

空空导弹与红外导引系统发展评述

刘珂^{1,2}, 李丽娟^{1,2}

(1. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009;

2. 航空制导武器航空科技重点实验室, 河南 洛阳 471009)

摘要:介绍了空空导弹发展现状,分析了红外导引系统和雷达导引系统的技术特点。认为雷达导引系统未来面临着隐身飞机和数字射频存储(DRFM)干扰技术的严峻挑战,因此红外空空导弹在空战中的地位将大幅提升。最后预计了红外导引系统在远程化空空导弹上应用前景。

关键词:红外导引系统;空空导弹;发展分析

中图分类号:TN216 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2016.01.001

Development analysis of air to air missile and infrared guidance

LIU Ke^{1,2}, LI Li-juan^{1,2}

(1. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China;

2. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Airborne Guide Weapons, Luoyang 471009, China)

Abstract: The development status of air-to-air missiles is presented and the technical features of IR and radar seekers are analyzed. It is considered that the importance of IR air-to-air missiles will be dramatically increased due to the great challenges of stealth plane and DRFM to radar guided air-to-air missiles. The application of IR seekers in long range air-to-air missiles is anticipated.

Key words: infrared Seeker; AAM; development analysis

1 引言

波音公司的工程师近期提出,数字射频存储(DRFM)干扰技术的扩散将引起雷达制导空空导弹失效,因而红外空空导弹在空战中的地位将大幅提升。这一趋势将驱使红外探测与跟踪技术和红外空空导弹向远程化方向发展。本文在综述全球空空导弹发展的基础上,对美国提出的这一趋势做出评议。

2 全球空空导弹发展现状

空空导弹是由飞机携带,从飞机上发射,攻击并摧毁敌空中目标的导弹。二次世界大战后,空空导逐渐形成了红外和雷达两种体制互补,远、中、近距搭配的空空导弹家族^[1]。近距空空导弹几乎全部采用红外制导;中、远距拦射型空空导弹多采用雷达

制导。这种不同制导方式与射程的搭配关系,是由导引系统的自身技术特点决定的。

2.1 红外导引系统技术特点和所应用空空导弹的发展现状

红外导引系统采用被动测角方式,利用目标的红外辐射能量来对目标进行探测、跟踪^[2],如图1所示。

目标温度越高,红外辐射能量越强,红外导引系统的作用距离越远。飞机目标红外辐射源主要包括发动机尾喷口、尾气流和蒙皮。尾喷口的红外辐射一般集中在短波红外(1~3 μm)和中波红外(3~5 μm),尾气流辐射主要集中在中波红外,蒙皮辐射主要集中在长波红外(8~14 μm)。

发动机温度远高于蒙皮,因此飞机辐射的红外能

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

收稿日期:2015-04-22;**修订日期:**2015-05-10

量强度分布呈“前小后大”,使得红外导引系统对来袭飞机的迎头作用距离会远远小于尾后作用距离,而导弹的动力射程又是迎头方向远大于尾后方向。

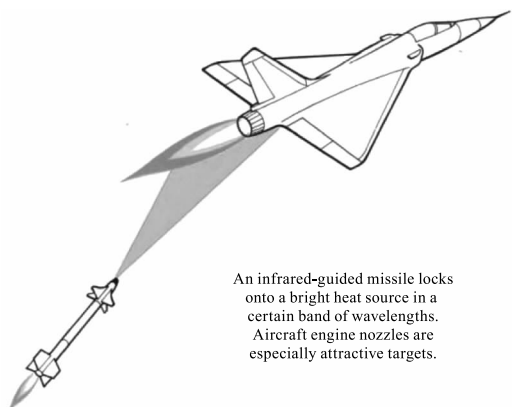


图1 被动红外制导示意图

Fig. 1 Diagram of Passive IR Guidance

能够较好地敏感迎头方向上飞机蒙皮辐射能量的长波红外导引系统在理论上具备“全向探测能力”。但是目前能够适配该系统的硫化锌整流罩材料很难适应导弹高速飞行时的强度和耐受雨淋、砂蚀、盐雾、霉菌等复杂环境考验的硬度需求^[3-4]。

红外导引系统常用球形整流罩,如图2所示。优点是对光学系统形成的像差均匀不变,而且透过率高;缺点是气动阻力大,不仅影响导弹射程和射速,还会在需要长时间高速飞行的导弹上引起较为严重的“气动热效应”,影响红外系统对目标的检测^[5-6]。



图2 “怪蛇”5空空导弹导引头整流罩

Fig. 2 The seeker dome of Python V missile

因此目前红外导引系统很少应用到需要高速迎头拦截目标的中、远程空空导弹上。但是红外导引系统具有如下优点:

- a) 角分辨率高,导引精度高;
- b) 跟踪角范围和角速度大;
- c) 成像导引头具有目标要害点识别和较强的抗自然背景与红外诱饵干扰的能力,如图3所示;
- d) 被动探测不易被目标机发现,对电磁干扰不敏感;

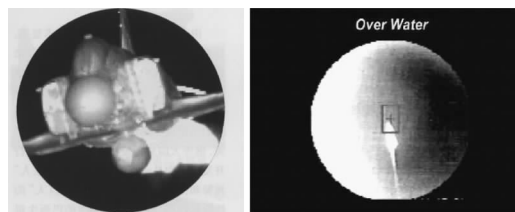


图3 AIM-9X导引头探测到的飞机红外图像

Fig. 3 The fighter plane infrared images generated by the seeker of AIM-9X missile

e) 可全天时使用;

f) 体积小、重量轻、结构相对简单。

红外导引系统被广泛应用于近距格斗空空导弹上。现役第四代近距格斗空空导弹采用红外成像制导技术。典型代表有美国的“响尾蛇”AIM-9X、以色列的“怪蛇”5、英国的ASRAAM等,如图4所示^[7]。



图4 AIM-9X、ASRAAM和“怪蛇”5空空导弹

Fig. 4 The missiles of AIM-9X, ASRAAM and Python V

2.2 雷达导引系统技术特点和所应用的空空导弹发展现状

雷达导引系统利用目标反射的电磁波来对目标进行探测、跟踪。空空导弹上普遍采用半主动雷达制导(如图5所示)和主动雷达制导(如图6所示)。

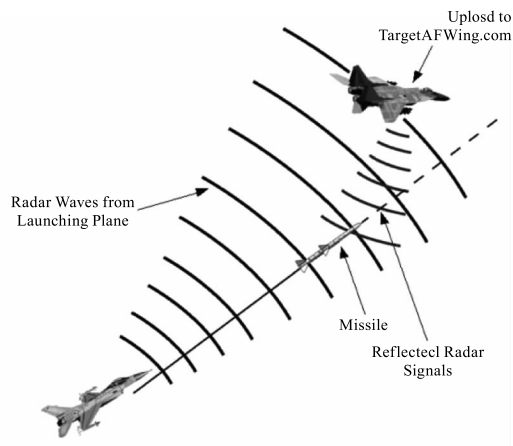


图5 半主动雷达制导示意图

Fig. 5 Diagram of semi-active radar guidance

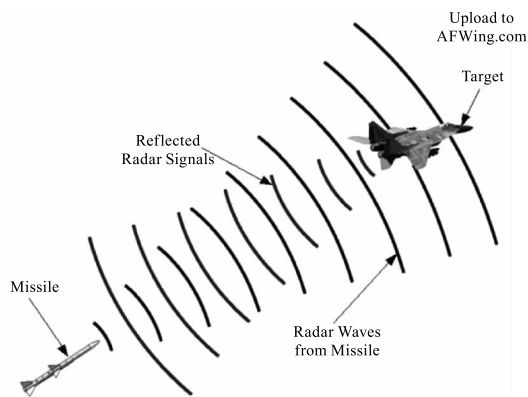


图6 主动雷达制导示意图

Fig. 6 Diagram of active radar guidance

空空导弹雷达导引系统常用的波段有 X 波段、Ku 波段、Ka 波段等,对云、雨、雾等具有较好的穿透能力。因此在对空环境下,只要提高雷达功率和天线面积的乘积值,雷达对目标探测距离就更远。

雷达导引系统的优点:

- a) 探测距离远;
- b) 可对目标进行全方位探测;
- c) 具有全天候作战能力;
- d) 采用主动雷达导引头的导弹具有发射后不管能力;
- e) 主动雷达导引头具有测速、测角和测距能力,制导信息全面;

f) 可采用高长径比的尖拱流线形整流罩,气动阻力小。

雷达导引系统被广泛应用于中、远距拦射型空空导弹上。现役第四代雷达型空空导弹采用程序初制导+惯导/数据链中制导+主动雷达末制导的复合制导方式^[8]。典型代表有美国的 AIM-120、俄罗斯的 R-77 和中国的 SD-10A 等(如图 7 所示)。

3 空空导弹雷达导引系统面临的挑战和红外导引系统的机遇

以美国 F-22、F-35 为代表的第五代战斗机具有优良的雷达隐身能力和综合电子干扰能力。随着电子技术日新月异地发展,目前的第四代战斗机(F-15、F-16、幻影 2000 等)在装备了以数字射频存储(DRFM)干扰技术为典型代表的新型电子干扰设备后,也能够对雷达制导空空导弹形成有效干扰。上述因素对当前雷达制导空空导弹在空战中的主导地位构成了挑战。

3.1 隐身飞机对雷达的挑战

国外隐身飞机主要有美国的 F-22、F-35,俄

国的 T-50,日本的 ATD-X 等(如图 8 所示)。隐身措施的重点是在 Ku 波段和 Ka 波段有很小的 RCS。由于雷达型空空导弹的工作波段主要集中于此,因此使得该型空空导弹对其截获距离大大下降^[9]。



(a) AIM-120A空空导弹



(b) R-77空空导弹



(c) SD-10A空空导弹

图7 第四代雷达型空空导弹

Fig. 7 The fourth generation radar guidance missiles



(a) F-22



(b) F-35



(c) T-50



(d) ATD-X

图8 国外隐身飞机

Fig. 8 The foreign stealth aircrafts

据估计,F-22 前向 RCS 约为 0.1 m^2 。如果雷达导引头对前向 RCS = 3 m^2 的 MiG-29 截获距离为 20 km,则在同样条件下对 F-22 的截获距离只

有 8.5 km, 很难满足空空导弹的实际作战需求。

飞行器实现红外隐身的方法是利用遮蔽、低发射率涂料、热抑制等措施, 降低目标的红外辐射强度与特性^[10]。红外隐身技术在战斗机上的应用有很大局限性(如图 9 所示), 例如大宽高比的二元尾喷管在降低尾气流的红外辐射强度同时, 也会降低发动机推力; 在战斗机有限的内部空间里装有许多大功率的电子系统(有源相控阵雷达等)和大推力发动机, 而低表面辐射率材料不利于飞机内部散热, 所以应用不普遍; 只能在有限方向上利用机身来遮蔽高温的发动机尾喷管红外辐射能量, 却无法对高速飞行时的蒙皮红外辐射能量进行遮蔽。

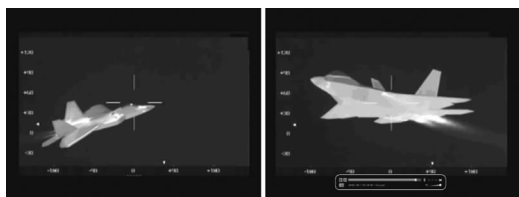


图 9 范保罗航展上拍摄的 F-22 红外照片

Fig. 9 Infrared photos of F-22 shot in Farnborough airshow

据报道, 2012 年 6 月美国“红旗”军演中, 德国的“台风”战机使用红外型空空导弹“击落”了一架 F-22 战机。由此可见, 随着灵敏度更高的红外探测技术的发展, 红外型空空导弹会成为对抗隐身飞机的重要武器。

3.2 新型电子干扰对雷达的挑战

随着数字射频存储(DRFM)干扰技术的应用以及干扰发射装置的小型化(如拖曳式诱饵装置如图 10 所示), 新型的机载电子干扰设备对空空导弹雷达导引头威胁的迅速增大。



图 10 带有拖曳式有源雷达诱饵的“狂风”飞机

Fig. 10 The towed active radar decoy pulled by Tornado aircraft

数字射频存储(DRFM)干扰技术属于欺骗式干扰。通过 DRFM 对空间雷达信号进行接收, 然后以数字形式存储, 再经过调制处理成特定的干扰信号, 最后发射干扰信号去干扰雷达(如图 11 所示)。回放后的信号具有高度的相参性, 因此能有效干扰第四代空空导弹上的全相参脉冲多普勒雷达导引

系统^[11]。

数字射频存储(DRFM)干扰可以完全覆盖各种雷达的工作带宽, 输出信号具有相参性, 复制信号的频率误差可以小于几赫兹, 能够满足对各种体制雷达干扰的频率精度需要。应用 DRFM 技术不仅可以产生如距离拖引、速度拖引、假目标等一些常用的欺骗干扰, 通过储存的脉冲信号还可以形成连续窄带瞄准噪声、扫频噪声干扰、梳状频谱干扰, 而且可以通过调制与控制方式的结合形成多种灵巧式干扰以及欺骗与噪声复合的组合干扰^[12]。

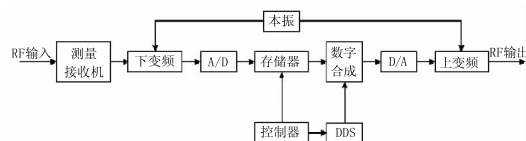


图 11 DRFM 的构成框图

Fig. 11 The block diagram of DRFM

由此可见, 数字射频存储(DRFM)干扰对雷达型空空导弹构成了较大的威胁。但是由于工作体制不同, 红外型空空导弹完全不受该类型的电子干扰影响。

据 2013 年《飞行国际》杂志报道, 美军认为日益增长的具有“数字射频存储(DRFM)功能”的干扰机能够“致盲”以 AIM-120 为代表的雷达型空空导弹, 因此急需一种对电磁干扰免疫的被动红外导引的增程型 AIM-9X 导弹来应对此威胁。为此研发的 AIM-9X Block III 型空空导弹增加了 60% 射程。美军认为该型导弹“可以为战斗机提供更多的超视距武器, 以提高战术灵活性”。

4 红外导引系统在远程化空空导弹上应用展望

近年来, 新型红外导引系统已经能够满足中、远距空空导弹的需要。应用展望如下文所述。

4.1 采用高灵敏度红外成像技术提高导引头迎头作用距离和抗干扰能力

中、远距空空导弹大弹径的特点便于红外导引系统采用大通光孔径的光学系统, 有效增加对飞机目标的作用距离。假如红外成像导引系统的通光孔径比第四代近距格斗空空导弹大一倍, 则作用距离可以提高一倍, 迎头作用距离达到 20km 以上, 满足中、远距空空导弹的需要。

金刚石整流罩材料有望解决具有“全向探测”能力的长波导引系统在空空导弹上的应用技术瓶颈^[3]。此外, 该材料还具有“全波段”的透过能力。未来该技术一旦实用化, 则中/长波双色成像导引系统是中、远距空空导弹的最优选择。该系统不仅可

以通过长波探测系统敏感目标表面蒙皮的红外辐射能量,进一步提高对目标的迎头作用距离;还可以结合中波探测系统的信息来提高空空导弹的抗干扰能力。

4.2 采用气动减阻技术削弱气动加热对红外导引头的不利影响

中、远距空空导弹长时间高速飞行引起的气动热效应不利于位于导弹前端的红外导引头工作。一种解决途径是采用气动减阻器技术。20 世纪 60 年代美国研制的红外型“麻雀”空空导弹(如图 12 所示)就采用了该技术。美国雷神公司在研的“网络中心机载防御单元”(NCADE)在导引头整流罩前加装了气动减阻器和流线形保护罩(如图 13 所示)。气动减阻器可以将激波层推离半球形整流罩表面,既降低了气动阻力,又削弱了气动热效应。



图 12 红外“麻雀”空空导弹
Fig. 12 Sparrow IR missile

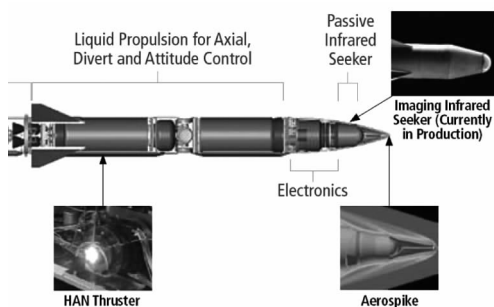


图 13 NCADE 动能拦截弹第二级构成图
Fig. 13 Diagram of second stage of NCADE missile

另一种解决途径是采用保形光学技术。保形光学采用椭球形整流罩,能与系统平台的外形轮廓实现平滑连接,提高武器系统的空气动力学性能。根据相关研究,如果将红外导引头球形整流罩更换为长径比为 1.5 椭球保形整流罩,阻力系数可减小 1/3。美国于 1999 年已研制出世界上第一个保形光学系统,并成功应用于红外导引头(如图 14 所示)^[13-14]。

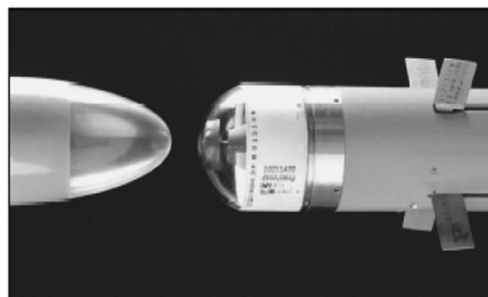


图 14 保形整流罩与传统球形整流罩对比
Fig. 14 The contrast of conformal and spherical domes

5 结 语

本文认为,目前作为超视距空战主力武器的雷达制导空空导弹面临隐身飞机和电子干扰的严峻挑战,而红外制导空空导弹在此方面具有独特的优势。新型红外技术有望突破红外导引系统在中、远距空空导弹应用上的技术瓶颈。世界各国在不断提高雷达型空空导弹反隐身和抗电子干扰能力的同时,也会加快红外型空空导弹向远程化方向发展的进度,使其与雷达型空空导弹一起,应对未来空中战场上的挑战。

参考文献:

- [1] FAN Huitao, LÜ Changqi, LIN Zhongxian, et al. Air-to-air missile systems overall design [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. (in Chinese)
樊会涛, 吕长启, 林忠贤, 等. 空空导弹系统总体设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [2] 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.
- [3] ZHANG Yiguang, FENG Zhigao, YANG Jun, et al. Study on the designing technology of the infrared optical dome used in supersonic mode [J]. Journal of Synthetic Crystals, 2007, 36(6): 1314 - 1318. (in Chinese)
张义广, 冯志高, 杨军, 等. 超声速红外长波光学校整流罩设计技术研究 [J]. 人工晶体学报, 2007, 36(6): 1314 - 1318.
- [4] ZHAO Hongwei, HOU Tianjin, ZHU Bin. Military optical domes techniques researchful developments [J]. Laser & Infrared, 2010, 40(9): 926 - 931. (in Chinese)
赵洪卫, 侯天晋, 朱斌. 军用光学整流罩技术研究的进展 [J]. 激光与红外, 2010, 40(9): 926 - 931.
- [5] CHEN Lianzhong, ZHANG Jiaxiang, FEI Jindong. Experiment research on the aerodynamic heating effect on the infrared imaging [J]. Laser & Infrared, 2009, 39(1): 36 -

38. (in Chinese)
陈连忠,张嘉祥,费锦东. 气动加热对红外成像的影响试验研究[J]. 激光与红外,2009,39(1):36-38.
- [6] HE Youjin,ZHANG Peng,PENG Jun,et al. Aerodynamic heating and stress analysis on dome of infrared high speed air to air missiles[J]. Infrared Technology,2007,29(7):373-376. (in Chinese)
何友金,张鹏,彭军,等. 高速红外空空导弹整流罩气动加热及应力分析[J]. 红外技术,2007,29(7):373-376.
- [7] LIU Ke,CHEN Baoguo,LI Lijuan. Development tendency and key technology of IR seeker for air-to-air missile[J]. Laser & Infrared,2011,41(10):1117-1121. (in Chinese)
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.
- [8] FAN Huitao,WANG Qifei. Development and key technology of long-range air-to-air missile[J]. Aero Weaponry,2006(1):3-7. (in Chinese)
樊会涛,王起飞. 远程空空导弹的发展及其关键技术[J]. 航空兵器,2006(1):3-7.
- [9] LIANG Xiaogeng,JIA Xiaohong. Techniques of airplane stealth and future development of air-to-air missile[J]. Tactical Missile Technology,2007,15(1):13-15. (in Chinese)
梁晓庚,贾晓洪. 飞机隐身技术与未来空空导弹的发展[J]. 战术导弹技术,2007,15(1):13-15.
- [10] SONG Xinbo,LÜ Xueyan,ZHANG Jianjun. Study on the infrared stealth technology of plane[J]. Laser & Infrared,2012,42(1):3-7. (in Chinese)
宋新波,吕雪艳,章建军. 飞机红外隐身技术研究[J]. 激光与红外,2012,42(1):3-7.
- [11] PENG Leilei. Research on DRFM technique in electronic jamming[J]. Electronic Science and Technology,2013,26(1):104-106. (in Chinese)
彭磊磊. 电子对抗中的 DRFM 技术[J]. 电子科技,2013,26(1):104-106.
- [12] DANG Likun,WANG Xiaonian,LUO Jinliang. Research into the influence of DRFM jamming on radar and countermeasures[J]. Shipboard Electronic Countermeasure,2009,32(1):24-27. (in Chinese)
党立坤,王小念,罗金亮. DRFM 干扰对雷达的影响及对策研究[J]. 舰船电子对抗,2009,32(1):24-27.
- [13] MENG Qingchao,DUAN Meng,ZHANG Yunqiang,et al. New development on dome of infrared air-to-air missile[J]. Aero Weaponry,2008(2):24-27. (in Chinese)
孟庆超,段萌,张运强,等. 红外空空导弹整流罩技术的新进展[J]. 航空兵器,2008(2):24-27.
- [14] ZHANG Xuecheng,XU Rong,LIU Li. Application of conformal optics on seeker[J]. Ordnance Industry Automation,2010,29(4):30-33,37. (in Chinese)
张学成,徐榕,刘莉. 保形光学在导引头中的应用[J]. 兵工自动化,2010,29(4):30-33,37.