小值 10 W/mm²,对于实验用的微光夜视设备,取相对孔径 $T=1$,光学系统透过率取 0.9,大气透过率取 1,通过公式(5)得到不同距离处非相干强闪光对荧光屏的损伤阈值曲线如图 2 所示。

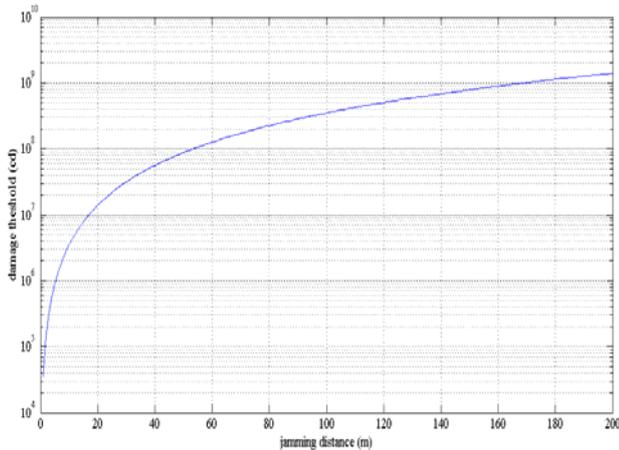


图2 不同距离处非相干强光对荧光屏的损伤阈值曲线
Fig.2 The damage thresholds jammed by incoherent light in different distance

从图2中可以看出,若要对100m距离处像增强器实施损伤破坏,干扰光辐射强度需要达到 10^8 cd。实验采用的干扰源辐射光强约为 10^6 cd,损伤干扰距离约5m,实验时干扰距离只需大于这个值,就可避免干扰源对微光夜视设备产生“硬破坏”。考虑到干扰源燃烧时设备和人员的安全,实验时干扰源与干扰对象之间的距离设置为150m。

2 实验现象及分析

利用辐射强度测量设备得到不同时刻的非相干光辐射强度数据如图3所示,图4为截取的不同时刻像增强器的干扰图像,方框内是合作目标在荧光屏上的成像亮斑。

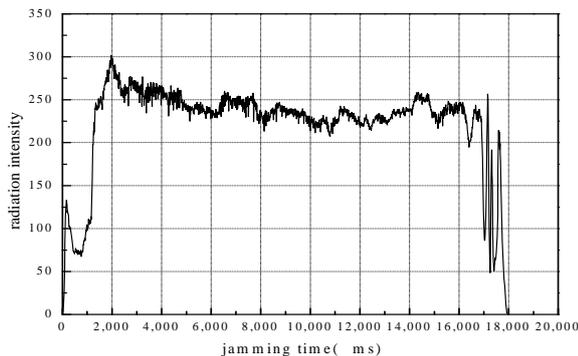


图3 不同时刻的非相干光辐射强度
Fig.3 Incoherent light intensity in different time

2.1 对电子增益的影响及原因分析

从图3可以看出,干扰源的辐射强度在1.97s时

达到最大,但是分析整个干扰过程中干扰亮斑的变化,可以发现,干扰光的主光斑大小并没有随着干扰光辐射强度的增强在1.97s达到最大,而是在第二帧达到最大后,从第三帧图像开始略微变小,在第五帧时达到稳定状态。其次,合作目标在荧光屏上的成像大小和亮度也经历了干扰瞬间基本不变、干扰初期剧烈变小、干扰过程中维持不变、干扰结束恢复正常的一个变化过程。从图4可以看出,合作目标成像的亮度和大小在受到强光干扰后开始变小,在第五帧时合作目标成像达到稳定状态。

经分析,产生上述现象主要是因为像增强器的电子增益在强光辐射条件下发生了改变,原因在于:一是像增强器的电流增益自饱和效应^[10],这种自饱和特性可以防止像增强器的微通道板由于电流密度过高而被击穿,其电子倍增特性受空间电荷效应限制而呈现非线性,光照越强,非线性程度越严重。尤其是在高电流密度输入条件下,其电子放大倍率降低,荧光屏显示的景物的灰度和对比度会下降;二是其自动增益控制、门限控制等强光保护电路发挥了作用,如自动亮度控制电路通过控制像增强器外加电压的办法控制它的增益,使微光夜视器材不受外界光辐射变化的影响,达到控制荧光屏输出图像亮度的目的。

因此,当受到强光辐射干扰时,由于像增强器的自饱和效应和强光保护电路的作用下,电子增益明显下降,使包括干扰光在内的景物在荧光屏上的亮度大幅降低,从而保护微光夜视设备的像增强器或荧光屏遭受破坏。从干扰视频上看,电子增益变化发生在第2帧到第5帧之间,即像增强器在受到干扰约0.06~0.14s后,电子增益明显下降,说明微光夜视设备的强光保护发挥了作用,一般的强光保护反应时间为0.1s^[11],与实验现象基本一致。

2.2 与干扰光斑面积之间的关系

同一干扰距离条件下,干扰源在荧光屏上形成的干扰光斑与干扰光辐射强度密切相关。图5是不同辐射强度下干扰饱和光斑灰度分布图,随着干扰光辐射强度的增加,干扰饱和光斑亮度和大小也随之增大,光斑的亮度分布也从尖峰状变为圆柱状,饱和干扰光斑面积远远大于成像面积。其主要原因是当强光照射在微光像增强器上时,大量光电子在微通道板的通道内产生电子散射,在荧光屏上产生了环形弥散光斑,使干扰光斑比成像光斑要大得多。

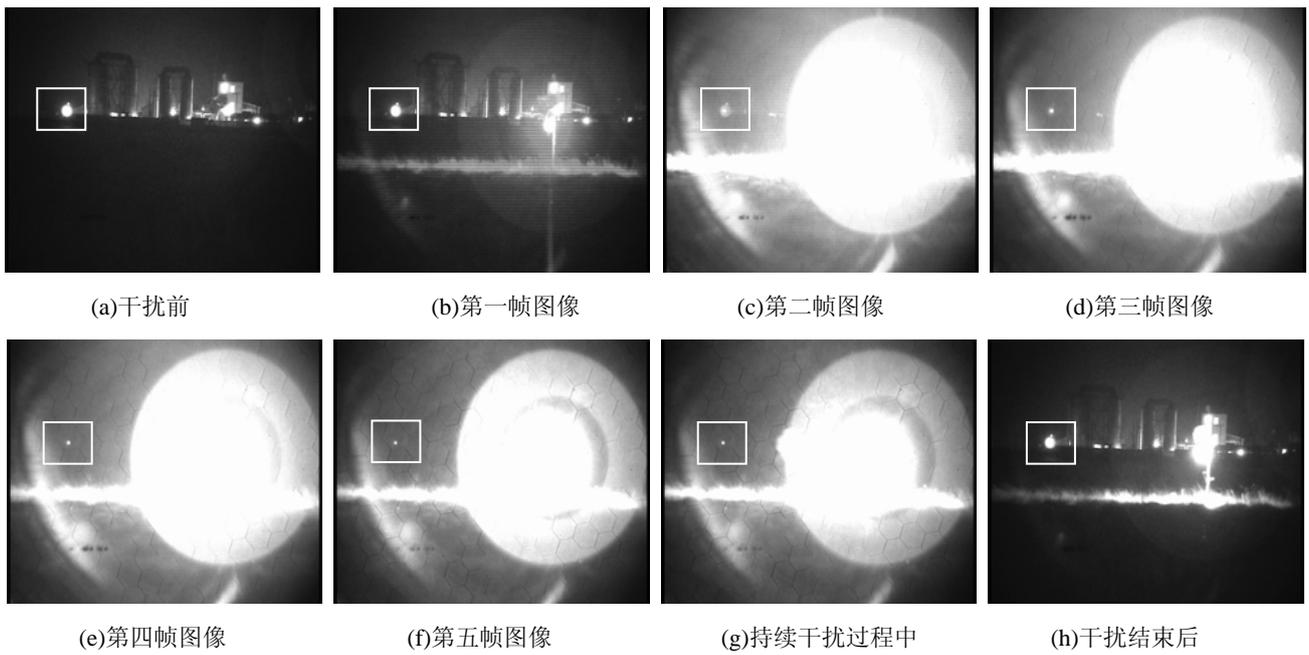


图4 微光夜视仪受非相干强光的干扰图像

Fig.4 The jamming images by incoherent light at different times

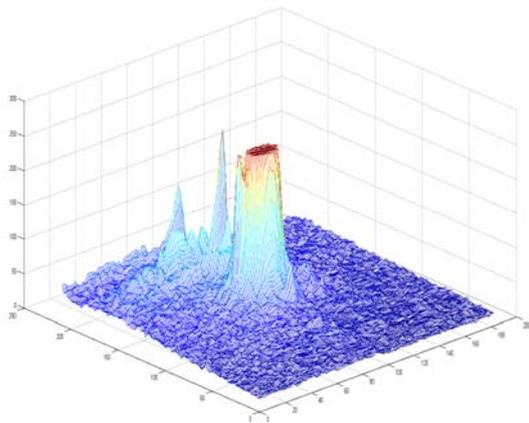


图5 不同干扰强度下的干扰图像灰度分布

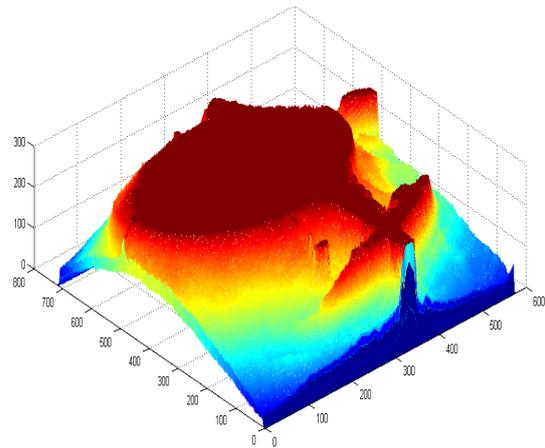


Fig.5 The jamming image and distributing in different light intensities

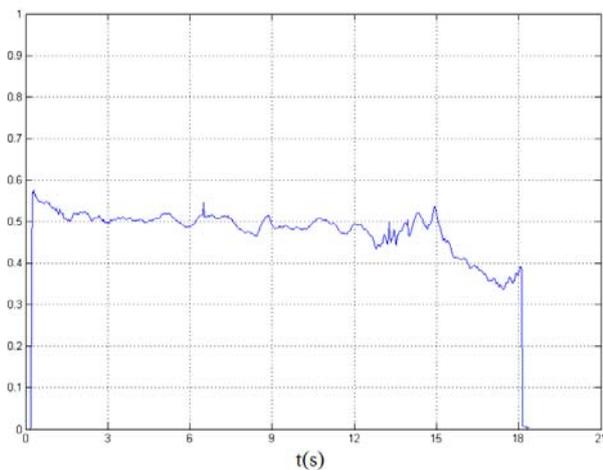


图6 干扰面积随干扰时间变化曲线

Fig.6 The jamming spot size at different times

利用 Matlab 将整个干扰过程的微光夜视图像转换为灰度图像，将干扰前的微光夜视灰度图像作为基准，与干扰后的灰度图像进行比对，通过对整个干扰过程的灰度图像的处理，绘出整个干扰过程中干扰面积随时间的变化曲线，如图6所示。可以看出，随着干扰源施放强相干光，干扰光斑面积迅速增大，干扰面积占整个侦察视场的变化趋势与测得的不同时刻干扰光辐射强度曲线（图3）基本一致，说明干扰光斑面积与干扰光强度有直接的关系。

3 结论

本文通过开展非相干光对高性能超二代微光夜视设备的饱和干扰实验，研究了非相干光干扰微光像增强器的干扰机理，对微光像增强器的干扰现象和恢

复情况进行了分析,分析了强光辐射对电子增益的影响,研究了干扰光辐射照度与饱和干扰面积之间的关系,得出了以下结论:

1) 微光像增强器的电子增益受其接收到干扰光辐射强度影响,经历了干扰瞬间基本不变、干扰过程中剧烈变小、干扰结束恢复正常的一个变化过程;

2) 干扰光斑面积远远大于干扰光源在微光夜视设备的成像面积,且干扰光斑面积随时间变化曲线与干扰光照度曲线基本一致,说明干扰光斑面积与干扰光照度有直接的关系;

3) 干扰光斑是中心为亮光斑的明暗相间干扰环,且随辐射强度的减弱,圆形光斑的直径而变小,干扰圆环的亮度也随之减弱;

4) 干扰结束后,荧光屏很快恢复正常,表明饱和和干扰仅对像增强器的输出图像形成“软破坏”,而光电阴极、电子倍增管、荧光屏等硬件没有受到“硬损伤”。

整个干扰过程中干扰图像初期呈现一个以干扰光为圆心的大亮斑,随着像增强器的自饱和效应和自动增益控制电路发挥作用,其电子增益降低,干扰光斑的亮度有所下降,并分解成一个较小的光斑和环形光晕。在作战使用时,通过施放非相干光,不需要瞄准干扰对象,不需要高能量密度的相干光对光电阴极或微通道板的“硬破坏”,而是通过干扰像增强器的输出图像,利用干扰光斑和光晕分割侦察图像,同时降低其电子增益,使景物淹没在干扰光斑和光晕之中,同样可以达到干扰效果。

参考文献:

- [1] 蔡春贵.微光夜视仪器的关键技术的研究[D].西安:西安电子科技大学,2008.
CAI Chun-gui. The Research on the Low-Light-Level Night Vision Equipment's Key Technology[D]. Xi'an: Xidian University, 2008.
- [2] 狄慧鸽,钱芸生,赵爽,等.亮度增益对夜视仪视距的影响[J].红外技术,2004,26(6):27-30.
DI Hui-ge, QIAN Yun-sheng, ZHAO Shuang, et al. The Affect of Luminance Gain to Visual Range of LLL Night vision Apparatus[J]. *Infrared Technology*, 2004, 26(6): 27-30.
- [3] 艾克聪.微光夜视技术的进展与展望[J].应用光学,2006,27(4):303-307.
AI Ke-cong. Development and prospect of low-light-level (LLL)night vision technology[J]. *Journal of Applied Optics*, 2006, 27(4): 303-307.
- [4] 徐江涛,张兴社.微光像增强器的最新发展动向[J].应用光学,2005,26(2):21-23.
XU Jiang-tao, ZHANG Xing-she. The Latest Development of Low-Light-Level Image Intensifier[J]. *Journal of Applied Optics*, 2005, 26(2): 21-23.
- [5] 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,2013,35(2):63-66.
GUO Hui, XIANG Shi-ming, TIAN Min-qiang. A Review of the Development of Low-light Night Vision Technology[J]. *Infrared Technology*, 2013, 35(2): 63-66.
- [6] 常非,焦清介,许又文.微光夜视仪对烟火闪光辐射的响应[J].火工品,2002,6(2):22-25.
CHANG Fei, JIAO Qing-jie, XU You-wen, etc. The Response of Low-Light-Level Night Vision Equipment to Pyrotechnic Flare[J]. *INITIATORS & PYROTECHNICS*, 2002, 6(2): 22-25.
- [7] 郑晨,赵非玉,王巍.微光夜视仪对强闪光的响应研究[J].光电技术应用,2007,22(2):36-40.
ZHENG Chen, ZHAO Fei-yu, WANG Wei. Research on the Response of Night Vision Equipment to the Intense Flash[J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2007, 22(2):36-40.
- [8] 洪鸣,易明,项震.微光夜视设备强光防护阈值的试验方法探讨[J].红外技术,2006,28(2):101-104.
HONG Ming, YI Ming, XIANG Zhen, et al. Discuss on Experiment Methods of Protection Threshold of Highlight to Low-light Level Night-vision Device[J]. *Infrared Technology*, 2006, 28(2): 101-104.
- [9] 白廷柱,金伟其.光电成像原理及技术[M].北京:北京理工大学出版社,2010.
BAI Ting-zhu, JIN Wei-qi. *Potoelectronic Imaging Principle and Technology*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2010.
- [10] 邹永星,周仁魁,杨松龄.基于超二代像增强器的微光夜视仪设计[J].红外技术,2005,27(6):446-448.
ZOU Yong-xing, ZHOU Ren-kui, YANG Song-ling. Study of Night Vision Instrument at LLL Based on GenII Image Intensifier[J]. *Infrared Technology*, 2005, 27(6): 446-448.
- [11] 张鸣平,张敬贤.夜视系统[M].北京:北京理工大学出版社,1993.
ZHANG Ming-ping, ZHANG Jing-xian. *Night Vision System*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1993.