

无人机集群及其动力需求分析

Analysis to the UAV Swarms and Powerplants

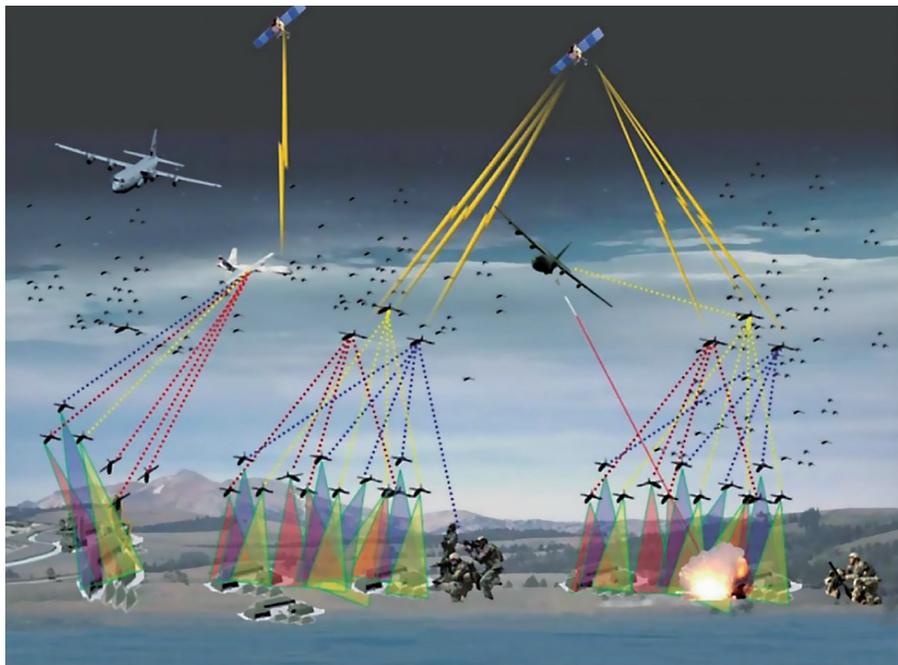
■ 张健 吴雄 / 中国人民解放军92728部队

无人机集群和穿透型制空是美国战略重点重新回到大国竞争、针对在强对抗环境中作战而发展出的新型体系化作战概念。其中，无人机集群是网络化协同，将大型、昂贵、多功能空战装备的功能分解到大量低成本无人机平台上，利用架构、自主、协同、控制等技术使少量有人机和大量无人机形成统一的空战整体。

按照美国空军《2016—2036小型无人机系统飞行规划》给出的定义和相关描述，无人机集群是指在空中或地面驾驶员的操作或监督下，参照自然界蜂群、蚁群等的集体行为方式，由多架以自主方式组织起来遂行统一作战任务的小型无人机集群。集群无人机可以是相同的（同构），也可以是不同的（异构）；组群方式可以是主从式的，也可以是无中心的。需特别指出的是，美国空军在这份文件中明确了“集群”与“忠诚僚机”和“编组”概念的对比和不同，主要体现在这3种作战样式协同对象的不同：“集群”为大量小型无人机之间的机-机协同；“忠诚僚机”是指无人机与有人机之间的有人-无人协同；“编组”是指控制站与控制站之间的人-人协同。2018年8月，美国防部发布《2017—2042财年无人系统综合路线图》，再次将“集群能力”列为无人系统的15项关键技术之一。

集群无人机发展概况

无人机集群具有成本低、结构简单、损伤冗余度高等优势，可在对地、对空等复杂作战任务中与少量高性能平台组成编队。随着无人机集群作战概念的不断完善和丰富以及相关技术的不断成熟，无人机集群必



无人机集群作战概念图

将成为未来大量配备的航空主战装备。无人机集群将逐步具备对地、对海、对空监视侦察甚至攻击的能力。无人机集群大规模服役后，空中作战将从强调隐身单平台或小编队作战向注重网络化、分布式、体系化作战转变，不断丰富的空中作战方式将对未来航空装备体系的构成和作战样式产生重大影响。

目前，集群无人机种类众多，总体上可分为旋翼式和固定翼式两

类。动力类型大体分成两种：一种是纯电驱动，即“电池+电动机+旋翼或螺旋桨”，基本上所有的旋翼式蜂群无人机和大部分小型固定翼集群无人机都采用这种动力形式，以美国的低成本无人机集群技术（LOCUST）项目、“灰山鹑”（Perdix）无人机集群项目为代表；另一种是燃气涡轮发动机，采用这种动力的多为大型的固定翼集群无人机，以“小精灵”（Gremlins）空中可回收无



“郊狼”无人机基本型



“灰山鹑”无人机

人机集群项目为典型。

低成本无人机集群技术由美国海军研究办公室（ONR）主导，2015年启动研制，可提供陆、空、水面和 underwater 平台发射的情报、监视、侦察（ISR）精确无人机，并可单独或成群地与有人作战系统协同作战。无人机平台是“郊狼”（Coyote）无人机，2016年4月，完成地面发射试验，发射后进行编队飞行；同年7月，实现了30余个“郊狼”无人机快速发射和机动飞行。

“灰山鹑”无人机集群由美国战略能力办公室（SCO）主持，2014年启动研制，主要应用于代替空射诱饵，执行诱导欺骗、前出侦察等。2016年，项目演示了由3架F/A-18飞机快速投放的103架“灰山鹑”实现按指令组群飞行，创下军用无人机蜂群最大规模飞行纪录。试验中，“灰山鹑”集群未预先编写飞行程序，展现了集体决策、自修正和自适应编队的自主协同飞行能力。

美国国防预先研究计划局（DARPA）于2015年启动的“小精灵”项目，研究小型无人机集群的空中投放/回收等关键技术，主要任务为区域监视和侦察、电子战和攻击（破坏导弹防御系统），因此已经上

升为可在大国军事行动中执行战略级任务。

“小精灵”项目原本分3个阶段进行：第一阶段（2016年第一季度—2017年第二季度），复合材料工程公司、动力系统公司、通用原子公司和洛马公司获得1610万美元合同，进行无人机概念验证和空中发射回收设备概念验证；第二阶段（2017年第一季度—2018年第三季度），DARPA在第一阶段4家公司中选出两家公司并授予合同，开展技术成熟和风险降低工作；第三阶段（2018年第三季度—2020年第二季度），DARPA在第二阶段两家公司中选择

1家并授予合同，开展原型机制造、集群飞行演示以及空中发射回收演示。“小精灵”项目本应在完成当前的第三阶段后结束，但由于认识到可消耗无人机的价值，DARPA和美国空军决定增加第四阶段。“小精灵”项目的第四阶段将聚焦作战能力，旨在通过约两年的时间使X-61A能够执行压制/摧毁敌防空的任务。这将涉及无人机与ISR传感器、自主系统的整合，可借鉴DARPA之前转化到海军航空系统司令部的“拒止环境协同作战”（CODE）项目的技术。

截至目前，“小精灵”项目已进行了3轮测试。2020年1月，由



“小精灵”无人机

C-130A运输机载飞并发射，进行了首次飞行试验，2020年7月和10月，完成第二次和第三次飞行试验，主要验证了无人机的投放、飞行与回收；并计划在2021年10—11月进行新的飞行试验，主要验证“携带子无人机或弹药，完成一项任务后，返回母机，再加油和重新武装后发动另一次攻击”的重复使用功能。

目前，“小精灵”无人机的动力形式尚未被披露，但从公开的数据看，“小精灵”无人机质量为320kg、速度为Ma 0.8、有效载荷为50kg、作战半径为900km、续航3h、重复使用20次、采用空中回收方式，根据上述平台指标推测，须采用燃气涡轮喷气发动机才能满足动力要求。

无人机集群关键技术和发展趋势

近年来，无人机集群成为各国争先研究的热点，相关进展主要包括：创新协同理论，探索集群协同的模式，包括无人机集群协同、无人机集群和有人机协同、无人机集群和大型载具协同、无人机集群和其他无人装备跨域协同；强调体系协同，构建分布式指挥架构；加强基础研究，突破核心关键技术；加紧集群验证，形成非对称优势。

多个典型的研究项目表明，无人机集群的主要关键技术是集群控制，其难点主要来自于：质量、功耗、空间和成本限制对机载通信、计算和存储能力的约束；数量规模、任务耦合、局部信息不一致和无人机动力学给集群控制和集群任务协同等带来较多的挑战。集群控制技术主要包括集群体系架构、集群通信与组网、集群决策与规划、集

群无人机平台系统、集群飞行与队形重构、集群安全与冲突消解、集群指挥控制等。其中，动力技术只是平台系统中的一部分，这与有人机研发过程中发动机占有的比重差异较大。

无人机集群的未来发展趋势可简要概括为：群体智能，具有任务能力的无人机集群系统；多样化任务，易扩展互操作的集群体系结构；分布式在线处理，协同包以德循环（即观察—调整—决策—行动，OODA）回路响应时间和行为决策能力；意外事件处理，大规模集群协同飞行控制算法；低成本轻量化，无人机系统平台/载荷/通信系统；平行仿真，虚实结合的标准化开放性集群协同测试环境。

集群无人机动力的需求分析

结合上述项目的作战目标、参数指标和动力选取的异同可以看出，针对大国战略竞争或军事作战使用的战略级集群无人机动力的需求与特点。

一是具有相对大的作战半径与航时，以适应大国大纵深的防御与进攻。与城市作战不同，大国特种军事作战和反介入/区域拒止（A2/AD）作战，无人机集群启用前的运载平台与任务目标应有较远的距离，为保证执行作战任务的能源供给，无人集群应有相对较好的续航能力，在此方面燃气涡轮动力优于纯电动动力。

二是具有相对较快的飞行速度，以适应集群为应对战场状况而随时产生的密集编队和稀疏编队之间的多次变换。如针对无系统防御能力的地面低速目标进行打击与侦

察，无人机集群编队情况比较简单，但是如果需要躲避来自地面或空中的系统性防御打击，或者目标为空中机动目标、地面/海上快速移动目标（或目标群），则无人机集群编队情况需要根据面临的打击或任务目标的位置变化，产生敏捷的密集与稀疏之间变换，此时无人机集群个体灵活度对动力性能提出了较高的要求。

三是具有相对较大的有效载荷，以适应面对高对抗强度作战空域所需的ISR、电子战、对面打击和对空打击（自杀式）等多种任务。这些有效载荷首先需要足够的推力/升力，其次在高对抗强度作战任务中，这些载荷需要消耗较多的能量，特别是ISR与电子战，需要动力系统具有相对较强的功率提取能力。

结束语

无人机集群的特点在“群”，带来的关键技术是“协同”，包括无人机集群与装备体系的协同和无人机集群内部的协同，包括作战管理、组网、自主编队、态势感知与共享、任务规划与决策等，这些关键技术的验证，采用小型平台即可，对应动力主要是纯电驱动推进器。作为武器装备执行A2/AD战场的任务，除了上述“协同”能力，还需要无人机平台具有一定的航程/航时、速度和载荷，从经济可承受性的角度考虑，成熟涡喷/涡扇发动机或衍生发展型是主要动力形式。此外，随着动力技术的发展，混合电推进也是待选的动力方式。

航空动力

（张健，中国人民解放军92728部队，副研究员，从事航空装备体系协同研究）