

从雷达电子战看现代战场电磁博弈

Electromagnetic Gambling in Modern Battlefield Viewed from Radar EW

陈永光

(北京跟踪与通信技术研究所,北京 100094)



陈永光

研究员,博士生导师,享受政府特殊津贴,新世纪百千万人才工程国家级人选。1995年获国防科技大学通信与电子系统专业工学博士学位,1997年国防科技大学计算机科学与技术博士后科研流动站期满出站,2000至2002年美国普林斯顿大学电气工程系客座研究科学家。出版《组网雷达作战能力分析》等专(译)著8部,发表论文334篇,入选SCL/EL/ISTP等检索论文127篇,获国家科技进步二等奖1项,部委级科技进步一等奖6项、二等奖5项、三等奖7项。现主要研究方向为电子信息装备试验技术、新体制雷达对抗技术、电子战(信息作战)作战效能分析与评估技术以及电子对抗作战模拟等。

0 引言

以海湾战争为里程碑的现代战争形态已经发生了质的飞跃,战场N维空间并非空域、时域、频域、能量域、赛博……的算术叠加或积木式的几何堆砌,特别是在电子战背景下,作战对手的博弈水平可以达到杀敌于无形的出神入化的境地。身处复杂电磁环境中的电子信息武器装备无疑面临着严峻的考验,自觉

从现代战场电磁环境的内涵入手,以雷达和雷达对抗装备形成的电磁信号为例,分析了战场电磁环境的特点及其对作战的影响。针对雷达遭遇的电磁干扰,厘清了装备互扰和雷达面临的电磁进攻等方面的原因。为了展现制约战场电磁博弈的复杂多元要素,总结了远距离支援干扰、随队掩护干扰、自卫干扰、一次性投放干扰和反辐射等典型雷达对抗战术的特点,研究了各种干扰样式的战术使用方法,归纳了频率捷变、脉冲压缩、旁瓣抑制和自动频率选择等若干有效的雷达抗干扰技术。最后,指出了雷达与电子对抗装备之间技术互动的极端重要性。

关键词: 雷达; 电子对抗; 电磁博弈; 战场

中图分类号: V271.4

文章编号: 1671-637X(2014)06-0001-08

不自觉地投入到电磁搏杀之中。

在这场表面平静却暗流涌动的无声博弈中,历经二战历史沧桑的雷达等典型电子信息装备和新兴的综合电子对抗系统是当之无愧的主角,它们之间的斗争始终是现代战争中争夺制电磁权的重要内容。随着电子对抗战术技术的发展,单部雷达已经很难与电子对抗系统全面抗衡;雷达目标隐身技术和飞行器低空飞行技术的进一步发展,也将制约雷达信息的获取;反辐射武器的更新换代更是直接威胁到雷达的生存。这些传统雷达所面临的“四大威胁”(电子干扰、隐身、反辐射摧毁和低空突防)促使雷达向网络化方向发展^[1]。如今的雷达及其对抗已经发展到体系对体系的作战模式,再也不是单部雷达与单部雷达对抗装备之间单打独斗式抗争的局面。组网雷达充分利用各单部雷达的资源 and 信息融合优势,将多部不同体制、不同频段、不同程式(工作模式)、不同极化方式的雷达适当布站,借助于通信手段链接成网,由中心站统一调配,

从而使整体作战能力得到极大的提高,包括探测、定位、跟踪、识别、威胁判断等在内的雷达整体性能得以大幅度改善,在抗干扰、抗隐身、抗反辐射摧毁和抗低空突防“四抗”能力方面发生了本质的变化^[2-5]。

近年来,对于战场电磁博弈的评论众说纷纭,重复性、概念性的阐述明显多于实质性的定量分析和判断。这种现象的产生不仅与人们对电磁环境定量评价的重要性和迫切性认识不足等主观因素有关,也与目前条件下难以做到对有限几场现代局部战争电磁环境的准确评估等客观因素有关。本文无意解剖某一具体的电磁博弈过程,而是从电磁环境的内涵与特点入手,分析雷达遭遇的电磁环境干扰,进而厘清战场电磁博弈的关键要素,并加强雷达与电子对抗装备之间的技术互动。

1 现代战场电磁环境的内涵与特点

1.1 现代战场电磁环境的内涵

电磁环境是指在一定空间内,

对电磁活动产生直接或间接影响的各种因素和条件的总和。战场电磁环境可以概括为作战双方在特定区域内,由使用各种电磁能的电子系统构成的信号特性和信号密度的总和。现代电子战场在空间上从太空(如卫星)到地面(包括海面或水下),形成了复杂的电磁环境。尤其是在主要作战方向的作战准备过程中,集中于沿海或边界相对狭小区域内的各种军民用电子设备众多,电磁信号密集多样,敌我双方电磁斗争激烈,已经明显表现出现代战场电磁环境的复杂性特征。

1.2 现代战场电磁环境的特点

辐射源数量多,信号密度大,辐

射源体制多而波形复杂,辐射源的工作频段不断增宽,不同的辐射源在工作频段越来越宽的范围上重叠,制导武器在数量和威胁性上日益增大……概括起来讲,现代战场电磁环境的特点是密集、复杂、交错和多变。

海湾战争以来的局部战争已经具有现代战场电磁环境的主要特点:1)盟军在信息领域联手,使得电磁环境趋于复杂;2)沙漠地域相对开阔的战场地理环境利于实施电磁攻击;3)交战双方频谱资源有限,军地需求矛盾突出;4)装备频谱使用重叠,相互干扰严重;5)装备部署统筹不力,频谱使用冲突加剧。

表1 雷达及其对抗的电磁信号组成

Table 1 Electromagnetic signals of radar and its countermeasure

类别	名称	形式	备注
主动辐射	雷达辐射信号	线性调频、连续波、相位编码	特殊体制雷达数量增多
	C ³ I信号	调相、调频、调幅和扩谱	
	有源干扰	压制性 噪声调频、调幅,各类幅度和频率调制,连续波、脉冲 欺骗性 距离、角度、速度	转发或回答
	毫米波	由制导雷达主动辐射	一般较弱
被动辐射	雷达目标回波	点目标、分布目标,含有目标运动、幅度起伏、角闪烁、多普勒频移、多路径回波	与雷达发射信号和目标特性有关
	无源干扰	无源箔条干扰	
	雷达背景回波	雷达感兴趣以外的其他物体的雷达散射回波(人为释放的无源干扰不在此列),它会干扰雷达的正常工作 海、地、云雨杂波	与雷达发射信号和散射体特性有关

1.3 现代战场电磁环境对作战的影响

准确描述复杂电磁环境对各军兵种作战行动的影响程度是非常困难、难以实现甚至无法证实的,这主要体现在以下几个方面:1)由于电子战的软杀伤特点,证实、查明战时电子干扰和电子反干扰的效果是困难的;2)对敌方电子战能力、作战原则不能准确掌握,对于复杂多变环境状态及其对作战的影响效果不能完全通过分析和模拟得到;3)复杂电磁环境下作战与情报支援密切相关,对电子信息装备与战术应用等情报的保密以及对敌电子信息装备情报获取的准确性将直接影响电子作战结果;4)大多数电子战战术和

技术效果与操作人员的能力和训练水平密切相关,作战指挥人员制定战术受到其电子战知识、电子战能力和局限性的影响。

总之,现代战场复杂电磁环境对未来作战的不利影响,可以概括为3个方面:1)使战场感知趋于迷茫;2)使指挥协同更加困难;3)使武器装备作战效能的发挥受到严重制约。

2 雷达遭遇的电磁困扰

2.1 装备互扰问题

各军事强国一般拥有型号数以千计的电子装备,如果加上其他用频装备,数量更是惊人。战时密集部署在主要作战方向,工作频段相

对于雷达而言,形成战场电磁环境的主要因素是进攻型电子装备辐射的电磁波,因此,研究现代战场电磁环境的特点必须着眼于对电子进攻武器性能特点的研判。通过对20世纪90年代以来几场高技术局部战争的研究分析可以看出,现代战场电磁博弈中的强者实施电子干扰时一般具有以下特点:1)干扰技术多样性;2)干扰战术多变性;3)干扰空间多维性;4)干扰效应多重性。

电磁环境随着辐射源数量的增多而日臻复杂,其中,雷达及其对抗装备形成的电磁信号组成如表1所示。

对集中,存在潜在的互扰问题。现代化程度不高的军队,其电子设备的部署更是缺乏频谱使用方面的统一筹划,演习或演练时为了便于指挥,甚至在一个狭小地域或一个山头上同时部署陆、海、空军的数部程式相同、性能相近的雷达和其他电子装备。这些装备可能互扰,使其中某些雷达无法正常工作。

如果各型雷达工作频率相对集中且技术指标要求不严,则情况会变得更坏,可能导致谐波、旁瓣和杂散频率辐射超标,会产生影响其他电子设备工作的多频、多向干扰^[6]。以某对海警戒雷达为例,其设计带宽为10 MHz,因谐波频率辐射分量过大,实际发射带宽达80 MHz;某海

空协同电台设计带宽为 60 kHz,实际发射带宽达 1.1 MHz,超标近 20 倍。虽然从指标上看只是单纯的带宽问题,有人可能会认为带宽越宽越好,实际上却会对周边电磁环境造成严重污染。另外,如果己方干扰装备部署在雷达附近,会对雷达产生无意干扰。

2.2 雷达面临的电磁进攻威胁

在现代战争中,电子干扰是防空武器系统的最大威胁,其主要任务为:1)干扰搜索雷达,破坏它对目标的探测,使之得不到正确的目标信息;2)干扰武器系统中的跟踪制导雷达;3)干扰导弹上的电子装备,包括末制导雷达和无线电引信,使武器系统失控,命中率降低。

雷达单纯依靠电子防御是难以适应现代战场复杂电磁环境的,因为敌方的电子信息系统(包括进攻和防御型电子信息系统)构成了一个有机整体,如果其预警探测、通信导航和指挥控制系统不受任何制约,势必对我方构成极大的信息威慑和复杂电磁环境,因此,发展具有自己特色的信息进攻武器装备,干扰、破坏敌方电子信息系统的正常工作,是使己方电子信息系统主动适应战场复杂电磁环境的制胜之策。例如,针对预警机载雷达的噪声干扰系统和欺骗式干扰系统,针对防空预警雷达网的机载雷达对抗任务系统等,可在敌防空武器系统有效射程之外,采用多种不同的干扰样式及其组合,在一定宽度的正面形成有效干扰掩护区,掩护航空兵突防和支援军兵种作战。

3 战场电磁博弈

3.1 雷达对抗战术

在己方信息进攻的支持下,可缩短敌预警时间、切断或至少扰乱敌指挥控制信息链,压制敌防空系统,取得制空权或降低威胁,实现攻击计划。但是,信息进攻力量如果

在运用时机、方向、频段和功率上把握不当,也会影响己方指控、雷达、通信、导航等系统的正常运作。信息进攻在时机上应严密掌控,一般先行压制,达到支援和掩护作战目的后即做调整;方向上应对准预先侦察的主要作战对象,不到万不得已,不宜施放全向干扰;因为干扰装备在频段上一般是宽开的,不分敌我,这一点尤其需要注意。应尽量采用针对性很强的窄带瞄频干扰和欺骗干扰,少用宽带干扰和扫频干扰,必须实施宽带阻塞式噪声干扰时,可采用技术手段预先滤除影响己方和友军重点作战装备的频点;功率上提倡采用小功率近距离分布式干扰配合远距离大功率支援干扰,不能片面强调采用超大功率作战,那样不仅会“损敌一千,自伤八百”,而且会因功率太大而招致反辐射武器的攻击。

技术实现之后,战术就是决定性的因素,下面是关于典型雷达对抗战术的概念性描述^[7]。

1) 远距离支援干扰(SOJ)。由专职电子干扰飞机携带大功率噪声干扰机,在作战区域内做椭圆、跑道形或“8”字形航线盘旋,实施连续的掩护式电子干扰,其干扰通常采用噪声压制式干扰和有源假目标干扰两种方式,以掩护轰炸机、歼击机等进入和退出战区。专职电子干扰飞机提供远距离支援干扰掩护攻击机突防,由于干扰信号通常情况下都是从旁瓣或全方位进入雷达接收机,因此要求噪声干扰机的有效辐射功率比从雷达天线主瓣进行干扰的功率大 20~30 dB 以上。干扰平台常位于敌方地空导弹射程外 150 km 的距离上,飞行高度 6~10 km。施行 SOJ 战术时,干扰载机比较安全,干扰时间持续较长,一般从开始攻击前 20 min 就出动专职电子干扰飞机施放阻塞式宽带干扰,直至攻击结束才停止,可掩护多批

目标;要求干扰载机提前出动,攻击编队的航线不能离开干扰扇区,大范围机动受到一定限制;因为距离远的缘故,功率要求很大。几场局部战争中美军使用的电子战飞机主要有 EC-130H 和 EA-6B,飞行速度约 200 m/s。

2) 随队掩护干扰(ESJ)。由专职电子干扰飞机或装载能力强的飞机携带电子干扰设备自行掩护或互相掩护干扰,掩护编队中其他飞机执行任务。载机掩护攻击机从 100~200 km 以外先行进入,其方向一般正对干扰目标,飞行速度 170~400 m/s。其优点是干扰强度较大,机动性和掩护效果好;缺点是专用电子对抗飞机的危险性较大,与攻击机编队的协同较复杂。由于要求具有一定的火力自卫能力,因而电子战武器装备的体积重量必然受到影响,辐射功率较 SOJ 小。干扰信号通常情况下都是从主瓣进入雷达接收机。美军实施随队式干扰的典型干扰机为 ALQ-99E,载 10 部发射机,单机平均辐射功率达到 1 kW。

3) 自卫干扰(SSJ)。主要任务是实施突防,载机具有极强的火力配备,并要求具有极好的机动能力。攻击机平台自身外挂或内装有有源干扰系统和无源干扰器材,进入战区后采取压制式干扰与欺骗式干扰相结合、有源干扰与无源干扰相结合的手段,以保证自身在复杂电磁环境中作战的安全性。这种干扰战术的功率更弱,故以实施欺骗干扰为主,一般在作战开始后使用;由于它的干扰距离近,因此威胁大,与 SOJ、ESJ 相配合组成一个较强的干扰网。美军实施自卫干扰的典型干扰机型为 ALQ-165,单机平均发射功率为 200~400 W。

4) 一次性投放干扰。①由飞机等投放干扰装备,由降落伞挂空实施干扰,干扰的距离和方位没有太大变化,只有俯仰角上的变化;②散

布干扰走廊,干扰编队按规定的方向和规定的区域连续投放无源干扰物,形成“干扰走廊”,被掩护的编队在干扰走廊上方飞行。

5) 反辐射武器。利用雷达信号进行跟踪并摧毁目标的有效武器,是对辐射源精确定位技术的一种应用,可分为反辐射导弹、反辐射无人机、反辐射炸弹。它将干扰与摧毁相结合,效果很好,将单纯防御式的“软”干扰发展成进攻式的“硬”杀伤。

3.2 雷达干扰样式

早期采用的干扰机主要是瞄准式压制性噪声干扰,干扰样式也很简单。随着干扰装备技术的发展,干扰方式日趋多样化。以防空作战中的电子战为例,对干扰样式主要采用干扰信号的调制进行分类,如图1所示。

实践中通过干扰的作用来划分干扰类型,显得更加直观,通常将雷达干扰分为压制性干扰和欺骗性干扰。压制性干扰是用连续波信号或大量杂乱的信号压制或掩盖雷达目标信号;欺骗干扰是施放和目标十分相似的干扰信号,使雷达操作人员难辨真假,将干扰误认为是目标。



图1 干扰样式

Fig. 1 Jamming types

干扰样式通过战术起作用,表2列出了不同干扰战术下干扰样式的使用情况。

表2 干扰样式的战术使用
Table 2 Tactical utilization of different jamming types

干扰战术	干扰样式
远距离支援干扰	连续噪声调频干扰;噪声调频加扫描干扰;阻塞式/瞄准式杂波干扰
编队掩护干扰	连续或间断噪声调频干扰;灵巧噪声干扰;距离波门拖引;速度波门拖引;多普勒阻塞干扰;角度欺骗干扰;假目标干扰
自卫干扰	常以欺骗干扰为主。连续或间断噪声调频干扰;灵巧噪声干扰;距离波门拖引;速度波门拖引;多普勒阻塞干扰;角度欺骗干扰;自动增益控制欺骗干扰;假目标干扰;箔条干扰
一次性投放干扰	无源角反射器;欺骗干扰

3.3 雷达对抗战例

在实战中,如何利用雷达对抗的各种手段达到作战的最佳效能,是雷达电子战追求的终极目标。单一的干扰对反干扰能力强的雷达作用有限,为了提高干扰效果,通常把各种干扰样式的雷达干扰组合使用。如将多种欺骗干扰技术同时使用,压制性干扰与欺骗性干扰组合使用,有源干扰与无源干扰组合使用等。雷达对抗与雷达斗争的实质是电磁信息领域的较量,以压制对手为根本目的,因此可能不择手段,典型战例是贝卡谷地之战。战前,以色列曾多次派出无人驾驶飞机在贝卡谷地上空侦察,并设法诱骗叙利亚防空导弹搜索雷达和制导雷达开机,以查明其工作频率,并测定了雷达参数和导弹阵地的准确位置。开战之时,以色列实施了针对性很强的雷达对抗措施,使叙军的防空导弹雷达系统全部陷入瘫痪,仅仅6分多钟,叙利亚苦心经营多年的19个连的“萨姆-6”导弹阵地顷刻间化为乌有。这场战斗从表面上看是以军空袭取得的胜利,但实际上应该归功于雷达对抗的成功运用。

3.4 雷达抗干扰技术

面对雷达对抗系统和装备的威

胁,雷达并非束手无策,而是可以综合运用如下典型抗干扰措施,规避、削弱、化解雷达对抗的影响。

3.4.1 频率捷变

频率捷变包括载波频率捷变和重复频率捷变。载波频率捷变是很有效的抗干扰手段,甚至可以对付能够瞬时测量和调谐电子对抗(ECM)发射机的最佳ECM接收机。因为雷达接收机频率可以在逐个脉冲的基础上重新调谐,所以除了从目标回波到达至下一个脉冲发射之间外,其他所有时间内没有在逐个脉冲上更新频率的ECM信号都被雷达接收机所抑制。在这种情况下,干扰信号决不会超前于真实的目标位置。对于捷变频雷达而言,在小于真实距离的空间没有干扰。

捷变频雷达信号的特征非常明显,归纳起来,主要表现如下所述^[8]。

1) 其工作频率在脉内、脉间和脉组间快速变化。以脉间跳频为例,每一频率跳变量都比较大,至少不小于两脉冲回波不相关所需要的最小频差,即所谓“临界频差”。这样,跳变量一般远大于雷达脉宽的倒数。

2) 其工作频率的总变化量相当大,最大已经超过雷达工作频率的10%,达到1 GHz以上,依频段不同而不同。

3) 频率捷变方式有的是连续变频,更多的是在若干个频率点上跳变。跳变频率点数一般为几十个,最多可达几百个。

3.4.2 脉冲压缩

伴随着脉冲压缩而产生的抗干扰性能主要有以下几种。

1) 低截获概率(LPI)性能^[9]。

假设有一部脉冲压缩雷达受到一架试图为进攻飞机建立空中走廊的远距离干扰机的干扰。一个压缩比为 n 的编码雷达,其发射的峰值功率要比具有相同距离性能的非脉冲压缩雷达低 n 倍,因而远距离干扰机所处的距离必须近 \sqrt{n} 倍。但

是,远距离干扰机为求自保,通常位于敌方武器系统能够达到的距离之外。这样,为了避免被雷达探测到,远距离干扰机必须提高其灵敏度,或者使用性能更加优良的电子支援措施(ESM)。一部编码雷达只要采用码元数很大的一个代码就可以具有良好的LPI性能,由于发射持续期应当保持在几十微秒这个可以接受的限度内,所以若码元数大,则每个码元必须特别短,由于这个原因,发射脉冲的频谱就变得很宽,类似于扩谱发射,对这样一个波形的探测就需要高灵敏度的ESM接收机。

2) 对欺骗干扰的低敏感性能。

欺骗干扰机通常不能发射与编码脉冲一样长的脉冲,也无法转发此代码。因此,传统的欺骗干扰机将无法实现两个功能:①欺骗雷达,因为只有少数几个码元会被干扰,因此,欺骗干扰的影响将只是旁瓣的轻微增加以及真实目标的轻微波动;②通过产生虚假目标实现距离波门拖引或者产生假目标以扰乱雷达平面位置显示器(PPI)。

综上所述,脉冲压缩技术主要是为了获得较高的平均发射功率值而不增加峰值功率的要求,并且还用了窄脉冲,这对小目标的距离分辨力是必须的,这项研究成果影响了ECM接收机对辐射源的探测能力。从电子战角度出发,脉冲压缩雷达信号复杂的脉内调制技术给模式特征选择带来很多困难。

3.4.3 低旁瓣天线

所有雷达都是在如下假设下工作的:只要某个信号进入雷达接收机并且超过系统的检测门限,该信号就一定是被雷达天线主波束截获的,而不管信号是从目标反射回去的还是从ECM系统发射的。一种克服测角系统这一缺陷的方法是降低雷达对天线主瓣之外信号的敏感性,具体而言是使天线的旁瓣增益比主波束增益低得多。低旁瓣天线

对有源ECM的有效性具有极大的影响,这些天线使ECM系统产生了很严重的问题,迫使ECM系统使用更为有效的主波束技术或者使用多个ECM源的协作干扰技术,以将其有效性集中到雷达的主波束里。

3.4.4 旁瓣消隐

分为旁瓣匿隐和旁瓣对消,前者可以有效地防止进入雷达天线旁瓣的脉冲到达信号分析电路和雷达显示器。在这种情况下,对主波束目标探测的唯一危害是旁瓣产生的某个脉冲与主波束中一个真实信号同时刻到达雷达,但是发生这种情况的可能性很小。因为相对于雷达来说,主波束目标和旁瓣产生源处在两个不同的位置上。

3.4.5 “烧穿”发射方式

所谓“烧穿”发射方式即是把辐射能量集中在几个方位和仰角扇区,提高干扰严重方向目标的可探测性。“烧穿”发射方式的好处是在不增加雷达整体辐射功率的前提下,使较近距离上的干扰失效,从而大大提高雷达在干扰方向的探测有效性。

3.4.6 自动频率选择

自动频率选择允许自动选择未受干扰的频率,这种有效的抗干扰方法是基于对信号-干扰比(信干比)以及干扰-噪声比的分析之上的。信干比必须适合雷达要完成的功能,而干扰-噪声比必须最小。后一种分析是在静寂时间内完成的,即在最大距离时间和下一个脉冲的发射时间之间的时间内完成的。由于干扰机的频带有限,以及旁瓣零点的调控、干扰机调谐速度的限制和多路径效应等,一般是能够找到改善信干比的频率的。

3.5 组网雷达抗干扰能力^[2]

组网雷达集战术、技术抗干扰措施于一身,具备了较强的抗干扰能力。从战术角度讲,有空间布站分散、机动性增强和网内雷达战勤时间灵活分配等;从技术角度讲,有雷达

工作频段分集、极化方式分集和雷达体制多样等。这些是组网雷达具备较强抗干扰能力的根本所在。

3.5.1 组网雷达抗有源压制性干扰能力

有源压制性干扰定义为:用噪声或者噪声样的干扰信号遮盖或者淹没有用信号,阻止敌方用电磁波获取目标信息,干扰的预期目的是妨碍或者阻止雷达检测目标。组网雷达抗有源压制性干扰能力主要体现在体制多样性、频段多样性、空间分散性3种特有性能和功率合成、信息融合两大关键技术。

1) 体制多样性。

组网雷达抗干扰能力的高低很大程度上取决于网内单部雷达本身的抗干扰能力,而雷达体制是决定雷达抗干扰能力的关键因素。随着军事科技的发展,许多新体制雷达相继诞生。例如,捷变频雷达、频率分集雷达、脉冲多普勒雷达和脉冲压缩雷达等,这些新体制雷达的抗干扰能力当然要比早期的固定载频雷达的抗干扰能力强。组网雷达选用一些新体制雷达入网后,整个系统的抗干扰能力必然得到加强。

2) 频段多样性。

频段对抗是斗争双方争夺的焦点。受元器件的限制,单部雷达频段的展览不可能无限制地进行,必须另辟蹊径。组网雷达通过不同频段雷达联网,使得雷达网占有的带宽比任何一部雷达的带宽都要宽。干扰方为了对雷达网实施全频段压制性干扰,在干扰功率一定的前提下,只能降低发射功率密度,从而导致了干扰距离的降低。因此,组网雷达通过不同频段雷达组网,稀释了干扰功率,增强了组网雷达的抗干扰能力。组网雷达占有的频带越宽,其抗干扰能力就越强。

3) 空间分散性。

空间对准是获得良好干扰效果的先决条件之一,组网雷达的布站

分散性破坏了这个条件,从而获得了相应的抗干扰能力。由于雷达布站的空间分集,干扰方的侦察定位变得相对复杂,因此在干扰对象的选择上也会顾此失彼。当某些雷达受到主瓣干扰时,其他雷达可能只受到旁瓣干扰。很显然,这样的干扰效果必会下降,组网雷达整体抗干扰能力得到增强。

4) 功率合成技术。

组网雷达一个很重要的特征是控制中心对网内雷达的功率管理。在单部雷达峰值功率一定的情况下,可以使多部雷达的辐射功率在空间叠加,增加空间能量密度,即增加了目标回波功率,使得信干比提高,干扰环境下检测目标的能力自然得到增强。照射同一个空域的雷达数目越多即组网雷达的空域重叠度越高,空间能量密度就越大,组网雷达的抗干扰能力也就越强。

5) 信息融合技术^[10-11]。

组网雷达由传感器(雷达)、通信链路和信息融合中心组成。各雷达获得的目标信息通过通信链路传到信息融合中心,信息融合中心利用信息融合技术得到目标的融合信息。组网雷达的这种信息融合处理技术增强了其在干扰环境下获得目标信息的能力,即抗干扰能力得到增强。即使部分雷达由于受到干扰而使目标信息不准确甚至不完整,信息融合中心也能综合所有雷达的信息,从而获得关于目标的比较完整、精确的信息。

3.5.2 组网雷达抗有源欺骗性干扰能力

有源欺骗性干扰是有源干扰的另一个重要类型。欺骗性干扰指的是人为地模拟雷达目标信号特性,使雷达获得假的信息,从而使欺骗意图得以实现。用回答式干扰机对警戒雷达进行假目标干扰,因为假目标和目标信号混杂在一起不易分辨,会给敌方警戒雷达提供错误情

报,在很大程度上迷惑敌人而使其兵力分散。欺骗性干扰对跟踪雷达产生距离牵引、角度牵引和速度牵引,增大其跟踪误差,甚至使被跟踪的真实目标完全丢失。欺骗性干扰的特点是,干扰信号具有与雷达目标信号同样的形式,并加上了各种假信息的调制。所以,雷达目标信号与欺骗性干扰信号既有共同点也有不同点。只有存在共同点,才能使信号的真假难以识别;同时也只有存在差别,才能使干扰信号在距离、方位、速度等信息上达到欺骗的目的。

现代干扰技术还没有发展到对组网雷达系统实施有效欺骗性干扰的程度,这是由于对组网雷达的侦察识别难度加大,难以形成有效的干扰信号,另外,组网雷达的信息融合处理技术较容易识别出欺骗性假目标,系统定位及跟踪精度均较高。组网雷达的抗有源欺骗性干扰能力主要体现在系统隐蔽性、信号密集性、信号多样性、频段多样性和系统辨别力这“四性一力”上。

1) 系统隐蔽性。

雷达对抗侦察设备是无源的,它的工作依赖于雷达辐射的电磁波,从而获得雷达工作的技术参数和部署的战术信息。如果雷达关机,侦察设备将“巧妇难为无米之炊”。组网雷达中的单部雷达可以通过轮流分时工作来完成一定的作战任务,单机工作时间的减少降低了雷达的暴露概率,减小了被敌方雷达对抗侦察设备截获的概率,系统隐蔽性增强,破坏了欺骗性干扰的侦察环节,使得组网系统的抗有源欺骗性干扰的能力增强。

2) 信号密集性。

相对于单部雷达而言,组网雷达的信号环境给雷达对抗侦察设备带来了更为沉重的负担。侦察设备在接收到雷达信号后,首先对其进行分选识别,找到威胁最大的雷达,然后引导干扰设备进行干扰。随着

雷达数量的增加,到达侦察接收机天线的雷达信号也会增多,使得侦察设备信号处理机的工作量急剧上升,以至饱和,从而失去工作能力。如果侦察设备不能对雷达信号进行有效的分选识别,那么盲目干扰的效果会很差,欺骗性干扰更是无的放矢,收不到预期效果。所以,组网雷达密集的信号环境增强了系统抗有源欺骗性干扰的能力。

3) 信号多样性。

相对于单一信号样式而言,组网雷达的多信号样式特性给干扰设备带来了严重的负面影响。雷达对抗侦察设备在分析截获到的雷达信号后,将引导雷达干扰设备复制和调制出干扰信号对雷达进行干扰。若干扰信号和雷达信号具有相似性,则干扰效果会达到最佳。然而,组网雷达的信号样式多样,要对每一种雷达信号复制和调制出各自的最佳干扰信号,这对雷达干扰设备无疑提出了过分的要求,甚至根本无法实现。若采取单一的干扰信号样式而无视雷达信号样式的差别,就不会收到好的干扰效果,甚至干扰无效。

4) 频段多样性。

组网雷达的多频段特性使其抗欺骗性干扰的能力得到增强。要想在很宽的频带内对各种常规雷达进行欺骗性干扰,就需要欺骗干扰机中的储频回路能够在很宽的频带内进行储频。由于受到元器件的限制,目前不可能在很宽的频带内进行储频。因此,一般都是在很宽的频带内划分若干个小频段进行储频。通常,当需要干扰某个频段的外来信号时,由控制计算机根据瞬时测频接收机测出的该信号的频率码进行频段置位,但是这样又带来了一个问题,即欺骗性干扰只能在某一频段内进行,对另外频段内的外来信号,则因瞬时测频接收机测频时间的限制而无法实施多频段的

欺骗性干扰,使干扰机不能发挥最佳功能,无法达到最好的干扰效果。

5) 系统辨别力。

即使干扰机对网内雷达形成了欺骗性干扰,组网雷达利用系统的信息冗余也能够辨别出假信息,从而保证信息的准确性。组网雷达所具有的不同频率、波形及跟踪处理算法,使得速度欺骗干扰对组网雷达不构成实质性威胁。即使部分雷达由于受到欺骗性干扰而获得了假目标信息,信息融合中心也能够综合所有雷达信息,从而分辨出假目标,获得真实目标的完全信息。多部雷达对同一空域同时探测,而假目标产生器很难在所有雷达上产生同样效果的假目标,这使得信息融合中心很容易判断假目标是否存在并分辨出假目标。

4 雷达与电子对抗装备的技术互动

信息进攻与反进攻是制电磁权和制信息权的主要内容,各军事强国从20世纪中叶开始竞相发展传统雷达装备很难抗衡的雷达电子战装备和器材,这一严酷现实使雷达设计师们警醒。此后,各种新体制雷达以不同于传统雷达的崭新面貌出现,电子对抗技术遇到严峻挑战,迫使电子战专家寻找有效对抗具有抗干扰能力的新型雷达的方法。电子对抗与反对抗之间的对峙永无止境,永远没有确定的胜者。那么,博弈中的各方究竟应该采取何种策略?是以“闭门造车”的封闭方式探索求胜之道,还是以技术互动的开放心态寻求制胜之策?西方军事强国选择的是后者,国际名牌电子战装备生产厂商的电子战系统设计师经常与雷达设计师研讨电子对抗技术的效果;雷达设计师也就开发中的抗干扰技术类型与电子战设计师研讨,这种做法值得借鉴和推崇。

雷达与电子对抗装备技术创新

的根本出路在于充分了解对手的短处,但是,要做到这一点是非常困难的。和平年代,潜在对手的雷达已经很难拿来“比划”一番;战争时期,敌方雷达的战术运用方式和技术状态参数还极有可能改变。这样一来,除了情报获取和平时电子侦察等手段之外,“知彼”的唯一途径即是在本国或者友邦寻找与敌方雷达最为相似的“对手”。如果不这样做,装备研制可能就会迷失方向。

应当清醒地认识到,即使一个国家的雷达与电子对抗装备都各自取得了长足的进步,但如果两者之间缺乏有效的技术互动机制,就极有可能出现4个方面的突出问题。

1) 电子对抗装备设计师与雷达设计师之间缺乏足够的沟通和相互启发,致使某些电子对抗装备对现代雷达的各种抗干扰措施把握得不周全、不到位,技术上显得一厢情愿、自说自话。可以想象,这种装备在采用新技术、新体制、网络化的现代雷达面前必然如钝刀杀鸡般徒劳无功。2) 在数学仿真、模拟试验和作战演练中习惯沿用传统雷达模型,低估现代雷达的抗干扰能力,其结果必然是对电子对抗装备作战效能的夸大其词和盲目乐观。3) 某些雷达应对复杂电磁环境的能力弱,设计的抗干扰措施太过理想化,经不起实战的考验。4) 在重点陆基、舰载、机载和星载雷达型号的策划论证和研制试验过程中忽视来自先进的电子对抗技术的威胁,将装备抗干扰能力的试验鉴定与评估摆在相对次要的位置,甚至回避、省略这一对雷达装备而言性命攸关的检验程序,等到战时雷达受到致命干扰陷于瘫痪,领空领海大开,国土沦丧大难临头时沦为国家民族的罪人而使后人哀之、鄙之、恨之。

5 结束语

海湾战争以来的历次战争交战

双方的经验教训就是,用频装备必须适应战场复杂电磁环境,否则,火力再强大也难以施展拳脚。而清理门户,严防电磁空间中的自相残杀是首先必须做到的事情,是装备适应电磁环境的基础;其次,认清威胁、查明敌情是雷达等电子信息武器装备主动适应现代战场复杂电磁环境的法宝,它无疑强于面对电磁威胁和不明空情时的被动应付;再者,以攻为守,挖敌墙角是降低战场电磁环境复杂度的良策,进攻性适应必定优于防御性适应。

在现代战场电磁博弈中立于不败之地的万全之策是同时研究攻防双方的决策过程和抗争手段。具体如雷达电子战一方,则是在分析针对雷达实施软、硬对抗手段的效果的同时,研究根据雷达抗干扰能力所采取的战术技术措施的效果,当某种对抗手段不能奏效时,应当及时整改装备或者采取其他措施;雷达一方也应当根据雷达对抗装备侦察截获概率的变化评判雷达降低截获概率种种努力的效果,根据雷达干扰机的干扰效果调整变换其抗干扰措施。虽然从表面上看,这种方法可能一时难以掌握或者得不出令人“满意”的结果,但却可以暴露装备的某些致命缺陷,这是各国电子信息武器装备建设与发展的正确方向。

参考文献

- [1] VARSHNEY P K. Distributed detection and data fusion[M]. New York: Springer-Verlag, 1997.
- [2] 陈永光,李修和,沈阳. 组网雷达作战能力分析 with 评估[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
CHEN Y G, LI X H, SHEN Y. Operational capability analysis and estimation for netted radar system[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006.
- [3] PARADAVSKI L. Position determi-

- nation from modern radar systems; New theoretical results and their practical aspects [C]//IEEE International Radar Conference, USA, 1995;131-135.
- [4] BLACKMAN S. Multiple-target tracking with radar applications [M]. Boston: Artech House, 1986.
- [5] FARINA A, STUDER F A. Radar data processing II [M]. Baldock: Research Studies Press Ltd, 1985.
- [6] HOVANESSIAN S A. Radar system design and analysis [M]. Boston: Artech House, 1984.
- [7] CHRZANOWSKI E J. Radar active countermeasures [M]. Boston: Artech House, 1990.
- [8] WILEY R G. Elint; The intercept of radar signal [M]. Boston: Artech House, 1984.
- [9] SCHLEHER D C. Low probability of intercept radar [C]//International Radar Conference, Washington D C, 1985;346-349.
- [10] RICHARDSON J M, MARSH K A. Fusion of multisensor data [J]. International Journal of Robotics Research, 1988, 7(6):78-96.
- [11] WALTZ E, LLINAS J. Multisensor data fusion [M]. Boston: Artech House, 1990.

Abstract: Starting with the connotation of electromagnetic environment in the modern battlefield and taking the electromagnetic signal emerged by radar and radar countermeasure equipment for example, this paper analyzes the characteristics of electromagnetic environment in war and its effect on operations. Aimed at the electromagnetic problems encountered by radar, some reasons are investigated from aspects of mutual interference of equipment and electromagnetic attack on radar. In order to show the complex multiple factors that may restrict the electromagnetic battlefield game, characteristics of such typical radar countermeasures tactics as stand-off jamming, escort jamming, self-screening jamming, disposable launch jamming, and anti radiation are summarized respectively. Moreover, the tactical application method of various jamming types is studied, as well as several effective radar counter-countermeasures, including frequency agility, pulse compression, side lobe suppression, and automatic frequency selection. Finally, the paper points out the critical importance of technology interaction between radar and electronic warfare equipment.

Key words: radar; electronic countermeasure; electromagnetic gambling; battlefield

下 期 要 目

机载头盔瞄准显示系统的人机功效研究

空投时运输机的实时仿真平台

增强位率 1553 总线应用研究

一种导航传感器试飞基准获取方法研究

一种基于交互式多模型算法的联邦滤波器

等厚度圆锥面风档玻璃光线偏向角计算分析研究

一种高数据率雷达跟踪慢速目标的数据互联算法

任务联盟演化过程行动策略优选的 DINs 建模

自由立体显示中降低串影干扰的背光控制系统

基于 ADS-B 的新型跟踪监视算法

飞机动态 RCS 序列的仿真研究

飞翼无人机一种鲁棒自适应控制律设计方法

高超声速飞行器再入段滚转控制及鲁棒性分析

带有反馈的分布式结构下的无序航迹融合算法

无人机空对地多目标攻击的满意分配决策技术

四旋翼飞行器的容错姿态稳定控制

一种机载吊舱环控系统稳态工作性能分析方法

非线性的模拟量绝对值纠错编码方法研究