

雷达与雷达对抗新技术应用研究

胡瑞卿

海军航空大学 山东烟台 264001

摘要: 本文分析了典型的无人机载合成孔径雷达系统及应用情况, 概括总结了无人机载合成孔径雷达和无人预警机系统预警雷达的关键技术, 研究了先进的机载反辐射导弹技术及其发展和应用, 最后对我国的雷达与电子对抗技术的发展提出了建议。

关键词: 雷达; 对抗; 新技术

雷达作为电子信息技术的产物, 也是未来高技术条件下制信息权与制空权的战略争夺的重要技术, 其拥有着远距离以及全天候的工作能力, 在战争中具有十分重要的地位。随着电子信息技术的发展, 雷达在现代战场中将会面临多种电磁环境的干扰, 因此, 雷达与雷达对抗新技术的发展和运用就显得尤为重要, 甚至成为影响战争的重要因素。

一、无人机载合成孔径雷达 (SAR) 系统技术

合成孔径雷达 (SAR) 载荷与无人机相结合有利于无人机遥感系统整体性能的发挥。SAR 载荷的高分辨率、大探测范围的特点, 使得无人机系统具有更高的工作效率, 便于应用和降低成本。SAR 的远探测距离、侧向观测等特点, 有利于无人机远离目标进行探测, 避免危险、提高生存能力。

1. 典型无人机载 SAR 系统及应用

(1) 高空高速无人机载 SAR 系统

国际上典型的先进高空高速无人机载 SAR 系统是美国研制的“全球鹰”系统。装载在该型无人机上的 SAR 系统由雷神公司研制, 经历了 3 代更新, 由最早的 HiSAR 系统升级到现在的 MP-RTIP 雷达系统, 其具体性能的对比见表 1。

HiSAR 系统采用平板天线、集中发射体制。MP-RTIP 系统是一套先进的多任务高集成度雷达系统。与 HiSAR 相比更强调雷达系统的模块化、通用性与集成性。“全球鹰”搭载 MP-RTIP 完成了全系统试飞, 随后美国空军开始采购和装备。针对海上应用, 美国海军在 MPRTIP 的基础上升级改造形成了 MFAS 雷达系统。MFAS 雷达系统在 Gulfstream II 飞机上进行了飞行试验, 随后交付美国海军使用, 装载平台为“全球鹰”的衍生机型 MQ-4C Triton。

(2) 中空高速无人机载 SAR 系统

作者信息: 胡瑞卿 (1982—), 男, 山西应县人, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 电子对抗、机载通信。

表 1 HiSAR 系统与 MP-RTIP 性能对比

参数名称	HiSAR	MP-RTIP
工作波段	X	X
天线形式	平板天线	2 维有源相控阵
工作模式	条带 / 聚束 / GMTI / ISAR	条带 / 聚束 / GMTI / ISAR
分辨率	条带 1m、聚束 0.3m	条带 1m、聚束 0.3m
最远作用距离	200km	300km
测绘带宽	9km (1m)	12km (1m)
	30km (2m)	40km (2m)
	50km (3m)	80km (3m)
扫描范围	方位向: $\pm 45^\circ$	方位向: $\pm 45^\circ$ 俯仰角: $\pm 60^\circ$
GMTI	7km/h	7km/h

“捕食者”无人机是最有代表性的中空高速无人机平台, 由美国通用原子公司组织研制开发, 其 SAR 系统技术指标如表 2 所示。

表 2 “捕食者”无人机机载 SAR 系统技术指标

参数名称	TeSAR	MP-Lynx
工作波段	Ku	Ku
天线形式	单轴电扫阵列天线	抛物面
发射机	行波管 (TWT)	TWT
工作模式	条带 / 聚束 / GMTI	条带 / 聚束 / GMTI
分辨率	0.3m	条带 0.3m、聚束 0.1m
最远作用距离	25km	25 ~ 55km
测绘带宽	800m (0.3m)	934m (0.3m)
	1.6km (0.6m)	
	2.6km (1m)	
GMTI	7km/h	10km/h
重量	76kg	56kg

“捕食者” A、B、C 型 3 代产品, 搭载系统分别为 TeSAR、Lynx、Lynx II。Starlite 无人机载 SAR 系统是由诺格公司研制, 借鉴了已装备美军的 TeSAR, TUAVR 相关技术, 进一步增强了战场态势获取等情报侦察能力, 包括全天候、广域、固定目标成像以及运动目标检测等

功能, 具有条带、聚束、GMTI、MMTI等多种工作模式。Starlite 于2012年装备美国通用原子公司“灰鹰”中空无人平台并交付美国陆军使用。

(3) 微小型无人机载SAR系统

随着新型复合材料技术、微电子技术、通信技术的高速发展, 小型化无人机逐渐应用于诸多领域, 因此无人机载SAR系统也不断向小型化、轻量化发展。国外有代表性的微小型无人机载SAR系统主要包括美国的NanoSAR、microSAR和NuSAR、德国的MiSAR、荷兰的AMBER、波兰的C波段SARENKA等。典型微小型无人机载SAR系统技术指标见表3。

表3 典型微小型无人机载SAR系统技术指标

系统名称	重量 (kg)	工作波段	分辨率 (m)	作用距离 (km)
NanoSAR	1	X	1	1
NanoSAR_B	1.6	X	0.3	1 ~ 3
NanoSAR_C	1.2	X	0.3	1 ~ 3
MiSAR	4	Ka	0.5	5
MicroSAR	2	X	1	0.7
AMBER	6	X	0.1	5

2. 无人机载SAR关键技术

无人机载SAR的技术需求呈现多功能和多样化, 关键技术主要包括以下方面。

(1) 总体设计技术

在系统设计中, 根据不同的需求, 总体设计流程主要包括总体指标、工作体制、通道及处理算法等设计。

(2) 实时成像及数据处理技术

不同类型无人机SAR的数据处理任务有很大的差异, 需求的多样性和产品的系列化, 要求其实时数据处理系统具备以下特性: 适应不同SAR成像算法、适应不同处理任务、适应不同处理能力。

(3) 运动误差补偿技术

多维度运动误差补偿是一种针对平台运动大变化范围的问题进行高精度运动误差提取和补偿的方法。飞机的运动误差表现在观测、解算、度量空间的不同维度上。

(4) 基于多通道的高性能SAR技术

多通道技术包括了时间、空间、极化、频率以及处理多通道, 具体针对收发和处理通道的设计与选择方面, 通过收发通道的增加可以对极化、空间维度进行扩展, 获取全极化、三维成像结果。

二、无人预警机系统预警雷达关键技术

1. 传感器天线与机体共形设计技术

未来无人预警机系统要求具备高空长航时飞行能力, 因此其设计需要围绕传感器天线来进行, 研究天线与机体共形, 充分发挥雷达系统的探测效能, 在研究天线与机体共形设计时至关重要。目前一体化共形设计可以考

虑通过两种技术途径实现, 一种是相控阵天线做成与机体一样的外形; 第二种是将载体外形设计成和多面相控阵天线相吻合方式实现。

2. 预警雷达的反隐身与抗干扰技术

当前世界各国都在加强对隐身战机、隐身轰炸机以及隐身巡航导弹的研制, 无人预警机作为下一代预警机发展的趋势, 机上预警雷达必须具备有对隐身目标的探测能力。因此, 未来必须针对预警机机载预警雷达的发展需求, 研制新的雷达探测体制, 采用高性能信号处理技术, 以及利用多传感器融合技术以提高对弱小RCS隐身目标的探测, 增强未来发展的无人预警机系统反隐身能力。

目前, 虽然国内外一些学者和专家采用基于自适应旁瓣相消和STAP抗干扰技术, 通过空域自适应处理技术增强了雷达系统的抗干扰能力。但在对抗主瓣噪声干扰、转发式干扰和灵巧干扰等方面还没有有效的解决途径, 缺乏干扰侦收、特征分析与自动识别手段, 因此为满足未来无人预警机系统对抗干扰能力的需求, 必须引入新的反干扰理念和技术措施, 以提高其抗干扰能力。

三、先进机载反辐射导弹技术

反辐射导弹又称反雷达导弹, 在电子对抗中, 它是对雷达硬杀伤最有效的武器。

1. 反辐射雷达导引头面临的对抗环境

被动雷达导引头 (PRS) 是反辐射武器关键的部件, 其性能直接影响反辐射武器的作战效能。对抗PRS从技术上讲, 雷达可以考虑从空域、时域、频域几个方面采取措施。

(1) 低截获概率雷达

低截获概率 (LPI) 雷达拥有极宽的频带、复杂的调制、极窄的类图钉形的模糊函数。

(2) 双/多基地雷达

双/多基地雷达系统可以大大减少发射机被反雷达导弹跟踪和攻击的概率, 即使个别发射机被摧毁, 整个防空系统仍能正常工作。

(3) 捷变频技术

捷变频雷达体制是一种用来在频域内对抗有源干扰的重要手段, 利用脉间频率捷变还可以减少幅度噪声和角噪声对雷达性能的影响, 提高定向精度。

(4) 高重频脉冲干扰

利用高重频干扰技术实现对雷达网的压制干扰的另一条新技术途径是利用高功率微波窄脉冲技术, 这种技术也用于干扰PRS。

2. 被动雷达导引头抗干扰新技术

(1) 聚类分选和极化分选

聚类分选的物理内涵是根据导引头前端测量的脉冲描述字 (PDW) 数据之间的相似性, 将数据对象分组为若干个类, 使同一个类的元素之间具有较高的相似度,

而不同类的元素差别较大。目前工程应用中通过聚类方法联合其他多参数分选来实现脉冲去交错是雷达信号分选的首选技术方案。

(2) 空间谱估计

空间谱估计的物理内涵,就是频域上功率谱密度在空域上的延伸与推广,描述了信号空间参数的分布。空间谱估计的角度超分辨特性很好地弥补了PRS单脉冲测角体制下的角度分辨能力弱的缺点,利用幅度比较单脉冲测角和相位比较单脉冲测角的结果融合处理就能够解决PRS相位模糊、测角精度、测角稳定性的问题,显著改善PRS对目标辐射源和诱饵的分辨能力,从而提高抗干扰、抗诱骗能力。

(3) 极化分辨技术

极化分辨技术的物理内涵,就是利用诱骗系统中雷达与诱饵天线的极化特性差异来进行目标雷达的分辨和识别,进而控制角度波门的空选范围,最终选择雷达辐射源作为打击目标。尽管诱饵天线与雷达天线的期望极化方式相同,但导引头观测到的雷达和诱饵天线的极化方式存在差异。

3. 反辐射导弹应用及发展

(1) 美国反辐射导弹

美国在反辐射导弹领域的研究一直处于世界先进水平,典型代表为AGM-88E反辐射导弹。

该导弹不仅可以安装在飞机外挂上,也可以装载于大多数作战飞机的内置弹舱中。导弹采用的新型主/被动双模雷达导引头使其具备抗目标雷达关机的能力,配有先进反辐射寻的接收机和INS/GPS系统,还加装了一个电视摄像头,具有网络连通能力,数据链可传图像信息。

2019年3月,美国国防部确定新一代反辐射导弹型号为AGM-88G,表示AGM-88G反辐射导弹的研发工作将在2023年12月完成。

(2) 俄罗斯反辐射导弹

俄罗斯现役的反辐射导弹主要型号为AS-17(Kh-31P)空地导弹。Kh-31P空地导弹属于第三代反辐射导弹,由俄罗斯战术导弹武器集团研发制造,是米格-29M战机的重要装备,同时还可装备在苏-24M、苏-30MK和苏-35等新型飞机上,专用于攻击空中预警机和地面雷达站。

几十年间,俄罗斯战术导弹武器集团不断对Kh-31P反辐射导弹进行升级改造。除了Kh-31P基础型及其他衍生型号的反辐射导弹,俄罗斯空军的现役反辐射导弹还有由俄罗斯彩虹机械制造设计局研发制造的Kh-58型及其家族反辐射导弹。目前改进型号为Kh-58UShK型反辐射导弹。2018年8月,俄罗斯又推出了最新型反辐射导弹Kh-58UShKE。

(3) 欧洲反辐射导弹

目前,欧洲大多数国家的现役装备中未见自己研制

的反辐射导弹。目前来看,欧洲现在只有德国和意大利两个国家有反辐射导弹还在服役于部队,但是是从美国采购的AGM-88型反辐射导弹及其衍生型。所以,如今欧洲国家的反辐射力量更多的还是依靠于美国。

(4) 印度反辐射导弹

印度反辐射导弹的研制采用自研与引进相结合的方式。印度正在研制新一代反辐射导弹(NGARM),也被称为Rudram-1。这是印度第一种国产的机载反辐射导弹,专门用于消灭对手的防空雷达与监视系统。NGARM导弹最大射程250km,采用双脉冲固体火箭发动机,复合制导体制,配备了惯性导航、GPS导航系统以及毫米波主动雷达导引头和宽带被动雷达导引头。

(5) 反辐射导弹的发展趋势

①采用复合制导技术。新一代反辐射导弹将被动雷达导引头与主动雷达、红外、毫米波、激光、电视等制导技术结合,加上INS/GPS技术进行复合制导,能提高命中概率和命中精度。

②提高导引头的性能,进一步扩大导引头频率范围。扩频后反辐射导弹几乎能覆盖所有频段的各种辐射源目标。

③增加射程。反辐射导弹正向中远程发展,增大射程和留空时间,具备大范围攻击作战的能力,增加攻击的隐蔽性和载机的安全性。

④提高抗干扰能力。反辐射导弹应能够抗雷达关机,同时还应具有抗诱骗、抗双点源、抗调频的能力,而且面对多重对抗,反辐射导弹还应采取多种突防手段和隐身措施。

⑤采用复合引信,进一步增大战斗部威力。为增大战斗部威力,一些反辐射导弹采用了高性能的激光近炸/触发复合引信,在导弹处于对雷达毁伤最大的位置起爆战斗部,以获得最佳毁伤效能。

⑥导弹由内埋武器舱发射。新型反辐射导弹可置于载机内埋武器舱内,通过内埋武器舱发射,这将是今后反辐射导弹发射的发展趋势。

四、结语

1. 国内外雷达与电子对抗技术水平评估

以美国为首的西方国家在当今世界电子对抗技术竞争中一直处于领先地位。目前美国电子对抗的发展总方向是装备种类减少、增加通用装备,各军兵种和不同平台将尽量使用标准化装备,并大量采用商业现成技术和设备,以便能节省研制投资、缩短研制周期、减轻后勤支援压力。另外美国等西方国家正在大力发展综合电子战系统(IEW),把单个或多个作战平台上的不同种类、不同型号、不同频段与不同用途的电子战装备及多种作战手段,有机组合成一个完整的、通用的多功能电子战系统,突出系统的综合设计、信息资源的综合利用和电子对抗资源的综合管理与控制,实现多种电子战功能综合化。

俄罗斯雷达与电子对抗技术在国际上也具备一定的领先优势,尤其在米波雷达、反辐射导弹等新技术研发方面,但是与美国相比其综合化电子战系统的研发仍然较为薄弱。

我国在电子对抗技术设备研发方面一直不断的追赶美国、俄罗斯等军事大国,并研制出了较为先进的相控雷达、SAR系统、量子雷达等。但与国外相比,我国的雷达与电子对抗技术的发展在信息处理技术、关键部件及机载技术,以及整体军事力量上都存在一定的差距。

2. 对我国雷达与电子对抗技术的发展建议

(1) 在雷达与电子对抗技术的自主知识产权上要增强意识

雷达与电子对抗技术水平,代表着国家当前的电子信息技术的发展水平,这一点与国家的整体科技能力是成对应关系的。对我军而言,要提高电子对抗技术的发展水平,必须要突出重点、全力保障重点项目的攻关。先进的电子对抗技术必须要拥有自主知识产权,以此来促进电子对抗装备技术的发展。电子对抗装备的研制和生产需要强大的国防电子工业做支撑,例如,美军每一型号雷达与电子对抗装备的后面总有一个或多个强大的跨国公司。对于我国而言,从事电子对抗装备生产和研制的企业一般规模较小、实力较弱,无法形成规模优势和技术优势。因此,有必要对我国现有的国防电子工业格局进行必要的调整,引进必要的淘汰机制,促进企业的整合和重组,并给予适当的政策倾斜,特别是在电子对抗技术的自主知识产权问题上加重倾斜力度,以促进我国电子对抗工业的快速整合和发展壮大。

(2) 在雷达与电子对抗信息技术资源利用上要扩大范围

军用电子信息技术与民用电子信息技术之间的界限现在已经越来越难以区分,很多相关技术是互通的。美军在雷达与电子对抗技术的发展过程中,不惜下大力气利用各种电子信息技术资源,正因如此,美国电子工业界与军方建立了良好的联系,使得其电子对抗技术研究能够有效地利用民间智力、技术和资金为军队服务。我军同样可以利用全国甚至世界范围内的电子信息技术资源,不断发展电子对抗技术。相比较军队而言,民间信息技术的沟通更加便捷、相互合作的形式更加多样。并且由于受到军队运行体制、制度和资金保障等方面的制约,单独依靠军队装备技术研究机构难以完成电子对抗装备的研发工作。地方电子信息技术研究机构和生产部门能够更加灵活地利用自身的优势促进企业本身的迅速发展,形成技术和规模优势,从而能够有效聚集技术、资金和人员优势,进行电子对抗尖端和前沿技术的攻关,能够在较短的时间内突破关键技术难题,这一点在军队系统是很难做到的。

(3) 在雷达与电子对抗相关技术上要同步提高

电子对抗能力的整体提高仅仅依靠电子对抗技术本身是难以实现的。从国外电子对抗技术发展的历史来看,制约电子对抗装备生产和研制的瓶颈往往并不是电子对抗技术问题,而是一些相关技术难题,如散热问题、部件小型化问题、加工工艺问题、机械构造问题等等。我军发展电子对抗装备特别是机载电子对抗装备、舰载电子对抗装备的时候,必然也会受到类似问题的制约。因此,在制定电子对抗技术装备发展战略时,必须注重电子对抗相关技术的同步提高,统筹考虑相关技术问题,将电子对抗技术装备问题作为一个整体来加以考虑。

(4) 在雷达电子对抗技术装备研究和运用上要消除壁垒

从国外雷达与电子对抗事业的发展历程看,它从一开始就与各军兵种的命运紧紧地联系在一起。雷达与电子对抗技术的发展与海军舰艇、航空兵的作战飞机始终是同步的,是伴随始终的。如美军雷达与电子对抗装备与各种作战平台的有机结合正是其具有超强电子对抗能力的关键。为适应我军整体作战能力提升的需要,必须将雷达与电子对抗技术装备的发展与各军种部队和作战平台的发展有机地结合在一起。要达到这一目标,必须努力消除和平时期的军兵种壁垒,使电子对抗技术装备研究工作与各作战部队、作战平台有机结合起来,消除各种制约电子对抗发展的不利因素,将电子对抗能力真正作为部队战斗力的有机组成部分来加以建设。

参考文献:

- [1]揭开“中国新型反辐射导弹”真相,谈国产反辐射导弹的现状和发展[J].哈佛的天空,2020.
- [2]美军反辐射导弹的最新发展[J].国际电子战,2020.
- [3]英斥巨资为“台风”研发新型雷达[J].电子产品可靠性与环境试验,2020.
- [4]张宇.复杂电磁环境下现代雷达抗干扰技术研究[J].中国新通信,2020.
- [5]赵月阳,李刚,王蜀杰.国外反辐射导弹发展概述[J].飞航导弹,2020.
- [6]邓文林.复杂电磁环境下的雷达抗干扰技术[J].电子技术与软件工程,2020.
- [7]张凯旋,李淑华.雷达抗干扰技术现状及发展趋势研究[J].舰船电子工程,2018.
- [8]蒋国阳.复杂电磁环境下雷达抗干扰相关问题[J].电子技术与软件工程,2018.
- [9]陈翼,王宁,孟晋丽,祝欢.认知雷达对抗体系研究[J].现代雷达,2017.
- [10]孙盛坤,禹琳琳.无人预警机系统发展思考[J].信息通信,2017.
- [11]熊永坤,王东阳.复杂电磁环境下雷达抗干扰技术[J].科技与创新,2017.