

文章编号:1001-5078(2013)09-1036-04

· 红外技术及应用 ·

## 空空导弹双色红外成像制导关键技术分析

李丽娟<sup>1,2</sup>, 白晓东<sup>1,2</sup>, 刘珂<sup>1,2</sup>

(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:**新型干扰技术的发展使单波段红外成像武器系统面临巨大的挑战, 双色红外成像制导技术可增强导弹的抗干扰能力, 是红外导弹发展的方向之一。首先分析了国外空空导弹双色红外成像制导技术发展的现状, 之后对空空导弹双色红外成像导引头的关键技术进行了分析, 针对实现双色成像的方式和双色信息利用等问题, 着重分析了双色波段选择、双色探测器和成像预处理、双色共口径光学系统及双色图像抗干扰等技术的实现途径, 最后提出了深化研究的措施和建议。

**关键词:** 双色红外成像; 抗干扰; 双色探测器; 空空导弹

**中图分类号:** TN216 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.09.16

### Analysis of the key technologies for dual color IR imaging guidance of air-to-air missile

LI Li-juan<sup>1,2</sup>, BAI Xiao-dong<sup>1,2</sup>, LIU Ke<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract:** New jamming technology makes the single band infrared imaging guidance weapons to face enormous challenges. Dual color IR imaging guidance technology has been regarded as one of the developing directions of IR guided missiles for its improved countermeasure ability. Firstly, the foreign air-to-air missile dual color IR imaging guidance technologies is analyzed, then the key technology for air-to-air missile dual color IR imaging seeker is studied. Approaches such as dual band selection, dual color detector fabrication, imaging preprocessing, dual color optical system design and dual color image counter-countermeasures are proposed. In the end, the measures and suggestions for further research are proposed.

**Key words:** dual color IR imaging; counter-countermeasure; dual color detector; air-to-air missile

#### 1 引言

现代战争的推演刺激着各种干扰与抗干扰技术在相互对抗中不断进步, 因此, 各种战术导弹所面临的战场环境日益复杂, 对抗性也愈加激烈。红外制导技术已从单元、多元发展到成像制导, 而红外对抗技术如红外诱饵弹、红外伪装、隐身、红外定向干扰、红外成像诱饵等也在不断地发展和应用之中。以最常用的红外诱饵弹为例, 正在发展中的新技术包括: 改变干扰释放策略, 以不同压制比的多诱饵弹向多方向投放; 采用伴飞诱饵或拖曳式诱饵, 模拟飞机的

运动轨迹; 改变诱饵弹材料和燃烧方式, 使其光谱特性更接近目标; 面源形红外诱饵弹, 形成干扰云团等。可见, 红外诱饵弹改进的方向是使干扰与目标在更多的特征上具有相似性。这使得采用单波段成像制导的武器在对抗红外诱饵方面存在一定的困难。

激光定向干扰是对红外成像导引头很有威胁的

作者简介: 李丽娟(1968-), 女, 研究员, 研究方向是红外探测与信息处理技术。E-mail: lljzx1@126.com

收稿日期: 2013-03-14; 修订日期: 2013-03-28

一种干扰手段。飞机在探测到来袭导弹的方向时通过机载激光定向干扰系统向来袭导弹发出高能量激光,使红外成像导引头致盲或致眩,从而破坏导弹对目标的稳定跟踪造成脱靶。随着激光定向干扰技术的发展及其在作战飞机上的实际应用,目前的单波段红外成像导引头将难以发挥作用。

可见,在这种复杂的光电环境中,单一波段的红外成像探测、制导武器由于获得的信息有限,作战效能将被日益削弱,在未来战争中将不能有效地进行精确打击,这也迫使人们寻求红外成像制导技术的进一步发展。

红外双色探测是利用目标和干扰光谱分布的差异来识别真实目标的,作为一种提高导弹抗干扰能力的有效方法,已在 P-73M 和 PYTHON-4 导弹导引头中得到采用。在继承单波段成像探测优点的同时,利用双色信息的双色红外成像制导可以获得两个波段的图像信息,进一步增强其抗人工及复杂背景干扰能力,是红外成像制导发展的方向之一。

## 2 国外空空导弹双色红外成像制导技术发展现状

国外已有多个空空导弹采用了双色红外成像制导技术,如南非的 A-DARTER,法国的 IR MICA 和以色列的怪蛇 5<sup>[1]</sup>。突出的抗干扰能力是它们的共同特征。

南非的 A-DARTER 是其研制的第 4 代近距格斗空空导弹。该弹使用推力矢量控制和双波段红外成像导引头,离轴角可达  $\pm 90^\circ$ ,具有抗人工干扰和背景抑制能力。导引头能与头盔瞄准具或机载雷达随动,可自动扫描或直接瞄准。该导引头具有发射后锁定能力并能在大离轴角发射后暂时未能锁定目标情况下的记忆跟踪能力。发射后自动跟踪目标以用于远程前半球区域作战,还能够靠飞机雷达、头盔瞄准器或者用定轴瞄准方式截获目标。

法国的“米卡”红外成像型空空导弹由 MBDA 公司和法国空军在 20 世纪 90 年代共同研制,在 2000 年批量生产。采用双波段红外成像焦平面阵列探测器,机电扫描方案和完善的信号处理技术,具有较远的作用距离和较好的抗干扰能力,离轴发射角达到  $\pm 90^\circ$ 。该导弹还具有紧凑的尺寸、很高的飞行速度、高机动性、发射后不管和多目标打击能力,已经在法国空军和海军装备使用。

以色列的怪蛇 5 空空导弹采用了以色列研发的制冷型焦平面阵列,导引头在两个波段中工作,能够攻击正在投放曳光弹诱导导弹的目标<sup>[2]</sup>。其导引头跟踪装置可暂时跟踪曳光弹,然后将其抑制掉,跟

踪真正目标,增强了抗红外干扰能力并可选择瞄准点。当怪蛇 5 跟踪一架战斗机时,这一瞄准点位于目标座舱稍后一点部位。弹载计算机可对两个波段的图像进行比较,并且利用软件算法预测目标的运动。导弹可使用发射前锁定和发射后锁定两种模式。于 2004 年启动生产线,以色列空军已经采用系留导弹进行训练和战术使用。

从技术上看,南非的 A-Darter 和法国的 IR MICA 采用双色线列探测器组成扫描成像系统,而以色列“怪蛇”-5 空空导弹采用双波段凝视红外探测器,技术上更为先进,性能更优。

## 3 空空导弹双色红外成像制导关键技术分析

空空导弹双色红外成像制导的核心是双色红外成像导引头。与单波段红外成像导引头相比,双色成像导引头需要解决的主要问题是:一、如何实现双色成像;二、如何利用双色信息进行目标截获、跟踪和抗干扰。围绕上述问题,在开展空空导弹双色红外成像制导技术研究中,需要解决以下关键技术。

### 3.1 双色波段的选择

选择合适的双色波段是提高系统抗干扰能力的关键。双色波段的选择要从系统的角度综合考虑,既要保证目标与干扰在两个波段的光谱差异大、有利于目标与干扰的鉴别,又要考虑系统的综合探测能力及可实现性。一般来讲,要考虑以下因素:

- (1) 在所选的波段内大气透过率较高;
- (2) 具有探测灵敏度高的双色探测器;
- (3) 目标与干扰的双色特征差异大,稳定性好。

常用的双色波段选择有:中短波、中长波和中长波,它们各有优缺点。

#### (1) 中短波组合

目标与干扰在这两个波段的双色比差异最大,且在每个单波段,目标与干扰的特征差异也是最大的。从这点考虑,对抗干扰最为有利。

缺点是由于目标在短波的辐射较弱,我们只能依靠中波探测目标,短波只在抗干扰时起作用。且太阳与地物反射干扰在短波较为严重,一定程度上增加了抗干扰算法的复杂性。

#### (2) 中长波组合

能够同时提高抗干扰能力和探测能力。长波的使用可以提高对飞机目标的迎头探测能力。且中长波的组合使导引头在天气的适应性上能够相互补充,在高湿度地区中波更为有利,而长波穿透烟雾的能力更强。

缺点是长波的气动加热更严重,长波头罩材料

的选择存在困难,且长波探测器的制作较困难,成本更高。

### (3) 中中波

两个波段可兼顾抗干扰和目标探测,在光学材料选择和系统设计上较为容易。

缺点是目标与干扰的差异相对较小。

可见,从长远来看,若长波在空空导弹上使用的一些困难得到解决,则中长波组合是较理想的选择。中短波与中中波组合各有优缺点,在实际系统中都有应用,关键是要采用与之相适应的信息处理算法,提高系统目标探测与干扰鉴别的能力。

## 3.2 双色探测器技术

双色探测器是制约国内双色红外成像制导技术发展中的一个瓶颈。由于空空导弹的弹径较小,又要实现大的回转角,因此需要采用集成的双色探测器实现双色成像。双色成像系统可由线列或凝视双色探测器构成,双色探测器从技术实现上主要有两种途径:

### (1) 平面拼接式双色探测器

两个波段的探测器处于一个平面内相间排列。对于线列双色探测器,可以是两列并行排列的探测器,每列分别响应不同的波段;对于凝视双色探测器,可以采用两个波段的敏感元间隔排列的方式。此种双色探测器所形成的双色图像在空间上有一定偏差,需要进行空间配准。对于凝视双色探测器,其空间分辨率比同等规模的单色探测器要低。

### (2) 叠层双色探测器

叠层双色探测器是新一代红外焦平面器件的突出代表,它由纵向分布的两个叠层光电二极管或红外光探测量子阱组成,可获得空间上完全同步的两个波段的红外辐射。其探测的两个波段,可以从短波红外到长波红外中无交叠的两个光谱带的组合,或同一波段内细分的波谱组合<sup>[3]</sup>。在该技术领域目前有两种主导技术。一种是以 MCT 探测器技术为基础,通过改变材料的配比,生成敏感不同波段的膜层。另一种是以量子阱探测器(QWIP)技术为基础发展起来,QWIP 双色探测器的敏感光谱多为 3~5 和 8~12  $\mu\text{m}$  两个波段,串音小,但量子效率较低。叠层双色探测器避免了两波段图像空间配准的困难,更适合应用于双色红外成像导引头中。

目前叠层双色探测器在国外已经成熟,国内也在发展之中,从技术上已取得了较大的进步。

## 3.3 双色成像预处理技术

在双色探测器确定之后,通过探测器与系统的

匹配性设计,降低系统噪声水平,提高系统的温度分辨率是系统设计中的一个关键。它主要包括低噪声探测器预处理技术和非均匀性校正技术。

### 3.3.1 低噪声探测器预处理技术

在信号传输和处理的各个环节,采用以下技术降低噪声:

- (1) 对探测器信号处理电路采取屏蔽措施;
- (2) 采用高精度、低噪声的稳压源和二次电源;
- (3) 探测器控制和时序信号进行光电隔离;
- (4) 信号低噪声放大,采用平衡传输方式;
- (5) 信号加屏蔽,减小信号间的串扰。

由于双色探测器的信号多、需要的电源多,预处理电路上的器件也增加了许多,因此需要采用小型化设计技术在较小的空间限制下实现双色信号的低噪声处理。

### 3.3.2 非均匀性校正技术

探测器的非均匀性表现为固定的图案噪声,图像的非均匀性会严重影响系统的探测灵敏度和目标截获与跟踪性能。因此,非均匀性校正技术是红外成像导引头使用中必须解决的关键问题之一。两点校正是常用的校正算法,但由于两点校正系数保持有效的时间较短,通常需要在使用前进行校正,这对空空导弹的使用带来了复杂性。另外,空空导弹使用时面临飞行高度和环境温度的较大变化,在地面定标后的校正系数在高空动态飞行环境下可能会引起较大的误差,从而使图像的非均匀性增大降低系统的灵敏度。因此,在两点校正的基础上,必须采用其他方法实时修正校正系数。一种是采用基于场景的校正算法,如时域高通滤波法、神经网络算法、常统计量约束算法等,这些算法可以实时校正系统的偏移,消除  $1/f$  噪声和其他低频噪声。其缺点是要求场景是随机运动的,而实战跟踪状态下目标总是在中心附近的小区域内,可能引起目标信号的衰减。因此,在使用上述算法时需要从系统的角度考虑算法应用的时机,并与系统其他部件配合。另一种方法是在系统中增加硬件机构,在校正时能为系统提供一个或两个均匀温度的场景,从而实现实时的一点或两点校正。该方法以硬件的复杂换取算法的简化,且校正的精度高,适用范围广。在结构空间允许的情况下,这是一种较好的选择。

## 3.4 共光路双色光学系统技术

适用于弹载应用的共光路双色光学系统的设计存在以下特点:

- (1) 小弹径大跟踪场情况下,光学系统结构严

格受限。因此,在光学系统设计时,应根据系统结构特点,允许的光学系统空间尺寸、重量及技术性能要求、性价比等,进行详细的分析,选择合适的光学结构并进行优化设计。

(2)需要在较宽的光谱波段内校色差。由于红外波段可用的光学材料有限,它们的折射率及折射率光谱特性、温度特性不是特别有利于光学系统校色差、热差。因此,需要通过材料的优选和结构参数的优化设计,使光学系统的色差满足总体指标要求<sup>[4]</sup>。

(3)要进行光学系统的无热化设计,使系统在导弹工作的较宽的温度范围内都有良好的成像质量。由于弹载应用的空间限制及高可靠性要求等,通常采用光学被动式无热化设计技术。如球面系统光学材料匹配、采用非球面、使用简单的机械结构补偿等<sup>[5]</sup>。

(4)抑制杂散光干扰。常用的杂散光抑制措施包括采用光阑、光阑筒和遮光罩,以及在光学结构件表面加消光纹和消光涂层<sup>[6]</sup>。此外,对探测器冷屏提出相应的消光措施对于提高系统的抗杂散光抑制能力也非常有效。

### 3.5 双色图像抗干扰技术

利用双色图像提高抗干扰能力是发挥双色红外成像导引头优势的关键。根据目标与诱饵干扰的双波段图像特点,通过检测跟踪目标在双色比、平均灰度、面积、能量等特征的变化进行干扰的起燃判断;综合利用潜在目标的运动、光谱、形状和能量等特征,通过特征融合和特征关联,实现目标与干扰的识别。在特征识别时,可利用多干扰在运动轨迹和光谱特征上的相似性、以及目标与干扰间的特征差异,通过特征聚类分析进行目标与干扰的鉴别。

由于双色特征的采用,在压制比较低、视场中存在与目标特征相似的干扰(单波段内)等情况下可获得优于单波段导引头的抗干扰性能。

当系统受到激光致眩干扰时,其中一个波段的图像可能会被激光干扰而无法跟踪目标,此时由于双波段的采用仍可以利用另一波段的图像继续识别跟踪目标。

## 4 结 论

空空导弹双色红外成像制导技术是提高导弹抗干扰能力的重要途径之一。文中分析了双色红外成像制导的关键技术和可能的技术途径。为了进一步发展空空导弹红外成像导引头的技术水平,需要加大双色抗干扰与双色叠层探测器等相关技术的研究深度,促进相关技术成果在系统中的应用和转化。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Gong Zhaoxia, Wang Lei. Overview on foreign air-to-air missiles development[J]. Winged Missiles Journal, 2011, (4): 65; 66. (in Chinese)  
宫朝霞,王蕾. 国外空空导弹发展综述[J]. 飞航导弹, 2011, (4): 65 - 66.
- [3] Ding Ruijun, Ye Zhenhua, et al. Review of two-color infrared focal plane arrays[J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(1): 14 - 17. (in Chinese)  
丁瑞军,叶振华,等. 双色红外焦平面研究进展[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(1): 14 - 17.
- [4] Fang Bin, Deng Lingmin. Optical design of infrared two-color seeker[J]. Laser & Infrared, 2003, 33(3): 200 - 202. (in Chinese)  
方斌,邓领民. 双色红外导引头光学系统设计[J]. 激光与红外, 2003, 33(3): 200 - 202.
- [5] Zhang Yunqiang. Application study of athermalizing air-to-air missile optical systems[J]. Aero Weaponry, 2006, (3): 27 - 29. (in Chinese)  
张运强. 光学系统无热化设计在空空导弹上的应用[J]. 航空兵器, 2006, (3): 27 - 29.
- [6] Zheng Zhiwei, Bai Xiaodong, et al. Air-to-air missile infrared guidance systems design [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2007. (in Chinese)  
郑志伟,白晓东,等. 空空导弹红外导引系统设计[M]. 北京:国防工业出版社, 2007.