

美国无人机集群作战系统发展综述

王可青, 王 聃*, 孟庆微
(空军工程大学信息与导航学院, 西安 710077)

摘 要: 对美国无人机集群作战系统的发展情况进行了综合评述, 并对无人机集群作战的未来发展趋势进行了展望。首先, 梳理总结了美国无人机集群作战系统典型项目发展现状及项目相关重点; 随后在此基础上, 凝练总结了无人机集群作战中的作战样式, 智能化集群作战中涉及到关键技术; 最后归纳总结出无人机集群作战系统规模化、多元化、灵活化和体系化等发展趋势。综述表明, 美国在无人机集群作战系统的概念、项目研究、关键技术、作战装备等方面, 仍处于世界领先地位。随着无人机集群系统智能化的深度发展和应用, 无人机集群作战将会颠覆未来作战样式, 成为未来战场中各国进行军事实力角逐的焦点。

关键词: 美国; 无人机; 集群作战; 作战样式; 关键技术; 发展趋势

Overview on the Development of United States Unmanned Aerial Vehicle Cluster Combat System

WANG Keqing, WANG Dan*, MENG Qingwei
(Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xian 710077, China)

Abstract: A comprehensive review is conducted on the development of United States (U.S.) unmanned aerial vehicle (UAV) cluster combat systems, and looks forward to the future of UAV cluster combat systems. Firstly, the development status and relevant key points of typical projects of UAV cluster combat systems in U.S. are summarized. Then, based on this, the operational style and key technologies in intelligent cluster operations are Condensed and summarized. At last, the development trends of UAV cluster combat systems which including scalability, diversification, flexibility, and systematization is concluded. The review indicates that U.S. still holds a leading position in the concept, project research, key technologies, and combat equipment of UAV cluster combat systems in the world. With the deep development and application of intelligent UAV cluster combat systems which is overturning the future combat style and become the focus of military strength competition among countries in the future battlefield.

Key words: United States; UAV; Cluster Combat; Combat Style; Key Technology; Development Trend

1 引言

当今世界, 随着物联网、云计算、人工智能等现代信息技术的高速发展及深入应用, 现代战争的形态逐步向无人化、智能化快速演进和发展。无人机集群依据其自身的立体化、小型化、无人化及智能化等特点, 能够以更低的成本、更高的效率, 在更恶劣的环境中完成各种复杂多变的任务, 具有效费比

高、部署便捷、使用灵活等特点^[1]。无人机集群作战的实战化应用已经在前期的纳卡冲突、也门冲突以及正在持续的俄乌冲突中有所体现, 可以发现, 在这些战争中, 集群中的无人机几乎是不具备智能感知和互组网通信能力的, 即使是这样简易的无人机集群模式应用, 也使得对方现有防空系统形同虚设, 集群作战展现出了非对称打击的天然优势, 被认为是能够颠覆未来战场形势的一种新的作战

基金项目: 国家自然科学基金(62301599)

作者简介: 王可青, 硕士, 讲师。

通讯作者: 王聃, 博士, 讲师。

手段^[2-5]。

无人机集群作战的天然优势使得其受到世界各军事强国的高度关注,尤其是美国,最早开展无人机集群的相关研究工作,并预估在2036年全面实现无人机系统集群作战^[6-7],其典型无人机集群作战系统的发展,给各国都带来了不同的经验参考。

基于此,本文首先梳理总结美国现有的典型无人机集群作战系统项目的发展,包括项目重点、进度、达成目标等信息;随后从这些项目的特性分析中凝练总结无人机集群作战中的作战样式和涉及到关键技术;最后对无人机集群作战未来发展趋势进行展望,希望对相关研究起到参考作用。

2 无人机集群作战系统项目发展现状

美国第三次“抵消战略”将无人集群作为打赢信息化、智能化战争的新质作战力量^[8],因此,美国近年来围绕作战概念、系统架构、先进技术等方面对无人机集群作战展开了大量系统性的研究论证工作。启动了马赛克战(Mosaic Warfare)、进攻性集群使能战术(Offensive Swarm-Enabled Tactics, OFFSET)、低成本无人机集群技术(Low-cost UAV Swarming Technology, LOCUST)、快速轻量自主(Fast Lightweight Autonomy, FLA)、拒止环境协同作战(Collaborative Operations in Denied Environment, CODE)、小精灵(Gremlins)、灰山鹑(Perdix)等项目,这些项目从功能上看各自独立、各有侧重点,但从技术上看是相互融合、互为补充。对这些典型的无人机集群作战研究项目进行归纳总结,如表1所示。

3 无人机集群作战样式和关键技术

3.1 作战样式

根据无人机集群的作战方式,集群作战样式主要有两种:一种是无人机集群独立作战,即依靠集群内无人机相互协同、自主作战,这种方式在目前还难以实现;一种是有人-无人协同作战,即有人机和无人机群相互配合,这种方式是未来无人作战系统作战样式的重要方向^[14]。有人-无人协同作战又可以分为有人-无人蜂群协同模式和“忠诚僚机”模

式^[15],前者无人机自主性更强一些,有人机只是作为辅助无人蜂群完成各项作战任务,是目前无人机集群作战发展的一个重要方向;后者是有人机作为长机,无人机作为僚机,有人机控制无人机开展任务实施。

根据无人机集群的群体智能化程度,集群作战样式有:一是伪集群,即由地面人员分别操控多架无人机构成的集群方式,无人机的各项指令全部依靠地面人员进行操作,几乎不存在任何智能化,无人机之间无交互,纳卡冲突、俄乌战争中无人机集群的实战化应用即属于伪集群的作战样式。二是集中式集群,即地面存在一个指挥中心,该指挥中心作为无人机集群的大脑、无人机之间无交互、统一受集群大脑指挥调度的集群方式。三是分布式集群,源自于美国最早提出的分布式作战理念^[16],这种集群方式不存在指挥中心,集群中的各无人机,通过自主、智能、协同等技术进行机间信息共享,最终完成侦察、监视、干扰、攻击等作战任务的集群方式,集群中无人机具有一定智能化。

3.2 关键技术

无人机集群作战系统向着智能化方向发展,但距离真正进入智能化战争还有很长的路要走,要适应未来复杂多变的战场情况,获得更好的作战效果,其中涉及很多关键技术问题需要攻关。

一是单体智能技术。指的是集群中无人机个体的智能技术,包括单体智能感知、智能决策和智能控制技术三个方面。单个无人机通过一定手段感知外界信息,并采用一定的方式对感知到的信息进行处理,这是每个无人机进行自主行动的前提,之后再通过决策和控制等方法来规划个体的行动策略,完成单个无人机的自主行动。

二是群体智能技术。指的是集群中无人机之间要具有的智能技术,包括群体态势感知,智能决策、自主控制、自主组网等技术。集群中无人机个体之间需要进行通信、信息分享以达到协同目的,当外部电磁环境恶劣、通信受阻等,如何实现无人机集群的高效协同作战,以及准确的完成敌我识别,是作战效果有效达成的关键,并且,这些技术的发展水平关系到无人机集群作战系统装备的技术水平,因此,需要投入更多研究进行技术突破。

三是集群对抗技术。集群与反集群是在博弈

对抗中进行发展^[17],以美国为代表的各军事强国十分关注反集群技术和装备的研发,针对性的技术和策略研究也在同步进行,包括集群反制策略、集群对抗战术等。

表1 典型无人机集群项目
Table 1 Typical UAV cluster project

项目名称	项目性质	项目重点	主导部门	启动时间	项目研究进度及目标达成情况
OFFSET	作战概念研究项目	关注重点是蜂群战术,核心是群体智能,聚焦集群自主性、集群感知、人-群编组、集群网络互联和集群逻辑,促进集群自主性和人-群编组取得革命性进步 ^[9-10]	美国国防高级研究计划局	2017年	2021年进行最后一次(第六次)野外试验,试验台包括小型无人系统、漫游车、多旋翼、固定翼飞行器,同时展示了虚拟蜂群和实际蜂群一起执行真实任务的能力
Mosaic Warfare	作战概念研究项目	核心概念是决策中心战,聚焦快速发展动态、协同、高度自主的作战体系,利用人工智能和自主系统形成快速、可扩展、自适应联合多域的杀伤力,逐步并彻底变革整个装备体系和作战模式	美国国防高级研究计划局	2017年	2020年2月,战略预算评估中心发布报告《马赛克战:利用人工智能和自主系统来实现决策中心作战》,通过实施决策中心作战来战胜对手
FLA	技术项目	研究小型飞行器的导航与控制技术	美国国防高级研究计划局	2015年	2018年,FLA项目完成第二阶段的飞行测试,测试结果表明该项目可以更快的飞行速度在多层建筑之间穿过狭窄通道,同时识别感兴趣的物体
Perdix	技术项目	验证大量无人机在空中相互通信及集群的分布式控制方法,试验集体决策、适应性编队飞行和编队自愈等能力	美国国防部战略能力办公室	2014年	2016年10月进行最终实验,采用三架F/A-18战斗机释放出103架灰山鹑无人机,验证了分布式算法及先进的群体行为
CODE	技术项目	研发以协同自主作战能力、航空器层面自主化以及适用于分布式系统的开放式结构为重点,注重传感、打击、通信和导航等方面的自主化协同作战等关键技术的开发,以减小所需的通信带宽和人工系统界面 ^[11]	美国国防高级研究计划局	2014年	2019年,进行4次演示飞行,6架RQ-23“虎鲨”无人机在通信中断、GPS系统无法使用的情况下完成任务目标,2020年3月,DARPA宣布CODE项目已实现预期目标,目前该项目已移交美国海军使用
LOCUST	技术项目	研究低成本、可消耗、多任务的无人机集群,通过搭载多种在和多架无人机的自主组网协同,实现侦察、干扰、打击、毁伤评估等任务能力,降低作战人员威胁 ^[12]	美国海军研究办公室	2015年	2018年10月,试验了“郊狼”无人机集群网络化,2021年,美国基于该项目实现了30s内连续发射30架无人机并编队飞行
Gremlins	技术项目	开发小型无人机集群的空中发射回收技术,使无人机集群可以快速部署、重复使用 ^[13]	美国国防高级研究计划局	2015年	2019年10月,小精灵无人机群与C-130运输机会合,首次成功完成机载回收试验,同时验证了无人机自主编队飞行的定位和安全特性
XQ-58A “女武神” 无人机	创新项目	打破战术飞机成本不断攀升的趋势,减少制造时间和成本,更快速的设计并制造无人机系统,具有可消耗、价格低廉、可回收等特点	美国空军研究实验室	2019年	通过5个测试计划,能够完成低成本的侦察、打击和电子战任务,既可以扮演F-35“忠诚僚机”角色,也可以独立集群方式进行侦察打击任务

4 无人机集群作战系统发展趋势

从美国无人机集群作战系统典型项目研究情况看,无人机集群作战系统的发展趋势可以总结为以下几个方面:

一是无人机集群数量趋向规模化。无人机技术和集群技术的飞速发展,促使廉价无人机大规模生产,以及短时间内实现编队进行侦察攻击,在消耗敌方防空武器系统的同时,还能保证己方的防空性能^[18]。

二是无人机集群作战样式趋向多元化。随着单体智能技术的发展,无人机的功能和应用越来越广泛,不同功能和不同任务的无人机构成异构无人机集群,可实现单一无人机集群无法完成的任务^[19]。

三是无人机集群体系结构趋于灵活化。随着机群之间协议、网络、标准等更加规范化,集群体系的互操作性、可扩展性逐渐加强,功能更加灵活多样^[20]。

四是无人机集群作战趋于体系化。体系化作战将是未来战争的主要模式,依托网络体系,集群作战系统在部分节点损伤或失效时进行智能补位,增强系统鲁棒性,提升系统作战效能。

5 结论

随着无人机和智能化技术的快速发展进步,无人机集群作战将会颠覆未来作战样式,变革装备体系和力量编程,是未来战场中各国进行军事实力角逐的焦点,势必成为影响战场态势的重要力量。本文梳理总结了美国典型无人机集群作战系统项目,归纳了无人机集群作战的作战样式、关键技术及发展趋势。就现阶段而言,美国在无人机集群作战项目的经费投入、技术研究、关键技术突破和实际应用上仍处于世界领先地位,当智能化无人机集群系统实现时,将具备改写现有防空作战体系的能力。

参 考 文 献

- [1] 段海滨,申燕凯,赵彦杰,等. 2019年无人机热点回眸[J]. 科技导报, 2020, 38(1):170-187.
- [2] 刘雷,刘大卫,王晓光,等. 无人机集群与反无人机集群发展现状及展望[J]. 航空学报, 2022, 43(1):1-17.
- [3] 王瑞杰,王得朝,丰璐,等. 国外无人机蜂群作战样式进展及反蜂群策略研究[J]. 现代防御技术, 2023, 51(4):1-9.
- [4] 钮伟,黄佳沁,缪礼锋. 无人机蜂群对海作战概念与关键技术研究[J]. 指挥控制与仿真, 2018, 40(1):20-27.
- [5] 王殿勋,郭萃,谢君,等. 无人机集群对海上舰船的作战样式研究[J]. 兵器装备工程学报, 2022, 43, (10):1-9.
- [6] 张邦楚,廖剑,匡宇,等. 美国无人机集群作战的研究现状与发展分析[J]. 航空兵器, 2020, 27(6):7-12.
- [7] 李姝,袁昌利,栾爽,等. 美军无人系统发展规划研究综述[J]. 无人系统技术, 2023, 6(6):101-108.
- [8] 赵彦杰,袁尧迈,梁月乾,等. 智能无人集群[M]. 北京:电子工业出版社, 2024:81-82.
- [9] 王彤,李磊,蒋琪. “进攻性蜂群使能战术”项目推进无人蜂群能力发展分析[J]. 战术导弹技术, 2020, (1):33-38.
- [10] 袁成,董晓林. DARPA“进攻性蜂群战术”项目的发展[J]. 国际航空, 2018 (5):3.
- [11] 李磊,王彤,蒋琪. 美国CODE项目推进分布式协同作战发展[J]. 无人系统技术, 2018(3):63-70.
- [12] 宋怡然,申超,李东兵. 美国分布式低成本无人机集群研究进展[J]. 飞航导弹, 2016(8):17-22.
- [13] 黄雷. 美军小精灵无人机群项目发展现状综述[J]. 飞航导弹, 2018(7):44-47.
- [14] 韩月明,方丹,张红艳,等. 无人机集群典型作战运用样式及关键技术分析[J]. 飞航导弹, 2020(9):43-47.
- [15] 刘箴,吴馨远,许洁心,等. 无人机集群作战系统的新发展及趋势分析[J]. 弹箭与制导学报, 2022(6):32-43.
- [16] 吴勤. 美国分布式作战概念发展分析[J]. 军事文摘, 2016 (13):44-47.
- [17] 杨舒恒,张栋,任智,等. 基于多智能体强化学习的无人机集群对抗方法研究[J]. 无人系统技术, 2022, 5(5):53-64.
- [18] 徐同乐,刘方,肖玉杰,等. 国外无人机蜂群作战典型战例及发展趋势[J]. 中国电子科学研究院学报, 2023(10):946-951.
- [19] 王慧方,周晋祚,贾强,等. 智能“蜂群”的发展及展望[J]. 火炮发射与控制学报, 2021(4):101-104.
- [20] 孙海文,庞威,于邵祯,等. 国外无人机蜂群发展状况及启示[J]. 指挥控制与仿真, 2022(2):1-6.