

近日,美国空军证实,“锈匕首”空射巡航导弹已于去年完成实弹试验。该导弹单价低于22万美元,属于低成本、可量产的防区外打击武器。该导弹从项目合同授予到实弹演示,整个过程用时不到16个月,反映了美国对廉价巡航导弹的迫切需求。美军还在不久前启动了“低成本集装箱化导弹”项目。此类导弹发射装置类似

标准集装箱,可实现陆上和海上部署,未来还可扩展为空射型号,以多平台通用弹药降低成本,计划从2027年起,3年内采购1万枚。

作为兼顾成本、产量与性能优势的远程精确打击弹药,廉价巡航导弹走过怎样的发展历程?当前的技战术性能如何?未来又将走向何方?请看本期解读。

标准集装箱,可实现陆上和海上部署,未来还可扩展为空射型号,以多平台通用弹药降低成本,计划从2027年起,3年内采购1万枚。

作为兼顾成本、产量与性能优势的远程精确打击弹药,廉价巡航导弹走过怎样的发展历程?当前的技战术性能如何?未来又将走向何方?请看本期解读。

品味有故事的兵器
■本期观察:盖满帅 郭钟壬 邹渝建

当前,战场上出现越来越多的“低慢小”无人机。反无人机作战,也从单一地面防御,转向多平台、多维度的体系对抗。本期“兵器控”,聚焦3型适应不同战场的反无人机系统。

当前,战场上出现越来越多的“低慢小”无人机。反无人机作战,也从单一地面防御,转向多平台、多维度的体系对抗。本期“兵器控”,聚焦3型适应不同战场的反无人机系统。

当前,战场上出现越来越多的“低慢小”无人机。反无人机作战,也从单一地面防御,转向多平台、多维度的体系对抗。本期“兵器控”,聚焦3型适应不同战场的反无人机系统。

当前,战场上出现越来越多的“低慢小”无人机。反无人机作战,也从单一地面防御,转向多平台、多维度的体系对抗。本期“兵器控”,聚焦3型适应不同战场的反无人机系统。

当前,战场上出现越来越多的“低慢小”无人机。反无人机作战,也从单一地面防御,转向多平台、多维度的体系对抗。本期“兵器控”,聚焦3型适应不同战场的反无人机系统。

当前,战场上出现越来越多的“低慢小”无人机。反无人机作战,也从单一地面防御,转向多平台、多维度的体系对抗。本期“兵器控”,聚焦3型适应不同战场的反无人机系统。

巡航导弹的“低成本革命”

■张 肇 张 晶

由成本困境催生,在实战需求中快速发展

海湾战争以后,远程精确打击成为非接触、非对称、非线性作战的重要制胜手段,以美国“战斧”、俄罗斯Kh-55为代表的传统巡航导弹,成为远程战略打击的主要装备。但此类导弹造价高昂、工艺复杂、产能受限,在高烈度对抗中难以完全满足战场火力需求。大批量、低成本、具备基础精确打击能力的消耗型装备成为各国军队发展的重点方向,廉价巡航导弹应运而生并快速发展。

海湾战争中,美军累计发射近300枚“战斧”,精准摧毁伊拉克各类战略目标,展现了远程精确打击的压倒性优势。但“战斧”单枚采购成本约145万美元,加上后勤保障、维护校准、运输储备等附加成本,大规模打击代价惊人。美军《海湾战争精确制导武器运用评估报告》指出,高端巡航导弹成本太高,无法用于针对大量中低价值战术目标的全面打击,持续作战中极易出现弹药不足,效费比失衡的问题。低成本战术巡航导弹需求凸显,廉价巡航导弹概念开始萌芽。

21世纪初,民用航空电子、小型涡喷发动机、卫星导航等技术快速成熟,民用卫星导航模块、商用芯片、小型航空动力装置等民用产品性能基本满足战术导弹需求,成本大幅降低,美、俄、伊朗等国相继展开廉价巡航导弹研制。2015年后,多地局部冲突持续升级,战场对低成本消耗型弹药需求急剧攀升,廉价巡航导弹进入全面成熟、批量列装、实战检验阶段,多款专用型号投入战场,实战效能得到验证,装备体系逐步完善。

叙利亚战争期间,俄军多次用廉价巡航导弹打击叙境内反对派武装阵地、后勤补给线、弹药库等战术目标,累计发射超百枚,实现持续火力压制,同时为俄军战机、高端导弹打击高价值目标创造条件。同期,伊朗也推出马苏尔、霍韦伊泽等廉价巡航导弹,综合运用惯性制导+卫星修正+地形匹配制导,大幅提升了复杂环境下的命中精度,并能依托地形地貌遮挡规避地面雷达探测,具有较强的突防能力。

2022年乌克兰危机爆发后,俄罗斯对Kh-55、Kh-35等冷战时期留下的老式巡航导弹进行现代化升级改造,性价比极高。Kh-555保留了Kh-55的弹体和发动机,仅升级制导、弹头组件,成本远低于全新的Kh-101导弹,成为俄军“低成本远程导弹”代表。Kh-35U是Kh-35反舰导弹的升级版,拆除昂贵的反舰导引头,换装简易对地卫星制导,变身中程廉价巡航导弹,成本也远低于“口径”巡航导弹。

俄罗斯用冷战库存改造的廉价巡航导弹,凭借较低的制造成本、便捷的量产能力、大规模饱和发射的作战模式,多次突破乌克兰防空体系,打击其防空阵地、交通枢纽、能源设施等目标。乌克兰也用自研的“火烈鸟”廉



价巡航导弹打击俄罗斯炼油厂和军工设施。双方你来我往的导弹攻防,充分展现了廉价巡航导弹的消耗战优势。今年美以伊冲突中,伊朗及其盟友也用各种廉价巡航导弹,展开非对称作战,并取得显著战果。

性能可靠、战法成熟,成为联合打击的中坚力量

廉价巡航导弹始终以“成本可控”为核心原则,并且在现代战场上探索出较为成熟的体系运用战法。

主流廉价巡航导弹大都放弃高端涡扇发动机,采用小型民用涡喷发动机或固体火箭助推器,寿命虽短,却足以保证一次性使用要求,飞行速度多在0.6~0.9马赫之间。亚音速巡航导弹易遭探测、拦截,但结构简单、成本低廉、燃油经济性好、低空飞行稳定性强,可长时间低空巡航,同时大幅降低动力系统研发与制造成本。

廉价巡航导弹制导方式主要有3种:第一种是惯性制导,如俄罗斯的S-71K“地毯”,圆概率误差50~200米;第二种是卫星+惯性制导,如伊朗的圣城-1、美国的梭鱼系列等,圆概率误差10~30米;第三种是卫星+惯性+简易光电制导的复合制导,如乌克兰的“火烈鸟”改进型,圆概率误差10米以内。

制导方式的成本取舍非常明显,配置越低越便宜。地形匹配、主动雷达制导由于成本太高,基本被放弃。廉价巡航导弹在常规战场上,可精准打击固定目标。在复杂山地、强电磁干扰环境下,命中精度虽然下降,但仍可完成面火力压制任务。

廉价巡航导弹采用模块化战斗部设计,可根据不同任务和目标类型快速更换,具备较强的多任务适配能力。战斗部重量差别很大,从十余千克到上千千克都有。战斗部种类繁多,包括高爆炸杀伤战斗部、破片杀伤战斗部、反装甲战斗部、反工事战斗部等多种类型。杀伤效能可满足从战术级作战到战略性打击的多种需求。美国的梭鱼-100,战斗部重量约16

千克,用于攻击近距离点状目标;乌克兰的“火烈鸟”全重6吨,战斗部达到1150千克,可打击大型建筑目标。

现代防空强调打造“高中低覆盖、远中近衔接”的多层防御体系,廉价巡航导弹之所以能在现代战场上大显身手,既倚赖可靠的技术支撑,也离不开高明的战术运用。

目标选择注意扬长避短。优先选择打击军营、兵工厂、机场、港口、变电站、露天弹药库、炼油厂等大型固定目标,精度不够可通过饱和式打击保证毁伤效果。

力量编成强调体系作战。高精尖导弹负责打击指挥、雷达等核心节点,是实现战略破局的“尖刀”力量;廉价巡航导弹主要打击防空节点、军工企业、重要基础设施等,是远程打击的“中坚”力量;自杀式无人机主要用于诱骗敌方雷达,消耗敌防空弹药,打击基础设施、各种小型机动目标及有生力量等,是非对称消耗战的基础力量。

作战运用力求灵活隐蔽。廉价巡航导弹战前可分散隐蔽部署,发射方式

也非常灵活。陆基可采取简易阵地固定发射、集装箱车载机动发射;空基可采取战机外挂投射、运输机托盘空射;海基既可采取常规的舰载发射、水下潜射,也能用民船加装集装箱发射单元,在近海甚至远洋发起突袭。突防时可采取多弹航线差异化规划、多航路同步分进合击,压缩敌防空系统的反应时间,提高突防成功率。

坚持低成本目标,持续性能迭代与体系化升级

近年来的战争实践表明,现代高强度作战对装备弹药的消耗远超预期。廉价巡航导弹的进化还有很大提升空间,在保证“耗得起”的前提下,未来将向智能、组网、抗扰、通用、降本等方向加速演进。

智能化时代,廉价巡航导弹将被植入轻量化AI算法,具备一定的自主作战能力。不再全程依赖后方指令操控,实现自主航路规划、地形自适应绕行、威胁区域自动规避,用低成本算力换取实战容错空间。搭载简易图像识别模块,具备基础末端目标甄别能力,区分军事目标与民用目标,降低误击概率。

导弹群组网协同作战。廉价巡航导弹现身未来战场,将不再是单枚导弹独自自击,而是数十乃至上百枚编组成导弹群。通过简易数据链实现导弹间信息共享,前方被拦截导弹可传递情报,后方导弹实时调整路线,以体系化饱和和打击抵消敌方的防空拦截优势。

制导体制迭代,强化抗电磁干扰能力。随着技术不断进步,廉价巡航导弹将摆脱单一制导或简单的复合制导,增加天文导航、地形匹配辅助导航、惯性导航冗余备份,在战场电磁环境复杂、导航信号被压制的情况下,依旧能保持基本飞行轨迹攻击预定目标。被动雷达制导模式也在快速发展,导弹可追踪敌方雷达信号反向打击敌防空系统,进一步拓展应用场景。

多平台通用化。廉价巡航导弹未来将统一弹体接口、尺寸与安装标准,兼容陆基发射车、中小型舰艇、无人机挂载、简易地面发射架等多种平台,不断降低列装成本,适配不同作战场景需求。

材料与制造工艺进一步降本增效,同时提升隐蔽性能。廉价巡航导弹将使用低成本复合隐身涂层、一体化3D打印弹体、标准化通用零部件,进一步压缩生产周期与制造成本,优化气动外形,降低雷达反射截面积,提升低空隐身能力。另外还可搭载子母弹、燃烧弹、反辐射弹等多类型战斗部,适配不同作战目标。

长远来看,廉价巡航导弹可能会成为各国基础远程火力标配,改变传统空战、防空对抗格局,推动现代战争进入低成本、大规模、长消耗的新阶段。

图①:美国“锈匕首”巡航导弹。
图②:俄罗斯S-71K“地毯”巡航导弹。



阵地前遭遇蜂群式微型无人机突袭,如何快速筑起防线?土耳其Aselsan公司推出的KORKUT 25,给出了一个灵活答案。

这款机动式硬杀伤反无人机系统,依托4×4高机动装甲底盘,能在复杂地形和城市街巷中快速部署、即停即打,单车即可实现侦测、锁定到击落低空小型无人机集群的战斗全程。

KORKUT 25装备升级型光电传感器、自研火控架构,发射25毫米可编程空爆弹。整套系统具备全天候自主交战能力,能稳定捕捉低雷达反射截面目标,拦截来袭的无人机蜂群。

海空联防 Katran X1.2 无人艇



海上低空防御如何部署?乌克兰MAC HUB公司打造的Katran X1.2无人艇,选择用无人艇搭载无人机筑起防空网。

该艇可搭载多达27架FPV拦截无人机与固定翼拦截器。依托雷达、光电设备及外部情报链路,它能远距离探测来袭目标,将海上低空防御圈向外大幅延伸。

该艇具备独立作战能力,单艇即可承担局部海域低空防空任务,也可灵活协同岸基防空系统,前出部署,遇到威胁时,自主释放拦截无人机实施动能撞击拦截。全程可全自动完成,必要时也能切回人工遥控。

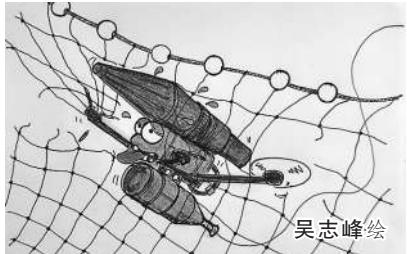
单兵护盾 STORM2 便携式反无人机系统



与前两款装备相比,法国泰雷兹集团旗下的STORM2显得格外“低调”。手持端净重不到2千克,却能担负单兵防护、空域干扰、信号侦测等多种任务。

轻巧,但不单薄。它具备覆盖20MHz到6GHz的宽频干扰能力,采用反应式干扰模式,平时静默不向外发射电磁信号,只有捕捉到威胁时才会启动定向压制。既避免暴露自身位置,也能大幅延长战场续航时间。

STORM2搭载专用信号处理架构,能实时甄别战场电磁信号,独立完成探测、识别、干扰全套流程,不依赖后方持续操控。同时,它还能精准识别无人机图传与战术电台信号,解析跳频通信关键参数,堪称单兵手中的“隐形护盾”。



巴以边境的持续冲突中,一件出人意料 的装备意外走红:原本用于近海捕鱼 的渔网,正大批量走上前线,成为以 色列军队拦截FPV自杀式无人机的“防 空利器”。看似简陋的渔网,以极低的 成本对抗无人机的持续威胁,折射出现 代不对称战争背后的攻防博弈。

据以色列媒体报道,为应对黎巴嫩 真主党无人机持续袭扰,以军已向北部 边境部队配发近15.8万平方米柔性防 护网,同时紧急追加采购18.6万平方米 防护网,总面积接近50个标准足球场。

与此同时,一线士兵自发从当地渔民手 中收集渔网,用来补齐阵地防御盲区, 渔网从捕鱼工具变身为首线热门“防空 器材”。

FPV自杀式无人机依靠高速旋转 的螺旋桨提供飞行动力,一旦撞上柔性 网状结构,高速转动的桨叶极易被网线 缠绕卡死,瞬间丧失动力失控坠毁。即 便无人机撞击防护网后发生爆炸,交错 的网线也能分散爆炸冲击波、阻挡高速 破片,大幅降低对人员和装备的杀伤效 果。更关键的是,渔网属于纯物理防御

手段,完全不受电子干扰影响,在光纤 制导无人机普及的当下,这一优势格外 突出。

这种“以柔克刚”的低成本防御思 路,最早在俄乌冲突中得到实战验 证。自2025年以来,乌克兰在境内多 个交通要道架设无人机拦截网。由法 国输入的废旧渔网投入使用后,取得 明显效果,重点区域无人机袭击成功 率显著下降。

渔网在反无人机战争中异军突起, 根源在于当前“低慢小”无人机带来的

防御困境。现代战争的不对称特征愈 发凸显,弱势一方依靠大规模生产低成 本无人机就能对传统军事强国形成持 续牵制。新型FPV无人机,普遍搭载光 纤制导系统与红外热成像设备,前者可 规避常规电子战压制,后者保障其昼夜 不间断实施精准突袭。

面对这类低成本、强突防的小型无 人机,传统防空体系陷入成本悖论:一 枚防空导弹造价动辄上百万美元,用来 拦截成本仅数千美元的小型无人机,经 济损耗难以承受;而常规电子干扰设

备,对光纤制导目标基本无效。相比之 下,渔网成本低廉、架设灵活、无需供 电、几乎零维护,无需复杂操作培训, 拉起即可形成低空拦截屏障,成为务实 高效的补充防御手段。

但渔网终究只是被动防御手段, 只能拦截来袭无人机,难以从根本上 消除无人机威胁。想要牢牢掌握战场 主动权,仍需构建侦察预警、电子压 制、火力拦截相结合的一体化反无人 机体系。

小小渔网背后,是见招拆招的 “战争智慧”。战争的核心始终是攻 防思维的较量,再先进的装备,也离 不开贴合实战的战术运用;再简易的 武器,只要契合战场规律,也能发挥 重要作用。