

美国军队电磁频谱作战能力发展趋势

孟凡松¹, 陈俊^{1*}, 徐芳²

1. 国防科技大学信息通信学院, 武汉 430010

2. 国防科技大学国际关系学院, 南京 210039

摘要 为继续维持在电磁频谱领域内的优势, 美国军队正大力加强电磁频谱作战能力的发展。从频率捷变技术、聚能技术和自适应技术3个方面, 介绍了其关键技术研发重点; 围绕小型化、网络化、认知控制和水下平台投放4个方面, 分析了其装备建设方向; 针对情报侦察、部队机动和空中突袭3个不同作战阶段, 阐述了其未来实战中的战法运用特点。

关键词 美国军队; 电磁频谱作战; 军事技术

近年来, 随着军用雷达、通信、测距等业务用频不断拓展, 电磁频谱空间已成为对抗双方争夺的重点, 并逐渐发展为继陆、海、空、天、网之后的第六作战域。为继续维持在电磁频谱领域内的优势, 美国军队于2016年正式提出了“联合电磁频谱作战”概念。目前, 美国军队正基于自身在科学技术和武器装备上的优势, 并针对潜在对手用频武器装备及其运用特点, 采取多种措施, 加速推进其电磁频谱作战能力发展。

1 美国军队电磁频谱作战关键技术的发展趋势

为将联合电磁频谱作战从抽象的概念转化为

具体的实战能力, 美国军队正着眼“提升频率利用效率、迅速适应不断变化的电磁环境”, 以“频率捷变技术、聚能技术和自适应技术^[1]”等为重点, 致力于电磁频谱技术的创新和开发应用。

1.1 重点发展频率捷变技术, 确保电磁频谱共享能力和对抗优势

美国军队认为, 未来的电磁频谱作战系统应该能够适时按需改变频率、波束方向、模式、功率级别和时间设置, 能在空域、时域和更大的频域范围进行机动, 从而确保不被探测, 并能瞄准对方网络且同时规避其对抗措施。但随着新型移动通信和感知技术的广泛应用, 电磁频谱空间正变得日益拥塞, 从而导致在传统频段内的频率调整空间不断减少。为此, 美国军队正计划在整合现有电磁频谱作

收稿日期: 2019-06-20; 修回日期: 2019-10-28

基金项目: 国防科技大学科研计划项目(ZS17-03-23)

作者简介: 孟凡松, 副教授, 研究方向为科技情报, 电子信箱: mengfansong17@nudt.edu.cn; 陈俊(通信作者), 副教授, 研究方向为科技情报, 电子信箱: chenjun201912@163.com

引用格式: 孟凡松, 陈俊, 徐芳. 美国军队电磁频谱作战能力发展趋势[J]. 科技导报, 2020, 38(23): 17-22; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.23.002

战系统已具备的改变波束大小、形状和方向等相关功能的基础上,将电磁频谱红外频段捷变技术作为未来的发展重点,以进一步提高美国军队频谱共享的能力,增加对方发现、干扰、诱骗或攻击的难度,从而确保美国军队在对抗中的优势地位^[1]。同时,美国国防部正着手在F-22战斗机的APG-77型雷达和F-35战斗机的APG-81型雷达上,部署基于有源电扫阵列技术的射频系统。该有源电扫阵列系统由可扩展的阵列组成,其中包含成百数千个可自动控制的小型收发模块,可为有源和无源系统提供较高增益,有效提升了系统的捷变性和灵敏度。下一步,美国军队拟在E/A-18G“咆哮者”电子攻击机和SLQ-32舰载电子战系统等更多平台上部署这一系统^[2]。

1.2 着手研发多设备聚能技术,增强电磁频谱作战系统干扰功率

美国军队联合电磁频谱作战概念指出,在未来作战中,由于功率集成的缺陷,很可能出现即使多个小型设备在近距离内,其干扰功率仍不足以欺骗或致盲对方防空雷达的问题。因此,美国军队正尝试通过发展多干扰设备聚能技术,将多个可消耗武器发出的干扰信号集成为单一的合成干扰波束,以有效增强小型武器干扰功率,达到大型电子战系统的作战效果。增强后的高功率微波干扰信号,能够诱导电压或电流超出对方武器平台关键电子线路的容量,以扰乱、破坏目标系统中某一电子元件,甚至达到诱发对方传感器、计算机网络发出杂散信号,扰乱其系统运行或使其产生错误连接等效果。目前,美国海军已制定了“低成本无人机集群技术”计划,着手聚能式干扰技术研发。其他相关项目还包括美国国防高级研究计划局的“相干传输回溯天线阵研究”项目,针对目前的处理器和信号发生器通常只能控制一个任务系统的问题,研发能够同时作用于多个系统的多功能控制器^[3]。

1.3 集成部署作战自适应技术,拓展电磁频谱作战系统感知决策能力

美国军队认为,电磁频谱系统能力的充分发挥,在很大程度上取决于其自适应能力。然而,目

前的电磁频谱作战系统尚未完全具备这一能力,通常不能识别或对抗不在其威胁库中的新型威胁,无法快速转换管理功能。此外,在较大频率范围中,评估电磁频谱探测威胁和发现对方薄弱环节的能力存在明显不足。随着近10年美国军队自适应技术发展渐趋成熟,尽快将其集成到新型电磁频谱作战系统中将是解决上述问题的重要途径。未来,自适应电磁频谱作战系统可运用频谱感知能力,根据指挥官意图进行行动决策。该系统的功能将不仅限于针对对方雷达发射干扰信号,或将电台频率转换至非竞争频段,而且可根据威胁目标的特性、地点和运行情况对其进行识别,并根据目标在当前电磁频谱环境下对己方部队实施探测和反制措施的概率决定攻击目标,同时使用建模和模拟技术,对己方相关行动方案进行分析。自适应电磁频谱作战控制系统还可运用频谱感知能力,评估上述系统对电磁环境和对方电磁频谱作战行动造成的影响^[1-2]。

2 美国军队电磁频谱作战装备建设的发展趋势

基于现有技术优势,针对未来电磁频谱作战环境和潜在对手用频武器装备性能及其运用特点,美国军队近年来不断加大投入,以“小型化、网络化、多平台和认知控制”^[3]为重点,加速推进电磁频谱装备的研发、部署及实战运用。

2.1 发展小型武器装备,强化电磁频谱作战系统抵近干扰能力

美国军队认为,未来作战中“齐射对抗”^[4]的升级,可能导致可用的精确制导武器库存迅速减少。因此,美国军队正谋求通过小型化电磁频谱作战武器装备,利用其雷达特征不明显的优势,抵近对方目标实施近距齐射打击或干扰,减少大型攻击武器消耗。在足够近的距离,小型干扰平台甚至能够获得远距离大功率电子战平台相同的作战效能。例如,一部距离目标雷达2 km、功率为2 W的干扰机可与距离目标雷达100 km、功率为1 kW的干扰机

实现同样的干扰效果。目前,美国军队虽已将小型电磁阵列配备于拖曳式诱饵、微型空射诱饵、F-22战斗机、F-35战斗机和自卫式干扰器,但这些阵列成本相对较高,且尚未实现商品化,无法进行大型电磁频谱作战所需的批量生产。因此,美国军队正计划抓紧建设比现有作战系统体积更小、成本更低的电磁频谱作战系统,并将这类小尺寸、低成本、高隐匿和超灵活的作战实体命名为“可消耗武器”,主要包括小型导弹、巡飞弹和电子战无人机,如美国陆军的“弹簧刀”(switchblade)自杀式精确制导导弹、美国海军的“郊狼”(coyote)小型无人机以及诺克希德·马丁公司开发的“火影”巡飞弹等^[1,4]。

2.2 突破装备组网瓶颈,促进传感器数据实时共享与行动协调

美国军队认为,在传感器和反制手段之间,以及在分散部署的武器系统和指挥控制中心之间需要建立有效的网络。通过组网,各设备可实现传感数据共享,还可共享电磁频谱作战方案,明确各设备执行的具体任务及其相应的部署位置,并能够使用低截获概率和低探测概率数据链,与相邻的电磁频谱作战系统进行通信并协调行动,从而实现电磁频谱作战行动的网络化。为达成这一目标,美国军队目前正寻求2个方面的突破。一是能够管理和协调分布式作战行动的控制系统。美国国防部和相关各界正在开发多个项目,对分散部署的电磁频谱作战系统实施指挥控制,包括美国海军研究办公室(ONR)的“复仇女神”项目和“联合反遥控简易爆炸装置电子战系统”项目。二是能够在对抗区域内为己方军队之间建立安全可靠的低可拦截和低可探测概率数据链。当前,美国军队相关技术已相对成熟,并已研发和部署了数个高带宽低可拦截/低可探测数据链,例如F-35战斗机的多功能先进数据链、F-22战斗机的机间数据链以及E-2D预警机的战术瞄准网络技术。鉴于缺乏统一的标准是目前阻碍这些数据链进一步推广的瓶颈,美国国防部正计划为系统研发者提供普遍适用的数据链标准,使新型电磁频谱作战概念能够付诸实施,同时避免由于新型数据链的应用而增加美国军队通信协同的困难^[3]。

2.3 研发认知控制系统,提升电磁频谱作战平台的自动化水平

在低功率发射条件下,干扰信号很有可能被高功率雷达和对方干扰信号淹没。而在使用多个小型武器平台实施聚能干扰时,必须实时感知电磁频谱环境,有效规避干扰,才能实现精准发射。为此,美国军队正试图在小型干扰平台上嵌入认知控制系统,对感知的电磁态势进行分析与预测,以及时发现、识别及分类潜在目标,确定最佳战位、波形、波束形状,避免对方侦察定位,同时配合其他作战平台的探测、干扰和制导等行动,重点打击对方传感器及通信设施等目标,实现预期的电磁频谱作战效能。目前,美国国防高级研究计划局正在同时推进多个此类系统的研发,包括“自适应雷达对抗”和“自适应电子战行为学习”及“集成系统一体化技术与试验”等项目,旨在使小型干扰平台能够自动评估电磁频谱环境,快速制定并测试不同脉冲下的对抗措施,采取有效方案对抗对方灵敏雷达和干扰机^[5-6]。

2.4 开发水下投放平台,提高消耗性武器投放的隐蔽性

美国军队认为,消耗性武器由于自身体积和航程的限制,如何有效并迅速投放是亟待解决的关键问题。与空中平台相比而言,水下平台载荷更大,而且可隐蔽接近对方海岸线及目标,因而是更为有效的投放平台。虽然美国军队越来越依赖潜艇实施监视与瞄准、水面战、反潜战以及近岸进攻作战,但传统潜艇因其在潜航速度、自卫能力以及态势感知能力等方面存在的局限性,在实施投放时容易暴露行踪,遭遇对手反潜压制。为降低载人潜艇的风险,美国海军目前正在积极发展大型无人水下航器,用于执行消耗性武器投放任务,以支持联合部队的监视、瞄准、干扰、诱骗、通信或打击行动。无人潜航器造价成本比载人潜艇低得多,在遭受敌蓄意干扰压制或鱼雷以及深水炸弹攻击时无需逃离。目前,美国海军正致力研发的“波音回声旅行者”大型无人潜航器,可根据其有效载重舱大小挂载3~6枚UGM-109战斧导弹、UGM-84鱼叉导弹或远程反舰导弹^[4,7]。

3 美国军队电磁频谱作战战法运用的发展趋势

美国军队联合电磁频谱作战理论强调在不同作战阶段,必须根据战场形势和变化规律,灵活运用不同战法,以充分发挥电磁频谱作战武器平台的效能,配合其他作战行动,将“电磁赋能”的思想贯彻于作战行动的各个环节,最终以较小代价赢得“灰色地带冲突”的胜利。

3.1 情报侦察阶段,活用信号探测方式,获取广域战场态势

美国军队联合电磁频谱作战概念下的情报侦察,充分利用如图 1^[3]所示的有源无源探测平台和新型探测手段,以更加高效和隐蔽的方式,感知作战对象,确定对方目标类型与位置,为后续打击提供指引。



图1 无源和多基地探测概念

一是分布式无源探测。首先,针对对方防区范围,从多个方位分散部署各类有人或无人平台。为减少暴露,这些平台本身不发射电磁信号,而是利用装备的无源探测设备,以被动的方式获取对方电磁活动信号,特别是射频及红外信号。不同方向的无源探测平台接收到这些信号后,借助三角定位或多普勒频移等方法进行分析,确定目标位置、速度、类型等信息。多基地探测平台的组网连用,能够弥补单一平台视野和精度局限,从多来源综合分析目标电磁辐射信号特征,进一步去粗取精、去伪存真^[4]。

二是多平台协同探测。与分布式无源探测类似,多平台协同探测也需要在多个方向部署大量探

测平台。但有别于前者仅接收信号而不发射信号,多平台协同探测需要一个平台首先向可疑目标发射特定的射频或红外电磁能。辐射能量抵达目标后,会从多个方向反射,并被多点分布的无源探测平台所接收。由于这个信号的特征及辐射源位置已知,因此很容易从背景电磁环境中分辨出这个信号,并根据各平台信号接收的强度和时延等确定目标信息。考虑到发射信号的平台很可能被对方进行反探测和定位,一般采用成本不高的无人电子战平台^[4]。

三是低截获有源探测。尽管多平台无源探测精度近年来得以提升,但与有源探测相比仍有一定差距。鉴于目前被动雷达探测波段集中于微波以下,激光探测是以低截获概率/低探测概率(LPI/LPD)实现高精度探测的有效方法。与雷达类似,激光探测设备发射激光信号扫描目标区域,遇到目标后形成“回波”,被激光传感器接收,并对回波进行分析,进而确定目标的位置、类型等信息。在工作方式上,激光探测既能独立运行(激光发射器与接收器在同一平台),也可以分开运行(激光发射器与接收器分离)。与雷达相比,激光探测发射的波束没有旁瓣特性,因而聚焦性更好,能够通过精确调整功率实现最大效能,其精度甚至比雷达更高^[4]。

3.2 部队机动阶段,重视无人平台运用,加强对敌欺骗伪装

美国军队认为,在组织兵力进入作战地域的过程中,可以预见部队将会面临对方海上、空中各类有源或无源探测设备的侦察。为防止暴露行踪,需要采用电磁频谱作战手段,干扰对方探测设备,或制造假目标进行电子欺骗。但传统大型空中电子战平台造价昂贵且尺寸较大,使用风险过高,难以在对方区域拒止范围内秘密抵近实施干扰。因此,美国军队强调使用易于大量投放和使用的小型低功率无人电子战平台,利用其雷达特征不明显的优势,实施聚能式干扰,以降低对方接收传感器灵敏度,或利用低功率激光设备,迷惑对方光电/红外传感器^[8]。

这些无人平台借助 LPI/LPD 通信形成地理上广域分布的电磁频谱作战网络,利用认知控制技术,自适应电磁频谱环境,以最大效能实施对方干扰与欺骗。在实施欺骗时,无人平台释放带有美国军队典型武器装备特征的无线电信号,吸引对方注意力,从而把对方传感器诱骗至美国军队主力部队行动路线以外区域。

同时,主力部队采取电磁频谱管制策略,限制或禁止使用无线电发射设备和辐射无线电波的非用频设备,对无线电波的发射、辐射和传播实施强制管理,严格控制电磁环境。另一方面,利用舰船和无人水下潜艇携带的低功率电磁频谱作战平台发射电磁波进行遮蔽和伪装,掩护主力部队机动。这样通过干扰欺骗、伪装遮蔽和辐射控制,为对方呈现虚假的战场态势,而真正的主力部队在掩护之下,按预定计划向对方区域拒止范围机动^[4]。

3.3 空中突袭阶段,防区内外多法并举,致盲对方防空系统

美国军队认为,对手防空系统守护着重要价值目标,是空袭阶段作战的重点与难点。而随着有源、无源雷达性能持续提升及集成程度不断提高,对手一体化防空系统能力已实现了质的飞跃,传统的防空压制方式已难以在齐射规模上与对方防空系统进行对抗。因此,美国军队正一方面大力发展新型高功率电磁能武器以提升远距离防区外干扰能力,另一方面正不断加强小型电磁频谱作战平台在防区内的运用。

在防区外,美国军队强调运用高功率电磁能武器对目标区域进行打击,破坏对方防空系统各类探测设备和通信系统,致盲对方情报侦察网络,切断防空阵地间的联系,为后续空中打击奠定基础(图 2^[3])。美国国防部当前正加紧研发和部署带有高功率微波弹头的巡航导弹。这种导弹可从防区外发射,攻击任何基于电子设备的“反介入/区域拒止”系统。

在防区内,充分利用小型电磁频谱作战平台优势,通过隐身飞机、潜艇,甚至水下无人装置,抵近目标区域,投放大量可消耗的无人干扰机或诱饵,在防区内干扰破坏对方防空系统。这些小型平台



图 2 美国军队在对抗区域实施打击行动的新方式

以协调组网方式,同时对多个目标实施干扰,或者对对方防空系统生成虚假目标,掩盖真实意图,以有效制约防空雷达探测性能,降低防空导弹命中概率,从而削弱对方防空系统齐射对抗能力(图 3)。对于火控雷达这样的高价值目标,一般只有在临战时才会开机并辐射电磁信号。因此,需要利用诱饵辐射信号触发这类设备开机,然后再对其进行定位,从而为美国军队反辐射制导武器打击提供可能^[4]。

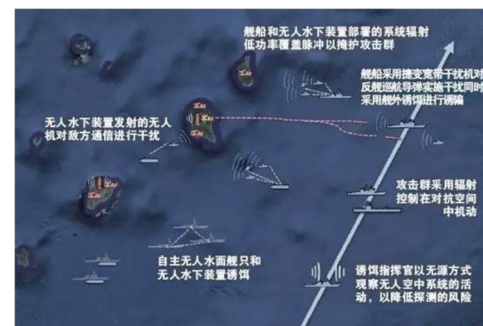


图 3 利用联网的诱饵和低功率实施传感器干扰^[3]

4 结论

为加速推进电磁频谱作战能力正式走向实战运用,实现以较小代价赢得“灰色地带冲突”胜利的目标,美国军队正大力投入电磁频率技术的开发应用,加紧推进电磁频谱作战装备建设,并强调战法运用的论证。总体上看,其技术发展主要以频谱捷变技术、聚能技术和自适应技术为重点,装备建设主要致力于小型化、网络化、认知控制和多平台等方向,而在战法上则强调在不同作战阶段,根据战场形势和变化规律灵活运用,以充分发挥电磁频谱作战效能,使能其他作战行动。

参考文献(References)

- [1] 胡向春. 打造电磁频谱战新技术和新能力[J]. 防务视点, 2016(5): 9-11.
- [2] 杨超, 刘国亮. “低-零功率电磁频谱战”能力需求与作战模式[J]. 舰船电子工程, 2017, 37(3): 145-147.
- [3] Byran C, Mark G. Winning the airwaves: Regaining America's dominance in the electromagnetic spectrum[R]. Washington D C: Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2015.
- [4] Byran C, Mark G, Jesses S. Winning in the gray zone: Using electromagnetic warfare to regain escalation dominance[R]. Washington D C: Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2017.
- [5] 贾鑫, 朱卫纲, 曲卫, 等. 认知电子战概念及关键技术[J]. 装备学院学报, 2015, 26(4): 96-100.
- [6] 韩海艳, 杨任农, 吴军. 美军电磁频谱新战略及认知无线电应用研究[J]. 飞航导弹, 2014(10): 71-75.
- [7] 魏岳江, 严卫东. 夺取制电磁权——美军未来电子战装备简述[J]. 航空世界, 2014(7): 46-49.
- [8] Joint Chiefs of Staff. Joint Publication 6-01: Joint electromagnetic spectrum management operations[M]. Washington D C: US Joint Staff, 2012.

On the development trend of US military electromagnetic spectrum operations capability

MENG Fansong¹, CHEN Jun^{1*}, XU Fang²

1. College of Information and Communication, National University of Defense Technology, Wuhan 430010, China
2. College of International Studies, National University of Defense Technology, Nanjing 210039, China

Abstract In order to maintain superiority in the electromagnetic spectrum domain, the US military is vigorously developing its electromagnetic spectrum operational capability. The research and development focuses of key technologies are introduced in this article, with an emphasis on frequency spectrum agility technology, energy clustering technology and adaptive technology. The equipment construction direction is analyzed, targeting at miniature, networked, underwater-launched and cognitively controlled devices. Different features of operational methods are illustrated in terms of applications in different phases of future real combat, including intelligence reconnaissance, force maneuver and air attack included.

Keywords US military; electromagnetic spectrum operations; military technology ●



(责任编辑 傅雪)