

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.06.030

未来防空系统综合化对抗体系发展展望^{*}

张娅岚^{1,**}, 王 星²

(1. 中国民航飞行学院 计算机学院, 四川 广汉 618307; 2. 中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

摘 要:在介绍全球主要现役防空系统的基础上,结合网络通信、人工智能技术在军事装备中的逐步推广以及商用货架产品用于军事装备的特点,预测了未来防空系统的发展趋势,分析了基于联合组网和自动控制的智能化防空系统给目前广泛采用的基于信号层的压制和欺骗式雷达对抗所带来的挑战,针对未来防空系统的特点给出了综合化对抗体系发展的三个层面并建立了对应的应用模式。最后得出网络对抗、智能反辐射以及传统传感器电子对抗综合化是未来防空系统对抗体系主要发展方向的结论。

关键词:未来防空系统;对抗体系;综合化;应用模式

中图分类号:TN97 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)06-0823-08

Development Prospect of Integrated Electronic Countermeasure for Future Air Defense System

ZHANG Ya-lan¹, WANG Xing²

(1. School of Computer Science, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China;
2. Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract:The main active air defense systems in the world are introduced. On this base and according to the fact that network communication, artificial intelligent technology and commercial products are being used in military equipment step by step, the development trend of future air defense system is predicted and challenges to traditional electronic countermeasure (ECM), referring to the suppression of signal layer and radar deception, brought by intelligent air defense system based on joint networking and automatic control, are analyzed. Three levels about future integrated air defense system and the corresponding application modes are established. Finally, it is concluded that the integration of network countermeasure, intelligent anti-radiation and traditional sensor ECM is the main development trend of ECM system for the air defense system in the future.

Key words:future air defense system; electronic countermeasure system; integration; application mode

1 引 言

现役雷达对抗装备主要为针对雷达传感器的基于信号层的欺骗和压制式干扰机为主,由于雷达对抗装备在自海湾战争以来的各次战争中发挥了巨大作用,因此,各国在其未来防空系统建设中也非常重视雷达的抗干扰能力。随着有源相控阵技术、网络通信技术、移动通信技术和人工智能技术的不断发

展,各国也发现了上述技术应用于防空系统在面对干扰时对提升系统抗干扰能力的巨大作用,相继在现役以及未来防空系统发展路线图中逐步引入上述技术。

上述技术的引入将对雷达对抗装备发展带来新的挑战,下面将在以网络对网络、智能对智能的发展思路引导下,提出了未来雷达对抗体系的建设方法和技术发展路线。

^{*} 收稿日期:2012-11-28;修回日期:2013-04-01 Received date:2012-11-28;Revised date:2013-04-01
^{**} 通讯作者:zealous21@126.com Corresponding author: zealous21@126.com

2 现役防空体系简介

2.1 俄制防空体系

俄罗斯国土防空体系秉承前苏联防空思想中“以地制空”的概念,强调陆地平台的低成本,以 S300/S400 作为远程防空系统,以安泰 2500、“山毛榉”作为中远程防空系统和以道尔-M1 作为近程中低空防空系统,通过数据链或防空军战术互联网统一接受地面防空指挥中心的指挥,形成高低搭配、多空域、多层次覆盖的防空体系。原东欧国家、中国及中东多个国家防空体系从本质上均出自俄制防空体系。

俄制防空体系分为国土防空反导系统与陆军防空反导系统。前苏联国土面积广大,于 1958 年成立了专门负责国家防空的独立兵种——国土防空军,形成雷达兵和导弹防空兵等专业兵种和防空战斗机构成的立体国土防空系统。1998 年,国土防空军所属的防空集团军与战区所属的前线航空兵合并为空防集团军,担负俄罗斯各战区的防空任务。

俄罗斯国土防空反导系统主要有 S-300PMU1 (胜利 1)、S-300PMU2 (胜利 2) 和 S-400 (凯旋),主要负责俄罗斯的远程防空,拦截距离最大 200 km,均为分布式轮式车辆车载系统。S-300PMU1 以旅(团)为单位,由旅级指挥所、预警雷达(型号 64H6)和 6~12 个导弹营(火力单元)组成,单个导弹营可同时制导导弹 12 枚,最大拦截距离 150 km。S-300PMU2 则增强了雷达和导弹功能,在营级配置上增加了目标火控雷达,提高了火力单元的独立作战能力,杀伤距离扩展为 200 km。同样基于 S-300PMU1 开发的 S-400 增加了新型预警及目标指示雷达(型号 91H6E),具备摧毁电子战干扰机、侦察机、弹道导弹、高超声速目标以及其他现代先进空袭武器的能力,包含多个陆基、海基、空基和天基信息源接口,可满足空军、海军和陆军应用系统的专用需求^[1]。

俄罗斯陆军防空反导系统主要有 C-300B1、安泰 2500、“山毛榉”和道尔-M1,均为采用履带轻装甲车辆的高机动系统。C-300B1 地空反导系统主要用于方面军随军机动作战,车辆间采用车级无线通信。安泰 2500 号称世界上唯一既能有效对付射程 2 500 km 的弹道导弹,又能拦截各种飞机和巡航导弹的综合性防空武器系统,是一种机动式通用地空导弹系统,于 1998 年装备俄罗斯陆军。“山毛榉”防空系统担负 S-400 多层防空系统的中程防御任务,于 1995 年起在陆军服役,同时有国土防空型(装备

空军)与舰载型。道尔-M1 为全天候、机动式、垂直发射的单车自动化野战地空导弹武器系统,整个系统位于一台自动式履带装甲车上,能同时制导 2 枚导弹。

俄罗斯的防空反导系统一直在向站点无人值守与雷达组网发展。在 20 世纪 50 年代,俄罗斯的防空反导系统就实现了一定程度的无人值守。远程防空导弹 C-200 实现了反导弹拦截完全自动化;80 年代 A-135 系统的顿河-2H 雷达站已能全自动化工作。自动化的雷达通过通信网络将所得信息传输给中心指挥所并接受指令。俄罗斯现代防空系统已实现了雷达全线组网,包括预警雷达、搜索雷达和制导雷达在内的多种雷达通过通信网络将多个火力单元的信息汇总到指挥所,在导弹旅内形成网络。如莫斯科周围部署的 A-135 反弹道导弹系统就采用单基地雷达组网形式,由 7 部“鸡笼”远程警戒雷达、6 部“狗窝”远程目标精确跟踪/识别雷达和 13 部导弹阵地雷达组成。“鸡笼”雷达对目标进行远距离搜索探测后将信息传输给“狗窝”雷达;“狗窝”雷达则在目标进入导弹射击范围时进行精确跟踪和识别;导弹阵地雷达在发射导弹时开机工作^[2]。

2.2 美制防空体系

美制防空体系主要为攻击型防空体系,兼顾战术与战略防空,地面海面防空系统防备对象主要为敌方突防的弹道导弹、巡航导弹等进攻兵器,对敌方飞机主要利用绝对空中优势,使用己方战斗机完成对敌方主力战机的围剿,剩余小部分突防战机才交由海面、地面防空系统。因此,美制防空体系以空军战机作为主体,地面防空系统为辅助,主要作战对象明确。主要的地面海面防空系统有 THAAD、PAC-3 和 SAM-2/SAM-3,均以反导为最主要目的,与俄制防空体系有较大差别。鉴于美军防空体系以空军为主的特殊情况,所研究的防空体系在针对美军时主要指其地面、海面防空体系。北美、中国台湾、日韩均采用美制防空体系。

美国从 20 世纪 50 年代开始研发防空反导系统,经历了初期采用核弹头杀伤导弹战斗部、星球大战以及 NMD(国家导弹防御系统)等多个阶段的发展,确立了以 TMD(战区导弹防御系统)为重点的防空系统发展战略。美军防空反导系统主要分为陆军反导系统和海军反导系统。

陆军反导系统主要包括 THAAD(末段高空区域

防空系统)与 PAC-3(爱国者-3)。THAAD 是近年来美军反导系统发展的重点,主要完成中程防空任务^[1]。作为 TMD 结构框架的高层部,THAAD 由带 KKV(动能杀伤武器)的拦截导弹、TMD 地基制导雷达、发射车和 BM/C3I(作战管理/指挥控制通信和情报)系统组成,最大拦截距离 200 km,能在大气层内外拦截目标以防御来袭导弹的末段对抗。PAC-3 是陆军短距离低层弹道导弹拦截系统,采用 hit-to-kill(直接碰撞杀伤)技术在大气层内拦截飞行末段的近程弹道导弹以及巡航导弹。该系统由 PAC-3 拦截导弹、制导雷达(型号 AN/MPQ-53/65,C 频段相控阵雷达)、发射车、控制站和通信系统组成^[1]。

海军反导系统由 NAD(海军区域防御)系统和 NTW(海军全战区弹道导弹防御)系统组成,前者完成海军低层区域防御,后者完成高层区域防御。NAD 主要指舰载 BMD(宙斯盾弹道导弹防御)系统,由 SAM-2(标准-2)拦截导弹和宙斯盾系统(包括拦截距离 50 km 的 S 频段相控阵雷达、指挥决策系统和武器控制系统)组成,可拦截短程和中程弹道导弹和各种射程的巡航导弹。NTW 由 SAM-3(标准-3)拦截导弹和改进型的宙斯盾系统组成,在大气层外拦截中程和远程弹道导弹^[3],最大拦截距离可达 1 120 km。

美军一直强调制空权,因此将各类防空反导系统联合,以弥补单个防空反导系统位置、环境、探测器和武器性能的局限,综合集成各种防空作战资源,实现体系内各作战要素之间的信息共享,形成一个体系配套且多武器协同的网络化防空反导体系^[4-5],是美军现代防空系统的发展方向。陆军方面,除了 3 个 PAC-3 防空营通过组网将信息汇总到团级指挥控制中心实现信息共享与协同作战外,还利用 THAAD 导弹连和 PAC-3 导弹营协同作战形成分层末段弹道导弹防御体系,在美军特遣部队战术作战中心控制下组成 AMDTF(防空反导特遣部队),在战区面临弹道导弹威胁时保护部队和高价值目标^[6-7]。当 THAAD 系统的两次拦截不成功时向 PAC-3 系统发出警报,由后者进行第三次拦截。海军方面,作为网络中心战思想的提出者,美国海军通过 CEC(装备协同作战能力系统)将海军舰队的探测器联网,对位于不同地点的不同特征探测器完成数据和信息融合,产生的数据用于武器控制,供每个作战单元完成预警和制导作用。美国海军的 CEC 是目前最为成熟的网络化防空导弹系统,已向军队交付百余套。多层弹道导弹防御系统已成为美军的发

展重点,对不同射程弹道导弹在不同阶段使用不同的武器系统进行拦截。比如,对于射程 1 300 km 以内的中近程弹道导弹,在其助推段使用机载激光武器拦截,中段则利用海军 BMD 系统和陆军 THAAD 系统,末段使用陆军 PAC-3 系统进行拦截,通过多层次拦截确保防空系统保卫国土安全。

2.3 欧洲防空体系

欧洲防空体系基本上参考美军反导防空设计。由法国、德国、意大利 3 国联合发展的 SAMP-T 中程防空系统包括 Aster(紫苑)30 型防空导弹、导弹机动发射车、ARABEL 雷达车(包括 I 频段相控阵雷达和敌我识别雷达)和指挥控制车,探测距离为 100 km。Aster 是欧洲版的“SAM”系列导弹,是法国和意大利联合研制的舰(地)空导弹,是陆海通用型对空武器,并采用北约情报与数据共享的自动化防空指挥系统。

3 未来防空系统展望

目前各国防空系统的发展朝向系统网络化、无人值守、分布式、移动化以及低成本商用产品军用化的趋势非常明显。因此,对未来防空系统的发展趋势有以下展望。

(1) 无人值守的雷达站点和通信站点

早在 20 世纪 50 年代,俄罗斯就实现了雷达站点的无人值守,到后来碉堡式雷达站实现了全自动化工作。美国 NMD 系统的 IFICS 通信地面站也是无人值守模式。雷达站点和通信站点的无人值守化有利于传感器的布局更加灵活,可放置于前线非常危险且敏感的区域,一方面远离中枢控制系统,减少其成为敌方打击目标的可能性;另一方面即使站点受到打击所受损失也有限,可以实现“零伤亡”作战。

(2) 分布式节点

各雷达站点、通信站点、中枢控制系统均呈分布式,像俄罗斯国土防空和陆军防空均采用轮式车载式或履带车载式节点。分布式节点一方面具有很强的灵活性与机动性,能配合战术需要快速分布到重要位置,通过灵活机动的移动更好地实现战术配合,另一方面可以分散敌方的打击力量,在部分节点受到打击时仍可保持防空系统的基本功能。可预见未来防空系统会广泛采用具有高机动性的移动式分布节点。

(3) 移动的可重组的中枢控制系统

作为各节点信息汇总处理分发以及战术制定和

任务指派的核心,中枢控制系统的地位至关重要。为了有效防范敌方有针对性的破坏打击,中枢控制系统不能定置在某处成为固定目标,而应该随战场形式变化而实时改变位置,保持一定的隐蔽性。即使其他节点如雷达天线等受到攻击,也不会影响到中枢控制系统的指挥作战功能,从而保证防空任务的持续进行。更进一步,即使中枢系统遭到破坏,也能通过联网的节点迅速重组。比如美军旅(团)级的 C⁴ISR 系统通过数据链或通信网接收预警信息进行进一步处理,对各营(火力单元)进行目标分配和射击指挥。各火力单元相对独立,既可接受上一级或更高级别的指挥,又可独立作战。一旦中心指挥站损坏,可通过赋予其中任一营站以指挥权而迅速重组,继续执行整个系统的作战功能。通过中枢系统的移动性和可重组性形成一个分布式无绝对中心节点的防空网络作战系统。

(4) 各类节点间组网,利用宽带网络实现高速通信

未来防空系统内将会实现雷达全面组网,不同体制、不同频段、不同极化方式的雷达通过适当布站,将各种信息通过通信网络传递给中心控制站统一处理。美国陆军已开始集中力量发展雷达组网,以改进防空系统的监视和作战能力。更进一步就是依据美军 GIG(全球信息栅格)的发展部署以及陆军未来战场和战区通信主干网 WIN-T(战术级指战员信息网)的发展,在防空系统中实现陆基、海基、空基和天基的多种传感器、武器平台、指挥机构和人员的网络连接,使指挥官可在平行化的各个对等指挥控制系统获得海陆空天全方位的信息,进行全面的战场态势判断和精确的指令下达。比如,目前美国陆军的 THAAD 防空系统就将接收来自海基宙斯盾系统、天基卫星和其他外部传感器的信息,逐步扩大作战空域和防御范围。

未来的防空系统就将以信息获取、融合处理、流通和共享为基础,由多种武器平台、多种传感器与指挥控制节点结合成一个有机的数字化作战综合系统,形成海地、海空、空地一体战。节点间的高速数据交互传输由宽带无线网络保证,各节点均具有交换和可变路由功能,保证大量数据的高速有效传输。

(5) 基于商用产品的快速、高可靠性开发,即 COTS(基于现成商业产品经改造后用于军事领域)

这是从美国陆军 WIN-T 系统的发展得到的启示。随着弹道导弹、巡航导弹和各种作战飞机突防能力的快速增强(如二代机采用高空高速突防,三代

机采用低空突防,四代机则主要发展隐身和超音速巡航技术),防空系统将不断面临更多更具挑战性的突防技术。为了适应当前突防技术的快速发展,有效实现防空任务,未来的防空系统需要进一步加快研制进度,缩减研制周期,降低研制和维护成本,提高产品可靠性,延长其生命周期。因此,COTS 也将是未来防空系统发展的一个重要方向。

4 未来防空系统给传统电子对抗带来的挑战

传统电子对抗以大功率噪声压制、假目标欺骗以及反辐射导弹(ARM)等手段为主,在面对具备单一雷达的防空系统时具有一定突防效果(如对抗一个 PAC-3 防空营),但对于平台分布式、网络化和移动化的未来防空系统,传统电子对抗将面临很大的挑战。

基于速度和距离欺骗的假目标干扰是传统电子对抗的常用方法。通过伴飞导弹的干扰弹或电子干扰飞机携带吊舱搭载的对抗载荷在接收对方雷达发射信号的基础上通过调制转发产生不同距离不同速度的假目标,在雷达显示屏幕上显示多个目标从而达到掩护突防的目的。这在对方为单一雷达时能实现有效突防,但对组网雷达基本无效。对真实目标而言,组网雷达能通过对各雷达接收信息的综合判断实现有效的目标识别。目标的 RCS(雷达散射面积)特性决定了在某一方向具有最大回波,其余方向的回波较小,如图 1 所示(以地面 3 部雷达组网为例)。组网的各雷达在接收到相应回波后,通过通信链路传输给中枢控制中心。控制中心可根据各方向的回波特性(含速度、回波强度、距离、高度等信息)与数据库中预先存储的信息作对比,实现目标识别,判断其为真实目标。对于干扰弹或对抗载荷产生的假目标而言,组网雷达分别接收到来自同一干扰源的信号,3 部雷达各自的距离线上都会出现相同的目标,目标的个数、速度和回波幅度均大致相同(图 2,以 3 个假目标为例),这与真实目标的回波信息不一致(不同方位应具有不同的回波幅度及速度。若雷达 1 接收到的目标速度为 v_1 、 v_2 、 v_3 ,真实目标的话雷达 2 接收到的速度应为 $v_1\cos\theta_1$ 、 $v_2\cos\theta_1$ 、 $v_3\cos\theta_1$,但对于假目标雷达 2 收到的速度则是 v_1 、 v_2 、 v_3),经由中枢控制中心的目标识别就能将各雷达距离线上的假目标排除,从而失去干扰效果,无法有效掩护突防。

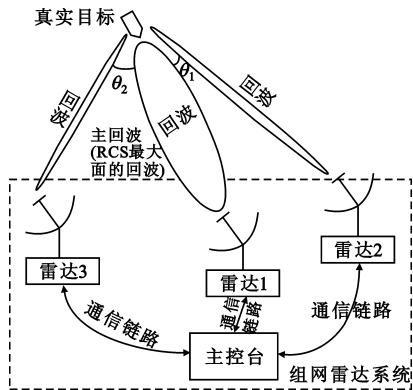


图 1 组网雷达面对真实目标
Fig. 1 Networked radars facing real targets

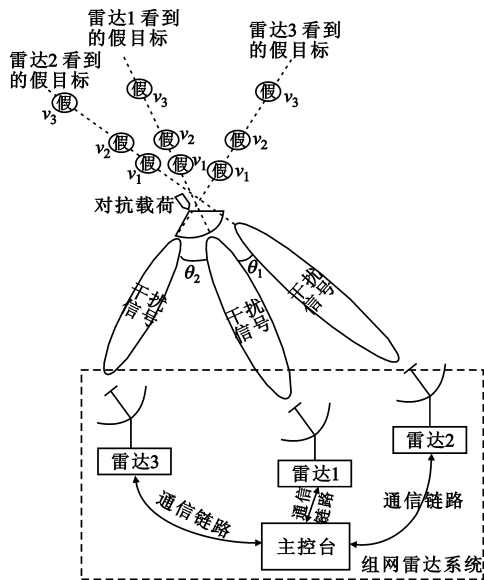


图 2 组网雷达面对假目标
Fig. 2 Networked radars facing fake targets

上面是对组网雷达抗干扰技术——交互式多模型概率数据关联滤波器技术 (IMMPDAF) 的简单分析。实际上,目前除 Suter 防空网络攻击系统外,还没有对组网雷达实施有效对抗的方法。突防方无法确切知道雷达组网的数量、相互位置间的几何关系及雷达波形和信号处理方式,即使对某部雷达实施假目标欺骗有效,对方防空系统也可以通过 IMM-PDAF 进行抗干扰。同时组网雷达具有不同频率、波形及不同跟踪处理算法,使得假目标干扰对具备组网雷达的防空系统不构成实质性威胁^[8]。

对于反辐射攻击而言,未来防空系统所具有的分布式节点和移动的指挥控制系统将其打击力度所带来的突防效能大大降低。反辐射攻击指利用以电子对抗飞机携带的反辐射导弹 (ARM) 和反辐射无人机 (ARD) 为代表的反辐射武器利用敌方雷达电磁辐

射进行引导,以被动雷达导引头 (PRS) 引导武器战斗部对雷达等辐射源及其载体进行直接火力打击,是电子战的硬杀伤手段和现代战争中取得制空权的重要方法。对于未来防空系统,一方面可以通过设置分布式的有源雷达诱饵 (如 PAC-3 系统) 对 ARM 和 ARD 进行诱骗^[9],使其偏离打击目标;一方面分布式、组网的节点凭借其在空域、时域、频域及极化域等方面的分集、各节点雷达轮换开机、轮番机动以及同步工作等方式使反辐射武器的 PRS 面临异常复杂的电磁环境,加重其对雷达信号的分选识别任务,使得以进攻单部雷达节点为作战使命的 ARM 在面对分布式组网节点时性能大大降低;另一方面由于指挥控制系统远离各节点,具有相当的隐蔽性,即使有节点遭遇 ARM 攻击,只要指挥控制系统未被破坏,防空系统就可凭借其资源优势完成作战任务;同时由于指挥控制系统具备可重组性,即使被破坏也可通过可独立作战的其余节点接管中枢控制任务,维持防空系统功能。在多种抗干扰抗打击方式面前,单一反辐射武器对未来防空系统基本丧失有效对抗能力。

综上所述,对于传统电子对抗手段而言,未来的防空系统能通过平台分布式、组网和灵活移动等功能进行有效对抗。因此需要对传统手段进行改进,才能在面对未来防空系统时处于主动地位。

5 对未来防空系统对抗体系的思考

未来防空系统是分布式、网络化、结合传统电子对抗、智能反辐射和网络领域先进技术的综合作战平台,顺应未来高科技战争“网电一体”的发展趋势,只有综合使用电子战和网络战手段,取得电磁网络空间 (即赛博空间) 的优势,对敌方防空系统进行一体化的综合攻击,才能有效地削弱敌方赛博空间信息优势,最大限度地保证己方火力打击平台突防,实施有效打击。

未来防空系统通过高速宽带网络实现分布式可移动节点与中枢控制系统之间的高速通信,通信网络是其数据汇总分析和指令分发的重要途径,破坏通信网络将是对抗未来防空系统的重要手段。美军 Suter 系统的发展与应用就是这方面的实例。

Suter 是美国高度机密的 Big Safari (庞大旅行者) 计划的一部分,是直接进攻敌防空网络的机载网络攻击系统,通过雷达天线、通信链路、中继链路、信

息处理设备和网络节点等途径入侵、破坏和接管敌方防空系统的通信网络、雷达网络以及计算机系统以实现掩护火力打击平台突防。Suter 系统通过发射大功率信号渗透敌方网络,不仅能实时监控敌方雷达的探测结果,还能通过植入欺骗信息和算法等方式削弱或瘫痪对方雷达网络和通信网络,甚至以系统管理员的身份接管中枢控制系统,直接对敌方行为进行控制。目前 Suter 系统已发展到“Suter V”,能提供战术信息战场空间的联合视图,在综合电子监视设施、网络中心目标瞄准(NCCT)和网络空间设施等设备支持下,使用动能或非动能武器进行 ISR(情报、侦察、监视)作战干扰、瘫痪和接管移动组网的敌方防空系统。Suter 系统工作方式大致如下:RC-135(联合铆钉)等侦察飞机完成信息侦察,将信息传递给地面指控中心,融合多种情报源生成通用情报视图,并通过 NCCT 系统对敌方辐射源实现高精度定位;再由装载 Suter 系统的 EC-130H(电子罗盘)电子战飞机的吊舱辐射大功率窄波束信号通过天线进入敌方网络,根据不同指令植入算法或者恶意代码,实现对敌方防空系统的瘫痪甚至接管其操作,如控制雷达天线的转向等。但 Suter 系统主要针对俄制防空系统,其成功应用与美国作为最大的 IC 芯片输出国、在某些关键处理芯片留有后门有极大关系^[10]。

Suter 系统的一个应用实例就是 2007 年 9 月以色列入侵叙利亚。以色列的 F-15 和 F-16 战机(非隐形战斗机)在成功避开叙利亚空老式的萨姆系统以及新增的道尔-M1 防空系统探测后,对叙利亚东北角一处疑似核设施进行了轰炸。叙利亚防空系统在以色列战机进入领空时未发现异常,实施攻击后其雷达系统瘫痪,在对方全身而退之后才恢复。

Suter 系统的发展给我们带来许多思考,同时根据上一节的分析,传统电子对抗面对未来防空系统时还存在一系列问题。在对抗未来移动化和网络化的防空系统时,现有的电子对抗手段显然是不够的,还需要拓展思路,引入新理论、新方法,实现多层次体系对抗的相互配合和补充。因此,认为未来防空系统对抗体系从高到低主要分为以下三个层次。

(1) 基于 C⁴ISR 自动化指挥控制打击网络的对抗

这是最高层次的对抗,通过削弱、瘫痪和接管三种不同程度的对抗逐步实现对中枢指令系统的操控。未来防空系统信息融合与资源分配的基本保证是各节点之间以及节点中枢系统之间的通信,因此

直接针对中枢系统和通信网络的攻击是最核心的攻击。通过植入假目标信息削弱其检测和目标跟踪能力,植入病毒瘫痪其控制和通信网络,最后直接以系统管理员身份接管中枢系统的控制功能,对传感器直接进行操控或向各节点发出错误指令。

从美军网络化的发展来看,各军种之间都在趋于使用 IP(互联网协议)作为基本组网设施和方法,通过改进操作性以保持各 IP 之间的连接性,防空系统的发展也符合这个趋势。防空系统的网络也符合通用 IP 协议,由于美军战时将使用民用网络,其强网(军网)与弱网(国际互联网)之间存在连接性,美军下一代防空系统的上述技术特征,都是网络对抗的突破口。

(2) 基于“察打一体”的智能反辐射硬杀伤

这是中间层次的对抗。在网络对抗难以实现或者需要配合作战发挥最大效能时,可以通过对指挥控制系统以及关键中间通信节点的定位来进行精确打击。通过雷达信号与通信信号联合侦察以及信息融合处理等方法,确定各关键节点的位置,再配合防空阵地部署原则,估计指挥控制系统和关键中间通信节点可能所在位置,再通过主被动等多手段和陆海空天等多维度的联合侦察锁定其位置,以集束通信反辐射导弹直接进行硬杀伤。这是从物理杀伤方面直接打击指挥控制系统以及关键中间通信节点从而协助火力平台突防的手段。同时还可使用雷达反辐射武器对雷达天线进行广泛攻击,综合削弱防空系统的作战能力。

在上述需求中,最关键的就是通过综合传感器侦察及信息处理技术,找到敌方指挥中心和关键中间节点所在位置,并通过具备极高定向能力的反辐射武器实现硬摧毁。

(3) 以改进的传统电子对抗作为辅助手段

传统的电子对抗是最基本的对抗手段,加以改进后可作为上面两种对抗方法的辅助,并且在无法进行网络对抗或者硬杀伤效果不明显时作为最基本的对抗手段协助突防。

在传统的大功率压制、假目标干扰等手段的基础上,通过引入相控阵技术发射多个分区分时窄波束信号以及采用多部干扰机组网,同时发射箔条等无源诱饵的办法,综合采用大功率压制干扰、密集假目标欺骗干扰、分布式拖拽干扰和分布式诱饵相结合的电子对抗方式,实现对雷达接收机、雷达信号信息处理机的有效干扰,达到对抗未来防空系统的目的。

上面是针对未来防空系统的对抗体系的分层次

体系建设方面的思考。最高层次的对抗是通过网络入侵接管对方中枢系统,其次是以智能反辐射武器对指挥系统、关键中间通信节点及大量传感器天线进行硬杀伤,最基本的方法是综合利用改进的传统电子对抗手段例如组网干扰进行增强能力的传统电子对抗。实际作战时可根据战场形势制定不同的作战方式,三个层次上的作战可根据敌方情况以及我方作战能力进行综合选择,其基本关系如图 3 所示。

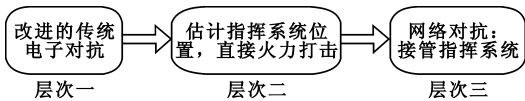


图 3 未来防空系统对抗体系的三个层次
Fig.3 Three levels of future air defense system

6 应用模式分析

针对未来防空系统的对抗体系已从电子对抗发展到综合各种电子和网络技术手段的“网电空间”对抗,从单一平台对抗发展到多平台协同对抗。未来的对抗体系应是搭载多种对抗载荷的电子战平台组成一个有机的大系统,信息资源通过整合形成总体态势评估,供所有参战平台共享,采取优化规则进行电子战攻击资源的自动分配,综合提升对抗未来防空系统的能力。

根据上一节对未来对抗体系三个层次的分析,本节将给出其典型的应用模式。未来的对抗体系组成如下:前方配置有多架侦察机,后有大型电子干扰飞机搭载网络攻击载荷,攻击机搭载反辐射攻击载荷或大功率电子吊舱。多种平台间通过宽带数据网络或者高速数据链与位于地面的指挥中心(近距离)或者带通信指挥功能的预警机实现信息交互。其工作方式如下:侦察机完成对敌方防空系统传感器和指挥控制系统位置侦察,将所得信息汇总到指挥中心形成综合情报。指挥中心根据战场形势和作战目的选择攻击方式:

- (1)通过通信链路将目标信息传递给搭载大功率电子吊舱的电子战飞机,由其对预定目标实施大功率压制、假目标欺骗等电子干扰;
- (2)将目标信息传递给搭载反辐射载荷的攻击机,由其对预定目标实施反辐射攻击;
- (3)将目标信息传递给搭载网络攻击载荷的大型电子干扰飞机,由其对预定目标实施网络攻击;
- (4)三种方式配合,以电子干扰、反辐射攻击配合网络攻击,实施全面打击,如图 4 所示。

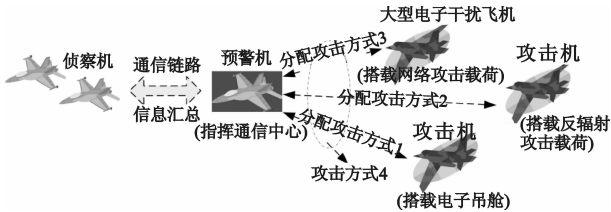


图 4 固定控制中心的未来防空系统对抗体系作战模式
Fig.4 The fighting mode of electronic countermeasure for future air defense system with fixed control center

为了指挥系统的灵活性以及保证指挥中心被打击后整体作战效能不受影响,未来的对抗系统将不再设置固定的指挥控制中心,后方每一架飞机均可根据形势被授予指挥权而成为指挥中心,如图 5 所示。这要求各节点具有交换和路由功能,整个通信网络具备可变智能路由功能。

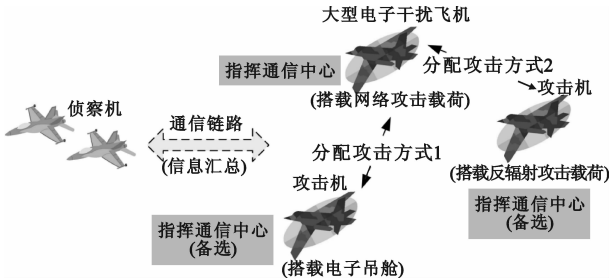


图 5 指挥中心可变的未来防空系统对抗体系作战模式
Fig.5 The fighting mode of electronic countermeasure for future air defense system with variable command center

7 结束语

未来防空系统具有节点移动化、无人式、分布式、中枢系统可重组以及高速网络通信等特点,给基于信号层的以大功率压制和多目标欺骗为主的传统雷达对抗带来了极大的挑战,使得现有对抗手段在未来战争中的作战能力会极大削弱甚至失效。因此,防空系统对抗体系也必须朝着信号层链路层对抗、智能反辐射和网络对抗相结合的“网电一体”对抗方向发展,力争达到快速信息侦察与融合技术、高精度电磁辐射目标定位技术、组网电子对抗技术,以及破译、入侵、篡改和接管等各种网络对抗技术的完全融合,真正做到以分层次、综合化体系对抗应对体系防空,才能有效面对未来防空系统给飞行器突防带来的挑战。

但是,作为该综合化对抗体系的核心——防空系统网络攻击对于发展中国家来说还具有极大的难度,需要全球主要处理芯片的输出与控制、芯片预留

后门、基础网络通信协议制定和基础模块被对方用于军事用途等前提来支撑。目前,全球仅有美国及其少数核心盟国具备网络攻击的能力。若要达到 Suter 系统的层次则还需要国家在战略层面发展核心芯片与基础协议,做到对某类芯片或协议的全球市场统治力,才能具备较强的入侵和接管能力。

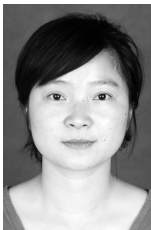
综上所述,未来一段时间,应主要研究基于信息层链路层对抗装备组网协调对抗应对防空雷达组网;进一步研究基于战术打击层面的数据融合,真正做到智能反辐射能够打击关键节点;同时,研究对其网络通信的侦查、干扰和阻断的高效技术和手段;最后,研究上述三种对抗手段及装备的高效费比协同技术,如将现有民用宽带通信技术 WiMax、WiFi 或 LTE 等改造后应用于对抗装备组网协同,在一定程度上实现以综合化、网络化、智能化对抗装备应对具备上述能力的未来防空系统。

参考文献:

- [1] 刘兴. 防空防天信息系统及其一体化技术[M]. 北京:国防工业出版社,2009:90-161.
LIU Xing. Air and Space Defense Information Systems and the Integration Technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press,2009:90-161. (in Chinese)
- [2] 鲁建华,张学润. 美俄弹道导弹防御系统浅析[J]. 火力与指挥控制,2010,35(5):1-5.
LU Jian-hua, ZHANG Xue-run. Analysis of the Ballistic Missile Defense System of America and Russia[J]. Fire Control & Command Control,2010,35(5):1-5. (in Chinese)
- [3] 梁百川. 美国导弹防御系统的发展[J]. 航天电子对抗,2008,24(3):1-4.
LIANG Bai-chuan. Development of America MD[J]. Aerospace Electronic Warfare,2008,24(3):1-4. (in Chinese)
- [4] 施荣. 美国防空反导系统网络化分析[J]. 导弹与航天运载技术,2007(1):57-61.
SHI Rong. Analysis on Development of the U.S. Networked Air and Missile Defense System[J]. Missiles and Space Vehicles,2007(1):57-61. (in Chinese)
- [5] 王刚,李为民,何晶. 区域防空网络化作战体系结构研究[J]. 现代防御技术,2003(12):19-23.
WANG Gang, LI Wei-min, HE Jing. Research on Network-centric Warfare Architecture of Zone Air Defense[J]. Modern Defense Technology,2003(12):19-23. (in Chinese)

- [6] 兰俊杰,陈蓓,徐廷新. 组网雷达发展现状及其干扰技术[J]. 飞航导弹,2009(12):39-41.
LAN Jun-jie, CHEN Bei, XU Ting-xin. Development of Networked Radar and Study of its Interference[J]. Winged Missiles Journal,2009(12):39-41. (in Chinese)
- [7] 申绪润,王国玉,汪连栋,等. 电子干扰飞机对抗警戒雷达组网系统的效果评估[J]. 系统仿真学报,2008,20(4):997-1001.
SHEN Xu-jian, WANG Guo-yu, WANG Lian-dong, et al. Effect Evaluation for Electronic Jamming Aircraft Against Netted Surveillance Radars[J]. Journal of System Simulation,2008,20(4):997-1001. (in Chinese)
- [8] 梁百川,梁小军. 导航战及其对策分析[J]. 航天电子对抗,2001(6):20-22.
LIANG Bai-chuan, LIANG Xiao-jun. Missile War and its Countermeasure Analysis[J]. Aerospace Electronic Warfare,2001(6):20-22. (in Chinese)
- [9] 张锡祥,刘永坚,王国宏. 电子战技术与应用:雷达对抗篇[M]. 北京:电子工业出版社,2005:56-68.
ZHANG Xi-xiang, LIU Yong-jian, WANG Guo-hong. Electronic Warfare Technology and Applications: Radar Countermeasures[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2005:56-68. (in Chinese)
- [10] Clarke R, Knake R. 网电空间战[M]. 刘晓雪,陈茂贤,李博恺,等,译. 北京:国防工业出版社,2012:35-78.
Clarke R, Knake R. Cyber War[M]. Translated by LIU Xiao-xue, CHEN Mao-xian, LI Bo-kai, et al. Beijing: National Defense Industry Press,2012:35-78. (in Chinese)

作者简介:



张娅岚(1983—),女,四川双流人,2007年于电子科技大学获信号与信息处理专业硕士学位,现为讲师,主要从事信号处理相关教学及研究;

ZHANG Ya-lan was born in Shuangliu, Sichuan Province, in 1983. She received the M.S. degree in 2007. She is now a lecturer. She is engaged in teaching and research on signal processing.

Email: zealous21@126.com

王星(1982—),男,四川成都人,2004年于西南交通大学获计算机科学与技术专业学士学位,现为工程师,主要从事制导、电子对抗等领域的研究管理工作。

WANG Xing was born in Chengdu, Sichuan Province, in 1982. He received the B.S. degree from Southwest Jiaotong University in 2004. He is now an engineer. He is engaged in the research and management of guidance area and electronic countermeasure system.