

红外告警设备的应用现状与发展趋势

陈兆兵^{1,2}, 郭 劲¹, 姜伟伟^{1,2}

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 红外技术拓展了人们的视界, 在军事领域获得了广泛的应用。本文介绍了红外技术的发展历程, 分析了红外技术在告警领域的应用现状、发展趋势以及目前在红外告警领域国内存在的主要问题, 对红外告警技术的进一步发展提供了相应的参考。

关键词: 红外; 红外告警; 发展趋势

中图分类号: TN976

Current Status and Development Trend of Infrared Warning Equipment

CHEN Zhao-bing^{1,2}, GUO Jin¹, JIANG Wei-wei^{1,2}

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Infrared technology, which extending people's vision, has been widely used in military field. From the origin of infrared technology, the application status of infrared in warning field, the infrared warning technology and its future development trend, some problems in infrared warning field in China are described in this paper, which would be the references for infrared warning development.

Keywords: infrared; infrared warning; development trend

1 引 言

从过去几十年的经验来看, 精确打击已成为现

代战争中克敌制胜的法宝。各类高价值作战平台如飞机、军舰、指挥控制车辆等如果无预警及对抗设备的支持, 在敌方的精确打击下几乎没有生存的空

间。在各类告警技术中, 雷达、激光等有源技术存在易被敌方察觉并打击的缺点; 而红外告警是一种无源技术, 能做到在发现敌人的同时隐蔽自己, 在对付精确制导导弹、炮弹、鱼雷等武器方面具有不可替代的地位。因此美国等发达国家从上世纪 50 年代中期就开始研制红外告警设备。目前红外告警设备已经发展了 3 代, 从最初只能接收单一目标、用于载机尾后的告警器, 到具有综合告警能力的全向告警技术系统, 现在已发展成为高性能的综合自卫系统。目前, 红外告警仍不断与其他告警技术、对抗技术甚至打击手段结合在一起, 成为一种智能化的武器系统。

2 红外告警技术的发展历程

红外技术从起源到现在已经有了 200 多年的历史。1800 年, 英国人赫胥尔 (W·Herschel) 用水银温度计发现了红外辐射。1821 年, 热电偶、热电堆开始用于红外探测器。1859 年, 基尔霍夫提出有关物体热辐射吸收与发射关系的定律。1893 年, 维恩 (WaWien) 发现了黑体分布的峰值与其温度之间关系的位移定律。1900 年, 普朗克 (Planck) 发表量子模型和黑体辐射定律, 导出黑体光谱辐射出射度随温度和波长变化的关系式。上述这些工作为红外技术的发展奠定了坚实的理论基础。在 1910~1920 年的 10 年中, 出现了探测舰船、飞机、炮兵阵地和冰山等目标的红外装置, 发展了通信、保安、红外测温等设备。二战期间, 出现了红外变像管、光子探测器等设备, 开创了夜视技术。1952~1953 年, 美国研制出世界上最早的热像仪。1956 年, 长波热像仪问世^[1]。在 50 年代中期, 美国德克萨斯仪器公司研制出了世界上第一台红外告警设备——ANALR-21, 从此红外告警设备型号不断推出, 性能持续提高, 应用日益广泛。到目前为止, 红外告警已经向着多频谱、模块化、通用化以及探测、监视、告警、对抗一体化的方向发展。

红外告警是利用红外波段进行目标的探测、识

别、跟踪与定位的光电对抗技术中的一个方面, 它的基本原理是利用目标和背景之间的温差来形成点源或图像以探测和跟踪目标。有人将红外告警系统又称为红外雷达, 其主要特点如下:

1. 能探测低空、超低空目标, 在雷达盲区可发挥其独特作用;
2. 被动工作, 不易被敌方发现, 隐蔽性好;
3. 具有多目标处理能力, 能给出威胁判断, 具有良好的人机界面;
4. 告警距离远, 可达 10~20 km。

3 红外告警技术当前的发展状况

红外告警按照告警装置的结构不同, 分为光机式、分布式与微扫描式几种类型。

3.1 光机式红外告警系统

这种告警方式是应用最早、目前也是应用最广且最为成熟的一种告警方式。该告警系统依靠一个探测器通过机械机构的运动来获得空间全景信息。红外 3 代告警的分类就是以这种告警器作为对象的, 现在已经发展到了第三代, 其主要特点为: 具有全方位的告警能力; 可完成对大群目标的搜索、跟踪和定位 (6~10 个); 自动引导干扰系统工作; 用先进的成像显示提供清晰的战场情况。由于采用大面积阵列的区域凝视技术, 目标的分辨率最高可达微弧量级, 告警距离可达 10~20 km。

目前, 典型的红外告警设备大多集中在欧美发达国家, 型号主要有: ANALR-21、ANALR-23、ANAAR-34、ANAAR-38、ANAAR-43、ANAAR-44、ANAAR-47、DDM 以及蝇目 (Fly's Eye) 系统。其中美国海军研究所研制的 Fly's Eye 是目前较为先进的凝视型红外告警系统, 它采用宽视场 InSb 焦平面阵列, 能使飞机视场覆盖半球形范围, 对 4~5 μm 波段灵敏。它通过探测导弹羽烟以及选用双色、光谱空间瞬时杂乱回波抑制技术来实施威胁告警。美国辛辛那提电子公司研制的 ANAAR-34 红外告警接收机是一种红外扫描导弹告警器, 适于安装在侦察和攻击直升机、运输

机和战斗机上, 现已装备美空军 F-111 飞机。安装在飞机垂直尾翼顶部的后视探测器有一可控制视场并与 ALR-62 雷达告警接收机接口, 它可连续搜索飞机下半球视场, 同时跟踪识别导弹的发射, 能在太阳辐射、地理背景中识别威胁与干扰。

EADS 的防御电子公司将为欧洲运输机 A400M 配备其最新研制的导弹告警系统 MIRAS (多色红外告警传感器)。该公司将从 2010 年起交付 85 套该类型告警系统, 此系统采用先进的红外超点阵探测器技术。MIRAS 是世界上第一种应用多色红外探测技术的导弹告警系统, 能提供较强的探测能力、探测距离和低虚警率。对于 A400M 运输机, 该系统进行了优化以适应宽体飞机 (如任务机、运输机、加油机), EADS 和泰雷兹公司打算将其推向世界市场, 并配备高空战斗机。A400M 的整个自我保护系统包括防御辅助计算机、MIRAS 导弹告警器 (均由 EADS 防御电子公司研制)、ALR-400 型雷达告警器接收机以及一个金属箔片/曳光弹发射系统。预计下一步基本型的 MIRAS 将加装其它设备, 如激光 DIRCM (定向红外对抗系统)。

光机式红外告警器的发展趋势是:

1. 能提供更宽的角度覆盖, 采用步进凝视技术, 提高灵敏度, 降低虚警率;
2. 采用微处理技术, 提高边搜索边跟踪的处理速度, 具有在复杂情况下快速处理信号的能力及对多目标的告警处理与识别能力;
3. 不断提高自动告警、引导干扰一体化的水平;
4. 扩大频率范围, 开展双模、多模工作方式研究, 并研制复合式告警器;
5. 侦察告警设备小型化、轻量化。

3.2 分布孔径红外告警系统

与光机式告警系统相比, 分布孔径红外告警系统虽然应用不那么广泛, 但也有其独特的优点。分面孔径红外告警系统的探测元件固定不动从而节省了昂贵的伺服控制机构, 另外, 探测频率也得到了大幅提高。光机式扫描机构目前的频率基本都为 0.5~1 Hz, 而分布式探测器由于始终探测某一区域, 因此取样频率可

大一些, 这样探测效果就会显著提高。这种系统的用途最初仅仅是告警探测, 用多个探测器代替一个光机扫描式系统进行告警。目前的发展情况是, 以这种多探测器为平台, 在实现告警的同时完成以前需要多个系统协作才能完成的任务, 如美国 Northrop Grumman 公司提出的一种全新的处理机驱动的设计概念——分布孔径红外系统 (DAIRS)。该系统首先是针对战斗机应用提出的, 它采用一组精心布置在飞机上的传感器阵列实现全方位、全空间敏感, 并采用各种信号处理算法实现空中目标远距离搜索跟踪, 导弹威胁逼近告警, 态势告警, 地面海面目标探测、跟踪、瞄准, 战场杀场效果评定, 武器投放支持及夜间与恶劣气候条件下的辅助导航、着陆等多种功能。从而能够用一个单一的系统实现以前要用多个单独的专用红外传感器系统 (如红外搜索跟踪系统、导弹逼近告警系统、前视红外成像跟踪系统、前视红外夜间导航系统) 才能完成的功能。它可以显著地提高战斗机的作战效能和生存能力。

这种分布孔径红外告警系统当然不仅仅用于飞机平台, 在舰船、坦克、指挥通讯车等海上或地面武器系统上同样适用。这在红外告警发展中是一个重要的方面, 目前已经有成型的设备装备部队。2005 年 11 月 11 日 Northrop Grumman 公司利用 BAC111 航空电子试验台成功地完成了 F-35 分布孔径红外系统的首次飞行试验, 试验中在飞机上装载了 3 个分布孔径系统红外传感器, 在飞行中 3 个传感器同时观察飞机周围的空域, 提供了无缝的综合宽视野空情图像。整个分布孔径系统在 2006 年 4 月交付 Lockheed Martin 公司, 并安装在联合供给战斗机任务系统综合试验室, 与 F-35 的其它任务航空电子系统一起进行系统集成试验。美国正在研制的舰载红外搜索与跟踪分布孔径传感器包括 3 个采用 51 方位比的中波阵列 (采用波音视觉系统公司的 2560×512 中波红外焦平面阵列) 和 2561 方位比的非对称光学系统的全凝视传感器, 总的非对称比为 128:1, 这对于将探测器分配到低的地平线搜索区域是适宜的。采用这样的措施可以提高对暗弱的亚音速

导弹的探测灵敏度。强调俯仰方向的分辨率是考虑到要分辨刚超出地平线的暗弱的威胁目标,2005年,这种传感器针对飞机和无人机目标进行了外场试验。美国还在研究视线步进凝视技术,步进凝视采用专门的反射镜进行快速步进,而万向支架步进凝视的速度则较慢。这种舰载红外搜索与跟踪分布孔径传感器的主要的关键技术是宽视场大规格红外焦平面阵列和非对称广角光学系统和视线步进凝视技术。其他国家如英国 QinetiQ 公司、Thales 光电公司和 Thales 光学公司已经为英国国防部研制了一套海军红外搜索与跟踪系统演示验证样机,用来评估凝视红外搜索跟踪系统的优势。该演示验证系统由以下部分组成:分用视场光学系统(包括两个红外凝视摄像机的传感器头、传感器头和信息处理之间的接口)、用于探测与跟踪的处理系统以及数据记录系统^[2]。

2006年2月9日,洛·马公司开始研究如何扩展其红外告警传感器的作用,该公司与诺·格公司竞争制造新型大型飞机红外干扰系统(LAIRCМ)。“猛禽”飞机的导弹探测器和新型 LAIRCМ 传感器具有高晰度红外传感器的特性。这些传感器用于探测空空和面空导弹,对这些导弹识别后进行追踪,飞行员则可获得足够的时间来采取对抗措施。这些系统安置在飞机周围并提供 360° 的探测范围,为飞行员提供清晰的战场图像。

分布孔径传感器系统是光电系统的一个新方向,这种采用多个基于大规模凝视焦平面阵列的大视场红外传感器和一个中央信息处理机的系统可支持多种功能,能消除现有系统昂贵的稳定与瞄准陀螺方向支架。此系统可以提供导弹逼近告警、搜索跟踪、夜视、战场轰炸效果评定及武器投放支持能力。分布孔径系统可以广泛应用于多种军用平台,随着这种系统的阵列规模与帧频、谱段的进一步增加,其应用领域也将进一步拓展。

3.3 微扫描式红外告警系统

微扫描技术是一种微位移技术,原理是在规定的方向上使景物图象相对于探测器表面移动规定距离,为探测器提供位置微小变化的图象。在红外成像系统设计中,空间分辨率不足限制了整机的探测距离,因

此红外告警在应用凝视型红外焦平面探测器时,这种不足会极大地影响告警效果。分辨率高低主要受探测器制造成本和光学衍射极限的限制,还与红外焦平面探测器的器件结构有关。目前虽然可以做出大规模的红外焦平面探测器,但成本很高、性价比低,原因是制备大尺寸均匀性好的红外晶体材料很困难,难以满足使用要求,探测器制作工艺水平还不完美,与之相应的采用平面工艺制造的读出电路的性能也受制于平面尺寸等因素,这些因素使得探测器的制造成本居高不下。其次,红外成像系统工作在波长较长的红外波段(3~12 μm),波长越长则衍射光斑越大,即使探测器制造水平很高也不可能做出分辨力很高的探测器,因为探测器设计首先要保证热灵敏度(探测距离),然后才考虑分辨率。另外,探测器结构决定了它的填充因子<100%,有的甚至低于 50%,也就是说探测器光敏面上存在盲区,不能探测到视场内的所有信息,人为抖动或随机振动也不能可靠地消除这一缺陷。而且,工作过程中凝视型红外焦平面探测器尤其是光伏型器件多数时间处于等待状态,只有少数时间处于积分状态,器件潜能没有充分发挥出来。通过微扫描技术可以在不增加红外焦平面探测器探测元总数的情况下提高红外成像系统的分辨力,扩大热成像系统的作用距离,消除探测器因填充因子小带来的探测盲区,同时还具有一定的稳像功能。综上所述,国际上一些著名红外技术公司争相开发微扫描技术就不足为奇了^[3]。

微扫描的理论研究始于上世纪 70 年代,器件开发始于 90 年代,而将器件真正用于红外告警系统则是本世纪的事情。在非制冷探测器开发过程中,西方国家为了将探测元间距大、空间分辨率低的焦平面探测器用于空间分辨率较好的整机产品上而研发了微扫描技术。经过长期研究,目前已经形成了以压电陶瓷驱动和电机驱动的 2 大产品系列(含英国、日本、加拿大、美国和韩国研制出的实验室产品),部分已经成功用于空中或地面武器平台上。生产单位有美国的 FLIR Systems、Raytheon、TI,英国的 BAE Systems 和法国的 Thales,FLIR Systems 公司的所有 COTS AN/

AAQ-22 系列吊舱系统都采用了微扫描技术。2006 年 5 月 1 日, BAE Systems 公司以 Merlin 系列非制冷红外焦平面探测器为核心的部分热像仪也采用微扫描技术。2006 年上半年, 加拿大的 INO 报道了 $8\sim 12\ \mu\text{m}$ 和 $300\sim 900\ \text{nm}$ 双波段直径 $100\ \text{mm}$ 的圆柱形枪瞄产品, 该产品用 160×120 的非制冷探测器, 通过 2×2 微扫描模式得到 320×240 像素的图像。韩国 SAMSUNG-THALES 公司生产的一款中波热像仪采用 2 个压电陶瓷元件分别驱动用于折转光路的 2 块平面镜摆动实现微扫描成像, 微扫描模式为 2×2 , 图像分辨力由原来的 320×240 提高到 640×480 。

国内目前还没有开发出实用的微扫描器件, 从报道的情况来看, 理论研究、实验模拟方面的文章比较多, 但实用产品还处于空白状态。尤其在红外告警方面, 几乎没见到任何关于微扫描技术的报道。之所以造成这种情况, 一方面是我们的基础研究跟不上, 如红外焦平面的制作在我国一直都不很理想; 另一方面是我们的控制等技术手段还不够高, 需要新一代的研究人员不断努力; 再有就是国内在这方面的投入太少, 还没有关注到其应用的迫切性。

随着红外焦平面探测器技术的发展, 微扫描技术越来越受到人们的重视。微扫描技术建立在普通的扫描成像技术和凝视型红外焦平面探测器技术之上, 扫描原理和结构没有多大改变, 但扫描幅度更小, 扫描精度更高, 扫描形式更多。微扫描技术可以弥补红外焦平面探测器填充因子 $<100\%$ 的固有缺陷, 充分利用它的等待时间进行微扫描成像, 用这种技术做出的红外告警系统必能极大地降低告警器的虚警率, 提高武器系统的整体性能。长远来看, 微扫描技术是红外技术领域竞争的又一项重要技术。

参考文献

- [1]周立伟.目标探测与识别 [M].北京:北京理工大学出版社, 2001.
- [2]张渊.分布孔径红外系统及其新进展 [J].科技咨询导报, 2007.
- [3]吴新社.红外凝视成像系统中的光学微扫描技术 [J].红外与毫米波学报, 2007, 2.
- [4]Bergeron A, Jerominek H. Dual-band dual field-of-view TVWS prototype [J]. SPIE, 2006, 6206: 620610\1- 620610\9.

4 我国在红外告警装备研制中的问题与解决方法

我国红外应用产业具有很好的发展前景和潜力, 在红外告警方面我国已经研制多年, 已有一批红外探测、告警装备进入部队。我国在红外技术方面起步并不晚, 仅仅在研制力度、投入资金及重视程度上较发达国家有差距, 因此我们现有设备的性能比国外产品相差较多。下面列举一下国内目前的发展状况:

(1) 核心技术少

虽然我国好多设备在红外告警方面已经达到了很好的效果, 但是其中的核心部件, 如探测器基本都是从国外购买的。在没有最好核心部件支持的情况下, 我们的告警产品性能难以令人满意。

(2) 产研结合不够

在红外告警方面, 我国虽有大量人员在参与研制, 但产业却非常落后, 学术的开放性不够。

(3) 创新能力不足

我们的红外告警装备基本上是在走国外已经走过的道路。这种情况下, 我们的产品几乎没有超越他们的产品的可能。当然在我们还不够强大时这样做是有好处的, 但是, 模仿跟踪他们的产品的目的是更好地发展我们自己的产品。

5 总 结

红外告警目前正处于大发展的时期, 这种设备正向着多功能联合、智能化、自动化方向发展。在今后的战争中, 谁在电子对抗领域领先, 谁将获得更大的胜算。在这样的形势下, 我国的红外告警装备产业迫切需要更大的发展。(No.6)