

号称颠覆未来作战方式，实战中“满天乱撞”频发 无人机蜂群作战，缘何“雷声大雨点小”？

近年来，无人机蜂群作战作为军事领域的一项前沿技术，受到世界主要军事强国的高度重视。理论上讲，无人机蜂群作战将以独特的战场优势重新定义战争形态，颠覆未来作战方式。然而，自2000年美国国防高级研究计划局启动无人机蜂群作战研究以来，其真正意义上的作战效能并未得到实战验证。俄乌冲突中，双方投入大量无人机，但战场上并未出现蜂群作战样式。相反，由于电子系统、控制软件、导航和气象等原因，无人机满天乱撞的报道接连出现。事实上，无人机蜂群作战在付诸实践过程中还存在诸多难题，无人机个体技术特点成为作战使用难点。无人机蜂群的软肋在技术和战术层面兼而有之，也使得蜂群作战难以付诸实践。

技术门槛较高

作为一项前沿技术，无人机蜂群作战存在较高的技术门槛。其一是飞行控制问题，包括对多架无人机的控制和对飞行中的无人机蜂群的间距控制。目前，对单一无人机的控制仍存在一定技术难度，对多架无人机的控制难度更大。无人机蜂群在空中飞行时，相当于人为制造了一种复杂的天空环境。在攻击目标时，每架小型无人机之间还需要互相规避，使得控制算法的难度加大。另外，无人机蜂群执行的作战任务具有复杂性和不确定性，导致蜂群决策的难度增大，决策过程放慢，进而影响到蜂群实时协同等关键行动。

其二是信息交互问题。蜂群内部通过信息交互方式，使所有无人机能及时共享战场态势，并对其他无人机提出请求或做出回应，这对无人机蜂群的信息交换能力提出较高要求。一是通信速率要快，二是要抗电磁干扰。目前，无人机蜂群虽然可实现成百上千架无人机编队飞行，但这种编队飞行总体抗干扰能力较弱，经不住导航/通信链路被干扰破坏。一旦通信链路或关键节点被摧毁，无人机之间的协作将很快“崩塌”，战斗力将消失殆尽。在俄乌冲突中，双方均有大量无人机折损于电子战。

其三是人工智能问题。蜂群作战要求无人机具有较高的自主化与智能化水平，但在现阶段乃至今后很长一段时间内，无人机飞行仍需控制站的远程辅助，不仅带来信号传输处理的延迟，而且对无人机的飞行控制、编队控制、机站间通信、控制站人员指挥控制能力等都提出较高要求。另外，各无人机之间必须实时交互信息，确保有序飞行，以及任务分配、目标选择等实现，这些功能都需要人工智能系统运作。而人工智能水平越高，对机载计算机的能力要求越高，所

需能耗也越高，这对于无人机蜂群而言又是一大挑战。

其四是能源问题。能源直接影响无人机蜂群的机动能力，进而关系到作战效能。受无人机蜂群低成本、轻量化和小型化等要求限制，无人机的机动性、续航能力和承载能力相对较差，从而限制了单架无人机性能。最理想的情况是无人机配备低能耗机载设备和容量的储能电池，但目前距离这一目标为时尚远。

其五是载荷问题。受无人机的体积、重量和功耗有限，携带的载荷有限，导致机载通信、计算和存储能力相对较低。而载荷性能较低，必然影响到无人机蜂群的毁伤能力。单一的无人机很难对目标构成致命毁伤，因此需要依靠无人机蜂群实施饱和打击，以达到击毁或重创敌方目标的目的。

战术劣势明显

在以上技术短板影响下，当前蜂群作战主要存在以下战术劣势。

速度慢、航程短，增射程与保安全存在两难。目前，绝大多数蜂群无人机采用小型机体+电驱螺旋桨设计，飞行速度慢，且航程较短。这意味着携带无人机群的发射载机必须尽可能地靠近前沿，才能让无人机有足够航程，而这势必要求载机前出至对方火力威胁范围内。例如，美军“小精灵”项目使用的是X-61A无人机，作战半径550至900千米，载机为C-130、B-1B等大型平台，因此待射区通常较远。而“灰山鹑”“郊狼”等小型无人机航程偏短、飞行速度慢，需要发射平台靠近目标区域投放，发射区位置距离任务目标相对较近。目前国外普遍认为，蜂群无人机的核心优势是“蜂群”，擅长以量取胜的“饱和式”作战，通过数量规模的叠加效应，形成局部压倒性优势，达到提高突防概率和摧毁目标的目的。也有观点认为，蜂群无人机较慢的飞行速度将为敌防空系统“创造”更多拦截机会，即使拥有明显的数量优势，其突防效率也将不可避免地下降。

运行中枢“神经网络”复杂，作战控制面临重重难关。20世纪90年代末美军提出无人作战蜂群战术，历经20多年发展，直到2021年1月成功演示无人机蜂群突破伯克级驱逐舰的“宙斯盾”防空系统，才标志着无人机蜂群战术初步成熟。在未来无人机蜂群作战中，成百上千的无人机协同作战将对决策控制系统提出



美军“小精灵”项目中载机投放无人机蜂群示意图。

更高要求。每架无人机都要通过集群算法，完成数据收集、汇总，空中编队切换与执行攻击指令等一系列任务。另外，有些国家还在尝试研制能够直接使用强电磁攻击的反无人机武器，在无人机蜂群所处空域实施磁暴，让机载电子设备陷入瘫痪，进而使无人机丧失战斗力甚至坠毁。高度复杂的控制系统和日益强大的反制武器，将给无人机作战控制带来更大挑战。

“空中大脑”突防能力弱，实战运用约束多，战场劣势明显。目前的无人机在航程超过一定距离后，受地形、磁场、信息传输等因素影响会更大，仅靠地面控制站很难完成任务。为此，科研人员提出空中指挥所模式，希望通过前移控制站强化对无人机的控制。

美军曾尝试将直升机作为空中指挥所的载机，跟随无人机协同作战，但这一设想遭到否决。因为直升机升限低、机动性差，在作战行动中无异于“活靶子”。俄罗斯提出两种方案，方案一是改装伊尔-76MD-90A大型军用运输机，用于大中型察打一体无人机及无人战斗攻击机的指挥控制，同时承担空中作战、远程空地精确打击、战略侦察监视等任务。方案二是改装米-38中型运输直升机，负责中小型无人机的指挥控制，主要面向低空、超低空的空地作战。这些方案的有效性有待验证。



美军“小精灵”项目使用的X-61A无人机。

难关有待打通

目前来看，无人机蜂群作战需要打通三道难关，才能完成作战任务。

第一关，建立“控制中枢”。以母机作为“蜂窝”，投放一定规模数量的无人机蜂群，进行编队飞行。母机的集成控制中枢要将控制指令实时、并行地传输给多架无人机，指挥无人机群完成作战任务，对目标实施精确打击。目前，这一技术仍面临难题。例如，能够大规模承载无人机的平台屈指可数，一架母机可携带的无人机数量有限，而无人机数量过多，则无法对敌方进行有效打击。

第二关，打通“关键链路”。在瞬息万变的战场态势下，无人机与控制中枢能否做到紧密联通尤为重要。要完成作战控制，

必须及时准确地获取有效目标信息，并通过数据链路传输到无人机上，令其作出及时应对。想要实时获取信息，并通过控制中枢传输到每一架无人机上，需要数据链路具有较稳定的稳定性和抗干扰能力。

第三关，实现“实时共享”。让蜂群中每架无人机更快、更全面地掌握战场态势，相当于拥有更多的“耳目”，有利于在战场上抢占先机。然而，在作战过程中，无人机绝大多数时间在进行快速移动，通信系统整体上处于实时动态、反复打破再重组的状态，通信质量也会受到影响。同时，无人机之间的频繁通信容易导致信息数据过载，超出系统处理极限，导致重要信息无法及时传达乃至贻误战机。

据《中国国防报》



俄罗斯计划改装米-38中型运输直升机，作为无人机蜂群的指挥控制平台。