

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.03.020

引用格式:唐鑫,杨建军,冯松,等.美军机载 RWR/ESM 系统现状与发展[J].电讯技术,2015,55(3):347-354. [TANG Xin,YANG Jianjun,FENG Song,et al. Current Situation and Development of US Airborne RWR/ESM Systems[J]. Telecommunication Engineering,2015,55(3):347-354.]

美军机载 RWR/ESM 系统现状与发展^{*}

唐 鑫^{1,**},杨建军²,冯 松³,张 磊¹

(1. 空军工程大学 装备管理与安全工程学院,西安 710051;2. 空军工程大学 科研部,西安 710051;
3. 中国科学院 西安光学精密机械研究所,西安 710119)

摘 要:介绍了美军主要机载平台(战斗机、直升机、预警机、电子战飞机)的雷达威胁告警/电子支援措施(RWR/ESM)系统的发展情况,包括型号的更迭、各型号的特点、作用对象及工作模式等方面,然后分析了美军机载 RWR/ESM 系统涉及的关键技术,最后指出了美军机载 RWR/ESM 系统的发展趋势。相关内容对从事该领域研究的技术人员具有参考价值。

关键词:电子侦察;机载 RWR/ESM 系统;型号特点;关键技术;发展趋势

中图分类号:TN971.1 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2015)03-0347-08

Current Situation and Development of US Airborne
RWR/ESM Systems

TANG Xin¹,YANG Jianjun²,FENG Song³,ZHANG Lei¹

(1. Equipment Management and Safety Engineering College,Air Force Engineering University,Xi'an 710051,China;
2. Department of Research,Air Force Engineering University,Xi'an 710051,China;3. Key Lab of Spectral Imaging
in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics,Chinese Academy of Sciences,Xi'an 710119,China)

Abstract:This paper introduces the development of Radar Warning Receiver/Electronic Support Measurement(RWR/ESM) systems of the US main airborne platforms(fighter,helicopter,early warning aircraft and electronic warfare aircraft),including the change of versions,each version's characteristics,their targets and the working patterns.Then it analyzes the key technology related to US airborne RWR/ESM systems.Finally,it points out their development trends.The content in this paper has reference value for those engaged in the field.

Key words:electronic reconnaissance;airborne RWR/ESM system;version characteristic;key technology;development trend

1 引 言

现代战争中电子侦察始终是猫捉老鼠的游戏,是雷达辐射源开发人员与电子侦察探测接收机开发人员之间的斗智斗勇,而且由于它是其他电子战攻防行动开展的前提和基础,在现阶段高密度复杂电磁环境中准确的电子侦察对战争的胜负具有决定性

的影响。

现阶段电子侦察主要包括战略和战术两个层面,战略层面主要是电子情报(Electronic Intelligence,ELINT)侦察,而战术层面主要是雷达威胁告警(Radar Warning Receiver,RWR)、电子支援措施(Electronic Support Measures,ESM)等。RWR 系统

*

收稿日期:2014-11-11;修回日期:2015-02-10

**

通讯作者:tang_xin2010@126.com

Received date:2014-11-11;Revised date:2015-02-10

Corresponding author:tang_xin2010@126.com

• 347 •

一般扫描某一频率范围以发现跟踪雷达,从而对己方操作员发出告警或者立即启动所需的对抗措施。ESM 系统扩展了 RWR 的功能,不仅扫描某一频率范围和空间区域,同时也搜索所有的雷达辐射,对探测到的信号进行足够的数据搜集并完成实时分析,为确定信号身份乃至某些信号辐射目的提供支持,通常能比普通的 RWR 提供更好的测向/定位。ELINT 系统是收集特定电子信号的信息,并将数据反馈给信号情报(Signal Intelligence, SIGINT)专家分析^[1-3]。

RWR/ESM 系统能够提供对战场态势的实时感知,各国对 RWR/ESM 系统技术都比较重视,相继投入了巨大的人力、物力、财力去研究最新的相关技术。美军力求构筑战场实时精确感知能力,获取战场绝对电子优势,也大力发展了 RWR/ESM 系统,并结合各自平台的特点,开发适应各自作战环境的 RWR/ESM 系统,以期以高精尖的技术来实现对战场电磁频谱的绝对控制。

本文基于美军在机载 RWR/ESM 系统领域的领先优势,从各大机型的 RWR/ESM 系统的类型、特点、工作模式等出发,详细梳理了美军机载 RWR/ESM 系统的发展现状,基于此分析了美军发展机载 RWR/ESM 系统涉及的关键技术,并预测了机载 RWR/ESM 系统的发展趋势。

2 美军机载 RWR/ESM 系统的发展现状

美军对于机载 RWR/ESM 系统的研究起步早,成果多,如今已形成了一整套囊括各类机型的 RWR/ESM“大家庭”。以下分别从战斗机、预警机、直升机、电子战飞机出发,以期尽可能全面地呈现美军 RWR/ESM 的全貌。

2.1 战斗机机载 RWR/ESM 系统

在军事技术不断发展的今天,新的威胁和武器系统不断涌现,而电子战系统是战斗机克敌制胜的必要保障。除了雷达之外,战斗机 RWR/ESM 系统一直是战斗机最重要的电子设备,属于标准配置。美军几型主力战机的 RWR/ESM 系统一直以来备受关注,发展较为迅速^[4-6]。

美空军 F-15 飞机的综合“战术电子战系统”(Tactical Electronic Warfare System, TEWS)是由诺·格公司生产,其中包括 ALR-56C RWR。但这套 TEWS 从 20 世纪 90 年代早期以后就没有进行过实

质性的改进。近年来,美空军对于这套电子战系统虽然有些改进,但受限于 F-15 电子战升级的经费太少,进展并不大,反而是 TEWS 的生产方诺·格公司做了一些工作,对 F-15 的硬件和软件进行了改进,对 TEWS 系统进行了升级,对 ALR-56C 的接收设备进行了改进,可靠性是原来的 10 倍,体积却只有传统接收机的 85%,而且安装灵活,可任意安装在飞机上靠近天线的位置,总体的作战性能也得到了提升。

美海军的 F/A-18C/D“大黄蜂”和 F/A-18E/F“超级大黄蜂”装备着数千部 RWR 接收机。海军 F/A-18C/D“大黄蜂”至今仍使用着老式的 ALR-67(V)1/2,它是由诺·格公司生产的,与空军共同面临改进还是更换这些老式系统的两难选择。未来一段时间,老式的 ALR-67(V)1/2 仍将装备海军的一半“大黄蜂”。同时,另一半则开始进行更新换代。美海军在 2010 财年进行了升级工作,总共为其 F/A-18C/D“大黄蜂”机群购买了 148 套 ALR-67(V)3 系统。AN/ALR-67(V)3 是 AN/ALR 的最新型号,特色在于其信道化数字接收机,其最重要的特点之一是能够同 F/A-18“大黄蜂”上的有源电扫阵列(Active Electronically Scanned Array, AESA)雷达进行互操作。

早期的 F-16 飞机受线路、空间的限制没有安装内置电子战套件。后来 F-16 飞机的电子战系统由 ITT 公司和雷声公司参与竞争,ITT 公司的 ALQ-211(V)4 先进综合防御电子战系统(Advanced Integrated Defensive Electronic Warfare System, AIDEWS)是由美国陆军设计的综合射频对抗(Suite of Integrated RF Countermeasures, SIRFC)系统发展而来的,它包括一个数字 RWR 系统。雷声公司的先进对抗电子系统包含诺·格公司的 ALR-93 RWR 或雷声公司的全数字 ALR-69 RWR。随后,美空军仅为 F-16 就采购了近 2000 部 ALR-69 系统。另外,雷声公司于 2007 年开始生产新型 ALR-69A RWR,称其为迄今唯一的全数字化 RWR,它的数字信号是从天线开始,采用数字开放式结构设计,便于进行重编程。其灵敏度更高,对威胁雷达的探测距离和密集信号环境下的信号识别能力都优于模拟的。通过使用多部雷达告警接收机获得对威胁辐射源的精确定位,这是数字雷达告警接收机新实现的一个功能。ALR-69A 具备这种功能。未来雷声公

司将为美空军的 F-16 生产数量可观的 ALR-69A。

F-22 的电子战系统包括由 BAE 系统公司研制的 AN/ALR-94 综合 ESM 系统及洛·马公司的 AN/AAR-56 凝视红外阵列的导弹逼近告警系统。其中,AN/ALR-94 综合 ESM 系统是 F-22“猛禽”上装备的最有效的无源传感器系统,据称 AN/ALR-94 是 F-22 上最复杂的电子设备,它由隐身电子对抗天线、电子元件和主处理器及内部通信系统组成,综合了雷达告警、电子支援措施 ESM 精确测向和窄波束交替搜索与跟踪功能,具有实时威胁和导弹攻击告警,并自动做出最佳响应的能力。

AN/ALR-94 设计中将 30 多部先进天线平滑地嵌入机翼和机身中,可在前方扇区提供方位和俯仰覆盖,因此可 360°覆盖包括微波、毫米波、红外及激光等所有频段,系统采用人工智能/专家系统进行智能化的功率管理。该系统能对抗先进雷达和远程制导武器,其精确测向能力能帮助形成作战态势。这些功能包含在 70 个标准模块中,所有数据都应用传感器融合技术综合显示在座舱显示器上,系统采用了一体化的结构保证多功能。敌机利用其雷达搜索 F-22,而 AN/ALR-94 则可在其看到任何目标之前就探测、识别和跟踪到该敌机,据称距离达 460 km,远超过 APG-77 雷达的 200~300 km。ALR-94 采用了长基线干涉测量技术,能在 185 km 以上距离为 APG-77 雷达提供精确的目标方位指示。

F-35 采用的是 AN/ASQ-239 综合电子战系统,由 BAE 系统公司作为总承包商,研制过程中充分借鉴了 F-22 上的 AN/ALR-94 综合电子战系统的先进技术。AN/ASQ-239 系统的 10 个 4 频段低探测共形天线单元被嵌入 F-35 主翼前、后缘和尾翼的后缘之中,提供 360°全向全频段射频信号监视和收集功能,能够分析、鉴别和跟踪敌方雷达信号,并对敌方雷达进行精确定位。通过识别敌方雷达在信号特征上的差异,区分敌方不同的雷达型号。AN/ASQ-239 系统能够同时处理空对空和空对地的电子战任务,可直接对敌方空中和地面的目标进行准确地辨认、定位、跟踪和打击。BAE 公司采用高度综合化的设计使得 AN/ASQ-239 系统的共形天线仅为 10 个,从而减少了被动特征信号源的数量,降低了电子战天线阵列对于飞机隐身性能的影响。有报道称,AN/ASQ-239 对于射频信号被动探测有效作用范围可达 482.80 km,并可在 217.26 km 的距

离上对敌射频传感器进行精确定位。

美军主要战斗机的 RWR/ESM 系统如表 1 所示。

表 1 战斗机 RWR/ESM 系统 Table 1 RWR/ESM system of the fighters	
战斗机	RWR/ESM 系统
F-15	AN/ALR-56C
F-16	AN/ALQ-211(V)4、AN/ALR-69A
F-18	AN/ALR-67(V)1/2、AN/ALR-67(V)3
F-22	AN/ALR-94
F-35	AN/ASQ-239

2.2 预警机机载 RWR/ESM 系统

世界上第一种预警机是 TBM-3W,它探测手段比较单一,没有无源探测系统,雷达是唯一的传感器。随着相关领域技术的迅速发展,预警机已集预警探测、情报侦察、指挥控制、通信中继等多种作战能力于一体,探测手段比较丰富,既有有源探测手段,又有无源探测手段,而且能识别部分情报的敌我属性。目前,各型号预警机普遍装有 ESM 系统^[7-8]。

AN/ALQ-59 是世界上第一部用于预警机的机载电子侦察系统,它在 1971 年加装在 E-2C 预警机上,采用简单比幅体制,后来经历了向 AN/ALQ-217 系统的升级,采用干涉仪结合比幅的体制;E-2C 借助于其雷达和 AN/ALQ-217 电子支援措施(ESM)系统能充分地加强环境感知能力,通过提供威胁检测和辐射源分类技术,增强飞机的雷达和敌我识别能力,具备单机探测定位能力,能为 E-2C 自身提供潜在威胁预警,因而并未装备射频和红外干扰机等电子对抗设备,甚至没有装备箔条/曳光投放器。

E-2D“先进鹰眼”空中预警机上装有洛·马公司生产的 AN/ALQ-217A 电子支援措施(ESM)系统。E-2D“先进鹰眼”是 E-2“鹰眼”系列预警机的最新型号。ALQ-217A 电子支援措施系统完成无源发射机探测和平台威胁告警任务,该系统由接收机/处理器、前后天线/有源前端接收机组件(Active Front-end Receiver Assembly, AFRA)、端口和右舷 AFRA 以及端口和右舷天线阵组成。

E-3 系列预警机装备有 AN/AYR-1 电子侦察系统和 ARI 18240/1 电子战支援吊舱,并加装了箔条/红外投放器、自卫干扰机和红外对抗装置。

美军主要预警机的 RWR/ESM 系统如表 2

所示。

表 2 预警机 RWR/ESM 系统

Table 2 RWR/ESM system of the early warning aircrafts	
预警机	RWR/ESM 系统
E-2C	AN/ALQ-59、AN/ALQ-217
E-2D	AN/ALQ-217A
E-3 系列	AN/AYR-1、ARI 18240/1

2.3 直升机机载 RWR/ESM 系统

美军的直升机类别较多,首先给出一个概略性的介绍,而后分别就主要的类别进行介绍。

美国的直升机雷达告警系统主要包括 AN/APR-39(V)、AN/APR-39A(V)和 AN/APR-39B(V)等系列装备,频率覆盖范围达到了0.5~100 GHz,广泛装备于 AH-1F、AH-64A/D、CH-47D、MH-47E、MH-60K、OH-58D、UH-60A/L/Q 等型号的直升机上^[9]。这些告警设备普遍具有全方位覆盖能力,能把探测到的辐射信号与系统威胁信息库中储存的辐射源特征参数自动进行比较,并根据威胁信号的幅度,对各个辐射源确定其优先等级,并提供视觉和音响两种告警,从而使飞行员较早地识别威胁来源。

美军的第一架电子战直升机是 EH-1H,其上装有“快速定位 I A”AN/ALQ-151 电子战系统和 AN/APR-39(V)2 雷达告警接收机^[10]。AN/APR-39(V)2 雷达告警接收机能确定面对空导弹和炮瞄雷达的频率、脉冲重复频率、脉冲宽度、持续时间和门限功率值,完成信号分类、辐射体识别、方位计算和字符产生,在驾驶舱显示器上以字母数字形式显示威胁详情。这种装置加有重复间隔滤波器和编码放大器。

EH-60A 可侦听/定位从高频到甚高频范围的调幅、调频、连续波和单边带电台辐射。EH-60A 尾梁上的 4 根偶极天线使 AN/ALQ-151(V)2 电子支援措施组件和罗姆 UYK-19A 计算机能通过测量偶极天线之间的相位差确定发射机的位置^[10]。EH-60A 同样装备有 AN/APR-39(V)2 雷达告警接收机。在不干扰时,EH-60A 利用 AN/APR-39(V)2 和电子支援措施组件与“开路人”监听与测向系统一起侦察,并将信息传送给全源分析系统(All Source Analysis System,ASAS)。

美海军在其作战救援直升机 HH-60H 和其后继者 CH-60S“海鹰”直升机以及 HV-22 偏转旋翼飞机上安装了 APR-39A(V)2。洛·马公司为海军

MH-60R“海鹰”直升机设计了 AN/ALQ-210(V) ESM/RWR 先进精确定位和识别支援系统,该系统可用来探测、分类和定位水面舰船、潜艇和飞机上的雷达发射源^[11-12]。

美国 ATK 公司为美海军研发的 AN/AAR-47A(V)2 和 AN/AAR-47B(V)2 系统装备在改装后的 AH-1W“眼镜蛇”直升机上。SH-60“海鹰”反潜舰载直升机上的 AN/ALQ-142 系统可支援直升机反潜、实施全方位区域监视和超视距瞄准使命^[12]。AN/ALQ-142 是雷声公司生产的一种高性能的电子战支援系统,用于在更大距离上识别辐射源、精确测量辐射源的方位,并为空对海、地对地导弹系统提供目标瞄准信息。

美国陆军 AH-64D“长弓阿帕奇”攻击直升机、陆军特种作战司令部的 MH-47E 和 MH-60K 直升机及 UH-60 和 CH-47 直升机都装备有 AN/ALQ-211“综合射频对抗套件”^[12]。AN/ALQ-211 是一种全集成自保护套件,它组合了“先进威胁雷达报警接收机”和“先进威胁雷达干扰机”(Advanced Threaten Radar,ATR),其被动设备预计能以 90% 的确信度识别威胁。它将计算到达角并以极高的精度确定发射机的位置。AH-64D“长弓阿帕奇”攻击直升机上还装备有洛·马公司的 AN/APR-48A 雷达频率干扰仪,可用来提供威胁告警和态势感知。

美军主要直升机的 RWR/ESM 系统如表 3 所示。

表 3 直升机 RWR/ESM 系统

Table 3 RWR/ESM system of the helicopters	
预警机	RWR/ESM 系统
EH-1H	AN/ALQ-151、AN/APR-39(V)2
EH-60A	AN/ALQ-151(V)2、AN/APR-39(V)2
HH-60H	APR-39A(V)2
MH-60R	AN/ALQ-210(V)
AH-1W	AN/AAR-47A(V)2、AN/AAR-47B(V)2
SH-60	AN/ALQ-142
AH-64D	AN/ALQ-211、AN/APR-48A

2.4 电子战飞机机载 RWR/ESM 系统

电子战飞机是用来实施电子战的专用飞机,包括电子侦察机和电子干扰机,由于电子干扰机在实施电子干扰时,需要获悉敌辐射源的详细信息,因而也会有相应的施行电子侦察的设备或部件存在。

美国陆军的战场观察机 OV-1D 装备有代号为“快视”-II 的机载雷达侦察(ESM)系统,它主要用

于截获、定位、识别雷达信号,可定位战区前沿 30 km 以内的目标^[13]。该系统由两个吊舱组成:一个吊舱装有电子侦察接收机宽带天线,另一个装有数据处理设备,其工作频段为 0.5 ~ 18 GHz。OV-1D 上还装备有洛·马公司生产的 AN/APR-34 威胁告警系统。

EP-3E 电子侦察飞机装备有 AN/ALR-81(V) 电子战支援系统^[14]。该系统是全综合微处理机控制的接收系统,用于通用信号的搜索、收集、分析和记录。该系统由两部分组成:一个调谐器和一个控制/显示解调器。调谐器是一个全综合的微波调谐器,能以精确的 100 kHz 步进间隔覆盖 0.5 ~ 18 GHz 的频率范围,测向精度为 $\pm 1^\circ$,显示方式为多频段扫描和中频全景显示相结合,并配有字符注释。在人工调谐工作模式中,采用分开显示,可使系统操作人员在观察高分辨率全景显示的同时观察一个频段。

EA-6B“徘徊者”电子战飞机上的雷达告警接收机为 ALQ-218(V)1,它能够探测到敌方雷达辐射方位、距离、频率等参数,锁定雷达,并密切监视威胁辐射源的频率和频率变化,同时快速调整 ALQ-99 干扰机的功率输出或是对干扰机的发射机进行频率分配。为了对辐射源的方向与频率进行测量,EA-6B 采用了干涉仪技术,侦察天线主要布置在翼尖、机头和机尾以及垂尾上。

EA-18G 是 F/A-18F 的电子战型号,旨在遂行无线电电子对抗等多种任务,即对各种雷达系统和无线电通信设备进行侦察,提供对雷达和通信系统的干扰能力,以及更强的对敌防空压制能力。可从航空母舰和陆地上起飞的“徘徊者”(改进能力-3)和“咆哮者”飞机都装有诺·格公司生产的 AN/ALQ-218(V)2 接收系统和 AN/ALQ-99 灵巧噪声干扰机。AN/ALQ-218(V)2 雷达告警接收机采用数字信号接收机,频率可达 20 GHz,可探测、识别和测定辐射源定位,精确度达 0.1° ,而且能跟踪频率跳变雷达,足够快地将干扰能量集中到新的信号上以减少被跟踪雷达的似然值,从而可更好地利用吊舱的干扰性能,同时系统的定位为最佳 360° 无阻挠覆盖。

EC-130H 电子干扰机是空军专门用于 C 频段电子对抗的大功率电子干扰机,装有 AN/ALR-62 雷达告警接收机和 AN/AAQ-15 红外侦察系统^[15]。

EF-111A 电子干扰机是美军最具干扰能力的

飞机,机上装有 AN/ALR-62 雷达终端告警系统、AN/AAR-34 红外搜索警戒系统及 AN/ALR-123 雷达干扰接收机等^[15]。AN/ALR-62 雷达终端告警系统由 AN/APS-109 雷达测向与警戒系统发展而来,主要用于分析和监视雷达威胁,也可作为机上各种电磁和红外突防分系统的情报机。

美军主要电子战飞机的 RWR/ESM 系统如表 4 所示。

表 4 电子战飞机 RWR/ESM 系统	
Table 4 RWR/ESM system of the electronic warfare aircrafts	
电子战飞机	RWR/ESM 系统
OV-1D	“快视”-II、AN/APR-34
EP-3E	AN/ALR-81(V)
EA-6B	ALQ-218(V)1
EA-18G	AN/ALQ-218(V)2
EC-130H	AN/ALR-62、AN/AAQ-15
EF-111A	AN/ALR-62、AN/ALR-123

3 美军机载 RWR/ESM 系统涉及的关键技术

从介绍的美军各型号机载 RWR/ESM 系统入手,可以分析出探寻美军机载 RWR/ESM 系统涉及的关键技术。

(1) 信号截获技术

电子侦察接收机是整个 RWR/ESM 系统的前提和基础,其性能直接决定整个 RWR/ESM 系统的性能。信号截获的功能是把在时间域、频率域和空间域上混杂在一起的辐射源信号分离成独立的辐射源信号,信号截获的核心是要提高截获概率和有效分离辐射源信号。常用的 RWR/ESM 接收机主要包括超外差接收机、瞬时测频接收机、晶体视频接收机、信道化接收机、压缩(微扫)接收机、零差接收机、I-Q(正交)接收机。接收机的发展就是保证信号分选不致过于困难的条件下不断提升截获概率,也是针对已有的接收机的缺陷,不断解决存在的问题并产生新问题的过程。虽然已经出现了众多类型的接收机,但每类接收机都有各自的最佳应用范围。目前,全数字化的接收机已经成为 RWR/ESM 系统的最佳选择。

(2) 辐射源识别技术

辐射源识别技术主要包括三个主要部分:脉冲参数提取、信号分选和特征匹配。对脉冲参数提取

的基本要求是参数提取准确,速度快;对信号分选的要求是脉冲序列分选效率高(速度与准确);特征匹配要求识别率高、误识别率低和速度快。常用的脉冲参数包括了脉宽(Pulse Width, PW)、脉幅(Pulse Amplitude, PA)、到达时间(Time of Arrival, TOA)和载频(RF),特殊参数包括包络特征参数、脉内调制参数和其他参数。信号分选指的是把混合的雷达脉冲序列分解成独立的多个脉冲序列。目前信号分选的方法主要有三大类:一是基于到达时间的信号分选方法;二是基于 DOA、RF 和 PW 等的多参数信号分选方法;三是自适应和联合分选与识别信号分选方法。从发展的角度看,第三类方法是最优的,对复杂体制雷达有一定的适应能力,但该方法要求有精确和可靠的辐射源库。特征匹配(识别)是把一个未知的雷达描述字向辐射源库匹配的过程。传统的匹配算法是直接比对。随着大量复杂体制雷达的出现,这种方法已不能满足高置信度匹配了,一些人工智能技术、专家系统等算法开始出现在了辐射源识别中。总体来看,目前对于辐射源识别,关注的焦点仍应放在特征参数的提取上。

(3) 测向技术

对于 RWR/ESM 系统来讲,辐射源信号的到达方向(DOA)是信号分选的重要参数,同时也是进行无源定位的基础。现在常用的测向方法有比幅测向、时差测向、空间谱测向、干涉仪测向、单脉冲测向、最大信号测向。各个测向方法都有各自的优缺点,目前,RWR/ESM 系统由于对工作带宽及响应速度要求较高而对精度要求不高,故而比幅测向是较为理想的选择。当然,随着 RWR/ESM 系统功能的扩展,对于测向精度的要求也会提升,势必需要根据不同机型面临的不同威胁选择不同的测向方法,而且为了全面提升工作带宽、响应速度及测向精度,多种测向方法结合起来使用已开始显现。

(4) 定位技术

利用 RWR/ESM 系统对辐射源进行定位属于无源定位。无源定位具有作用距离远和隐蔽性好的特点,近年来发展很快。无源定位系统根据信号来源分为单站无源定位系统和多站无源定位系统。单站无源定位技术是只利用一个观测平台对目标进行无源定位的技术,其中单站无源定位技术是近年来发展最快的无源定位技术。单站无源定位技术主要方法包括多点测向交叉定位法(DOA/AOA only)、

到达时间差定位法(TDOA)、多普勒频率差定位法(FDOA/DD)、方位-到达时间差定位法(DOA-TDOA)、方位-多普勒频率差定位法(DOA-DD)、相位差变化率定位法(CRPD)和多普勒频率差变化率定位法(CRDFD)。目前用于机载单站无源定位算法都是假设在正确进行信号分选的前提条件下进行的二次计算,因此有必要不断搜寻更具电子战场适应能力的无源定位算法。

4 美军机载 RWR/ESM 系统的发展趋势

美军各型号飞机拥有型号众多的 RWR/ESM 系统,一直处于世界领先的地步,总体来看,美军机载 RWR/ESM 系统的发展趋势如下^[16]:

(1)随着电子技术的迅速发展、优良结构材料及先进设计制造工艺的不断出现,电子元器件的集成度越来越高,而且功能也越来越强大越多样,成本不断降低,而且使得 RWR/ESM 系统在功能不断提升任务职能不断扩展的情况下体积重量反而不断缩小;

(2)选用通用化、标准化、模块化的 RWR/ESM 系统。从介绍的美军战斗机、直升机、预警机、电子战飞机的 RWR/ESM 系统来看,基本上都是各个型号应用于单一型号的飞机,这就带来了很多问题,包括接口不通用、依赖单一生产商及维修保障繁琐等。而如果选用通用化、标准化和模块化的 RWR/ESM 系统,可避免设备的重复研制,降低成本造价,简化系统的后勤保障和技术维护,并最终有效地提高整个机载电子战系统的反应速度和作战效能。这样的话,虽然不同飞机综合电子战系统有所不同,但集成时只需留有一个标准化接口,模块化的 RWR/ESM 系统即可实现“即插即用”;

(3)RWR/ESM 各分系统的性能不断提高。新一代的宽带数字接收机将采用速度更快的数模变换器,灵敏度不断提高,可快速准确实施电子战支援和辐射源定位。数字信号处理技术也不断更新,更多更快捷的数据信息处理算法不断涌现;

(4)RWR/ESM 系统的整体性能在其各分系统性能不断提升的基础上不断出现质变的发展,主要有以下四点:

一是测向精度提高,达到同雷达接近或相当的水平,以便利用 RWR/ESM 系统可获得的信号特征以及平台类型等属性数据,向雷达航迹提供识别

信息;

二是侦收对象扩展。侦收对象从雷达辐射源向通信及诸如识别、导航等非通信信号扩展。具体来讲,性能先进的全向全频段 RWR/ESM 系统获得了较快发展;

三是信号分选和识别能力提高。这主要是基于两个原因:一方面,新体制雷达都会采用低截获设计,使得信号脉间和脉内特征复杂性大大增加,新型雷达普遍具备脉间重频变化能力,且采用相位编码、频率编码、宽带调制等复杂的调制方式;另一方面,复杂的、高密度的有意或无意辐射背景信号可能对 RWR/ESM 系统的信号分选与识别资源带来严重消耗,从而造成对背景信号的截获距离近、分选与识别能力差等问题。

四是实时性不断提高,截获和定位技术及数据链的数据交换速率更加快速。不仅要提高 RWR/ESM 系统接收、分析、处理电磁信号的能力,更要快速实时,要先于敌机做出反应,快速反应,迅速采取有效对抗措施才能最大限度提升生存能力。另外,在传感器层面要求 RWR/ESM 系统实现“开机即截获”,缩短 RWR/ESM 系统完成测向和定位的时间;

(5)机载 RWR/ESM 系统概念弱化,开始逐步由系统向设备及组件大步“迈进”。在机载电子战系统综合一体化的大潮下,机载 RWR/ESM 系统也难挡“没落”之势,机载 RWR/ESM 系统作为各类型飞机的必备系统,应用发展了好几十年,随着如今先进机载电子战系统的不断涌现,最典型的就是 F-22 和 F-35 为代表的美军最先进的五代战机,都是选用的综合一体化的电子战系统,传统的 RWR/ESM 系统已经退化为一部分组件和设备,已经很难再称其为系统,但那些设备作为综合电子战系统的有机组成部分,完成的功能却是有增不减;

(6)探寻丰富的作战协同战略战术。战斗,亦或是战役,都需要灵活、精巧的战场战术,对于使用机载 RWR/ESM 系统应用于作战,也同样需要探索丰富的战术,这对于作战来讲至关重要。战场上,综合运用机载 RWR/ESM 系统,是机群之间的“博弈”,需要探索多样的协同探测与定位方式。例如,战斗机机动性强,可以利用自身在短时间内的姿态变化来获得定位所需的相位或多普勒信息,但对于预警机,由于机动性差,要想获得足够的定位精度比较困难,这就可以利用与战斗机的协同来实现空空

定位,利用不同定位平台位置上产生的足够差异,有可能获得对运动目标定位所需的各种合适参数。另外,性能优良的数据链可将几架编队的 F-22 上传传感器的工作结合起来,以进一步减少雷达辐射,实行“静默攻击”。

5 结束语

从美军机载 RWR/ESM 系统的“全谱系视图”可以看到,机载 RWR/ESM 系统从出现发展到今天,美军在这一领域一直处于世界领先水平,而且还在不断更新换代不断发展,其发展思路值得我们借鉴。当然,我们不能只被动地套用其发展模式,一方面要在其基础上创新发展研制出有自身特色的 RWR/ESM 系统;另一方面则是熟悉美军 RWR/ESM 系统的工作特点,为在对抗中寻求突破,做到“因敌制敌”,提供尽可能全面的目标特性,以期在未来可能的实战对抗中抢得先机。

参考文献:

- [1] Holt O. Sampling of RWR/ESM/ELINT receivers[J]. Journal of Electronic Defense, 2007, 30(6): 49.
- [2] Holt O. A sampling of radar warning receivers and ESM systems[J]. Journal of Electronic Defense, 2013, 36(3): 10.
- [3] Nitschke S. Airborne electronic warfare[J]. Military Technology, 2012, 36(4): 8.
- [4] Knowles J. ALR-69A enters production[J]. Journal of Electronic Defense, 2007, 30(11): 15.
- [5] Knowles J. BAE system to develop DEWS for F-15s[J]. Journal of Electronic Defense, 2008, 31(12): 26.
- [6] 徐玲峰,杨立明,李蔚恒,等. 美军第五代战斗机综合电子战系统发展研究[J]. 空军装备研究, 2010, 4(6): 4-7.
XU Lingfeng, YANG Liming, LI Weiheng, et al. The development research of American the fifth fighter's combined electronic warfare system[J]. The Research of Air Force Equipment, 2010, 4(6): 4-7. (in Chinese)
- [7] 甄军义. 第三代预警机及其电子侦察系统的技术特征[J]. 现代电子技术, 2013, 36(15): 20-26.
ZHEN Junyi. The third early-warning aircraft and technical features of its electronic reconnaissance system[J]. Modern Electronic Technique, 2013, 36(15): 20-26. (in Chinese)
- [8] 张鹏. E-2D 预警机航空电子系统及其在未来网络中心战中的应用[J]. 电讯技术, 2014, 54(5): 689-694.
ZHANG Peng. Avionics System of E-2D and its Roles in Network-centric Operation[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(5): 689-694. (in Chinese)

- [9] 张成伟,高扬. 直升机载雷达电子战系统的作战环境及发展趋势[J]. 电子信息对抗技术,2010,25(3):35-38.
ZHANG Chengwei,GAO Yang. The operating environment and developing trend of the helicopter's airborne radar electronic warfare system[J]. The Electronic Information Warfare Technology,2010,25(3):35-38. (in Chinese)
- [10] 鲁赣. 鲜为人知的电子战直升机[J]. 现代兵器,2004(10):19-21.
LU Gan. The electronic warfare helicopter rarely known by people[J]. Modern Weaponry,2004(10):19-21. (in Chinese)
- [11] Chanson K. MH-60R ESM key to future navy surveillance[J]. Journal of Electronic Defense,2007,30(5):16.
- [12] 邹鹏,陶建义. 美军电子战系统综合一体化发展趋势[J]. 电子侦察干扰,2009(4):1-4.
ZHOU Peng,TAO Jianyi. The combined and integrated developing trend of the American electronic warfare system[J]. The Electronic Reconnaissance and Jamming,2009(4):1-4. (in Chinese)
- [13] 钱海波,刘传旭,刘鹏. 美陆军电子战武器装备现状及发展趋势[J]. 外军炮兵防空兵研究,2004(2):30-33.
QIAN Haibo,LIU Chuanxu,LIU Peng. The current situation and developing trend of the US land force's electronic warfare equipment[J]. The Research on Foreign Artillery and Air Defence Force,2004(2):30-33. (in Chinese)
- [14] 任毅,李国华. 对英、美机载电子侦察设备的研究[J]. 舰船电子对抗,2002,25(4):1-2.
REN Yi,LI Guohua. The research on airborne electronic reconnaissance facility of the UK and US[J]. Shipboard Electronic Countermeasure,2002,25(4):1-2. (in Chinese)
- [15] 年浩. 美军机载电子战系统的发展趋势[J]. 兵工科技,2014(4):32-34.

NIAN Hao. The developing trend of the US airborne electronic warfare system[J]. Ordnance Industry Science,2014(4):32-34. (in Chinese)

- [16] Rockwell, David L. Airborne RWR/ESM Forecast: Strong Past, Growing Future[J]. Journal of Electronic Defense,2009,32(11):28.

作者简介:



唐鑫(1987—),男,陕西商洛人,2012年获航空宇航推进理论与工程专业硕士学位,现为博士研究生,主要研究方向为武器装备作战建模与仿真;

TANG Xin was born in Shangluo, Shaanxi Province, in 1987. He received the M. S. degree in 2012. He is currently working toward the Ph. D. degree. His research concerns modeling and simulation of military weapons.

Email:tang_xin2010@126.com

杨建军(1955—),男,教授、博士生导师,主要研究方向为武器装备论证;

YANG Jianjun was born in 1955. He is now a professor and also the Ph. D. supervisor. His research concerns the demonstration of military weapons.

冯松(1986—),男,助理工程师,主要研究方向为光学精密仪器测量;

FENG Song was born in 1986. He is now an assistant engineer. His research concerns measurement of optics precise instrument.

张磊(1982—),男,讲师,主要研究方向为装备安全管理。

ZHANG Lei was born in 1982. He is now a lecturer. His research concerns safe management of military weapons.