

美国空军先进作战管理系统及启示*

周海瑞^{1,2} 张 臻²

(1 中国电子科技集团公司信息系统需求重点实验室 南京 210007)

(2 中国电子科技集团公司第二十八研究所 南京 210007)

摘 要: 先进作战管理系统将情报监视侦察、指挥控制和打击平台铰链起来,利用多平台构建分布式指挥控制网络,为美军杀伤链提供支撑。首先,介绍了美国空军机载指挥控制系统的主要节点、作战任务和功能系统组成;然后,分析了先进作战管理系统的研发背景、总体构想与初步发展计划、产品组成与使能技术、关键能力及项目进展情况;最后,总结了先进作战管理系统发展理念和对我军相关系统建设的启示。

关键词: 先进作战管理系统;机载指挥控制系统;美国空军

中图分类号: E917 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-909X(2020)04-0057-07

U.S. Air Force Advanced Battle Management System

ZHOU Hairui^{1,2} ZHANG Zhen²

(1 Information System Requirement Key Laboratory of CETC, Nanjing 210007, China)

(2 The 28th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210007, China)

Abstract: The advanced battle management system links the intelligence, surveillance and reconnaissance, command and control, and strike platforms. Multi-platforms are used to build a distributed command and control network, providing key support for a kill chain. Firstly, the main nodes, the combat tasks, and the functional systems of the U.S. airborne command and control system are introduced. Then, the research and the development background, the general conception, the preliminary development plan, the core functions, and the current main progress of the advanced battle management system are analyzed. Finally, the development concept of the advanced battle management system and its enlightenment for our army are summarized.

Key words: advanced battle management system; airborne command and control system; U.S. air force

0 引 言

随着信息化战争的不断发展,以E-3A、E-8C和RC-135V/W为核心的机载指挥控制和情报监视侦察飞机因平台自身缺乏有效的防御措施,已无法满

足美军新的大国竞争战略和强对抗环境下的作战需求。2018年,美国空军取消了E-8C替换计划项目(该项目是4个最高优先级采办项目之一),并将其预算资金用于研究先进作战管理系统(ABMS)^[1]。ABMS将情报监视侦察、作战管理、指挥控制和打击

* 基金项目:军委科技委“十三五”预研课题资助项目。

收稿日期:2020-04-18

引用格式:周海瑞,张臻.美国空军先进作战管理系统及启示[J].指挥信息系统与技术,2020,11(4):57-63.

ZHOU Hairui, ZHANG Zhen. U.S. air force advanced battle management system[J]. Command Information System and Technology, 2020, 11(4): 57-63.

平台铰链起来,利用多平台构建分布式指挥控制网络,为美军的发现一定位一跟踪一瞄准一打击一评估杀伤链提供支撑。

1 铁三角协作体系

冷战时期,美国空军研制了E-3A、E-8C和RC-135V/W 3种重要的机载指挥控制和情报监视侦察飞机,并借助Link-16数据链和网络中心协作瞄准系统(NCCT)共同组成铁三角协作体系^[2]。其中,E-3A集情报监视侦察、作战管理和指挥控制能力于一体,可提供作战区域全天候空中作战图;E-8C是空地一体战的神经中枢,为地面和空中指挥官提供情报监视侦察、作战管理和指挥控制能力;RC-135V/W可在世界范围内收集卫星和高空情报监视侦察平台无法获得的微弱的电子情报。该体系确保了美国空军在20世纪和21世纪初的空中优势,并在科索沃、阿富汗和伊拉克战争中发挥了重要作用。铁三角协作体系示意图如图1所示。

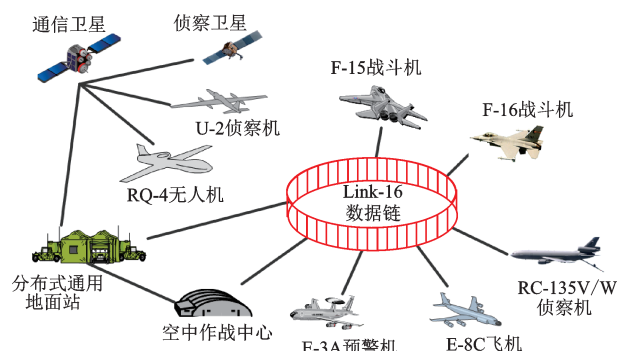


图1 铁三角协作体系示意图

1.1 E-3A

E-3A是战区空中控制系统(TACS)一个主要节点,负责对空监视及对各种作战飞机实施指挥引导^[3]。通常情况下,E-3A作为控制与报知中心(CRC)的空中延伸部分使用,对超出地面设施监视与引导能力以外的空域实施监视和指挥引导。当地面主要的或备用的空中作战中心(AOC)失效时,联合部队空中部队司令(JFACC)可指定E-3A接替指挥空中作战行动。在执行战略性国土防空作战任务时,作为联合监视系统(美国本土防空系统)的支援性系统使用,对地面远程监视雷达无法监视的空域实施监视,或用以接替和加强美国本土防空分区作战控制中心的工作。

E-3A的任务系统主要包括以下内容^[4]:1) AN/APY-2机载监视雷达是相干脉冲多普勒雷达,具有

强大的杂波抑制能力,具备6种工作模式,方位扫描时可将监视空域划分成32个扇区,每个扇区可设置各自的工作模式,在关注区域或当战场态势/地形环境发生变化时,可重新装订工作参数;2) 机载电子支援设备(ES)以无源方式截获、识别和分析雷达频段和通信频段信号,可在10 s内识别100个辐射体;3) 空情显示控制台(SDC)为操作员提供目标类型、飞行方向/方位/速度/高度和任务类型等数据,可在飞行中重新配置以适应监视、作战管理、电子战和武器控制等任务;4) 机载通信系统以通信自动管理系统为核心,由抗干扰电台组、保密机组、数据链、卫星通信终端、机内通话器、程控交换机及多路数据总线等构成,其视距通信由甚高频/特高频(VHF/UHF)电台组成,超视距通信由高频(HF)电台组和卫星通信终端组成。

1.2 E-8C

E-8C是美国空军和陆军合作研制的项目,对监视军事冲突和突发事件中的地面情况及控制空地联合作战具有重要作用,堪称空地一体战的神经中枢^[5]。E-8C可在防区外使用广域监视/移动目标指示模式(WAS/MTI)对地面机动目标和直升机等慢速移动目标进行探测、定位、识别和跟踪,为地面部队制订作战计划提供准确信息;可使用合成孔径雷达/固定目标指示模式(SAR/FTI)监视桥梁、港口和机场等地面固定目标,以及静止的导弹发射车等;能够指挥引导空军飞机、陆军直升机和远程火炮对目标进行攻击。

E-8C的任务系统主要包括以下内容^[6]:1) AN/APY-7无源相控阵监视雷达具有广域监视、SAR、移动目标指示、攻击控制、目标分类和扇区搜索等工作模式,当飞行高度为9~10 km时,雷达最大探测距离超过250 km;2) 机载通信设备可提供视距和超视距话音和数据通信,其中AN/ARY-1监视与控制数据链系统(SCDL)用于E-8C飞机与配套地面站之间传输SAR图像、地面移动目标跟踪信息、雷达状态、目标指示和瞄准点等信息,具有跳频能力,并可自适应调整传输速率。

E-8C的任务机组配有陆军联络官,负责与任务机组指挥官和任务人员保持联系,确保理解地面指挥官作战意图,以及协助地面指挥官和战术地面站(TGS)了解任务待命情况和飞机状态,必要时还可与地面火力支援人员协调。

1.3 RC-135V/W

RC-135V/W是美国空军信号情报飞机,用于战

略/战术信号情报侦察,可截获、分析和记录各种通信和雷达信号,并对各种辐射源进行定位,满足各类作战任务需要。

RC-135V/W的任务系统主要包括以下内容^[7]:

1) 通信情报系统由商用现货通信情报搜索系统和ES182通信辐射源定位系统组成;2) 电子情报系统由1台商用现货电子情报信号处理机(ESP)和1套自动辐射源定位系统(AEELS)组成,ESP控制AEELS完成自动化的电子情报收集工作。

1.4 网络中心协作瞄准系统(NCCT)

由于E-3A、E-8C和RC-135V/W需先将各自获得的情报分别传输给AOC进行综合处理后再判断、决策和实施打击,因此增加了杀伤链时间,可能延误对时间敏感目标的打击。为此,美国空军提出了铁三角协作体系,通过NCCT,将E-3A空中态势、E-8C地面目标信息和RC-135V/W信号情报进行铰链,为AOC及各类情报监视侦察与打击平台提供网络协作环境,以缩短杀伤链时间。

NCCT主要包括以下内容^[8]:1) 网络通信设备(NCE)工作于Ku频段,使用IP协议,传输速率为10 Mbit/s,具有加密及优先级处理等能力;2) 网络控制器(NNC)负责网络锁定和传感器同步;3) 数据融合引擎(NFE)通过关联与相关、信号情报融合、信号情报/地面移动目标信息融合等技术实现融合功能;4) 数据保护器负责保证电文的完整性和低时延(小于100 ms);5) 操作接口(NOI)负责人机接口与显示和任务优先级确定等功能。

NCCT具有强大的协同探测和交叉提示功能。例如一架RC-135V/W发现和识别目标需要数十分钟,且无法准确定位空中目标。在NCCT支持下,多架RC-135V/W形成的网络化协同探测体系能够在秒级发现和识别目标,即使目标出现时间很短,也能准确定位^[9]。又如,从RC-135V/W获得的电子情报可将一部雷达定位精度确定在一个足球场大小的范围内,并向E-8C提示该地区有一部雷达在工作,于是E-8C对这部雷达正在旋转的天线进行辨识,从而将这部雷达定位精度提高到足球场的1/40。

2 先进作战管理系统

2018年,美国空军取消E-8C替换计划,转而寻求分布式架构的ABMS,将情报监视侦察、指挥控制和打击平台进行铰链,构建弹性的指挥、控制、通信、计算机、情报及监视与侦察(C⁴ISR)网络,从而提高系统的韧性和生存能力。ABMS作为新一代分布式

作战管理与指挥控制系统,将在未来强对抗拒止环境下为联合部队提供先进和有效的地面和空中目标指示,以及多域作战管理与指挥控制能力。

2.1 研发背景

美国空军在2016年发布的《空中优势2030飞行计划》^[10]中指出,敌方隐身飞机和防空导弹等装备不断发展及其杀伤性能不断增强,将极大增加E-3A、E-8C等大型作战管理与指挥控制平台(BMC²)的作战风险,限制美国空军在对抗环境,特别是强对抗环境下的战场监视、作战管理与指挥控制能力。该计划提出在未来获得空中优势的关键是构建韧性的ABMS。

2017年,美国空军对ABMS开展了探索工作,最初设想是以新的系统替代E-3A并提升探测、识别和跟踪空中和海上威胁的能力,但之后转变为开发一种能适应强对抗环境的更强大和更有生存能力的空中作战管理与指挥控制系统,随后终止了E-8C替换计划。

2018年3月,美国众议院军事委员会听证会上,美国空军和陆军指出^[1],虽然威胁环境发生了变化,但有效地搜集地面移动目标指示数据和实施作战管理与指挥控制仍是联合部队关键需求。而E-8C替换计划仅提供了与原系统相似的功能,这种简单的机型替换模式无法满足强对抗环境下的作战要求。随后,美国国会将E-8C研制预算用于ABMS开发,正式启动下一代战场监视、作战管理与指挥控制系统的研制。

2.2 总体构想

目前,美国空军尚未确定ABMS最终形态,但对该系统形成了以下总体构想:ABMS将是一个分布式的由多系统组成的系统族,通过弹性通信网络互连整个战场空间的传感器,获取并融合各类传感器数据,为联合部队提供有效的空中与地面移动目标指示、多域作战管理与指挥控制。美国空军计划分3个阶段以增量方式开展ABMS采办和部署,预计在2035年达到初始作战能力^[11]。

第1阶段(2018—2023年):通过10个已有的采办项目,集成并连接现有传感器,改进作战管理系统并升级通信网络;开展敏捷通信和先进传感器研制以及体系架构开发。

第2阶段(2024—2035年):将先进传感器和开放式任务系统软件集成到现有的地面和机载BMC²平台,实现能力提升。将联合的与盟军的传感器以及第5代战斗机的传感器全部纳入ABMS体系,从

而极大提升强对抗环境中的战场感知能力。

第3阶段(2035年开始):预计2035年ABMS达到初始作战能力,同年E-3A开始退役。ABMS将通过弹性通信网络提供韧性作战管理与指挥控制能力,确保E-3A退役时的过渡衔接,最终实现ABMS完全作战能力。

2.3 产品组成

ABMS是一个包括硬件和软件产品的系统族,分为以下7大类产品^[12]:1) 架构、标准和概念:包括整个企业体系结构开发过程中的各项活动,如数字建模、仿真与分析、政府标准的开发与维护及概念开发与完善等;2) 传感器集成:包括传感器硬件和软件的开发、集成、演示、试验和推广等;3) 数据管理:侧重于跨域数据管理;4) 安全管理:将覆盖非密级和机密级的企业信息技术即服务扩展到所有安全级别,其关键是开发多级安全技术集,而不受硬件设备、传输方式或环境的限制;5) 连通性:开发和部署网络,以实现各种传感器数据的及时处理,并分发给战术边缘或战略级用户,主要包括增加数据速率、减小延迟、改进抗干扰性能、降低拦截率/探测率、提高节点/连接的可扩展性等工作;6) 多域应用:包括设计、开发、演示开放接口应用和开放接口软件开发工具包,寻求获取和处理跨域多源数据输入的解决方案;7) 效应集成:设计、开发、演示和集成复杂环境下的网络化武器,包括但不限于开放式智能弹药和低成本自主平台,寻求通过技术实现近实时的任务反馈和缩短系统/任务数据更新的处理时间。ABMS产品类别如图2所示。

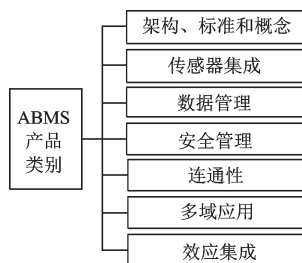


图2 ABMS产品类别

ABMS在7大类产品下设有28个产品线^[13]。其中,cloudONE是一个用于多域作战的云架构,未来有望接入美国国防部“绝地”云(JEDI Cloud)项目;dataONE是一个统一数据库,初期是为在空军各个分类级别上安全集成空间态势感知数据而构建,最终将纳入所有军种的传感器数据;dataONE允许来自各传感器的保密和非保密数据存储云中,只有

授权用户才能访问这些数据;crossDomainONE是一种保密数据交换方式,可在不同密级网络间无缝安全地交换数据;OmniaONE用于跨域通用作战图,可显示跨领域的各类资产,例如陆地、海洋、空中、太空和网络等;feedONE用于政府和非政府信息的数据馈送;MissionDataONE用于合成打击效应集成;gatewayONE是一种可以提供飞机数据传输服务的无线电系统;apertureONE是一种用于接收卫星通信数据的新射频频天线;radioONE是一种通用电台。

2019年8月,美国空军装备司令部指挥控制通信情报和网络项目执行办公室杀伤链集成分室发布跨部门公告,寻求ABMS使能技术,具体包括:实时数据收集、验证和分析;通信和作战管理网络增强;先进传感器和软件集成;基于人工智能的人类增强决策;数据安全、标识和可信访问;多终端通过分布式网络实现实时通信;多级安全赋能技术和密码学^[14]。美国空军采办负责人威尔·罗珀表示,数据分析、机器学习和人工智能是先进作战管理系统中最重要的部分,拥有相关领域专长的商业公司将成为ABMS新合同授予的重点关注对象。

2.4 关键能力

ABMS旨在运用可信网络 and 智能算法,使情报和目标数据及时转化为可执行信息,而作战人员仅需专注决策。ABMS包括以下3种关键能力^[15]:

1) 弹性通信网络:ABMS将为美国空军打造全新的通信系统生态,升级多个通信系统,包括改进的Link-16数据链、增强的卫星通信以及韧性UHF无线电通信,以确保多域优势。美国空军正在研究Mesh网络在ABMS中的应用。Mesh网络是一种自组织和自管理的智能网络,无需主干网即可构筑富有弹性的网络,并可动态扩展。终端设备可自动连成网状结构,网络中的每个节点均具备自动路由功能。Mesh网络允许平台在无人工干预的情况下自动协同工作并共享信息,具有组网方式灵活、部署展开快速及抗毁性高等特性。

2) 多源数据融合与强态势认知:融合移动目标指示雷达、图像情报、信号情报、视频以及其他类型的动态数据源,通过分析位置、速度和电磁特征来生成、关联、跟踪和识别责任区内所有敌军和友军单位,以达到减少责任区内分类错误和提高跟踪连续性的效果;实现更复杂的基于规则的战场态势分析,减少作战人员的工作量;实现基于学习的战场态势分析并表现出更强的态势认知能力,甚至能够根据

有限且可能相互冲突的信息推理出正确的结论。

3) 分布式自适应规划和控制:根据与友军飞机的连通性、作战任务、交战规则(含相关约束条件)以及对友军和敌军情况的预测为飞机分配任务和权限,其中包括允许同一级别的多架飞机协商各自的角色和责任,以有效应对通信中断、飞机损失和系统故障等情况;同时支持情报监视侦察、电子战和敌方防空系统压制等任务类型,通过强化作战管理程序的决策能力,允许指挥官更多的关注任务,而不是管理飞机航线和有效载荷等较低层次的决策;根据指挥官在作战意图、任务优先级、时间、空间、顺序和指挥权限等方面的指示来提高任务的有效性,并优化所有武器系统资源,提高飞机面临先进综合防空系统时的生存能力。

2.5 项目进展

目前,美国空军正在实施 ABMS 的第1阶段计划,利用风险较低的技术来强化体系的韧性,具体包括CRC的升级及集成、新型地面移动目标指示雷达的研制及ABMS数据架构的开发等工作。

2.5.1 CRC的升级与集成

CRC是AOC下属的机动式、地面对空监视、作战管理与指挥控制设施,可直接指挥责任区内空中资源进行对空对地作战^[16]。CRC系统既可独立运行,又可与E-3A协同作战,具体包括战术空战模块(TAOM)、远程无线电保密话音系统及其建制雷达等。当E-3A跟踪的敌机进入CRC责任空域后,将由CRC引导空中飞机或指示地面防空力量对敌机实施攻击。

在ABMS的第1阶段,将对CRC的远程无线电保密话音系统进行现代化升级,对多源相关跟踪系统进行软件升级,并将地面移动目标指示跟踪系统集成到CRC中。

2.5.2 新型地面移动目标指示雷达的研制

2019年3月,美国空军研究实验室(AFRL)发布了ABMS雷达模式演示原型系统征询白皮书^[17],旨在向业界征询与ABMS雷达任务相关的具有潜力的技术,并从中选择能够提供原型解决方案的供应商,选中的供应商将参与后续投标。

根据白皮书,ABMS雷达模式包括传统的MTI模式和SAR模式,以及自动目标识别(ATR)或其他前沿非传统的先进模式。AFRL要求供应商提交的模式能够演示在各种目标、速度、地形及天气条件下的性能,并要求雷达模式独立于雷达硬件,以实现最佳解决方案,最大化促进竞争。

2.5.3 ABMS数据架构的开发

2019年7月,美国空军在确定ABMS数据架构需求方面取得进展。数据架构是ABMS将空中、地面和空间各平台或系统连接起来的关键,也是ABMS成败的关键^[18]。ABMS将从体系层面来构建需求,例如将从体系角度确定卫星和无人机以何种速率提供何种类型数据。只有满足了体系层面的需求,空军才能进入传统的卫星和无人机采办环节。

实现真正意义上的开放式架构是ABMS设计的难点。在商业物联网中,所有设备均通过互联网无缝连接、自动识别和信息共享,物联网从技术开发伊始就使用开放式软件,而国防领域由于安全保密和知识产权保护等原因难以实现,因此美国空军计划采取一系列措施激励国防企业积极参与开放式软件能力的构建。

3 ABMS与联合全域指挥控制

近年来,美军新兴作战概念不断升级,从多域战斗(MDB)到多域作战(MDO)再到联合全域作战(JADO)^[19]。美国国防部长马克·埃斯珀已指示联合参谋部和4个军种构建JADO概念,描述未来全域作战所需能力及其属性,涵盖陆地、海洋、空中、太空、网络、电磁频谱以及未来联合作战所需要的一切,特别强调增加太空和网络等空间。

美军认为JADO核心是联合全域指挥控制(JADC²)。2020年3月,美国空军参谋长戴维·戈德费恩签发《空军条令说明1-20:空军在联合全域作战中的任务》^[20],首次将JADO和JADC²写入空军条令,标志着美国空军在JADO和JADC²发展上进入了新阶段。该条令指出,联合全域作战的核心要义是“通过一个高度连通的军事物联网,将美军的所有传感器连接到所有射手”,目标是整合所有域的效果,以实现作战优势。这种新的作战方式要求美军改变其思考和行动方式,不再依赖单一域的优势。

美军认为,赢取未来战争胜利的重要因素不再是武器本身,而是将这些先进武器连接在一起的作战网络。作战网络中的数据更是制胜未来战争的关键要素,比对手更快地收集、处理和共享数据将使美军获得巨大优势。未来战争中,美军需要有与当前商业网络类似的连通性和兼容性。目前,美军不仅无法实现军种间的无缝数据共享,甚至不同承包商制造的武器之间也无法进行通信或数据共享。

为了确保军事技术优势,美国空军开始构建以ABMS为主体的JADC²作战网络,打造全新的指挥

控制系统生态,使美军和盟军能够实时协调所有作战域的军事行动。JADC²核心问题是如何融合所有作战域能力,并全面有效地进行指挥控制,解决上述挑战的关键是确定各军种如何访问数据。美国空军使用开放系统来开发ABMS的软件和硬件,确保该系统适用于各军种。重点关注数据标准化和数据访问协议的开发,确保各军种部队及其通信和武器系统协同工作且相互兼容,将联合能力提升到一个新水平^[21]。

ABMS能够运用可信网络 and 智能算法处理来自传感器的大量数据,使情报和目标数据及时转化为可执行信息,通过人工智能算法对重要信息自动排序并传递给用户,其速度和准确性远超当前水平,指挥官能够根据这些信息进行观察、判断、决策和行动,从而加快作战节奏。

4 启示

综观美国空军先进作战管理系统研发背景、产品技术、关键能力和最新进展,得到以下3个方面的启示:

1) 与作战概念紧密结合。为了更好地应对大国竞争,美国战略与预算评估中心(CSBA)建议美国国防部采用新的制胜理论和作战概念——马赛克战,即利用信息网络、人工智能、自主系统和分散功能来重塑美军在未来高强度战争中的能力。ABMS体现了马赛克战的核心思想,借鉴马赛克具有的简单和可快速拼接等特点,构建一个按需集成和极具弹性的作战体系,从而有效防范对手破击美军关键信息节点,并支撑美军与对手进行全方位的体系化作战。

2) 螺旋渐进式开发。美国空军通过迭代滚动方式,开展互连马拉松活动,邀请工业界参与平台、设备和应用的演示和测试,以此对ABMS进行升级。其中,演习检验将使空军和其他军种能够实际测试连通性技术,并将其添加到ABMS中,同时快速解决发现的问题。美国空军采办负责人威尔·罗珀强调,要跟上技术的快速发展,就必须快速迭代,不断获得反馈和学习,迅速降低风险。

3) 注重实战检验。2019年12月16日—18日,美军北方司令部在佛罗里达州埃格林空军基地举行了ABMS on Ramp军事演习。演习期间,ABMS实时地将模拟的巡航导弹信息发送给部署在墨西哥湾的托马斯·哈德纳号驱逐舰、埃格林空军基地的指挥官、空军F-22战斗机、空军和海军F-35战斗机,以及一支装备机动导弹发射器的陆军部队和地面特种部

队,联合部队通过收集、分析和共享作战数据信息,成功识别并消除模拟的巡航导弹威胁。演习成功展示了洛克希德·马丁、诺斯洛普·格鲁曼和霍尼韦尔公司联合研制的新型网关设备gatewayONE,解决了F-35多功能先进数据链(MADL)和F-22机间数据链(IFDL)不兼容问题,同时通过cloudONE接入秘密级的云态势感知和指挥控制应用。

5 结束语

随着主要军事强国之间技术能力差距的缩小以及美国大国竞争战略的推行,铁三角协作体系已无法满足美军未来作战需求。2018年,E-8C替换计划项目被ABMS取代,标志着以铁三角协作体系为代表的大平台集成的强耦合形态逐渐退出美国空军未来的空战愿景。

ABMS体现了一种全新的系统理念,现有的空军战力应从体系层面进行重新架构和全新整合以实现以下能力目标:1) 依托开放式体系架构,实现系统的快速整合;2) 由各类平台/武器共同实现杀伤链,平台间实时共享数据和协同配合,打破平台间信息壁垒;3) 借助大数据和人工智能等技术,增强态势感知,加速决策周期;4) 系统具备多样性、灵活性和低破坏敏感性等优势。

参考文献(References):

- [1] INSINNA V. JSTARS recap is officially dead [EB/OL]. [2020-04-06]. <https://www.defensenews.com/air/2018/07/24/jstars-recap-is-officially-dead/>.
- [2] SIOUTIS C. Enhancing the tactical data link decision support system [J]. Intelligent Decision Technology Support in Practice, 2015(8): 125-139.
- [3] U.S. Air Force. Air force instruction 11-2E-3, volume 3, flying operations E-3 operations procedures [EB/OL]. (2016-03-02) [2020-04-06]. https://static.e-publishing.af.mil/production/1/af_a3/publication/afi11-2e-3v3/afi11-2e-3v3.pdf
- [4] Airborne warning and control system (AWACS) [EB/OL]. (2018-02-10) [2020-04-06]. https://www.dacis.com/budget/budget_pdf/FY19/RDTE/F/0207417F_205.pdf.
- [5] U.S. Air Force. Air force instruction 11-2E-8, volume 3, flying operations E-8 operations procedures [EB/OL]. (2017-08-10) [2020-04-06]. https://static.e-publishing.af.mil/production/1/af_a3/publication/afman11-2e-8v3/afman11-2e-8v3.pdf
- [6] JSTARS replacement: competition opened wide [EB/OL].

- [2020-04-06]. <https://www.defenseindustrydaily.com/jumped-up-jstars-mprtip-technology-for-ground-surveillance-planes-05156/>.
- [7] U.S. Air Force. Air force instruction 11-2RC-135, volume 3, flying operations RC/OC/WC/TC-135 operations procedures[EB/OL]. (2010-04-10) [2020-04-06]. https://static.e-publishing.af.mil/production/1/af_a3/publication/afman11-2rc-135v3/afman11-2rc-135v3.pdf
- [8] U.S. Air Force. Network-centric collaborative targeting [EB/OL]. (2014-03-15) [2020-04-06]. <http://www.docin.com/p-345457887.html>.
- [9] COSTELLO C C. RC-135V/W rivet joint [EB/OL]. (2017-08-24) [2020-04-06]. <https://www.offutt.af.mil/Portals/97/Rivet%20Joint%20Briefing%20Industry%20Visit%20Unclass.pdf?ver=2017-08-24-110345-140>.
- [10] U.S. Air Force. Air superiority 2030 flight plan[EB/OL]. (2016-03-10) [2020-04-06]. <https://www.af.mil/Portals/1/documents/airpower/Air%20Superiority%202030%20Flight%20Plan.pdf>.
- [11] United States Government Accountability Office. Defense acquisitions observations on the F-35 and air force's advanced battle management system [EB/OL]. (2019-05-02) [2020-04-06]. <https://www.gao.gov/assets/700/698881.pdf>.
- [12] HITCHENS T. MDO exclusive; air force targets primary role in joint C²[EB/OL]. (2020-01-21) [2020-04-06]. <https://breakingdefense.com/2020/01/mdo-exclusive-air-force-targets-primary-role-in-joint-c2/>.
- [13] HITCHENS T. ABMS demos speed new capabilities to warfighters [EB/OL]. (2020-01-21) [2020-04-06]. <https://breakingdefense.com/2020/01/abms-demos-speed-new-capabilities-to-warfighters/>.
- [14] HITCHENS T. Innovators are air force target at ABMS industry day[EB/OL]. (2020-01-27) [2020-04-06]. <https://breakingdefense.com/2020/01/air-force-seeks-innovators-at-first-abms-industry-day/>.
- [15] NISPEROS E. Joint all domain effects convergence; evolving C² teams[EB/OL]. (2020-03-10) [2020-04-06]. <https://othjournal.com/2020/03/10/joint-all-domain-effects-convergence-evolving-c2-teams/>.
- [16] U. S. Air Force. Control and reporting center (CRC) [EB/OL]. (2019-02-10) [2020-04-06]. https://www.dacis.com/budget/budget_pdf/FY20/RDTE/F/0207412F_193.pdf.
- [17] Air Force Research Laboratory. Advanced battle management system (ABMS) radar mode demonstrations prototype [EB/OL]. (2019-03-14) [2020-04-06]. <https://govtribe.com/opportunity/federal-contract-opportunity/common-open-architecture-radar-programs-specification-coarps-radar-mode-demonstrations-prototype-rikota19rmd>.
- [18] SYDNEY J, FREEDBERG J R. Air force ABMS: one architecture to rule them all? [EB/OL]. (2019-11-10) [2020-04-06]. <https://breakingdefense.com/2019/11/air-force-abms-one-architecture-to-rule-them-all/>.
- [19] 张维明, 黄松平, 黄金才, 等. 多域作战及其指挥控制问题探析[J]. 指挥信息系统与技术, 2020, 11(1): 1-6.
- [20] CURTIS E, LeMay Center for Doctrine Development and Education. Annex 3-1: department of the air force role in joint all-domain operations [EB/OL]. (2020-06-01) [2020-04-06]. https://www.doctrine.af.mil/Portals/61/documents/Annex_3-1/Annex-3-1-DAF-Role-in-JADO.pdf.
- [21] DWYER M. Making the most of the air force's investment in joint all domain command and control[EB/OL]. (2020-03-06) [2020-04-06]. <https://www.csis.org/analysis/making-most-air-forces-investment-joint-all-domain-command-and-control>.

作者简介:

周海瑞,男(1982—),高级工程师,研究方向为指挥信息系统与技术。

张臻,男(1982—),高级工程师,研究方向为指挥信息系统与技术。

(本文编辑:马 岚)