

doi: 10.7690/bgzd.2023.03.016

## 国外有人/无人机协同作战研究现状与发展趋势

姜 鹏<sup>1,2</sup>, 王 瑞<sup>2</sup>, 郑力会<sup>3,4</sup>, 李炳伯<sup>5</sup>, 罗德林<sup>6</sup>, 康宇航<sup>2</sup>

- (1. 中国人民解放军 91935 部队, 辽宁 葫芦岛 125000; 2. 海军航空大学航空基础学院, 山东 烟台 264001;  
3. 西北工业大学电子信息学院, 西安 710129; 4. 海军武汉局驻洛阳地区军事代表室, 河南 洛阳 471000;  
5. 海军武汉局驻南昌地区军事代表室, 南昌 330000; 6. 厦门大学航空航天学院, 福建 厦门 361102)

**摘要:** 针对现阶段无人机智能化程度相对有限的问题, 分析有人/无人机协同作战。梳理有人/无人机协同作战的概念、特点需求及历史概况; 描述美国、俄罗斯、英国等国有有人/无人机协同作战的研究现状; 结合科技进步与战争形态发展, 重点梳理有人/无人机协同作战的关键技术, 对有人/无人机协同作战的发展前景进行展望。结果表明, 该分析可为我军发展有人/无人机混合编队提供参考。

**关键词:** 有人/无人机; 协同作战; 人机交互控制; 智能辅助决策

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A

## Research Status and Development Trend of Manned/Unmanned Aerial Vehicle Cooperative Combat in Foreign Countries

Jiang Peng<sup>1,2</sup>, Wang Rui<sup>2</sup>, Zheng Lihui<sup>3,4</sup>, Li Bingbo<sup>5</sup>, Luo Delin<sup>6</sup>, Kang Yuhang<sup>2</sup>

- (1. No. 91935 Unit of PLA, Huludao 125000, China;  
2. School of Aviation Foundation, Naval Aviation University, Yantai 264001, China;  
3. School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China;  
4. Navy Military Representative Office in Luoyang District, Wuhan Bureau, Luoyang 471000, China;  
5. Navy Military Representative Office in Nanchang, Wuhan Bureau, Nanchang 330000, China;  
6. School of Aerospace Engineering, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the intelligence of UAV is relatively limited at this stage, the cooperative operation of manned aerial vehicle (MAV)/UAV is analyzed. The concept, characteristics, requirements and historical overview of MAV/UAV cooperative operation are sorted out. The research status of state-owned MAV/UAV cooperative operation in the United States, Russia and Britain are described. Combine with the progress of science and technology and the development of war form, this paper focuses on the key technologies of MAV/UAV cooperative operation, and looks forward to the development prospect of MAV/UAV cooperative operation. The results show that the analysis can provide a reference for the development of MAV/UAV hybrid formation in our army.

**Keywords:** MAV/UAV; cooperative combat; human computer interaction control; intelligent assistant decision making

### 0 引言

有人/无人机协同作战是指空战战场中由有人机与具备一定自主能力的无人机构成的混合编队协同遂行上级下达的一系列战役战术作战任务。其中有人机主要发挥“大脑”作用, 具体表现为: 与后方地面站指挥控制中心沟通联系, 传达/下达任务分配指令, 前方战场突发情况应急处置等。无人机主要发挥“肢体躯干”作用, 具体表现为: 接收并执行上级下达的任务指令(攻击、监视、侦察、毁伤评估、掩护诱导救援), 提供局部战场态势感知、敌方防区内火力部署情况、重要重点目标分布情况等高价值情报信息等<sup>[1-4]</sup>。

无人机投入战争使用至今已有数十年, 然而其智能化水平、自主能力以及可靠性等综合性能仍然无法达到正常行为人的水平, 这就决定了无人机在战场上无法像人一样观察、思考、判断、决策、行为, 并且可以预见在未来相当长的一段时间内无人机仍然无法企及这种水平。而战场上有人机中的战机只是载体, “人类的好帮手”, 真正的“掌舵者”是人, 何时攻击? 如何攻击? 攻击之后怎么办? 这一系列的思考、分析、动作、评估都需要以人为主(战机为辅)来完成, 以上事实毫无疑问都佐证了人类在空战战场上无可替代的作用<sup>[5-8]</sup>。然而, 有人机中的人需要休息, 无法全天候连续执行高强度工作, 也无法在不适宜人类生存的环境(火山、高辐射区域

收稿日期: 2022-11-30; 修回日期: 2022-12-29

作者简介: 姜 鹏(1978—), 男, 辽宁人, 硕士, 高级讲师, 从事飞行控制、导航制导与控制研究。E-mail: 492292699@qq.com。

等)中工作,而且培养一名优秀战机飞行员也需要相当长的时间与成本;因此,有人/无人机协同作战模式应运而生。成本代价低的无人机能够全天候待命,执行高强度高危以及某些特种工作,昂贵高度智能的有人机能够在复杂多变的战场上临阵指挥,随机应变,两者相辅相成,相得益彰,进而大力提升有人机与无人机编队的整体作战效能<sup>[9-10]</sup>。

有人/无人机协同作战在 20 世纪 90 年代由美军率先提出,并且美国陆军、海军、空军也相继进行了一系列理论与工程试验研究<sup>[11-12]</sup>。美国陆军于 20 世纪 90 年代初首次提出了以有人/无人直升机为研究对象的“Bird Dog”项目,并于 20 世纪 90 年代中期启动了机载有人/无人系统技术(airborne manned unmanned system technology, AMUST)项目,在一系列相关概念与技术的提出与验证后,美国陆军在 1999、2006、2011、2014、2016 年先后进行了有人直升机(主要包括阿帕奇、基奥瓦等)与无人机(主要包括猎人、影子、灰鹰等)协同作战的试验验证。继美国陆军 1996 年启动 AMUST 项目后,美国海军也于 1997 年启动了“海军版的有人/无人机协同作战”项目—战术控制系统(tactical control system, TCS)项目,并于 2003、2014、2015 年相继开展了一系列有人机(主要包括 P-3C、F/A-18、AV-8B)与无人机(主要包括 RQ-8A、MQ-4C、X-47B、UTAP-22)协同作战项目的试验验证。美国空军紧随美国陆军、海军,于 2003 年启动了软件使能控制(SEC)项目,2015 年,美国空军更是正式推出了当下最著名的有人/无人机协同作战项目——“忠诚僚机”项目,直至今日,美国空军的“忠诚僚机”有人机(主要包括 F-16 等)与无人机(主要包括海弗-空袭者等)协同作战项目已经进行了多次试验验证。此外,俄罗斯、英国、法国、澳大利亚、日本等国也先后开展了有人/无人机协同作战项目的研究<sup>[13-17]</sup>。

## 1 国外有人/无人机协同作战技术的研究现状

有人/无人机协同作战如图 1 所示。

为抢占有人/无人机协同作战技术的制高点,美俄英法等军事强国争相投入了大量的人力、精力、物力、财力,特别是美国,其陆、海、空三军都结合自身实际情况开发了各自的有人/无人机协同作战项目,接下来笔者将选取各国的某个典型有人/无人机协同作战项目进行介绍。

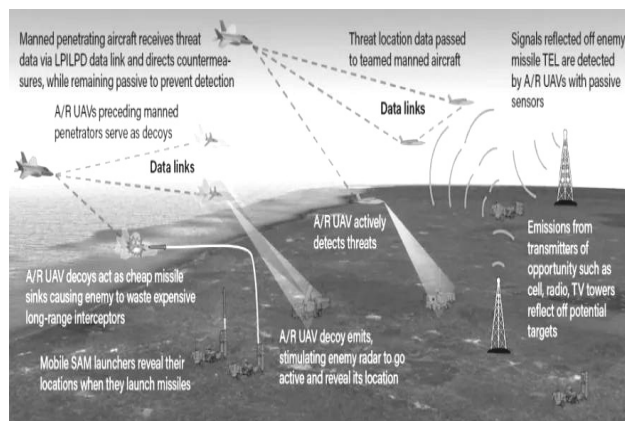


图 1 有人/无人机协同作战

### 1.1 美国有人/无人机协同作战项目

美国海军 P-8A 与 MQ-4C 协同作战如图 2 所示。



图 2 美国海军 P-8A 与 MQ-4C 协同作战

美国陆、海、空三军启动了一系列有关有人/无人机协同作战的项目,例如美国陆军的 AMUST 项目、美国海军的 TCS 项目,美国空军的 SEC 项目,但是其中最典型的当属美国空军的“忠诚僚机”项目。“忠诚僚机”这一概念其实早在 20 世纪初就由美国一些专家学者提出来了,但当时的科学技术发展水平并不足以支撑该项目的启动研发,所以该计划搁浅。直至 2015 年,美国空军研究实验室觉得技术等条件成熟后,就顺势提出了该项目计划,并先后与洛克希德·马丁公司、波音公司、通用原子公司以及克瑞托斯防务公司等公司开展了相关项目研究<sup>[18]</sup>。

“忠诚僚机”项目(图 3)是指将时下最先进的五代战斗机(有人机)与无人机组成混合编队执行战斗任务,该混合编队中的有人机在战场前方作为“编队指挥官”,负责混合编队的指令下达及临阵应变,无人机则负责冲锋杀敌。由于无人机不必考虑人员伤亡,所以能够更加大胆地实施各种战略战术意图,在危急时刻更能扮演保护有人机的角色。



图 3 美国空军“忠诚僚机”

2015 年美国空军研究实验室携手洛克希德·马丁公司正式启动“忠诚僚机”项目,并于 2015 年与 2017 年先后选用 F-16 四代战斗机(有人机)与 QF-16 无人机(F-16 改装无人机)开展了 2 个阶段(“海弗—空袭者 1”与“海弗—空袭者 2”)的试验验证,这两阶段的试验主要进行了飞控技术、数据链通信技术等技术验证。经过层层选拔,美国空军最终选择了波音公司、通用原子公司以及克瑞托斯防务公司 3 家公司开展合作(“忠诚僚机”项目制造僚机)。这 3 家公司也在 2020 年 12 月获得了美国空军的合同,但是在 2021 年 8 月美国空军公布的“忠诚僚机”项目第 2 阶段研发工作时只剩下了通用原子公司与克瑞托斯防务公司。克瑞托斯防务公司研发的 XQ-58A 女武神(图 4)与 UTAP-22 “灰鳍鲨”先后于 2019 年 3 月与 2021 年 4 月完成首飞,截至目前 XQ-58A 已经进行了 6 次试验;而通用原子的 MQ-20 “复仇者”式匿踪无人机也于 2021 年 6 月完成了首飞<sup>[19]</sup>。



图 4 XQ-58A 女武神

## 1.2 俄罗斯有人/无人机协同作战项目

作为传统军事强国,前苏联在无人机技术研究方面一度领先其他诸国,但在数次区域局部战争中无人机的使用并没有让俄罗斯看见它的潜能,所以俄罗斯也曾一度放缓乃至放弃对无人机的研发。到了 1982 年的以色列叙利亚战争,无人机的成功让世界为之一振,无人机技术研究在各国也开始方兴未艾,然而俄罗斯却依旧不够重视,错过了无人机发展的时机。直至 2010 年以后俄罗斯才开始开发属于

自己的一款无人机——苏-70 猎人无人机(图 5),打算扭转其在无人机领域的严重劣势<sup>[20-21]</sup>。而受美国的有人/无人机协同作战项目影响,所以苏-70 在开发伊始也兼具了僚机的用途。



图 5 苏-57 与苏-70“猎人”无人机协同作战

苏-70 猎人无人机项目的研制最早可以追溯到 2011 年,但直至 2019 年俄罗斯才以视频展示的方式揭开了苏-70 的面纱,同时也指明了苏-70 设计的初衷就是与苏-57 协同作战。苏-70 属于重型飞机,相比于同期的其他无人机(美国的 X-47B、英国的“雷神”等),其翼展约为 20 m,重量大于 20 t,时速可达 1 000 km/h 以上,作战半径约为 6 000 km,内置 2 个武器弹药库(可装载约 3 t 的武器弹药),具备相当强的隐身功能。2020 年与苏-57 进行了编队飞行试验,2021 年更是实现了一架苏-57 与四架苏-70 协同作战的飞行试验。在苏-70 猎人重型无人机研发的同时,俄罗斯的 Kronshtadt 集团也研发了另外一款轻型隐身无人作战飞机—雷霆无人机(图 6)用于与米格-29、米格-35 组成有人/无人机协同作战编队<sup>[22-23]</sup>。



图 6 雷霆无人机

## 1.3 澳大利亚有人/无人机协同作战项目

有人/无人机协同作战这一作战理念来源于美国,一经问世便引来世界诸国争相效仿。一方面,作为美国“忠诚盟友”的澳大利亚的军事武器装备已渐入老化态势,尤其是空中作战力量,与此同时澳大利亚素来也想做军事大国,势要赶上这波高技术军事发展浪潮;另一方面,美国波音公司推出的忠诚僚机无人机计划在美国国内暂时落后于其他 2

家竞争对手(通用原子公司与克瑞托斯防务公司),亟需寻找合作方推广其产品,而澳大利亚向美国购买的 F-35 也需要一款兼容性优异的无人机。双方决定联手发展有人/无人机协同作战项目,并于 2019 年年初对外公布了该项目的名称(空中力量编组系统——ATS)以及无人机模型<sup>[24-25]</sup>。

ATS 无人机(图 7)机身长约 11.5 m,翼展可达 7 m,作战半径可达 3 200 km,隐身性能优异,机头约 2.6 m,易拆卸,可用于装载各种传感器或有效载荷,即能够根据任务需求的不同而装载不同的传感器。自主性、智能化程度高,几乎无需接受地面远程指控,具备一定的自主作战能力。ATS 无人机于 2020 年 5 月完成了首机的组装,10 月进行了地面低速滑行试验,2021 年 3 月实现了首飞测试。



图 7 ATS 无人机

进入新世纪后,除美国、俄罗斯、澳大利亚外,英国、法国、德国也在加紧研发本国的有人/无人机协同作战项目。如英国在 2007、2012 年就进行了狂风战斗机与 4 架 BAC 无人机混合编队协同作战相关的试验验证;法国在 2014 年也进行了阵风战斗机与神经元无人机混合编队(图 8)协同作战相关试验验证;德国在 2012 年则进行了有人直升机与无人机混合编队协作作战相关试验验证。



图 8 阵风战斗机与神经元无人机混合编队

## 2 有人/无人机协同作战技术的关键技术

近五年来有人/无人机协同作战愈发受到诸军事大国的焦点关注,虽然以美俄为首的军事强国加紧了对有人/无人机协同作战领域的研究,但有人/

无人机协同作战进入实战战场仍然需要些时日,在该领域仍有一些关键技术需要克服,主要包括:

### 1) 人机交互控制技术。

在未来空战战场中有人/无人机协同作战是一个辩证统一的整体,有人机中的飞行员不仅需要具备能够像过去那样驾驶战机执行空战任务的能力,在一定程度上该飞行员还是一个该有人/无人机混合编队中的队长,需要传达后方指控中心决策指令或下达临场变阵指令等,融合战场有用信息。即过去的飞行员只需负责“上阵杀敌”,而未来空战战场的飞行员还是一名“战场指挥官”,这就对飞行员提出了非常严苛的要求。为苦练战机驾驶技术以及各种战役战术要领,飞行员已经耗费了大量的精力与时间,而未来“战场指挥官”还要求飞行员能够给混合编队中的其他无人机传达/下达指令。如何快速、清晰、准确地将指令传递给无人机将直接影响战场局势,这一技术就是人机交互控制技术。数据挖掘、深度学习等技术的飞速发展基于自然语言理解的人机交互控制技术实施运用带来了无限可能,即使在炮声轰天、噪音嘈杂的战场,通过基于自然语言理解的人机交互控制技术,飞行员也能够很轻松自然地将“做什么”“如何做”“何时做”表达出来,而无人机也能快速理解飞行员的意图,并有力执行“做什么”“如何做”“何时做”,从而实现飞行员对无人机的指挥。

### 2) 智能辅助决策技术。

有人/无人机混合编队中的飞行员能将战略战术意图以自然语言的方式快速清晰地传递给无人机,一定程度上减轻了飞行员沉重的负担,但一个混合编队的标配通常是一架有人战机与数架无人机,即使通过简化飞行员与无人机的交互控制方式降低了飞行员的负担,其负担仍异常重,如何进一步给飞行员减压是遏制有人/无人机协同作战成熟化的“一道有力屏障”。同样受益于数据挖掘、深度学习等技术的日益发展,智能辅助决策技术应运而生,依赖于有限的信息通过智能算法辅助有人机中的飞行员进行决策,将少量优先级别更高的决策任务直接交给驾驶员,而大量优先级别更低的决策任务则由机器自己完成。如此便能进一步降低飞行员的工作负担,为飞行员空出精力与时间去更重要的事情。

### 3) 开放式硬件软件技术。

有人/无人机协同作战系统作为一个战斗混合

编队,不能只具有单一的军事武器装备能力。一个混合编队就是一个小的作战单元,侦察、监视、电子干扰、攻击、毁伤评估等功能至少需要具备好几种;因此,混合编队中的无人机需要采用异构无人机或者搭载不同载荷与传感器的同构无人机。世界各国的军事武器装备系统都不可能由某一个供应商提供,一个优异的武器装备系统中的武器构成往往来自于多个供应商的武器,毕竟武器装备也要取长补短,各供应商都有其擅长的领域;因此,如何将不同供应商生产的异构无人机整合到一起,如何将不同供应商生产的有效载荷、传感器高效融合到能够搭载不同载体的同构无人机内,是摆在有人/无人机协同作战系统易维护、易操作、易升级换代的现实问题。开放式硬件软件技术是破解该难题的有效手段,不同的供应商能够将各自生产的硬件产品、软件系统无缝衔接进有人/无人机协同作战系统这个大系统中,后续的维修保养与升级换代也将事半功倍。

#### 4) 通信抗干扰技术。

有人机/无人机协同作战中保持协同的关键一环就是通信,进入对方战场空域前通常有人机与无人机之间通常都能实现这一点,一旦进入对方作战空域,有人机与无人机必然面对对方的各种通信干扰手段。虽然对于有人机与具备一定智能化的无人机来说,其都能保持一定的单机作战能力,但是作为一个整体,有人机与无人机肯定还是需要最小范围内进行高速安全的通信,以便交换高价值指令、情报信息等。甚至针对对方的侦察、干扰手段,是否能够采用高速的跳频通信以最大限度地减少被对方发现、干扰的可能。

#### 5) 数字孪生技术。

近年来数字孪生技术已经逐渐发展成为世界各国军用/民用高科技设备研制的一个重要工具,通过运用物理模型、武器装备数据库等模型,虚拟建造出某些数字映射系统。美国的 F-35、澳大利亚的 ATS 无人机已经全面引入了该技术,这一技术能够一定程度缩短有人机与无人机研制的时间,对于这些装备的后期保养维护也大有裨益,且能够辅助提高有人机飞行员对于有人机/无人机协同作战协同的使用效率。

### 3 未来发展趋势

结合前述研究现状对未来有人/无人机协同作战的发展趋势进行以下研判:

1) 有人/无人机协同作战系统将更加专注于扩展性强的诸军种武器平台共融。

未来的战场将是一个涵盖陆、海、空、天的大战场,各战场并不相互独立,而是相互交织交融,某一个战场的优势并不足以决定战争胜负,唯有诸战场(陆战战场、海战战场、空战战场、太空战场)全面压制方能胜券在握。而诸战场都存在各自的有人/无人混合编队系统(战车、战舰、潜艇、飞机、卫星、飞船),这些有人/无人混合编队系统也并不是独立存在的,情报共享、信息共通将这些有人/无人混合编队系统一定程度地融合在一起,有人/无人机协同作战系统作为其中的一个分支系统,势必需要具备优异的协调合作性能,方能与陆地上的战车,海洋中的舰艇、潜艇,太空中的卫星、飞船形成合力发挥更大威力以争夺战争优势乃至获得胜利。对于单一空战战场的某一次战役/军事任务(仅有飞机参与的某次战役/军事任务),扩展性强且具备多功能的有人机与无人机必然会成为主流,根据战役/军事任务需要临时选择或依赖当下条件选择合适的有人战机与无人机组建混合编队,不仅能够大幅削减经费成本,而且能提高战术运用的灵活性与战场生存率。

2) 形成更加智能、更加柔性的有人/无人机协同作战混合编队组建方式。

战争中强调兵贵神速,特别是速度,一旦决定了需要执行军事任务,指挥官需要快速完成有人机与无人机机型、数量的选择,并将有人/无人机协同作战混合编队投送到指定战场,如何根据现有情报智能选择有人机与无人机组建混合编队将成为值得研究的关键课题。虽然当下世界各地局部战争时有发生,但世界局势总体还是和平的,所以对于有人/无人机协同作战系统来说,强调更多的是日常的军事训练、演习任务,这些军事任务通常具有有人机与无人机数量少、任务类型多且繁杂等特点,对执行任务时有人/无人机协同作战混合编队的组建提出了更加柔性的需求。此外,战场上混合编队的有人机或者无人机肯定有毁伤,在出现毁伤的情况下,如何能够更加智能、柔性地重新组建新的有人/无人机协同作战混合编队也成为未来不可忽视的一个重要研究方向。

3) 实现通用化、模块化、系列化的有人/无人机协同作战系统研发生产链。

“三化”(通用化、模块化、系列化)近年来逐

渐发展成为世界各国军事武器装备发展的基本要求,对于有人/无人机协同作战系统也不例外。过去供应商研发军事武器装备时常会发生如下问题:①生产下一代武器装备时,上一代武器装备的维修保养配套设备与零部件都不再生产;②这家供应商的武器装备与那家供应商的武器装备无法兼容;③生产出来的武器装备拆卸难、维修保养难,一旦损坏,整套装备报废;④在做武器装备设计方案时没有想到后续的发展改进问题,做完这一代换个思路做下一代等。未来有人/无人机协同作战系统的研发生产链需要充分吸取过去一些武器装备研发生产时的弊端,以“三化”为基本要求,为后续系统的升级换代、维修保养提供更多的自由度与冗余度。

#### 4 结束语

有人/无人机混合编队是未来智能化空战战场的新一代空天利器,有人/无人机协同作战也将改变现有的空战战场作战模式,未来伴随着有人/无人机混合编队真正投入战场,势必催生出大量的空战军事作战理念与战术战法。我国不仅应该紧跟这一武器装备发展前沿,而且应在与之配套的军事作战理念与战术战法上提早进行研究,相应的反制武器装备与反制措施也应有针对性地开展研究。

#### 参考文献:

- [1] 钟赞,张杰勇,邓长来. 有人/无人机协同作战问题[J]. 指挥信息系统与技术, 2017, 8(4): 19-25.
- [2] 杜梓冰,张立丰,陈敬志,等. 有人/无人机协同作战演示验证试飞关键技术[J]. 航空兵器, 2019, 26(4): 75-81.
- [3] 丁达理,谢磊,王渊. 有人机/无人机协同作战运用及对战争形态影响[J]. 无人系统技术, 2020, 3(4): 1-9.
- [4] 张杰勇,钟赞,孙鹏,等. 有人/无人机协同作战指挥控制系统技术[J]. 指挥与控制学报, 2021, 7(2): 203-214.
- [5] 李相民,薄宁,代进进,等. 有/无人机编队协同作战指挥控制关键技术综述[J]. 飞航导弹, 2017(9): 29-35, 87.
- [6] 陈士涛,李大喜,赵保军. 隐身有人/无人机组编队协同空战概念研究[J]. 战术导弹技术, 2020(6): 75-80.
- [7] 牛轶峰,沈林成,李杰,等. 无人-有人机协同控制关键问题[J]. 中国科学: 信息科学, 2019, 49(5): 538-554.
- [8] 喻煌超,牛轶峰,王祥科. 无人机系统发展阶段和智能化趋势[J]. 国防科技, 2021, 42(3): 18-24.
- [9] 陈杰,辛斌. 有人/无人系统自主协同的关键科学问题[J]. 中国科学: 信息科学, 2019, 48(9): 1270-1274.
- [10] 赵建霞,段海滨,赵彦杰,等. 基于鸽群层级交互的有人/无人机集群一致性控制[J]. 上海交通大学学报, 2020, 54(9): 973-980.
- [11] 李磊. 国外典型有人机/无人机协同作战项目发展分析[J]. 无人系统技术, 2020, 3(4): 83-90.
- [12] 李德栋,曹建. 对美国“忠诚僚机”的思考及对策建议[J]. 国防科技, 2020, 41(4): 19-22.
- [13] 吴捷,胡盛华,乔莎莎,等. “忠诚僚机”式有人/无人机协同作战概念与任务管理技术研究[J]. 航空电子技术, 2021, 52(2): 27-31.
- [14] 贾永楠,田似营,李擎. 无人机集群研究进展综述[J]. 航空学报, 2020, 41(S1): 4-14.
- [15] 田磊,赵启伦,董希旺,等. 拒止环境下基于“忠诚僚机”的护航策略[J]. 北京航空航天大学学报, 2021, 47(5): 1058-1067.
- [16] 罗维尔,魏瑞轩. 有人/无人机协同打击航路智能规划[J]. 控制理论与应用, 2019, 36(7): 1090-1095.
- [17] 段海滨,邱华鑫,陈琳,等. 无人机自主集群技术研究展望[J]. 科技导报, 2018, 36(21): 90-98.
- [18] 波音出局? 美空军选择两家公司继续研发隐身“忠诚僚机”搭配有人战机[EB/OL]. [2021-08-18]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1708411947377722457&wfr=spider&for=pc>.
- [19] 【无人之境】可消耗自主无人机! 美空军授予波音等企业“天空博格人”原型机制造合同[EB/OL]. [2020-12-08]. [https://www.sohu.com/a/436977799\\_613206](https://www.sohu.com/a/436977799_613206).
- [20] “猎人-B”——俄罗斯无人机领域中的翻身利器[EB/OL]. [2019-09-06]. [http://www.js7tv.cn/video/201909\\_192301.html](http://www.js7tv.cn/video/201909_192301.html).
- [21] 俄罗斯“猎人”无人机将与苏-57 编队协同作战[EB/OL]. [2021-10-15]. [https://www.sohu.com/a/451695449\\_120520226](https://www.sohu.com/a/451695449_120520226).
- [22] 俄罗斯苏-57 战斗机可指挥四架攻击无人机协同作战[EB/OL]. [2021-06-02]. <http://www.cannews.com.cn/2021/06/02/99327115.html>.
- [23] 俄罗斯“雷霆”无人机首次公开亮相[EB/OL]. [2020-09-12]. <https://new.qq.com/rain/a/20200912A0B3Q100>.
- [24] 观察 | 澳“忠诚僚机”助空军转型, 压制周边对手祭出新杀器[EB/OL]. [2020-05-12]. [https://www.sohu.com/a/394602818\\_260616](https://www.sohu.com/a/394602818_260616).
- [25] 澳大利亚空军“忠诚僚机”完成首飞, 飞行性能近似战斗机[EB/OL]. [2021-03-09]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1693717003541521711&wfr=spider&for=pc>.