



前沿技术

仿生扑翼无人机实现跨介质飞行



仿生扑翼无人机跨介质飞行(合成图)。

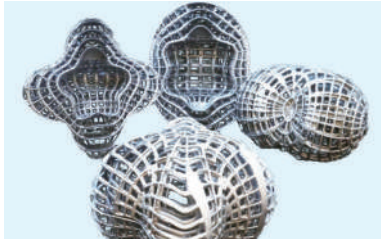
瑞士与美国联合研发出一款跨介质仿生扑翼无人机,可以像水鸟一样飞翔,也可以潜入水下滑行,破解了长期困扰业界的跨介质飞行难题。

当前海陆空天一体化侦察体系日趋完善,但海平面以下半米深的近表层水体是传统无人装备难以稳定侦测的薄弱区域。跨介质能力使无人机能够隐蔽入水侦察,再破水而出回传数据。由于海水与空气密度相差近千倍,这对无人机动力与控制提出极高要求。

跨介质仿生扑翼无人机采用轻量化机身,搭配一对柔性薄膜机翼,无复杂折叠机构。水下滑行时,机翼受水流影响减小翼面,以配合低频扑动,在空中则切换高频扑翼实现稳定飞行。实验显示,其水下滑行速度约1米/秒,空中飞行速度约6米/秒,并在1秒内完成破水起飞。

该无人机支持无线遥控,整机全防水密封。其仿生扑翼结构的雷达与声学特征微弱,可执行低空抵近侦察、濒海隐蔽潜行等任务。

三维全向热隐身斗篷可隐藏红外特征



热隐身斗篷的3D打印晶格结构。

国外某研究团队成功开发出全球首款三维全向热隐身斗篷,能使物体在红外探测设备中完全消失。

不同于以往只能在二维平面或单一角度起作用的隐身设计,这款装置通过引导热量绕过被隐藏的物体,使其在红外探测下“仿佛不存在”。

该斗篷的突破在于其复杂的3D打印晶格结构。研究人员采用高导热性铝材打印蜂窝状骨架,再用模具灌注低导热性的类橡胶材料进行填充。通过对晶格结构的三维调整,可精确调控局部的热导率,使热量沿外壳流动而非穿透内部,从而保持被保护区温度稳定均匀。实验表明,无论是面对极端温度还是复杂几何外形,该斗篷均能维持完美隐身效果,使外部红外热像仪看到的热场无异常。

该项技术在国防领域具有广泛应用前景,坦克、无人机和人员有望借此规避热追踪传感器和空中红外侦察。

球形炮塔专克蜂群无人机攻击



球形多管反无人机炮塔。

国外一家防务公司近日推出一款球形多管反无人机炮塔,专为应对200米以内的蜂群无人机攻击设计,填补分层防空体系的末端火力空白。

这款球形炮塔的球形结构上密集布设数十根固定指向枪管。当无人机从多个方向来袭时,系统无需转动枪管,直接选取指向最近的枪管开火,消除机械转动带来的延迟。

球形炮塔分轻重两型:轻型版重约20千克,配36根枪管,兼容5.56毫米步枪弹及霰弹;重型版重约40千克,配54根以上枪管,支持12号霰弹和40毫米低速榴弹,有效射程120米。探测方面,该系统采用被动模式,依靠三维声学麦克风阵列与光学摄像头融合识别目标。边缘处理器可实时完成目标识别、威胁排序与火控决策,无需外部网络支持。

该球形炮塔单套成本数万美元,单发弹药成本不足10美元,形成对自杀式无人机的交换比优势,为应对蜂群无人机提供了新选择。

(宁国强)

从“贵精少”到“廉快多”——

透视美军导弹的低成本改革

■王奕阳 王平帅

近期,美国国防部与多家军工和科技企业签署框架协议,正式启动“低成本集装箱化导弹”项目,计划在2027至2029财年采购至少1万枚低成本巡航导弹。分析认为,这一举措远非一次普通军购,它标志着美军弹药体系建设思路从过去“少而精”的高端路线,转向“低成本、大规模、快速生产”新模式,一场导弹低成本改革已悄然出现。

当高端导弹遇上消耗战

在过去很长一段时间里,以“战斧”、AGM-158B、JASSM-ER为代表的高端导弹,曾是“远程精确打击”的代名词。这类巡航导弹精度高、射程远,但成本同样惊人:“战斧”Block V单价约200万美元,JASSM-ER单价130万至190万美元,且产能较小,每年仅能生产数百枚。海湾战争中,美军累计发射近300枚“战斧”巡航导弹,精准摧毁伊拉克境内的各类战略目标,展现了远程精确打击的压倒性优势。然而,战后美军的《海湾战争精确制导武器运用评估报告》明确指出,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,持续作战会出现弹药不足、效费比失衡等问题。

近年来的地区冲突进一步暴露了这一问题。在“史诗狂怒”行动中,美军在不到4周时间内消耗了“战斧”巡航导弹近三成的储备,而该型导弹的年产量长期处于较低水平,补充库存需要数年时间。这种“高消耗、低补充”的落差,在持续高强度对抗中是致命的。更严峻的是“效费比倒挂”问题。在2023年以来的红海反无人机系列行动中,美军用价值上百万美元的防空导弹拦截无人机,陷入严重的消耗困境。这种不对称消耗模式让美军意识到,在大规模冲突中,面对数以万计的目标,依赖过去“少而精”的高端弹药路线,将使军队陷入“打不起仗”的被动局面。

从“少而精”到规模化

低成本导弹的革命性,在于它并非



“偷工减料”,而是通过全新的设计思路与制造工艺,在保证性能“够用”的前提下,将单枚导弹成本压至十几万至二十万美元,同时将产能提升至每年数千乃至上万枚。其核心技术路径可概括为四个方面:

动力系统平价化。传统巡航导弹大多配备高性能涡扇发动机,工艺精密、造价高昂,低成本导弹则改用航模或无人机使用的小型民用涡喷发动机,不仅技术可靠且价格低廉。例如,美制AGM-188A“锈匕首”巡航导弹采用捷克PBS集团生产的TJ80小型涡轮喷气发动机,推力不

到900牛,却能实现超过900千米的射程。这种“以小换大”的动力方案将发动机成本降至原来的几分之一,性能同样满足打击需求。

制导系统简单化。高端巡航导弹通常采用多模复合制导,技术复杂、成本高昂。相比之下,低成本导弹通常简化制导配置,普遍采用“惯性导航+卫星导航”方案。以“梭鱼”-500M巡航导弹为例,其制导系统约70%的组件来自商用现货,在GPS信号良好的条件下圆概率误差可控制在10米以内,即便在受干扰环境下也能维持数十米的命中精度,可



图①:美国“靶心”低成本巡航导弹。

图②:美国“梭鱼”-500M巡航导弹。

图③:美军F-16战斗机挂载AGM-188A“锈匕首”巡航导弹。



以有效打击机场、仓库、桥梁等大型固定目标。

架构设计标准化。以往巡航导弹多采用一体化设计,不同型号之间零部件互不通用,导致研发和生产成本居高不下。低成本导弹普遍采用模块化与开放式架构,弹体、动力、制导和战斗部采用标准设计,通过统一接口快速组合。这种标准化设计使得导弹生产成本大大降低,并为后续升级提供了便利。

制造工艺民用化。通过大规模引入3D打印、汽车生产线等民用技术,低

英军完成全球首次空投无人艇试验

■高化龙

据外媒报道,英国皇家海军近日宣布,在欧洲北海上空完成全球首次军用运输机空投无人水面艇试验,4次投放均顺利完成。

此次试验采用空客A400M“阿特拉斯”军用运输机作为投送载体,搭载克拉肯集团研发的K3无人艇。运输机在约400米高空释放无人艇,通过专用降落伞使其平稳降落海面。所有空投作业均在4级海况下完成,海面浪高最高可达2.4米。无人艇入水后快速启动自检,设备运行正常即投入任务。四次测试均使用同一艘无人艇,验证了装备的耐用性与可靠性。

长期以来,无人艇部署高度依赖港口、海上母舰及前沿支援舰艇,在远海及高对抗水域难以快速抵达任务区域。为破解这一难题,英国皇家海军启动“蜂巢计划”,加速自主海上无人系统列装。英国在2026年国防投资计划中承诺投入20.35亿美元发展“混合舰队”,计划到2030年代形成由数百个自主系统组成的舰队。



A400M“阿特拉斯”军用运输机空投K3无人艇。

K3无人艇长约8.4米,采用复合材料船体,最高航速55节,有效载荷600千克,可灵活配置为海上监视、基础设施保护或武装打击平台。今年3月,克拉肯集团获得英国皇家海军的巨额订单,用于在数月内交付20艘K3无人艇。今年4月,克拉肯集团与德国莱茵金属公司成立合资企业并启动量产,初期年产量约200艘,未来可扩展至1000艘。

此次试验证明,无人艇可脱离母舰或港口,由运输机直接投送至对抗海域并立即执行任务,摆脱了传统部署方式的限制。空投方案使无人艇可直接对抗水域,大幅缩短任务响应时间。运输机由此成为无人艇的“空中母舰”,实现全球快速介入。在高对抗环境下,空投部署可绕过港口和母舰等易遭打击目标,并减少对后勤节点的依赖。

据悉,“蜂巢计划”首批K3无人艇即将列装,可能部署在霍尔木兹海峡等热点海域执行战备任务。

无声突袭

■张诗宏 吕洋



上图中,两名全副武装的法国士兵骑着越野摩托车正在准备出发。值得注意的是,这并非普通的燃油版越野摩托车,而是一款专门设计的特战版电动越野摩托车。它没有燃油版越野摩托车复杂的机械结构,而是以极简的电驱结构取而代之,是敌后渗透的理想载具。

这款电动越野车采用加厚航空铝合金车架,自重40千克左右,既能保证结构的抗冲击能力,又能在紧急情况下由士兵徒手搬运。动力系统采用后置无刷轮毂电机,配合军用防水锂电池,纯电动模式下速度达55千米/小时,单次满电续航超过80千米。车辆还保留脚踏人力驱动结构,电池耗尽后可骑行前进。加宽防刺的前后车胎专为高速越野设计,能够轻松穿越沙地、碎石路、泥泞林地甚至浅滩溪流,在颠簸的路况下也能稳定前行。此外,整车还做了全

密封防水处理,雨天涉水作业不会出现电路故障。

在技术上,这款电动越野车围绕特种兵执行隐蔽作战任务进行设计。首先是良好静音效果。燃油版越野摩托车会产生巨大噪音与明显红外热源,极易被敌方捕捉。这款车的电机运转声音低于环境噪声,红外特征微弱,使得特战队员可借助植被掩护渗透敌后,完成前沿情报摸排、火力点位标记、敌后小规模破袭等任务。其次是复杂地形下的高机动能力。装甲车、全地形车车型宽大,在密林里、土路上极易被困。这款车体形紧凑,在复杂路况下的通过性强,骑行人员还能携带更多弹药、医疗物资与观测设备,能够承担补给线末端物资投送、营地周边隐蔽巡逻等任务。

不过,这款电动越野车并非完美无缺。核心短板是电池续航有限,长时间

高强度越野、爬坡会急剧消耗电量,而在野外缺少充电设备的情况下,人力骑行的速度会严重拖累行军效率,同时锂电池低温环境下还会出现续航缩水问题。加上整车没有装甲防护,车身电路、电机结构十分脆弱,一旦遭遇子弹、破片打击便会丧失机动能力。因此,该车只能作为特战任务的渗透工具,战场适用场景有限。

综合来看,这款电动越野车凭借静音、高通过性、轻量化的独特优势,有望在敌后特种作战领域站稳脚跟。只是,它不是用来正面攻坚,而是作为特战体系里的机动补充。比起一味追求机动性与火力,这种轻量化机动装备正受到越来越多的关注。



图文兵戈