

先进光电导引头应用技术研究

陈咸志, 任 钢, 罗镇宝*, 杨 旭, 赵径通

(西南技术物理研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 为了适应智能弹药应对复杂对抗作战的需求, 随着高性能探测器和信息处理器等关键器件的更新换代, 基于深度学习的目标识别技术工程化应用兴起, 针对新一代光电导引头的未来发展趋势, 阐述了多模复合制导体制、集成小型化、智能化实战应用和低成本设计等显著特点。分析了采用可见光、红外和激光等多模复合的光电导引头, 在拓展导弹末制导作用距离、适应全天候全天时工作和提升抗干扰能力等方面的优点。指出了光机总体集成和信息处理系统集成是解决复合导引头小型化的关键技术。强调了自动目标识别和多弹协同等导引头智能化特征。提出了采用小型化共孔径多模光电复合探测、一体化集成信息处理、低成本技术体系、低成本制造工艺和低成本作战保障等技术实现光电导引头低成本工程应用的建议。

关键词: 光电导引头; 多模复合制导; 集成小型化; 自动目标识别; 低成本

中图分类号: TN216 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA20210531

Research on application technology of advanced photoelectric seeker

Chen Xianzhi, Ren Gang, Luo Zhenbao*, Yang Xu, Zhao Jingtong

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to meet the needs of smart munitions to respond to complex confrontation combat, with the upgrading of key components such as high-performance detectors and information processors, engineering applications of target recognition technology based on deep learning have emerged, aiming at the future development trend of a new generation of photoelectric seekers, the multi-mode composite guidance system, integrated miniaturization, and intelligent practical applications and low-cost design were expounded. The advantages of using multi-mode composite photoelectric seekers such as visible light, infrared and laser were analyzed to extend the range of missile terminal guidance, adapt to all-weather all-day work, and improve anti-jamming capabilities. It is pointed out that the overall integration of the optical machine and the integration of the information processing system are the key technologies to solve the miniaturization of the composite seeker. The intelligent characteristics of seeker such as automatic target recognition and multi-projectile coordination are emphasized. Proposals are put forward to realize the low-cost engineering application of photoelectric seeker by using technologies such as miniaturized common aperture multi-mode photoelectric composite detection, integrated information processing, low-cost technical system, low-cost manufacturing technology and low-cost combat support.

Key words: photoelectric seeker; multi-mode compound guidance; integrated miniaturization; automatic target recognition; low cost

收稿日期: 2021-08-03; 修订日期: 2021-08-19

基金项目: 空军十三五预研项目 (303020303)

作者简介: 陈咸志, 男, 研究员, 主要从事光电制导与应用系统方面的研究工作。

通讯作者: 罗镇宝, 男, 研究员, 主要从事光电制导与应用系统、目标识别技术方面的研究工作。

0 引言

随着大面阵红外探测器、高分辨低照度 CCD/CMOS 器件、激光探测器技术高速发展和工程化制造技术成熟,当今空面导弹、空面炸弹、空空导弹、反坦克导弹、反舰导弹、弹道导弹和飞航导弹已大量采用红外、可见光成像和激光半主动等光电末制导技术,其优势在各种单模光电导引头工程应用中得到了充分体现,取得了巨大成功。为了适应不断出现的各种更高性能目标有效打击效果、持续增强复杂战场环境精确制导系统适应性、复杂背景目标识别能力与抗干扰能力,单模光电导引头应用局限性也成为了其持续快速发展的制约因素,未来导弹必将走向多模复合寻的末制导体制。在众多方案中,以红外或可见光成像为基础的多模制导体制具有较明显的优势,最有可能成为主流多模复合末制导模式,得到广泛应用,必将推动新一代光电导引头的快速发展。总之,导弹为了提升精确打击能力、光电导引头在满足和提升各种战技术指标的基础上,将从单模逐渐向多模复合发展,功能变得越来越强大,光机电系统变得更加复杂,集成小型化和低成本设计在工程应用中变得非常重要。

1 多模复合光电末制导

现代战场环境日趋复杂多变,多种干扰措施不断出现。单一制导模式的导引头各有优点,各有局限性,已经难以满足复杂战场环境及各种干扰条件下的作战需求^[1]。多模复合导引头可以互相弥补单模制导的缺陷,发挥不同传感器在不同波段和光谱,对不同背景、目标和干扰的选择性探测和抑制的优点,采用关联置信度最小二乘法等进行复合导引头的俯仰和方位角偏差融合,实现更低的均方根误差^[2],有利于提高制导武器的控制精度、作战效能和作战能力,形成显著应用特色和突出优势,是未来精确制导武器的发展趋势,更是光电导引头的主要发展方向。典型光电导引头的特点及其应用如表 1 所示。

1.1 拓展导弹末制导作用距离

不同制导体制的光电导引头实现末制导作用距离各有优势。可见光导引头受能见度影响很大,能见度越好、目标与背景对比度越大,导引头发现识别目标的距离越远;反之,发现识别距离越短。在电视导

引头的典型应用中,作用距离为 10 km 左右,最远可达 15 km 以上。针对不同导弹的平台和目标,制冷型红外成像导引头典型作用距离可达 10 km 以上。非制冷型红外成像导引头锁定敌方有效距离相对较短,典型作用距离在 3~4 km 左右。激光半主动导引头典型作用距离可达 10 km 以上。单模非制冷红外导引头作用距离较近,若采用电视与非制冷红外构成的双模复合导引头,在非制冷有效作用距离之外利用电视单模工作,近距离交接班给红外或者电视/红外双模同时工作,拓展了非制冷红外单模导引头导弹的作用距离;同理,采用非制冷红外与激光半主动构成的双模复合导引头,作用距离较远的激光拓展了非制冷红外单模的作用距离。所以,相对于作用距离较近的单模非制冷红外导引头而言,双模或多模光电复合技术具有拓展该类导弹末制导作用距离的能力。

1.2 适应全天候全天时应用

电视制导的缺点是不能在夜晚和能见度低的时间段有效工作,主要优点是在白天成像效果较好。红外制导探测目标的红外辐射,具有昼夜均能使用、穿透烟雾能力强的特点,受天气影响较小,虽然优点很多,但是非制冷红外受探测器灵敏度制约,仍然易受环境影响,在白天的某些时段成像质量差,甚至不能较好地满足末制导使用要求。无论是电视制导,还是红外制导,都是成像制导,采用图像处理和自动目标识别跟踪技术,具有“发射后不管”、抗干扰能力强的特点,而且是完全被动探测,攻击隐蔽性好。激光半主动导引头捕获从目标反射的激光束在四象限光电探测器上形成的斑,采用和差比幅设计进行目标角位置解算,将目标信号角度误差转化为导引头视线角速度信号,送至弹上计算机用于控制制导导弹飞向目标,制导精度高,其致命弱点即易受云雨、雾霾天气和战场条件的影响,而且武器平台持续照射目标容易暴露自身,招致干扰和反击,甚至威胁发射平台安全。

为了更好地适应导弹全天候全天时精确制导应用需求,选用白天探测成像效果较好的电视与夜间探测成像效果较好的红外进行复合,互相取长补短,形成制导系统全天候全天时综合性能优势,达到战技术指标和成本等设计约束综合平衡。目前工程应用的光电复合制导主要有非制冷红外/电视、非制冷红外/激光半主动、非制冷红外/电视/激光半主动等双模或

表 1 典型光电导引头的特点及应用

Tab.1 Characteristics and application of typical photoelectric seeker

Guidance system	Advantages	Disadvantages	Jammings	Typical application
TV seeker	High resolution, clear target image, which is conducive to the identification of true and false targets; passive detection, good concealment, not easy to expose itself It can work day and night; the advantages of strong smoke penetration, high resolution, high sensitivity, high information update rate, etc. ; suitable for high-speed maneuvering small targets, complex ground objects background moving targets or hidden targets; target recognition ability, targeting point recognition options strong ability and anti-jamming ability; passive search method, good attack concealment	Inability to work at night or in poor visibility	Not affected by electromagnetic jamming, but susceptible to interference from battlefield occlusion, smoke, explosives, snow reflection and backlighting	AGM-130 AGM-142 Kh-59
Infrared seeker	High guidance accuracy, strong anti-jamming ability of laser coding, can be combined with TV, infrared or radar, etc. to form a composite guidance feature, the guidance system is small in size, light in weight, and relatively cost-effective	The detector has a long refrigeration time. If you carry a gas cylinder, the guarantee requirements are high and the cost is relatively high	Although it is not affected by radio jamming, it may be interfered by infrared decoys, infrared smoke screens, infrared jammers, infrared directional, etc., clouds reflected sunlight, infrared and other heat sources to lure, deviate and lose the target	SLAM-ER JASSM JSOW AIM-9X ASRAAM LRASM
Laser semi-active seeker	TV and infrared can work independently at the same time, time-sharing and shifting work in sections, giving full play to their respective advantages and restraining their respective disadvantages. Added the capabilities and advantages of pixel-level fusion feature extraction, feature-level fusion target recognition and tracking, decision -level fusion control	It is susceptible to weather conditions and cannot be used all-weather; before the missile hits the target, the laser beam must always illuminate the target, and the aircraft or other platforms can be easily detected by the enemy and attacked.	Affected by jamming such as high repetition frequency laser, laser suppression, laser blinding (dazzling) jamming, laser active deception, etc.	PAVEWAY PYROS AGM-114 APKWS II
TV/infrared composite seeker	Uncooled infrared and laser semi-active can work independently at the same time, time-sharing and shifting work in sections, giving full play to their respective advantages and restraining their respective disadvantages. Can significantly expand the working distance of uncooled infrared, and has certain information fusion control capabilities and advantages			SPIKE MMP
Uncooled infrared/laser semi-active composite seeker	Combining the advantages and disadvantages of TV, uncooled infrared and laser semi-active. The overall system is relatively complex, difficult to design, verify and manufacture, and costly. It has pixel-level fusion feature extraction, feature-level fusion target recognition and tracking, decision-level integrated information fusion control capabilities, and strong comprehensive anti-jamming capabilities			SDB II PAM
TV/uncooled infrared/laser semi-active composite seeker				SPIKE NLOS

多模复合导引头,经复合能较好地满足全天候全天的作战要求。

1.3 提升复杂战场抗干扰能力

战场环境的复杂性使得导弹要承担打击车辆(装甲、非装甲)、建筑类(民用建筑、军事工事等)、舰船、飞机等多种类型目标,目标和背景特性差别很大。导弹还要抵御烟雾、箔条、诱饵等多种有源和无源干扰^[3],干扰特征如图 1^[4]所示。光电导引头提升其抗干扰能力极其重要。电视导引头容易受海面 and 雪地等强阳光反射、逆光饱和、战场火光、烟尘等干扰影响;红外导引头容易受红外烟幕、红外干扰弹、红外诱饵等干扰影响,激光半主动导引头容易受高重频、激光压制和激光诱偏等干扰影响。无论是可见光、红外,还是激光制导技术发展到今天,不仅有自身固有探测机理缺点导致的抗干扰问题,而且还面临作战对抗施加的有针对性的各种主动干扰威胁,传统单模光电导引头将越来越难于适应未来复杂对抗环境的作战要求。

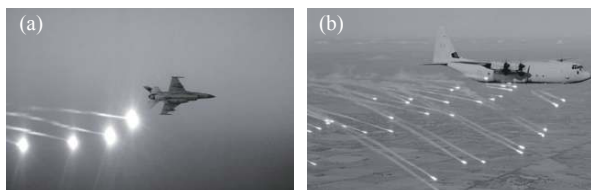


图 1 投放点源 (a) 与多点点源 (b) 干扰的可见光图像^[4]

Fig.1 Visual images of point (a) and multi-point (b) source decoys^[4]

在工程应用中,采用共口径设计的红外、电视和激光半主动多模复合光电导引头,其不同的探测分系统同时工作,当激光通道受到高重频或激光压制等干扰时,不会影响电视和红外探测正常工作,导引头仍然能够满足末制导的需求,从而大大提高了复合抗干扰能力。同时,还可以按照导弹飞行的不同阶段采用中继串联分段引导的方式,比如激光截获目标后引导红外或电视被动分系统锁定跟踪目标,或者直接进行交接班工作,既提高了抗复杂干扰的能力,红外和电视被动探测制导体制又提高了导弹隐蔽性和安全性,避免因自身暴露遭受攻击。

2 轻量集成小型化是关键技术

对于导弹而言,轻量化的意义毋庸置疑,同等条

件下制导部件越轻,越可以携带更多的弹药,增强导弹的毁伤威力,提升作战效能。导弹内部的部件组件越小,空间占用越少,越能适应多种弹径外形的要求,更能满足有特殊气动外形导弹的要求,尤其是对于超高声速导弹显得特别有意义,同样更小的空间占用为填充更多弹药留出了空间。集成度越高,导弹内部组件部件通信接口越简单、系统复杂度降低,系统运行更稳定、可靠性越高,系统统型和升级能力越强。导弹供电来源于弹上电池,对电源消耗要求苛刻,设备功耗越低,同等电源总能量情况下,电池供电续航时间越长久,同等供电时间情况下,弹上装备的电池组件越少,系统体积越小,质量越轻,光电导引头是光学探测、机械结构和电子信息处理集成的典型光电应用系统,具有复杂多变的实现技术途径,在满足和提升战技术指标的基础上,光电导引头的工程应用设计应优选轻量集成小型化总体方案。

2.1 光机总体集成小型化设计

光机总体集成小型化设计是多模光电复合导引头的核心关键技术,是指将平台框架、光学探测系统和头罩等主要光学机械结构进行一体化总体设计,充分利用导引头前部空间,减少零部件,同时减轻质量,通过优化框架通道,提供更大俯仰通道偏转角。在满足最佳战技术指标的前提下,对电机、陀螺和角度传感器选用小型化器件。通过热力学仿真分析,反复优化 CCD/激光/红外探测器组件的电路板、陀螺、电机等控制元件总体结构布局,避免部件之间产生干涉,满足导引头密闭空间下热环境及电磁兼容性的环境要求,合理考虑电气布线,实现小弹径/大框架角的多模光电复合导引头总体结构。虽然有共口径和分口径等总体结构形式,但综合考虑到弹径、内部空间布局、光轴电轴同轴性,电子信息处理和电源等部件空间占用、在综合平衡不同导引系统的性能指标、材料选择、加工工艺等设计约束下,共口径结构是首选。

光机总体集成小型化设计的核心是紧凑型小型化多波段复合探测光学系统设计,如图 2 所示,是一种采用长波非制冷红外+激光半主动+TV 的典型三模复合探测光学系统设计, $F\# < 0.95$,全部采用疏系化合物材料,光学被动消热差,全口径集成了激光半主动探测通道,后端采用棱镜分光,通过类似法国 MMP 导弹掏孔的方式集成了 TV 成像通道^[5]。

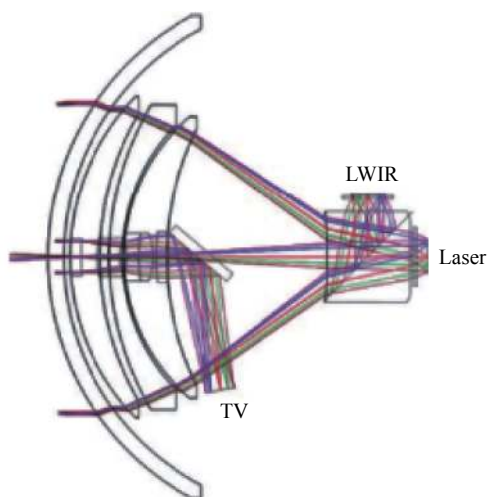


图 2 紧凑型小型化共孔径红外/电视/激光三模复合光学系统^[5]

Fig.2 Compact and miniaturized common aperture infrared/TV/laser three-mode composite optical system^[5]

2.2 信息处理系统集成一体化设计

多模复合光电导引头信息处理任务量大,其特点是既有数字信号处理,又有大量信息流处理,实时性要求高,并伴随着多任务实时调度控制,电视 CCD/红外探测组件/激光探测器等传感器产生的大量数据需要高速传输存储,可行的方案是采用多核处理器与大规模 FPGA 集成构建高性能异构并行实时计算综合信息处理系统。该系统通常采用多片高性能多核数字信号处理器 DSP、高性能嵌入式实时多任务 ARM 或 CPU 处理器、大规模高速 FPGA、大容量高速存储器、高速数据传输接口等硬件集成架构。图 3 为集成小型化信息处理机逻辑组成图,采用 DSP+FPGA+ARM 的总体架构设计了一种光电导引头集成小型化信息处理机,主要完成红外数字图像信号实时处理、目标识别与跟踪、伺服平台稳定跟踪控制、电视/红外/激光信息融合处理等核心功能。该方案数据处理量大、计算精度和信号频率高、满足大量浮点运算和乘加运算需求、实时性很强、具有明显流水线处理结构特征,能有效解决高速并行计算问题,实现了多模复合光电导引头信息处理集成小型化设计^[6]。

3 智能化实战应用走向成熟

虽然智能化精确制导弹药包括自主导航、自动目标识别、目标威胁和攻击对象分析、组网协同等高度

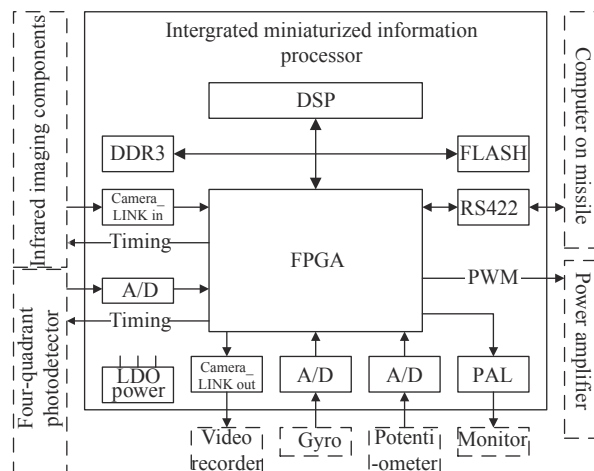


图 3 典型集成信息处理机逻辑组成图

Fig.3 Logical composition diagram of a typical integrated information processor

智能化功能,但对外部复杂战场环境的探测感知、自动目标截获 (ATA)、自动目标识别 (ATR)、自动目标跟踪和多目标自动跟踪等智能化特征功能主要是通过导引头来实现的,因此,首先是光电导引头智能化。

3.1 自动目标识别技术应用

AGM-84H/K SLAM-ER ATA 系统是自动目标识别在精确制导空地导弹中的典型应用,该系统采用模板匹配算法将红外导引头实时获取的图像与规划任务时存储在导弹上的基准图进行比较,从目标场景中自动确定预先规划的瞄准点。AGM-158A JASSM 导弹存储八种不同目标模板,其联合任务规划系统和精确瞄准模块将存储的三维目标图像转换为红外成像导引头的数字模板数据^[7],飞行中的导弹与实时获取的场景图像进行匹配自动识别目标。

以色列拉斐尔公司研制的第四代反坦克导弹长钉采用红外/电视双模光电复合导引头,是自动目标识别技术用于多模光电复合制导的典型应用,利用光学导引头的自动跟踪器在发射前锁定目标,实现发射后不管,远程长钉 2 的非制冷红外导引头探测器包含具有人工智能特点的灵巧目标跟踪器,进一步提升了目标识别能力,如图 4 所示。MBDA 公司研制的 MMP 导弹是采用电视/非制冷红外双模光电复合导引头的典型应用,其自动目标识别技术使导弹具有“发射后不管”的能力^[1]。LRASM 反舰导弹采用光电/红外/雷达多模复合导引头,依靠先进的导引头传感器和数据处理能力进行目标探测识别,自主飞向目标

完成攻击,如图 5 所示。美国空军采用红外/激光半主动/毫米波多模复合导引头的 SDB II(如图 6 所示)可以提供一系列的目标指引和瞄准选项,不仅提供在各种气象条件下打击移动目标的能力,还能够对坦克、舰船和轮式目标进行分类目标识别,在实弹测试中,摧毁了一辆处于作战状态的移动模拟 T-72 坦克。DARPA 的 SECTR 导引头可利用已知或建模的目标特征、目标军事用途和背景进行目标识别,将目标从杂乱背景或诱饵中区别开来,将目标模型和 ISR 图像信息转换为 EO/IR 图像,利用立体和/或偏振视频制作被动三维图像。采用仿射不变特征跟踪(Affine Invariant Feature Tracking)、形状不变特征跟踪(Shape Invariant Feature Tracking)和 3D 线框模型匹配(3D Wire-frame Matching)等方法,最终实现精确度极高的瞄准点选择^[8]。光电复合导引头目标探测、识别、跟踪和捕获的智能化,推动着智能化弹药走向工程应用和实战化发展。

随着深度学习在目标检测和识别等领域中取得巨大的突破,许多学者开始将深度学习模型引入到目标跟踪中,并在一系列数据评测集上取得了优于传统方法的性能^[9],如通过建立水面目标数据集,采用基于 Faster R-CNN 算法就能够对水面典型舰船目标进行识别和分类^[10],新一代光电导引头开启了基于深度学习的目标识别技术工程化应用探索,主要在舰船、飞机等典型目标分类、目标要害部位识别、制导末段目标跟踪点自动修正和抗干扰等方向具有较好的应用前景。SPICE 系列炸弹是深度学习目标识别技术



图 4 长钉导弹

Fig.4 Spike missile

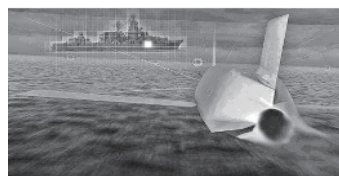


图 5 LRASM 智能导弹

Fig.5 LRASM intelligent missile



图 6 SDBII

Fig.6 SDBII

应用的典型代表,如图 7 所示,SPICE-2000 凭借其人工智能技术,其深度学习算法对用于建模目标并将其相关特性嵌入到系统中的实际数据并不关心,但是建模的数据越多,就越能代表其感兴趣的目标,在实际使用中的识别率就越高,飞行测试已经证明了其 ATA

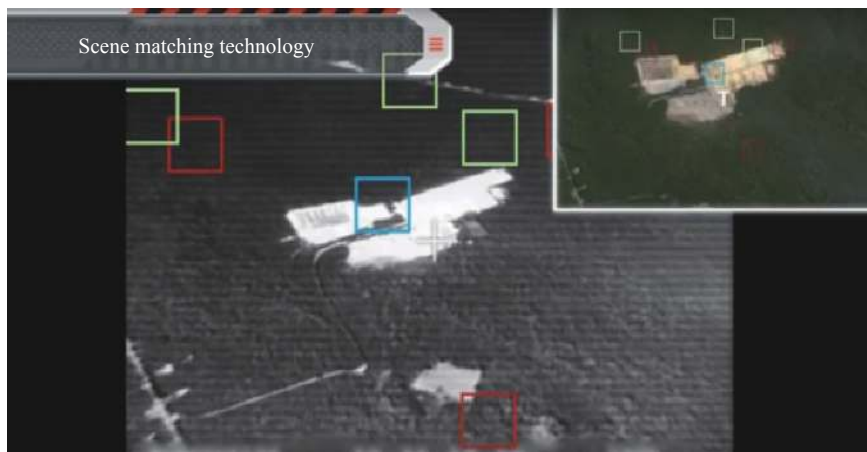


图 7 SPICE 2000 的人工智能目标识别

Fig.7 Artificial intelligence target recognition of SPICE 2000

和 ATR 的鲁棒性,接近成熟应用。

3.2 光电导引头支撑多弹集群协同作战

集群协同感知是利用集群携带的传感器获取作战环境、威胁、敌方部署等战场信息,以构建整个战场态势,为集群任务决策提供依据,实现多导弹智能协同攻击^[11]。与单平台复合制导方式相比,协同探测融合了多平台探测结果,综合了不同平台制导技术的优势,更能适应现代战场复杂环境的作战需求^[12]。光电导引头通过可见光、红外、激光等探测手段对不同距离、不同角度下的战场目标和场景的有效实时全域感知,实现对目标的搜索、识别、锁定、跟踪。通过组网多弹智能协同,不仅能达到探测感知和目标识别能力倍增效应和效果,还可以克服单枚导弹导引头探测体制的局限与性能瓶颈,可以获得更高的打击精度和效能。多弹协同导引头不仅能够通过自身传感器获取的数据完成目标识别和瞄准点选择,还能够借助武器平台间协同组网通信,对来自多个精确制导弹药的数据进行融合处理,完成多弹多传感器多源信息融合目标识别,实现比单枚导弹独立探测更优的目标识别和抗干扰能力。

4 低成本设计是生存之道

导弹属于高价值一次性消耗弹药类精确制导武器,必然从作战效率和作战费用方面进行权衡,实现最高的效费比,适宜大批量装备。由于末制导导引头是导弹重要组成部分,在精确制导组件中占据较高成本比重,因此在保证足够性能的前提下尽可能降低成本,研制低成本导引头是降低导弹成本的关键所在,势在必行,具有重要研究价值。

4.1 低成本技术体系

为了提高大规模装备和使用精确制导武器的可承受性,需要大力发展具有可承受成本的复合探测光学技术、高端红外成像探测器技术、高性能非制冷红外探测器技术、低成本捷联导引头技术、基于微机电系统 (MEMS) 的导引头技术。多功能一体化、数字化、集成化、模块化技术的运用有利于资源复用和片上系统集成,可以解决整体效能提高、规模化成本降低问题,这些低成本关键技术是光电导引头低成本化的主要技术体系。

美国 SECTR 项目就开发了一种小型化、通用

化、模块化导引头,应用于多型导弹平台,采用捷联光电/红外传感器,其双视场兼顾导航和末制导,可在无 GPS 条件下独立导航约 15 min,利用红外传感器进行目标搜索和识别,可打击移动和固定目标。捷联结构比万向节结构成本更低,SWaP-C 特征值更小(小尺寸、轻量、低功率和低成本)。SECTR 导引头原型样机最终 $SWaP \leq 0.5 \times 103 \text{ cm}^3/1 \text{ kg}/10 \text{ W}$ (尺寸/质量/功耗),材料成本 ≤ 1 万美元^[13]。所以,光电导引头的探测感知、捷联与框架平台总体架构、高精度测量元器件、集成小型化等技术方案选择,从根本上决定和影响着导引头总成本。

4.2 低成本制造

导引头具有批量生产的特点,低成本制造是降低成本的重要手段。第一,严格控制和压减元器件和原材料成本,要摒弃所有导引头都必须采用高质量等级元器件和原材料的思想,对于绝大多数低成本导引头采用工业级元器件和原材料就可以满足使用要求。第二,对导引头的重要件、关键工序和特殊过程要持谨慎态度,应实事求是、客观科学地认定。要摒弃过度认定重要件、关键工序和特殊过程的思想。第三,要采用先进高效的装配和调试工艺,结合导引头生产制造、装配调试过程,设计高效的产品测试夹具工装,提升功能和性能指标集成化采集测量能力,被测产品要装夹最方便,装夹次数最少,测试准备效率最高。提升测试设备自动化测试能力,实现测试数据自动处理、自动判读,形成数字化测试报告。建立高效的流水生产线或智能化产线。第四,优化产品质量一致性检验方法。产品质量一致性主要是靠严格的生产工艺过程保证,而不会因为采取了复杂全面的严格检验有实质性提升,检验只是一个确认环节,应该充分相信和利用抽样理论,虽然现在某些环境试验科目的检验普遍采用了在台/套数量上进行抽样检验,但是,对导引头的数十项指标都是全检,按照抽样理论,在导引头的指标上仍然适应,所以,为了在保证质量、提高生产效率和降低成本等方面实现综合平衡,也应该采用抽样方式确定检验指标和测试项目。

4.3 低成本作战保障

光电导引头为了实现自动目标识别,通常需要对目标进行保障,比如采用基于模板匹配的目标识别导

引头,发射前必须装订目标模板,然后制作目标模板需要专用系统和目标侦察数据等,该过程既费力且耗时,是一个非常复杂的保障过程,会产生较高的作战保障成本。新一代光电导引头若采用基于深度学习的目标识别方法可避免这种作战保障成本的发生,即使仍然有导引头需要装订目标模板,采用实时或准实时制作目标模板的技术方案,可以降低目标保障成本。如暴风之影 (Storm Shadow)/斯卡普 (SCALP) 系列导弹,在飞行末段使用的红外自主目标识别系统需要装订目标模型,工程师利用成千上万、不同时间、不同条件下拍摄的可见光和红外卫星图像,采用深度学习技术开发的快速瞄准算法,学会了如何在各种几何和辐射变化情况下将图像与目标区域进行匹配的能力,从而可以更快地建立目标 3D 模型,使得作战保障成本大幅度降低。

5 结 论

在过去的几十年里,以美国为首的军事强国主导了多场局部战争和地区冲突,以电视、红外和激光导引头为核心的精确制导武器大量投入实战,综合打击效果颠覆了人类对战争的一些传统认知,取得了巨大成功。随着对抗环境变得复杂化和多样化,以多模复合、智能化、弹群组网协同、集成小型化和低成本为特征的新一代光电导引头变革正在兴起,必将主导着未来智能化战争形态的发展演变。

参考文献:

- [1] Liu Zhen, Zhang Ning, Wu Xinyuan. Development status and trend of multi-mode compound seeker [J]. *Aerodynamic Missile Journal*, 2019(10): 90-96. (in Chinese)
- [2] Liang Chao, Yan Zhengang, Liu Mingfeng, et al. Improved angle data fusion method for multimode compound seeker [J]. *Optik*, 2021: 242.
- [3] Ren Hongguang, Liu Zhong. Research on the composite guidance technology of helicopter-borne air-to-surface missile [J]. *Aerodynamic Missile Journal*, 2018(7): 90-95. (in Chinese)
- [4] Lu Xiao, Liang Xiaogeng, Jia Xiaohong. Study on intelligent counter-countermeasures of infrared imaging air-to-air missiles [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2021, 50(4): 20200240. (in Chinese)
- [5] Deng Jian, Qu Rui, Huang Jianbing. Several ways to realize multi-band common aperture optical imaging system(Invited) [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2020, 49(6): 20201017. (in Chinese)
- [6] Chen Xianzhi, Luo Zhenbao, Yang Xu, et al. Design of information processing system for photoelectric seeker [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2020, 49(9): 20200312. (in Chinese)
- [7] Fan Jinxiang, Liu Jia. Challenges and thoughts on intelligentized automatic target recognition of precision guidance [J]. *Aero Weaponry*, 2019, 26(1): 30-38. (in Chinese)
- [8] Wen Suli, Song Yiran. Research on seeker cost transfer program of DARPA [J]. *Tactical Missile Technology*, 2016(2): 5-9. (in Chinese)
- [9] Luo Haibo, Xu Lingyun, Hui Bin, et al. Status and prospect of target tracking based on deep learning [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2017, 46(5): 0502002. (in Chinese)
- [10] Peng Yanhua, Yan Yipu, Feng Biao, et al. Recognition and classification of water surface targets based on deep learning [J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, 1820(1): 012166.
- [11] Zou Ruping, Sun Jing, Liu Dawei, et al. Study of key technologies of intelligent munition swarms cooperative warfare [J]. *Tactical Missile Technology*, 2020(6): 1-6. (in Chinese)
- [12] Wang Ying, Tang Qian, Ma Jingting, et al. Overview of the development of guidance technology for precision guided weapons in 2020 [J]. *Aerodynamic Missile Journal*, 2021(1): 31-38. (in Chinese)
- [13] Zhao Danhui, Wang Junmin, Zhang Hongyu, et al. Overview of the development of precision guided weapon navigation and terminal guidance technology [J]. *Aerodynamic Missile Journal*, 2021(2): 64-70. (in Chinese)