

# 无人机蜂群作战发展重点动态

申超 武坤琳 宋怡然

**摘要** 近年来,美军已着手发展高对抗环境中的无人机集群作战技术,预计不久的将来可形成新的作战能力。介绍了无人机集群作战概念及特点,梳理了美军在无人机集群作战领域的重点动态。在此基础上,对典型项目进行了详细介绍,并对无人机集群作战优势进行了简要评述。

**关键词** 无人机 集群  
蜂群 作战

## 引言

2016年3月,DARPA小精灵项目第一阶段合同正式授予四家公司,旨在发展可空中部署、回收的廉价小型无人机技术。2015年6月,在阿拉斯加空军基地,美军一架速度692 km/h的F-46战机通过曳光弹投放器投放了一架山鹑无人机,测试了该小型无人机空中部署能力。当前,美国着力发展无人机蜂群作战技术以借此抵消中、俄等国的相对防御优势,这类组织有序、价格低廉、协同配合的无人机被认为是美国未来作战愿景的重要组成部分。

## 1 基本概念及特点

无人机集群作战是指具备部

分自主能力的无人机通过有/无人操作装置辅助,实现无人机间的实时数据共享、多机组网、协同配合,并在操作员引导下,完成区域搜索与攻击、侦察与压制、心理战、战术压制等作战任务的过程。基于无人机集群技术的可能作战样式包括:搭配不同类型传感器,并通过任务分工,实现大范围的区域覆盖搜索以及对各类遮挡目标的探测及实时跟踪;通过释放大量的假目标,迷惑敌防空指挥系统,诱骗敌雷达开机,进而实现关键目标定位及摧毁;通过饱和和集群式出动,掩护

己方核心作战能力,消耗敌方高价值防空资源,为己方力量的后续介入打开通道。

## 2 动态梳理

美国相关配套项目已提出或部署,关键技术研究正稳步推进,无人机集群作战样式及力量已初露端倪。2015年CSBA发布的《维持美国精确打击优势》报告中,提出了依托平台集群技术的分布式作战思想,即使用大量廉价弹药、小型无人机或诱饵,采用蜂群式、协同配合作战方式,迫使敌方消耗最具价值的



图1 无人机蜂群作战示意图

本文2016-07-18收到,申超、武坤琳均系北京海鹰科技情报研究所工程师

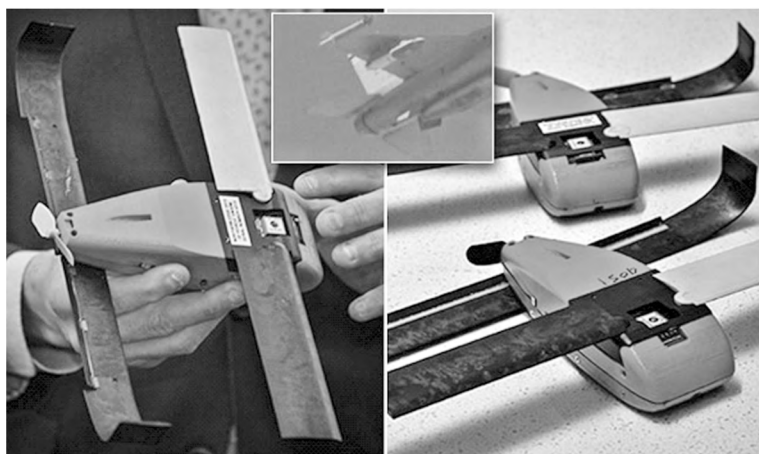


图2 山鹑无人机

防空能力应付廉价、可消耗的武器,从而抵消敌防御相对优势,洞穿其防空系统,为后续的武器装备进入打开一个通道。

目前,蜂群无人系统是美国国防部战略能力办公室正在着手发展的项目之一。空军装备司令部司令表示,对空军而言,蜂群

无人机未来非常有可能成为现实,并改变战争的“游戏”规则,是对抗中俄军事快速发展的有效手段。在美国防部 2017 年预算中,有 30 亿美元投入人机合作及无人机集群执行行动的研究。2015 年 6 月,在阿拉斯加举行的北方利刃军演中,F-46 战机进行

了 72 次通过曳光弹投放器投放大量山鹑(Perdix)小型无人机的试验。

无人机集群作战是分布式作战思路的典型代表,其最大特征在于体系的区域分布性,单元的自治性、独立性,以及单元间在整体目标驱动下的同步性,包括体系架构、通信交流网络、指挥与协调关系、辅助决策、在任务执行上协作与协同关系等。表 1 为近年涉及无人机集群作战技术的相关项目梳理。

### 3 典型项目介绍

#### 3.1 小精灵项目<sup>[2]</sup>

2015 年 9 月,DARPA 发布了小精灵项目公告,提出通过载机在防区外发射携带侦察或电子战载荷、具备组网与协同功能的无人机蜂群,用于离岸侦察与电

表 1 涉及无人机集群作战技术的相关项目

基础能力	主要涉及项目	时间	功能/目的
系统架构	SoSITE 项目 <sup>[1]</sup>	2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>系统级架构,如电子模块载荷的开放接口标准,综合射频相关标准等;</li> <li>系统之系统级架构,SoSITE 项目研究的重点,包括各种系统之间的开放系统接口标准 OSA 等。</li> </ul>
战场平台间实时通信	C2E 项目、DyNAMO 项目	2014: C2E; 2015: DyNAMO	<ul style="list-style-type: none"> <li>发展抗干扰、难探测的通信技术;</li> <li>保证原始射频数据在目前不兼容的空基网络之间进行通信,不仅进行数据传输,还能把数据转化为各类航空平台均能理解和处理的信息。</li> </ul>
无人平台部署、重复使用	小精灵、LOCUST、山鹑	2015: 小精灵; 2015: LOCUST; 2014: 山鹑	通过在防区外发射携带有侦察或电子战载荷、具备组网与协同功能的无人机蜂群用于 ISR、电子攻击,并在任务完成后对幸存无人机进行回收。
平台自主、协同能力	CODE	2014	发展新型软件和算法,提高现有无人机在高对抗环境中的自主性和协同作战能力。
感知与规避能力	ALIAS	2016	为促成有人/无人驾驶飞机自主探测附近飞机、避免可能的空中撞机而设计,可评估飞行平台间路径相交可能性,还具备碰撞规避能力,并可引导主机脱离危险航线。
作战管理、决策辅助	STRATUS、DBM	2014: STRATUS; 2014: DBM	开发用于作战管理的控制算法和决策辅助软件,用于驾驶舱的先进人机交互技术,形成管理空空、空地作战任务的综合分布式管理能力。

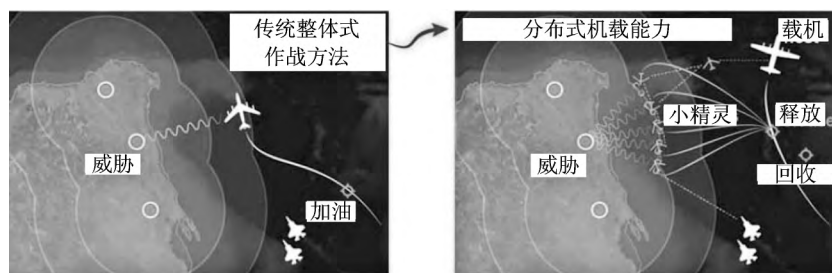


图3 基于小精灵的作战样式变化

子攻击任务，并在任务完成后对幸存无人机进行回收的技术。

2016年3月，DARPA小精灵项目第一阶段合同授予四家公司：复合材料工程公司（罗斯维尔，加利福尼亚州）、美国Dynetics公司、通用原子航空系统公司和洛马公司，发展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。图3给出了基于小精灵的作战样式变化示意图。

这些无人机将配备多种不同载荷，采用齐射方式，具有数量大、尺寸小、廉价、可重复使用等特点，其关键技术包括：空中发射与回收技术、设备载荷与机体一体化概念设计、低成本结构设计、有限寿命设计、自动复飞策略、精确数字飞控与导航、小型高效涡轮发动机、发动机自动关机技术、小型分布式载荷集成技术、精确位置保持技术等。该型无人机将通过C-130进行空中回收，具体技术方案尚未公布，图4为小精灵空中部署及回收示意图。

该项目旨在促成空中作战概念的转变。DARPA希望以传统飞机为载机，采用在防区外发射大量具有协同和分布式作战能力

的小型平台，取代如F-35等在内的功能集成型装备来突破敌防御系统，以代替目前在拒止环境中使用的传统综合式系统。这不但有能力提高在对抗环境中执行任务的有效性，还是探索显著降低作战成本的途径之一。

该项目分三个阶段：2016年3月进入第一阶段——系统设计阶段，该阶段经费为1580万美元；第二阶段为期约1年的技术成熟阶段，而只有第一阶段的承包商才有资格进入后两个阶段；第三阶段为期约1年半的演示验证机飞行试验阶段，最终，DARPA希望在2020年左右实施飞行演示验证，验证这种空中发射和回收无人机群的可行性及作战潜力。目前，DARPA设定的装备

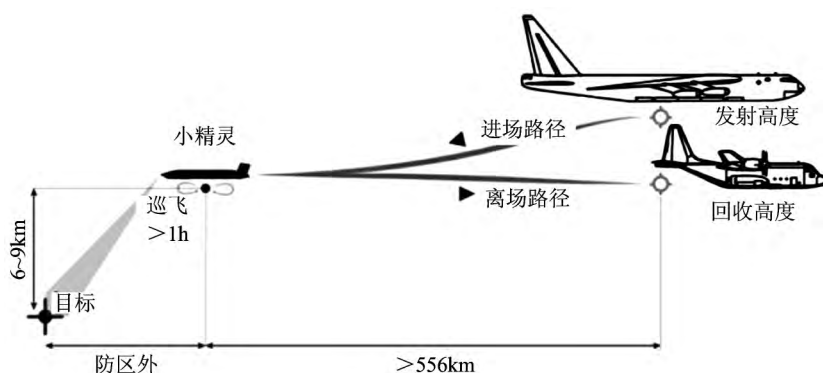


图4 小精灵空中部署及回收示意图

规模是生产1000架小精灵无人机和25套载机设备。表2给出了DARPA公告中的技术指标。

### 3.2 LOCUST项目

2015年4月16日，美国海军研究办公室公布了低成本无人机集群技术（Low-cost UAV Swarming Technology, LOCUST）项目进行的一系列无人机集群技术验证工作。LOCUST项目聚焦于发展通过发射管将大量可进行数据共享、自主协同的无人机快速连续发射至空中的技术。这类发射装置及无人机体积较小，可方便整合到舰船、装甲车辆、飞机等平台之上。这种“蜂群”有目的地集群飞行、协同配合，对敌方目标执行侦察、打击任务，从作战使用角度看，具有明

表2 DARPA 小精灵公告中的设计技术指标

作战半径/km	926
续航时间/h	3
有效载荷/kg	54
最大飞行速度 ( $Ma$ )	0.8 <sup>+</sup>
最大发射高度/km	12(根据不同运载平台确定)
载荷功率/W	1 200
载荷类型	射频、光电/红外载荷
设计使用寿命/次	20
发射载机	B-52, B-1, C-130(包括攻击机在内的其它运载平台)
大型载机发射量/架	$\geq 20$
回收载机	C-130
回收数量和时间	30 min 内回收 $\geq 4$ 架, 总回收数量 $\geq 8$ 架
成功回收概率/(%)	时间窗口内 $\geq 95$
载机在执行小精灵系统作战任务中的损失概率/(%)	每飞行小时事故概率 $< 1 \times 10^{-7}$
从回收、检修到再次完成装载时间/h	$< 24$
重复使用寿命/次	$> 20$

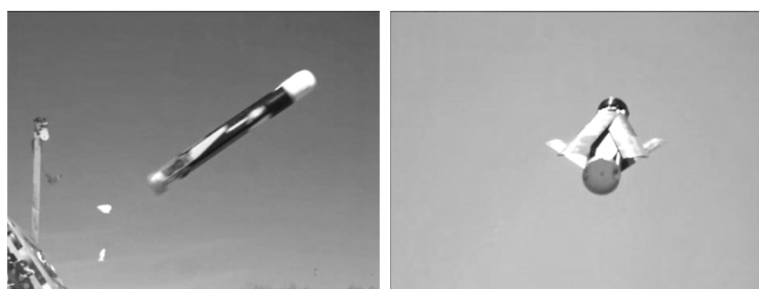


图5 LOCUST 项目无人机发射情形

显优势。

美国海军研究办公室于2015年3月在多个地点完成演示验证工作,其中包括发射可携带不同任务载荷的郊狼(Coyote)无人机,并完成了9架无人机完全自主同步和编队飞行的技术验证。

郊狼无人机在海军研究办公室(ONR) STTR 资助下由先进陶瓷研究公司(后被BAE收购)研制

制。该型无人机采用发射管发射,可在不依赖GPS的环境下,基于光电/红外传感器及惯导装置进行导航。LOCUST项目自主集群飞行技术具有三个显著特点:

1) 去中心化,降低系统破坏敏感性。“蜂群”中的个体均未处于中心控制地位,在单一平台性能受损后仍可有序协同执行任务。

2) 自主化,人员可随时干预。飞行个体间具备位置共享及路径规划、感知规避能力,“蜂群”根据设定自主飞行,将指挥员从繁重的作战任务中解放出来,必要时人员又可随时干预。

3) 自治化,保持集群结构稳定。无人机自然形成一个稳定的集群结构,一旦有任何单个平台因丧失功能脱离群体或因任何原因改变群体结构位置,新的集群结构排列会快速自动形成并保持稳定<sup>[3]</sup>。

2016年,美国海军有计划发射上限为30架舰载自主集群的无人机,并验证其任务、位置共享能力。

### 3.3 山鹑项目

山鹑无人机由MIT于2011年研制。2012年,美国国防部战略能力办公室(Strategic Capabilities Office)成立后,采纳了该型无人机,并为其配套开发了由战机进行空中投放的技术,并于2014年开始进行试验。2015年6月在北方利刃军演中,该无人机进行了150次试验,其中包括72次由F-16战机通过曳光弹投放器投放试验<sup>[4]</sup>。

山鹑无人机由凯芙拉合成纤维和碳纤维通过3D打印而成,其中机翼采用碳纤维材料,机身采用低阻力玻璃凯芙拉纤维,由锂离子聚合物电池供电。无人机被投放后同载具分离,降落伞、机翼展开,无人机减速降落,随后降落伞脱离,无人机发动机工作,转自主调整飞行阶段。山鹑可在40 m/s的速度下正常打开机翼,并在30 m/s的风速中保持

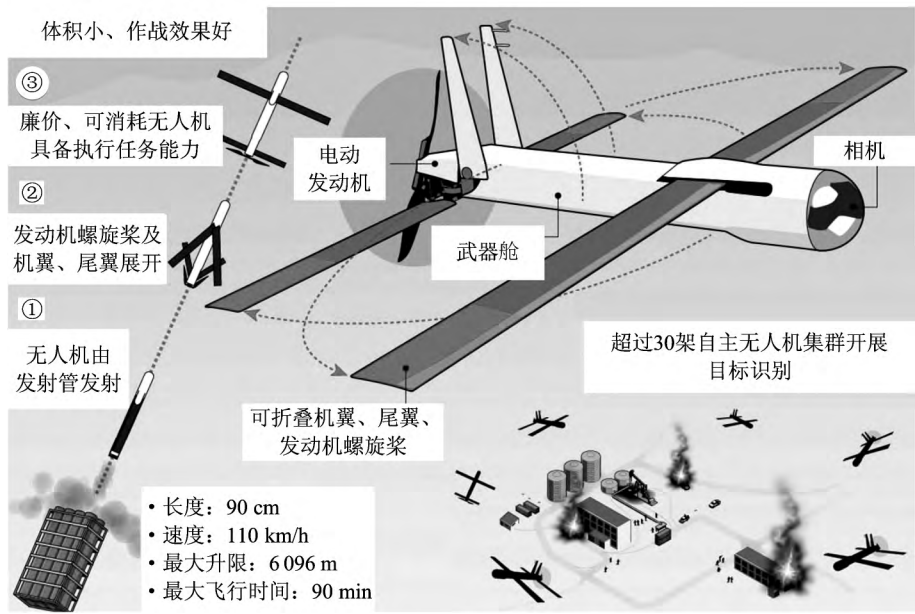


图6 郊狼无人机

表3 郊狼无人机技术指标

作战半径	37 km 内可通过 2 W 功率的 S 波段发射机传回动态视频
续航时间/h	1.5
最大飞行速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	157
巡航速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	111
工作高度/m	150 ~ 365
升限/m	6 095
最大发射质量/kg	6.4
最大载荷/kg	1.8 ~ 2.7
机身长度/m	0.79
机身高度/m	0.3
翼展/m	1.47
发动机	1 台电动机
发动机直径/m	0.33

飞行姿态稳定。飞行过程中，具备数据通信能力。该无人机还可由地面发射装置发射或通过地面人员投掷发射，未来将采用大量、不可回收部署方式。

美国防部副部长沃克曾表示已经对用 30 架无人机组网对付敌方综合防空系统的想法进行了试验，并验证了其可行性。F-16

搭载诱饵弹 MALD 对敌方防空系统进行干扰欺骗的技术十分成熟，无人机蜂群与 MALD 的不同之处在于：首先，单架 F-16 战机仅能搭载数枚 MALD，而由于山鹑无人机质量极轻、体积小（类似 iPhone 手机），在加装标准 ALE-47 曳光弹投放器后，可搭载达 30 架山鹑无人机及其配套

载具；其次，3D 打印的无人机价格较 MALD 低廉，具备明显的经济可承受性，并且由于其数量庞大，可使敌方跟踪量达到饱和并增加敌防空系统识别难度。

4 无人机集群作战优势分析

无人机集群作战是对传统武器系统及作战样式的重大颠覆，方案优势明显。首先，良好的自适应性、强大的自同步性，能够实现作战系统的快速优化组合及高效的自同步作战，提高了系统的协同作战能力，是体系化作战样式的典型代表；其次，集群、分布式的作战体系实现了各作战力量间信息的高度共享及指挥控制链路与通信链路的分离，适应了指挥高效化、通信专业化的要求，其即插即用、随时入网的特点显著降低了系统破坏敏感性；再次，无人机集群作战中飞行员将成为作战的真正管理和决策

飞航导弹 2016 年第 11 期

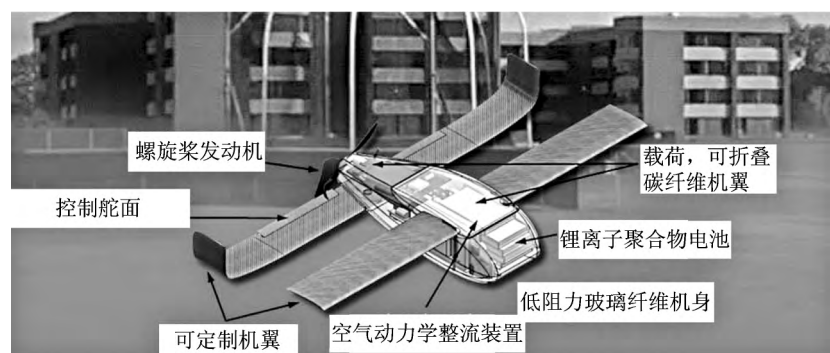


图7 山鹑无人机结构简图

表4 山鹑无人机技术指标

尺寸/cm	4.9 × 6.2 × 18
净重/g	220
电池质量/g	120
空中最大发射速度/km · h <sup>-1</sup>	980
空中最大发射高度/m	7 000 ~ 10 000
机载发射方式	机载发射装置(爆炸驱动)
可承受过载/g	300
自主飞行续航时间/min	45
滑翔续航时间/min	45(9 000 m 高空投放)

者,在防区外协调、指挥各类小型无人平台进入防区执行任务,显著降低了单一、复杂、昂贵的有人战机执行任务的危险性。无人机集群作战凭借灵活性高、体系配合能力强、经济可承受等特点,可采取“蜂群”缠斗方式,以最低代价完成高对抗环境中的作战任务,是面向拒止环境作战的重要手段。

美国一直精耕于空战领域基础技术的研究,近年来多个项目的提出、部署不断佐证着无人机集群作战技术的发展。无人机集群作战系统技术主要解决无人机集群智能作战系统的构建方式、运行方式、动态管理、编队控

制、指挥操控等问题,无人机集群作战系统具有综合能力强、功能余度多、作战使用灵活、使用成本低等特点,可执行战机护航、区域防空、区域反潜、远程突击等作战任务。同时,新型无人机集群作战体系必然牵引新的作战样式,可对现有的传统防御能力形成巨大压力,可以说其影响是颠覆性的。

## 5 结束语

无人机蜂群作战可发挥平台数量优势,充分整合现有航空资源,在此基础上构建起新型的空中作战力量,从而有效扩大防御纵深,针对性地提高作战能力。

随着人工智能等前沿技术的发展,自主、协同的“智慧”无人机将越来越多地出现并在实战中逐步体现出价值。这种集群式的“机海”战术需引起足够的重视。

## 参考文献

- [1] System of system integration technology and experimentation (SoSITE). <http://www.darpa.mil/program/system-of-system-integration-technology-and-experimentation>.
- [2] “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. <http://www.ds.ti.net>, 2015-10-08
- [3] 美国发展低成本无人机集群技术. <http://www.newsnish.com/international/us-develops-locust-drones/>
- [4] 陈晶. 解析美海军低成本无人机蜂群技术. 飞航导弹, 2016(1)
- [5] 袁全盛, 胡永江, 王长龙. 无人机中继通信的关键技术与发展趋势. 飞航导弹, 2015(10)
- [6] 周绍磊, 康宇航, 秦亮, 等. 多无人机协同控制的研究现状与主要挑战. 飞航导弹, 2015(7)
- [7] 袁全盛, 胡永江, 王长龙. 无人机中继通信的关键技术与发展趋势. 飞航导弹, 2015(10)
- [8] F-16 战斗机空中投放“山鹑”小型无人机. <http://i-hls.com/2016/03/watch-f-16-launching-perdix-drone-swarm/>
- [9] 刘泽勋. 无人机控制模块的概念与发展. 飞航导弹, 2016(4)