低成本无人装备大规模投入实战应用——

“小摩托”如何改变冲突样貌

■张 羽 于 斌

近年来的地区冲突中，一种采用三角翼布局、小型活塞发动机、低空慢速飞行的自杀式无人机受到广泛关注，因飞行噪声类似摩托车的低沉轰鸣，很快被赋予“小摩托”的称号。这款由伊朗研制并出口、曾被视作“低技术玩具”的无人平台，近年来以超乎预期的速度扩散并得到大规模运用，揭示了智能化战争条件下低成本无人装备运用的内在逻辑，为考察未来作战体系提供了现实参考。



①



②



③

图①：以色列“哈比”无人机。
图②：美军LUCAS无人机。
图③：伊朗“沙赫德”-136无人机。

简配中诞生

“小摩托”并非伊朗原创，而是在技术封锁条件下，伊朗面对超越自身技术水平的装备，立足需要简化开发的一款低成本无人装备。

20世纪80年代，以色列研制出“哈比”反辐射无人机。该型号总体沿循高端技术路线开发，采用被动雷达导引，在多次实战中有效执行雷达压制任务，但由于技术复杂、单机成本高，难以作为消耗型装备投入作战。

在与以色列的冲突中，伊朗获得“哈比”无人机后很快启动本土化改造。在制造技术和零件供应链与以色列差距明显的情况下，伊朗军工体系将这款高端反辐射无人机的功能配置与制造要求极度简化：采用三角翼布局与复合材料机体，以小功率活塞发动机为动力，使用商用卫星导航与惯性导航设备；发射后不回收，不用复杂的末端识别装置，只追求较远航程、有效毁伤和低成本，“沙赫德”-136无人机由此诞生。此后，该型无人机在多场地区冲突中被投入使用。

实战中立威

近年来的多场地区冲突中，“小摩托”实现由试验性使用向主要装备的转变。俄罗斯最早意识到这种低成本作战平台的价值，并迅速形成相应作战方式：采取低空、夜间和分批出动战术，打击自行火炮、弹药库、变电站、港口等中低威胁目标；与巡航导弹混合编组，先由“小摩托”引诱防空火力，消耗拦截弹药，再以精确制导弹药实施后续打击，形成“低成本弹药开路、高价值导弹跟进”的复合打击方式。据外界估算，“沙赫德”-136单机造价约2万至5万美元，而防空系统拦截弹的单枚成本达数百万美元，即使拦截成功率较高，防御方在经济上也会付出巨大代价。地区冲突中，冲突一方使用“小摩托”对对方能源基础设施实施突击，迫使对方运用“机动火力小组+高炮”实施拦截，并持续优化预警链路。“小摩托”的运用，推动了攻防两端战法战术同步演进。

大规模运用的背后是“小摩托”的产能满足了战场大规模消耗的现实需求。据外媒评估，俄乌冲突一方已实现“小摩托”本土化产品的规模化量产。而另一方为对抗袭击压力，也推出大规模无人机增产计划，形成年产数百万架的分布式产能。中东战场同样如此。胡塞武装依托零件输入和本地组装迅速形成一定产能，用于支撑持续袭扰沙特油气设施与红海航线，迫使美军在护航和打击行动中消耗掉大量防空武器储备。

对抗中进化

在冲突环境下，参战各方根据自身作战需要对“小摩托”等低成本无人装备持续改进，智能化制导、抗干扰与协同组网成为共同迭代方向。

第一代“小摩托”主要依托预设航点与民用导航设备对固定目标实施打击，本质上是一颗“会飞的炮弹”；第二代加装了多模导航模块、低空航线规划模块和抗干扰天线，抗毁伤与抗干扰能力明显增强；第三代引入光电辅助、惯性导航模块，进一步提升突防性能。同时，俄罗斯“柳叶刀”巡飞弹实现侦察、引导与自毁式打击一体化运用，可与“小摩托”构成“侦察—打击”闭环。美欧同步开展与“小摩托”开发理念相似的“弹簧刀”系列巡飞弹的研制。此外，俄军还尝试将“小摩托”用于诱饵与侦察节点，为远程火力提供目标指示。对手则研发人工智能辅助目标识别软件，将其“发现—打击”链条压缩至秒级。

更具实质性的演进发生在人工智能介入后。俄罗斯V2U型无人机搭载神经网络模块，能够自主识别目标且不依赖卫星导航，多机还可通过视觉识别保持编队，初步具备蜂群协同能力。美军LUCAS无人机对“沙赫德”-136进行逆向工程与仿制，验证了“低成本平台+智能化载荷”的研发路径。智能化并未显著提升装备成本，反而使其智能化程度明显提升，这正是以“小摩托”为代表的低成本无人装备作战价值跃升的关键。

消耗中制胜

“小摩托”在智能化战争中的大规模运用并非偶然，而是源于四个层面的改变。

一是效费比重构。由于采用成熟的民用供应链提供零部件，“小摩托”的单机成本不足巡航导弹的百分之一，单次打击成本从过去百万美元级别降至数万美元级别。这种成本优势一旦与产能结合，即刻转化为可持续的消耗能力。更重要的是，此类装备对生产线要求较低。普通汽车电子制造厂、玩具电机制造厂经过一定改造即可转产，战时产能扩张速度远超传统武器系统。

二是拦截成本困境。现有防空系统主要拦截导弹、飞机等高价值目标，用于拦截数万美元一架的“小摩托”，会陷入高成本困境。另外，“小摩托”等低速小目标的飞行高度低，雷达特征微弱，易与地表杂波混叠，进一步降低了探测与稳定跟踪概率。这种情况最终迫使防御方需在“拦得住”与“拦得起”之间艰难取舍。

三是饱和攻击决策效应。数十至上百架低速小目标同时临空，即使多数被拦截，仍有少量能够突入。持续批量投放会制造出“打不完、防不住”的心理压力，干扰整个防空体系的决策节奏，削弱防御方的作战意志。这种效应在消耗战中尤为明显，攻击方利用低速小目标充当消耗性诱饵，将防御方的有限资源逐步消耗殆尽，最终使对抗从“技术竞赛”滑向“资源竞赛”。

四是智能化放大规模效应。人工智能使低成本平台具备目标识别与自主打击能力，也使“小摩托”从“消耗品”升级为智能弹药，与导弹、电子战、远程火力形成配置关系——无人机消耗防空资源、导弹突入防御空隙，体系作战效能倍增。以上四方面相互强化，决定了“小摩托”在大规模持久对抗中具有天然生存优势。

博弈中重塑

未来，“小摩托”等低成本无人装备将沿着三个方向发展：智能化程度持续提升，视觉匹配、地形辅助导航与蜂群协同将显著降低对卫星通信链路的依赖；平台形态持续分化，巡飞弹、FPV、高速喷气无人机以及无人艇、无人战车呈现跨界融合趋势；对抗手段同步升级，低成本拦截弹、激光、高功率微波以及“反无人机无人机”将成为防空体系标准配置。反制与运用将进入“矛与盾”循环竞速，攻防博弈持续重塑战场形态，无人机的“数量—质量”平衡将进一步向“分布式智能”倾斜。“小摩托”与无人艇、无人战车、巡飞弹将构成低成本的“无人打击家族”，在拒止环境中实施持续消耗与节点瘫痪。

“小摩托”现象至少提供四点启示。其一，重视“可消耗平台”品类建设，高端装备用于重点突破，低成本平台用于大规模消耗与持续压制，二者不可偏废。其二，防空作战必须准确核算效费比，防止“大炮打蚊子、导弹拦小车”。其三，抗干扰能力是低成本平台的生存底线，惯性导航、地形匹配、视觉辅助等自主导航技术必须前置设计。其四，工业动员能力影响战斗力，能够将民用供应链纳入作战体系的一方，将在消耗战中赢得主动。可以预见，未来率先建立低成本无人装备“研发—生产—运用—迭代”闭环的一方，将掌握下一场战争的重要筹码。

前沿技术

微型电网系统为无人机提供后勤保障



手抛式无人机发射。

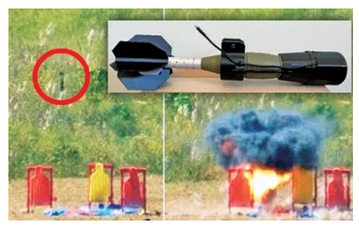
据外媒报道，美国三家公司正联合研发微型电网系统，用于支持前线无人机持续作战，降低战场后勤补给压力。

战场上，无人机作战面临电池补给、发射回收和供电制约。美军希望研发一套摆脱常规补给方式、可自主运行的无人机保障体系。

微型电网系统将自给式移动能源、无人机自动作业与蜂群控制能力整合为一体化机动平台。移动能源依靠太阳能供电、固态电池储电，支持远程监控。机器人系统可自主完成无人机发射、回收、充电作业，可固定部署，也可在车辆、船舶上部署，行进间作业。小型无人机承担情报监视侦察、通信中继等任务，支持单机作业或蜂群协同，并由单人操作员遥控管控。

该系统可独立部署，也可多套互联组成移动微型电网，为无人机等前沿中小型装备供电，依靠自发电、自动化循环作业，支持全天候不间断任务。

改装套件将迫击炮弹变为空投弹药



经改装后的空投弹药，以及无人机投掷弹药和试验场景。

据外媒报道，美国陆军公布一种改装套件，可让前线士兵将60/81毫米迫击炮炮弹迅速改装为适配小型无人机的空投弹药。

近年来，无人机空投弹药应用日益广泛。美军库存的迫击炮炮弹数量庞大，但射程短，不足以覆盖前沿分散目标。

这一改装套件提供了一种将常规60/81毫米迫击炮炮弹进行空投改装的标准化手段。通过为炮弹加装尾翼与空投起爆链路，确保其投放后能定向起爆。改装不损伤弹体，如果任务取消或弹药未投放，拆除套件即可恢复炮弹原有状态，并由迫击炮正常发射。

美陆军军械中心引信与迫击炮部门认为，改装库存炮弹比专门采购无人机空投弹药更为经济划算。美陆军已完成改装弹药的空投测试，验证了起爆与安全设计，但其野战适用性、实战效能尚未验证。

“空中掩护”系统为地面提供伴随掩护



“空中掩护”系统渲染图。

据外媒近日报道，美国一家科技公司推出“空中掩护”自主飞行伪装系统，可为军用车辆、装备和人员提供伴随掩护，躲避光电/红外与雷达侦察。

俄乌冲突凸显了侦察无人机的威胁。侦察无人机可快速回传图像坐标，引导炮兵或无人机打击目标，炮兵阵地、指挥车、弹药补给点的暴露风险随之上升。目前使用的掩护装置在架设、撤收时需要人员暴露作业，转移过程中同样面临被打击风险。

“空中掩护”系统针对这些痛点设计。它由四角升力单元悬吊，可自主展开并保持张力，多光谱伪装膜由软件控制相对位置，最大覆盖面积100平方米，升空高度10米，持续作业时长4小时。该系统具备两种工作模式：隐身模式提供防护，诱饵模式可诱骗敌方侦察平台。

目前该系统尚处于研发阶段，有效性有待验证。

（宁国强）



左图中，一架停放在机库中的F/A-18“大黄蜂”战斗机，机身几乎被白色泡沫淹没，仅剩下垂尾和竖起的座舱盖露在外面，仿佛是在“泡澡”，整个机库也变成了巨大的浴缸。这不是恶搞，而是机库消防系统被触发后的真实情景。

飞机停放在机库中进行维护、修理或存储时，通常不会加油，但油箱内可能残存一定量的燃料，为维护和修理工作增添了火灾风险。照片中的白色泡沫，就是机库内安装的高倍泡沫发生器被触发后喷出的消防泡沫。作为机库消防系统的一部分，一旦发生火灾，机库天花板上的高倍泡沫发生器喷出的泡沫要在3分钟内覆盖战机90%的轮廓，4分钟内泡沫深度超过1米。厚厚的消防泡沫将起火区域包裹起来，切断氧气供应，迅速压制明火。

与普通灭火装置相比，泡沫灭火系统的优势主要体现在控火效率上。高倍泡沫膨胀比极高，能在极短时间内淹没机库，排走空气，阻止火势蔓延。泡沫本身还自带冷却效果，可降低复燃概率。需要说明的是，这种“淹没”效果以机库保持封闭为前提。机库门一旦敞开，泡沫逸出，淹没效果就难以维持了。

然而，泡沫并非“无害”。泡沫中的化学成分可能损坏战机的精密电子设备。在一桩实际案例中，美军机库消防系统被误触发后，多架“阿帕奇”直升机被消防泡沫覆盖。美军因担心泡沫中的化学成分对精密电子设备的腐蚀，不得不对所有受影响的直升机进行彻底清理、检查和更换部件，相关费用高达上千万美元。

既然清理如此麻烦，为什么不能直接换掉这套泡沫系统？事实是，对于封闭机库这种特定环境来说，高倍泡沫是综合控火效率较高的一种方案。它不是万能的消防手段，而是针对机库燃油起火的专项应急手段。其优先目标是快速锁死火情、防止连环爆燃。也就是说，宁可事后费劲清理，也不能因一架战机起火烧掉整个机库的战机。

图文兵戈

社址：北京市西城区阜外大街34号 邮政编码：100832 发行电话：(010)68525572 每周一、二、三、四、五出版 全年定价150元 零售每份0.57元 承印单位：解放军报社印刷厂（地址同社址）