

DOI: 10. 12132 /ISSN. 1673 - 5048. 2019. 0138

美国面向未来战争的导弹协同作战概念发展研究

赵鸿燕*

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘 要: 为了应对中俄等国反介入/区域拒止(A2/AD)能力的发展,美国开展了“作战云”、“穿透型制空”、“忠诚僚机”、“分布式空战”等新型作战概念研究,而无人智能作战、蜂群式攻击等新型作战样式的出现,推动未来空战从信息化向智能化转变,也促使导弹武器向全新的分布式协同作战模式发展。本文主要对美国军方目前加速发展的适用于分布式协同作战体系的导弹武器系统进行了跟踪研究,对导弹协同作战情况进行了介绍,并对其关键技术进行总结。

关键词: 协同作战; 小型空射诱饵弹 “灰狼”导弹; “标准-6”导弹; 多导弹同步交战技术
中图分类号: TJ760 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673 - 5048(2019)04 - 0001 - 09

0 引 言

近年来随着中俄等国反介入/区域拒止(A2/AD)能力的发展,美国传统打击武器面临防空武器、电磁干扰、定向能武器等各种威胁和挑战,已很难满足作战需求。为此,美国通过未来战争设计、作战概念创新、对手体系弱点分析等方式,不断寻求新的军事需求,促进军事技术发展,以抵消潜在对手的战略及战术优势。针对未来空战的特点,美军开展了“作战云”、“穿透型制空”、“忠诚僚机”、“分布式空战”等多种新型作战概念研究,而无人智能作战、蜂群式攻击等新型作战样式的出现将改变未来战争形态,推动未来战争从信息化向智能化转变,也促使导弹武器向全新的分布式协同作战模式发展。导弹协同作战,包括与其他武器系统协同作战,作为一种新型体系作战方法,为未来战争提供了一种能够快速反应的强大武器系统。目前美军正在加速开展适用于分布式空战体系的导弹武器。

1 美国军方研制情况

1.1 美国空军

为应对传统威胁和不对称威胁的不断演化,美国空军大力发展联合作战和跨域协同能力,积极探索导弹武器的分布式协同作战,为革新空战和空地作战模式奠定基础。

1.1.1 AIM-120 导弹

2013 年 7 月 17 日,美国空军和美国陆军首次利用“联合对地攻击巡航导弹防御高空网络传感器系统”(JLENS)引导雷神公司的“先进中距空空导弹”(AMRAAM)拦截反舰巡航导弹模拟弹。试验中,美国陆军 JLENS 系统发现并跟踪目标模拟弹,利用 Link16 数据链向美国空军 F-15E 战斗机传送目标瞄准数据,F-15E 发射 AIM-120C7 空空导弹成功拦截目标。JLENS 是一种经济可承受、高空、持久超视距传感器系统,采用功能强大的综合雷达系统,能够探测、跟踪和瞄准一系列威胁。雷神公司导弹系统分部空中作战系统业务副总裁哈

收稿日期: 2019 - 07 - 01

作者简介: 赵鸿燕(1973 -),女,甘肃天水人,高级工程师,主要从事机载精确制导武器情报研究工作。

* E-mail: zhgd01@163.com

引用格式: 赵鸿燕. 美国面向未来战争的导弹协同作战概念发展研究[J]. 航空兵器, 2019, 26(4): 1-9.

Zhao Hongyan. Research on the Concept Development of the United States Missile Cooperative Operations for Future War [J]. Aero Weaponry, 2019, 26(4): 1-9. (in Chinese)

利·斯库特表示,AMRAAM 与 JLENS 结合后,使得全世界最先进的空空导弹能够以最大的动力射程打击目标^[1-2]。

1.1.2 小型空射诱饵弹(MALD)

2011 年,美国启动小型空射诱饵弹(MALD)作战概念研究,研发适用于 C-130 运输机、B-52 轰炸机的新型发射装置。一套发射装置可装载 8 枚 MALD(见图 1),预计每架次能挂载几十枚甚至上百枚 MALD。这种大容量、低发射成本的运用方式,非常利于开展饱和式蜂群攻击^[3-4]。



图 1 C-130 运输机正在通过 MCALS 发射 MALD 诱饵弹
Fig. 1 A MALD is released from a MCALS on a C-130 transport aircraft

2012~2013 年,雷神公司完成小型空射诱饵弹干扰型(MALD-J)和高速反辐射导弹(HARM)升级型向空军的交付。美国空军和雷神公司基于 MALD-J、HARM 升级型以及联合防区外武器(JSOW),开发对敌防空压制/摧毁(SEAD/DEAD)的空射集群作战样式。2014 年,雷神公司对外公开了一个视频,展示了 JSOW, HARM 和 MALD 配合使用的协同作战概念^[4-6],如图 2 所示。

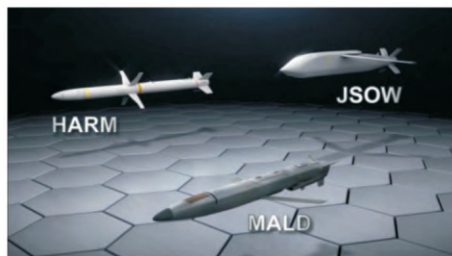


图 2 JSOW, HARM 和 MALD 协同作战概念
Fig. 2 JSOW, HARM and MALD cooperative combat concept

MALD 与 HARM, JSOW 编队,可按照任务规划系统的引导,进行时间、空间、功能协同作战,实现对敌防空压制/摧毁(SEAD/DEAD)任务。MALD 可从战斗机、轰炸机以及运输机上发射,能模仿友机信号特征(见图 3),在提高友机生存能力的同时对敌方进行饱和攻击,干扰敌方防空雷达。HARM 可以从防区外摧毁海上和陆上的敌防空雷

达,使敌防空系统丧失作战能力。JSOW 是雷神公司研制的一种低成本高杀伤性防区外空面精确打击武器,在目标受到严密防护时仍具有较好的战场突防能力^[7]。



图 3 MALD 前出模拟己方战机信号特征

Fig. 3 The signal characteristics of their own fighters protruded and simulated by MALDs

根据美军设想,如果目标拥有严密的防空体系,则在距离目标空域 300~500 km 时,由 E-2 预警机、C-130 运输机或 B-52 轰炸机(携带 MALD-J)以及 F-15E, F-16, F/A-18E/F 战斗机(携带 JSOW 或 HARM 导弹)组成作战编队。在距离目标空域 200 km 时,B-52 或 C-130 发射若干枚 MALD-J,前出作战编队 60~120 km 巡航飞行,模拟美空军战机雷达反射信号,诱使敌防空雷达开机并发射防空导弹。然后, MALD-J 一边利用自身雷达干扰机压制/干扰敌防空导弹和雷达,一边将目标位置坐标通过数据链发送给 F/A-18E/F 或 B-52, B-52 或 F/A-18E/F 发射 HARM 或 JSOW 后, MALD-J 利用双向数据链引导 HARM 或 JSOW 摧毁敌防空导弹阵地和雷达,致使敌防空体系失效,从而为后续战机/导弹编队开辟出攻击通道^[8]。

1.1.3 “灰狼”导弹

2017 年 3 月 8 日,美国空军研究实验室(AFRL)发布公告(BAA-AFRL-RWK-2017-0002_01),正式启动“灰狼”导弹技术验证项目。“灰狼”导弹是一种低成本亚音速巡航导弹原型,主要采用网络化协同作战方式打击敌方一体化防空系统,可配合现有武器系统协同作战,提升整体作战效能。AFRL 表示,该项目的目的就是验证能够大量生产的低成本集群式攻击的巡航导弹技术是否可行,旨在以低单价可消耗的导弹来压制和消耗敌方高价值反击手段,未来美国空军的轰炸机、运输机乃至战略能力办公室提出的“武库机”都可以借此大大提高作战能力^[9]。

“灰狼”项目将对多个导弹原型开展螺旋式研发,包括对导弹原型的设计、研发、制造、组装和试验,以及对能够支持低成本生产和任务效能目

标的关键使能技术进行鉴定、研究和转化。“灰狼”项目将尝试多种低成本、多功能子系统和创新制造技术以降低系统成本,采用模块化开放式系统架构支持快速技术更新,项目过程中将对每项功能的作战效能和成本进行权衡研究。项目承包商与军方用户共同进行作战使用概念论证,对“灰狼”导弹的作战方案(CONOP)、战术/技术/程序(TTP)、支援保障系统和政策等进行定义、评估和完善,以支持该武器进入战场^[9],如图4所示。

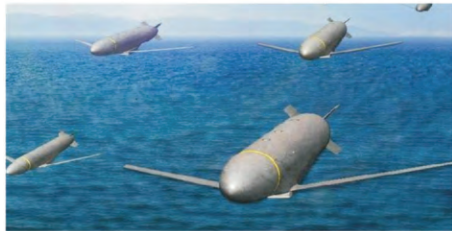


图4 “灰狼”导弹概念

Fig. 4 Gray wolf missile concept

“灰狼”导弹的作战定位就是执行强对抗环境下多弹协同攻击作战任务,同时作为一种“补位”武器,“灰狼”导弹必须有效融入美国空军正在推进的“分布式空战”体系,与现有武器装备充分协作。网络化协同作战能力对武器作战效能影响非常显著,因此“灰狼”导弹项目中特别强调网络化协同作战概念论证和技术支撑^[9]。

由于导弹的射程、制导体制、毁伤能力等关键战技性能对生产成本影响非常大,战技性能与生产成本的权衡研究将是“灰狼”项目的重要工作内容。目前美国空军还没有在公开文件中公布“灰狼”导弹的理想战技性能和成本目标^[10]。

2017年12月18日和20日,AFRL分别与洛克希德·马丁公司和诺斯罗普·格鲁曼公司签署了价值1.1亿美元的合同,用于“灰狼”导弹的第一阶段研发工作^[11-12]。这两份合同是AFRL在2017年3月签发的关于亚音速巡航导弹样品设计、研发、生产和试验的要求基础上制定的。在项目第一阶段,两家公司的导弹平台将试用一系列不同的载荷,包括动能打击弹头、电子攻击弹头以及情报、监视和侦察系统。按照美军要求,后续将研制一种能够在高对抗环境下瘫痪敌方多种防空系统(包括地空导弹、雷达和通讯中心)的网络化远程导弹。该导弹应该能与其他武器进行网络协作以便实现大规模联合使用、互相交换目标指示等,其需要完成的任务不仅包括打击目标,还应该进行监视、侦察、情报以及电子战^[9]。

在AFRL提出的项目招标中,共有7家美国公司提出了自己的方案,但是只有洛克希德·马丁公司和诺斯罗普·格鲁曼公司获得了合同。根据第一阶段合同,这两家公司将分别在2022年底和2024年底完成本公司导弹原型的研发和测试。根据2017年的财政预算,AFRL给这两家公司各支付了约300万美元作为项目启动资金^[13-14]。AFRL希望到2019年年底在F-16战机上进行导弹的初步演示。该导弹还将与F-35, F-15, F/A-18, B-1B, B-2和B-52飞机兼容^[15]。

1.2 美国海军

美国海军在2014年提出“分布式杀伤”概念,计划通过分散部署火力,来提高己方攻击能力和增加敌方定位难度,实现己方平台防御能力的显著提升,其中超视距反舰导弹和组网交战能力是关键因素。

1.2.1 “远程反舰导弹”(LRASM)

为了满足美国海军对下一代反舰作战能力的需求,DARPA和海军研究办公室在2009年启动“远程反舰导弹”(LRASM)项目(见图5)。该项目是基于JASSM-ER研发的一种可舰射和空射的防区外反舰导弹,通过LRASM实施分布式精确打击,使对手难以锁定目标,同时实现更大规模齐射,可满足美国海军和空军的作战需求。目前,正在进行相关的飞行试验。2018年和2019年分别完成LRASM空射型与美国空军B-1B轰炸机和美国海军F/A-18E/F战斗机的集成试验^[16]。



图5 “远程反舰导弹”(LRASM)

Fig. 5 Long range anti-ship missile (LRASM)

LRASM的先进导引头/制导组件集成了被动雷达接收机、主动雷达、红外成像传感器、数据链、抗干扰数字GPS和新型人工智能软件,可利用数据链终端与舰艇、通信卫星、电子战飞机、无人机建立双向通信链路,与指控中心、舰艇、飞机、导弹形成网络化协同作战体系^[17],如图6所示。

1.2.2 “战斧”导弹

2013年,美国开展“战斧”巡航导弹作战研究和传感器改进计划,完成了用于“战斧”Block4+的

被动雷达导引头的试验。该导引头采用先进的处理器和天线技术,可同时对多个移动或固定目标进行定位和跟踪,导引头上的共形天线阵包括 16 个天线,每个天线都具有为主动雷达导引头提供宽频覆盖和定向的能力^[18]。2015 年进行的主动雷达导引头试验验证了“战斧”Block4 + 对移动目标进行打击的能力,包括反舰能力^[19],如图 7 所示。该新型“战斧”在飞行中可以探测到敌方雷达、通信以及其他电子战装置的相关信息,为己方提供最新态势感知并对关键目标实施打击。“战斧”Block4 + 是美国海军在“战斧”Block4(即“战术战斧”)基础上,利用网络中心战技术和经验发展的新型“战斧”导弹。其采用双向数据链,可迅速接收来自指挥控制系统的最新信息,改变航向攻击新出现或更加重要的目标^[16]。

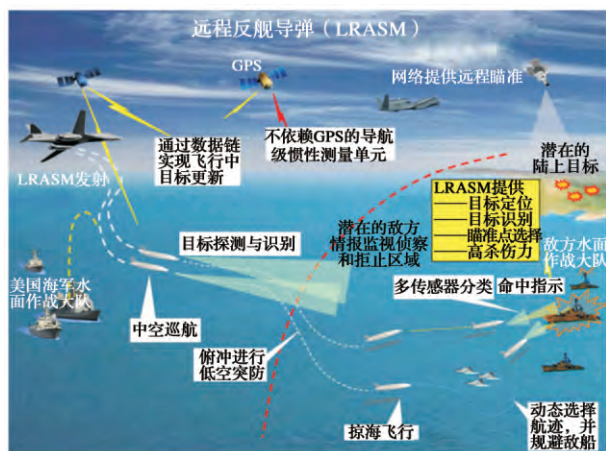


图6 “远程反舰导弹”(LRASM)的作战模式

Fig.6 Operation mode of long range anti-ship missile (LRASM)



图7 “战斧”Block4 + 导弹对移动目标打击的能力^[20]

Fig.7 Strike ability of Tomahawk Block IV + missile against moving target^[20]

由于“战斧”Block4 + 导弹可以在飞行中重新定向打击移动目标,因此,美国海军希望该导弹能够和小型无人机协同作战。在网络化作战过程中,小型无人机对敌方目标进行定位和跟踪,把获得的目标数据传送给控制中心,控制中心再根据目

标状态控制“战斧”导弹重新定向。美国海军每年要进行大量导弹飞行试验,以确保软件升级得当,同时验证“战斧”导弹与小型无人机协同作战概念。利用无人机完成“战斧”导弹寻的任务,可缩短“战斧”导弹的飞行时间,从而扩大其战术运用范围^[21-22]。

1.2.3 “标准-6”导弹

“标准-6”导弹是美国雷神公司研发的可应对不断发展的空中威胁的新一代“标准”系列导弹,如图8所示。其在确保半主动雷达制导能力基础上,加装 AIM-120 空空导弹的主动雷达导引头,可在视距外主动寻的、识别目标并实施精确打击。导弹采用了与 AIM-120C/D 空空导弹类似的高抛弹道,发射升空后,首先爬升到 30 km 的高空,做无阻力滑翔,接近目标时采取居高临下的机动模式,在主发动机已关闭的情况下,仍然有充足的能量储备进行机动作战,可实现对远程低空掠海目标的拦截。2016 年 1 月,美国海军成功完成“标准-6”导弹的首次反舰试验,验证该导弹视距外反舰作战的能力。“标准-6”导弹目前是“标准”系列中唯一接入“协同作战能力”(CEC)系统、借助其他作战平台实现第三方制导的多功能武器。该导弹能通过 CEC 实现超视距反舰目标指示。从本舰发射的“标准-6”导弹可不由本舰雷达进行目标照射和制导,而是在安装了 CEC 系统的其他舰艇或具有目标指示能力的飞机指示下进行目标拦截;利用复合雷达导引头/GPS 制导,进行反舰精确打击^[16,23]。



图8 美国海军的“标准-6”导弹

Fig.8 Standard-6 missile of US navy

为了增强武器的组网交战能力,美国海军目前正在大力发展“海军综合火控与防空”(NIFC-CA)系统,该协同交战防空体系旨在基于 CEC 提供的的数据链技术,实现航母驱护编队、预警机、战斗机、电子战飞机等作战平台的传感器、武器的网络化协同。“标准-6”导弹目前已纳入 NIFC-CA 系统,可以利用 E-2D 预警机、F-35 战斗机等舰

外传感器平台提供的目标数据进行交战,最后阶段再利用导弹主动雷达导引头完成攻击,如图9所示。2016年6月,美国海军利用F-35战斗机成功进行了“标准-6”导弹NIFC-CA能力验证试验,验证了“标准-6”导弹的网络协同作战能力^[16,23]。

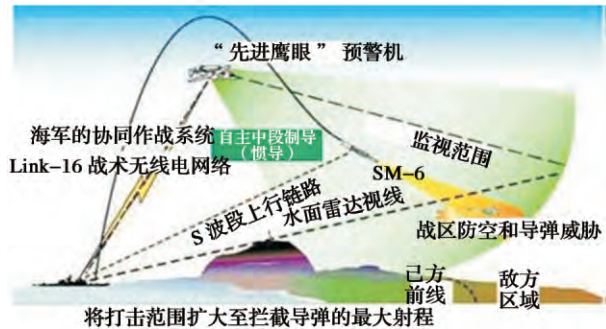


图9 “标准-6”导弹与NIFC-CA系统作战示意图

Fig. 9 The operational diagram of Standard-6 missile and NIFC-CA system

据报道,美国雷神公司和波音公司计划将“标准-6”导弹移植为空射导弹,装载在F-15战斗机和无人机上^[24]。美国海军也在计划把“标准-6”导弹改装为远程空空导弹,挂载到F-18E/F战斗机上。根据机载要求进行适应性改进后的导弹弹体上将重新设计挂点和相应的电气接口。导弹型号为SM-6 Dual II,长度4.5 m,发射重量800 kg,比现有的SM-6 Dual I(长度6.5 m,发射重量1 500 kg)要小一点。美国海军认为其可以提供200 km以上拦截距离^[25]。在未来基于网络中心战的协同作战中,处于后方的预警机,前出的F-22,F-35战斗机及无人机都有可能为SM-6 Dual II导弹提供初始目标信息,并在其飞行中段通过高速数据链继续对其提供航向修正信息,直至飞行末段主动雷达导引头开始工作^[26]。

1.3 美国陆军

美国陆军的“网火”新一代作战系统是美国武器协同研究的典型代表。“网火”系统由巡逻攻击导弹(LAM)、精确攻击导弹(PAM)、箱式发射单元以及网络化攻击控制中心组成。可对战区内的静止和运动目标进行高毁伤打击^[27]。

2004年,美国陆军与洛克希德·马丁公司、雷神公司合作研制的“网火”导弹系统经过改进后,首次采用LAM和PAM协同攻击的方式,如图10所示。其中LAM既是领弹又是攻击弹,发射后在飞行中将传感器测得的目标信息和作战指令传送给PAM,需要LAM打击目标时再飞向目标。PAM发射后只需要接收LAM发送的信息和指令对目标

进行攻击。这种将火力打击、侦察监视、效能评估和打击任务分配等功能通过数据链集于一体的全新的网络化协同作战方式,明显提高了弹群整体作战效能^[28-30]。

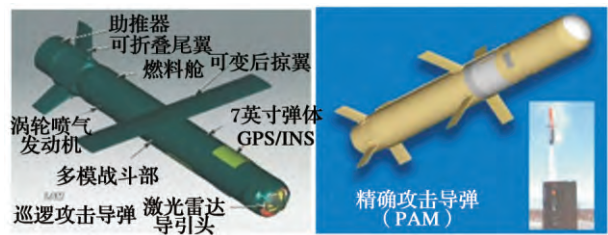


图10 洛克希德·马丁公司的巡逻攻击导弹(左)和雷神公司的精确攻击导弹(右)

Fig. 10 The loitering attack missile of Lockheed Martin (left) and precision attack missile of Raytheon(right)

2017年,美国陆军发布未来30年导弹科技战略。其中“多导弹同步交战技术”(MSET)是针对未来反介入/拒止环境中的分散威胁而重点发展的一个项目。MSET是一个系统套件,可以安装在陆军有人和未来无人航空平台上。多导弹同步交战系统由智能巡飞导弹和双向数据链组成,可直接接收情报、监视和侦察传感器(如小型无人机)通过战术网络传输过来的精确目标位置坐标,对敌方的固定和移动目标群或单个目标进行精确打击,能实现多枚导弹的发射、控制以及“人在回路”的自主末段交战。美国陆军航空和导弹研究、开发工程中心(AMRDEC)在2016年已经启动了MSET研发工作,目标是使一个操作员控制6枚精确导弹打击4个静止目标和2个移动目标。在成功完成半实物仿真试验后的9个月内,AMRDEC进行了6次降低风险的飞行试验。2017年6月,AMRDEC正式发布MSET方案征询书,计划在2024年前研发出多导弹协同交战系统。征询书中涉及到要实现的六大关键技术,分别是多导弹同步交战系统架构、指挥控制/火力控制技术、导弹自主协同/末段交战技术、多导弹数字数据链及支持组件技术、不依赖GPS导航技术、多导弹同步交战系统仿真技术。接下来,MSET项目将重点发展图像处理算法,实现有监督的自主末段交战。未来的工作还包括开发关键作战火控和数据链技术,最终要实现20枚以上导弹同步交战^[31]。

美国陆军未来30年导弹科技战略中指出,为了提高目前以及未来陆军有人/无人混合空中编队对抗大量空中/地面威胁的能力,机载导弹将发展能挂载到多平台上的具有开放式架构的导弹解决方案,导弹将具有快速改装或扩展的能力以及较

低的寿命周期成本,如图 11 所示。准备在 2019 ~ 2023 财年发展模块化导弹开放架构部件(可组装成空空、空地等多型导弹)并进行多用途导弹演示验证。计划于 2024 ~ 2050 财年发展下一代空地导弹^[32]。

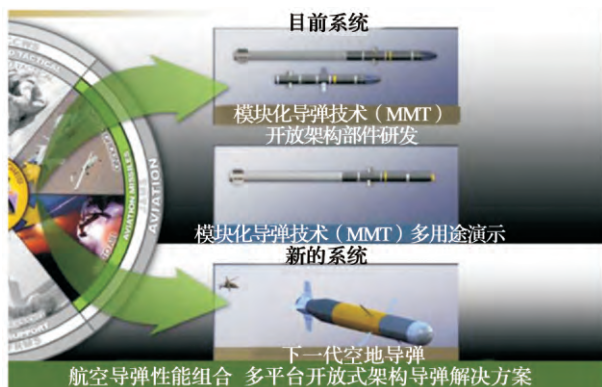


图 11 多平台开放式架构导弹解决方案

Fig. 11 Open architecture missile solutions for multiple platforms

2 导弹协同作战关键技术

导弹协同作战通过体系协同的方式来提高弹群的整体作战效能,是未来信息化、智能化战争的大势所趋,一方面要关注导弹协同作战的发展情况,另一方面还要注意相关的技术问题,解决问题,最终提升导弹武器的协同作战能力。导弹协同作战的关键技术主要包括态势感知、信息融合、任务规划、导航制导协同、数据链技术、协同作战效能评估等。

2.1 态势感知技术

态势感知技术主要包括感知探测技术和感知识别算法。感知探测技术是指导弹为获取飞行态势/生存状态信息而采取的各种探测技术,涉及各种体制的态势感知探测器和弹间数据链路。感知识别算法主要是把感知探测技术获取的数据和信息进行融合,对攻防双方位置和身份、战场态势和威胁进行精确实时估计,为协同决策提供支持。为了满足态势感知系统及时、准确和智能化信息处理的要求,贝叶斯网络和神经网络都是可以采取的解决方案^[33]。

2.2 信息融合技术

信息融合技术是把多个传感器测得的数据、信息进行综合和自动分析,从而对威胁实现精确定位,对其特征进行判断并对威胁情况做出评估。采用多传感器信息融合技术可以改善对目标的探测、跟踪和识别能力,从而有效提高整个探测系统

的性能。目前比较成熟的多传感器信息融合方法有卡尔曼滤波、加权平均、贝叶斯估计、统计决策等^[34]。

2.3 任务规划技术

任务规划是指根据战场态势感知结果,在给定约束条件下进行火力分配,为每一枚导弹找到攻击目标的最佳飞行航迹。而且随着目标信息的变化可调节导弹打击任务。在多枚导弹攻击多个目标的情况下,火力分配问题可转化成含约束的整数规划问题,可以考虑使用遗传算法、免疫算法、模拟退火算法等求解。航迹规划则期望实现最优避防路径,因而可转化为广义的最短路径问题,采用动态规划方法来处理^[28]。

2.4 导航制导协同技术

导航协同就是利用各导弹配备的测量测距装置和卫星导航接收机,通过分布式发射/接收机制,实现弹间导航信息共享,修正惯性偏差,对目标精确打击的同时减小己方被探测到的概率。制导控制协同主要是确定弹群规模、探测器分配和打击目标分配,根据导弹飞行速度及其探测器特性,确定弹间距离、方位和协同方式,研究飞行中的调度管理、策略设计以及协同发射单元优选等^[33]。

2.5 数据链技术

对抗环境下具有一定隐身性能、响应速度快、抗干扰能力强的先进数据链技术是导弹协同作战的核心技术。多枚导弹在空中动态组网形成多弹协同网络化作战系统,通过数据链可在导弹间传递和交换目标信息、环境信息和协同信息。导弹还可以通过数据链与指控中心、各作战平台组成战术数据传输/交换和信息处理网络,实现信息共享。目前多弹协同数据链主要需解决制导信息网设计、低时延传输、时空统一、信息交互、智能组网、目标快速精确定位和跟踪等问题^[30]。

2.6 协同作战效能评估技术

导弹协同作战效能评估不仅与导弹战技指标有关,还与导弹的作战使用和特定的目标条件等有关,应尽可能在对抗中实现,即依据作战设想、仿真结果、定量定性结合、历史战例分析与现实信息结合,充分利用作战仿真法和效能评估辅助决策支持系统进行效能评估^[28]。

3 结 束 语

在美国战略重点转向应对大国、高强度实施第三次“抵消战略”的背景下,美国军方开始聚焦

于导弹协同作战等前沿军事技术的探索和转化。导弹协同作战目前已成为精确制导领域的一个重要发展方向和研究前沿,作为一种新型体系作战方法,其在提高导弹的突防能力、电子对抗能力、运动目标搜捕能力和跟踪精度等方面有着突出的优势,是未来导弹武器降低作战成本、提高可靠性、增强快速反应能力和综合作战效能的重要途径;同时,这种新型作战方式也为导弹后续发展开辟了新的思路,导弹的小型化、低成本化、多功能化以及先进的开放式架构将成为研发重点。目前导弹协同作战研究还处于起步与技术积累阶段,可以在兼顾近期和远期需求的基础上,设计适合自己情况并突出前瞻性、先导性、探索性和颠覆性特点的预研安排,逐步解决导弹协同作战所涉及的关键技术,为未来新型作战方式做好技术储备。

参考文献:

- [1] Richardson D. AMRAAM Engages a JLENS-Cued Target [J]. Jane's Missiles & Rockets, 2013(8): 1.
- [2] 李宝锋. 美军首次使用 JLENS 系统引导空空导弹拦截反舰导弹[EB/OL]. (2013-08-09) [2019-07-01]. <http://www.Chinanews.com>.
Li Baofeng. The US Military has Used the JLENS System for the First Time to Guide an Air-to-Air Missile to Intercept an Anti-Ship Missile [EB/OL]. (2013-08-09) [2019-07-01]. <http://www.Chinanews.com>. (in Chinese)
- [3] Eshel T. Raytheon Deploys Miniature Air Launched Decoys from C-130 Cargo Aircraft [EB/OL]. (2011-05-31) [2019-07-01]. http://defense-update.com/20110531_mcald_mald.html.
- [4] 蒋琪, 申超, 张冬青. 认知/动态与分布式作战对导弹武器装备发展影响研究[J]. 战术导弹技术, 2016(3): 1-6.
Jiang Qi, Shen Chao, Zhang Dongqing. Research on Influence of Cognitive/Dynamic and Distributing Warfare on Missile Weapon Equipment [J]. Tactical Missile Technology, 2016(3): 1-6. (in Chinese)
- [5] 赵彦杰. 无人机集群系统的国外现状与趋势[EB/OL]. (2017-04-26) [2019-07-01]. <http://www.360doc.com>.
Zhao Yanjie. The Status and the Trend of Drone Swarm Systems Abroad [EB/OL]. (2017-04-26) [2019-07-01]. <http://www.360doc.com>. (in Chinese)
- [6] Expendable Wave: Raytheon's MALD & MALD-J Decoys [EB/OL]. (2014-12-14) [2019-07-01]. <http://tacticalmashup.com/expendable-wave-raytheons-mald-mald-j-decoys/>.
- [7] 张翼麟, 文苏丽, 陈英硕, 等. 导弹协同作战的自组织网络技术发展[J]. 飞航导弹, 2015(4): 69-77.
Zhang Yilin, Wen Suli, Chen Yingshuo. The Development of Self-Organizing Network Technology for Missile Cooperative Operation [J]. Aerodynamic Missile Journal, 2015(4): 69-77. (in Chinese)
- [8] 谢宏伟. 美军大批量装备微型空射诱饵[EB/OL]. (2017-11-21) [2019-07-01]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzAwMTI4Njg3MQ%3D%3D&idx=4&mid=2663110727&sn=d79a49d3168b14c3dec78917471db050.
Xie Hongwei. The US Military Has Fielded Miniature Air-Launched Decoy in Large Quantities [EB/OL]. (2017-11-21) [2019-07-01]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzAwMTI4Njg3MQ%3D%3D&idx=4&mid=2663110727&sn=d79a49d3168b14c3dec78917471db050. (in Chinese)
- [9] 美国空军研制“灰狼”廉价巡航导弹[EB/OL]. (2017-12-26) [2019-07-01]. http://sh.qihoo.com/pc/2s1cnqmuh1j?sign=360_e39369d1.
US Air Force Develops Cheap Gray Wolf Cruise Missile [EB/OL]. (2017-12-26) [2019-07-01]. http://sh.qihoo.com/pc/2s1cnqmuh1j?sign=360_e39369d1. (in Chinese)
- [10] 宋怡然. 美国空军发展“灰狼”低成本防区外空地弹[EB/OL]. (2017-03-17) [2019-07-01]. <http://war.163.com/17/0317/15/CF08CA9F000181KT.html>.
Song Yiran. US Air Force Develops Low-Cost Stand-Off Gray Wolf Air-to-Ground Missile [EB/OL]. (2017-03-17) [2019-07-01]. <http://war.163.com/17/0317/15/CF08CA9F000181KT.html>. (in Chinese)
- [11] Lockheed Martin Wins \$110 Million Gray Wolf Sub-Sonic Cruise Missile Demonstration Contract [EB/OL]. (2017-12-19) [2019-07-01]. http://www.defenseworld.net/news/21549/Lockheed_Martin_Wins_110_Million_Gray_Wolf_Sub_sonic_Cruise_Missile_Demonstration_Contract#.WuPXFtLC8ZQ.
- [12] Northrop Grumman Wins Contract for Gray Wolf Cruise Missile Demonstration Effort [EB/OL]. (2017-12-21) [2019-07-01]. <https://defpost.com/northrop-grumman-wins-contract-gray-wolf-cruise-missile-demonstration-effort/>.
- [13] F35 新武器: 灰狼导弹可摧毁防空系统[EB/OL]. (2017-11-30) [2019-07-01]. <https://mini.eastday.com/a/171230121829339.html>.
F35 New Weapon: Gray Wolf Missile Can Destroy Air Defenses [EB/OL]. (2017-11-30) [2019-07-01]. <https://mini.eastday.com/a/171230121829339.html>.

- (in Chinese)
- [14] Trevithick J. USAF Wants Swarms of Cheap “Gray Wolf” Cruise Missiles That Can Overwhelm Enemy Defenses [EB/OL]. (2017 - 12 - 29) [2019 - 07 - 01]. <http://www.thedrive.com/the-war-zone/17257/usaf-wants-swarms-of-cheap-gray-wolf-cruise-missiles-that-can-overwhelm-enemy-defenses>.
- [15] Hughes R. Lockheed Martin , Northrop Grumman Awarded Low-Cost ‘Gray Wolf’ Cruise Missile Development Contracts [J]. Jane’s International Defence Review , 2018(2) : 19.
- [16] 方勇. 新型作战概念影响美国导弹武器发展 [J]. 现代军事 , 2017(5) : 68 - 72.
Fang Yong. The New Combat Concept Affects the Development of US Missile Weapons [J]. Modern Military , 2017(5) : 68 - 72. (in Chinese)
- [17] 侯学隆. 远程反舰导弹性能特点与作战使用研究 [J]. 飞航导弹 , 2017(3) : 12 - 20.
Hou Xuelong. Research on the Performance Features and Operational Use of Long Range Anti-Ship Missile [J]. Aerodynamic Missile Journal , 2017(3) : 12 - 20. (in Chinese)
- [18] Sokol I. Tomahawk Missile’s ESM Seeker Uses EM Signature to Track Targets [EB/OL]. (2013 - 10 - 23) [2019 - 07 - 01]. <http://www.mwrf.com/systems/tomahawk-missile-s-esm-seeker-uses-em-signature-track-targets>.
- [19] Raytheon Completes Active Seeker Test for Tomahawk Cruise Missile [EB/OL]. (2016 - 01 - 13) [2019 - 07 - 01]. <http://www.raytheon.com>.
- [20] Scott R. Raytheon to Embody Maritime Targeting Capability in Tomahawk Block IV [J]. Jane’s International Defence Review , 2018(4) : 22.
- [21] 马利娟. 美战斧导弹将与无人机协同作战 [EB/OL]. (2016 - 08 - 17) [2019 - 07 - 01]. <http://www.dsti.net>.
Ma Lijuan. US Tomahawk Missile Will Cooperate with Drones [EB/OL]. (2016 - 08 - 17) [2019 - 07 - 01]. <http://www.dsti.net>. (in Chinese)
- [22] 李文胜, 王然辉. 美国战斧 Block 4 巡航导弹的改进及未来发展 [J]. 飞航导弹 , 2016(4) : 28 - 31.
Li Wensheng , Wang Ranhui. The Improvement and the Future Development of US Tomahawk Block IV Cruise Missile [J]. Aerodynamic Missile Journal , 2016(4) : 28 - 31. (in Chinese)
- [23] 彭灏. 标准 - 6 导弹的演进发展及能力分析 [J]. 飞航导弹 , 2017(5) : 24 - 28.
Peng Hao. The Analysis on the Advancement and the Capability of Standard-6 Missile [J]. Aerodynamic Missile Journal , 2017(5) : 24 - 28. (in Chinese)
- [24] 高旭. 云端猎杀——美国下一代空空导弹发展 [J]. 兵工科技 , 2018(9) : 46 - 51.
Song Xu. The Hunting in the Clouds-the Development of US Next Generation Air-to-Air Missile [J]. Ordnance Industry Science Technology , 2018(9) : 46 - 51. (in Chinese)
- [25] 徐臻豪. 歼 - 20 的杀手锏 [J]. 兵工科技 , 2018(17) : 26 - 30.
Xu Zhenhao. The Killer Weapon of J-20 [J]. Ordnance Industry Science Technology , 2018(17) : 26 - 30. (in Chinese)
- [26] 郑静. “标准” - 6 变身远程空空导弹的背后 [J]. 兵工科技 , 2018(17) : 72 - 76.
Zheng Jing. The Details of Standard-6 Becoming a Long-Range Air-to-Air Missile [J]. Ordnance Industry Science Technology , 2018(17) : 72 - 76. (in Chinese)
- [27] Raytheon PAM Lockheed Martin LAM (NetFires NLOS) [EB/OL]. (2005 - 03 - 17) [2019 - 07 - 01]. <http://www.designation-systems.net/dusrm/app4/net-fires.html>.
- [28] 胡正东, 林涛, 张士峰, 等. 导弹集群协同作战系统概念研究 [J]. 飞航导弹 , 2007(10) : 13 - 18.
Hu Zhengdong , Lin Tao , Zhang Shifeng , et al. Research on the Concept of Missile Cluster Cooperative Combat System [J]. Aerodynamic Missile Journal , 2007(10) : 13 - 18. (in Chinese)
- [29] 曾华, 樊波, 倪磊, 等. 多导弹协同作战目标分配方法研究 [J]. 飞航导弹 , 2016(9) : 75 - 79.
Zeng Hua , Fan Bo , Ni Lei , et al. Research on Target Allocation Method of Multi-Missile Cooperative Operation [J]. Aerodynamic Missile Journal , 2016(9) : 75 - 79. (in Chinese)
- [30] 徐胜利, 陈意芬, 范晋祥, 等. 多弹协同技术在防空导弹发展中的应用探讨 [J]. 电光与控制 , 2017(2) : 55 - 59.
Xu Shengli , Chen Yifen , Fan Jinxiang , et al. Application of Multi-Missile Cooperative Technology in Development of Air-Defense Missiles [J]. Electronics Optics & Control , 2017(2) : 55 - 59. (in Chinese)
- [31] 李磊, 王彤. 为支撑多域战美国发展新导弹技术 [EB/OL]. (2018 - 07 - 17) [2019 - 07 - 01]. <http://www.hiwingnews.com>.
- [32] 庞娟, 胡冬冬. 美国陆军发布未来 30 年导弹科技发展战略 [J]. 现代军事 , 2017(11 - 12) : 87 - 90.

- Pang Juan , Hu Dongdong. The US Army Has Released a Strategy for Developing Missile Technology for the Next Thirty Years [J]. Modern Military , 2017(11 - 12) : 87 - 90. (in Chinese)
- [33] 张烁. 导弹协同作战的层次与方式 [C] // 2014 年国际先进武器发展专题研讨会文集 , 2014: 45 - 51.
- Zhang Shuo. The Level and Mode of Missile Cooperative Operation [C] // Symposium Proceedings on the Development of 2014 International Advanced Weapons , 2014: 45 - 51. (in Chinese)
- [34] 肖增博. 多导弹协同作战关键技术研究 with 展望 [J]. 飞航导弹 , 2008(6) : 24 - 26.
- Xiao Zengbo. Research and Prospect of Key Technologies for Multi-Missile Cooperative Operation [J]. Aerodynamic Missile Journal , 2008(6) : 24 - 26. (in Chinese)

Research on the Concept Development of the United States Missile Cooperative Operations for Future War

Zhao Hongyan *

(China Airborne Missile Academy , Luoyang 471009 , China)

Abstract: In order to deal with the development of anti-access and area-denial capabilities of China , Russia and other countries , the United States has carried out research on new combat concepts such as combat cloud , penetrating counter air , loyal wingman , distributed air combat. The emergence of new combat modes such as unmanned intelligent warfare and swarm attack has promoted the transformation of future air combat from informatization to intelligence , and also has promoted the development of missile weapons to a new distributed cooperative operation mode. In this paper , the missile weapon system for distributed cooperative warfare system , which is accelerated by US military , is tracked and studied. The distributed cooperative combat system are researched , the development states of missile cooperative combat are described , and the key technologies are summarized.

Key words: cooperative combat; miniature air-launched decoy; gray wolf missile; Standard-6 missile; multi-missile synchronous engagement technology