

今年5月,美国国防部与安杜里尔、莱多斯等国防承包商签署框架协议,启动“低成本集装箱化导弹”(LCCM)及低成本高超音速导弹项目,计划从2027年起3年内采购超过1万枚低成本巡航导弹;与初创企业卡斯特利昂达成协议,推进“黑胡子”高超音速导弹的规模化生产,计划未来5年采购超1.2万枚。

1万枚巡航导弹、1.2万枚高超音速导弹——放在10年前,这个数字足以让任何国家的国防预算规划者倒吸一口凉气。即便是美军现役主力巡航导弹AGM-158“联合空对地防区外导弹”(JASSM),从

2003年列装至今20余年,累计产量也不过万枚。如今,五角大楼要在未来3至5年,将两类远程打击武器的采购数量推上“万枚”级别。

这背后,是一场正在全球范围内掀起浪潮的军工体系“低成本化革命”:俄罗斯的“堡垒经济”(Fortress Economy)库存改造模式、欧洲的“低成本效应器与自主平台”(LEAP)计划、韩国“K-LUCAS”远程无人机系统……各国不约而同走上这一道路——用工业化思路解决战争经济学难题,让武器从“奢侈品”变成“消耗品”。

请看本期“军工世界观”——

万枚导弹订单背后的“低成本化革命”

■ 薛紫臣

军工世界观

“梭鱼”“黑胡子”与“低成本集装箱化导弹”——

低成本武器的“井喷”

2025年,一家成立仅数年的初创企业安杜里尔工业公司推出的一款名为“梭鱼”(Barracuda)的系列巡航导弹引起美国国防部关注,但引起关注的并不是该型号的性能参数,而是生产方式:据该公司宣称,“梭鱼”导弹可以由未经专业培训的人员使用常规工具进行大规模生产,生产时间较同类产品缩短50%,所需工具减少95%,零部件数量减少50%。换句话说,就是要以“流水线、标准化、可复制”的方式造导弹,将导弹变成了“标准化工业品”,此类导弹一旦投入使用,弹药的扩充便不再受限于少数军工企业的生产瓶颈。

这种“低成本”思路也蔓延到了高超音速导弹领域。今年2月,由3位前SpaceX工程师创立的卡斯特利昂公司,拿到了“黑胡子”高超音速导弹的研发合同。这款导弹的目标不是取代“暗鹰”那样的高端远程高超音速武器——它的速度和射程都无法与后者相比。该项目的目标是在显著降低成本的同时,实现主流精确打击导弹80%左右的实战效能,以此换取大批量装备的可能性。

防空拦截弹也开始“降级”。今年5月,美国陆军发布信息征询书,为“爱国者”系统寻求“低成本拦截器”(LCI),希望将目前530万美元一枚的拦截弹成本压缩到100万美元以内。

如果说“梭鱼”“黑胡子”“低成本拦截器”还只是单点装备成本优化,今年5月启动的LCCM项目则是将这种“低成本哲学”推向了体系层面。按照项目计划,整套导弹发射装置兼容标准货运集装箱,可适配海陆两栖,后续还计划扩展空射版本。该项目力图通过“弹药通用、多平台复用”的思路压减后勤成本,将单枚导弹目标价格压至50万美元以下。

近年来美国低成本武器的“井喷”现象并非空穴来风,这场“低成本化革命”可追溯至20世纪90年代。

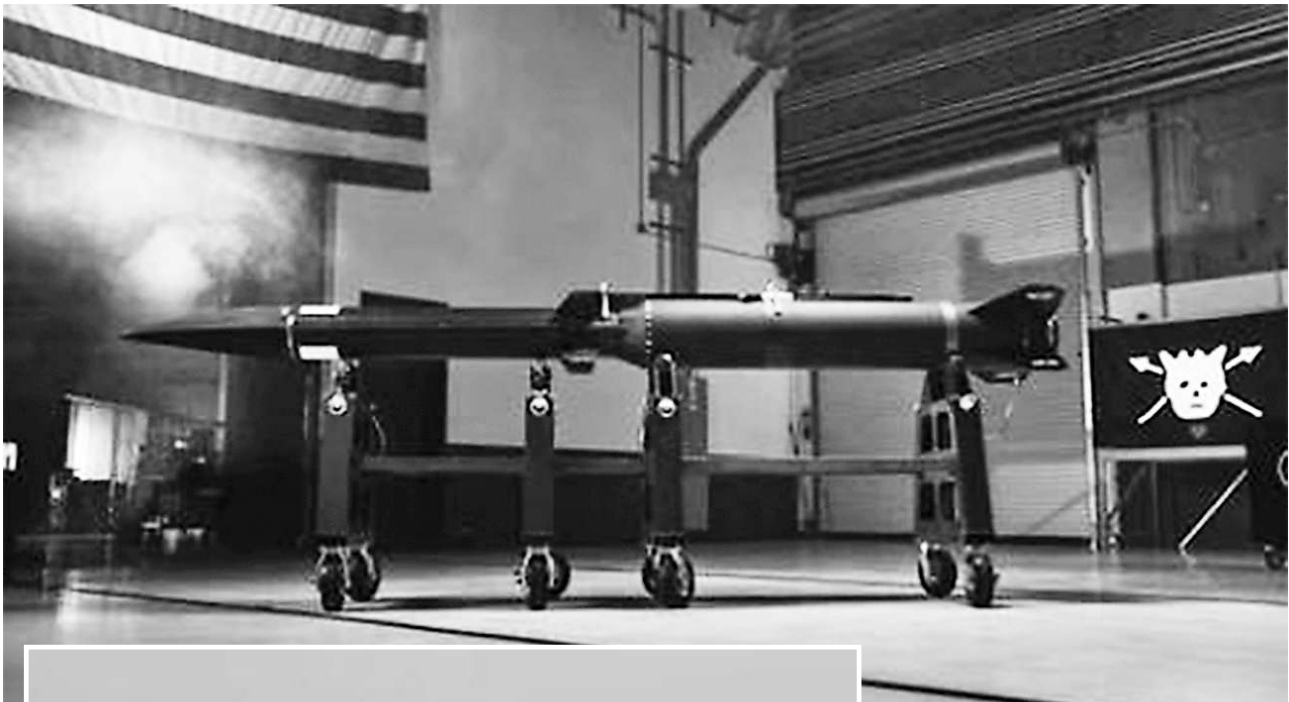
“货架化”运动和“复制者”计划——

从“军标定制”到“柔性采办”

冷战结束后的美国国防部,面对不再存在的“苏联威胁”和骤然缩减的预算,开始重新思考一个问题:花那么多钱造那么多精密武器,真的有必要吗?

1993年,美国国防部在那场名为“最后的晚餐”(Last Supper)会议后便要求美国国防工业进行整合和精简。

1994年,时任美国国防部长的威



上图:卡斯特利昂公司研发的“黑胡子”低成本高超音速导弹。

资料图片

左图:安杜里尔工业公司“梭鱼-500M”导弹发射测试现场。

资料图片

廉·佩里做出了一个在当时颇具争议的决定——推动军用系统大规模采用商用货架产品(COTS)。在此之前,美军装备从一颗螺丝钉到整套系统,都要按照严格的“军标”定制生产,周期长、成本高。

佩里的逻辑很简单,以芯片为例,硅谷的芯片更新速度比五角大楼的采购流程快数倍,与其花费几年时间定制一套“军用级”处理器,不如直接采购最先进的商用芯片。

这场“货架化”运动开启了美国军工体系的第一次低成本转型,美国航空航天和国防主要承包商的数量从51家减少到5家。

进入新世纪,尽管COTS改革持续推进,但军工巨头集中、装备追求极致性能的惯性并未打破。美国国防部曾多次修订采办文件,尝试以“渐进式采办”与“螺旋式开发”简化流程,但重大武器项目仍普遍出现成本超支、研制周期拉长的现象,多次地缘冲突的实战经验,也让美方进一步认识到传统高端装备在消耗战场景下的成本短板——

以“爱国者”PAC-3 MSE拦截弹为例,单枚造价约530万美元。用这样的导弹去拦截一架几千美元的无人机,经济学账怎么算都不划算。这种防御方花费数倍于攻击方带来的“成本交换赤字”,开始推动美军转向低成本武器。

2023年8月,美国国防部副部长凯瑟琳·希克斯(Kathleen Hicks)在华盛顿

国防工业协会的一场会议上,提出了一个后来被广泛讨论的概念——“复制者”计划。这个计划的目标很直白:在两年内部署数千套低成本、可消耗的无人系统,涵盖无人机、无人水面舰艇和无人潜航器,单价控制在数万至数十万美元。

“复制者”计划的提出标志着美军战略思维的转变——从追求“每件装备都是精品”转向追求“足够好、足够多”。美国军方也公开承认:光靠技术优势已经不够,数量和成本同样重要。

5个月后,美国国防部发布了历史上第一份《国防工业战略》(NDIS),正式提出“柔性采办”概念——美国国防部可以直接与初创企业、非传统国防承包商快速签约;可遵从自适应采办框架、优先采用商业现货等。

新规则、新博弈——

读懂现代战争的“经济账”

“柔性采办”概念的提出,在随后的几年里为一大批非传统新兴军工企业的崛起铺平道路。安杜里尔、卡斯特利昂、CoAspire、Zone 5——这些在以前几乎无人知晓的名字,如今频频出现在美国国防部的框架协议中。这些能快速迭代、敢于冒险、愿意接受薄利多销的初创企业,在这场新“游戏”中占据优势。

从美国放眼全球,特别是在近年来几场局部冲突和战争的助推下,一场军工体系“低成本化革命”正在渐成“潮流”之势:

长期以来,欧洲军工走的是“高级定制”路线,欧洲顶级导弹制造商MBDA公司的“风暴阴影”巡航导弹虽性能优异,但是单枚价格高达177万美元,只能小批量生产。面对昂贵拦截弹对抗廉价无人机的成本窘境,“少而精”的军备思路在智能化战争形态下的消耗战面前难以继。

2025年3月,欧盟推出《欧洲防务白皮书》与《欧洲重新武装计划》,计划调动8000亿欧元防务资金,推动防务一体化建设,补齐本土供应链短板,强调把低成本可消耗装备提升到战略层面。

“十字弩”(Crossbow)低成本重型巡

航导弹正是这套制度体系的落地产物,其力图摆脱外部零部件牵制,打造成本可控、便于大批量生产的远程打击武器。

今年6月,MBDA已成功完成“十字弩”导弹的首次实弹试射,作战射程突破800公里。该项目自立项至试射不足1年,目前已进入量产筹备阶段。

与欧洲不同,俄罗斯依托冷战时期遗留的庞大弹药储备,上演了一场“旧瓶装新酒”式的装备改造。

近年来,在高强度军事行动与制裁限制工业的双重压力下,俄军的“口径”巡航导弹、“伊斯坎德尔”弹道导弹产能跟不上高强度作战消耗,很快陷入“打了就没了”的窘境。面对冷战时期老式无制导导弹的海量库存,如何把大批量沉睡的“铁炸弹”变成能用的精确武器,成为摆在俄军面前的紧迫课题。

我们把时间回溯到2002年,英国范堡罗航展上,俄罗斯军工企业展出一款自研滑翔制导炸弹,技术思路对标美军JDAM联合直接攻击弹药。彼时,俄军更看重重新研制的高端装备,这款制导炸弹长期被束之高阁,没有开启批量生产。也许谁也未曾想到,这项未能落地的技术探索,在20多年后迎来实战舞台,成为UMPK滑翔制导套件的技术源头。

UMPK,这套成本仅约2万美元的套件,让大批老旧航弹“满血复活”,摇身一变成射程300公里的防区外精确打击弹药。该套件部分版本大量采用民用电子元件,工艺朴素,甚至被西方观察家称作类似“手工作坊”的产物,却实实在在解决了弹药短缺难题。

按照规划,到2026年底,这类改装弹药年产量将冲击六位数级别。依靠盘活冷战军备“遗产”,俄罗斯走出一条战场倒逼出来的低成本化之路。

这条低成本化道路并非坦途,各国不乏曝出低成本化武器可靠性不足、技术指标差异较大等问题。如何在多功能需求与成本控制之间取得平衡,仍是这场革命有待探索的课题。

但道路方向已经明确,未来的战争不仅要打精度,还要打库存;不仅要打技术,更要打成本和效率。当一枚价值数万美元的巡航导弹和一枚百万美元的拦截弹在空中相遇,胜负的天平,也许在发射之前便已倾斜。

(作者单位:军事科学院军事法制研究院)



1941年9月27日,美国总统罗斯福亲临马里兰州巴尔的摩的伯利恒-费尔菲尔德船厂,为首艘“自由轮”——“帕特里克·亨利”号主持下水仪式。面对这艘外形敦实、毫无美感可言的货轮,酷爱舰船设计的罗斯福戏称其为“丑小鸭”。然而,正是一群这样的“丑小鸭”,在此后4年间以前所未有的工业速度,托起了盟军通往胜利的钢铁航线。

“自由轮”的诞生,其实是盟军商船接连遭受毁灭性打击后的无奈之举。1940年,法国沦陷后,德国海军采取“狼群”战术对盟军商船进行大规模攻击,盟军补给船沉没的速度远超新建速度,而英国船厂正忙于建造作战舰艇,已无力建造商船。为此,英国造船工程师西里尔·汤普森携带“帝国自由”号图纸赴美求援,这款源自桑德兰汤普森船厂的低造价万吨货船,由此成为“自由轮”的设计蓝本。

“自由轮”的设计理念将“低成本、易量产”贯彻到了极致:全长约135米,排水量约1.5万吨,船体采用V字形船底以减少阻力,动力系统选用技术成熟可靠的三胀式蒸汽机,航速11节,虽速度不快,但足够横渡大洋。它舍弃了一切不必要的装饰与复杂系统,只为在最短时间内、用最少工时,将最多物资送到前线。

真正让“自由轮”载入史册的,是其革命性的建造方式。美国船厂大规模引入分段建造法和焊接技术,来取代耗时费力的传统铆接工艺:将船体切分成数百个预制单元,各工厂同步生产,最终像拼图般在船台上快速合拢。这种生产方式让建造工时呈几何级数缩减:首艘“自由轮”耗时230天,到1943年平均值锐减至42天。1942年11月,一艘“自由轮”更创下从铺设龙骨到下水仅用4天15小时的纪录。1943年高峰期,平均每天有3艘“自由轮”下水。

从产出效率看,1941年到1945年,18家美国船厂共建造了2710艘“自由轮”,这一数字至今仍是人类单一船型的产量巅峰;从成本核算看,区区200万美元的造价,尚不及一艘轻型巡洋舰的十分之一,却足以将2840辆吉普车或440辆坦克投送至大洋彼岸;从动员规模看,超过10万名工人以船台为阵地,昼夜不息轮转接力,将工业生产线化为反法西斯的前沿战壕。

这些“自由轮”穿行在大西洋与太平洋,将坦克、弹药、燃料、食品乃至兵

AT-3:战场“常青”的反坦克利器

■ 李子博

冷战兵器谱系中,苏联AT-3反坦克导弹并非尖端精密装备,却是重塑步兵反装甲作战格局的里程碑式武器。其在第四次中东战争一战成名,以低成本、高适配性的实战表现,印证了平价量产型武器也能对现代战场规则产生重要影响。

20世纪50年代末,随着反坦克导弹技术的发展,苏联军方意识到需要一种比当时装备的AT-1和AT-2更轻便、更适合步兵携带的武器系统。1961年7月,苏联军方命令位于科洛姆纳的KB托克马克什设计局和图拉设计局开发一种可由单兵操作的便携式反坦克导弹。该项目代号为9M14“婴儿”,于1963年正式定型并投入量产。该导弹最初设计为车载型,安装在BRDM-1和BRDM-2装甲侦察车上,随后迅速开发出便携式版本,通过玻璃纤维手提箱进行运输和储存,展开后可在1分钟内完成发射准备。AT-3反坦克导弹于1965年5月9日在莫斯科红场阅兵式上首次公开亮相,由于其设计简单、易于生产,苏联在20世纪60至70年代的年产量曾达到2.5万枚,总产量超过30万枚。

AT-3反坦克导弹,基础型号体型小巧,操作便捷,改进型逐步提升破甲威力,足以有效毁伤20世纪六七十年代北约主流主战坦克。早期型号要求射手通过潜望镜同时观察目标和导弹,利用操纵杆手动控制导弹飞行轨迹,直至命中,这种方式对射手技术要求极高,且在夜间或能见度低时难以操作。后期改进型引入了红外跟踪和半自动系统,大大提高了命中率和操作便捷性。

第四次中东战争中,AT-3反坦

『自由轮』:用工业速度赢得胜利的『丑小鸭』

■ 严子昌

员源源不断运往欧洲、非洲和亚洲战场。战后统计显示,若无“自由轮”提供的庞大运力,盟军诺曼底登陆至少要推迟一年。

战后,绝大多数“自由轮”或被拆解,或出售给民间航运公司。如今,全世界尚存美国的“约翰·W·布朗”号等4艘“自由轮”,它们静静泊于港湾,无声地诉说着那个钢铁时代的传奇。

“自由轮”的意义,早已超越了一型货船本身。它是将标准化、流水线与规模化生产融入战争实践的成功范本。当战争变成工业生产产能的较量时,谁拥有将设计图纸最快变成武器装备的能力,谁就掌握了胜利的密码。那群其貌不扬的“丑小鸭”,用流水线上

的火花与海面上的航线证明:当战争进入纵深阶段,低成本的大规模消耗品,也可成为极具威慑力的战略武器。

左上图:“自由轮”。 资料图片

克导弹在现代陆战场上初露锋芒。战争初期,埃及、叙利亚军队大量部署该型导弹,依托预设伏击阵地打击以军装甲集群,有效削弱了以军装甲突击锐气,对战局初期态势产生明显影响。

凭借优异的通用性与经济性,第四次中东战争后,AT-3反坦克导弹迅速风靡全球,苏联大批量对外出口,总产量达数十万枚,广泛装备华约、中东、非洲等诸多国家军队,频繁现身各类局部冲突,被誉为反坦克武器中的“AK-47”。我国自研的红箭-73反坦克导弹,也有借鉴该型导弹技术。

随着军事技术迭代,苏军和后来的俄军陆续列装了更先进的AT-4、AT-5反坦克导弹,北约也更新了新一代半自动制导反坦克装备,但存量巨大、皮实耐用的AT-3改进型号,至今仍任多个国家的二线部队服役。纵观AT-3反坦克导弹60余年服役历程,虽存在诸多技术短板,却有着不可替代的价值——它跳出了高端精密武器的发展逻辑,以低成本、可量产、易普及的核心优势,改变了步兵与装甲部队的战场攻防态势,为现代陆战战术迭代、反坦克体系建设提供了重要借鉴。

下图:AT-3反坦克导弹。

资料图片



“低成本集装箱化导弹”(LCCM)系统效果图。

资料图片