兵器广角

据外媒报道，前不久，美国安杜里尔公司“梭鱼”巡航导弹通过武器开放系统架构（WOSA）独立验证，成为首个完成MOA-TEL独立验证并进入大规模生产阶段的开放架构武器系统。作为首款通过独立验证并进入量产阶段的开放架构弹药，“梭鱼”的动向引发外界关注。

过去，衡量一型导弹是否先进，主要看射程、精度和毁伤能力。如今，又多了一项听起来有点“跨界”的标准——弹药能否实现快速升级。从硬件改造到软件迭代，弹药设计理念正在发生深刻变化。

可升级弹药究竟是一种什么样的武器？为何受到各方重视？它经历了怎样的历程？未来又将朝哪个方向演进？请看本期解读。

从“一次定型”走向“持续迭代”——

“可升级”成为多国弹药设计新指标

■李子博 谢宗霖 邱 林

时势所迫，可选项变成必答题

所谓可升级弹药，是指弹药列装服役后，仍可通过更换模块、更新软件等方式持续提升性能，无须整弹返厂大改，也不必提前退役。

这在过去难以想象。传统弹药的升级，往往是一件“伤筋动骨”的事。

以“战斧”巡航导弹为例。该型导弹1983年列装，每一次升级都如同做一个“大手术”——更换制导系统、更新任务规划软件、改装战斗部，每改一次都要重新进行全弹测试。从Block I到2004年服役的Block IV“战术战斧”，前后跨越了20多年。即便是2021年开始交付的Block V，也并非全新生产，而是从Block IV库存中逐枚挑选、返厂翻新——更换到期部件、升级导航通信系统，使其服役寿命延长约15年。

这种“一次定型、终身使用”的模式之所以长期走得通，原因不难理解：技术迭代缓慢，一枚导弹服役二三十年，其间无须大改；弹药是消耗品，打完即止，也不存在“弹还在库里，技术已过时”的矛盾。

然而，这一模式如今正面临越来越大的挑战。各国也纷纷将可升级弹药的研发提上日程。欧洲导弹集团推出“十字弩”（CROSSBOW）模块化巡航导弹，这款采用军用和商用现货组件及标准化接口的导弹已完成首次试射；以色列“巴拉克”MX防空系统以开放架构实现传感器、发射器和拦截弹的灵活组合；俄罗斯“口径”系列也持续扩展模块化家族。

各国动态看似各有侧重，实则指向同一个方向——让弹药在服役期内具备持续升级能力，而不是“一出厂就定型”。

那么，究竟是什么力量在推动这一转变？

变化首先来自技术迭代周期的大幅压缩。传感器、数据链、人工智能算法的更新周期，已从过去的十几年缩短到两三年。导弹尚未出库，其导引头技术可能已经趋于落后。

库存规模膨胀，也从成本上加大了升级压力。数千枚导弹列装后，若技术迅速变化，全部返厂改造，无论成本还是更新周期都难以承受。

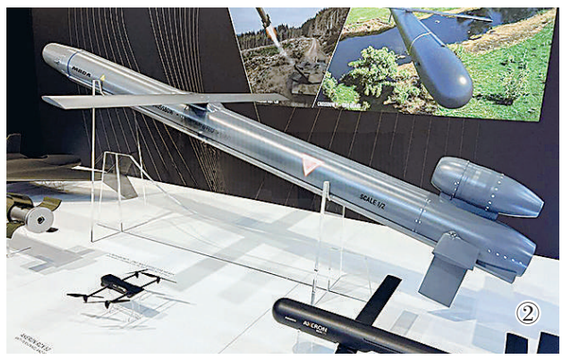
与此同时，战场环境变化加快，从需求上提出了更迫切的要求。防空体系、电子对抗手段、目标特性都在快速演变，发射后不再更新的武器，越来越难以应对新威胁。

时势所迫，弹药“可升级”从可选项变成了必答题。

多路探索，变革路径日益清晰

可升级弹药并非简单更换零件，其本质上是一场弹药设计理念的变革。当前，各国围绕这一方向的探索大致沿三条路径展开，但彼此之间并非泾渭分明，而是互有交叉和融合。







图①：美国“梭鱼”巡航导弹；图②：欧洲导弹集团“十字弩”模块化巡航导弹模型；图③：以色列“黛利拉”巡飞弹概念图。 李子博供图

最直观的一条，是硬件升级模块化。其核心是通过统一接口和技术标准实现部件的“即插即用”——传统导弹各部件高度耦合，升级某一系统往往牵动全弹；开放架构的导弹则近似模块化组装平台，各子系统按标准接口接入，升级哪个模块，更换对应部件即可。

“梭鱼”巡航导弹此次通过的测试持续4天，覆盖任务自主、导引头、惯性测量单元、GPS、大气数据传感器、推进、弹体控制、目标状态估计、高度表辅助导航、时钟、自动驾驶仪、制导、导航以及弹药数据总线等多个领域。测试重点不是看导弹飞多远，而是验证不同模块能否按标准接口运行和替换。换言之，将来数据链、导航组件或导引头需要更新时，可以直接更换模块，不必围绕新设备重新设计整枚导弹。

这条路线并非美方独有。欧洲导弹集团的“十字弩”模块化巡航导弹同样采用模块化设计，大量使用军用和商用现货组件，可在生存性、射程、杀伤力、导航等方面实现螺旋升级，且可由标准20英尺ISO规格集装箱或车辆平台搭载发射。其通用防空模块化导弹（CAMM）系列也强调“即插即用”，同一型导弹兼顾陆基和海基，发射器、雷达和指挥系统可灵活组合。以色列“巴拉克”MX防空系统则走得更远——整个系统采用开放、模块化、软件定义架构，传感器、作战管理系统、发射器和拦截弹连为一体，不同火力单元还能共享传感器和拦截资源。

当然，模块化也有代价。接口要标准化，就得在性能上作出妥协——某些极端优化的专用设计，可能因不符合通用接口标准而被放弃。

另一条思路，则把升级重心从硬件转向了软件，依靠更新任务软件、制导算法来提升导弹性能。以色列“黛利拉”巡飞弹是典型代表——它发射后不会直接锁定目标，而是通过双向数据链在飞行中重新选择目标，甚至能在目标区域上空待机盘旋。从打固定目标到打移动目标，从按预定航线飞行到人在回路实时操控，靠的是软件和传感器迭代，而不是重新造弹。

“战斧”Block IV和Block V也具备飞行中重新接收目标信息的能力，通过双向卫星数据链，导弹可在待机过程中调整打击目标或转向新的坐标。随着软件在弹药成本中的占比越来越高，一些新型巡飞弹已可通过地面站推送算法更新，让同一型弹药在不同时期具备不同的目标识别能力。从这个角度看，弹药正在从“硬件产品”变成“硬件加软件”的复合系统。

但软件升级同样有软肋。开放接口和数据链带来便利的同时，也扩大了网络安全攻击面。数据总线一旦被入侵、软件被篡改，后果不堪设想。“开放”与“安全”如何平衡，至今没有标准答案。

如果说前两条路线着眼于单枚弹药的升级，那么第三条路线，则把视野扩展到了整个弹药家族。

家族通用平台追求的是“一弹多型”——不追求单枚导弹可升级，而是整个弹药家族共用一套发射标准和平台接口。俄罗斯“口径”系列导弹全家族兼容3S-14垂直发射系统，同一套发射单元既能装载对陆攻击型导弹，也可装载反舰型导弹，并且将来还可兼容新型号。通过差异化配置战斗部和制导模块，该系列导弹已衍生出反舰、对陆、反潜等多个型号。

欧洲“斯卡尔普”巡航导弹的Mk2升级走的也是类似路线。在经过中期延寿的Mk1基础上增量改进，升级GPS抗干扰模块，规划集成“伽利略”导航系统，增加双向数据链，换装新一代红外成像导引头，全程保持与现有库存兼容。老弹能够升级新标准，新弹出厂即是新标准。

这几种思路各有侧重，采取的路径也不尽相同，却共同指向同一个判断——面对日益加快的战场变化，与其让弹药定型后被动等待升级，不如在设计之初就为升级留出空间。这一观念上的转变，或许比任何一项具体技术都更具深远影响。

前景广阔，挑战同样不容忽视

作为弹药发展到一定阶段的产物，可升级弹药在需求牵引和技术推动下，正以“持续迭代”为重要特征加速向前发展。

这一趋势，最直观地体现在升级重心的转移上。未来弹药升级将越来越少依赖更换硬件，更多依靠算法迭代。人工智能技术的引入，将使导弹具备自主识别威胁、动态调整任务规划的能力。现阶段不少弹药的制导仍依赖预编程序和数据库比对，面对从未出现过的新威胁往往难以应对。引入智能算法后，导弹可在飞行中具备一定的在线自适应和对抗能力，相当于给弹药装上了“会思考的大脑”。

弹药升级的边界也在逐步扩展。模块化设计为弹药集群化奠定了基础。携带不同功能模块的弹药可编组行动——有的模拟突击编队，有的充当电子压制节点，有的执行精确打击，通过高速数据链组网协同。美国“金帐汗国”项目曾验证这一方向，F-16战机曾投放经改装的协同小直径炸弹，以测试弹药在飞行中自主组网、协同决策的可行性。不过，集群组网虽前景广阔，但数据链稳定性和抗干扰能力至今仍是各国尚未完全攻克的难题。

更深层的变化，是弹药在作战体系中的定位发生改变。随着体系化融合推进，未来可升级弹药不再是孤立作战单元，而是深度嵌入联合作战体系的关键节点。通过打通情报、指挥、火力链路，弹药可根据实时态势动态调整任务规划，与战机、舰艇、卫星形成紧密协同。

前景广阔，挑战同样不容忽视。通过架构验证不等于通过战场检验——开放架构验证主要解决接口兼容问题，导弹飞多远、打多准、能否抗干扰，这些硬指标还得靠实弹打、靠实战验。此外，弹药能够进行升级后，库存中会同时存在不同批次、不同版本、不同软件配置的导弹，哪枚弹装了哪型导引头、软件更新到哪个版本，补给、维护、发射前检查都要随之调整，整个弹药管理体系将面临重构。

纵观弹药进化史，从“整弹大改”到“换件升级”，从“硬件定型”到“软件定义”，从“一次性消耗品”到“可迭代平台”——每一次设计理念的跃升，都在回答同一个问题：如何让武器在快速变化的战场上始终不掉队。随着开放架构不断成熟，这个问题的答案，将越来越明晰。

兵器动态

“巴尔斯”远程拦截无人机——

“以机打机”能否破解反无人机作战难题

■杨麒冉

10月4日，乌克兰与德国两国正式敲定2000架“巴尔斯”远程拦截无人机的生产合作。此举意味着“以机打机”的反无人机作战路径，正在加快走向规模化、远程化的实战应用。

当今世界局部冲突战场，低空小型无人机带来的非对称压力不断凸显，传统防空体系的应对短板暴露得越来越充分。用造价高昂的防空导弹拦截低成本小型无人机，不光经济上难以为继，有限的火力通道也跟不上蜂群式进攻的节奏。

战场需求推着装备快速迭代，乌德双方此次选定马达西奇公司研发的“巴尔斯”喷气式无人机作为改装基底，主要基于该平台本身技术成熟、供应链相对完整，改拦截型不用推倒重来，核心改装主要集中在制导模块和火控逻辑，列装周期能大幅压缩。

和传统反无人机手段相比，这种“以机打机”的模式之所以可行，核心是踩中了当前防空作战的几个关键痛点。首先是成本账，拦截无人机的单价比传统防空导弹低得多，经得起高强度战场消耗；再就是速度快，喷气式动力的飞行速度能跟上多数中高速固定翼无人机，解决了过去小型多旋翼拦截机“追不上、够不着”的老问题；更重要的是产能有保障，成熟的平台改型不用从零搭建生产线，能够快速扩产，用规模优势补上传统防空网的覆盖缺口。

但这个模式也并非没有短板，“巴尔斯”的实战效能依然要面对不少现实考验。它的作战高度依赖外部预警雷达提供目标指引，一旦前端感知链路被切断，拦截效率会大打折扣。除此之外，这款无人机原本是针对地面固定目标设计的，面对空中高速机动目标的拦截精度、复杂电磁环境下的抗干扰能力，都还需要更多实战数据验证；面对大规模无人机蜂群时，单架次拦截效率有限，成本优势也会随之被稀释。而跨国供应链的协同难度、产能爬坡的压力，同样是摆在2000架交付目标前的现实问题。研发团队负责人坦言：“现在制约产量提升的主要瓶颈已经不是机身本身，而是涡喷发动机的供货情况，交付周期直接限制了产能扩张的速度。”

从地面电子干扰、火力拦截到空中平台主动反制，反无人机作战的技术路径一直在不断拓展。“巴尔斯”远程拦截无人机的出现，也给全球反无人机技术路线的探索提供了一个不一样的样本。它后续的产能爬坡进度、实战表现，以及会在多大程度上推动反无人机作战样式的演变，都值得持续观察。

兵器控

品味有故事的兵器

■本期观察：李彦霖 郭凯文

导弹，历来是衡量军队打击能力的重要标志。如今，从高超声速突防到大气层外拦截，从一弹多能到体系协同，导弹攻防正进入新阶段。本期“兵器控”，聚焦3型各具特色的导弹。

极速突防

“锆石”高超声速巡航导弹



面对越来越密的防空反导网，飞得慢，就意味着被拦截。俄罗斯“锆石”交出的答案，是把速度做到极致。

今年以来，已多次传出“锆石”投入实战的消息。该弹由俄罗斯机械制造科研生产联合体研制，2023年列装俄海军，是全球首款批量列装的海基高超声速巡航导弹。它采用超燃冲压发动机，最大速度可达8至9马赫，射程约1000公里，可打击航母等大型水面舰艇，也能攻击陆上高价值目标。

高速，叠加末端机动变轨，把对手的发现、跟踪和反应窗口压缩到极限。但高超声速飞行对材料、动力与制导提出了极高要求，导致其研发与使用门槛均居高不下。

一弹多能

“标准”-6多用途导弹



同样是防空导弹，美国“标准”-6多用途导弹走的却是另一条路——一枚导弹，身兼数职。

它由雷神公司在“标准”-2 Block Ⅳ弹体上，融合AIM-120空空导弹的主动雷达导引头研制，2013年列装美国海军，主要装备搭载“宙斯盾”系统的“阿利·伯克”级驱逐舰。

最大速度3.5马赫，最大射程370公里，既能远程防空，又能末端反导、反舰，甚至对陆打击。2025年“护身军刀”演习中，美军就用陆基“提丰”系统发射“标准”-6，击沉了海上靶标。

不过，“全能”也有代价。高昂的单价，加上仅64公斤的战斗部，让其多用途能力在实战中需要仔细掂量。

太空点杀

“箭”-3反导拦截弹



如果说前两者偏重进攻，以色列“箭”-3则是专职“拦截”。

“箭”-3由以色列航空航天工业公司与美国波音公司联合研制，以动能撞击方式，在大气层外约100公里的高空直接撞毁来袭弹道导弹，有效拦截斜距约为250公里，飞行速度可达9马赫以上。大气层外空气稀薄、弹道稳定，拦截窗口更长，碎片进入大气层时多已烧毁，附带损伤小。

其动能杀伤器自带导引头与轨控发动机，飞抵大气层外后仍可自主修正弹道，并具备识别真假弹头的能力。但一枚拦截弹造价高达200万～300万美元，面对饱和式攻击很难实现作战目的。