

· 综述 ·

红外定向对抗技术与装备的发展研究

陈 晨¹, 王 喆²

(1.空军装备部重点型号部,北京 100843; 2.中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300000)

摘要:论述了外军红外定向对抗技术的发展、装备的研制和改进情况,并介绍了外军部分红外定向对抗系统。指出在现代战争中发展定向红外干扰技术的优势和重要性,重点探讨几种红外定向对抗技术特点,对激光器、双色红外告警、精密跟踪等技术的发展进行了深入研究,并对红外定向对抗系统装备市场进行预测,最后论述红外定向对抗技术的发展趋势。

关键词:红外定向对抗;双色红外告警;红外跟踪;干扰技术

中图分类号:TN219

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2015)-02-0001-06

Development Research on Directional IR Countermeasure Technology and Equipment

CHEN Chen¹, WANG Zhe²

(1.Key Model Department of Air Force Equipment Ministry, Beijing 100843, China; 2.Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation(AOE CETC), Tianjin 300000, China)

Abstract: The development of directional IR countermeasure (DIRCM) technology, the research and improvement of the equipments of some foreign countries are described. And some DIRCM systems are introduced. The advantages and importance of developing DIRCM technology in modern wars are proposed. The characteristics of DIRCM technologies are discussed. The development of technologies such as laser, double-color IR warning and precision tracking are researched. And the market of DIRCM system is forecasted. At last, the development trend of DIRCM technology is described.

Key words: directional IR countermeasure(DIRCM); double-color IR warning; IR tracking; jamming technology

红外定向对抗技术是当今世界上对抗红外制导导弹最先进的技术,它是随着红外制导导弹对飞行平台日趋严重的威胁而产生和发展起来的。随着红外探测技术、红外制导技术和军用计算机技术的飞速发展,各种新型红外制导导弹将采用更先进的末制导技术,如红外双色制导、红外成像制导、多模复合制导等,使红外制导导弹更加智能化并且具有全方位的攻击能力,传统的红外对抗方式已无法对其实施有效的干扰,各种飞行平台面临新的挑战。因此,必须采用先进的红外定向对抗系统装备飞机以对抗各种先进的红外制导导弹的威胁。

1 技术装备

红外定向对抗系统可以在较远的距离采用弧光灯或激光器对导弹导引头实施干扰和破坏。目前各国装备的红外定向对抗系统^[1]已广泛采用激光器,以“开环”或“闭环”的方式实施干扰。

从20世纪90年代美国研制出第一台红外定向对抗系统以来,澳、法、德、西班牙、以色列等国家已经研制出适合军用或民用飞机装备的各种红外定向对抗系统。其中典型装备包括:美国的AN/AAQ-24(V)“复仇女神”红外定向对抗系统、“大型

飞机红外对抗系统”、“先进威胁红外对抗系统”、“战术飞机红外对抗系统”、“通用红外对抗系统”；德、法联合研制红外定向对抗系统-机载激光自卫系统“闪电”(FLASH)、西班牙红外定向对抗系统-曼塔(MANTA)、以色列的红外定向对抗系统“C-MUSIC”等。

1.1 美国

1989年,美英提出联合开发AN/AAQ-24(V)“复仇女神”红外定向对抗系统,以满足两国对红外定向对抗系统的需求。2001年,美国特种作战司令部出资1.7亿采购了67套AN/AAQ-24(V)“复仇女神”红外定向对抗系统。首先装备的飞机是MC-130 E/N“战斗禽爪”,之后是其C-130的改型机-AC-130 H/U“幽灵”、EC-130E“突击队员独奏曲”和MC-130P“战斗影子”及MH-53 Pave Low直升机。英国国防部出资4.5~5亿美元为其“海王(SeaKing)”、“山猫(Lynx)”、EH-101直升机以及C-130飞机都订购了该系统。

20世纪90年代初,与AN/AAQ-24(V)“复仇女神”几乎同时进行的红外对抗项目还有“先进威胁红外对抗系统”,它具有的优势使其赢得了绝大部分美军红外对抗市场,但这项由美国陆军牵头、BAE系统公司研制的“先进威胁红外对抗”大大超过预算并拖延了进度,而诺思罗普·格鲁曼公司的“复仇女神”的研制工作进展的更为顺利,因此美空军决定放弃选用“先进威胁红外对抗”,选择该公司以其开发的AN/AAQ-24(V)“复仇女神”为基础开展“大型飞机红外对抗”计划工作。

目前,“大型飞机红外对抗”系统(如图1)已装备约50种不同类型的大型固定翼运输机和旋转翼飞机。未来10年,在美军方和国际用户需求的推动下,“大型飞机红外对抗”将会保持平稳生产。该系统承包商诺思罗普·格鲁曼公司表示:在同类产品中,仅有“大型飞机红外对抗”系统目前保持全速生产。

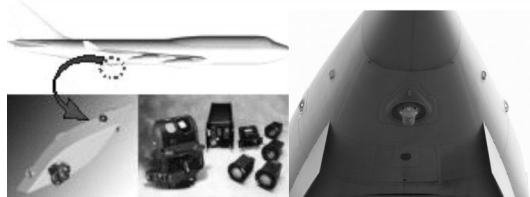


图1 “大型飞机红外对抗”系统

美国军方认为,红外对抗系统的发展对于战术

任务飞机的自卫防护同样很重要。1996年,美国海军责成BAE系统公司桑德斯分部启动一项为F/A-18E/F超级大黄蜂战斗机制定的先期技术演示计划,该计划作为美国海军先进技术研发(ATD)计划的一部分,旨在对“先进威胁红外对抗/通用导弹告警系统”改进而形成新的对抗系统-海军“战术飞机红外定向对抗”系统,该系统将有助于美海军一线喷气式战斗机抵御来自红外制导空-空和地-空导弹的威胁。

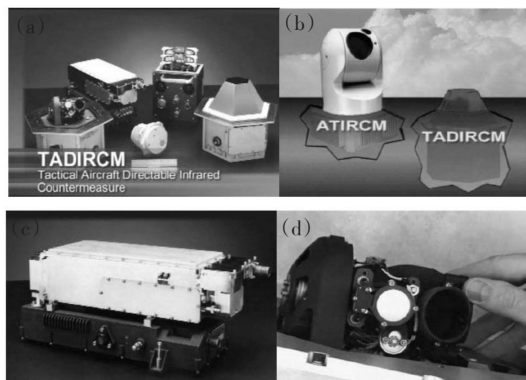


图2 (a)完整的“战术飞机红外定向对抗”系统;(b)“战术飞机红外定向对抗”系统与“先进威胁红外对抗”系统的比较;(c)多波长红外激光器;(d)跟踪头

海军“战术飞机红外定向对抗”系统由机翼吊舱搭载,尽管是为F/A-18E/F“超级大黄蜂”研制的,但也是喷气战斗机的最佳选择。按计划,系统在2005财年进入工程和制造阶段,在2007或2008财年进行小批量试验性生产,2015年左右开始全面生产。

“打击”红外定向对抗系统为“战术飞机红外定向对抗”系统的改进型。美国海军原计划于2006年开始研制战斗机战术红外定向对抗吊舱。目前对研究、发展、试验与鉴定(RDT&E)投资正按计划进行。2016年中期,海军需求为100套,如果“超级大黄蜂”或联合攻击机(JSF)开始生产的话,需求必然还会增加。

“通用红外对抗”系统(如图3)将是今后国防部所属范围内的全部旋翼和倾旋飞机以及小型固定翼飞机唯一采办的激光基红外对抗系统。美国陆军称希望将1076套通用红外对抗系统装备陆军“阿帕奇”、“黑鹰”、升级“卡俄瓦人武士”和其他直升机。海军和海军陆战队希望能够获得比“海军大型飞机红外对抗”更轻的系统,装备SH-60、AH-1Z“超级眼镜蛇”及其他数百架直升机。2012年1月,

陆军同BAE系统公司、诺斯罗普·格鲁曼公司签订了技术研发合同。



图3 “通用红外对抗”系统

自从开展全球范围内的反恐行动以来,美国政府在商务飞机上安装红外定向对抗系统这个问题上的想法日益迫切,根据此需求,美国研制出适合大型商务飞机安装的“喷气眼”系统(如图4)和“卫士”系统(如图5)。系统可有效保护商务飞机对抗单兵便携式空防系统的袭击。



图4 “喷气眼”系统



图5 “卫士”对抗系统

国土安全部在Eglin空军基地进行安装系统测试以评估特定作战环境中的各个系统的性能。在政府与承包商进行飞行测试计划过程中,BAE系统公司在两架767-200飞机上试飞了“喷气眼”系统,而诺斯罗普·格鲁曼公司在747、MD-11和MD-10上试飞了“卫士”系统。最终的系统性能与承包商的建模仿真预测结果十分吻合。

1.2 其他国家

1.2.1 德、法联合研制红外定向对抗系统-机载激光自卫系统“闪电”(FLASH)

同美国一样,在全球化战争的影响下,欧洲也认识到为大型军用运输机装备电子战自卫系统的重要性。2004年,欧洲决定为A400M军用运输机选择电子战自卫设备。德国和法国顺势而为,投资了一项称作“闪电”红外定向对抗系统,这项秘密工程从2004年开始,计划2010年左右完成。

由德国EADS公司、DBD公司和法国泰利斯公司共同研制的抗高性能导弹导引头的机载激光自卫系统是一种闭环红外定向对抗系统,可用于保护各种宽体飞机免遭红外制导地空导弹和空空导弹的攻击。从理论上讲,通过将闭环干扰技术与导引头摧毁技术相结合,“闪电”系统(如图6)可以对抗所有当今和未来红外制导导弹的威胁。通过不断分析内置传感器与外置传感器的输出信号,“闪电”系统能够对来袭的威胁做出相应的反应,采取最佳对抗模式(干扰或摧毁),最大限度地提高生存概率。“闪电”系统的另一个重要优势在于,由于其打击时间短且具有瞬时打击评估能力,因此,它能对付即使是在短距离内来袭的多枚红外导弹的攻击。“闪电”系统仍在进一步研发中,目前已完成激光器早期研发,并逐步升级红外告警器(AN/AAR-60)以综合多色红外告警传感器。



图6 安装在C-160“协同”飞机上的“闪电”演示验证机

1.2.2 西班牙红外定向对抗系统-曼塔(MANTA)

“曼塔”系统是西班牙空军专门为A400M投资的一个红外定向对抗项目,由西班牙英德拉(Indra)防御电子公司负责研制,用于保护大型飞机免受单兵便携式防空系统的威胁。系统的研制工作从

2007年6月开始。2008年至2011年安装在CA-SA-212飞机上进行飞行测试,2011年通过北约的EMBOW XIII试验。

2008~2011年,“曼塔”系统(如图7)历经一系列效能测试,测试平台为武器装备总署的C-212运输机,每次试验均同时使用多种便携式防空系统威胁。2011年9月19日~2011年10月14日,“曼塔”系统接受北约的EMBOW XIII试验,试验在法国武器装备总署导弹测试中心进行,由法国主持,“曼塔”顺利通过测试。此次测试结果表明,“曼塔”系统达到了技术成熟度8级,可以安装在现役飞机上投入使用。

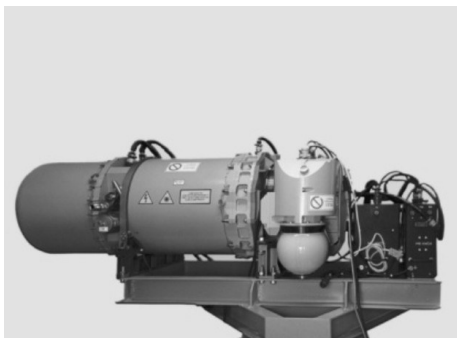


图7 “曼塔”机载红外定向对抗系统

1.2.3 以色列红外定向对抗系统-C-MUSIC

C-MUSIC系统是在早期型号“多光谱红外对抗系统”(MUSIC)基础上发展起来的。“多光谱红外对抗系统”是埃尔比特(Elbit)Elop系统公司专门为民用飞机研制的、用于对抗肩射式面对空导弹攻击的激光型红外定向对抗系统。该系统采用的是对人眼安全的激光装备而非红外诱饵弹,这一点是获得美国联邦航空局和其他民事机构认可的重要原因。

2009年6月,以色列艾尔比特系统公司光电分公司同以色列运输部签订了一份价值7 600万美元的合同,为以色列大型商务客机装备基于激光的商用多光谱红外定向对抗系统C-MUSIC。与“多光谱红外对抗系统”系统相比,该系统的激光功率更高,且激光器装在在吊舱内而非转台中。

C-MUSIC系统目前正处在研发的最后阶段,系统价格为150万美元。质量160 kg、长270 cm的吊舱安装在飞机机腹,使阻力最小(如图8)。系统已经完成在不同种类飞机上进行的验证测试。在民用直升机上成功进行系统性能演示飞行测试后,很

快就收到了订单。

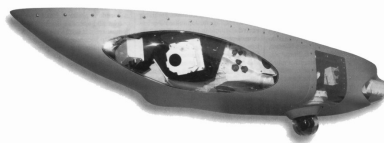


图8 C-MUSIC反导系统装备民航客机上

2 技术发展

2.1 激光器技术

根据美国国防先进研究局的报导,高效中红外激光器项目的目标是演示一种可以在室温下工作的连续波中红外(3~5 μm)激光器^[2]。这种激光器不仅功率高,而且光束质量好,波长范围更宽,电光效率达到50%。美海军要求其光纤耦合器的组合功率最高达100 W,插损不超过5%(-0.2 dB),并可改进其光束质量。

目前为止,还没有相应的固体激光材料可直接获得3~5 μm 的激光输出,一般采用光参量振荡的方式获得此波段的激光输出。中红外光参量振荡器(MWOPO)一直是国外的研究热点。但光参量振荡器(OPO)激光效能低,因为它包括一个二级过程。为了产生所需的中波红外输出波长,其中的高能级二极管激光被用来泵浦非线性晶体。另外在波长大于4 μm 时,光参量振荡器系统的吸收损耗非常严重,会降低整体有效性。

一种更为有效的替代方法就是利用半导体激光器直接产生中波红外激光辐射。光参量振荡器成为当今主要采用的一种关键技术的原因是与光参量振荡器激光器在室温下工作相比,传统的中波红外半导体二极管激光器只能在低温环境下工作。因而在整个系统尺寸、质量以及成本方面的压力较大。

目前,美国已研制出中波红外半导体激光器样机,具有与室温条件下的光参量振荡器相似的光能-量子级联激光器(QCL),而且在中波红外或2~5 μm 光波段无波长限制。量子级联激光器是一种发光机制异于传统半导体激光器的新型二极管激光器,它具有宽调谐范围、高输出功率和单模工作的特性。该技术已得到成功验证,能够满足未来激光红外对抗系统在系统尺寸、质量、功耗和成本

方面的要求。

2.2 双色红外告警技术

由于双色红外告警器探测速度更快,探测距离更远,虚警率低而成为当今和未来告警技术的发展方向。美国导弹告警系统中,未来最重要的项目将是美国海军的“联合联盟威胁感知”系统,以及为海、空军大型飞机红外对抗系统而研发的双色红外导弹告警系统。

美国海军计划将“海军大型飞机红外对抗”系统的紫外导弹告警传感器替换成双色红外先进威胁告警传感器。

美国空军的“下一代导弹告警子系统”(NexGen MWS)是新的红外导弹告警系统,它将改进威胁导弹告警能力,增加在强杂波环境下的导弹探测概率,将无缝替代“大型飞机红外对抗”系统和AAQ-24红外定向对抗改型中的AAR-54。

2.3 精密跟踪/瞄准技术

跟踪/瞄准系统用于提供精确的瞄准点,缩小激光束的光斑大小,使发射望远镜能始终瞄准/跟踪导弹的导引头^[3]。跟踪转台是系统的定向干扰执行机构,其响应速度与指向精度非常关键。干扰系统转台通常采用光机电一体化技术,转台的方位、俯仰轴系可由两台力矩电机驱动组成二轴框架,激光束在两轴系的旋转轴内传输。各轴系配有独立的位置、角度、速度、加速度传感器,与控制系统数据接口联接,这样干扰转台就与控制电路一起构成高速响应与精密指向定位的伺服机电系统。干扰系统转台的功能是:稳定光学系统的光轴,使其指向在规定的精度内,具备消除载体扰动光轴在空间指向稳定的影响,以确保稳定跟踪,根据光电跟踪器给出的控制信号,将光轴以足够的精度持续对准目标,实现自动跟踪,通过限位机构,限制平台转动范围,达到极限位置时限制继续转动的目的。

在美国“大型飞机红外对抗”系统计划的第 I 阶段,系统包括曾装备“复仇女神”红外定向对抗系统的多光谱激光器、小型激光转台组件(SLTA)、AAR-54 紫外导弹告警系统和控制接口单元(CIU)。阶段 II “卫士”激光跟踪组件将替代小型激光转台组件。“卫士”激光跟踪组件的微型转台将以 Fibertec 公司的“蝰蛇”激光器为基础,与小型激光转

台组件相比,“卫士”激光跟踪组件体积更小,可靠性更高,价格更低。

美国“通用红外对抗”系统中,诺斯罗普·格鲁曼公司与塞莱克斯·伽利略公司合作,采用微型指示器-跟踪器(MPT)组件,“日食”稳定双轴指示器-跟踪器由一套传感器磁头组件(SHA)和一套电子设备所组成,该结构的核心是其低惯性的伺服机械装置,包括一个捷联式惯性传感器和一套波束定向器组件(BDA),这些装置的联合使用有利于对最低点和最高点的目标进行有效跟踪;BAE 公司在“通用红外对抗”系统项目中的红外定向对抗完整的单元放置在一个盒子内,采用紧凑的指示-跟踪器,基于飞行测试万向节设计,主动跟踪和测距。有 1 个透明的半球罩,罩内突出的镜面安装在 360°万向节上,该 360°万向节反射镜是由“先进威胁红外对抗”系统上的 2 轴转向装置基础上改进而成,它与下一代多波段激光器直接组合形成了一个体积明显减小的指示-跟踪器,而算法软件则与正在战场作战的“先进威胁红外对抗”系统相同。

2.4 模块化开放式体系和商用货架产品技术

美国防部在其采购文件中专门针对开放式体系架构指出:“美军采购战略将通过应用能以最少成本开支的新型系统工程化方式来进行管理,模块化开放式系统(MOSA)是实现这个管理目标的重要途径”。开放式系统中的标准化模块能有效地将各系统集成到更大的系统中,使需求和威胁相适应,从而提升系统集成能力、缩短系统研发周期、节约系统维护成本,确保系统能够与其他所有相关系统实现互操作。另外,基于模块化开放式体系架构设计的系统^[6]能够提高新技术的插入能力、提高系统单元的通用性和再利用性、减少技术退步而带来的风险、减少由独家供应商垄断供应带来的风险、增强产品周期内的维护支持力度。

美国正利用“联合联盟威胁感知”系统计划为海军和海军陆战队直升机建立新的开放系统体系结构基线。该计划最初致力于开发通用接口和协议,用于电子战组件的红外导弹告警、激光告警以及红外定向对抗。该计划的第二阶段将扩展到包括雷达告警接收机、射频干扰机以及红外诱饵弹投放器,集成敌方火力识别传感器或干扰机。核心理念就是把先进传感器收集到的信息联网,然后再综

合到一台宽带、高速的先进处理器中。采用通用、开放式体系,要满足一系列标准接口和协议,要求无附加配置或技术分析,能跨军种及在盟军内部实现“即插即用”。

3 装备市场预测

3.1 军用红外定向对抗系统

对美国的大多数直升机而言,“大型飞机红外对抗”系统和“进威胁红外对抗”先系统过于笨重。这促成美国国防部通过陆军倡导的“通用红外对抗”系统项目来寻求更小、更轻的红外定向对抗方法。

未来的“通用红外对抗”系统生产规模将会很庞大,将会有数千套“通用红外对抗”系统将被采购。与目前美国小型和中型直升机的红外对抗系统 ALQ-144 红外干扰机对比就是最好的例证。生产的 ALQ-144 红外干扰机超过 6 000 套。如果时间进度超出现有计划 1~2 年的话,可以推测会延长项目研发和低速率生产进度。如果发生这种情况,未来 10 年不会有大规模采购投资。

红外干扰系统的发展对于战术任务飞机的自卫防护同样很重要。在“战术飞机红外定向对抗”系统计划全面生产之前,美海军将会在近十年的时间中逐步增加用于“战术飞机红外定向对抗”项目的研发投入。

3.2 商用红外定向对抗系统

在过去的几十年里已发生多起商务飞机遭受红外单兵便携式防空系统攻击事件。目前美国国会出现了重新审视商用红外对抗系统的呼声。随着美国人在亚洲的战事逐渐平息,防务预算不断收紧,正在寻求从国防工业获取新的研究成果,引领非国防部投资进入红外对抗领域,且对商务和民航飞机进行防护的兴趣正在复苏。

可以预计未来数年,随着红外单兵便携式防空系统的进一步扩散,如果出现民航飞机被击落的情况,其投资将会迅猛增长。未来 10 年或 20 年,下一代红外定向对抗系统将逐渐渗透到世界上所有的直升机和固定翼飞机市场。

3.3 红外定向对抗系统市场预测

红外定向对抗系统市场预测情况如表 1 所示。

表 1 红外定向对抗系统市场预测

年度/年	大型飞机 红外对抗/ AAQ-24 /百万 美元	先进威胁 红外对抗 /百万 美元	通用红 外对抗 /百万 美元	其他红外 对抗系统 /百万 美元	商用系统 /百万美元
2015	466	96	104	26	92
2016	397	114	104	26	90
2017	378	78	130	22	92
2018	309	72	122	30	88
2019	288	68	138	29	96
2020	252	64	206	30	94

4 发展趋势

(1)采用大阵列红外凝视型导弹告警系统,提升导弹告警距离和全程告警能力

美军在初期研制、装备红外定向干扰系统 AN/AAQ-24 时,由于红外告警系统尚未成熟,首先采用了紫外告警系统。但在后续使用过程中发现,紫外告警系统存在告警距离低、没有全程告警能力(也没有潜力具备)、不能给出战场态势等缺点,而红外告警系统则克服了上述缺点,因此在后续系统的研制、装备时普遍改为大阵列红外凝视型导弹告警系统,甚至在通用导弹告警系统 CMWS 的改型中采用了最先进的双色红外告警技术,并在已经装备红外定向干扰系统的飞机上重新加装了红外导弹告警系统以替换紫外告警设备。

(2)采用全波段激光器作为干扰光源,提高干扰光能量密度和干扰成功率

在红外定向干扰系统刚开始研制时由于中波激光器技术发展尚未成熟,采用了非相干灯和小功率激光器配合的方案作为干扰光源,一方面造成系统复杂;另一方面由于灯的转换效率、束散角等都存在不可克服的缺陷,因此系统的作战效能难以有效发挥。随着激光技术的发展,现有系统的发展趋势是取消非相干灯、增加激光器波长输出、提高激光功率,从而有效提高系统对红外制导导弹的有效干扰距离和干扰成功率,提升系统作战能力。

(3)提高设备小型化程度,采用光控阵技术

随着光机组件、器件性能的提升,以及激光器、电源技术的改进,现有系统正在大力小型化,外露
(下转第 56 页)

和方差双参数加权的新型检测方法。通过将数据均值与数据方差加权乘积得出新的检测图像,再利用全局CFAR的检测方法实现对SAR图像的面目标检测。文中对低信噪比面目标的检测进行了分析研究,从检测结果可知,所采用的检测方法相较于传统的CFAR检测有更好的检测效果。

参考文献

- [1] 曲超,赫程鹏,杨树元.基于自动删除算法的恒虚警检测器[J].数据采集与处理,2008,23(5):516-520.
- [2] 李海.微弱信号长时间积累检测研究[D].北京:北京理工大学,2002.
- [3] 王晓虹.SAR雷达信号处理技术研究[J].商丘职业技术学院学报,2007(5).
- [4] 郑明洁.合成孔径雷达动目标检测和成像研究[D].北京:中国科学院电子学研究所,2003.
- [5] Pham Q H, Brosnan T M, Smith M J T. Multistage algorithm for detection of targets in SAR image data[J]. SPIE, 1997, 3070:66-75.
- [6] Wang Y, Chellappa R, Zheng Q. Detection of point targets

in high resolution synthetic aperture radar images[J]. IEEE, 1994:9-12.

- [7] Finn H M, Johnson R S. Adaptive detection mode with threshold control as a function of spatially sampled clutter level estimates[J]. RCA Review, 1968, 29(3):414-464.
- [8] Rohling H. Radar CFAR thresholding in clutter and multiple target situations[J]. IEEE Trans. on AES, 1983, 19(3): 608-621.
- [9] 方学立,梁甸农,董臻.基于位置相关的SAR图像中分布式目标检测[J].电子与信息学报,2006,28(2):350-353.
- [10] Mark A Richards. 雷达信号处理基础[M].北京:电子工业出版社,2008:220-229.
- [11] 孙寒冰.合成孔径雷达原始信号的模拟方法[J].光电技术应用,2009(2).
- [12] 吕俊颖.雷达信号杂波的仿真与实现[J].现代导航,2012(4).
- [13] 周治平.一种雷达信号的处理检测办法[J].激光与红外,2010(4).
- [14] 黄德双.高分辨雷达智能信号处理技术[M].北京:机械工业出版社,2001:43-60.

(上接第6页)

在载机外部的部分已经大幅降低,不仅可以减少系统的气动阻力,而且也降低了系统的使用环境要求。同时,为了便于战斗机加装,正在开展光控阵技术研究,以使干扰激光在平台进行大机动时仍能稳定干扰导弹导引头。

5 结束语

随着威胁越来越先进,美国陆军、海军和空军的实验室都规划并发布了大量研究技术创新项目,以促进其在装备建设中的应用。在重大技术演示与发展项目上,海军的“联合联盟威胁感知系统”技术发展计划、陆军的“通用红外对抗”技术发展计划及空军的“全能哨兵”技术项目计划将为红外定向对抗装备建设的新发展提供支撑。

在未来10年,新一代红外定向对抗系统将逐渐渗透到世界各种作战飞机市场,红外定向对抗技术将得到进一步的发展。不断发展着的红外定向对抗系统,正向战斗机、大型运输机、预警机以及无人

机、舰船和地面车辆加速扩展。

参考文献

- [1] 孙宏拓,徐锦,王长青,等.定向红外干扰技术的现状与发展趋势[J].舰船电子工程,2006,26(4):13.
- [2] 张冬燕,王戎瑞.高功率中红外激光器的进展[J].激光与红外,2011,41(5).
- [3] 方有培,汪立萍,吕鑫.精确对抗技术的现状及其发展[J].航天电子对抗,2010,26(2).
- [4] 陈德富.国外红外定向对抗技术的发展[J].战术导弹技术,2011,(2).
- [5] 黄庆.红外定向对抗系统构型设计[J].红外与激光工程,2008,37(增刊).
- [6] 沈妮,刘刚,游屈波.模块化开放式系统架构在远程预警系统中的发展[J].电子信息对抗,2011,26(1):51.
- [7] 刘华.开放式系统标准与惯导系统设计[J].航空标准化与质量,2010,4(8).
- [8] 卞进田,聂劲松,孙晓泉.中红外激光技术及其进展[J].红外与激光工程,2006,35(10).

(下转第65页)