热点兵器

去今两年，包括MQ-9“死神”无人机在内的数十架中空长航时无人机，在世界多地战场上先后“折戟”，让不少人发出其“尚能饭否”的疑问。

与此同时，多国也在持续加码这类无人机的研发与部署。去年11月，美军升级后的MQ-9B无人机完成首次反潜巡逻测试；今年4月，韩国自研的KUS-FS中空长航时无人机首架量产机正式下线；此前不久，欧洲制造的首架中空长航时无人机进入原型机生产阶段。

那么，中空长航时无人机真的过时了吗？为何多国逆势加码投入？其未来发展将面临什么样的境况？请看本期解读。

中空长航时无人机过时了吗？

■赵 薇 胡永江 杨 森

相关机型频频折翼

中空长航时无人机通常指作战高度3至10千米、续航力不低于24小时、具备较大载荷能力的无人机系统，主要承担侦察监视、通信中继和精确打击任务。21世纪初，MQ-1“捕食者”、MQ-9“死神”等机型凭借战场上的表现声名鹊起，一度被视为现代战争不可或缺的“长空之眼”。

然而，近年来中空长航时无人机的这种地位作用正在被撼动。在中东战场，2025年3至4月，就有至少7架MQ-9“死神”无人机被击落，美以伊战事升级后，截至今年4月，该机型累计战损已达24架。在俄乌战场，MQ-1C“灰鹰”无人机首次投入作战便遭击落，“猎户座”无人机在2025年9月的两天内折损至少2架，“旗手”TB-2无人机仅视频确认的损失就达26架。在非洲，自2025年下半年以来，数架“游骑兵”无人机在战场上被击落，而在伊拉克，该型机同样多次被导弹命中出现战损。一连串的数据表明，传统中空长航时无人机在现代战场环境中正变得越来越“脆弱”。

中空长航时无人机的这种密集“折翼”并非偶然。从平台自身来看，为追求长航时，这类无人机普遍采用大展弦比固定翼布局，飞行速度慢、机动性差。MQ-9“死神”无人机的巡航速度仅约300千米/小时，一旦被防空导弹锁定便难以规避。其布局突出了无人机的雷达反射特征，发动机热辐射也容易被红外导引头捕获。为控制重量，它们的机身多采用轻质复合材料，缺乏必要的装甲防护与自卫系统。更明显的短板，是这类无人机高度依赖卫星通信与数据链，抗电子压制能力薄弱，遭遇干扰时易出现导航失准、通信中断甚至被诱骗迫降的情况。

战场环境的变化进一步放大了这方面的缺陷。过去，中空长航时无人机可凭借飞行高度优势，在防空体系薄弱的环境中从容地执行任务。如今，低成本、小型化防空武器快速普及，中空甚至高空不再是难以触及的安全区域。电子战手段的升级，更使其时刻面临信号被切断或被诱骗的风险。

传统中空长航时无人机的“折翼”，本质上是上一代产品与当前战场环境不适配的结果。其总体设计基于低威胁战场环境，当现代战场升级为高强度对抗，同样的设计即从优势渐渐变为短板，导致其沦为被“猎杀”的空中目标。

图①：“旗手”TB-2无人机；图②：MQ-1C“灰鹰”无人机；图③：欧洲无人机（模型）；图④：KUS-FS中空长航时无人机。

各国为何逆势投入

如果中空长航时无人机果真“过时”，那么各国势必会减少甚至停止对此类机型的投入。事实上恰恰相反，多国正持续推进新型号的研发，同时展开对原有的此类无人机的升级。

这种矛盾现象的出现，源于中空长航时无人机仍然具有战略价值，即“站得高、看得久、联得远”。它能避开大部分低空火力威胁，在3至10千米的中空区间持续盘旋，覆盖数万平方千米作战区域，精准识别和定位目标。它可对侦察区域长时间不间断地“全天候值守”，为指挥决策提供连续、准确的情报支撑。当卫星通信受限、地面通信中断时，有些中空长航时无人机还能充当数据中继节点联结分散的作战单元。这种多功能性，使各国当下不会淘汰这一机型，而会通过技术升级推动其迭代发展。

当前，各国对其投入经费主要用来提升以下几个方面的能力。

隐身化改进。有些新型号从气动布局优化、隐身材料应用等方面“多管齐下”，大幅提高无人机在复杂战场环境下的生存能力。如KUS-FS无人机采用无突起翼身融合设计，背负式进气道结构能遮挡发动机叶片，机身喷涂吸波涂层后，雷达反射截面积比MQ-9“死神”等机型更小。在Eurodrone Programme项目中问世的“欧洲无人机”选用V形尾翼与隐身化外形设计，80%以上的机身由复合材料构成，进气道和排气口均加装吸波结构，用以削弱相应特征。

升级感知与防御能力。传统中空长航时无人机普遍缺乏威胁告警与对抗手段，新型号通过构建防御体系持续提升其自卫能力。比如，KUS-FS无人机集成有电子战自卫系统，配备全向雷达接收机，一旦被锁定即可触发告警，自动释放箔条与红外干扰弹，还可实施大过载机动进行规避。“游骑兵”无人机等也进行了针对性改进，安装的电子支援吊舱能被动侦测敌方雷达信号并生成威胁图谱，为操作员提供实时预警，其搭载的制导弹药还具备拦截空中目标的能力。

提升抗干扰与自主能力。一些新型号采用抗干扰通信技术并加装导航备份，逐步走向自主运行。如“欧洲无人机”采用多冗余数据链设计，具备卫星通信、视距链路和空中中继3种通信方式，可根据战场电磁环境自动切换，避免链路中断导致任务失败。MQ-9B等中空长航时无人机则顺应战场需求，加装了GPS抗干扰天线，同时配备定向红外对抗系统，可主动干扰一些导弹的导引头，生存能力进一步提升。

未来战场上的重新定位

升级后的中空长航时无人机能否扭转生存困境，有待实战检验。但可以确定的是，这类无人机不会消失，而会通过转型，以更加务实高效的方式深度融入联合作战体系，成为其中重要一环。

部署重心向防区外转移。隐身与自卫能力的提升，并不意味着其一定要重返高强度对抗空域。今后，此类无人机大概率会在相对安全的区域包括防区外执行任务，最大化发挥平台长航时滞空优势。如美国海军陆战队的MQ-9A无人机集成了宽频谱电子侦察吊舱，可在对手防空火力外截获和收集信号情报。MQ-9B无人机则通过整合防区外精确打击武器，在确保完成打击任务的同时保障自身安全。

能力边界向非打击领域延伸。随着智能化、信息化技术的迭代升级，此类无人机的核心能力正向支援保障领域深度拓展。KUS-FS无人机专门强化了侦察监视与电子防御能力，可长时间捕捉战场动态、实时传输数据，为指挥决策提供情报支撑。MQ-4C“海神”无人机承担的是远海通信中继任务，部分改进型还搭载电子干扰载荷，能在一定程度上压制敌方雷达与通信系统，为己方力量开辟安全通道。

战场角色向体系化节点转变。未来战场，单平台作战的局限性愈发凸显，此类无人机的角色将由独立作战单元向体系关键节点转变。一些国家已经启动电子战机、有人战机与此类无人机的协同作战试验，让无人机为有人平台提供目标指引与数据中继。如MQ-9A无人机加装通信吊舱后，可通过网络扩展与数据分发功能，将各作战单元进行串联，通过一体化信息链路提高体系作战效能。已列装韩国空军侦察联队的KUS-FS无人机，将作为体系中的ISR节点，为其他作战单元提供信息支撑。

任务范围向海洋方向拓展。在遂行海洋态势感知、反潜巡逻等任务时，中空长航时无人机是弥补有人机规模不足的关键选项，今后或将成为支撑海上作战体系的重要力量。“欧洲无人机”在研发阶段便瞄准反潜作战和广域海上监视等长周期任务，自主飞行时间可达40小时。韩国KUS-FS无人机的规划，也明确聚焦海上巡逻任务，以实现对近海、远海的全方位覆盖，提升海域管控能力。这意味着，广袤海洋正成为中空长航时无人机新的主战场。

总之，中空长航时无人机的频频折翼，并不意味着它将退出历史舞台，而是会通过重新定位，以更贴合现代战场需求的姿态融入联合作战体系。未来，伴随着技术升级与实战锤炼，中空长航时无人机或将焕发出新生机，续写新传奇。

本版供图：阳 舟

新装备展台

美国安杜里尔工业公司的“铜斑蛇-500”无人潜航器。

从侦察探测平台到攻击性弹药 “铜斑蛇”的进化意味什么

■石毅初

今年4月，美国安杜里尔工业公司发布的一段海上测试视频引发外界关注。这次测试的对象是该公司研发的“铜斑蛇-500M”无人潜航器。测试中，该型无人潜航器在复杂海域环境中展现出较强的续航、机动能力以及较高的行动自主性。

与“铜斑蛇-500”无人潜航器相比，带有“M”后缀的“铜斑蛇-500M”有所不同。前者是水中侦察探测平台，后者则是同源设计的攻击性弹药。该公司研发的“铜斑蛇-100”与“铜斑蛇-100M”，两者之间的差别与此类似。作为“小一号”的同系列产品，“铜斑蛇-100”与“铜斑蛇-100M”的价格相对较低，更有利于大批量生产、规模化列装部署。

“铜斑蛇”系列无人潜航器原来的定位，是实施海底侦察、环境监测的自主水下平台。如今在该平台基础上改造推出的“铜斑蛇-100M”和“铜斑蛇-500M”，则“摇身一变”为水下攻击性弹药。客观来说，这种进化不仅仅是一次功能拓展，而是很可能预示着，无人潜航器将正式成为重要的水下打击火力。

“铜斑蛇”系列无人潜航器的核心突破，不在于其性能的提升，而在于应用理念的颠覆性革新。它能够兼容多平台、多场景灵活投放，某种意义上是对传统水下作战模式的一种重构。尤其是“大型无人潜航器+‘铜斑蛇-500M’”的组合，将使后者在一定条件下，发挥出相当于传统重型鱼雷的毁伤能力。换句话说，无人潜航器已能在更多方面代替有人潜艇遂行一些重要任务。

这种能力的增长，源于科技尤其是人工智能技术的发展。有人潜艇搜索目标、鱼雷命中目标，离不开外部信息的支撑及信号的稳定性，但水下环境的特殊性，使信息的快速获取与传输变得十分困难。人工智能的引入，在一定程度上解决了相关问题。以“铜斑蛇-500M”为例，其内部核心控制系统采用安杜里尔工业公司自研的Lattice人工智能平台，这个平台能够依托自身计算能力本地实时处理多源传感器数据，自主完成目标的探测、识别及对航路的规划，在预设的交战规则、任务边界内，自主锁定并打击目标。

一般来说，传统的鱼雷缺乏与其他平台实时互通数据的能力，但无人潜航器在这方面具有优势。“铜斑蛇”系列从侦察探测平台到攻击性弹药的这种“进化”，正是安杜里尔工业公司体系化思维的结果。其目的是打造可协同作战的水下无人作战力量，通过共享目标数据，实现数十甚至上百个此类平台的自主协同作战，完成区域封控、立体饱和攻击等复杂任务。同时，该公司还企图赋予它与陆上无人作战系统、空中无人机集群跨域协同的能力。

“铜斑蛇”无人潜航器虽具备一些先进性，但也存在不少缺点，如能源供应主要依赖电池，续航能力有限；主要通过声学或光学混合通信技术进行数据传输和指令接收，水下复杂环境中易受干扰；作为低成本设计的无人平台，其结构强度和防护水平相对有限等。

然而瑕不掩瑜，从某种程度上来说，不断进化的“铜斑蛇”，顺应了全球无人化、分布式作战的发展潮流，也给各国海军装备的发展提供了新的方向与选项。可以预见，如果今后各国纷纷研发并列装此类水下无人作战力量，不仅会改变海战的攻防逻辑，甚至可能重塑全球海洋安全格局。

兵器扫描

浅说手枪弹发展史

■刘建元 赵振升

人们印象中的手枪弹通常由4部分组成——弹头、弹壳、发射药和底火。换句话说，它是由弹壳牵连起弹头、发射药和底火的完整单元。

但最早的“手枪弹”，却是另一番模样。15世纪初期，明朝战场上出现了一种小型铜制火铳——手铳。使用时，射手先从铳口填入火药、药线，然后灌装一些铁丸。点燃药线，便可发射铁丸攻击敌人。如果说手铳是手枪的鼻祖，那么，手铳内装填的铁丸便是手枪弹的雏形。之后世界各国陆续研发的火门手枪、火绳手枪、燧发手枪，大体上采取的也都是这种构型。

1836年，法国人卡西米尔·勒福舍发明了一种带铜质弹壳的整体式子弹——针刺式子弹，同时还研发了可发射该弹的左轮手枪。该弹弹壳底部外侧有一个外置击针，针的一端触及弹壳内的火药。通过枪械击锤敲击击针，点燃火药即可发射弹丸。

19世纪中期是枪械由前装弹药向后装弹药过渡的时期。当时金属弹壳还未普及，为了实现连续装填射击的功能，设计人员研制出一种称作“火箭球”的早期手枪弹，弹头截面呈中空锥形，发射药填装在弹头尾部空腔内，再装上底火。击发后，底火点燃空腔内的装填药，火药气体产生的压力将弹头射出。

真正意义上的定装手枪弹诞生于19世纪后期，当时被称作中央底火弹。这种设计一直沿用至今。但是，当时的子弹装填药主要为黑火药，威力、可靠性都不足。

19世纪末，无烟火药的出现给手枪弹带来革命性改变。其中，较为有名的是博查特C-93半自动手枪配备的7.65毫米博查特手枪弹，率先使用无底缘弹壳和无烟火药。在子弹构型方面，设计师参考了德国毛瑟圆头步枪弹的构造，研制出早期自动手枪弹。此举赋予了手枪弹的另一个特征——采用步枪弹的瓶型弹壳。这种手枪弹最终由德国洛伦茨金属制造厂定型投产，用博查特C-93手枪发射时初速约为385米/秒，弹道性能、杀伤威力、精准度显著优于同期的黑火药转轮手枪弹。

20世纪初至中期，圆弹头手枪弹成为主流。这是因为这种构型的弹头拥有良好的空气动力学特征，空中飞行更稳定、弹道更笔直，有利于精准命中，能取得较好的弹道性能、穿深威力、毁伤效能。

这一过程中，尖弹头的手枪弹也在发展。比如，20世纪初的部分警用或特种手枪弹，就采用了尖弹头，以提升近距离射击的精度等。随着手枪弹初速提高，科研人员开始从弹头尾部形状入手，研究弹道空气动力学以及弹道末端伤害。20世纪中后期，部分高性能手枪弹开始采用“船尾型”设计，即将弹头尾部设计成梯形，这样可以减少乱流，降低风阻，增加子弹飞行的稳定性，尤其是在弹道末端还能保证一定的弹道稳定性。

从手枪弹的发展来看，尖弹头和“船尾型”设计虽然有所应用，但传统圆头手枪弹凭借自身综合性能优势，生命力更强，至今仍在各型手枪中普遍使用。

博查特C-93半自动手枪及其配备的7.65毫米博查特手枪弹。