

红外制导技术在空空导弹中的应用分析

吕洁, 罗勇, 卿松, 叶建斌, 周新宇, 周雪琴

(重庆红宇精密工业有限责任公司, 重庆 402760)

摘要:阐述了红外制导空空导弹的发展情况,重点分析了在每个发展阶段中红外制导空空导弹的特点以及新一代红外制导空空导弹发展的技术特点。在此基础上,分析了红外制导空空导弹发展中面临的关键技术,包括红外焦平面阵列、自动目标识别技术、非制冷红外探测技术。最后,对红外制导空空导弹未来发展趋势进行了展望。

关键词: 红外制导;空空导弹;多模复合制导;自动目标识别

本文引用格式:吕洁,罗勇,卿松,等.红外制导技术在空空导弹中的应用分析[J].兵器装备工程学报,2017(12):70-74.

Citation format:LV Jie, LUO Yong, QING Song, et al. Application Analysis of Infrared Guidance Technology in Air-to-Air Missile[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017(12):70-74.

中图分类号:TJ765.3

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2017)12-0070-05

Application Analysis of Infrared Guidance Technology in Air-to-Air Missile

LV Jie, LUO Yong, QING Song, YE Jianbin, ZHOU Xinyu, ZHOU Xueqin

(Chongqing Hongyu Precision Industrial Co., Ltd., Chongqing 402760, China)

Abstract: The development of infrared guided air-to-air missiles was described. The characteristics of infrared guided air-to-air missiles in each stage of development and the technical characteristics of the new generation infrared guided air-to-air missiles were analyzed emphatically. On the basis of this, the key technologies in the development of infrared guided air-to-air missiles were analyzed, including infrared focal plane array, automatic target recognition technology and uncooled infrared detection technology. Finally, the future development trend of infrared guided air-to-air missile was forecasted.

Key words: infrared guidance; air-to-air missile; multi-mode compound guidance; automatic target recognition

随着现代战争高技术信息化程度不断提高,对抗程度日益激烈,要求战场武器既能命中选定的目标甚至目标的关键部位,又能尽可能地减少附带毁伤破坏。传统的导弹命中精度低,难以实现精确打击,为更好地适应未来战争,对空空导弹性能提出了越来越高的要求。

自20世纪50年代初美国成功研制出第一代空空导弹“响尾蛇”后,随着无源探测技术、计算机技术和光电技术的发展,红外制导技术迅速发展并日趋成熟,成为精确制导技术的一个重要发展方向,有效地推动了其在空空导弹上的应

用和发展。随着红外制导空空导弹的装备和使用,大大提高了空空导弹的智能化水平,实现了对目标的精确探测、识别和跟踪,提高了空空导弹的精确打击能力、作战效能和突防能力。

1 红外制导空空导弹的发展及其特点

飞机具有红外辐射高,其尾部喷口的温度可高达上千度,而背景的红外辐射低,由于空中目标探测具有了对比度

高的特点,使得空空导弹成为红外技术进入的第一个军事领域。

随着红外制导技术的发展,红外制导空空导弹的发展经历了两大阶段:第一阶段从20世纪40年代中期至70年代中期,主要为红外点源制导空空导弹。第二阶段始于20世纪70年代中期,主要为红外成像制导空空导弹。

1.1 红外点源制导空空导弹

红外点源制导空空导弹的探测器是点源处理系统,把探测目标作为点光源处理,根据目标和背景红外辐射能量不同,把目标和背景区别开来,被攻击目标的高温部分的红外辐射作为制导信息源,攻击的目标相对于背景是一个张角很小的物体,如飞机相对于天空,利用空间滤波等背景鉴别技术,把目标从背景中识别出来,得到目标的位置信息,达到跟踪目标的效果。

美国研制的“响尾蛇”AIM-9B是第一代红外点源制导空空导弹的典型代表。AIM-9B的外形如图1所示。1948年,美国海军武器中心开始研制;1956年7月,开始装备部队。AIM-9B最大射程为11 km,主要用于从尾部攻击速度比较慢的老式轰炸机。



图1 AIM-9B

第一代红外点源制导空空导弹采用了单元非制冷硫化铅探测器,工作在 $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 近红外波段;导引头的离轴角和跟踪能力都非常有限。导弹作用距离近,而且导引头只能探测飞机的喷气式发动机尾喷管的红外辐射。因此,这类导弹的攻击范围只限制在目标后方狭窄的扇形区域内,飞行员在战术使用上只能进行尾追攻击,且受背景和气象条件对红外辐射吸收影响较大,不能全天候作战,抗干扰能力弱。同时,导弹射程有限,机动能力差,目标稍作空中机动,就很容易将导弹摆脱^[1-2]。

第二代红外点源制导空空导弹于20世纪60年代中期开始服役,典型的代表有美国的“响尾蛇”AIM-9D、中国的PL-5乙等。相对于第一代,第二代红外点源制导空空导弹的技术有了明显进步,探测器采用了制冷技术,敏感波段延伸到 $3\ \mu\text{m}$,提高了探测灵敏度,典型的的目标尾后作用距离提高到 $8\sim 10\ \text{km}$,跟踪能力显著提高,飞行员可以从目标尾后较大范围内进行攻击,增加了战术使用灵活性。

第三代红外点源制导空空导弹采用高灵敏度的单元或多元制冷碲化镉探测器,工作在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 中波红外波段,具备一定程度的全向攻击能力及抗干扰能力。典型的代表有美国的“响尾蛇”AIM-9L(如图2所示)、以色列的“怪蛇”3、中国的PL-8B等。第三代红外点源制导空空导弹作战运用灵活性大幅提高,在1982年英阿马岛战争中英军“鹞式”系列战机共发射“响尾蛇”AIM-9L导弹26枚,击落阿根廷各式战机16架,命中率达61%,表现相当不错,成为英军取得空战胜利的致胜法宝。同年,“响尾蛇”AIM-9L和以色列的“怪蛇”3空空导弹在中东贝卡谷地作战中再次大放异彩^[2]。

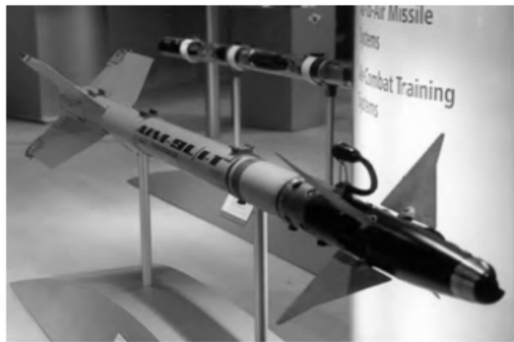


图2 AIM-9L

1.2 红外成像制导空空导弹

在抗干扰、多目标分辨方面,红外点源制导空空导弹存在较大的困难,因此逐步向红外成像制导方向发展。红外成像制导技术始于20世纪70年代,美国处于该技术发展的领先地位,红外成像制导技术利用红外探测器探测目标和背景的辐射温差形成的图像,实现自动导引。

目前,红外成像制导空空导弹已发展了两代,第一代是采用光机扫描成像系统,典型的代表有德国的IRIS-T、法国的MICA-IR、南非的A-Darter等。德国的IRIS-T导弹采用机械线列扫描的 128×4 的碲化镉红外成像导引头,工作波段为 $3\sim 5\ \mu\text{m}$,抗人为和自然干扰性能好。空空导弹采用光机扫描成像系统其技术简单、成本低,具有较好的探测器响应均匀性,可减少导引头的虚警率,在一定程度上提高了对启动加热环境的适应能力。第二代是采用凝视红外焦平面阵列成像制导,电子自扫描,无需光机扫描成像,导引系统结构简单、紧凑、可靠性高,为发展小型制导弹药的红外成像导引头提供了条件。这类制导导弹具有分辨率高、灵敏度高、信息更新率高等优点,能够攻击高速机动小目标、复杂地物背景中运动的目标或隐蔽目标。目前,已实用化的有美国的“响尾蛇”AIM-9X空空导弹,它采用的 128×128 元碲化镉凝视焦平面导引头,探测器工作在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 波段,导引头具有 180° 的跟踪视场,导引头的目标截获距离在蓝天背景下为 $13\sim 16\ \text{km}$,具有攻击距离远,多目标选择瞄准和全向跟踪能力。

与红外点源制导空空导弹相比,红外成像制导空空导弹还具有以下显著特点:

1) 导引头能够获取丰富的目标信息,可实现导引智能化

未来的空域作战环境越来越复杂,要求精确制导弹药能够在短时间内摧毁目标,不依靠人工导引,这必然使制导系统向智能化方向发展,同时需要弹上制导系统不仅能区分不同类型目标,而且还能识别是真目标还是干扰物,并能自动判断和首先攻击对己方威胁最大的目标。红外成像探测器能够直观获取丰富的目标外形或基本结构等目标信息,抑制背景干扰,弹上计算机利用图像信息处理技术和目标识别技术对探测器获取的目标图像进行自动判断、决策和跟踪,使导弹对目标实现有选择的攻击。

2) 抗光电、红外干扰能力强,提高了战场生存能力

红外成像制导是一种无源制导技术,具有较好的隐蔽性,红外成像制导系统是扩展源处理系统,它探测的是目标和背景之间微小温差或来自辐射率差所引起的热辐射分布图像,图像信息量比非成像系统更丰富,制导信息源是热图像,能很好地不受光电以及其它杂波的干扰,在复杂干扰背景下探测、识别目标。因此,红外成像制导系统能有效地抵抗光电干扰以及多种形式的红外干扰,适应对抗激烈的战场环境。

3) 发射后不用管

红外成像制导空空导弹具有在各种复杂战术环境下自主搜索、捕获、识别和跟踪目标的能力,并能自主选择目标和目标薄弱部位进行命中和攻击,能够实现发射后不用管。

1.3 新一代红外制导空空导弹

纵观 20 世纪后 20 年的几次局部战争,空中力量对战争胜负起着至关重要的作用。以美国为首的军事技术先进国家,为了能够继续取得未来空中优势,不断研制新型空空导弹和进行空空导弹改进计划,使得空空导弹领域出现了许多新的发展特点。

为适应空战全面进入信息化对抗的新要求,新一代红外制导空空导弹采用了红外成像制导、小型捷联惯导、气动力/推力矢量复合控制等关键技术,能有效攻击载机前方 $\pm 90^\circ$ 范围内的大机动目标,具有较强的抗干扰能力,能够实现“看见即发射”,降低了载机格斗时的占位要求^[2]。典型代表有美国的“响尾蛇”AIM-9X(如图 3 所示)、英国的 ASRAAM(如图 3 所示)、德国的 IRIS-T(如图 4 所示)、以色列的“怪蛇”5(如图 3 所示)等。

英国的 ASRAAM 空空导弹是 MBDA 公司生产的具有全向攻击能力的近红外成像空空导弹,具有先敌发射、先敌拦截、先敌杀伤能力^[3]。与大多数新一代近距空空导弹不同,ASRAAM 导弹没有采用气动面+推力矢量控制的组合控制方法,即便如此,其机动性仍较强。该导弹配备的红外成像导引头在强干扰环境中也能区分目标,特别是连接了头盔

瞄准具后,离轴发射能力可达到 $\pm 90^\circ$ 。英国空军已经在“台风”战机装备了 ASRAAM 导弹,与“海盗”前视红外搜索和跟踪系统配合,能够在“可观的距离上”探测到 F-22 战机。2014 年 11 月 24 日,英国国防部宣布已在 F-35B 上完成一系列 ASRAAM 导弹的挂飞试验^[3-5]。



图 3 AIM-9X、ASRAAM、“怪蛇”5



图 4 IRIS-T

红外制导空空导弹走过了从单元、多元到红外成像的导引体制发展历程,新一代红外制导空空导弹正在向多波段红外成像发展。俄罗斯的 RVV-MD 导弹是俄罗斯最新型的空空导弹之一,如图 5 所示,其前身是 R-73 导弹(世界上第一种可离轴发射的空空导弹),可以实现搭配头盔瞄准,即达到了“可视即可射”的效果。RVV-MD 导弹采用了多波段红外导引头,通过接收不同波长的辐射从而生成“彩色”图像,这一特殊性能使得 RVV-MD 导弹对于各种干扰具有很强的“先发”优势。2012 年 12 月下旬, RVV-MD 近距空空导弹进行了列装前的一次试验射击,此次试验射击是在一个航空靶场中进行的,试验非常成功。RVV-MD 导弹主要列装于俄罗斯的第五代战机 T-50^[6]。

同时,新一代红外制导空空导弹开始广泛采用发射后截获技术。如德国的 IRIS-T、英国的 ASRAAM、南非的 A-Darter、以色列的“怪蛇”5 等均具有发射后截获能力。美国的 AIM-9X 虽然不具有这种能力,但目前美军正在对 AIM-9X 实施 P³I 计划,改进研制的 AIM-9X Block II 加装了数据链接收装置,增强了导弹发射后锁定和截获目标的能力^[7]。



图5 RVV-MD 近距空空导弹

2 关键技术分析

2.1 红外焦平面阵列(IRFPA)

目前,凝视红外焦平面阵列成像在红外成像的导引体制中占主流地位,红外凝视成像导引头运用红外焦平面阵列探测器对其前端光学系统投射的目标辐射能量进行采集,通过光电转换和电信号处理,将电信号转化为图像信号。与扫面成像方式相比,凝视成像得到的图像帧频更高,因而具有更高的分辨率、灵敏度和信息更新率,在现役导弹制导系统中占据主导地位。其关键技术主要包括:红外信息探测器器件、基于红外分辨率的材料研究、目标偏振信息获取利用技术等。

2.2 自动目标识别技术

自动目标识别(ATR)是红外成像制导的关键技术之一,导弹发射后要在自然和人为干扰的复杂背景中自主地完成对目标的搜索、捕获、识别和跟踪,实现发射后不用管。

基于目标模板匹配的自动目标识别方法是一种较为成熟的识别方法,它是弹上传感器获取特定目标的实时捕获图像,由弹上计算机将实时图像与内部装订的要打击目标的基准图进行匹配以识别目标。其中,构建基准图(即模板)是关键。采用目标的结构图或纹理图制作目标基准图,可以由侦察飞机、侦察卫星等拍摄模板并存储在弹上计算机中。尽管红外成像传感器的自动目标识别技术已实用化,但仍存在一些技术难点:1)目标模板库的建立,很难获得各种气象条件下各种军事目标的最真实、最直接的红外图像;2)导引头实时获取的图像与预制的目标模板由于不同气象条件、拍摄角度等差异而存在几何畸变;3)对复杂背景中复杂目标的识别算法研究。如何有效地将传感器技术、模式识别技术、人工智能技术以及专家系统技术结合起来,是实现红外制导系统的自动目标识别技术的关键。

2.3 非制冷红外探测技术

传统的红外探测器必须在低温下工作,因此需要配备相应的制冷器,由此带来了整套设备的体积大、工作过程复杂、成本高等突出问题,为了减小空空导弹的体积,节约空间、降

低成本,提高制导系统的环境适应性,非制冷红外成像技术得到了越来越多的重视,已成为红外制导技术发展的主流之一。但是非制冷红外探测器的噪声控制、小型化、高可靠性、高灵敏度等技术仍是非制冷红外探测技术需要解决的关键技术。

3 发展趋势

随着红外探测技术、复合材料技术、传感器技术、计算机技术、结构化技术等技术的不断发展进步,红外制导技术也日渐成熟。同时未来战场环境和战争形态对空空导弹也提出了更高的要求。未来红外制导空空导弹的发展趋势主要是以下几个方面:

1) 智能化制导

智能化制导不仅是红外制导空空导弹的发展方向,同时也是其他制导武器系统的重要发展方向。智能导引头是实现智能化寻的制导的核心。红外成像导引头能提供更多的目标形状、能量信息,使制导系统具有一定“智能”和软件可编程灵活性,可根据图像特性,选择目标要害部位进行攻击,因此在复杂背景或强干扰情况下仍能准确地击中目标,从根本上能改善制导武器的性能。目前智能化红外焦平面阵列的快速发展为红外成像系统的后续强劲发展注入了新活力。未来空空导弹红外成像导引头还将发展多光谱制导及多模复合制导等关键技术,以提高导引头综合性能。美国正大力发展自适应多光谱/超光谱成像,已开发出基于MEMS的可调谐红外探测器,具有提供可调谐电压的多波段红外焦平面的潜力;美国DARPA正在大力推动自适应焦平面阵列(AFPA)的发展,已验证了多光谱可调谐红外探测器结构^[8]。

2) 多模复合制导

随着光电干扰技术、隐身技术的迅速发展,未来战场环境将变得十分复杂。虽然红外制导具有制导精度高、抗干扰能力强等优点,但红外制导不具备全天候作战能力、作用距离较近、适用于小范围跟踪和精确定位,空空导弹采用单一的寻的制导方式将难于适应未来战争的要求,因此,多模复合制导已成为未来空空导弹发展的重要方向。

多模复合制导是指同一制导段,同时采用两种或两种以上不同的工作频段或不同的制导方式进行工作以实现精确制导。空空导弹采用多模制导,使不同的探测器可以相互取长补短,充分发挥各频段或各制导体自身的优势,有效改善导弹的制导性能,极大地提高导弹作战效能和生存能力。比如毫米波雷达导引头能够解决导弹的制导距离,红外导引头能够解决导弹的制导精度,将二者结合能够充分发挥各自的优势,互补各自的不足,构成了高性能的制导系统。通过多模复合制导方式使空空导弹具有更高制导精度、识别性能和抗干扰能力,增强作战效能和突防能力,适应未来战场环境和目标特性的不断变化。

3) 网络中心制导

未来空战中空空导弹逐渐从平台中心战向网络中心战

转变,实现远程精确打击。网络中心制导是一种新型精确制导技术,美国称其为“网络瞄准”技术^[9],在空空导弹上加装数据链,使之与作战飞机、预警指挥飞机、电子侦查飞机以及地面、艇载、星载平台的传感器联网,形成一个以不同层次网络为中心的网络瞄准体系,共享战场信息,通过多传感器数据融合,将不断修正的目标位置实时传送给导弹,减少了空空导弹对单一载机平台在目标探测和制导方面的依赖,极大地提高了空空导弹的制导精度和作战效能,同时载机发射空空导弹后就可迅速撤离导弹攻击区域,提高了载机的生存能力。

4) 多传感器信息融合技术应用

多模复合制导利用多模导引头获取了目标和周围环境信息,如何将各制导模式传感器对同一目标同时输出的多个量测信息融合,得到一个最接近真实目标的信息,多传感器信息融合技术的应用能够很好的解决这一问题,成为精确制导技术领域的一个重要研究方向。

多传感器信息融合技术依赖于硬件和软件两个方面,多传感器系统是其硬件基础,克服了单一传感器系统自身固有的缺陷和局限性,利用多传感器数据的互补性和冗余性,为识别跟踪目标提供更多特征信息。信息融合方法是信息融合的核心,信息融合从信息层次上可分为数据层融合、特征层融合和决策层融合三类。在复杂的背景环境下,充分利用不同时间不同空间的多传感器信息资源,采用最佳的信息融合方法在相应的信息融合层次上融合出最优结果,更准确的判定目标的属性,能够提高制导系统的识别精度和跟踪能力,极大地改善导弹在复杂背景下的目标捕获能力、抗干扰能力及自动寻的能力。

4 结束语

红外制导空空导弹在军事需求的直接推动下,在半个多

世纪的发展历程中,得到了突飞猛进的发展。新一代红外制导空空导弹必将是未来空战中的主要格斗武器,为适应未来复杂的战争环境,随着各种新技术、新材料的应用,新一代红外制导空空导弹在攻击范围、隐身性能、制导精度、机动能力、抗干扰能力和目标截获能力等方面将会进一步提高。

参考文献:

- [1] 刘珂,陈宝国,李丽娟.空空导弹红外导引头技术发展趋势及关键技术[J].激光与红外,2011,41(10):1117-1121.
- [2] 樊会涛,崔颖,天光.空空导弹70年发展综述[J].航空兵器,2016(1):3-12.
- [3] 任森,王秀萍.国外空空导弹最新发展动态研究[J].航空兵器,2015(5),3-10.
- [4] 任森,刘晶晶,赵鸿燕,等.2015年国外空空导弹最新发展动态研究[J].航空兵器,2016(2):9-15.
- [5] 宫朝霞,王蕾.国外空空导弹发展综述[J].飞航导弹,2011(4):60-67.
- [6] 张肇容,高贺,张曦,等.国外红外制导空空导弹的研究现状及其关键技术[J].飞航导弹,2016(3),23-27.
- [7] 明宝印,毕建国,邢晓岚,等.国外空空导弹发展的新特点[J].飞航导弹,2011(4):55-59.
- [8] 王真,高敏,高凤岐.红外成像制导技术在反坦克导弹中的应用[J].飞航导弹,2015(2):64-67.
- [9] 贾秋锐,钟永兵,孙媛媛.空空导弹制导技术发展趋势[J].制导与引信,2011,32(2):1-3.

(责任编辑 周江川)