

引用格式: 徐梁, 潘宣宏, 吴铭. 有人/无人机协同反潜作战模式探析[J]. 中国舰船研究, 2018, 13(6): 154-159.

XU L, PAN X H, WU M. Analysis on manned/unmanned aerial vehicle cooperative operation in antisubmarine warfare [J]. Chinese Journal of Ship Research, 2018, 13(6): 154-159.

有人/无人机协同反潜作战模式探析

徐梁^{1,2}, 潘宣宏¹, 吴铭²

1 海军航空大学 航空作战勤务学院, 山东 烟台 264001

2 海军指挥学院, 江苏 南京 210016

摘要: [目的] 有人/无人机混编协同反潜作战可以发挥有人机和无人机的互补优势, 极大提高作战运用效能, 是未来网络化条件下航空作战的典型方式之一。[方法] 分析有人/无人机协同反潜作战具有的作战优势及面临的困难, 介绍国内外关于有人/无人机协同作战的理论研究现状和装备发展情况。在此基础上, 重点探讨协同反潜的5种典型模式, 并基于协同反潜任务需求, 提出协同任务规划、协同数据链、反潜机和无人机平台的能力需求及实现协同反潜作战所需解决的关键技术。[结果] 研究表明, 有人/无人机协同反潜作战具有极大潜能。[结论] 对未来无人机装备发展和有人/无人机协同反潜作战训练具有重要的指导意义。

关键词: 有人/无人机; 协同作战; 反潜战; 作战模式

中图分类号: E926.38

文献标志码: A

DOI: 10.19693/j.issn.1673-3185.01072

Analysis on manned/unmanned aerial vehicle cooperative operation in antisubmarine warfare

XU Liang^{1,2}, PAN Xuanhong¹, WU Ming²

1 Air Operations Academy, Naval Aviation University, Yantai 264001, China

2 Naval Command College, Nanjing 210016, China

Abstract: [Objectives] Cooperative operation of Manned/Unmanned Aerial Vehicle (MAV/UAV) hybrid formation in antisubmarine warfare can give full play to both MAV and UAV to improve the operational efficiency significantly, being one of the typical air operation modes in the future under the network condition. [Methods] This paper analyzes the operational advantages and technical challenges of cooperative operation of MAV/UAV in antisubmarine warfare, and introduces the theoretical research status and equipment development of this operation at home and abroad. On this basis, this paper focuses on five typical operation modes in antisubmarine warfare, and based on the antisubmarine mission requirements, puts forward the cooperative operation planning, cooperative data chain, capacity requirement for antisubmarine warfare aircraft and UAV platform and the key technologies to be solved to achieve cooperative antisubmarine warfare. [Results] It is shown that cooperation of MAV/UAV has great potential in antisubmarine warfare, [Conclusions] and the findings provide guidance for future UAV equipment development and MAV/UAV cooperative antisubmarine warfare training.

Key words: Manned/Unmanned Aerial Vehicle (MAV/UAV); cooperative combat; anti-submarine warfare; operational mode

0 引言

有人/无人机协同反潜是将具有远程探测能

力的反潜机作为指挥机, 将不具备远程探测能力, 但隐身性能良好, 可以携带小型探潜设备及精确制导武器的无人机作为广域监视兵力, 指挥机位

收稿日期: 2017-09-25

网络首发时间: 2018-11-5 8:55

基金项目: 国家社会科学基金资助项目

作者简介: 徐梁(通信作者), 男, 1986年生, 博士生, 讲师。

潘宣宏, 男, 1968年生, 博士, 教授。研究方向: 航空兵作战。



于敌威胁范围之外及便于隐蔽指挥的空域,在数据链信息的支持下,两者密切协同来完成信息获取、战术决策、指挥控制、跟踪监视和武器发射等反潜过程。可以看出,为实现协同反潜,对无人机的自动化水平和完备程度提出了很高的要求。鉴于无人机智能系统尚不能替代人的思维和判断,提出了有人机和无人机混合编队来提高反潜作战效率和协同能力。

目前,世界各国在无人机研究与验证计划的基础上,在有人/无人机协同态势感知、协同攻击,以及无人机集群作战等方面已开展了大量工作。在技术研究领域,美空军提出软件使能控制(SEC)、损伤猎鹰(Scathe falcon)等计划,验证了有人机对无人战斗机、ISR空中平台对“察打一体”无人机的控制能力^[1];美海军于1997年开始对战术控制系统(TCS)的研制,2003年,在P-3C海上反潜巡逻机上验证了TCS对“火力侦察兵”无人机的5级能力,并于2015年研发出通用控制系统(CCS),实现了对无人侦察机、无人战斗机等多种类型无人机的通用化控制^[1];2015年,美海军研究办公室(ONR)公布了LOCUST项目,该项目允许在地面、飞机和甲板上以较快的速率发射数百架小型无人机,并在操作员很少介入的情况下执行掩护或巡逻任务,按照计划,未来将从P-8A反潜巡逻机或其他直升机上投放和回收^[2];美陆军从20世纪90年代初开始开发有人/无人协同概念,实施了机载有人/无人系统技术(AMUST),猎人远距杀伤编队(HSKT)、有人/无人机通用结构计划(MCAP)等多个项目,2013年开始将具有无人机4级控制能力的UAT装备于“阿帕奇”III型武装直升机上,实现对“阴影”无人机的实时指挥控制^[3];美国国防高级研究计划局(DARPA)开展的“小精灵”项目旨在研究能以集群作战方式饱和攻击敌防空系统的廉价小型无人机技术解决方案,目标是能在C-130运输机上发射小型无人机蜂群,并使用其他C-130进行回收,DARPA希望在2022年左右进行飞行演示^[4]。

在装备研发领域,阿联酋的ADCOM系统公司与意大利芬梅卡尼卡集团所属的怀特·阿莱尼亚水下系统公司(WASS)合作,通过优化“联合40”Block6反潜型无人机,使其可以用于布设声呐浮标,并仍可携带1枚轻型鱼雷在任务区域续航飞行16 h^[5];MQ-4C“人鱼海神”无人机是在RQ-4N“全球鹰”(RQ-4B海上型)无人机基础上改进而来的高空侦察、监视无人机。该机型作为美海军广域海上监视(BAMS)项目的无人机,于

2013年5月完成首飞,按计划美海军将使用68架MQ-4C和117架P-8A混编共同执行海上巡逻和监视任务,以代替逐渐老化的P-3C巡逻机;2009年,美海军授予波音公司一份合同,即通过在“扫描鹰”无人机上安装磁探仪设备发展一种“磁鹰”新型探潜无人机,用于低空探测、跟踪和定位水下潜艇,并可由P-8A、E-3A预警机和V-22在空中发射^[6];“火力侦察兵”MQ-8B无人机是目前世界上装备的比较先进的舰载无人直升机,可执行ISR、反潜和攻击任务。2014年5月,MQ-8B无人机与MH-60直升机开展联合飞行试验,验证了有人/无人机联合态势感知能力^[7]。

国内无人机发展起步较晚,有人/无人机协同作战的研究相对较少。在理论上,蔡俊伟等^[8]对有人/无人机协同作战的体系结构进行研究,初步建立了协同作战的系统结构;马向玲和雷宇曜^[9]对有人/无人机协同作战的关键技术进行了分析;魏瑞轩和吕明海^[10]针对有人/无人机混编协同的运用模式问题,设计了3种任务模式,提出了协同编组方式、决策过程和方法,对研究有人/无人协同运用具有一定的参考意义;张启栋和杨波^[11]从任务协同、时间协同、空域协同和频谱协同等方面探讨了有人/无人机的协同内容,对推进两者协同作战向更深层次发展有所启示;任涛和鲁明^[12]阐述了反潜巡逻机和无人机协同反潜的基本要求,列举了几种协同反潜样式。在技术上,国内已实现了对100多架小型无人机的陆地密集弹射、编队合围、集群行动等动作验证。总体来说,国内外侧重于对有人/无人机执行ISR、战场支援和纵深精确打击等任务的理论研究,这对于实现有人/无人机协同反潜作战提供了一定的基础,本文将通过探析有人/无人协同反潜作战模式,找出存在的技术瓶颈,进而提出更加具体的装备和技术需求方案,为显著提高反潜的作战效能进行探索。

1 有人/无人机协同反潜特点

近些年,随着无人机在军事领域的广泛应用,各国海军正试图使用无人机来弥补传统作战力量和模式在反潜作战上的劣势。在当前无人机智能化水平还不能支撑其完全实现“自主”运行的前提下,通过有人/无人机协同反潜作战充分发挥两者的优势,是未来重要的反潜作战方式。有人/无人机协同反潜的特点体现在以下几个方面:

1) 可提高反潜兵力使用效率。在实际反潜作战中,反潜机能够监听的浮标数量占自身携带浮标数量的1/10左右,其在反潜中可控的海域范

围有限。另外,受飞行安全和气象环境等因素的影响,反潜机使用浮标、磁探仪和红外探测仪等设备的搜潜效能并不高,这些都极大地限制了航空兵反潜效能的发挥。此时,就可由无人机代替反潜机携带相关传感器选择最佳工作方式进行检测,充分发挥反潜机和无人机的作战效能。

2) 能够发挥各自特长,形成优势互补。无人机可长时间留空,可执行重复性的侦察、监视等任务,而反潜机只需将精力集中于对信息的融合处理、决策分析和指令控制等关键环节。与此同时,无人机可以前出较大距离执行反潜作战任务,在很大程度上弥补了反潜机在航程和自身防御能力上的不足。

3) 战术运用更加灵活。无人机受外界环境干扰小,能够充分发挥航速、高度和航程的优势,而无需考虑飞行员承受过载的影响,为指挥员制定战术对策提供了更多的选择空间。例如,无人机可以对水面、水下潜艇进行搜索、跟踪,引导有人机进行最后攻击;相反,也可以由反潜机引导无人机携带反潜武器直接攻击敌方潜艇。

4) 信息传输更加及时和准确。有人/无人机之间通过协同视距链进行信息交互,减少了因依赖卫星与地面控制站通信所造成的信息延时和积压问题,同时在一定程度上减弱了敌方针对卫星下行链路进行干扰而受到的影响。

5) 对协同控制要求高。无人机体积小,安装完善的指控系统相对困难,更不可能携带大量传感器。因此,在执行任务过程中,需要反潜机不间断地指挥和控制,同时对控制的精确性、时效性和鲁棒性也提出了更高的要求,以便形成密切配合,发挥整体合力。

2 有人/无人机协同反潜模式分析

2.1 无人机前伸广域搜索,引导反潜机精确打击

反潜机根据受领任务情况、战场环境、水文气象条件和敌方潜艇信息等因素,引导无人机前出对潜艇实施大范围搜索,其所携带任务载荷包括红外传感器、光电传感器、化学传感器以及磁探仪等。在执行巡逻反潜任务时,无人机需要在敌潜艇可能经过的航路或区域持续、反复巡逻搜索,以对大范围海域进行持续监视,一旦发现潜艇踪迹,即可引导反潜机到达指定海域进行识别和攻击;在执行应召反潜任务中,无人机是在已知潜艇概略位置信息条件下对敌潜艇所在区域进行搜索,

其在接到命令后可快速出航,此时因延误时间短,潜艇散布的范围小,发现潜艇的概率也相对较高。在实际作战中,很有可能因潜艇速度、航向和位置等误差的影响,使潜艇存在的海域面积进一步增大,此时无人机可利用航程和续航时间上的优势,进一步拓展搜索范围,直至发现潜艇为止。

2.2 反潜机布放声呐浮标,无人机持续监听

声呐浮标因具有可快速布放、搜索范围大和携带方便等特点,是目前主要的搜潜手段。有人/无人机协同使用声呐浮标搜索,可先由反潜机根据任务性质、搜索海域形状、范围大小以及声呐浮标数量等因素,首先确定相应的阵型布设浮标,然后控制无人机对浮标进行持续监听,直至发现潜艇信号,再由反潜机布设主动定向浮标对目标实施精准定位。

在监听声呐浮标过程中,无人机按照浮标监听要求设置监听航路,飞行航路的长度应小于其监听声呐浮标的距离,以保证监听过程的连续性。当所布声呐浮标阵较长、声呐浮标数量多时,可派出多架无人机协同监听,但应事先协调好每架无人机监听的区域和相应的声呐浮标编号,一旦接收到由声呐浮标发现潜艇的信号,就可以根据发送信号声呐浮标的位置确定潜艇的位置。由此可见,无人机可完成大范围的监听工作,使反潜机从繁重的监听任务中释放出来,而将主要精力集中在浮标布阵、补投、目标跟踪、定位和攻击等作战环节。

2.3 反潜机和无人机分区域协同搜索

针对较大搜索海域,部队实际做法是增加反潜机数量,以扩大搜索面积。但随着反潜机数量的增加,指挥协调空中兵力的难度就会增加,同时持续搜索也使得飞行员的精力消耗较大,这些都容易导致潜在威胁的发生。在此情况下,无人机可按照预设搜索区域和搜索航路(进出点、转弯点、航向、航速和高度),快速完成对较大海域的搜索。图1所示为有人/无人机区域协同搜索示意图。在平行搜索方式中,反潜机控制2架无人机以相反的航向进入到各自的搜索区域,并采取交替跳跃的搜索航路直至搜索完毕。2架无人机在搜索中不存在互相干扰和碰撞的问题,组织实施起来也比较简单,并能快速完成搜索。但在运用时反潜机应能够准确规划无人机的搜索航路,并做到实时监控无人机的飞行状态,当情况发生变化或遇到突发威胁时,应能及时对无人机的任务

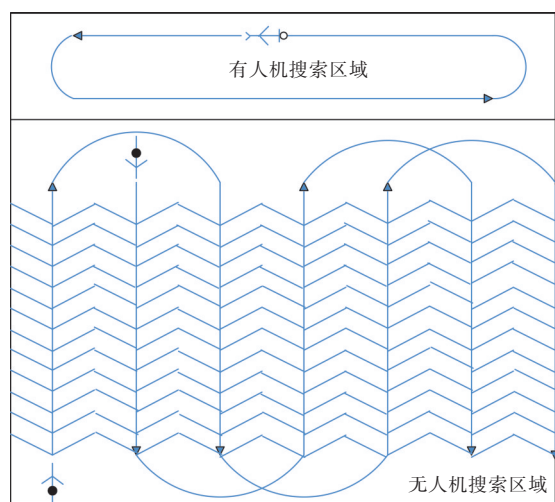


图1 有人/无人机区域协同搜索示意图

Fig.1 Schematic diagram of cooperative search for MAVs/UAVs

和航路做出在线调整,而这些都是以反潜机对战场态势的快速感知为基础的。

2.4 无人机实施干扰诱骗,保障反潜机作战

在航空反潜作战过程中,敌航空兵为掩护潜艇行动,很可能对我反潜机进行拦截或阻击。在空中集合组网和飞往战区阶段,反潜机和无人机之间、无人机群之间通过自身载荷和通信链路组成局部信息共享移动网络,经反潜机对战场态势作出综合判断后,在线规划电子干扰无人机航路和干扰机的使用时机及方式等。无人机根据任务指令信息对敌机载雷达、指挥通信节点、导弹制导雷达等进行干扰,为反潜机顺利突防创造条件。

在反潜机执行任务阶段,在受敌威胁的若干方向设置多个干扰区域,阻断敌航空兵力与我反潜机之间的联系。这要求反潜机在进行任务载荷使用规划时应注意分配好各无人机的干扰频率范围,避免造成互相干扰。同时,为配合反潜机和电子干扰无人机的行动,还需指派一定数量的无人机充当诱饵以采取诱骗战术,通过放大自身的信号来模拟大型反潜机,使敌无法准确掌握反潜机的活动规律。

2.5 无人机为反潜机提供通信中继

反潜机上的通信设备作用距离有限,受地球曲率、海洋地理环境和水文气象条件的影响大,加之指挥通信节点一直是敌方进行干扰的重心,这些都使得反潜机与母舰之间、反潜机之间、反潜机与后方指挥所之间很可能无法建立稳定的通信,此时就需要具有通信转发功能的无人机在需要中继的对象之间建立不间断的信息通道。

以海上对潜防御体系为例,最内层反潜兵力与最外层反潜机之间所跨区域往往在几十甚至几百千米,为达成对潜艇梯次拦截效果,要求内、外层反潜兵力之间的信息传递更加及时、准确,做到信息无缝对接,能使近层反潜兵力预先准备,对突破外层反潜巡逻线的来袭潜艇实施最后拦截。此时,中继无人机便起到了组网、建链的作用,如图2所示。

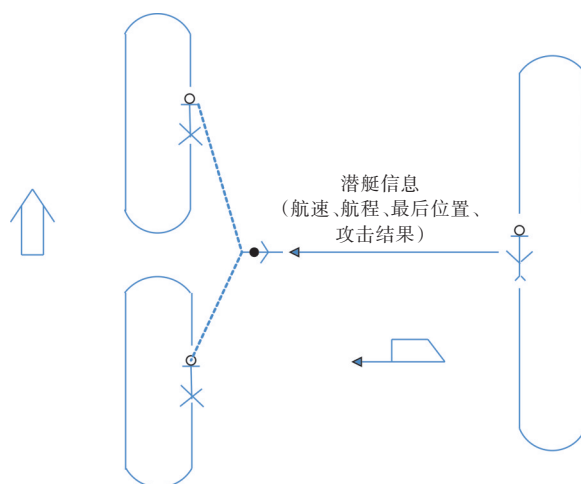


图2 无人机组网、建链示意图

Fig.2 Schematic diagram of UAVs communiton network

3 有人/无人机协同反潜能力需求

有人/无人机协同反潜作战是一个复杂的体系,不仅需要各作战平台具备与执行自身任务相匹配的能力,更需要协同任务规划、协同控制和协同通信链路技术的支撑。

3.1 有人/无人机协同任务规划

有人/无人机协同任务规划应从作战需求入手,分析两型装备的战术运用和技术特点,考虑如何充分发挥两型机的协同作战效能^[13]。一是明确协同方式。根据任务需要,将反潜机和无人机进行相应的编组,明确主要兵力和支援保障兵力,以主要兵力为核心,对支援保障兵力提出传感器使用协同、电子战使用协同和通信计划协同等需求。另外,为了确保有人/无人机协同任务规划的一致性,应以空间协同规划为主,时间、频谱等协同为辅,即以航路为最高等级的约束条件,其他规划内容如传感器使用、电子战等都视为低等级约束条件。二是发展新型有人/无人机协同任务规划系统。该任务规划系统是对现有反潜机任务规划系统和无人机规划系统的有机融合,以实现信息的共享和互操作,并基于有人/无人机战斗技术性能、威胁分布和目标信息等因素,为反潜机和无

人机的航路进行预先规划,并根据实际需要进行实时在线调整,以克服依靠地面传输带来的干扰和信息延时问题。三是设计简单易于操作的协同交互控制方式,如语音、手势等控制方式,以保证反潜机的控制指令既能很好地被无人机识别,同时无人机传感器信息也能快速、直观地被飞行员感知,从而提高协同作战效能。

3.2 有人/无人机通信链路需求

有人/无人机之间实现指挥控制关系,无人机为反潜机提供双向的通信中继,以及无人机有效载荷之间的联系,都离不开数据链通信保障。因此,一是应发展具有低可截获性的视距链,这是保证无人机隐身性的重要前提。例如,美军的网络视距链,其波束宽度窄,使得敌人难以获得主波而实施干扰和定位^[14];二是为实现反潜机对多架无人机的指挥控制,有人/无人机混合编队的通信链路应具有传输数据量大、通信时间短、抗打击能力强的特点,例如,装备战术通用链路(TCDL)的反潜机可以实现对无人机实时图像视频信息的接收,并通过TCDL将信息进一步分发出去,实现网络各节点之间的高速数据通信,这也是反潜机对无人机进行遥控和无人机为反潜机之间承担信息中继的重要手段;三是多架无人机内部应采取分布式智能组网方式,即在网络中每架无人机都充当网络节点接受反潜机或外界的任务指令,进而编码转换成可执行的参数,并能上传自身飞行姿态进行修正,实现集群内部的导航、防撞等,一旦网络中任意节点遭遇故障或毁伤,其他节点能够快速重构组网,继续执行任务^[15];四是有人/无人机协同数据链必须与频谱管理紧密联系,合理分配频率范围以防使用时发生冲突。

3.3 反潜机能力需求

有人/无人机协同反潜作战中,反潜机要考虑自身的反潜能力,更为关键的是要完成信息获取、信息处理和战术决策,并给无人机传递信息。可以看出,信息是影响有人/无人机协同反潜作战整个作战效能的主要因素。因此信息获取的空间范围、信息的全面性、精确性和稳定性极为关键。一是要求机载雷达有较大的发射功率,最好能装备相控阵雷达,具备对远距离目标的探测和多目标跟踪定位能力;二是装备功能强大的火控计算机快速处理信息,实现对多批次无人机目标的领航、引导和轨迹管理;三是机载雷达应具有较强的电子对抗能力,确保其在复杂的电磁干扰环境下能正

常工作,提高信息保障能力;四是反潜机应选取体积更大、载重能力更强的平台,为反潜机携带无人机完成空中发射、回收等操作预留必要空间。

3.4 反潜无人机能力需求

无人机既是协同反潜作战系统中的执行者,也是整个指挥控制的终端环节,无人机的作战能力对整个协同系统作战效能具有直接影响。因此,需要无人机一是具有长航时、大范围的飞行能力,以满足在广阔海域执行持续监视任务的需求,弥补反潜机在续航时间上的不足;二是要具备携带多种类型任务载荷的能力,按照有人机和无人机协同反潜的作战模式,能够选择相应的挂载方案,并能实现快速转换,这就需要做好顶层架构,根据作战需要对无人机进行模块化设计,并实现接口的通用化和数据格式的规范化;三是能够精确定位,否则引导过程中积累的定位误差可能导致反潜机无法准确掌握无人机的位置,从而导致引导失败^[16];四是为无人机开发小型化高灵敏度磁探技术,拓宽搜索海域面积。作为广域海上监视平台,还应开发综合集成探潜技术,例如美军的“磁鹰”无人机在机鼻段内含有小型SAR雷达、中/长波段红外相机、雷达应答器和激光定位器,以及磁探仪等几十种任务载荷,并能根据任务需要任意选择其中几种搭载,实现在无干扰条件下的探潜任务。

4 结 语

无人机是信息技术发展的产物,当前有人机的态势感知能力是无人机无法完全达到的,这也是无人机不可能取代有人机的决定性因素。因此,发展以有人机为核心,无人机动态接收有人机指令以承担反潜作战任务是未来的重要方向。随着无人机平台的发展、协同控制技术和智能技术的成熟应用,为反潜机和多类型无人机的协同反潜作战提供了有利支撑。本文通过对协同反潜模式的分析,对有人/无人机协同战术运用、指挥控制 and 能力需求进行了探讨,对未来协同反潜作战的发展进行了有益探索。

参考文献:

- [1] 王炜华. 外军无人机与有人机协同作战技术研究[J]. 空军装备研究, 2015, 9(4): 1-5.
WANG W H. The foreign military UAV and the manned aircraft collaborative combat technology research[J]. Air Force Equipment Research, 2015, 9(4): 1-5 (in Chinese).

- [2] 陈晶. 解析美海军低成本无人机蜂群技术[J]. 无人机, 2016(1): 24-26, 55.
- [3] 魏瑞轩, 李学仁. 无人机系统及作战使用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [4] “小精灵”项目采用侦察及电子战无人机机群压制敌防御系统[EB/OL]. (2015-10-08)[2017-09-25]. <http://www.dsti.net>.
“Gremlins” project uses reconnaissance and electronic warfare UAV fleet to suppress enemy defense system [EB/OL]. (2015-10-08)[2017-09-25]. <http://www.dsti.net> (in Chinese).
- [5] 温杰. 阿联酋新型反潜无人机引发关注[N]. 中国航空报, 2015-2-14.
WEN J. The UAE's new anti-submarine drone is causing concern[N]. China Airlines, 2015-2-14. (in Chinese).
- [6] 张石磊, 左平洋, 刘柳. 探潜无人机技术发展概况及关键技术分析[J]. 无人机, 2016(6): 18-21.
- [7] 彭鹏菲, 黄亮, 姜俊, 等. 舰载无人机系统及作战应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016.
- [8] 蔡俊伟, 龙海英, 张昕. 有人机/无人机协同作战系统关键技术[J]. 指挥信息系统与技术, 2013, 4(2): 10-14.
CAI J W, LONG H Y, ZHANG X. Key technologies for cooperative combat system of manned/unmanned aerial vehicles [J]. Command Information System and Technology, 2013, 4(2): 10-14 (in Chinese).
- [9] 马向玲, 雷宇曜. 有人/无人机协同作战关键技术[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(1): 78-81.
MA X L, LEI Y Y. Research on the key technology of cooperative attack for manned vehicle/unmanned aerial vehicle [J]. Fire & Command Control, 2012, 37(1): 78-81 (in Chinese).
- [10] 魏瑞轩, 吕明海. 有人机/无人机协同作战的任务模式研究[J]. 无人机, 2014(12): 20-22.
- [11] 张启栋, 杨波. 有人机与无人机作战协同问题研究[J]. 空军指挥学院学报, 2016(1): 11-13.
ZHANG Q D, YANG B. Research on combat coordination between aerial vehical and UAV [J]. Journal of Air Command College, 2016(1): 11-13 (in Chinese).
- [12] 任涛, 鲁明. 反潜巡逻机与无人机协同反潜作战初探[J]. 海军学术研究, 2012, 7(3): 11-13.
REN T, LU M. The first exploration of anti-submarine patrol aircraft and unmanned aerial vehicle [J]. Naval Academic Research, 2012, 7(3): 11-13 (in Chinese).
- [13] 张继夫, 丁晟. 有人机/无人机协同任务规划问题研究[J]. 空军军事学术, 2016(3): 128.
ZHANG J F, DING S. Research on cooperative mission planning of aerial vehicle /UAV [J]. Air Force Military Academy, 2016(3): 128.
- [14] 毛红保, 田松, 晁爱农. 无人机任务规划[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015: 45-59.
- [15] 龙涛. 多UCAV协同任务控制中分布式任务分配与任务协调技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.
- [16] 付昭旺, 寇英信, 于雷, 等. 有人/无人战斗机协同空战模式及能力需求分析[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(1): 73-77.
FU Z W, KOU Y X, YU L, et al. Operational modes and capability requirements for cooperative air combat of manned vehicle and unmanned vehicle [J]. Fire Control & Command Control, 2012, 37(1): 73-77 (in Chinese).