

〈综述与评论〉

国外微光夜视装备发展分析

程宏昌^{1,2}, 党小刚^{1,2}, 冯丹青^{1,2}, 苏悦^{1,2}, 左治伪³, 拜晓锋^{1,2}, 李周奎^{1,2}, 师宏立^{1,2},
闫磊^{1,2}, 侯志鹏^{1,2}, 姚泽^{1,2}, 石峰^{1,2}

(1. 微光夜视技术重点实验室, 陕西 西安 710065; 2. 昆明物理研究所, 云南 昆明 650223;
3. 云南北方光电仪器有限公司, 云南 昆明 615005)

摘要: 微光夜视装备水平在很大程度上决定着部队在夜间的作战能力。在现代战争中, 国外军事强国为了实现夜间“单向透明”到“独享黑夜”的飞跃提升, 近年来都在大力发展微光夜视装备。本文回顾了国外微光夜视装备发展历程与技术进步, 重点对近年来美国、俄罗斯、法国这3个国家微光夜视装备发展现状进行了梳理, 探讨了微光夜视装备研发中的具体投入、技术创新路径以及实际应用情况, 通过比较分析各国在微光夜视装备技术上的发展经验, 对我国微光夜视装备发展有所借鉴和启示。分析可见, 微光夜视技术在提升夜间作战能力和安全保障方面具有重要意义, 在军事领域具有重要作用。

关键词: 微光; 微光夜视装备; 三代微光像增强器

中图分类号: TN144

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2024)12-1399-12

Development of Low-Light-Level Night Vision Equipment Abroad

CHENG Hongchang^{1,2}, DANG Xiaogang^{1,2}, FENG Danqing^{1,2}, SU Yue^{1,2}, ZUO Zhiwei³, BAI Xiaofeng^{1,2},
LI Zhoukui^{1,2}, SHI Hongli^{1,2}, YAN Lei^{1,2}, HOU Zhipeng^{1,2}, YAO Ze^{1,2}, SHI Feng^{1,2}

(1. *Science and Technology on Low-Light-Level Night Vision Laboratory, Xi'an 710065, China;*
2. *Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China;*
3. *Yunnan North Optical & Electronic Instrument Co. Ltd., Kunming 615005, China*)

Abstract: The combat capability of a military at night is largely determined by the quality of low-light night-vision equipment. In contemporary military conflicts, various countries with sophisticated capabilities have been actively advancing low-light night vision equipment to achieve a substantial transition from “one-way transparency” to “exclusive control of the night.” This study systematically reviews the global development history and technological progress of low-light night vision equipment, focusing on the progression and current state of development in three countries: the United States, Russia, and France. It also explores specific investments, technological innovation paths, and actual applications in the development of low-light night vision equipment across these nations. By comparing and analyzing the developmental experiences of various countries regarding low-light night vision equipment technology, this study offers a reference and inspiration for the development of low-light night vision equipment in China. This comprehensive analysis demonstrates that low-light night vision technology is crucial in augmenting the combat capability of the military at night and guaranteeing national security, indicating that low-light night vision technology will play a crucial role in the military domain in the future.

Key words: low light, low-light-level night vision equipment, third generation of image intensifier tube

收稿日期: 2022-12-13; 修订日期: 2024-12-13.

作者简介: 程宏昌 (1974-), 男, 陕西省西安市人, 博士生导师, 正高级工程师, 一直从事微光夜视技术领域相关研究。E-mail: chh600@163.com。

通信作者: 石峰 (1968-), 男, 陕西省泾阳县人, 博士生导师, 研究员, 一直从事微光夜视技术领域相关研究。

0 引言

微光夜视技术和红外热成像技术是军用夜视技术两个支柱。狭义微光夜视技术是指利用目标景物对夜天光反射率差异探测成像,将人眼不能或不易看见的微弱光信号,通过微光像增强器光电转换、图像增强、图像显示,变成人眼易看、清晰明亮的可见光图像,使得人眼在黑夜中获得如同白昼一样的观察效果。

在军事领域,微光夜视技术支撑的微光夜视装备已经成为军用夜视装备重要组成,在现代高新夜视夜战中作用和地位越来越重要。在现代战争中,国外军事强国为了实现夜间“单向透明”到“独享黑夜”的飞跃提升,都在大力发展微光夜视装备。

自20世纪40年代起,世界各国开始对微光夜视技术进行研究。在20世纪40年代至50年代,美国陆军与美国无线电公司(RCA)两家合作一起开展微光夜视技术研究。从20世纪70年代开始,微光夜视技术得到了快速发展,且在战争中作用越来越重要。经过多年发展,美国、俄罗斯、日本、欧洲等国家相继拥有了具备研究微光夜视技术或大规模生产微光像增强器能力的机构和公司,美国拥有微光夜视技术研究的“先遣队”——陆军夜视实验室(NVL)和Intevac公司,Intevac于2022年将其光子学业务部门出售给私营光学技术公司EOTEC(EOTEC是2020年3月从美国主要国防承包商L3Harris公司分拆出来,主要是经营步枪瞄准镜和类似军事应用的全息光学器件制造商);三代微光像增强器生产厂商ITT公司、诺斯罗普-格鲁曼公司、ITT多年前成为ITT/Exelis,然后是Harris/Exelis。1932年,最初Litton公司是制造导航、通信和电子战设备的电子公司,1998年首先研制成功无膜MCP微光像增强器,2001年该公司被诺斯罗普-格鲁曼公司收购,成为利顿电子设备公司。不久后的2002年,诺斯罗普公司将利顿卖给了L3公司,后者将其更名为L3 Electron Devices。Harris于2019年与L3合并成立L3Harris, Harris(Exelis)的夜视部分业务卖给了Elbit Systems of America。所以现在美国两家三代微光像增强器制造商是L3Harris(又名L3H)和Elbit Systems of America(又名ESA)。俄罗斯有Katod公司,日本有Hamamatsu Photonics、NIL Nakanishi image lab公司等,欧洲有Photonis公司、Siemens AG公司还有许多依托像增强器生产厂商的微光夜视整机制造商。Photonis Group是在2005年由DEP、Burle和Photonis组成的,Photonis

目前在4个国家拥有生产设施,2022年12月以来,Photonis Group收购了Xenics、Proxivision、Telops和Elmul四家公司,并改名为Exosens, Exosens除了电子、离子、中子和伽马探测器外,还提出覆盖从紫外线到长波红外全光谱的光电器件及装备,面向生命科学、工业控制、核能和国防四大市场,目前保留了4个产品品牌:Photonis(增强型产品、核质谱探测器)、Xenics(红外传感器和相机)、Elmul(电子探测器)和Telops(高光谱和制冷红外相机)。本文对近年来美国、俄罗斯、法国等国家微光夜视装备发展现状进行了梳理,并提出了我国微光夜视技术的发展思路。

1 美国微光夜视装备

微光夜视装备核心部件是微光像增强器,据此研究微光夜视装备前需先研究微光像增强器现状。美国微光像增强器均是三代微光像增强器,以GaAs光阴极、防离子反馈膜、双面冷钨封和自动门控高压电源为技术特征。经过多年发展,美国三代微光像增强器外形和尺寸已逐步实现标准化,主流使用的有3个标准型号,分别为:MX10130型、MX10160型、MX11769型。其中MX10130型三代微光像增强器常用于PVS-5、PVS-7、LUCIE等微光装备,目前基本上已经淘汰;MX10160型三代微光像增强器常用于PVS-15、PVS-18、PSQ-20、PVS-14以及建立在PVS-14基础上的双筒视仪的微光装备;MX11769型三代微光像增强器与MX-10160型尺寸和结构类似,只是多了一个增益手动调节(manual gain)功能,常用于PVS-14、PVS-31等微光装备。

为了提高三代微光像增强器的性能,美国从1975年开始启动了“Omnibus计划”(多用途夜视装置采购计划)三代微光技术发展和装备采购计划,该计划分为几个发展阶段,平均4~5年上一个台阶,该计划有力推动了三代微光像增强器和装备的发展。同时,在计划实施过程中,三代微光像增强器的3种标准型号结构和外形尺寸保持不变,根据产品性能等级不同,分别完成了系列化微光装备生产,为不同用户提供了不同性价比的产品。如美国Elbit Systems of America公司,分别以MX-10160型、MX-10130型和MX-11769型为基础,完成F9800、F9810和F9815这3大系列产品生产,产品照片如图1^[1]所示。表1^[1-2]列出了美国Elbit Systems of America公司三代微光像增强器系列产品技术指标。从图1和表1可见:应根据微光设备接口不同,对三代微光像增强器外形结构和接口应进行统型,



(a) MX10130 型像增强器 (F9810 系列) (b) MX-10160 型像增强器 (F9800 系列) (c) MX-11769 型像增强器 (F9815 系列)
(a) MX10130 Image Intensifier (F9810 Series) (b) MX-10160 Image Intensifier (F9800 Series) (c) MX-11769 Image Intensifier (F9815 Series)

图1 Elbit 公司三代微光像增强器产品照片^[1]
Fig.1 Photos of third-generation low-light image intensifier products at Elbit systems^[1]

表1 三代微光像增强器系列产品技术指标^[1-2]

Fig.1 Photos of third-generation low-light image intensifier series products^[1-2]

Performance parameters	F9810 series	F9810 series	F9800	F9800 series	F9815	F9815 series
	YH	VH	series M22H	M24H	series M22H	M24H
Sensitivity/($\mu\text{A}\cdot\text{lm}^{-1}$)	≥ 1800	≥ 2000	≥ 2200	≥ 2200	≥ 2200	≥ 2200
Radiation sensitivity/($\text{mA}\cdot\text{W}^{-1}$)@880 nm	≥ 80	≥ 100	≥ 120	≥ 120	120	≥ 120
ultimate resolution/(lp·mm ⁻¹)	≥ 64	≥ 64	≥ 64	≥ 64	≥ 64	≥ 64
High illumination resolution/(lp·mm ⁻¹) (@200 lx)	≥ 36	≥ 36	≥ 40	≥ 40	≥ 40	≥ 40
Signal-to-noise ratio	≥ 25	≥ 25	31.2–34.3	34.4–37.5	31.2–34.3	34.4–37.5
Quality factor	-	-	2200	2400	2200	2400
Power supply	automatic gate control	automatic gate control	automatic gate control	automatic gate control	automatic gate control	automatic gate control
Effective cathode diameter/mm	≥ 17.5	≥ 17.5	≥ 17.5	≥ 17.5	≥ 17.5	≥ 17.5
Reliability	≥ 10000	≥ 10000	≥ 10000	≥ 10000	≥ 10000	≥ 10000

逐步实现标准化,采用尽量少的型号规格;微光设备应该根据统型后的三代微光像增强器结构实现接口标准化,最好能够实现三代微光像增强器安装到微光设备时达到“插拔式即插即用”效果,极大地压缩三代微光像增强器的更换时间,降低微光夜视设备维护成本;在同一型号规格下,应根据产品性能指标高低和功能不同,对三代微光像增强器进行等级分类,以便供用户合理选用,实现性价比最佳。

1.1 美国航空系统用微光夜视装备

美国航空系统用微光夜视装备主要有 AN/AVS-6^[3](F4212/F4210)和 AN/AVS-9 (F4949)。其功能和性能分述如下:

1.1.1 AN/AVS-6 双目夜视镜

AN/AVS-6 (F4212/F4210) 飞行员夜视镜主要用于旋翼飞机飞行员在夜间或低能见度条件下,低空飞行和超低空 (NOE) 飞行时辅助驾驶使用。飞行员佩戴 AN/AVS-6 双目望远镜,可在大动态范围

光照条件下,获得很高图像分辨率和清晰度,在低照度下也具有良好性能。它采用 MX-10160 型三代微光像增强器,物镜镀有与飞机机舱兼容的滤光膜可减弱来自驾驶舱仪表盘照明产生的眩光; AN/AVS-6 (F4212) 产品照片如图 2 所示。其主要性能参数分辨力大于 0.76 cy/mr,视场角达到了 40°^[3]。



图2 AN/AVS-6 (F4212) 产品照片^[3]
Fig.2 AN/AVS-6 (F4212) product photos^[3]
1.1.2 AN/AVS-9 (F4949) 双目夜视镜

AN/AVS-9 (F4949) 飞行员夜视镜是 AN/AVS-6 改进型, 主要用于飞行员在夜间或低能见度条件下飞行时辅助驾驶使用。随着 Elbit Systems of America F4949 系列已在 60 多个国家/地区服役, 它已成为美国空军和海军的标准夜间飞行系统, 能为飞行员提供夜视图像。它具有高分辨率、高增益、近红外响应高、可靠性好、焦距调整方式顺畅、与飞机夜间照明系统完全兼容、更舒适并且还提供各种物镜滤光膜和各种飞行头盔安装配置等特点^[4]。另外, 它采用白色荧光粉三代微光像增强器使图像光晕更小, 并减少飞行员眼睛疲劳, AN/AVS-9 (F4949) 售价约 4495 美元^[5]。产品照片如图 3 所示, AN/AVS-9 (F4949) 其主要性能参数分辨力大于 1.3 cy/mr^[6]。



图3 AN/AVS-9 (F4949) 产品照片^[6]

Fig.3 AN/AVS-9(F4949) product photo^[6]

1.1.3 美国航空系统用微光夜视设备发展分析

从美国航空系统用两型微光设备对比分析可见, 共同特点是均采用了柱面触钉式结构的 MX-10160 型三代微光像增强器, 且都要考虑头盔夜视眼镜与机舱兼容问题^[4]。从两种望远镜的发展来看, 要求具有更大动态范围、更高分辨力、更高增益和更高可靠性, 更好舒适度。分析发展趋势可见, 要实现装备性能和功能的提升, 需要核心器件三代微光像增强器性能有所提升, 即三代微光像增强器不断提高分辨力、增益和舒适度。从而三代微光像增强器由原来传统的单一绿光荧光粉, 出现了白光荧光粉, 与人眼感光效果更加匹配, 舒适度更好。

1.2 美国地面作战系统用微光夜视装备

美国地面作战系统用微光夜视装备主要有 3 种基本型号, 分别为: AN/PVS-23、AN/PVS-7、AN/PVS-14, 另外, AN/PVS-15A/15C 大约于 2000 年开始服役, 作为专门为地面作战的双目夜视设备, 配发给美军和北约成员国的特种部队成员使用, 采用三代微光像增强器, 主要由 L3 公司生产, 以上

四种夜视装备的核心部件仍是三代微光像增强器。设备功能及特点分述如下:

1.2.1 AN/PVS-23 双目夜视镜 (F5050)

地面作战系统 AN/PVS-23 Night Vision Binocular (F5050), 可为越野驾驶提供先进的深度感知。典型产品是坚固耐用的 Elbit Systems of America F5050 双筒望远镜, 结构比 AN/AVS-6 ANVIS 更结实, 并且配备了标准航空级别的光学元件和 MX-10160 三代像增强器, 具有独立的眼距调节和立体视觉手持式或头盔式操作, 可以使用无线电和智能手机启用数据提供共享态势感知能力^[7], AN/PVS-23 (F5050) 售价约 8549~12136 美元^[8]。产品照片如图 4 所示, 其性能方面表现为分辨力大于 1.3 cy/mr, 亮度增益大于 6000 cd/m²/lx^[9]。



图4 AN/PVS-23 (F5050) 产品照片^[9]

Fig.4 AN/PVS-23(F5050) product photo^[9]

1.2.2 AN/PVS-7 双目夜视镜 (F5001)

地面系统 AN/PVS-7 Night Vision Biocular (F5001), 主要用于地面作战部队实现高难度任务。具有亮度保护以及 IR 辅助照明功能, 系统中包括 IR-on 指示灯和 MX-10130 型像增强器自动强截止保护功能, 可手持式、头盔式或头带式, 实现免提操作。产品照片如图 5 所示, 其主要性能参数分辨力大于 1.15 cy/mr, 亮度增益大于 3000 cd/m²/lx^[10]。



图5 AN/PVS-7 (F5001) 产品照片^[10]

Fig.5 Product photo of AN/PVS-7 (F5001)^[10]

1.2.3 AN/PVS-14 单目夜视镜 (F6015)

AN/PVS-14 Night Vision Monocular (F6015), 于 2000 年开始服役, 是美军和北约成员国大量装备的一种单目夜视镜。采用三代微光像增强器, 主要由 L3 公司和 Elbit Systems of America 生产。它可通

过吊带套件戴在用户头上或直接安装在加有适配器的战术头盔上,也可通过皮卡丁尼导轨安装在武器上作为夜视瞄具使用。

AN/PVS-14 单目夜视镜主要用于美国各军种特种部队以及警方特种战术小组,其具备的多种功能可使士兵能够在夜间条件下快速有效地移动,而无需携带多种类型专用设备。典型产品是 Elbit Systems of America F6015,它是美军继 AN/PVS-7 后的夜间观察装备,不同于其他夜视镜之处在于,该夜视镜既可头戴,也可安装与枪械,专为手持、武器安装和相机适配使用而设计,内置增益可调的 MX-11769 三代微光像增强器,可帮助用户远距离观测潜在的威胁和目标,具有轻便小巧、增益可调节特点,具备 IR 照明、输入和输出智能视频、静态照片等功能^[5],售价约 4295 美元^[11]。产品照片如图 6 所示,AN/PVS-14 单目夜视镜放大倍率为 1 倍,可实现 25 mm 到无穷远对焦^[12]。



图 6 AN/PVS-14 (F6015) 产品照片^[12]

Fig.6 AN/PVS-14 (F6015) product photo^[12]

1.2.4 美国地面作战系统用微光夜视装备发展分析

从美国地面作战系统用 3 型微光夜视装备来看,它们采用了上文提及的 3 种不同结构三代微光像增强器 (MX-10130、MX-10160 和 MX-11769)。这 3 种不同结构三代微光像增强器,除了外形结构不同,性能指标也有所提升,功能也有所变化,如 MX-11769 型增加了增益外部调节功能,从而使相对应的微光夜视设备具备内置增益调节功能。另外这 3 型微光夜视装备在人机工程性能方面都有很大提升。从这 3 型微光夜视设备技术指标可见,增加了无线电和智能手机启用数据提供共享态势感知和能力输入、输出智能视频、静态照片等功能。可以得到一个启示,对于直视型微光夜视装备可通过现场快速拆卸目镜,将目镜快速更换为 CCD/CMOS 组件实现荧光屏输出图像的共享与传输,满足联合作战需求。

1.3 美国地面和航空系统兼容微光夜视装备

美国地面作战和航空系统兼容微光装备主要有 7 种型号,分别为 ANVIS-10 四筒双目夜视镜、

AN/PSQ-20 (ENVG) 单目增强型夜视镜、ENVG-B 双目增强型夜视镜、AN/PVS-21 加固式折叠双目夜视镜、AN/PVS-31 双目夜视镜、BNVD-1531 双目夜视镜和基于 EBAPS 数字微光系统。

1.3.1 ANVIS-10 四筒双目夜视镜

如图 7 所示,ANVIS-10 四筒双目夜视镜也被称为“全景夜视镜”(panoramic night vision goggles),最初是作为航空夜视仪使用,主要装备美国空军 A-10“雷电 II”攻击机飞行员,通过 4 个通道拼接,使夜视仪视场可达 97°,为飞行员提供更好的夜视效果^[5]。

1.3.2 AN/PSQ-20 (ENVG) 增强型单筒夜视镜

2008 年最引人注目的观瞄装置是美军 AN/PSQ-20 (enhanced night vision goggle, ENVG),是一款由 ITT Exelis 为美军开发的第三代单筒夜视镜,它融合了微光像增强器和红外技术,让佩戴者在光线非常少的环境下看得见。这两种模式可同时启用或单独使用。ENVG 于 2004 年被美国陆军选定为未来部队勇士项目的辅助装备,该装备图如图 8^[13]所示,正式定名为“AN/PSQ-20”,并将有可能取代 AN/PVS-7 和 AN/PVS-14 等旧式单筒夜视镜。尽管相比旧型号成本更昂贵和更重,美国特种作战部队最早已于 2008 年开始采用 AN/PSQ-20,生产商也对 ENVG 做出各种改良,包括减轻重量及新增数字图像传送功能。

1.3.3 ENVG-B 双目增强型夜视镜

2021 年 5 月 8 日,美国陆军第 2 步兵师第 2 斯崔克旅级战斗队 (SBCT) 开始换装“双筒增强型夜视镜 (ENVG-B)”,它具有轮廓融合模式,红外轮廓叠加微光影像上,红外图像显示为明亮的白色轮廓,使目标更醒目,图像的上部还能看到一个数字指南针,帮助士兵确认方位。

ENVG-B 双筒增强型夜视镜,是 AN/PSQ-20 (ENVG) 改进版,它是目前美国陆军开发和部署的最先进的夜视镜,相比单筒 AN/PSQ-20 (ENVG) 夜视镜,它包括一个高分辨率显示器和一个嵌入式士兵无线个人局域网,可以进行快速目标捕获和增强现实算法,让佩戴者获得立体视觉。产品照片及应用示意如图 9 所示^[14]。

1.3.4 AN/PVS-21 加固式折叠双筒夜视镜

AN/PVS-21 夜视镜是美国 STS 公司生产的一种加固式折叠双筒夜视镜,目前美国、英国、加拿大以及意大利等多个国家的特种部队都装备了这种夜视镜。它具有可见光和红外光照明和变焦功能,可以在恶劣的天气条件下提供传感器融合能力,它搭

载 HUD 显示器、陀螺仪、电子地图显示等，HUD 上可以叠加各种战场数据信息，具备独特的通视能力，士兵或直升机驾驶员可以用直视光学系统观看前方场景，也可同时观看与增强后影像叠加后的场景。示意如图 10 所示^[15]。

1.3.5 AN/PVS-31 双目夜视镜

AN/PVS-31 是 L3 公司生产的一款紧凑、轻巧的双目夜视镜，是陆军新型微光夜视装备，结构上基本就是双目的 AN/PVS-14，可用于士兵观察、侦察

使用、行军以及车辆驾驶，较单筒夜视镜更有距离感，它采用 L3 公司标准绿色荧光屏技术，具有符合人体工程学低轮廓设计，与单管护目镜相比提供了优越的态势感知能力，具有轻巧人体工学设计，可与燕尾式头盔支架配合使用，可手动调节系统增益，旋转式双目夜视镜设计可使其作为单目夜视镜使用，收起时电源自动关闭，展开时电源恢复^[16]，产品照片如图 11 所示。



图 7 ANVIS-10 实物图^[5]
Fig.7 ANVIS-10 night vision goggles^[5]



图 8 ENVG 实物图^[13]
Fig.8 Binocular enhanced night vision goggles^[13]



(a) 产品照片
(a) Product photo



(b) 产品应用示意图
(b) Product application diagram

图 9 ENVG-B 双筒增强型夜视眼镜^[14]
Fig.9 ENVG-B binocular enhanced night vision goggles^[14]



图 10 AN/PVS-21 示意图^[15]
Fig.10 AN/PVS-21 night vision goggles diagram^[15]



图 11 AN/PVS-31 产品照片^[16]
Fig.11 AN/PVS-31 product photo^[16]

1.3.6 BNVD-1531 双目夜视镜

BNVD-1531 双目夜视仪是 L3 公司生产的,它结合了 AN/PVS-15 和 AN/PVS-31 的特性,更加轻小型化,可作为头戴式或手持式系统进行操作。配备了 L3 Harris 制造的高性能自动门控三代微光像增强器,荧光粉有绿色(P43)或白色(P45)两种。L3 Harris 白荧光技术为作战人员提供了更好目标检测和识别能力。夜间操纵时黑白两种颜色显得更加自然,在形状和阴影中增加了对比细节,可为操作员提供更多视觉信息^[17],产品照片如图 12 所示。



图 12 BNVD-1531 产品照片^[17]
Fig.12 BNVD-1531 product photo^[17]

1.3.7 基于 EBAPS 的数字微光系统

基于 Intevac 公司 EBAPS 器件,美国先后开发了 4 款 EBAPS 相机产品,分别为 Night Vista VISNIR, Gated SWIR, Apache 和 Digital Night Vision Goggles (DNVG),如图 13 所示^[18]。

Night Vista VISNIR 相机可从极度黑暗环境到黄昏条件下提供清晰图像; Gated SWIR 相机可覆盖从白天到黑夜场景,适用于各种远程目标定位和识

别需求场景; Apache 相机应用在攻击直升机和其他战场上应用; DNVG 可融入到适合头盔或手持设备使用^[19]。

目前, Intevac 正对 ISIE19 EBAPS 传感器进行研究,增强型 EBAPS 将在利用 Intevac 的 ISIE19 EBAPS 技术显著提高低光性能^[20]。



(a) Night Vista VISNIR 相机
(a) NightVista VISNIR camera



(b) Gated SWIR 相机
(b) Gated SWIR camera



(c) Apache 相机
(c) Apache camera



(d) Digital night vision goggles
(d) Digital night vision goggles

图 13 美国 Intevac 公司四款相机^[18]

Fig.13 Four type cameras of Intevac^[18]

Intevac 新开发 ISIE19 EBAPS 传感器,受到关注,如图 14 所示^[21]。



图 14 数字夜视镜 (DNVG) ^[21]

Fig.14 Digital night vision goggles ^[21]

1.4 美国微光夜视装备发展分析

根据美国微光夜视装备发展历程,绘制了路线图^[22-27],如图 15 所示。

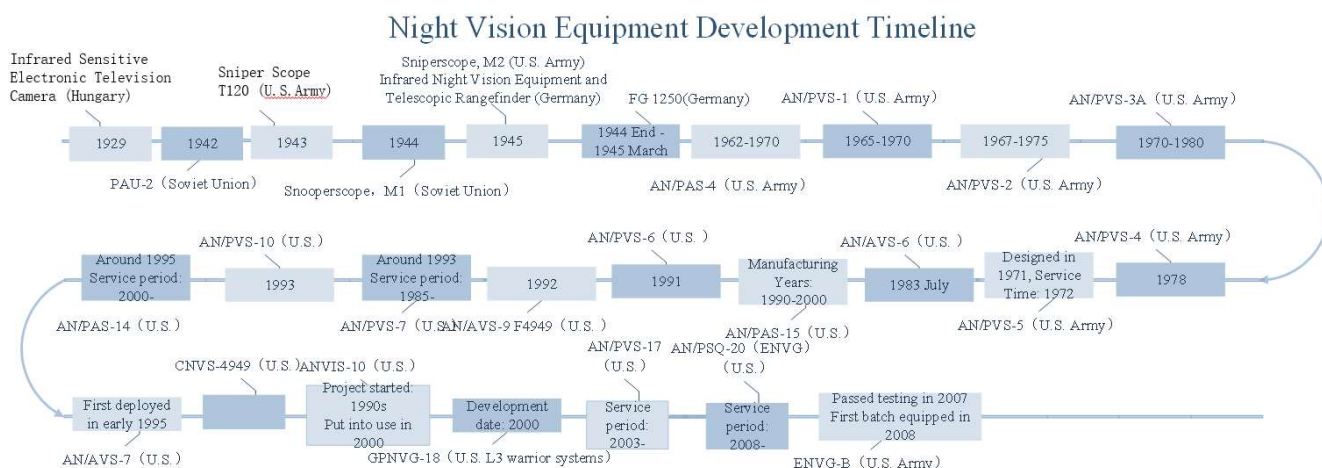


图 15 美国微光夜视装备发展路线

Fig.15 Development roadmap of low-light night vision equipment in United States

从图 15 可见, ①微光夜视夜战装备是一个持续发展过程, 随着核心器件性能不断提升, 微光夜视装备性能不断提升; ②同一款微光夜视装备在整机型号不变条件下, 随着其核心器件——三代微光像增强器性能提升, 将产生性能等级不同的微光夜视镜并分批次服役于部队。如 AN/PVS-7, 从 1985 年开始服役, 1993 年左右又开始升级, 1995 年又初次部署, 2003 年性能升级后又开始服役。③从 AN/PVS-1 到 ENVG-B 发展过程可见, 大约是每 3~5 年完成一个升级换代, 如 AN/PVS-7 服役时间为 2003 年, GPNVG-18 研发时间为 2000 年, AN/PVS-7 服役时间为 2003 年, AN/PSQ-20 (ENVG) 服役时间为 2008 年, 再者, 结合微光夜视装备性能提升, 可以推测, 三代微光像增强器性能提升大约也是 3~5 年一个台阶。到目前为止 ENVG-B 微光设备功能在不断增加, 从资料报道可知: 2021 年 5 月 8 日, 美国陆军第 2 步兵师第 2 斯崔克旅级战斗队 (SBCT) 开始换装“双筒增强型夜视仪 (ENVG-B)”。从图 15 中可见, ENVG-B 所示 2008 年第一批装备到 2021 年已经间隔 13 年, 分析可知, 在近 10 年微光夜视装备发展处于相对平缓期, 结合三代微光像增强器和微光装备性能、功能指标发展对比可推测, 近 10 年美国微光夜视装备技术指标已处于高端小幅提升期, 微光装备发展重点在于利用多种技术实现双色融合、优化人机工程、提升图像识别能力、增加定位等功能性提升, 发展思路实现了“高性能”向“高性能+多功能”转化。

2 俄罗斯微光夜视装备

2.1 MNV-K 单目夜视镜

MNV-K 单目夜视镜主要用于军事和特种作战,

夜间巡逻和现场保护, 夜间空中和海上航行, 在救援和紧急行动中, 也可用于夜间无光照明越野导航^[15]。它能够实现士兵在星光条件下进行夜间目视观察、夜间陆地导航、夜间海上导航。夜视镜 MNV-K 可选配多种倍率物镜, 与头盔上单眼使用或与通用相机接口相匹配, 红外照明光源可保障视场内照明均匀性, 设备如图 16^[28]所示。



图 16 单目夜视镜 MNV-K^[28]

Fig. 16 Monocular night vision goggles MNV-K^[28]

MNV-K 夜视镜内置红外照明器, 包含超二代或三代微光像增强器。这款单筒夜视镜是 JSC Katod 单筒夜视基础版本。

2.2 MNV-KR 单目夜视镜

MNV-KR 单目夜视镜是一款高品质商用夜视镜, 相比于 MNV-K 夜视镜, 其在功能上加入了亮度手动控制功能, 操作人员可以根据个人喜好调节夜视镜亮度 (增益) 以获得更舒适观察效果。MNV-KR 主要优点包括: 重量轻、易于使用、在手动增益调节下可在不同光照条件下获得更优观察对比度。产品如图 17^[29]所示。

2.3 MNV-S 单目夜视镜

夜视镜 MNV-S 可用于军事夜间巡逻和现场保护以及夜间空中航行, 能够在星光条件下进行夜间

观察、陆地导航、海上导航。在夜间没有照明情况下,可使用单目镜进行越野导航,相比于早期夜视镜 MNV-K、MNV-KR,不仅完全具备了两种夜视镜性能优势,还在结构上进行了优化,采用了集成化设计思想,可进一步保证了夜视镜小型化优势,在系统光学性能上,夜视镜接收端使用了 F 数等于 1.2 物镜,充分利用了弱光环境下光能量,为夜视镜夜间观察及夜间探测提供了有力保障。产品如图 18^[30]所示。



图 17 单目夜视镜 MNV-KR^[29]
Fig.17 Monocular night vision goggles MNV-KR^[29]



图 18 单目夜视镜 MNV-S^[30]
Fig.18 Monocular night vision goggles MNV-S^[30]

3 法国微光夜视装备

法国微光夜视装备主要有手持型双筒望远镜 TacFusion 如图 19^[31]所示。TacFusion 双筒望远镜内置 Photonis 低照度相机和热成像传感器,集合了先进微光、热成像和融合功能,不受周围环境和光照影响。TacFusion 双筒望远镜支持视频实时传送。它有着良好系统成像探测功能,可实现对人目标 (1.8 m×0.7 m): 1000 m 探测、400 m 识别、150 m 确认,对车辆目标 (2.3 m×2.3 m): 3000 m 探测、1200 m 识别、450 m 确认。

Photonis 作为首个提供 4G 16 mm 微光像增强器的产品,16 mm 直径微光像增强器使 OEM 能够制造更轻便微光夜视设备,其性能水平与 18 mm 微光像增强器的微光设备相同,4G 已成为 Photonis 近 10 年来表现最出色产品,如今已成为所有主要欧

洲陆军项目标杆。据 2024 年 7 月报道,法国 Photonis 作为 Exosens 公司一部分,向澳大利亚陆军提供尖端 4G P45 微光像增强器,制成 NYX 双筒夜视镜。



图 19 手持型双筒望远镜 TacFusion^[31]
Fig. 19 Handheld binoculars TacFusion^[31]

4 国内外市场发展

现代战争全天候性,使得微光夜视装备成为全球海、陆、空军主要武器平台的各类夜视观察器材之一,在军事领域发挥着越来越重要和不可替代的作用。

4.1 国际市场情况分析

国际市场方面,美国、法国、德国、俄罗斯、荷兰等国家投入了几亿美元用于为本国军队购买微光夜视装备,与 Photonis、L3-Harris、Intevac 等公司签订了一系列关于微光夜视镜,微光像增强器的合同。

Intevac 在 2021 年 10 月获得了一份价值 1630 万美元的五年期定量定价合同,继续为美国陆军的阿帕奇直升机生产现代化飞行员夜视传感器 (M-PNVS) 摄像头。用于提升美国陆军飞行员夜视传感器 (M-PNVS) 的性能。Photonis 公司主要提供 4G 像增强器,并推出了一款微光红外融合手持式双目夜视镜——TacFusion。L3Harris 公司主要提供产品为其白光荧光粉微光像增强器及 ENVG-B 夜间战斗系统,它包括双目夜视镜、高分辨率显示器和嵌入式士兵无线个人局域网,可快速进行目标捕获和增强现实算法,可与美国陆军奈特用手系统 (Nett Warrior) 进行交互。

可见,世界各国对微光夜视技术极为重视,为了提高本国军队夜战能力,投入了大量资金购买先进微光夜视设备,以下是近年来微光夜视装备及微光像增强器采购情况。

4.1.1 微光像增强器与微光夜视镜

美国和北约等国家近年来持续采购三代微光强增强器、4G 像增强器以及 EBAPS 数字传感器这 3 类微光器件为核心的微光夜视装备,2021 年-2022 年

两年间,共签订金额约8亿美元夜视眼镜采购合同。上述3类微光器件共计约10万支,可见微光夜视装备仍是国外军队夜视装备重点^[31]。详述如下:

1) Elbit Systems of America 于2022年10月12日宣布获得美国陆军1.07亿美元订单。该订单将供应约5000具增强型双目(ENVG-B)夜视镜及1万支高性能三代微光像增强器,并将在弗吉尼亚州罗阿诺克完成测试和检测,交付期为2023-2024年。ENVG-B 配备白光荧光粉微光像增强器,增强场景对比度和态势感知能力,适用于黑暗、雾霾和烟尘环境,并支持与枪械红外成像模块无线连接,提升目标捕获效率和战场感知。

2) L3 Harris 获得澳大利亚2.33亿美元合同支持军队现代化。其中1.18亿美元用于提供先进夜视镜技术,提升士兵定位、威胁应对和态势感知能力。L3Harris 将交付融合夜视系统(FNVS),集成微光夜视与红外热成像技术,为各种战场条件下的士兵提供增强的感知、瞄准和识别能力。结合电视显示传输模块,FNVS 可将关键战场信息直接传输至士兵视野。

3) L3 Harris 为美国陆军交付1500多套 ENVG-B 夜视镜。2021年3月16日,第82空降师接收了这批系统,以提升士兵态势感知、机动性和保护能力。L3Harris 已累计交付4500多套 ENVG-B,满足作战需求。公司总裁 Lynn Bollengier 称,ENVG-B 是美国陆军最先进的夜视镜,支持士兵在弱光或无光条件下执行任务。

4) L3Harris 获美国陆军1亿美元 ENVG-B 夜视镜订单。该订单于2021年9月16日签订,用于提升士兵态势感知、机动性和生存能力。这是 ENVG-B 项目的第二份订单,总值达4.42亿美元。自2018年以来,L3Harris 已向陆军交付6000多套 ENVG-B 系统。

5) Elbit Systems 获美国海军陆战队4100万美元订单。该订单于2021年4月20日签订,用于在2022年3月前用双目夜视镜(SBNVG)替换现役单目夜视镜 PVS-14。SBNVG 配备高性能白光荧光粉微光像增强器,提供更高深度感知、清晰度和超长待机时间,显著提升海军陆战队战场优势。

6) Photonis 为荷兰军队提供4300具4G微光像增强器。该公司于2021年3月22日宣布,将支持国防材料组织(DMO)与Elbit签署的7年合同。该合同供应 XACT32NV 单筒夜视镜,采用小型高性能16mm 4G微光像增强器,具备高性能、小体积、轻量

化特点。Photonis 的4G系列在欧洲武装部队中广受青睐,延续了其在微光夜视设备领域的领先地位。

7) Photonis 与北约采购局(NSPA)签订合同。2021年2月15日,该公司为北约欧洲国家升级配备4G微光像增强器的夜视镜,供应1400多件,用于升级约700架航空系统的双筒夜视镜,服务于飞行员和直升机机组。此合同巩固了 Photonis 在欧洲高性能微光像增强器市场的地位。

8) 2024年2月,Photonis 向 Theon Sensors 的 Mikron 夜视双筒夜视镜提供40000个4G 16mm微光像增强器,将供应给德国和比利时武装部队。

9) 2024年7月,Photonis 向 Theon Sensors 提供了高性能4G白光荧光粉18mm微光像增强器,供合作伙伴 Force Ordnance (澳大利亚)集成到澳大利亚陆军使用的120个NYX双筒夜视镜中。

4.1.2 EBAPS 数字微光夜视装备

EBAPS 数字微光夜视传感器基于电子轰击有源像素传感器(EBAPS®)技术,是一种数字化微光夜视装备,能够实现图像显示、传输及共享。

1) Intevac 获得价值500万美元EVA数字夜视传感器合同。2020年12月14日,Intevac 宣布已收到500万美元开发合同,支持美国海军资助现实增强(EVA)计划。将有助于美国海军和陆战队飞行员在弱光条件下更有效地执行任务。Intevac 将提供他们最新的ISIE19 EBAPS®数夜视传感器。

2) Intevac 获得1630万美元EBAPS采购合同。2021年10月4日,Intevac 宣布获得了一份为期5年、固定价格、无限期交货/无限期(IDIQ)合同,订单金额1630万美元,用于为美国陆军 Apache Helicopter 现代化飞行员夜视传感(M-PNVS)计划继续生产微光夜视装备。

Intevac 于2020年9月完成了美国 Apache 舰队、备件和初始 FMS 客户订单交付。该合同规定美国陆军能够在2026年8月前,可以预先协商价格采购更多产品。

4.2 国内市场情况分析

2021年我国十三届全国人大四次会议通过《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中提到,十四五期间武器装备放量,这将是我国武器装备建设战略窗口期,军工行业将迎来多重产业拐点,政策红利。

在建设世界一流军队目标指引下,我国军工行业需求旺盛。随着微光夜视装备在城市夜间安防、野外夜间科学考察、夜间安全驾驶、矿井抢险救灾等民用市场拓展,国内微光夜视器件市场前景可观,市场规

模将维持增长态势。

5 结束语

通过对美国、俄罗斯、法国微光夜视装备发展历程分析、微光装备性能对比、微光夜视装备和微光像增强器市场调研,可见,微光夜视技术是发展持久的技术,将牵引着微光夜视装备在今后相当长一段时间内持续发展。特别是从近年来国外微光夜视装备市场情况可知,当前一段时期内,高性能微光夜视装备仍是以美国为首军事强国军队采购列装重点;从微光夜视装备性能、功能指标发展变化情况可知,在今后一段时间内,美国微光夜视装备发展已处于高端小幅提升期,微光夜视装备发展思路将从单一“高性能”提升,向“高性能+多功能”同步提升转化。发展重点将聚焦在:采用新技术赋能实现双色融合、优化人机工程、提升图像识别能力、增加定位等功能。鉴于此,我国微光夜视装备发展策略可以采取核心器件微光像增强器性能提升与微光夜视装备功能增加两方面兼容性设计、同步实施、集成验证,力争在较短时间内实现高性能、多功能微光夜视装备服务军队。

参考文献:

- [1] Elbit America. Night vision[EB/OL]. [2024-12-08]. <https://www.elbitamerica.com/night-vision>.
- [2] 金伟其, 刘广荣, 王霞, 等. 微光像增强器的进展及分代方法[C]//全国光电技术学术交流会暨全国红外科学技术交流会, 2004, 30(4): 460-466.
JIN W Q, LIU G R, WANG X, et al. Image intensifier's progress and division of generations[C]//*Optical Technique*, 2004, 30(4): 460-466.
- [3] Ferziger J, Waldman P. How do Israel's tech firms do business in Saudi Arabia? Very quietly[J]. *Americas*, 2000, 1(212): 318.
- [4] Martin J S, Beasley H H, Verona R W, et al. Semiautomated methodology for measurement of field-of-view, magnification, and distortion of night vision devices as defined in MIL-A_49425 (CR)[R]. Fort Rucker, AL: US Army Aeromedical Research Laboratory. USAARL Report, 1994 (94-25).
- [5] 何晓骁. 美国空军的夜视夜战装备及训练[J]. *国际航空*, 2020(7): 4.
HE X X. USAF night vision equipment and training[J]. *International Aviation*, 2020(7): 4.
- [6] Redden E S, Elliott L R. *Night Vision Goggle Design: Overcoming the Obstacle of Darkness on the Ground*[M]//Designing Soldier Systems. CRC Press, 2018: 135-156.
- [7] 唐永滋. 美军微光夜视技术的发展及装备应用[J]. *云光技术*, 2020, 52(2): 6-13.
TANG Y Z. Development and equipment application of low-light-level night vision technology of the US military[J]. *YunGuang Jishu*, 2020, 52(2): 6-13.
- [8] White R, Bedard L, Derrah S, et al. Defense Technology Opportunities for First Responders: ADA437615 [R]. Naval Sea Systems Command and Various Defense Organizations, 2004: 1-84.
- [9] Gaston J, Foots A, Stachowiak C, et al. Aural-Nondetectability Model Predictions for Night-Vision Goggles across Ambient Lighting Conditions: ARL-TR-7564 [R]. U.S. Army Research Laboratory, 2015: 123-130.
- [10] Morrow W B. Night vision goggles (AN/PVS-7)- Performance issues and answers: AMSEL-NV -TR-0075[R]. Fort Belvoir, VA: CECOM Center for Night Vision and Electro-Optics, Visionics Division.(DTIC No. AD-A206 117), 1989.
- [11] Redden E S. Safety Assessment of Wearing the AN/PVS-14 Monocular Night Vision Device (MNVD) and AN/AVS-6 Aviator's Night Vision Imaging System (ANVIS) During 5-Ton and HMMWV Night Driving: ARLTR-2580[R]. Aberdeen Proving Ground, MD: US Army Research Laboratory, 2002.
- [12] Estrera J P, Ostromek T E, Isbell W, et al. Modern night vision goggles for advanced infantry applications[C]// *Helmet-and Head-Mounted Displays VIII: Technologies and Applications of SPIE*, 2003, 5079: 196-207.
- [13] L3 Harris. Enhanced Night Vision Goggle (ENVG) AN/PSQ-20B [EB/OL]. [2024-12-12]. <https://www.l3harris.com/all-capabilities/enhanced-night-vision-goggle-envg-an-psq-20b>.
- [14] L3 Harris Technologies. Enhanced Night Vision Goggle-Binocular (ENVG-B) [EB/OL]. [2024-12-12]. <https://www.l3harris.com/all-capabilities/enhanced-night-vision-goggle-binocular-envg-b>.
- [15] Krebs, W. R. Development of a Night Vision Goggle Heads-Up Display for Paratrooper Guidance: ADA487563 [R]. Defense Technical Information Center, 2008.
- [16] Hamilton J A, Roush G, Kinney L M J, et al. Comparison of night vision technology for close-quarters combat operations: How field of view impacts live-fire scenarios[J]. *Human Factors and Mechanical Engineering for Defense and Safety*, 2020(4): 1-15.
- [17] Rozelle D R. A Methodology for Improving the Usability of The ANVIS/HUD Computer Based Trainer[D]. California: Naval Postgraduate School Monterey, 1997.
- [18] Intevac. Military products [EB/OL]. [2024-12-12]. <https://www.intevac.com/intevacphotonics/military/>.
- [19] James Moniz, Claire McAdams. Intevac Photonics Announces Two New Development Awards in Support of IVAS [EB/OL]. [2021-06-23]. [2022-06-23]. <https://www.businesswire.com/news/>

- home/20210623005321/en/Intevac-Photonics-Announces-Two-New-Development-Awards-in-Support-of-IVAS.
- [20] Ratches J A. Night vision modeling: historical perspective[C]//*Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing X of SPIE*, 1999, **3701**: 2-12.
- [21] Intevac Photonics. Digital Night Vision Goggles (DNVG) [EB/OL]. (n.d.) [2024-12-11]. <https://www.intevac.com/Intevac-photonics/military/dnvg/>.
- [22] Armentrout J J. An investigation of stereopsis with AN/AVS-6 night vision goggles at varying levels of illuminance and contrast[D]. Virginia: Virginia Tech, 1993.
- [23] Sabatini R, Richardson M A, Cantiello M, et al. A novel approach to night vision imaging systems development, integration and verification in military aircraft[J]. *Aerospace Science and Technology*, 2013, **31**(1): 10-23.
- [24] Castelli C J. Report sent to congress: DOD concludes night-vision industry must shed more excess capacity[J]. *Inside the Army*, 2012, **24**(41): 12-14.
- [25] Slocombe G. Night fighting equipment: Research and technology developments for the ADF[J]. *Asia-Pacific Defence Reporter* (2002), 2019, **45**(10): 22-25.
- [26] Slocombe G. Land 53 phase1br: Adf night fighting equipment replacement[J]. *Asia-Pacific Defence Reporter* (2002), **2017**, **43**(10): 22-24.
- [27] REN B, JIAO G, LI Y, et al. Research progress of true color digital night vision technology[C]//*Seventh Symposium on Novel Photo-electronic Detection Technology and Applications of SPIE*, 2021, 11763: 1710-1720.
- [28] Military and Law. MNV-K Night Vision Device [EB/OL]. (n.d.) [2024-12-11]. <https://www.militaryandlaw.com.au/shop/item/mnv-k-night-vision-device/>.
- [29] Military and Law. LLC Katod releases the latest version of lightweight MNV-SR Night Vision Device & Night Vision Goggle [EB/OL].[2016-02-24].[2024-12-11].<https://www.militaryandlaw.com.au/article/llc-katod-release-latest-version-of-lightweight-mnv-sr-night-vision-device-and-night-vision-goggle>.
- [30] Military and Law. MNV-S Night Vision Device Brochure (PDF) [R/OL].(n.d.)[2024-12-11].<https://www.militaryandlaw.com.au/files/brochures/katod/mnv-s.pdf>.
- [31] Photonis Defense. TacFusion: The newest handheld binocular combining low-light camera core and thermal imaging sensor [EB/OL].[2021-11-30]. [2024-12-11]. <https://www.photonis-defense.com/newsroom/Blog4/Photonis-Defense-releases-TacFusion-the-newest-handheld-binocular-combining-low-light-camera-core-and-thermal-imaging-sensor>.