

# 2018年无人机领域热点评述

段海滨<sup>1</sup>, 申燕凯<sup>1</sup>, 王寅<sup>2</sup>, 罗德林<sup>3</sup>, 牛轶峰<sup>4</sup>

1. 北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 仿生自主飞行系统研究组, 北京 100083
2. 南京航空航天大学航天学院, 南京 210016
3. 厦门大学航空航天学院, 厦门 361005
4. 国防科技大学智能科学学院, 长沙 410073

**摘要** 无人机集群和反无人机技术作为未来无人机发展的重要方向, 已经成为研究热点, 科技创新和相关政策的推动为无人机产业的蓬勃发展提供了持续动力。本文从无人机系统发展新路线、实战化应用、集群自主控制、创新驱动产业等多个角度, 总结了2018年无人机领域的科技热点及发展态势。

**关键词** 无人机系统; 实战化应用; 无人机集群; 反无人机

从世界上第一架无人机(unmanned aerial vehicle, UAV)诞生至今, 无人机已经历了百余年的发展。近年来, 随着无人机市场的火热, 无人机的发展也进入了快车道, 种类繁多、功能齐全的无人机系统(unmanned aircraft system, UAS)产品层出不穷, 其应用领域也由最初的军事领域不断拓展。无人机既可执行搜索、侦察、监视、干扰和打击等军事任务, 又可以应用到农业植保、电力巡检、警用执法、地质勘探、环境监测、森林防火以及影视航拍等民用领域<sup>[1-2]</sup>。随着无人机的自主能力和智能化水平不断提高, 其控制方式逐步从单一的遥控、程控方式向人机协同交互控制, 甚至完全自主控制方向发展, 其任务空域也从执行情报、监视与侦察任务的安全性空域向干扰、打击等对抗性空域发展<sup>[3]</sup>。考虑到单架无人机任务载荷相对单一、执行任务能力有限, 需要多架无人机的能力互补和行动协调, 以提升整个系统的作战效能。从无人机自主控制等级与内涵来看,

集群自主协同是无人机实现高级智能行为的基础。无人机集群系统是由大量无人机节点构成的复杂系统, 在成员数量、平台自主能力以及集群复杂度等方面与简单的多机协同系统具有很大的差异<sup>[1,3-4]</sup>。借助于人工智能技术在2018年的爆炸式发展, 无人机集群自主控制成为了新的研究热点和关键技术难点。

2018年无人机的发展依然热度不减, 无论是在军事领域还是在国民经济领域, 其发展依然是全球的焦点。结合当前国际局势, 美国、中国、英国、以色列等纷纷为无人机系统发展提供新思路、新规划, 从无人机前沿理论, 到无人机型号装备和工程创新, 从加紧完成对现役和在研无人机的性能的综合测试, 到无人机集群研究和实现均被提到了新的高度。一方面, 涉及无人机续航能力、感知规避、机身材料、机身结构等多个方面的创新科技不断涌现。另一方面, 无人机领域的快速发展也不可避免地带来了一些负面的影响, 例如误

收稿日期: 2018-12-10; 修回日期: 2019-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61673327, 61876187, 91648205)

作者简介: 段海滨, 教授, 研究方向为无人机集群仿生自主控制、计算机仿生视觉和仿生智能计算, 电子信箱: hbduan@buaa.edu.cn

引用格式: 段海滨, 申燕凯, 王寅, 等. 2018年无人机领域热点评述[J]. 科技导报, 2019, 37(3): 82-90; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.03.013

闯禁飞区、入侵机场等,但在“道高一尺,魔高一丈”的无人机与反无人机技术较量中,也推动了无人机先进技术的跨越式发展。

## 1 推动无人机系统发展新路线

无人系统作为一个可快速调整且互联的网络,在空中、水面、水下及岸上运行,为部队提供更好的态势感知、更大的航程和更强的续航力,在有效降低运行风险和成本的同时加强军队力量,使军事行动的开展方式发生根本性变化。无人机作为重要的空中力量,可执行防御、攻击、搜索等多重任务,在未来数字化、高动态、强耦合的作战环境中,如何实现其高度智能化和自主性是无人系统研究发展的永恒主题<sup>[5]</sup>。其中,信息认知和感知技术、协同通信技术、演化与决策技术等将是未来无人机在动态战场环境下完成复杂任务的关键。

美国投入巨大的人力和智力资源,一直致力于打造先进的无人系统。美国国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)、海军研究局(Office of Naval Research, ONR)等机构在无人系统作战的先进概念验证研究方面成果显著<sup>[6]</sup>。从2001年开始,美国国防部、美国陆军、美国空军等相继发布了《无人系统路线图2005—2030》《美国陆军无人系统路线图2010—2035》及《小型无人系统飞行规划2016—2036》等。2018年3月,美国海军完成《海军部无人系统战略路线图》如图1(a)所示,在公布的执行摘要中概述了这一路线图制定的目的,以及海军部无人系统愿景、无人系统运用概念、无人系统企业级体系目标等内容,为促使无人系统早日嵌入海军作战系统提供指南<sup>[7]</sup>。2018年8月,美国国防部发布了《无人系统综合路线图2017—2042》如图1(b)所示,旨在指导军用无人机、无人潜航器、无人水面艇、无人地面车辆等无人系统的全面发展,进一步提升美国军队使用无人系统的军事能力。较之前发布的无人系统路线图,新版综合路线图的结构安排和主要内容都发生了较大变化,紧扣近年来的发展动向,在一定程度上反映了美军对于未来无人系统发展的新认知,同时也可推断出美军无人系统发展正进入高效提升整个谱系能力、全面推进概念技术融合、逐步推动装备更新拓展的“三管齐下”的新时期<sup>[8]</sup>。2018年12月,美国国家标准协会(American National Standard Institute, ANSI)发布了

Department of the Navy  
Strategic Roadmap for  
Unmanned Systems  
(Short Version)



(a) 美国海军部无人系统

战略路线图



(b) 美国无人系统综合路线图

2017—2042

图1 无人系统发展路线(图片来源:USNI News)

Fig. 1 Unmanned system development roadmap

《无人系统标准化路线图(1.0版)》,阐述了当前和未来无人机标准化前景,评估了现有标准与实际需求间的差距,并针对每一项差距提出了相应的行动建议,确定了优先级别。该路线图涵盖适航性、飞行运行、人员培训、资格和认证以及关键基础设施检查和商业服务的运作等多个领域,希望能协调和加速无人系统标准化和对合格评定程序的开发,推动无人机融入美国国家航空系统<sup>[9]</sup>。

中国作为无人系统研究领域的后起之秀,近年来军用无人机发展十分迅速,除了大名鼎鼎的“彩虹”和“翼龙”两大系列之外,还研发出了多种先进的大型无人机,并且已经在高原成功测试,显示出良好的可靠性和环境适应能力,具备在高原执行任务的能力。为适应国家发展和战略需求,中国航空工业集团有限公司于2018年11月在第十二届珠海国际航展上发布了《无人系统发展白皮书(2018)》,明确了无人系统“自主创新、强军兴军、军民融合、开放共赢”的发展原则。该白皮书从全球无人机产业发展的现状、细化无人机产品类型、未来中国的无人系统发展定位和目标等方面进行多视角全方位诠释无人系统发展,并将无人系统作为军民融合示范先导产业,积极推动产业链体系和科技成果对社会开放合作,联合各界促进无人机产业创新发展<sup>[10]</sup>。

## 2 促进无人机实战化应用

从2001年11月美国“捕食者”无人机在阿富汗成



功摧毁一辆塔利班坦克,到2002年3月在伊拉克成功摧毁伊军ZSU-23-4自动防空高炮阵地,再到2007年11月无人机投掷一组激光制导炸弹对阿富汗武装分子进行火力压制,无人机已经逐渐成为现代战争的主角。自2010年以来,美军无人机对巴基斯坦、阿富汗、也门和索马里4个国家,已发起至少4973次空袭,造成至少751人死亡。无人机在局部战争中的作用引起了各界广泛关注。然而,在实战应用中,无人机的作战能力仍然受到多方面的制约,因此,需要对无人机性能进一步测试提升和研发新型无人机,以应对未来瞬息万变的战场环境。

在大纵深立体化作战中,战场运送补给尤为重要。2018年4月美国海军测试一款名为“战术航空运输滑翔机”空投无人机,该无人机具有成本低廉,载荷大等优点,能运输300 kg的食品和其他补给。此外,其涉及的技术也可以用于消防和搜救等多种非军事任务。2018年7月,美国海军“独立”级近海战斗舰“科罗拉多”号以及第一空中测试与评估中队完成了对“火力侦察兵”无人机的第一次综合性初始作战测试与评估工作(图2(a))。这项工作有助于促进最新型的火力侦察兵无人机与海军近海战斗舰和其他装备的联合与集成。2018年7月,海军陆战队测试了可用单人操控的新型无人机集群,由一名海军陆战队员单手操纵平板电脑实现了6架无人机协同控制,对敌军通信进行和拦截,在获取出目标信息后实施精准打击。该测试在最大程度降低操作员负担的同时,充分体现出无人机集群协同作战在提高作战效能方面的优势。2018年12月,波音发布了首架为战斗机加油的无人加油原型机-MQ-25“黄貂鱼”,该机将能够携带15000磅的燃料,可为F/A-18超级大黄蜂,EA-18G咆哮者和F-35C战斗机加油。若这款的无人机加油机正式交付美军,无疑将扩大航空母舰的作战半径,降低此类任务的人为风险因素。



(a) “火力侦察兵”无人机

(b) “新天鹰”无人机

(图片来源: NAVAL Technology)

(图片来源: 中国航天科工三院)

图2 新型无人机

Fig. 2 New-type UAVs

中国首型真正意义上的隐身长航时无人机“新天鹰”(图2(b))于2018年2月完成了首飞及性能验证飞行试验。该机拥有完全自主知识产权,实现多项关键技术的突破,各项指标达到世界领先水平,中国成为继美国之后第二个具备此类型无人机自主研制能力的国家,在中国无人机领域发展过程中具有里程碑式的意义。2018年12月,中国顺利完成“彩虹”无人机零下20度严寒地区夜间飞行测试。此次测试针对多个飞行科目展开,涉及光电载荷、合成孔径雷达(SAR)、通侦设备、链路数据等众多配套外协单位的参与,也充分体现出这款无人机优良的性能、设备可靠性及战场环境适应能力。2018年12月,“翼龙”I-D按计划圆满完成首次飞行任务,该无人机系统是以“翼龙”系列无人机系统为基础研制出的一款全复合材料结构、高性能、中空长航时、多用途无人机系统。通过采用全复合材料结构、优化气动布局、换装大功率发动机等措施,在起飞重量、通信、内部装载和外挂能力等方面都有大幅提升。

除美国和中国外,作为军事强国的俄罗斯也加速推进无人机实战化进程。2018年5月,俄军“海盗”短程无人攻击机亮相俄罗斯5·9胜利日阅兵。该无人机可由集装箱发射,执行运送货物、发动攻击、进行侦察和电子对抗等任务,摧毁敌方有生力量、装甲车和工事,重点是该款无人机曾完成在叙利亚战场环境测试。2018年11月,“猎人B”重型无人机(该机重达20 t,以喷气发动机为动力,速度可达1000 km/h)在西伯利亚航空工厂首次进行滑行、加速和停止等全方面的地面运行测试。作为一款具有一定隐身能力的无人机,该机采用的人工智能元件和自动驾驶等技术也将用于俄罗斯第六代战斗机的开发。

### 3 无人机集群研究方兴未艾

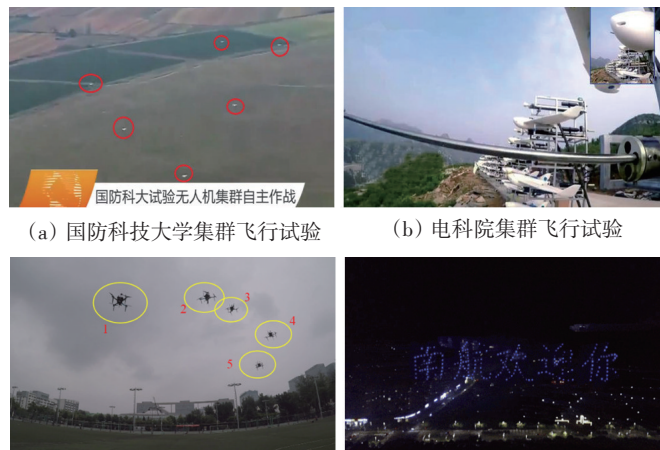
随着智能、网络、协同及控制技术的发展和在陆、海、空、天等各个作战空间中都可能出现类似于“狼群”、“鱼群”、“蜂群”的各类无人作战集群,对敌方实施全域无人集群攻击与防御作战。对于无人机而言,单架无人机由于受到探测能力、武器载荷等因素限制,难于完成复杂的作战任务,采用多架无人机协同方式,无人机之间通过通信,进行信息共享,扩大对环境态势的感知,实现协同任务分配、协同搜索、侦察与攻击,能有效提高无人机的生存能力和整体作战效能。

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,将以最低代价完成高对抗环境中的作战任务,同时也是面向拒止环境作战的重要手段。因此,针对无人机集群作战系统技术中的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,继续推进相关项目和研究工作。2018年1月,“拒止环境中的协同作战”(collaborative operations in denied environment, CODE)项目进入第三阶段,将完成项目软件系统集成和飞行演示验证。将通过单个操作人员控制无人机编队执行包括目标搜索、识别以及对主动的、不可预知的对手的战斗等复杂任务,进一步验证CODE的体系架构和自主协同能力。2018年3月,在DARPA的“进攻性蜂群使能战术”(offensive swarm-enabled tactics, OFFSET)项目的支持下,DARPA与雷神全资子公司-雷神BBN技术公司合作开发“小型自主空中和地面车辆蜂群”的指挥和控制技术,用户通过大量的传感器、模块化的程序设计和可视化仿真环境,并能够实现无人机与不同类型车辆的联合集群作战。2018年7月,DARPA的“快速轻量级自主”(fast lightweight autonomy, FLA)项目完成了第二阶段的飞行测试,展示了先进的算法,旨在将小型空中和地面系统转变为能够自主执行对人类有危险任务的编队成员,例如在充满敌军的城市环境中执行任务先期侦察,或者在地震后搜索受损结构,寻找幸存者等。

“集群智能”作为一种颠覆性技术,一直被各国视作无人系统人工智能的核心技术,是未来智能无人系统的突破口。中国正在加紧对无人机集群理论研究和突破,取得了一定的创新性研究成果。2018年1月,国防科技大学智能科学学院无人机系统创新团队针对无人机集群自主作战展开试验飞行(图3(a)),20余架无人机相继起飞,并在空中集结编队飞行,飞向指定区域完成侦察任务,该试验验证了分组分簇自适应分布体系架构、并行感知与行为意图预判、按需探测自组织任务规划、极低人机比集群监督控制、以意外事件处理为核心的集群自主飞行控制等多项关键技术。2018年5月,中国电子科技集团成功完成了200架固定翼无人机集群飞行(图3(b)),再次刷新此前119架固定翼无人机集群飞行的纪录,同时还成功实现了国内首次小型折叠翼无人机双机低空投放和模态转换试验。北京航空航天大学仿生自主飞行系统研究组十余年来一直致力于无人机集群先进控制理论和智能感知技术

的飞行验证,该团队通过借鉴雁群<sup>[11]</sup>、鸽群<sup>[12]</sup>、棕鸟群、狼群<sup>[13]</sup>、蜂群等生物群体的共识自主性集群智慧,采用分布式策略设计了无人机集群自主控制方法和技术,并结合这些生物群体智能进行了无人机集群编队、目标分配、目标跟踪、集群围捕等任务的外场飞行试验验证<sup>[1]</sup>,并于2018年5月完成基于狼群行为机制的无人机协同任务分配的飞行验证,该研究成果发表于《Science China Information Sciences》(图3(c))<sup>[15]</sup>。

除了国内外高校和研究机构外,许多无人机公司也积极加入到集群技术的研究中,但是主要是以商业表演的形式呈现。2018年2月,在平昌冬奥会的开幕式上,1218架英特尔Shooting Star无人机腾空而起,以绚丽多姿的图案向参加此届奥运会的运动员表示欢迎,打破了吉尼斯世界纪录。2018年3月,南京首次大型无人机灯光秀在大报恩寺遗址公园上演,400架无人机在电脑程序的控制下在空中摆出各种造型,点亮南京夜空。2018年3月,OPPO公司用200台荧光无人机为OPPO R15花式预热,非常吸引眼球。2018年7月,777架无人机在长沙的上空上演了牛郎织女鹊桥相会的场面,现代科技感十足,使人赏心悦目。2018年9月,300架无人机在南京航空航天大学西操场上准时升空,无人机伴着灯光排列成精准的“南航欢迎你”等字样(图3(d)),被众多国内外观众瞬间刷屏。



(a) 国防科技大学集群飞行试验 (b) 电科院集群飞行试验

(c) 北京航空航天大学集群飞行试验 (d) 无人机集群飞行表演

图3 无人机集群飞行测试及表演

Fig. 3 UAV swarm testing flight and performance

## 4 创新驱动无人机产业崛起

技术创新的宗旨是造福人类,创造更便捷、更美好的生活。就无人机相关技术而言,涉及续航能力、智能



感知、快速规避、精准定位、载重能力、动力系统、遥感、相机、传感器、机身材料、机身结构等多个技术层面。无人机也因此由最初的军事武器逐渐向农业、能源业、建筑业、海洋业、交通运输业等民用领域拓展,这在一定程度上促进了无人机军民市场和产品的深度融合。2018年,国内外的研究机构、院校和公司无人机技术创新方面继续深耕。

2018年2月,美国麻省理工学院计算机科学与人工智能实验室(MIT's Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, MIT CSAIL)的研究人员开发出一种名为“NanoMap”的系统。在借鉴无人驾驶汽车情况的基础上,通过无人机不断定位,达到躲避障碍的目的,保证无人机在复杂的环境中飞行时速达20英里,同时事故率从25%降到2%。2018年6月,美国海军研究实验室(United States Naval Research Laboratory, NRL)正在开发一种新的无人机太阳能技术,利用热气流和太阳能无人机供能。通过滑翔过程电动机关闭,加快太阳能电池板给机载电池充电的速度,达到续航时间超过12小时的目标。此外,该技术可以移植到多种无人机平台上,包括小型的RQ-11“大乌鸦”无人机及大型的MQ-1“捕食者”无人机等,这无疑大大提升无人机的航程、航时及综合作战效能。2018年3月,Elizabeth团队设计了一款可与蝙蝠群在夜间一同飞行的无人飞行器,该飞行器装备麦克、热摄像机等装备用以检测蝙蝠行动,类似的技术已用于地面和高塔对蝙蝠的监测,其研究成果被《Science》报道<sup>[15]</sup>。2018年9月,荷兰代尔夫特理工大学在果蝇的启发下,原创性研制出动作机敏的DelFly Nimble扑翼机器人(图4),它能够产生偏航效果,与现有的俯仰和侧倾控制相结合,从而在25 km/h的速度下实施快速倾斜转弯、或者奇怪的后空翻,相关研究成果发表于《Science》<sup>[16]</sup>,无疑是2018年无人机学术领域最吸睛的科研成果之一。2018年10月,全球能源传输公司(Global Energy Transmission, GET)率先推出一种中空感应充电系统,该系统可以同时支持多个悬停无人机充电。此外,该系统便携性强,在一定范围内可机动布局,开创了无人机“永不降落”的作业新模式。2018年11月,英国Vodafone公司宣布,成功运用无线电定位零碎(RPS),应用4G调制解调器以及装置在无人机上的SIM卡,通过人工智能零碎计算无人机的位置,该项技术有助于维护无人机、大众、敏感设备和其他无人机的平安。2018年12月,美国UAVOS公

司测试了一种新的用于垂直起降无人机的飞行算法(图5(a)),可在无人机发动机失灵的情况保证无人机安全着陆。作为自动驾驶模块的一部分,GLIDER算法可以在发动机故障的情况下自动切换至自旋翼模式,从而提高了无人机的安全性和生存能力,使无人机发动机免受关键飞行条件下的过载影响。



图4 DelFly Nimble扑翼机器人(图片来源:《Science》)

Fig. 4 DelFly Nimble flapping-wing robot

就国内而言,2018年8月,“圆梦天使杯”国际空中机器人大赛(亚太赛区)在北京航空航天大学继续成功举办,吸引了来自国际亚太地区的13支高校参赛队、134名学生参与了任务七“空中牧羊犬行动”和任务八“星际飞船救援行动”的角逐。其中,任务八更加体现了人工智能和自主控制,难度也大幅度增加。该大赛将无人飞行器设计、导航与控制的学术研究与实践紧密结合,培养了参赛学生的团队协作能力和创新能力。2018年11月,“航空工业杯”第六届国际无人飞行器创新大奖赛暨2018安吉航空嘉年华活动在浙江安吉成功举办,共计有全国25支队伍同台竞技,吸引到场观众6万余人,已经成为国内最具影响力的航空科技创新飞行盛会。太阳能无人机具有飞行高度高、滞空时间长等优点,可作为大气层内伪卫星使用,执行侦察监视、区域导航、通信中继、一体化预警等任务,是近年来新兴发展的航空重点领域之一。2018年9月,西北工业大学“魅影”团队太阳能无人机“魅影6”(图5(b)),完成了19小时34分钟的全自主飞行,并顺利回收,刷新了国内最长续航时间16小时9分钟的记录,这也是国内第一次进行秋季太阳能长航时飞行试验,为实现太阳能无人机全年跨季飞行迈出了重要的一步。

2018年10月,由航空工业第一飞机设计研究院设计研发的“启明星”太阳能无人机大尺寸(20 m翼展)技



(a) UAVOS公司算法测试 (b) 西北工业大学“魅影”无人机

图5 无人机技术创新

Fig. 5 The technological innovation of UAVs

术验证机完成首飞,该无人机具有完全自主知识产权,其综合性能达到国内先进水平。2018年11月,雷达系统开发商的ASTRALiTe公司联合DJI无人机公司,成功在Matrice 600 Pro平台完成2合1Topo-Bathy雷达的测试,开辟了无人机测深扫描激光雷达的新业务领域。此外,中国借鉴军事强国技术研发模式,通过举办无人机相关赛事,深入贯彻国家军民融合与创新驱动发展战略。2018年6月,由中国空军主办、中国电科电子科学研究院等单位在河北涞水承办了首届“无人争锋”智能无人机集群系统挑战赛,设置多个比赛科目,重点考核各参赛队无人机集群密集编队、高速精确避障、协同搜索识别与定位、集群协同策略与动态任务规划、空中精确定位与空中预对接等技术的发展水平。为高效推动反无人机技术的发展,2018年9月,由中央军委科技委主办、中国航空工业发展研究中心等多家单位协办的“无形截击-2018”反无人机挑战赛顺利举行。为推动智能无人领域军民融合纵深发展,2018年12月15日,由空军工程大学举办的首届“智胜空天-2018”无人机挑战赛在西安开幕。来自国防科技大学、西北工业大学、厦门大学、中国飞行试验研究院等军地知名高校和科研院所的100余支战队、800余名选手参赛。此次比赛为期3天,分为学术论坛、创新设计、飞行竞技3个部分。

无人机的科普教育和创新竞技也如火如荼,2018年8月,首届国际空中机器人大赛(亚太赛区)青少年附加赛在北京成功举办,从各地参加选拔赛的2000多名“小飞手”中选送出的38支代表队近150名学生参加。由国际青少年无人机协会、广东省航空学会共同主办的第二届“国际青少年无人机大赛”于2018年7月在深圳大学城体育中心隆重举行,通过系列面向青少年的无人机大赛,培养了青少年的科学素养和求真务实的团队精神,无人机科普教育走进中小学课堂也已在全国多所学校开展。

## 5 反无人机技术暗潮涌动

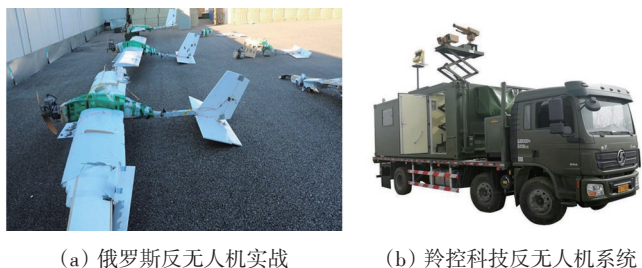
随着消费级无人机的爆炸式发展,其造成的各种威胁也与日俱增。据统计,在2018年的前11个月中,英国发生120起无人机危险接近有人驾驶飞机的案例。国内无人机坠落伤人、逼停航班和列车的事情也屡屡发生。此外,不法分子甚至策划利用无人机进行运送毒品等违法活动。因此,针对日趋严峻的无人机威胁,反无人机技术及其各型武器装备应用逐渐成为发展热点。

目前,世界各国除了采用传统防空武器系统执行反无人机任务外,还大力开展通过电子战、网络战、无人机、激光武器等技术的研究。根据其技术及反制措施总体上可分为干扰屏蔽类反无人机装备、捕捉击毁类反无人机装备、监测反制类反无人机装备三大类,主要有激光炮、信号干扰、信号欺骗、声波干扰、黑客技术、无线电控制以及反无人机的无人机等。

2018年1月,驻扎在叙利亚境内的俄军防空系统发现13个小型空中目标(即无人机)意图对俄军事设施展开袭击。俄军采用无线电技术成功接管了其中的6架无人机,剩余7架全部被执勤的“铠甲”S型防空导弹系统击落,这次反击也因此成为反无人机集群作战的实战案例(图6(a))。2018年7月,美国雷神公司推出“郊狼”无人机系统和先进雷达组合成的反无人机武器系统,引领了“以机制机”的潮流。该系统拥有先进雷达系统,负责精确识别、跟踪各种型号无人机,装有先进导引头和战斗部的“郊狼”无人机可根据雷达指令对目标无人机进行自杀性袭击。同时,美国海军正在进行的“低成本无人机蜂群技术”项目测试了“郊狼”无人机的蜂群能力。2018年7月,英国联合开发一种强大、高效且高度集成的反无人机防御系统,用以应对无人机滥用所带来的安全威胁。该系统集成了BRIGHT公司的电子扫描防空雷达,CHES公司的光电指示器、多光谱相机和目标跟踪软件以及ENTERPRISE公司的定向射频抑制、干扰系统,能够对8 km范围内的无人机进行探测、跟踪、识别、干扰和制止,并迫使其降落。2018年7月,以色列两家科技公司分别展出了针对无人机的遥控武器系统和综合防御系统,这两套系统均具有先进的雷达探测设备,能够探测和追踪各种型号的无人机。其中,综合防御系统使用干扰枪对无人机进行信号干扰和射频探测,迫使无人机降落或返回起点,或者



使用激光枪,在数秒内击毁 800 m 范围以内的无人机;遥控武器系统可以架设在多类型平台和载具上进行全天候多领域作战。2018 年 11 月,中国羚控科技通过直播展示自主研发的,被誉为“中国低空安防卫士”一反无人机系统(图 6(b)),该系统由雷达、光电、电子对抗等反无人机系统组件组成。该系统在整个演示过程反应迅速,打击精准,操作简便,并且在很短的时间内便完成了对入侵目标的有效打击。



(a) 俄罗斯反无人机实战

(b) 羚控科技反无人机系统

图 6 反无人机战例及技术装备

Fig. 6 Anti-UAV combat cases and the technical equipment

## 6 规范化无人机领域新政

无人机研发技术日趋成熟和生产成本的大幅度下降,加速推动了无人机在各个领域的广泛应用。然而在无人机推广和使用的同时,出现了一系列的安全隐患和监管漏洞,例如误闯禁飞区、入侵机场等,这类现象对公共安全和个人权益造成一定影响,除因为这类“低空、慢速和小型目标(低慢小目标)”在探测上难度较大之外,还在于相关立法还不健全,对这种新生事物的管理远不到位。因此,无人机专项管理条例呼之欲出。

从 2018 年伊始,美国政府和联邦航空管理局(Federal Aviation Administration, FAA)不断增强对无人机的监管力度,加速无人机空域管制和授权。2018 年 2 月,现在无人机开发商 AirMap、Project Wing、Rockwell Collins 和 Skyward 实现了将无人机空域管理平台 AirMap 的“低空授权和通知能力”(low-altitude authorization and notification capabilities, LAANC),集成到各自的无人驾驶航空器系统(unmanned aerial vehicle system, UAS)应用中。不仅为商用无人机操作人员在管制空域提出飞行请求和接收授权飞行提供一种无缝、自动化的方式,更是在开发无人机系统交通管理系统方面迈出的重要一步。2018 年 3 月,美国联邦航空局在巴尔的摩 UAS 研讨会宣布,从 4 月 30 日开始将提供实时低空域授权

和通知的机场数扩展到 500 个。2018 年 5 月,美国政府和联邦航空管理局部署 LAANC 计划,实现无人机空域授权和审批自动化。2018 年 10 月,美国总统签署了《2018FAA 再授权法案》,该法案为 FAA 提供了 5 年的资金支持。虽然对于该法案的一些条例存在异议,但是从整个无人机行业来看,该法案无疑将持续推进无人机融合。

2018 年 1 月,国际标准化组织(International Organization for Standardization, IOS)公布了全球首个无人机标准草案。该草案涉及无人机使用的一系列标准范畴,涵盖操作技术指标以及飞行管制、生产质量等方面,并建议在机场和其他限制区域周围设立禁飞区,以及确保无人驾驶飞机远离敏感地点等等。尽管该草案并非正式法规,但已经有部分地区采用了类似的措施,国际标准化组织希望它们能够成为目前适用于全球无人机制造商和使用者的最佳标准。2018 年 6 月,植保无人机国际标准工作组(ISO/TC23/SC6 WG25)会议暨国际标委会年会在加拿大汉密尔顿顺利召开,开始制定《植保无人机 ISO 国际标准》。会议期间,中国专家明确提出亟待建立植保无人机施药技术系列国际标准,得到了与会专家的一致认同。

针对无人航空器的依法管理方面,中国政府部门也相继出台一些相关的法律法规。2018 年 1 月,由国务院、中央军委空中交通管制委员会办公室发布的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例(征求意见稿)》通过了国家工信部网站对外征求意见。这是中国建国以来首次从国家战略层面对无人机管理与发展做出部署,旨在完善行业法规标准体系、保障合法合规飞行权利,统一安全监管手段,为无人机行业谋求可持续发展空间。2018 年 3 月,民航局发布《民用无人驾驶航空器经营性飞行活动管理办法(暂行)》。该《办法》对无人驾驶航空器经营许可证的申请条件及程序、无人驾驶航空器经营性飞行活动的监督管理方式等做了明确规定,具有适用范围边界清晰、准入条件大幅降低、在线操作简单便捷、管理条款符合情理、时间指标宽松充裕等特点。2018 年 4 月,农业农村部继续推进植保无人机补贴试点,并在举行的新闻发布会中两次提及无人机,其一要确保 2018 年春耕生产无人机植保等新技术、新装备广泛应用;其二要组织实施好《农机装备发展推进行动方案》和农机购置补贴政策,扩大无人机等农机新产品补贴试点。2018 年 5 月,交通运输部发布的《城市

轨道交通运营管理规定》，明令禁止九类危害或者可能危害城市轨道交通运营安全的行为，其中涉及无人机等低空飞行器的运行。2018年9月，民航局发布了《低空飞行服务保障体系建设总体方案》。该方案明确了服务空域内有无人机飞行活动的范围，建立相应的保障措施，必要时与无人机空中交通管理信息系统建立联系。2018年11月，深圳地区无人机飞行管理试点启动暨综合监管平台上线试运行发布会在深圳举行，标志着中国首个无人机综合监管平台正式上线，公布了《深圳地区无人机飞行管理试点工作实施方案》和《深圳地区无人机飞行管理实施办法（暂行）》，对执行作战战备、反恐维稳、抢险救灾等飞行任务和部分民用运行场景飞行计划的申请与批复流程进行了简化，缩短了飞行计划审批时间，该办法已于2018年11月19日开始实施。2018年11月，工信部发布了关于《无人机制造企业规范条件》的公示，明确制造企业年享有所制造无人机的知识产权，拥有无人机相关的专利或专有技术，此外，无人机应具备敏感地区飞行限制功能和与用途匹配的感知避让功能，并具有唯一产品编码，满足身份识别要求等。

## 7 结论

近年来，在国家科学技术部、国家发展和改革委员会、国家自然科学基金委员会等支持下，中国学者和广大科研人员从无人机系统的基础理论、关键技术、工程应用、产业推广等多个层面开展全面系统的研究，并取得了令人瞩目的高水平研究成果，目前正瞄准颠覆性技术和重大型号应用开展攻关。正如无人机飞行力学与控制专家、中国工程院院士赵煦所言：“通过理论和方法上研究的突破，为无人机系统的自主化、综合化和智能化提供了重要技术支撑，也推动了无人机应用的蓬勃发展。”<sup>[5]</sup>

从无人机系统发展新路线、实战化应用、集群自主控制、创新驱动产业、反无人机技术以及规范化新政等多个角度，系统分析总结了2018年无人机热点及发展新态势。据市场研究机构Technavio预测，2019—2023年，全球无人机的采用率将以13.61%的复合年增长率继续增长。值得一提的是，随着无人机安全需求以及世界各地恐怖主义和非法活动的增加，预计世界反无人机市场将从2018年的4.99亿美元增长到2024年的

22.76亿美元，复合年增长率为28.8%。针对检测和拒止应用可能继续占反无人机市场的更大份额，包括反无人机系统的探测和干扰的技术装备等。正如无人机侦察技术专家、中国工程院院士樊邦奎所言，“随着信息技术特别是人工智能技术的飞速发展，作为‘平台无人、系统有人’的无人机系统，在军事领域使现代战争模式正在发生重大变革，在民用领域催生了庞大的产业链，是社会经济发展的新动力”<sup>[1]</sup>。

根据2018年无人机领域的发展态势，无人机自主集群系统已成为无人机的一个重要研究发展方向，通过紧密协作，无人机集群系统可以体现出比人工系统更卓越的协调性、智能性和自主能力<sup>[17-18]</sup>，未来将开辟涉及无人机和有人机共融、仿生智能感知、无人机集群自主对抗、智能集群系统等多个研究领域。其中，通过借鉴生物群体无中心、共识主动性、简单性和自组织性等特点，跨学科开展群智汇聚、激发涌现技术研究，并将其映射到复杂环境下无人机系统的协同演化、智能决策和自主控制中，必将成为新一代人工智能的研究热点。

## 参考文献 (References)

- [1] 段海滨, 邱华鑫. 基于群体智能的无人机集群自主控制[M]. 北京: 科学出版社, 2018.  
Duan Haibin, Qiu Huaxin. Unmanned aerial vehicle swarm autonomous control based on swarm intelligence[M]. Beijing: Science Press, 2018.
- [2] Duan H B, Li P. Bio-inspired computation in unmanned aerial vehicles[M]. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2014.
- [3] 段海滨, 李沛. 基于生物群集行为的无人机集群控制[J]. 科技导报, 2017, 35(7): 17-25.  
Duan Haibin, Li Pei. Autonomous control for unmanned aerial vehicle swarms based on biological collective behaviors[J]. Science & Technology Review, 2017, 35(7): 17-25.
- [4] Duan H B, Qiu H X. Unmanned aerial vehicle distributed formation rotation control inspired by leader-follower reciprocity of migrant birds[J]. IEEE Access, 2018, 6: 23431-23443.
- [5] 赵煦. 走向智能自主的无人机控制技术[J]. 科技导报, 2017, 35(7): 1.  
Zhao Xu. Trend of intelligent and autonomous UAV control technology[J]. Science & Technology Review, 2017, 35(7): 1.
- [6] 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.  
Duan H B, Qiu H X, Chen L, et al. Prospects on unmanned aerial vehicle autonomous swarm technology[J]. Science & Technology Review, 2018, 36(21): 90-98.



- [7] Department of the Navy Strategic Roadmap for unmanned systems (short version)[EB/OL]. (2018-05-29)[2018-12-20]. <https://news.usni.org/2018/05/29/summary-department-navy-strategic-unmanned-systems-roadmap>.
- [8] Fachev K M, Miller M J. DON strategic roadmap for unmanned system 2017-2042[R]. Arlington County: Office of the Secretary of Defense, 2018.
- [9] Standardization roadmap for unmanned aircraft systems (Version 1.0) [EB/OL]. (2018-09-20)[2018-12-20]. [https://share.ansi.org/Shared%20Documents/Standards%20Activities/UASSC/ANSI\\_UASSC\\_Roadmap\\_December\\_2018.pdf](https://share.ansi.org/Shared%20Documents/Standards%20Activities/UASSC/ANSI_UASSC_Roadmap_December_2018.pdf).
- [10] 无人机系统发展白皮书(2018) [EB/OL]. (2018-11-06)[2018-12-20]. [http://www.xinhuanet.com/2018-11/06/c\\_1123672303.html](http://www.xinhuanet.com/2018-11/06/c_1123672303.html).  
White paper on UAV system development (2018) [EB/OL]. (2018-11-06)[2018-12-20]. [http://www.xinhuanet.com/2018-11/06/c\\_1123672303.html](http://www.xinhuanet.com/2018-11/06/c_1123672303.html).
- [11] 周子为, 段海滨, 范彦铭. 仿雁群行为机制的多无人机紧密编队[J]. 中国科学(技术科学), 2017, 47(3): 230-238.  
Zhou Ziwei, Duan Haibin, Fan Yanming. Unmanned aerial vehicle close formation control based on the behavior mechanism in wild geese[J]. Scientia Sinica Technologica, 2017, 47: 230-238.
- [12] 段海滨, 罗琪楠. 仿自然界鸽群行为的无人机集群自主控制[J]. 系统与控制纵横, 2018, 5(2): 28-36.  
Duan Haibin, Luo Qinan. The UAV swarm automatic control imitating the behavior of pigeons in nature[J]. All About System and Control & Technology Review, 2018, 5(2): 28-36.
- [13] 段海滨, 张岱峰, 范彦铭, 等. 从狼群智能到无人机集群协同决策[J]. 中国科学(信息科学), 2019, 49(2): 1-8.  
Duan Haibin, Zhang Daifeng, Fan Yanming, et al. From wolf packs intelligence to UAV cooperative decision[J]. Scientia Sinica Informationis, 2019, 49(2): 1-8.
- [14] Duan H B, Yang Q, Deng Y M, et al. Unmanned aerial systems coordinate target allocation based on wolf behaviors[J]. Science China Information Sciences, 2019, 62(1): 0114201: 1-014201: 3.
- [15] Katie Langin. Meet 'Chirocopter': A drone that flies within swarms of bats[EB/OL]. (2018-03-09)[2018-12-20]. <http://www.sciencemag.org/news/2018/03/meet-chirocopter-drone-flies-within-swarms-bats>.
- [16] Matěj K, Florian T. M, Christophe D W. A tailless aerial robotic flapper reveals that flies use torque coupling in rapid banked turns[J]. Science, 2018, 361: 1089-1094.
- [17] 蒋婉玥, 王道波, 王寅, 等. 基于时变向量场的多无人机编队集结控制方法[J]. 控制理论与应用, 2018, 35(9): 1215-1228.  
Jiang Wanyue, Wang Daobo, Wang Yin, et al. A vector field based method for multi-UAV simultaneous arrival[J]. Control Theory & Applications, 2018, 35(9): 1215-1228.
- [18] 沈林成, 牛铁峰, 朱华勇. 多无人机自主协同控制理论与方法 [M]. 2版. 北京: 国防工业出版社, 2018.  
Shen Lincheng, Niu Yifeng, Zhu Huayong. Theories and methods of autonomous cooperative control for multiple uavs [M]. 2nd ed. Beijing: National Defense Industry Press, 2018.

## Review of technological hot spots of unmanned aerial vehicle in 2018

DUAN Haibin<sup>1</sup>, SHEN Yankai<sup>1</sup>, WANG Yin<sup>2</sup>, LUO Delin<sup>3</sup>, NIU Yifeng<sup>4</sup>

1. Bio-inspired Autonomous Flight Systems (BAFS) Research Group, School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China
2. College of Astronautics, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China
3. School of Aerospace Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China
4. College of Intelligence Science and Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

**Abstract** As an important direction of future UAV development, UAV swarm technology and anti-UAV technology have become hot issues in 2018. The UAV industry will have sustainable development under the promotion of technological innovation and relevant policies. This article analyzes and summarizes the hot topics and the new development trend of unmanned aerial vehicle (UAV) from the aspects of the new roadmap of unmanned aircraft system (UAS), practical applications, swarm autonomous control and technological innovation in 2018.

**Keywords** unmanned aircraft system; practical application; unmanned aerial vehicle swarm; anti unmanned aerial vehicle ●



(责任编辑 刘志远)