

雷达有源干扰与抗干扰发展趋势

刘 树 声

摘 要 本文介绍了雷达有源干扰和抗干扰技术的发展趋势,并提出对发展中国家雷达抗干扰技术发展方向的一些看法。

一、引 言

雷达抗干扰技术,几乎是与雷达技术同时出现的,也就是说它也有近50年的历史。当然在早期,无论是雷达干扰还是抗干扰都是比较简单的。

随着军事电子技术的迅速发展,电子设备已渗透到军事领域的各个方面,成为现代军事行动中不可缺少的重要组成部分。因此,对电子设备的干扰与电子设备的抗干扰技术,就变得十分重要。雷达干扰与抗干扰技术在现代战争中的重要作用,已被近若干年来局部战争的无数战例所证实。如在越南战争中,由于美国大量使用电子对抗技术,而使苏制SA-2导弹的摧毁能力由1966年的15:1(15发SA-2击落一架美国飞机),下降到1972年的84:1。1972年8月,美国“纽约时报”在报导这一巨大变化时说:“在北越上空执行任务时安全程度的提高……主要归功于现在用来干扰导弹雷达和制导系统的电子对抗措施。”

1967年第三次中东战争时,埃及用苏制SS-N-2“冥河”式导弹,以六发六中的战绩,在塞得港及地中海分别击中以色列的“埃拉特”号驱逐舰和一艘商船而震惊世界。但在1973年的第四次中东战争中,由于以色列采用了电子干扰措施,致使埃及发射的50发SS-N-2“冥河”式导弹无一命中。

通过这些战例,使各国军事首脑对电子对抗在现代战争的作用,给予了充分的重视。普遍认为,电子战技术在现代战争中已不再是作战的辅助手段,已经上升到举足轻重的地位,甚至可以由它来决定某一战役的胜负。如苏联国防部前第一副部长索科洛夫斯基,在《苏联的军事战略》一书中指出:“只要罗列一下电子对抗的战例就可以看出,电子干扰与反干扰应用得是多么广泛,而且后果可能是多么严重。因此,电子设备的发展已具有和导弹与核武器的发展同样重要的程度。没有电子设备,导弹与核武器就不能使用。”美国军事首脑们也指出:“今天军事力量在战争中的胜败,取决于电子设备的性能。对于电子设备的这种严重的依赖关系,导致了新的作战领域——电子战的诞生。当前夺取和保持作战中的‘电子优势’,比第二次世界大战中夺取空中优势还重要。”

徐向前同志在一次题词中也指出：“电子对抗是现代战争的重要手段。”

二、雷达有源干扰

有源干扰一般也称为积极干扰，基本上可分为噪声干扰与欺骗干扰两大类。通常噪声干扰多采用引导式干扰机，而欺骗式干扰则多采用回答式干扰机。两者之间主要区别是：①在频率瞄准上：引导式干扰机需要频率引导才能实现对雷达频率的瞄准；而回答式干扰机一般不需要频率引导。②在干扰信号的产生方式上：引导式干扰机由自身的振荡器主动地产生干扰信号；而回答式则受雷达信号的激励，每收到一次雷达信号才“回答”一次干扰。

由于现代雷达抗干扰能力的提高，信号密度的增大，迫使干扰机在空间、频率和干扰样式上大大提高其引导速度，因而提出了快速引导问题。所谓快速引导是相对于人工引导来说的，实际上指的是自动引导。人工引导通常要在雷达天线的几个照射周期（即雷达天线的扫描周期）内完成引导，其引导时间一般需要几十秒，最短也要十几秒。因此快速引导的干扰机，一般指的是雷达波束一次照射时间内（即在一个脉冲串内）或更短的时间内完成引导的干扰机，其引导时间应远远小于人工引导时间，而以毫秒、微秒计。

快速引导应包括：①对目标信号的快速截获、分选、分析和识别；②快速方向引导；③快速频率引导三个方面。而引导时间，则是指干扰机从截获雷达信号到干扰机在方向、频率上瞄准了雷达，并可实施干扰所需的时间。由于干扰机的体制不同，引导时间也不一样。如搜索式超外差接收机对M型返波管自动引导的干扰机，由于本振和M型返波管的搜索调谐周期一般为几个毫秒（例如3~5毫秒或更长），所以总的引导时间约为10~15毫秒。鉴频式接收机对压控振荡器主振放大式发射机，进行数字式引导的干扰机，最长的引导时间有150微秒左右，引导精度可达频带的千分之几。信道化接收机对M型返波管发射机进行数字式引导的干扰机，引导的时间主要是返波管的调谐时间，大约为20~30微秒，至少也要十几微秒。信道化中的矩阵式接收机对行波管放大式发射机引导的干扰机，可以做到瞬时干扰，其引导时间为十分之几微秒，最长只需1~2微秒。

随着雷达技术不断的发展，新体制雷达系统不断涌现。这些新体制雷达有的在广泛使用，有的则仍在不断发展和进一步完善。它们一般都具有比较好的抗干扰能力，自动化和自适应能力也较强，因此在一定意义上说，对雷达干扰技术的突破，主要取决于对这些新体制雷达干扰技术的进展。

70年代双模行波管试制成功之后，美国西屋电气公司研制出了第一代的双工作状态噪声/欺骗干扰机ALQ-119，而且由于计算机、数字技术以及微波技术的进展，于70年代末还研制出了第一代具有功率管理能力的干扰机，使电子干扰技术进入了一个新的阶段。所谓“功率管理能力”是指能够综合分析威胁环境，并有效地集中使用干扰功率，以压制其中威胁最大的雷达。美国西屋公司的ALQ-131，就是第一代按照功率管理概念设计的设备，它对至今已识别出的全部威胁，都具有综合的自适应能力。干扰系统的自适应能力，通常应包括以下各项内容。

(1) 能产生多种干扰样式，并具有应答式和转发式等多种工作模式。为了能及时对

威胁进行最佳干扰。干扰系统事先将预编程序的各种噪声干扰、欺骗干扰和组合干扰,以及它们的最佳参数一起存储在威胁表中。系统在对威胁进行识别之后,根据威胁的优先等级,对要干扰的目标进行选择,并用查表的方式,选择对特定威胁的最佳干扰方式和干扰调制样式。

(2) 具有功率管理能力,即在确定威胁重点的基础上,精确地控制时间、频率、空间和功率等参数,使其能在方向和频率上对准被干扰的雷达,在威胁脉冲前后,以最佳干扰样式对威胁源实施干扰。同时自动地将辐射功率只调到被掩护目标所需的水准上,从而能有效地应用干扰功率和对多个目标同时进行干扰。

(3) 能根据威胁环境的变化,自适应地改变干扰样式和参数。

(4) 具有干扰效果鉴定的能力。

为了能更好地适应日益增长的威胁,美国正积极研制更先进的,能根据新出现的威胁重编程序的自适应系统,如机载自卫干扰机(ASPJ)。

ASPJ是美国下一代(能对付1990—2000年的威胁)的机载自卫干扰机的代表,它是战术飞机整个防御系统的一个重要组成部分,如图-1所示。这个防御系统有一部雷达

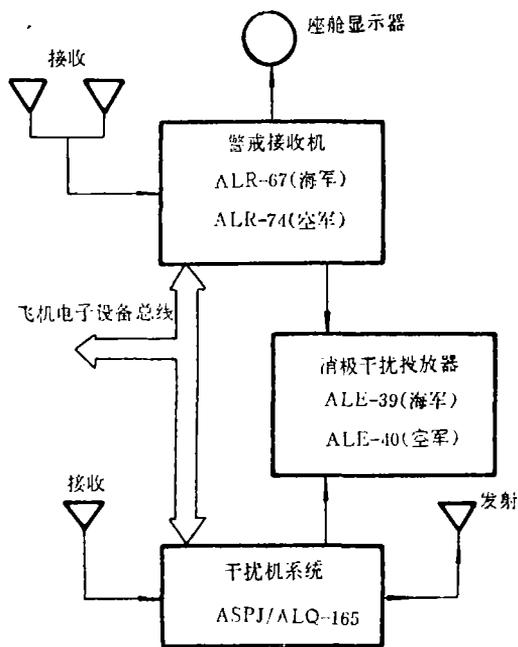


图 1 战术飞机防御电子对抗系统

警戒接收机 ALR-67 (海军) 或 ALR-74 (空军), 告警飞行员飞机正受到某种威胁的照射, 他还能与机上箔条弹、红外曳光弹投放器及光电干扰系统交联工作, 以便应用逃避战术。但是在任何由现代化武器组成的密集多威胁环境中, 单靠战术和消极干扰是不足以确保飞机安全的, 因此防御系统中还设置了 ASPJ/ALQ-165 有源干扰机, 来降低所有对飞机安全构成威胁的用雷达控制的武器系统性能, 或对它们进行欺骗。这些

武器系统包括：高炮、地面和海面发射的防空导弹、空中拦截机上发射的空一空导弹等。

据称这个系统具有现在电子对抗系统所不曾有过的能力。它可在高度密集的信号环境中对付频率捷变、脉冲重复频率捷变、连续波、高重复频率的多卜勒雷达信号，并能对付被动跟踪雷达，可同时干扰16~32个目标。为了适应新的威胁和争取有足够长的服役期限，ASPJ还将具有根据新的威胁可重编程序的能力。

ASPJ综合运用了美国最新技术，为在不同类型飞机上安装，它有三种模块结构型式，由5个组件组成，是一种轻巧而紧凑的自卫干扰系统。

所有的威胁、识别和电子干扰的参数都贮存在软件中，这些软件包可根据已发现的各种不同威胁和特定的任务而更换，组装十分方便。这个系统是通过计算机实现功率管理技术，其接收机、处理机，能接收、分选和识别雷达信号，并能自动选择最佳干扰技术，和在多个威胁情况下产生距离、角度、速度欺骗干扰和噪声压制干扰。

系统中的ASPJ/ALQ-165，是最近几年美国进行的一项最重要的电子对抗研制计划。这项计划之所以重要，是由于ASPJ将用于装备多种飞机，包括美国所有新型飞机和1990年清单上的那些服役的飞机，已确定的数量在1700~3000多架飞机之间（有的资料称达7000架）。虽然ASPJ基本上是一种内装式电子对抗设备，但其组件也可用于吊舱设备（如AV8-B飞机）和ALQ-131全功率管理系统中。其次，它是一项海军——空军联合计划，由海军作为执行机构，在海军和空军的电子对抗设备之间将100%的通用。因此可使用通用的备件、测试设备以及训练和资料保证，这将大大节省该系统的作战支援费用。而更重要的是，将大大降低为美国空军和海军提供的软件单位成本。今后十年内，军方计划付出7千万美元以上的费用，来支援ASPJ的软件。

由以上可以看出，雷达干扰系统已经从单个设备，发展成由计算机集中控制的综合系统，其中包括侦察、警戒、引导、干扰发射等部分。预计今后雷达干扰技术的发展方向，将包括以下几个方面：

1. 提高发射功率

提高单个功率管的功率，将会遇到供电、冷却和成本等一系列问题，估计今后依靠单个功率管来提高发射功率的方式，不会有多大的发展。提高干扰功率的可能途径，是采用多波束干扰技术和固态功率合成干扰技术。

2. 完善功率管理能力

根据目前的发展趋势来看，不久即会出现全功率管理的自适应雷达干扰系统。这种系统将具有瞬时测频和引导能力。并可同时对多个雷达实施干扰，还可根据威胁雷达的性质，确定最佳干扰样式和鉴定干扰效果，以提高干扰系统的自适应能力。

3. 发展对新体制雷达的干扰手段

当前主要是如何对付连续波雷达和频率捷变雷达的威胁。为对付捷变频雷达，除了要大大提高测频、引导速度和精度外，还可能采用实时分析技术，来预测下一个发射脉冲的频率，以便能对捷变频雷达实施瞄准式噪声干扰，甚至欺骗干扰。

4. 扩展干扰频段

随着毫米波技术的发展，已有多种毫米波雷达投入使用。因此必须大力发展对毫米

波雷达的干扰技术。为此，必须解决大功率产生、窄脉冲调制和宽带噪声的形成等技术难题。

三、雷达抗有源干扰

按照通常的分法，抗有源干扰是在能量上、频域上、时域上和空域上展开的，现分别叙述如下：

1. 能 量

雷达与干扰机在能量上的斗争，有利的方面是主要的。因为雷达在空域上是窄波束、在时域上是脉冲制、在频域上与接收机通带相匹配、在功率上受体积重量的限制比干扰机小（尤其是地面和舰用雷达）。但是雷达信号是双程的，其强度与距离的四次方成反比，而干扰的信号是单程的，其强度与距离的二次方成反比，这是对雷达不利的一面。因此只要充分利用雷达的有利条件，是可能战胜干扰的。目前在能量上抗干扰的措施，称之为“烧穿”（burn through），即在干扰机方向上停留较长的时间。但由于这会降低雷达的数据率，因此不能把它做为抗干扰的主要手段，它只适用于允许数据率较低的情况。

2. 频 域

雷达与干扰机在频域上的斗争，包括：频率捷变、频率分集、高频段雷达及多频段雷达等。

频率捷变雷达是一项重要的抗干扰措施，受到各国的普遍重视，它主要用于抗瞄准式噪声干扰，或迫使干扰机采用阻塞式干扰。在捷变频雷达中，有的还附有干扰频谱分析器和控制装置，它是利用频谱分析器寻找干扰能量最小的频率，然后控制发射机工作在此频率上，直到受到新的严重干扰时，才更换新的工作频率。

捷变频虽然在抗有源噪声干扰上有明显的效果，但对无源干扰却无能为力，因为无源干扰物对频率捷变敏感性很差。众所周知，抗无源干扰最好的体制是MTI、MTD、PD。因此，如果能把两者结合起来，将是相当理想的抗有源干扰及抗无源干扰的最佳体制，于是提出了所谓捷变频与动显兼容的问题。对这样一个课题，国外投入了相当大的力量进行研制，但由于确实存在一些困难，至今进展不大。而目前所谓的“兼容”，只有两种方案得到了实际应用。一种是脉组捷变与动显“兼容”，它是在同一频率上连续发射一组脉冲，然后再改变发射频率，而动显处理则在这组脉冲内进行。另一种“兼容”方案称为同频处理（交叉跳频），它是发射一串具有几种频率（保持相邻脉冲间频率不同）的脉冲，然后在这串回波中，选择频率相同的脉冲进行动显处理。但这两种方案只适用于主振放大式发射机，而且显然都不是真正的频率捷变，故抗有源干扰的能力将会受到影响。还有一种“兼容”方案实际是“并存”，即在有源干扰严重时雷达工作在捷变频状态，而在无源干扰严重时则工作在动显状态。

一般来说，频率较高的雷达比频率较低的雷达不易遭受干扰。这是因为频率较高时可工作的带宽较大，因而迫使干扰机必须把有限的干扰功率，分散在较大的频率范围内，故而降低了干扰效果。如雷达频带为中心频率的5%，则对中心频率为100MHz时带宽只有5MHz，而对中心频率为100GHz来说，带宽就是5GHz。其次工作频率越高，天

线的波束越窄,发射脉冲也可以做得很窄,因此可以获得极高的分辨力和极小的信息单元。而且频率较高时,天线增益较高,而旁瓣较低,这些都明显地有利于抗干扰。此外,当雷达率先发展到一个新频段,而干扰设备尚未占领这个频段时就无法实施干扰。

目前,世界各国雷达装备所使用的频段,从几兆赫到几十千兆赫,比较密集的频段是100兆赫到15000兆赫。在这个区间还存在不少空隙未被利用,而15GHz至30GHz基本上还是空白区。因此,今后雷达对抗中争夺电子频段的斗争还有广阔的领域。

最近几年,由于毫米波技术取得了新的进展,毫米波技术及其应用受到了高度重视。毫米波雷达具有分辨率高、抗干扰性能强、窄波束、低旁瓣、高定向性以及极窄脉冲宽度等特点,使电子对抗设备难以截获、监视和干扰。在毫米波频率高端,由于大气衰减较大,因而也限制了远距离监视或干扰技术的应用,为毫米波雷达秘密而隐蔽地工作,提供了安全可靠的保证。更由于各种抗干扰技术,如:脉冲压缩技术、频谱扩展相干技术、频率捷变技术及频率分集技术等,在毫米波技术中的应用,使得毫米波雷达的抗干扰能力大大提高,再加上毫米波频带宽,要模拟产生一个宽带干扰信号,在技术上还有一定的困难。在微波波段上行之有效的一些干扰技术,如:箔条、雷达欺骗等,由于物理效应的改变,而不能按比例向更高频率上换算,故不再能发挥其干扰的有效性。而且目前在电子侦察与有源干扰设备方面,突破毫米波段还处于计划阶段。

3. 时 域

大时宽带宽信号及内部结构比较复杂的信号形式,不但有利于抗无源干扰,同样在抗有源干扰中也具有较好的抗干扰特性。

脉冲压缩技术,虽然也能迫使干扰机把干扰功率分散在较宽的频带上,但很少把脉冲压缩技术,做为抗干扰技术而加以利用,总是把它做为解决作用距离与距离分辨力之间矛盾的一种手段。实际上,它迫使干扰机展宽频带的程度是有限的,只能说脉冲压缩技术对抗干扰具有积极的意义。

大时宽带宽信号除调频信号(如Chirp信号)、相位编码信号之外,还有脉冲串信号。串内子脉冲可以是恒定频率的,也可以是调频(连续或阶跃)的。子脉冲之间的相位关系,可以是恒定的也可以是变化的。子脉冲的位置关系也可以是变化的,甚至脉冲串的幅度也可以是加权的。因此脉冲串可以产生多种多样的信号模糊图,以适应目标环境的变化。如果L波段雷达,采用具有64个子脉冲的相参脉冲串,子脉冲宽度为8微秒,脉内线性调频宽度8兆赫,子脉冲间隔2微秒,子脉冲间步进频差4兆赫,则此信号总带宽为256兆赫,信号总长为640微秒,经数字匹配滤波器压缩后,宽度变为4.7毫微秒的极窄脉冲,子脉冲间还有相位编码,使最后旁瓣达-35dB。

大时宽带宽信号的产生和处理所用的器件,基本上有三种类型,其中表面声波器件具有体积小成本低的优点,故应用较多,其时宽带宽积可达 10^4 (最大带宽500兆赫,最大时宽150微秒)。数字电路则具有最大灵活性,最适用于自适应系统,但其实时处理的最大带宽只有60兆赫,最大时宽约为2毫秒。声光器件(Barrag器件)最大带宽可达150兆赫,最大时宽达几十毫秒,是目前实时处理的最高水平,而且可以同时进行二维(如距离和多卜勒频移)处理。

对付回答式欺骗干扰，主要是靠提高雷达的识别能力，来寻找目标回波与干扰信号之间的差别，发现并抑制干扰。如：距离牵引干扰信号，在时间上往往落后于目标回波，在幅度上则大于回波。速度牵引干扰，通常要比目标运动速度高且有加速度。总的来说，回答式欺骗干扰一般比噪声干扰容易对付，尤其是一个完全有准备的雷达更是如此。对付欺骗干扰的一个有效办法，就是采用难以复制的波形，或者是采用某种方式，使敌人难以测出脉冲重复频率、波长、脉宽、脉内调制、脉码和极化等参数。这样，欺骗干扰的假回波即会很容易地被认出。同样，尽量减小天线旁瓣，也能防止欺骗干扰从旁瓣进入雷达。

4. 空 域

在很多情况下，侦察接收机往往是利用雷达天线的旁瓣截获雷达信号，而干扰信号也常利用旁瓣进入雷达接收机。因此，无论是从反侦察还是抗干扰出发，都必须尽量降低天线的旁瓣电平。

在这方面的的工作，近年来已有很大的进展。抛物面天线的旁瓣电平，在正式产品中已达到 -27dB。理论分析指出，如果用偏馈、边缘低照射、短焦距和降低反射面加工误差等项综合措施，可将旁瓣电平降低至 -35dB 以下。阵列波导天线，经过精确地控制每一个辐射元的激励幅度和相位之后，可以使旁瓣电平大大降低。如美国预警飞机 E-3A (AWACS) 上的雷达 AN/APY-1，其天线旁瓣电平已降到 -40dB 以下。但是，为了对付强有源干扰（有的干扰机有效功率可达兆瓦级），要求雷达天线的旁瓣，由现有的水平再降低几个数量级，才能满足要求，这就必须采用“旁瓣对消技术”。

早期的旁瓣对消技术，是采用接收机检波后的视频对消法。近十多年来，发展了一种自适应天线技术（早在50年代末期就已开始研制）。这种天线的主要优点，是能够自动地将旁瓣零值对准干扰源，因而可以有效地抑制干扰。如果干扰源在主瓣内，还可采用零点控制技术来清除干扰的影响。

自适应天线技术可用图-2加以说明。

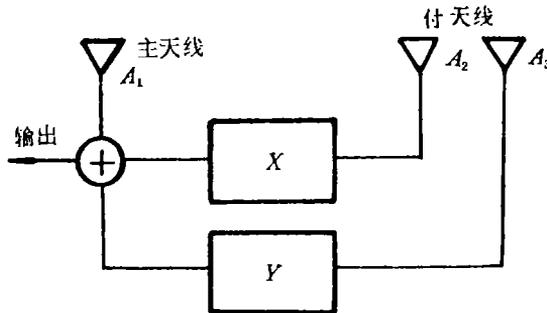


图-2 自适应天线技术原理方块图

令 G_{ij} 表示天线 A_i 在干扰源 j 方向的增益，适当调节 X 、 Y 值，可使干扰信号在输出端完全对消，即：

对干扰源 1，则有

$$G_{11} + XG_{21} + YG_{31} = 0$$

对干扰源 2, 则有

$$G_{12} + XG_{22} + YG_{32} = 0$$

联立可得:

$$X = \frac{G_{31}G_{12} - G_{11}G_{32}}{G_{21}G_{32} - G_{31}G_{22}}$$

$$Y = \frac{G_{11}G_{22} - G_{12}G_{21}}{G_{21}G_{32} - G_{31}G_{22}}$$

若干扰源数增多, 则只要相应增加付天线数, 仍可使各干扰在输出端对消。显然, 在相控阵雷达中, 只要适当地组合各天线元, 即可对付多个干扰源。这种技术在美国新设计的相控阵雷达中已有应用。

实验证明, 这种对消技术可使连续波干扰降低约 40dB, 使窄带噪声干扰降低约 30dB, 使宽带噪声干扰降低约 20dB。如法国的 LP-23K 两座标雷达, 为了尽量减小地物干扰, 除了采用 DMTI 以及空中交通管制雷达通常使用的双波束天线技术之外, 还采用了高频对消电路, 如图-3 所示。当衰减与移相器调整适当时, 可使合成波束的零点指向地

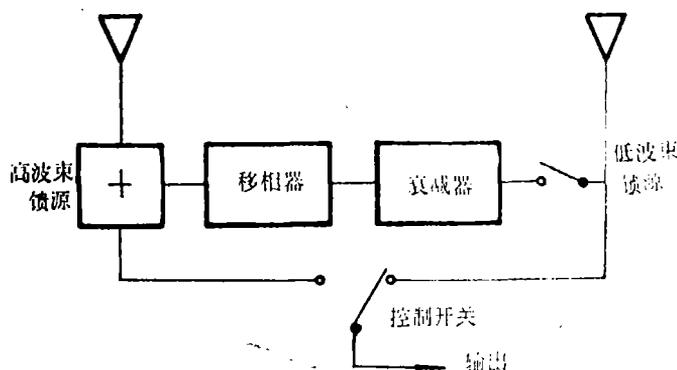


图-3 高频对消电路

物干扰, 从而使地物干扰降低约 13dB。

当干扰源与目标同处于天线主瓣以内, 但有一定的角度间隔时, 可利用单脉冲产生差波束的方法和以上原理, 产生一个波束零点对准干扰机, 而使主瓣接收到的信干比大大增加。如英国的 Plessey 公司的研究成果表明: 当干扰与目标角度间隔为 0.1 波束宽度时, 预计信干比可改善 35dB。同时该公司还采用了数字式对消系统, 使自适应速率达到 1.8 微秒。

不久前, M.I. Skolnik 在一篇文章中指出, 雷达技术还远没有成熟, 它正在新的功能和新的应用的要求下, 不断发展着。同时还指出了雷达技术的某些发展领域, 现将与雷达抗干扰技术有关的若干方面归纳如下:

(1) 随着超大规模 (VLSI) 及超高速集成电路 (VHSI) 的发展和应用, 相控阵技术将会推广应用于各种战术雷达和民用雷达之中, 因而将会使自适应天线技术 (空间滤

波技术), 成为强有力的抗干扰手段而得到较大的发展。

由于 VLSI 与 VHSI 的应用, 也将会使各种最佳处理技术的实现和新理论(如最大熵谱估计法)在雷达中的应用成为可能, 因而可以进一步挖掘雷达抑制干扰的潜力。同时, 由于雷达新信号形式和处理技术的进一步发展, 也将会使雷达区分和识别目标的能力大大提高。

(2) 随着集成电路、计算技术和半导体微波功率器件的迅速发展, 将使复杂的大时宽带宽信号的产生和相关处理成为可能。同时由于这些器件的发展, 将会使设备的体积、重量得到大幅度的减小, 因而战术雷达的机动性能将会得到大大的提高, 并可能在战术雷达中应用较完善的抗干扰措施。所有这些都将增加敌方对雷达侦察、识别和定位上的困难, 因而难于实施及时和有效的干扰。

(3) 由于材料和工艺以及设计上的进展, 将会使超低旁瓣天线广泛应用于各种雷达之中, 从而大大提高空间滤波的能力。

(4) 双(多)基地雷达将进入实用阶段。若再与捷变频雷达相结合, 将会在空域与频域两方面大大降低干扰效果。

(8) 将在目前干扰频率分析和发射频率自动选择装置(AFS)的基础上, 发展成为具有干扰识别和对策判决能力的自动侦察与计算装置, 自适应地合理的组合雷达各种抗干扰技术, 以达到最佳的抗干扰效果。

(6) 雷达网将会更加完善, 使设想中的雷达群合作抗干扰的工作方式, 发挥更大的作用。

四、关于发展雷达抗干扰技术的几点看法

雷达干扰与抗干扰, 是一场永无休止的战争。有人形容这种斗争是“战时——突然而激烈, 平时——隐蔽而持久。”因此, 在雷达干扰与抗干扰领域中, 新技术、新体制是层出不穷的。但对技术差距较大的发展中国家来说, 是对别人的抗干扰技术作简单的亦步亦趋地模仿, 还是结合本国实际情况, 搞出具有本国特色的雷达抗干扰技术, 是个值得讨论的问题。可以预料, 简单的亦步亦趋地模仿, 可能难以收到良好的效果。尤其是发展中国家的技术差距主要还不在于理论上, 而是在器件、材料和工艺上。因此, 必须根据本国的实际情况, 选择若干重点予以突破, 用有限的经费达到较高的抗干扰效果。但重点应该如何选, 美国国防部在一份内部报告中透露他们的观点是: “对雷达的抗干扰能力, 主要应着眼于能挫败敌人简单的、常用的干扰手段这一基本的核心要求。”这是值得这些国家借鉴的。在未来战争中, 发展中的国家可能依然处于敌强我弱的形势, 仍要依靠人的觉悟、勇敢、知识和能力, 以及巧妙灵活的战术取胜。因此, 对发展中的国家来说, 今后应着重发展成本低、机动性强的雷达。雷达抗干扰措施也要从这个基点出发, 不宜搞过于复杂、过于庞大和难于使用、维护的装置。由于发展中国家的防空作战能力有限, 大型和固定式的雷达生存能力是很低的, 所以这种雷达不应成为这些国家的发展重点。

另外, 改造旧雷达, 在美国也是一项经常进行的工作, 对于发展中国家来说, 就显得更加突出了。旧雷达的突出矛盾是低空性能较差, 抗有源干扰的能力很低。

《孙子·计篇》有云：“攻其无备、出其不意”。《孙子·势篇》也有云：“凡战者，以正合，以奇胜。故善出奇者，无穷如天地，不竭如江河”。这两段的意思都是指以敌人意想不到的策略来取胜。这种策略在雷达抗干扰中是至关重要的，这就是为什么电子对抗技术的研究，经常处于绝密状态下进行的原因。使用的技术本身，可能并不先进和复杂，但它是敌人没有意料到的，就会在战争中起到很大的作用。例如1973年第四次中东战争中，埃及突然使用具有连续波制导信号的SA-6导弹。使用这种制导信号形式，是以色列和美国没有意料到的。由于没有相应的侦察和干扰措施的准备，因而在战争中遭到了惨重损失。而在1982年贝卡谷地之战，叙利亚仍使用SA-6导弹做为主要防空火力。尽管当时SA-6仍不失为较先进的武器，但由于已被以色列所熟知，因而失去了“出其不意”和“出奇制胜”的作用，故在战争中并没有起到任何作用而惨遭摧毁。“出奇制胜”的策略，对技术上仍处于暂时落后的发展中国家来说，具有特殊重要的意义。

随着雷达技术的不断发展，特别是电子计算机和信号处理技术在雷达中的应用，使雷达的性能发生了深刻的变化，尤其是抗干扰能力得到了显著的提高。但是设想把所有抗干扰措施，都集中在一部雷达上是不现实的，也是不策略的，其复杂程度更是难以接受的。采用多种雷达甚至多种探测手段组成的雷达网，将会使这种防空系统产生质的变化，而不只是多部雷达的简单集合。雷达网要作为一个整体进行统一指挥；统一研究各种体制、功用、频段和抗干扰能力的雷达，和其它探测手段的布局以及互相支援问题；统一设计反侦察、抗干扰以及火力消灭干扰源的战术运用问题；统一安排情报、数据的传递和利用问题。由单部雷达抗干扰到雷达网抗干扰，是雷达抗干扰发展的一个新阶段，对此应给以充分的重视。

从以上讨论可以看出，对于发展中国家来说，磁控管发射机的雷达具有突出重要的作用，它不但成本较低而且还可大大提高雷达的机动性能。因此如何提高磁控管雷达的性能指标，就显得十分重要和迫切。

提高电子对抗能力，已经成为提高军队在现代条件下的自卫能力的重要内容。特别是雷达抗干扰的水平和效率，是军队生存和武器自卫能力的基本条件之一。因此，发展中国家必须既要面对本国的现实，又要密切注视世界电子对抗技术的发展趋势，以清醒的头脑对付新技术的挑战，努力发展适合本国国情的雷达抗干扰技术。

参 考 文 献

- [1] 西北电讯工程学院，电子抗干扰原理（下），国防工业出版社 1982.1.
- [2] Airborne Self Protection Jamming—ASPJ/ALQ-165, 1982 Military Microwave Conference Proceedings PP.389—399.
- [3] 张锡熊，雷达抗干扰原理，科学出版社，1981.
- [4] 邵能歌，从抗干扰角度看雷达技术的进展，电子战动态（十），1981.5
- [5] Introduction to Radar Systems, M.I.Skolnik, Mc Graw—Hill, Inc, 1980.
- [6] Adaptive interference Cancellation in radar Systems, J.G.Fielding, Radar-77.
- [7] Radar—a Mature Art or a Continually Developing Technology. M.I.Skolnik, Microwave J. Vol.26-No.7, July 1983.

Developing Trend of The Active-Jamming Anti-Active-Jamming for Radar

Liu Shusheng

Abstract

This article describes the developing trend of the active jamming and anti-active-jamming techniques for radar, and it states some views of the developing direction of the radar anti-jamming techniques for developing countries.