

空空导弹红外导引头技术发展趋势及关键技术

刘珂, 陈宝国, 李丽娟

(中国空空导弹研究院, 航空制导武器航空科技重点实验室, 河南 洛阳 471009)

摘要:介绍了红外型空空导弹的划代标准,分析了国外第四代空空导弹红外导引头的技术特点。通过回顾红外导弹的发展历程和国外相关红外技术的发展动向,总结了空空导弹红外导引头技术的发展趋势,并预测了未来将重点发展的空空导弹红外导引头关键技术。

关键词:红外导引头;空空导弹;发展趋势;关键技术

中图分类号:TN219;V249.32*6 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2011.10.012

Development tendency and key technology of IR seeker for air-to-air missile

LIU Ke, CHEN Bao-guo, LI Li-juan

(China Airborne Missile Academy, Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Airborne Guided Weapons, Luoyang 471009, China)

Abstract: This paper introduces the generation standard of IR AAM, then the technology features of IR Seeker of foreign Forth Generation AAM are analyzed. According to the history of IR AAM and the development of foreign IR technology, this paper summarized the development tendency of IR seeker for AAM. Finally, some key technologies are predicted.

Key words: IR seeker; air-to-air missile; development tendency; key technology

1 引言

红外技术用于制导武器是由空空导弹开始的^[1]。1948年,美国开始研制红外制导空空导弹,1956年,“响尾蛇”导弹研制成功,并于1958年,在台湾海峡空战中得到首次应用。以后红外型空空导弹以它的高性能价格比和使用简便而倍受军事大国的重视,因此获得了迅速的发展。在冷战时代及之后发生的一系列局部战争中,红外型空空导弹取得了辉煌的战果,成为夺取制空权的主战武器之一。根据BAE公司的统计,1973年~2006年,世界各国战机战损原因统计(不含直升机与运输机):损失共648架,其中49%被红外制导导弹击落,22%被雷达制导导弹击落^[2]。

随着科学技术的发展,战争攻防对抗日益激烈,战争环境日趋复杂,要求红外型空空导弹能在复杂的背景和强干扰下准确地探测、识别、跟踪目标。因

此如何快速发展红外导引头技术越来越受到人们的重视,本文试对此进行初步的探讨。

2 空空导弹红外导引头技术发展现状

2.1 红外型空空导弹划代简介

在半个多世纪的发展历程中,红外型空空导弹已经经历了多次更新换代,每次换代无不以新的红外导引装置为其标志性特征^[1]。红外型空空导弹在发展上已历经了四代:

第一代采用非制冷的硫化铅探测器,工作在近红外波段,只能探测飞机发动机喷口的红外辐射,因此仅可以从尾后方向攻击目标。典型代表有美国的AIM-9B,中国的PL-2等。这一代导弹只能利用调制盘的调制信息从空间上、能量上区分目标和背

作者简介:刘珂(1979-),男,工程师,研究方向是红外导引头总体技术。E-mail:liuke014@tom.com

收稿日期:2011-03-31; **修订日期:**2011-05-26

景,因此不具备抗红外诱饵干扰的能力;

第二代采用制冷的硫化铅或碲化铟探测器,提高了探测能力,可以从后向攻击目标。典型代表有美国的 AIM-9D,中国的 PL-5 乙等。这一代导弹仍不具备抗红外诱饵干扰的能力;

第三代采用制冷碲化铟探测器,工作中波红外波段,改进了调制盘系统,部分型号采用了多元探测器,具备一定程度的全向攻击能力及抗干扰能力。典型的有美国的 AIM-9L,中国的 PL-8B,以及 PL-5C 等。这一代导弹通过改进的调制方式,可以从空间上、能量上比上两代细分目标和背景,同时采用集成电路使得导弹的逻辑判断能力有较大提高,因此具备简单的抗红外诱饵的能力;

第四代采用成像制导技术,大幅度提高了探测能力,可以全方位探测、攻击目标,具备很强的抗干扰能力。典型的有美国的 AIM-9X、英国的 ASRAAM、德国的 IRIS-T、法国的 MICA-IR、以色列的 Python 5 和南非的 A-Darter 等。其中 MICA-IR、Python 5 和 A-Darter 采用了双色红外成像制导技术。由于这一代导弹的空间分辨力和光谱分辨力较之前有很大的提高,可以利用能量、形状、轨迹、光谱等特征来区分目标和干扰,因此具备很强的抗红外诱饵能力。

2.2 国外第四代空空导弹红外导引头技术特点简介

目前,国外的第四代红外制导空空导弹逐步装备部队,其技术特点如下^[3]。

2.2.1 美国 AIM-9X 导弹

AIM-9X 采用 128×128 元凝视碲化铟 FPA 导引头(如图 1 所示)。探测器工作在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段,和机械斯特林制冷器、惯性组件一起安装在隔舱板的后面,固定在弹体上。光学系统则位于隔舱板前面的稳定平台上。导引头采用半捷联稳定平台技术,用安装在隔舱上的惯性组件来指示位标器框架系统,从而省去了速率陀螺。其极坐标式的两轴结构位标器能以 $800^\circ/\text{s}$ 的速率俯仰和以 $1600^\circ/\text{s}$ 的速率滚转,实现 $\pm 90^\circ$ 跟踪场。导引头最大直径 127 mm,其半球形蓝宝石整流罩的直径为 76 mm。AIM-9X 导引头布局的优点是位标器尺寸小,且省却了通往前端框架的气路。



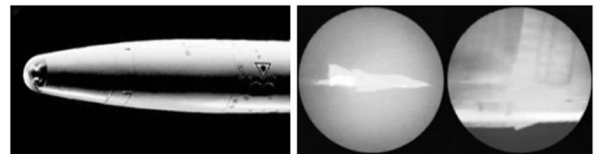
(a) AIM-9X 导引头 (b) 导引头图像

图 1 AIM-9X 导引头图像

现阶段装备部队的 AIM-9X 尚不具备发射后截获能力。目前正在研制的 AIM-9X Block II 将具备这一能力。它重新设计了导引头的制导舱和引信,在保证导弹外形不变的情况下,利用导弹内部腾出的 5.08 cm 空间,增加了与 AIM-120 导弹相同的单向数据链。

2.2.2 英国的 ASRAAM 导弹

ASRAAM 采用休斯公司研制的 128×128 元凝视碲化铟 FPA 导引头(如图 2 所示)。工作波段为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 。导引头采用 J-T 制冷方式,探测器安装在两轴稳定平台上,实现 $\pm 90^\circ$ 跟踪场。惯性组件由 DASA 研制,安放在电子舱内。导引头信息处理软件由 ADA 语言编写,可以设定导弹攻击目标的部位,具备抗曳光弹和其他诱饵干扰的能力。ASRAAM 可以使用发射前锁定方式或发射后锁定方式发射。导引头最大直径 166 mm,其半球形蓝宝石整流罩的直径约为 80 mm。



(a) ASRAAM 导引头 (b) 导引头图像

图 2 ASRAAM 导引头图像

2.2.3 德国的 IRIS-T 导弹

IRIS-T 导弹采用线列扫描的 128×4 元碲化铟红外成像导引头(如图 3 所示),工作波段 $3 \sim 5 \mu\text{m}$,具有 $\pm 90^\circ$ 离轴角。该导引头采用半捷联稳定平台技术,探测器安装在两轴稳定平台上,制冷方式为 J-T 制冷。导引头最大直径 127 mm,其半球形蓝宝石整流罩的直径约为 100 mm。该导弹具有全向截获、发射前/后截获潜力,以及良好的抗红外干扰能力。

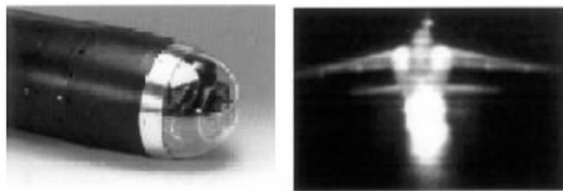


图 3 IRIS-T 导引头

2.2.4 南非 A-Darter 导弹

A-DARTER 导弹探测器为 2×100 元,采用线列扫描方式(如图 4 所示)。双色探测器的响应波段是中、短波。离轴角可达 $\pm 90^\circ$ 。导引头最大直径 166 mm,其半球形蓝宝石整流罩的直径约为 150 mm。由于其选择了 BAE 系统公司的 SiMU02

最新固体惯性测量单元(IMU)作为中程制导组件,因此具备了获得发射后截获能力的潜力。

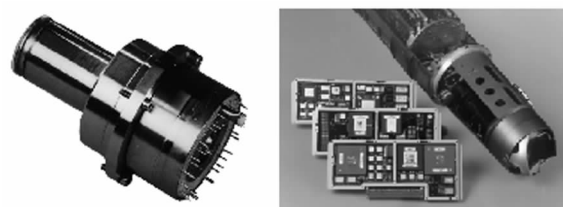


(a) A - Darter 导引头 (b) 导引头图像

图4 A - Darter 导引头

2.2.5 法国 MICA - IR 导弹

MICA - IR 导引头由法国 Sagem 防务安全公司研制,全长 625 mm,直径 160 mm,质量 11 kg,离轴角为 $\pm 60^\circ$,最大跟踪角速度 $> 30^\circ/\text{s}$ 。导引头采用蓝宝石整流罩,双色探测器,线列扫描方式(如图 5 所示)。尚不知其响应波段和探测器元数。探测器采用斯特林制冷方式。导弹最大过载 35 g,弹尾端配有数据链,具备发射后截获能力。

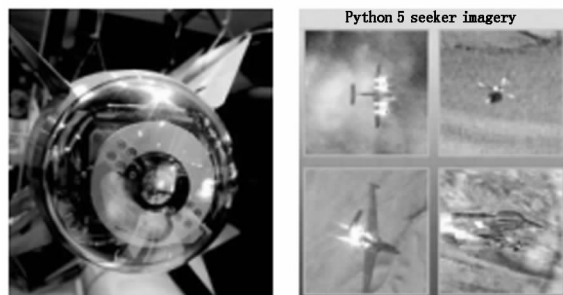


(a) 双色探测器 (b) MICA - IR 导引头

图5 双色探测器导引头图像

2.2.6 以色列 Python 5 导弹

Python 5 采用双波段凝视焦平面 InSb 探测器(如图 6 所示),制冷方式为 J - T 方式。探测器元数为 320×240 。头罩材料为蓝宝石。据称其离轴角为 $\pm 100^\circ$,比目前的同类产品大。新型图像处理器可每隔 25 ms 对两个波段图像进行一次比对。具备发射后截获能力。



(a) Python 5 导引头 (b) 导引头图像

图6 Python 5 导引头图像

3 空空导弹红外导引头技术发展趋势

3.1 技术发展路线分析

3.1.1 提高红外导引头的空间分辨力

红外导引头技术从单元、多元发展到成像,导弹

的空间分辨率和抗干扰能力不断提高^[4]。红外成像制导系统摆脱了把跟踪目标作为一个点热源因而只能跟踪目标最热部分的局限性,通过成像探测器捕获目标的红外图像,其温度分辨率小于 0.1°C ,可为控制系统提供更多的目标形状、能量信息,使得导弹的命中精度高、抗干扰性强。成像制导使其制导系统具有一定“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^[5],故可以在复杂背景或强干扰情况下仍能准确地击中目标,从根本上改善制导武器的性能。

目前作为主流的红外成像导引头采用了线列扫描成像(IRIS - T)或凝视成像技术(AIM - 9X, ASRAAM)。线列扫描成像据说具有更好的抗激光干扰的能力,且探测器像元的均匀性较好。而凝视红外成像制导技术由于采用大规模探测单元和凝视工作方式,能够连续累积目标辐射能量,因此具有高分辨率、高灵敏度、高信息更新率的优点,适用于对高速机动小目标、复杂地物背景中的运动目标或隐蔽目标的成像^[5-6]。此外,凝视成像省去了机电扫描部件,体积小、质量轻、可靠性高,非常适用于对空间、质量要求高的空空导弹。

3.1.2 提高红外导引头的光谱分辨力

近年来,随着面源型红外诱饵弹等光电对抗技术的飞速发展,单一波段的红外成像制导武器的作战效能日益削弱,因此双色成像制导技术应运而生^[6]。尽管在某些谱段打击的目标与其所处的背景或者其释放的干扰差别很小,但是他们之间的相似性不可能在较宽的红外波段内都稳定存在。因此双色成像制导技术在继承红外成像技术的固有优势外,在能量信息、空间信息基础上引入第三维光谱信息进行目标识别,大大提高探测识别性能,克服单一探测频段的局限。Python V 和 A - Darter 就分别采用了双色凝视成像和双色扫描成像技术。

目前得到重点研究的是多光谱成像制导技术。由于该技术可以同时多个窄的光谱波段上对同一对象(背景与目标)进行观测并获得相应波段的相应图像,它反映了观测对象在各个窄光谱波段上的响应特性,包含了观测对象的更多信息。在进行抗干扰时,可利用的光谱信息更多,而光谱特征是不同化学成分的物质所具有的固有特性,利用该特性,可大大提高导弹的抗干扰能力。可以说红外成像探测正处于从通过探测信号的强度来得到目标的“黑白照片”阶段的后期,向通过探测信号的强度和光谱来得到目标的“彩色照片”的阶段过渡。

此外,多光谱导引头还具有更高的可靠性。若目标采用隐身技术或使用激光定向干扰使得目标在某些波段的图像丢失时,导引头还可以利用其他波段的图像继续对目标进行识别,从而提高导弹的战场适应能力。

3.1.3 采用多模复合导引头

目前各国装备的空空导弹都采用的是单一寻的制导技术,主要有红外制导技术和雷达制导技术两种。这两种制导技术所体现的目标特性迥异,因此在工作原理、制造技术、信息处理技术、应用环境等方面存在较大差别。表1列出了这两种制导技术的性能比较。

表1 单一模式寻的导引头性能比较

制导模式	技术特点	缺点与局限性
红外成像制导	被动探测,二维成像,体积小,质量轻,能耗低,分辨率高,导引精度好,抗电磁干扰能力强,可识别目标要害点	难以测得距离、速度信息;易受云雾等不良天气影响;不具备全天候作战能力;作用距离较近
雷达制导	可测角、测速、测距,可主被动探测,作用距离较远,全天候工作,工作体制多样	体积大,质量大,能耗大;角分辨率较差,末段不能二维成像,存在角闪烁现象,目标识别困难;易受电磁干扰,易暴露自身

由此可见,采用单一寻的制导方式的空空导弹受到自身物理特性的限制,难于适应未来复杂战场的要求。采用红外与雷达复合导引头技术可以综合红外与雷达技术的优点,克服单一工作模式的缺点,提高复杂对抗环境下的对抗能力和作战效能^[7]。红外成像/雷达双模复合制导正被各国广泛研制,已成为多模导引头发展的重点。美国的JDRADM导弹采用了共形相控阵雷达/红外成像双模导引头,大大提高了导弹的环境和任务适应性及抗干扰能力。

此外,目前的红外型空空导弹为了追求远探测距离,其导引头都采用了高灵敏度的制冷型红外探测器。相较于此,非制冷红外焦平面做成的红外成像系统具有成本低、功耗小、使用方便(不需要结构复杂的气瓶/闭式循环制冷器)等优点,很有发展前途,但灵敏度不够的缺点使其只能用于对导引头作用距离要求不高的武器上。红外成像/雷达(毫米波)双模复合导引头由于其探测距离可以靠雷达系统来保证,因此非制冷红外成像系统有望在复合制导的空空导弹上得到应用^[4]。

3.2 未来空空导弹红外导引头的关键技术

根据以上对红外导引头技术发展路线的分析,未来空空导弹红外导引头除了在前述的成像制导、多光谱制导及多模复合制导等关键技术上取得进展外,还将着重发展智能探测器、光学系统、捷联稳定平台、抗激光加固等关键技术,以提高导引头综合性能。

3.2.1 “灵巧”红外焦平面阵列

目前美国正在发展红外焦平面阵列、读出电路和信号处理相结合的智能化焦平面阵列,这种在探测器中附加进行某些像元级处理的红外焦平面阵列称为“灵巧”红外焦平面阵列(SMART IR-FPA),其优点是简化外部信息处理,提高了搜索速度和态势感知速度,减小了体积、质量,降低功耗和成本,增强了可靠性。据报道,美国的“AIM-9X”就采用了非均匀性校正与探测器集成的“SMART-FPA”器件。

3.2.2 二元光学和微光学技术

国外正在开发用于新一代凝视红外成像系统的大视场、轻质化红外光学系统,利用二元光学和超分辨技术简化光学系统结构,减轻光学系统质量,提高图像质量,在保证高像质情况下获得大视场;采用微镜技术缩小探测器受光面积,可以增加填充因子,提高探测率,改善均匀性,降低噪声。同时,正在进一步开拓研究光学系统无热化设计技术,利用不同光学材料和光学机械材料的膨胀系数补偿或抵消温度变化引起光学系统焦距的变化,保证红外成像导引头在较大的温度范围内都能获取高像质目标图像。

3.2.3 半捷联稳定平台技术

小弹径是国际空空导弹的发展趋势,其优点是能大大地降低导弹的质量和飞行阻力,提高飞行距离和飞行速度。AIM-9X的弹径为127 mm,头罩直径只有80 mm左右;IRIS-T的弹径为127 mm,头罩直径为100 mm左右;ASRAAM的弹径为166 mm,头罩直径也是80 mm左右。国际上红外成像导引头广泛采用了半捷联稳定平台技术——极坐标式的两轴跟踪系统来实现 $\pm 90^\circ$ 的跟踪场。与常规的三轴稳定平台相比,半捷联稳定平台将速率陀螺从台体移到了弹体上,减小了台体的体积,从而使缩小导引头的头罩直径成为可能^[4]。

3.2.4 激光加固技术

随着机载激光器技术的日益成熟,红外型空空导弹面临着激光干扰的巨大威胁。20世纪80年代

以来,美国等发达国家发展了基于非线性光学系统原理和相变原理的激光防护技术^[8]。其优点是可以对多波长激光和宽带可调谐激光实施保护,而且,当激光波长在红外导引头工作波段内时,可以兼顾接收信号与抗激光破坏两种功能。目前,国外普遍采用二氧化钒(VO_2)与五氧化二钒(V_2O_5)薄膜作为激光防护材料,其防护波段从紫外、可见光直至红外,在中、远红外波段上的光透射率可变,对弱光呈高透射率,并具有良好的相变特性,使红外探测器有效地接收目标红外辐射,而对强激光则呈低透射率,阻止其通过。尽管目前研究与实用还有一段距离,但由于这方面已有基础理论研究和实际应用的前景,因此成为研究热点。

3.2.5 制导引信一体化技术

在导弹系统中,充分利用武器系统的信息,将引信作为武器系统信息链的一部分统一协调设计,通过提高引信性能从而有效地提高整个武器系统的综合作战效能,是现代武器系统和引信技术发展趋势之一。导弹制导系统可以为引信提供更多的目标位置信息,综合利用和处理制导引信信息,有利于提高引战配合性能和毁伤概率。美国在20世纪70年代就开展了制导引信一体化(GIF)的理论探索,尤其是采用主动寻的制导技术和弹载计算机技术之后,GIF设计已成为现代导弹技术发展的一个重要趋势。目前,新型空空导弹的制导精度普遍提高,弹上信息也逐渐丰富,已具备大力发展GIF技术研究的内在基础^[9-10]。

4 结论

在半个多世纪的发展历程中,红外型空空导弹的技术有了突飞猛进的发展,各种新技术的应用层出不穷。我国与美欧在该技术领域的差距依然较大,国外的创新速度仍然比我们快,新技术、新方法仍在不断推出。因此,我们必须在紧盯国际相关技术领域的发展方向的同时,立足国内现有技术基础,进一步深化红外制导关键技术研究,同时加强加大相关核心器件的研究力度,加强系统技术创新,使我国的空空导弹事业更上一个台阶。

参考文献:

- [1] Zheng Zhiwei, Bai Xiaodong, Hu Gongxian, et al. Air-to-air missile infrared guidance systems design[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. (in Chinese)
郑志伟,白晓东,胡功衍,等.空空导弹红外导引系统设计[M].北京:国防工业出版社,2007.
- [2] Lon Nordeen, John Quigley. Self Defence[J]. Air Forces Monthly-December, 2006.
- [3] Robert Hewson. Jane's Air-Launched Weapons[M]. 2009.
- [4] Zhao Shanbiao, Zhang Tianxiao, Li Xiaozhong. A summary of infrared seeker[J]. Winged Missiles Journal, 2006, (8):42-45. (in Chinese)
赵善彪,张天孝,李晓钟.红外导引头综述[J].飞航导弹,2006,(8):42-45.
- [5] Yang Weiping, Shen Zhenkang. Infrared image seeker technique and its development trend[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(11):1129-1136. (in Chinese)
杨卫平,沈振康.红外成像导引头及其发展趋势[J].激光与红外,2007,37(11):1129-1136.
- [6] He Qiyu. Trend analysis of the development of infrared guidance technology[J]. Infrared and Laser Engineering, 1996, 25(3):41-46. (in Chinese)
何启予.红外导引技术的发展与新趋势[J].红外与激光工程,1996,25(3):41-46.
- [7] He Liping, Cheng Chuzhi, Xu Pingao. Review of the millimeter wave/infrared compound seeker of hypervelocity missile[J]. Infrared and Laser Engineering, 1996, 25(4):56-64. (in Chinese)
何立萍,成楚之,徐品高.超高速导弹毫米波/红外复合导引头研究[J].红外与激光工程,1996,25(4):56-64.
- [8] Meng Xianfeng, Lu Chunhua, Zhang Qitu, et al. Progress of laser protection materials[J]. Laser & Infrared, 2005, 35(2):71-73. (in Chinese)
孟献丰,陆春华,张其土,等.激光防护材料的研究进展[J].激光与红外,2005,35(2):71-73.
- [9] Bruce Wallace H. Technologies to support future fuzing [C]//48th Annual Fuze Conference. USA: NIDA, 2004.
- [10] Guidance Integrated Fuze (GIF) [EB/OL] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/gif.htm>, 2007/5/29.