

近年来,世界格局加速演变,全球地缘政治博弈日趋激烈。在各种热点事件中,有一种武器备受瞩目,在战场上发挥的作用日渐凸显,它就是——巡飞弹。

从某种程度上,巡飞弹正在重新定义现代战场。世界各国对巡飞弹也是青睐有加,纷纷加大研发和采购力度。仅在今年,土耳其国防技术工程与贸易公司(STM)宣布配备穿甲弹头的新型“卡古”巡飞弹试验成功;澳大利亚宣布加速推进精确巡飞弹第三阶段的研发;印度卡特德特防务系统公司推出自研的“卡特

特”系列巡飞弹,计划于今年年底前向印军交付至少50套;美国陆军与美国航空环境公司签署了价值9.9亿美元的“弹簧刀”巡飞弹采购合同。

“一旦技术上的进步可以用于军事目的并且已经用于军事目的,它们便立刻几乎强制地,而且往往是违反指挥官的意志而引起作战方式上的改变甚至变革。”作为“战场新秀”,巡飞弹为何能异军突起,又改变了哪些战场“游戏规则”,未来有多大发展潜力?请看解读。

巡飞弹为何能异军突起

■梁君 孙文静 王瑾

军工T型台

技术融合——

叱咤战场的“多面手”

巡飞弹可以简单理解为装有爆炸物的无人机。它就像一位伺机而动的“空中刺客”,可在目标区域较长时间巡弋盘旋,一旦发现目标,便立即俯冲而下,一剑封喉。

自问世以来,巡飞弹不断迭代发展,已成为一种“一半是无人机,一半是导弹”的新型武器。目前,巡飞弹已先后应用于叙利亚冲突、纳卡冲突、俄乌冲突等实战,展现出巨大的作战潜力。

巡飞弹之所以快速“蹿红”,得益于它融合了多种先进技术,可谓集“百家之长”于一身。

首先是导航与制导技术。巡飞弹综合采用卫星导航、惯性导航以及图像匹配等多种导航方式。这使得它在复杂战场环境下,即便失去卫星信号或受到干扰,也能准确飞向目标。其次是通信技术。与早期“发射后不管”的模式不同,如今,巡飞弹发射后多由后方操作人员控制。高效的通信链路可以确保巡飞弹与后方控制站之间的数据稳定传输。操作人员可以实时掌握巡飞弹的运行状态和目标区域情况,并根据战场形势变化下达或更新指令,控制巡飞弹对目标攻击的时间、方向和角度。此外,先进的动力技术、传感器技术等,也显著增强了巡飞弹的续航能力以及对战场目标的发现、识别和跟踪能力。

针对战场不同作战需求,巡飞弹分为不同类型。就体积大小和攻击目标而言,巡飞弹可以分为迷你型、战术型和远程巡飞弹3类。其中,迷你型巡飞弹是为“近距离作战”设计的,它通常为四轴飞行器,一般供步兵或特种部队使用,打击目标主要为地面人员和轻型车辆;战术型巡飞弹体积稍大,多配备于装甲部队,可进行反装甲作战,用于对敌方关键资产实施打击;远程巡飞弹则相当于小型巡航导弹,由飞机、舰船或地面车辆发射,主要用于为“塑造战场”而进行的防区外攻击。

此外,在动力配置、载荷选择和外形设计上,巡飞弹可以灵活配置:既可以装配小型涡喷发动机或涡扇发动机以获得强大动力,也可以选用静音、低红外特征的电动发动机以加强隐蔽性;既可以根据任务需求搭载高清摄像机、红外传感器等侦察设备,也可以搭载高爆炸药、破甲战斗部等攻击弹药;既可以采用常规导弹外形以获得高速飞行和突防能力,也可以像普通无人机一



样,通过大展弦比机翼来增加滞空时间和续航里程。

作为无人机和巡航导弹的结合体,巡飞弹凭借其独特性能和多样化功能,成为战场上备受瞩目的“多面手”。一方面,巡飞弹可以在战场前沿或纵深区域“盘旋”时间更长。同时,巡飞弹还具有目标指示、信息中继、区域封控、战场评估等多种功能。巡飞弹可对发现的目标持续跟踪定位,同时将准确位置信息传给其他火力打击单元引导实施攻击,并在打击结束后进行毁伤效果评估,为后续作战行动提供参考。

军工新秀——

不容小觑的“潜力股”

巡飞弹发展至今已近40年历史,但在其问世后的很长一段时间里,始终是军工市场的一款边缘产品。

早在20世纪80年代,以色列航空航天工业公司(IAI)将一款针对防空系统的诱饵无人机与反辐射导弹结合在一起,研制出第一代巡飞弹。不过,当时很多国家对此类武器并不看重,在研发方面也不太上心,因此这款产品在军工市场并未掀起什么浪花。

近年来,战场环境日益复杂,作战样式不断演变,对武器装备的灵活性、精确性和多任务能力提出更高要求。巡飞弹不仅可以满足不同国家和地区军队对多样化作战任务的需求,也可以在一定程度上弥补中小国家在传统武器装备方面的不足,以较低成本获得较强作战能力。同时,它在执行反恐、维稳等任务时也独具优势。

2020年纳卡冲突中,巡飞弹大放异彩,成为影响战局的关键因素;2022年爆发的俄乌冲突中,巡飞弹使用频率大幅增加,作战效能尤为突出,由此成为世界各国军队高度关注的明星武器。随着巡飞弹成为大国军事技术竞争的新前沿,许多国家都加大生产研发投入力度。巡飞弹迎来蓬勃发展,成为军工市场的“香饽饽”。

根据美国垂直飞行协会2023年发布的巡飞弹研究报告,2017年全球生产巡飞弹的国家不到10个,如今已有近30个国家、120多个实体参与此类武器的研发生产,近2年推出的型号数量相当于前5年的总和。此外,一些全球市场研究机构和数据分析咨询公司也对亚太、北美、欧洲等地区相关市场展开研究,并在此基础上于2023年发布多份市场分析和预测报告。相关数据显示,2022年全球巡飞弹市场规模为10.3亿美元,2023年约为12亿美元,预计到2030年将增至30.4亿美元,年均复合增长率为14.2%。上述报告还根据不同指标进行了细化研究:就弹药类型而言,当前手动定位型巡飞弹市场份额较高,但来自自主识别定位型巡飞弹将获得

最快增速;就用户群体而言,陆军是增长最快的细分市场,2022年市场份额占比高达50.34%,空军位居第二;就地区市场而言,目前北美地区在巡飞弹市场占据主导地位,2022年市场份额为33.98%,但未来亚太地区有望成为最大的消费市场,预计未来10年内该地区的累计投资将高达22亿美元。

随着集群技术、隐身技术、人工智能、模块化、轻量化等更多先进技术的运用,巡飞弹的性能和效用会得到进一步提升,还将创造出更多市场增长机会。正如很多分析人士所预言的那样,作为军工领域一支异军突起的“潜力股”,巡飞弹已展现出强大的生命力和广阔的发展前景。

自主决策——

“智慧大脑”是把双刃剑

与其他武器系统相比,巡飞弹的过人之处在于其具有较强的自主决策能力。

一是自主机动能力。通过安装自主导航系统,巡飞弹“无需人类操作员的直接参与,便可对其自身运动进行管理和指挥”。它不仅可以根据预先编程的路线实现自主飞行,还可以根据操作人员输入的航点地理坐标,自主规划前往指定位置的飞行路线。在飞行过程中,巡飞弹可以自动避障,甚至可以在没有找到合适目标的情况下自动“归位”返回基地,从而大大减轻人

类操作员的负担。

二是自主识别能力。借助一系列先进传感器以及光电、红外和雷达系统,巡飞弹可以高度自主地探测、跟踪潜在目标,并通过基于人工智能和图像识别算法的自动目标识别系统,对坦克、飞机、导弹、雷达等多种目标进行实时区分,甚至可以从一群人中甄选出高价值目标。

三是自主攻击能力。在实施攻击时,巡飞弹可以自主选择最佳攻击方向、冲击角度和时机。目前,巡飞弹被视为遵循“人在回路”的原则,即人类可以通过双向数据连接随时介入或接管,从而保留最后“拔插销”的权力。不过,土耳其国防技术工程与贸易公司等巡飞弹制造商曾暗示,其产品具备“在没有人工干预的情况下自主且精确打击目标”的潜在能力。2021年,联合国专家小组的一份调查报告也得出结论称,“卡古-2”巡飞弹“无需与操作员建立数据连接便可自主攻击目标”。

近年来,巡飞弹与自动化和人工智能技术紧密结合的趋势愈发明显。正如GlobalData公司一名国防分析师所述,在自动化、人工智能等先进技术的加持下,巡飞弹的“大脑”会变得越来越“聪明”,未来或将朝着自主武器系统的方向发展。

然而,“智慧大脑”是把双刃剑。这种“自主性”在提升作战效能的同时,也会在道德、法律层面带来不容忽视的“伦理困境”。在授权实施攻击前,人类操作员并非总是能通过目视或其他方式对目标加以核验,而且还可能由于战场条件瞬息万变等多种因素出现“自动化偏见”,即过度依赖巡飞弹所做出的目标选择。这很容易产生“目标区分困境”,致使巡飞弹在攻击时无法准确区分军事目标与民用目标。一旦因此导致无辜平民伤亡,“责任归属困境”便随之而来。不同于传统作战模式中人类是唯一责任主体,巡飞弹的使用实际上是武器系统与人类共同扮演主体角色。因此,很难厘清究竟该由谁负责,是后方的操作员还是武器系统本身,抑或武器系统的设计者或制造商?毕竟,人为失误、程序故障、设计缺陷、质量瑕疵都有可能成为“罪魁祸首”。对此,目前世界上尚无明确的伦理准则或法律规定。

此外,巡飞弹降低了战争的门槛和道德约束。相较而言,巡飞弹使用成本低、作战效能高,且易于操作。特别是巡飞弹的操作者以非直接交战方式参战,几乎是“零伤亡风险”,大大降低了“动武”给决策者造成的各种顾虑和压力。因此,一些国家和组织选择武力而非和平手段解决争端的可能性会随之增加,这显然与追求和平、避免战争的基本伦理价值相悖。

左上图:土耳其配备穿甲弹头的“卡古”巡飞弹。 资料图片

军工科普

高强玻璃纤维——

防弹装甲夹层材料



高强玻璃纤维是特种功能玻璃纤维中应用最广的一种,强度高、耐高温、耐冲击、透波高、耐腐蚀,已广泛应用于航空、航天、船舶、军工、化工、电子等领域。其耐冲击性能优异,断裂伸长率大,在一定应力下形变能力大,能充分吸收冲击能量,被视为理想的防弹材料,常用作武器装备的复合装甲夹层材料。

世界多国步兵战车、坦克等装甲武器均采用了高强玻璃纤维夹层技术,以提高防弹能力。例如,俄罗斯T-72A主战坦克的炮塔、美国“布雷德利”复合装甲型步兵战车、德国“豹”1A3主战坦克等。

此外,在军事船舶领域,高强玻璃纤维也发挥了重要作用。例如,美国海军“黄蜂”级两栖攻击舰和俄罗斯“库兹涅佐夫”号航母的舰壳均采用了高强玻璃纤维复合材料,用作抗弹防护结构。

上图:采用高强玻璃纤维夹层材料复合装甲的俄罗斯T-72A主战坦克。 资料图片

芳纶纤维——

防弹装甲减重材料



芳纶纤维全称为聚苯二甲酸酯二胺,与碳纤维、超高分子量聚乙烯纤维并称世界三大高性能纤维。芳纶纤维相对密度小、高强度、高模量、耐高温、耐腐蚀,被广泛应用于军事、航空、航天、电子、建筑、医疗等领域。芳纶纤维与陶瓷或钢铁复合后,可作为坦克、装甲车、核动力航空母舰等装备的防弹层。美国M1主战坦克采用“钢+芳纶纤维+钢”型的复合装甲,不仅能防破甲厚度约700mm的反坦克导弹,还能减轻因被破甲弹击中而在驾驶舱内形成的瞬时压力效应。

此外,芳纶纤维强度高,具有一定的耐腐蚀性,可用于火箭发动机壳体及飞机、航天器的机身、主翼、尾翼等结构件的制造。随着航天材料要求越来越苛刻,芳纶纤维的应用范围不断扩大。芳纶纤维逐渐由承受冲击力的结构部件,发展到用以减轻机身重量的二次结构材料。

上图:采用芳纶纤维复合装甲的美国M1主战坦克。 资料图片

防弹陶瓷——

防弹装甲防护材料



防弹陶瓷具有高硬度和良好的耐磨性。相较于金属,防弹陶瓷具有低密度、高硬度和高抗压强度,这使其在装甲系统上的应用十分广泛。

最早应用于装甲系统的陶瓷主要是氧化铝陶瓷,其性能优良,制造成本相对较低,很薄的陶瓷层就可以防御轻武器弹药。法国勒克莱尔主战坦克炮塔与车体正面的主装甲就是由氧化铝陶瓷与高强度钢板复合而成。

碳化硼陶瓷是目前性价比比较高的单兵防护材料,装备有碳化硼陶瓷防弹衣的士兵,其保护部位很难被轻武器或更具杀伤力的武器击穿。伊拉克战争期间,美军装备的“拦截者”防弹衣使士兵的阵亡率大大降低。

防弹陶瓷的另一个开发热点是氮化铝透明陶瓷。以单晶氧化铝为代表的透明陶瓷,具有良好的光学性能,能在单兵防弹面罩、导弹探测窗口、车辆观察窗、潜艇潜望镜等军事装备上加以应用。由于能以较低成本制造大尺寸、复杂形状的透明部件,氮化铝透明陶瓷被不少国家列为重点发展的光功能透明材料之一。

上图:采用陶瓷+铝陶瓷复合装甲的法国“勒克莱尔”主战坦克。 资料图片 (姚彤彤、丁一、顾彦整理)



保障达人

一次实战化训练,某舰突然遭遇某管线破损险情。“让我试试!”随舰保障的海军某技术保障大队一级上士韩红星快步上前。仔细观察故障管路特征后,他一手握着铜管,一手拎起焊枪,进行人工弯管操作。

徒手弯动直径仅50mm的铜管,稍有

不慎管壁就会破裂,韩红星不敢大意。加热软化、弯动管路、调整角度……闷热狭小的主机舱中,他屏息凝神、反复尝试。很快,他手中的管道逐渐成形,管道回装成功,故障排除。

有着“钢铁裁缝”之称的韩红星,这手硬功夫足足练了10多年。

2013年,韩红星以优异成绩从士官学校毕业,满怀信心走上部队焊工岗位。当真正参与到抢修任务中时,韩红星却发现“差得不止一点”。“火

光一晃就紧张,焊接总达不到令人满意的标准,心里特别烦躁。”韩红星向老班长诉苦。“焊工上虽然容易,但部队装备型号多样,修理环境复杂多变,没有一段时间的苦练很难独当一面。”老班长勉励他说。

“独当一面是什么概念,当时的我还不清楚,只知道要练。”那段日子,韩红星每天在操作间用废料练习,常常一待就是三四个小时。尽管戴着防护眼罩,他的眼睛还是被火光灼得刺痛,只得靠眼药水缓解。

每天待在四五十摄氏度的环境中,韩红星经常吃不下东西,肤色很快暗沉下来。老班长看到这种情况,劝他要张弛有度。韩红星总是口头答应,行动却一如既往。他心里只有一个目标:练到形成“肌肉记忆”,让每一条焊缝都达标、耐用、美观。

后来一次任务中,某舰在靠港前甲

海军某技术保障大队焊工技师韩红星——

“钢铁裁缝”这样练成

■吕惟劼 冯光明

板系缆柱突然损坏,由于故障点位于甲板边缘,焊接作业难度大,舰上几名维修人员多次尝试均无法作业。最终,他们向大队提出紧急支援保障需求。

海面波涛汹涌,甲板摇摆不止。韩红星用安全绳将身体固定在甲板边缘。为了不让海浪影响焊机走位,他用尽全身力气将几十斤重的焊机死死顶住。

恶劣工况下,平时韩红星单手能够提起的焊机仿佛重了几倍,用焊枪对准焊点极为困难。浪花时不时拍打在他的脸上,模糊了他的视线。韩红星靠着肌肉记忆,切、割、焊……一小时后,损坏部位更换完毕,舰艇顺利靠港。

如今,韩红星已成为大家眼中的技术能手,各种高难度任务和比武竞赛都能看到他的身影。上级组织群众性练兵比武,韩红星主动报名,最终进入专业决赛。

决赛场上,韩红星戴着手套进行立焊操作,炽热的焊渣钻入手套缝隙,灼伤他的手臂,韩红星却丝毫不受影响。他仔细核对着焊接角度,小心调整着电流大小,脑海里回忆着练习时的要点。由于赛前准备充分,韩红星在立焊专业比武中发挥出色。比赛结束,韩红星脱下手套,他的手臂上又新增了些许烫印。赛后,评委夸赞他说:“完成的焊缝整齐美观,不比机器焊接逊色!”

十年如一日,韩红星不知完成多少次舰艇装备抢修任务,却依然保持着刚入伍时那股敢于接受挑战的冲劲。如今,他除了日常参与装备抢修任务,还担任了培训教员。每当年轻战士们向他讨手上烫印的时候,他总是笑着说:“这都是我积累下来的‘勋章’。”

左上图:韩红星正在进行焊接工作。 吕惟劼摄