

微光夜视仪的发展

Development of Low-Light Level Night Vision

王丽¹ 尚晓星¹ 王瑛²

(¹ 焦作师范高等专科学校 理化生系, 河南 焦作 454100)

(² 河南平原光电有限公司, 河南 焦作 454100)

Wang Li¹ Shang Xiaoxing¹ Wang Ying²

(¹ Jiaozuo Teachers College, Jiaozuo Henan 454100, China)

(² Pingyuan Opto-electronic Ltd., Jiaozuo Henan 454100, China)

摘要 夜战已成为现代战争的重要形式, 夜视技术影响着夜战的成败。夜视技术在民用方面也具有广阔的前景, 夜视技术的民用化进程将会为经济发展带来强大的推动力。美欧等国家的微光夜视仪已历经一代、二代、三代、超二代、超三代、四代, 我国与他们相比有 10 到 20 年的差距。增加科研投入、加快研发速度、实现工业化生产并装备军队, 以及低端产品的民用化进程是摆在科研工作者面前的首要任务。

关键词 微光夜视; 像增强器; 微通道板; 砷化镓光阴极

Abstract Night war has been an important form of modern war, and night vision technology influences who is the winner of night war. Meanwhile, night vision technology has a wide prospects in civil range, and its progress will bring up economic power. Low-light level night vision in America and Europe has gone through the first, second, third, super-second, super-third and fourth generations. There are ten to twenty years distance between our country and them. It is an important task to get more research investment, acceterate the study speed, realize product-industry and equip the army, and pull up civil progress at low level product for our scientists and engineers.

Key words low-light level night vision; image intensifier; microchannel plate; GaAs photocathode

中图分类号 TN223

1 引言

近年来, 以美国为首的西方国家发起了海湾战争、科索沃战争、伊拉克战争等重要军事行动。从战场的实况我们认识到, 现代战争发生了很大的改变, “宁静的夜晚”已成为过去, 而利用夜色的掩护, 凭借先进技术, 使夜晚成为强势一方单项透明的战场, 只需付出极小的代价便能获得骄人的战果。作为发展中国家, 我们不谋求霸权, 但是为了维护国家的安全稳定、保证经济文化的快速发展、打击恐怖主义等, 我军必须具备夜战防御和反击能力。

因为技术封锁, 我国无法进口美欧的先进装备。只能利用有限的资料和有限的科研投入进行自主研

发。即便是在如此艰苦的条件下, 我国已研发了多款功能强、性能优的夜视装备。下面就以微光夜视仪为例具体回顾夜视技术的发展。

2 微光夜视仪概述

微光夜视仪是在夜间或极低照度下 ($10^{-1} \sim 10^{-5}$ Lx), 利用微弱的月光、星光、大气辉光等光线通过放大后转变成人眼可清晰观察的图像, 从而实现在夜间对目标进行观察的一种高科技仪器。与其他夜视设备相比, 微光夜视仪具有体积小、重量轻、可靠性高、成本低等优点, 是目前应用最普遍的夜视产品, 但在阴天和漆黑无光或烟雾条件使用效果不佳, 此时可用红

外热像仪等进行观察。

微光夜视仪的工作原理可以归纳为：目标反射的微弱光线经物镜会聚后在像增强器的阴极面上成像，逐级放大，并在最后一级级的荧光屏上形成有足够亮度和清晰度的图像，供使用者观察，如图 1 所示。

像增强器是微光夜视仪的核心器件，超二代(2+)、三代像增强器是目前国际上夜视技术领域的主流，超三代(3+)、四代像增强器是最新成果。

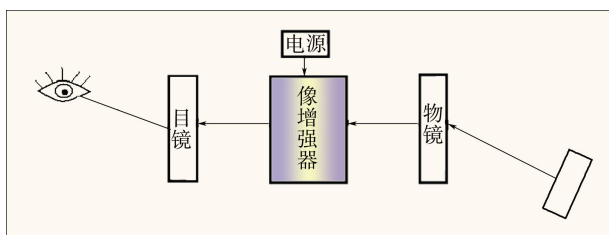


图 1 微光夜视仪原理图

3 美欧国家微光夜视仪的发展历史和现有水平

由于研制成功了灵敏度极高的 S-20 多碱光电阴极，光电增益提高了一个数量级；同时采用了光学纤维面板，减少了光的散射，避免了像差，极大地提高了成像质量。20 世纪 60 年代初第一代微光夜视仪在美国研制成功并正式装备部队，在越战中发挥了重要作用。它采用三级级联式微光管，使亮度增益达到人眼在微光条件下识别目标的要求。主要型号有 AN/PVS-2 星光镜，AN/TVS-2 班组武器瞄准镜和 AN/TVS-4 微光观察镜。但存在体积大、强光时光电阴极易损坏、成像质量不能满足要求等问题。自 20 世纪 80 年代以后，美欧国家基本上用第二代取代了第一代微光夜视仪。

20 世纪 70 年代，随着材料研究出现重大突破，出现了微通道板像增强器，即 MCP，如图 2 所示^[1]。第二代微光夜视仪采用多碱阴极和 MCP 设计制造，一块 MCP 包含几百万根通道管，可以使图象的亮度增加几千乃至上万倍，单根通道的直径一般为 10~12 μm ，长 500 μm 。微通道板的制作方法最常用的是实芯拉制法，有很高的工艺要求。第二代微光夜视仪根据结构不同，可分为近贴式和倒像式。近贴式微通道板像增强器将通道板放置在光电阴极和荧光屏之间。阴极发射的电子束在电场作用下打到微通道板上，经过倍增后，投射到荧光屏上成像。采用这种结构使得这种夜视仪尺寸较小，但鉴别率较低，光学增益相对小些，需附加正像装置，又称为薄片管。倒像式微通道板像增强器，是在荧光屏前面放置微通道板，能达到几万

倍以上的光学增益，而且不用再次倒像，军用夜视仪基本都采用此结构^[2]。第二代夜视仪与第一代夜视仪相比，具有重量轻、防强光能力增强、畸变小等优点，长度仅为一代的 1/3~1/5。主要型号有 AN/PVS-3 微光瞄准镜等。在 1991 年海湾战争中中美军的精锐步兵基本都配发了第二代夜视眼镜。

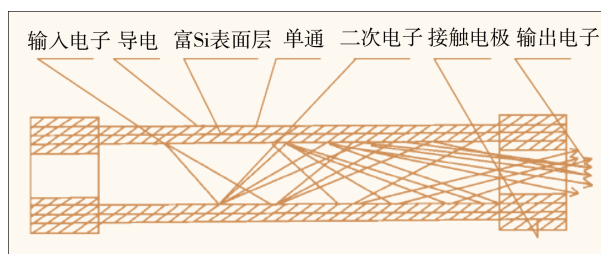


图 2 单微通道电子倍增过程示意图

20 世纪 80 年代中期，美国成功研制了负电子亲和势 GaAs 光阴极型微光像增强器，称三代管。第三代微光夜视仪在二代的基础上，将多碱阴极置换为 GaAs 光阴极，作用距离提高 1/3，各种性能指标更加优良。20 世纪 80 年代末 90 年代初，美国开始装备第三代微光夜视仪。在 1991 年海湾战争中中美军飞行员基本装备了第三代微光夜视眼镜或装有猫眼型夜视装置的飞行员头盔。20 世纪 90 年代初，美国开始用第三代微光夜视眼镜取代第二代。据美国国防部 Omibus III 采购计划，军方在 20 世纪 90 年代中期完成 50000 个 AN/PVS-7B 步兵夜视眼镜、15000 个 AN/AVS-6 飞行员夜视眼镜的采购任务。

超二代微光夜视仪是借鉴了三代管的一些技术和工艺，对二代管各部件挖掘潜力、改进性能，提高二代管的各项性能指标，由荷兰 Deflit 公司和法国 Philips 公司首先研制成功。特别是灵敏度由标准二代管的 200~300 $\mu\text{A}/\text{lu}$ 提高到了 700 $\mu\text{A}/\text{lu}$ ，分辨力也大大提高，整体性能达到或超过三代管水平。主要型号有 SHD-3, XD-4, XD-5 等。

1998 年 Northrop Grumman 公司生产了使用无膜微通道板像增强器自动门控电源技术的新产品^[3]。“无膜”就是指微通道板没有涂敷砷化镓薄膜，而是采用能大幅度减少离子反馈的新型高性能玻璃制作微通道板，而“自动门控电源”指的则是通过门控电路的高速开关来控制电压强度，从而改善在环境光线过强或有照明的情况下的夜视效果。由于门控电路的开关速度极快，因此这种微光夜视仪能够用于外界光线强度经常剧烈改变的环境中。使用这种技术，不但图像

清晰度获得极大提高,而且能够大大延长微通道板的使用寿命和电池的使用时间。该产品曾被称为四代管,但美国军方随后又改称为超三代管,并公布新的评价微光夜视仪的方法是采用“品质因素”:信噪比 \times 鉴别率^[4]。

2001年ITT公司生产了基于三代微光夜视仪的薄膜管:“Pinnacle”,薄膜厚度仅为头发丝的万分之一,品质因素达到1800,被公认达到四代管的水平。美国军方希望未来的夜视仪品质因素达到2700^[5]。

美国陆军的ANVG采用ITT公司的4个新型16mm管,水平视场达到100°;俄亥俄州一家特种技术服务公司生产出一种外形较小的双目夜视眼镜——AN/PVS-21,已交付美国特种部队使用,该产品代表了微光夜视仪的发展方向。它采用获得专利的折叠光学系统,2个像增强管垂直放置而不是水平放置,每一个像管的物镜放在面颊的两边,经放大的图像直接传送到使用者眼前。PVS-21体积小,全长小于80mm,重量只有760g,重心较低,减轻了颈部负担。PVS-21已经成功地通过了跳伞试验,无论高海拔还是低海拔,无论强制开伞拉绳还是自由降落,都可以在整个跳伞过程中将眼镜戴在眼睛前面。PVS-21还具有独特的“通视”能力,士兵或直升机驾驶员可以同时用直视光学系统和像增强通道观看前面的景物,两种图像叠加在一起。这时的水平视场为165°,垂直视场为90°,用像增强系统观察的视场为40°。图3为PVS-21的典型观察图像。

2005年6月,在国际刑侦技术装备展览会上展出的北京亚太轩豪集团引进的BIM4头盔式微光夜视仪为最新第四代微光夜视仪,可全天候使用。具有显示数字地图和数传功能。参量:放大倍率1x;视场 $\geq 40^\circ$;调焦范围0.2m $\sim\infty$;分辨率 ≥ 1.2 线对/毫弧度;作用距离875m(照度1 μLx ,目标尺寸1.75);电源2节5号碱性电池;尺寸85mm \times 97mm \times 95mm。(见图4)



图3 PVS-21的典型观察图像

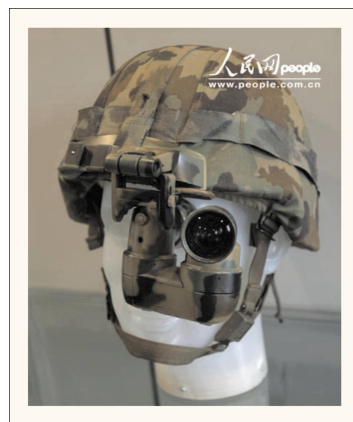


图4 BIM4头盔式微光夜视仪

微光夜视仪的下一步发展目标是:增大视场(由40°增大到60°~180°),提高作用距离,减轻重量,提高分辨率以及和其它设备的整合。

20世纪90年代以来,美国国防部在微光夜视装备的投资每年约1.5~2亿美元。微光夜视仪因具有成像清晰度好、轻巧、价廉和便于大量装备的特点,在相当长的时间内不可能被其它产品替代。

美国大力装备先进的微光夜视设备,装备量占世界总装备量的2/3强,这方面的军费数额惊人。1996年9月至1998年9月美国陆军通信电子司令部的采购计划中,准备购买10900具AN/PVS-7B夜视眼镜、4400具AN/PVS-14单目夜视装置、4000个供夜视眼镜配用的3倍镜头、130具AN/PVS-6(V)飞行员夜视眼镜、4000个像增强器管。2000年8月以后利顿公司已经向美国特种部队交付了超过900具装无膜管的AN/PVS-17夜视瞄准镜,该夜视瞄准镜可在20m深水中使用;2001年6月,美国海军陆战队与利顿公司签订了7000具AN/PVS-17的合同,总价值3500万美元;从2001年4月至2004年底,ITT公司已经交付约1000具装薄膜“顶峰”管的AN/PVS-7和AN/PVS-14地面用夜视眼镜^[6];2005年9月,美军根据Omnibus VII夜视采购计划与诺思罗普·格鲁曼公司和ITT工业公司签订了金额分别为约2亿和1.4亿美元的合同,根据合同二公司在2005~2009年间将总共为美军提供370486个AN/PVS-14单目夜视装置、34300个AN/PVS-7夜视镜以及相关的备用像增强管,产品交付工作从2006年1月开始;2004年12月,美国ITT工业公司宣布赢得价值约1600万美元的合同,为海军特种部队提供可以在水下工作的AN/PVS-14单目夜视镜(如图5)和相关配件,预计相关的工作将于2009年9月结束。



图 5 ITT 公司的 PVS-14 单兵夜视仪

现在第一代微光夜视仪在体育和狩猎用品商店就能够买到；第二代微光夜视仪也可以在市场上获得，不过价格要比第一代贵得多，使用者主要是警察局等部门；第三代产品仅有美国及其北约盟国的部队大量装备；至于第四代产品，则更是“仅有美国使用”^[7]。

4 我国微光夜视仪的发展历史和现状

微光夜视技术是二战后兴起的高新技术，其关键器件微光像增强器一直被发达国家作为核心机密封锁。受条件限制，我国微光夜视产品自主研发起步较晚，进展缓慢。

近年来，微光夜视仪器的研究开发进展迅速。南京理工大学光电学院研制了“Z 头盔式双目微光夜视仪”^[8]，中国航空工业集团 613 所正在进行综合机载微光夜视仪的研制^[9]，华中光电技术研究所提出了应用于潜艇的水下电视成像系统的设计^[10]，西安工业大学光电工程学院正在研制头盔式单目和双目微光夜视仪等^[11,12]。

民用方面，国内已可生产一代玻璃微光管用于性能要求不高的玩具、治安和准军事用途^[13]。太原和长春等地也已引进国外的先进像增强器生产线，并与国内光电公司联手生产了多款夜视仪、瞄准仪等军民产品。

西安应用光学研究所对微光夜视的研究，20 世纪 60 年代开始起步，70 年代研制出第一代微光夜视仪，80 年代研制成功各种第二代微光像增强器，90 年代研制出达到国际三代管水平的样管，现正努力使三代微光像增强器达到实用化^[14]。

20 世纪 80 年代，中国兵器工业集团云南北方光电仪器有限公司（原云南光学仪器厂）引进的中国第

一条微光像增强器生产线建设成功，经过近 20 年的迅猛发展，微光像增强器从一代、二代发展到超二代，微光夜视器材也实现了系列化、通用化。该公司研制生产的 WYJ 二代微光眼镜等产品在国内有较大影响。

太原长城光电子工业公司于上世纪末引进技术先进的荷兰 DEP 公司的超二代像增强器生产线，年产 6000 只高性能超二代像增强器，并依托从事光纤研究的北京建材院和从事夜视仪研究开发的西安 205 所，从事夜视仪开发生产。

北京锐特锐光电技术有限公司生产的 RMWG-150 型头盔夜视仪（如图 6），视距 150 m，采用超二代及三代像增强器，视场达到 40°，重量仅为 0.7 kg。



图 6 RMWG-150 型头盔微光夜视仪

武汉中创联达科技有限公司声称所经销的 VS4-1845B 和 VS4-1845HS 像增强器属于第四代像增强器，其扩展的 Blue 响应范围可达 350 nm 到 900 nm，在 500 nm 波长条件下量子效应超过 50%。



图 7 ONV-3 型微光夜视仪

北京伟育杰科技发展有限公司研发生产特种部门应用的微光夜视仪系列产品,该公司刚刚推出的三代 ONV-3 型微光夜视仪(如图 7),外观与 AN/PVS-7(F5001)相似,性能也接近 AN/PVS-7(F5001)水平。

2007 年 7 月,在西安 205 所召开了第一届微光夜视技术研讨会。这表明了国家对微光夜视技术的重视。周立伟院士在会上对我国这方面的技术科研人员指明了努力的方向。

我国微光夜视仪的研发近年来进展迅速,也试图引进发达国家的先进技术,但技术封锁的现实是客观存在的。例如 2007 年 4 月 2 日有消息称,美防务公司(ITT 公司)对华出口夜视技术(干扰滤波器的数据资

料)遭 1 亿美元重罚。因此,我国微光夜视技术的发展还是应该以自主研发为主。

近年来,我国在实验室夜天光模拟^[15,16]、计算机模拟设计、电源模块设计等方面,取得了一些成果,但是不够系统;在光学系统的设计上,思路比较活跃;像增强器在生产工艺方面仍有待突破;电源系统也渴望更加小巧高效的模块出现。另外信息接口的设计越来越重要,行业的工业化、民用化进程也亟待推进。

收稿日期:2007-07-09

作者简介:王 丽(1971-),女,河南焦作人,硕士,讲师,主要研究方向:物理光学。

E-mail:Wanglihaoma000@126.com

— | 参 考 文 献 | —

- 1 常非,焦清介,许又文等. 微光夜视仪对烟火闪光辐射的响应[J]. 火工品, 2002, (2):22~25
- 2 Estrera Joseph P, Bender E J, Adriana Giordana *et al.*. Long lifetime generation IV image intensifiers with unfilmed microchannel plate [C]. *SPIE*, 2000, **4128**:46~53
- 3 Niles Thomas. System performance advances of 18 mm and 16 mm subminiature image intensifier sensors [C]. *SPIE*, 2000, **4128**:54~64
- 4 周立伟. 关于微光像增强器的品质因数[J]. 红外与激光工程, 2004, **33**(4):331~337
- 5 向世明. 三代微光夜视技术的最新进展和应用前景[J]. 应用光学(增刊), 2003, **24**:51~54
- 6 何开远. 美军微光夜视技术的发展近况[J]. 云光技术, 2003, **35**(2):18~21
- 7 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
- 8 詹启海,常本康,钱芸生. Z 头盔式双目微光夜视仪研制[J]. 红外技术, 2005, **27**(1):19~22
- 9 周海宪. 综合机载微光夜视仪[J]. 应用光学, 2001, **22**(4):17~22
- 10 徐刚,王欣. 水下电视成像系统在潜艇上的应用[J]. 舰船光学, 2003, **39**(3):3~6
- 11 刘钧,尚华,宋波. 头盔式单目微光夜仪中非球面物镜系统的设计[J]. 应用光学, 2006, **27**(4):308~311
- 12 高明,强西林,陈智利等. 头盔式双目微光夜视仪研制[J]. 西安工业学院学报, 2001, **21**(4):300~304
- 13 刘效东,邱卫根,卢玉林等. 玻璃微光管及其应用[J]. 红外技术, 2003, **25**(5):72~75
- 14 胡宏智. 光电子技术在 205 所 40 年的发展[J]. 应用光学(增刊), 2003, **24**:1~4
- 15 苏美开,高稚允,亢俊键等. 环境照度对微光夜视仪器的影响[J]. 激光与红外, 2003, **33**(4):313~315
- 16 冶云龙,伍小蓉. 实验室条件下微光环境模拟[J]. 激光与红外, 2005, **35**(12):942~943