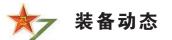
目发式

科

研

值得鼓



据外媒报道,前不久,英国海军的神剑 号无人潜艇公开亮相,受到外界关注。据 称,该无人潜艇采用模块化设计,能够在水 下航行30多天,执行情报侦察、反水雷、海 底作战、水下电子战等多种任务

2025年11月7日 星期五

从一定程度上来说,神剑号代表了当 前一些先进国家在研发无人潜艇方面的 水平。

目前,除了英国之外,美国、俄罗斯、法 国、德国、澳大利亚等国也在推进相关项 目。有的国家研制的无人潜艇已交付军队。

利技

众所周知,有人潜艇一向是各海洋国 家水下力量建设的重中之重,为什么近年 来多国先后展开对无人潜艇的研发? 各国 无人潜艇的发展现状如何? 未来会朝何处 发展?请看本期解读。

无人潜艇——

不可小觑的新型"深海幽灵"

■王奕阳 马建光

新技术向水下战场 拓展

作为各国海军装备的重要组成部 分,潜艇凭借水下游弋的隐蔽性,在反 潜反舰、对敌威慑等方面发挥着不可替 代的作用,向来有"深海幽灵"之称。

然而,随着现代科技的发展,反潜 手段越来越多,反潜装备越来越先进, 反潜力量越来越强大,各国潜艇行动时 面临的风险也越来越大。

无人化装备的快速发展及使用,引 发了一系列变化:在天空,无人机频频 现身;在地面,无人车驶入战场;在水 面,无人艇初露锋芒;在水下,无人载具 持续发展。尤其是随着通信技术、自主 控制技术、水下布放与回收技术、能源 动力技术、水下探测技术的发展,大大 小小的无人潜航器开始出现,并在很多 方面一展身手。

在这种背景下,各国的研发人员开 始思索:能不能在无人潜航器的基础上 打造无人潜艇?如此既可发挥潜艇的 已有优势,还可减轻有人潜艇在一些方 面的"压力"。

这种设想显然很有吸引力。与有 人潜艇相比,无人潜艇不用考虑生命维 持系统,可节省大量人力物力;无人潜 艇可在严酷环境中长时间执行任务,无 需考虑艇员在极限环境中的压力;它的 体积"够用就行",不用太大,因而行动 更加隐蔽;它是无人系统,即使在战时 损毁,也可以承受。

正因为有这些优势,无人潜艇迅速 成为一些国家研发的重点。

如今,各国的研发不仅使这一设想 变为现实,而且使无人潜艇的定义在实 践中变得更加明晰。

从本质上讲,无人潜艇是新技术向 水下战场拓展的产物,是一种无人驾 驶、依靠遥控或自动控制在水下航行执 行任务的智能化作战平台。

作为无人潜航器的重要子类,无人 潜艇特指用于军事用途的高端、大型无 人潜航器。它无需通过电缆与母船连 接,而是依靠预设程序、人工智能自主 完成复杂航线规划、目标识别等任务, 拥有高度的自主性,甚至拥有一定程度 的决策权。有的可配备鱼雷、导弹等武 器,像有人潜艇那样反潜、反舰或打击

英国海军的神剑号无人潜艇就是 如此。它长12米,宽2米,排水量19吨, 配备人工智能控制系统,能依托自身动 力在关键航道或敏感海域隐蔽潜伏数 周甚至数月,利用搭载的光电、声学等 传感器持续搜集水文数据并构建海底 地图,具备一定的自主作战能力。

多国竞相展开研发

当前,不少国家都在加速推进无人 潜艇的研发与列装工作。比如,澳大利 亚主导研发的"幽灵鲨"无人潜艇,已进 人生产阶段,澳大利亚皇家海军或将成 为该无人潜艇的第一个客户;美国海军 于2023年底接收了首艘"虎鲸"无人潜 艇,按计划,到2027年,该型无人潜艇交 付美国海军的数量将达到6艘以上;俄 罗斯的无人潜艇,目前已有"大键琴"系 列;法国的ECA集团则在打造"阿利斯 特"系列无人潜艇,企图让其辅助有人 潜艇执行作战任务。

在此过程中,无人潜艇的发展呈现 出一些鲜明特征。

首先,无人潜艇的"体格"大体上 相近。它们的长度一般为10余米至20 余米,直径在1米至2米之间。这是因 为,这样的"体格"能较好地兼顾隐蔽 性、经济性与搭载能力,尤其是有较大 能灵活换装侦察设备、水雷、重型鱼 的空间来携带动力组合、传感器、通信 雷、巡航导弹以及无人潜航器、声呐水









图①:神剑号无人潜艇;图②:"替代者-V"无人潜艇;图③:"虎鲸"无人潜 艇;图④:"幽灵鲨"无人潜艇。

装置和任务载荷。当然,也有一些国 家在研发"块头"更大的无人潜艇,有 的长度达到40多米,有的排水量计划 达到300吨,希望借此赋予无人潜艇更

强大的能力。 其次,功用方面同中有异。由于 各国的研发实力、具体需求等有所不 同,所研制的无人潜艇在功能定位方 面也有所不同。比如,以色列有关方 面研制的"蓝鲸"无人潜艇,基本定位 是执行情报监视侦察等任务,因此该 艇的水下感知系统性能较好,擅长搜 集目标海域情报、探测敌方潜艇和绘 制海底地图等。为便于部署,其长度 被设计为10.9米,可装在集装箱内,采 用陆路、海上或空中多种机动方式进 行部署。美国的"虎鲸"无人潜艇,定 位是能独立执行反潜、布雷、情报监视 侦察、反舰、反水雷、电子战等任务。 其长度达到26米,排水量约63吨,采 用柴电混合动力系统,拥有一个长10 米、可搭载8吨载荷的模块化任务舱,

听器阵列、通信网络节点等。俄罗斯 的"替代者-V"无人潜艇,最突出的能 力是充当"水下诱饵",能够模仿俄军 及北约各类有人潜艇的声学与电磁信 号特征,在实战中诱骗敌方反潜力量 进入伏击区,或掩护己方战略核潜艇 展开行动。当然,不少无人潜艇也会 采用模块化设计来兼具其他功能,以

便遂行多样化任务。 再次,无人潜艇起步就瞄准未来战 场。稍加观察不难发现,虽然无人潜艇 的发展较为迅速,但当前基本上还处于 "起步"阶段。以英国海军的神剑号无 人潜艇为例,虽然它在7月的"护身军 刀"多国联合演习中已投入使用,并成 功完成水下情报搜集任务,但它也是刚 刚完成泊港测试及海上测试。美国的 "虎鲸"无人潜艇已交付数年,但始终没 有可观的战绩见诸媒体,很可能还在完 善一些功能。其他国家的无人潜艇研 发也基本上处于测试阶段。不过,有一 点值得一提,那就是几乎所有的无人潜 艇"起点"都不低,从研发时起就瞄准未 海幽灵"。

习,部分展现出与其他载人平台和无人 平台进行协同的能力。英国海军人员 远程操控神剑号无人潜艇在澳大利亚 的行动,也在一定程度上体现出该艇支 持分布式作战的潜力。俄罗斯研制的 "替代者-V"无人潜艇,折射出俄军加 速推进无人智能装备与有人平台协同 作战的理念。一些国家的研发人员在 研制无人潜艇时,还考虑到集群化使用 的远景。如果这些构想都转化为现实 能力,那么,无人潜艇或将改变水下作 战的方式。

澳大利亚主导研发的"幽灵鲨"无

人潜艇,去年参加了"自主战士"2024演

或将成为水下战力 倍增器

从发展态势来看,无人潜艇的功 能,正在经历从"追赶"到"看齐"再到某 些方面"超越"有人潜艇的变化。各国 大力发展无人潜艇的目的,大体有两个 方面:一是让无人潜艇充当有人舰艇的 "耳目",成为后者的"助手";二是让无 人潜艇获得自主前出作战的能力,在一 些方面替代有人潜艇。

要达此目的,各国的研发人员还有 不少路要走。总的来说,今后无人潜艇 的研发,可能会力求在以下几个方面实

一是弥补当前无人潜艇暴露出的 一些短板。无人潜艇作为新生的水下 作战力量,当前仍存在不少问题:如大 多使用锂电池组作为动力, 航速较慢, 航程有限;一些无人潜艇尚未达到大潜 深、超静音等要求,需要研发和使用新 型材料来补齐短板;水下定位、导航与 通信能力有限,需要拿出更加高效的方 式方法来提升。只有进一步解决这些 问题,才能使无人潜艇的性能再上台 阶,安全地畅游深海。

二是让无人潜艇变得更加"聪 明"。自动化技术和人工智能的融入, 为无人潜艇实现自主行动提供了条 件。但从各国对未来无人潜艇的期望 值来看,今后的无人潜艇只有更加"聪 明",才可能担负起"水下战力倍增器" 的重任。因此,今后的研发人员会继续 为无人潜艇赋能,尤其是为其融入人工 智能和机器学习技术,使它们能在复杂 海洋环境中实现自主导航、目标识别和 任务规划,甚至能够应对突发情况并根 据战场态势调整战术。

三是大力提升无人潜艇的协同作 战能力。当前,在一些无人潜艇的研发 中,设计人员已考虑到其与有人平台的 协同,在一些演习中也折射出相关人员 力促无人潜艇与一些无人平台"联手" 的企图。但是,这种协同目前还处于较 低层次,只有多方加以改进,才能满足 未来的任务需求。另外,实现跨域协 同、集群作战是将来发展的方向。未 来,在愈加复杂的作战背景下,无人潜 艇只有进一步融入类似架构和体系,实 现更高层次上的协同,才能高效完成任

四是继续提升战场生存力。当前 的无人潜艇大都采用隐身设计,尤其 是一些无人潜艇采用了优化艇体构型 和采用吸声消磁涂层的设计。未来海 战场上,反制无人潜艇的手段会逐渐 增多,因此必须进一步提升无人潜艇 的战场生存力。在这方面,美国国防 高级研究计划局主导研发的"蝠鲼"无 人潜艇有一定代表性。通过采用仿生 外形,该机构期望其能更有效地实现 隐蔽突防。

总之,随着人工智能、新材料和能 源技术的发展,在未来海洋中,无人潜 艇很可能会从辅助装备转变为重要作 战力量。未来海战的胜负,可能不只 是取决于传统的海军舰艇编队,也同 样取决于这些潜伏在水下的新型"深

供图:阳 明

兵器论坛

前不久,俄罗斯"无人系统解决方案 中心"总设计师德米特里·库兹亚金在俄 媒发表文章,介绍了FPV无人机如何从 不被看好的"玩具",一步步演变为战场 新利器的过程。通过对该过程的分析。 他认为,采用传统的科研模式,很难率先 获得类似FPV无人机这种突破性技术 成果,如今的战场呼唤科研模式创新,尤 其是自发式科研值得鼓励

自发式科研指的是研究者不依赖机 构课题、基金项目等外部指令,完全出于 个人兴趣、好奇心及对特定问题的持续 探索,自主发起并展开的科学研究。它 的特点是"三无两自":无固定任务、无强 研的结果

德米特里·库兹亚金之所以强调和 提倡自发式科研,是基于一个事实—— 随着现代科技发展的日新月异,由传统 科研主体"包揽一切"的科研模式已经无 法适应新变化。

虽说任何新技术,只要有可能用于 军事,就必然且往往不以人的意志为转 移地首先应用于军事,但是,从技术到转 化为先进武器装备之间有一个过程。从 FPV无人机最初不被俄罗斯实力雄厚的 军队研究所、国家科研单位和军工企业 看好,而只有"无人系统解决方案中心' 这个新创企业在不断力推这一点来看, 面对同样一种新技术,各科研主体会因 所处地位、作用及所持观念、所拥有实力 等因素做出不一样的选择。

传统的科研体制,适用于对战略武 器等大型关键装备的研究。这类装备通 常影响巨大、所用技术先进复杂、投入资 金数目巨大。但是,传统的科研体制也 不可避免存在一定局限,那就是这类科 研主体在选择和确定项目时,会尽可能 地"抓大放小",忽视一些看似平常、实则 潜力很大的新技术。

在新技术不断出现且迅速发展的情 况下,鼓励自发式科研,刚好可以在这方 面与传统的科研主体形成互补。自发式 科研的实施者通常在一些方面有深入研 究,注重跟进相关新技术的发展,因而在 这些技术能否武器化方面感觉更加敏 锐。尤其对一些投资不大、回报看似较 小而战场急需或者发展前景其实相当广 阔的武器研发项目,自发式科研刚好可 以填充传统的科研体制无法覆盖到的

鼓励自发式科研,本质上是将一国 的科研工作根植于"万众创新"的土壤。 体现在武器装备研发方面,就是降低"准 入"门槛,在科学管控基础上,鼓励更多 的非传统科研主体参与一些武器装备的 研发项目,进而形成"百舸争流"的生动 局面。而要形成这种局面,需要先打通

对科研管理机构来说,要加强国防 科技创新纵向和横向的统筹,构建开放 式创新、协同式创新的体制机制,同时搭 建高效的公共创新服务平台,让更多自 发式科研实施者踊跃投身其中,通过覆 盖更多技术领域来实现研制新型武器装 备方面的突破。

对科研院所、军工企业等传统科研 主体来说,要优化军工产业结构,在健全 竞争、评价、监督、激励机制基础上,主动 让一些符合条件的自发式科研实施者参 与进来,同时积极吸纳自发式科研优秀 成果,将其高效转化为先进武器装备,不 断激发自发式科研的活力。

对自发式科研实施者来说,要树立 信心,相信在武器装备研发方面英雄不 问出处,坚信越是贴近前沿和实战就越 接近事物运行的本质与规律,从而始终 保持技术敏感性,形成科研自觉,通过孜 孜以求、百折不挠的实践,研发出好用、 管用的新型武器装备。

F-35A 在阿拉斯加坠毁——

竟然是水惹的祸

■孙翊豪 孙 斌



吴志峰绘

今年1月28日,美国阿拉斯加州艾 尔森空军基地上演了惊心动魄的一幕: 隶属于第354战斗机联队的一架F-35A 战斗机执行训练任务时失控坠毁爆炸, 现场冒起滚滚浓烟。

7个月后,美国太平洋空军司令部 发布的调查报告揭开了事故真相,起因 竟然是战机液压油中混入了约三分之一

正是这些不该出现的水分,在阿拉 斯加-17℃的极寒环境中引发连锁反 应,最终酿成事故。

在战机中,液压系统负责将能量精准 传递到机身各个关键部位,从而驱动水平 尾翼、襟副翼等操纵面实现精准姿态控 制,带动起落架完成收放动作,为机轮刹 车、前轮转弯等关键操作提供动力等。

为确保安全,战机往往会配备多套 主液压系统提高安全冗余度,配备应急 液压系统以防万一,两者共同构成战机 液压系统的安全屏障。

液压系统中的"液",是指专用液压 油,而非随处可见的水。虽然两者同样 是液体,但只有前者能同时满足传输动 能时的多种严苛要求,而水则会给液压 系统带来致命风险。

首先,液压油能在金属部件表面形 成稳定油膜,减少作动筒活塞等精密零 件的磨损,还能防止金属锈蚀。水则无 润滑作用,不仅会导致部件磨损,还会与 金属起反应生锈。

其次,液压油有良好的黏附性,能增 强密封效果,减少泄漏,在高压下不易产 生气泡,能保持动力稳定传递。水的黏 附性差,容易渗漏,且易混入空气形成气 泡,导致压力波动。

再次,液压油沸点高、凝点低,能在 温度跨度更大的环境中保持液态。水在 0℃环境中会结冰体积膨胀,在100℃时 会沸腾汽化,高压环境下水的凝点和沸 点会有变化,但仍然无法满足液压系统

因此,航空液压油的含水量标准通 常控制在0.05%以下,部分高性能液压 油的含水量要求不超过0.02%。而失事 的这架 F-35A,液压油含水量竟达三分 之一。在阿拉斯加的极寒天气中,如此 多的水分会迅速结冰,直接冻住一些关 键部件如前起落架缓冲支柱等,使事故 的发生成为必然。

按理说, 航空领域对油液防污染有 着严格要求,如液压油需用密封油桶存 放,加油前必须化验是否合格,禁止用不 洁手套、易脱纤维的工具接触加油部位, 拆下的液压系统管路接口、未装机的部 件必须立即用清洁堵头封堵或薄膜包扎 甚至油封处理等。

令人不解的是,"掺水油"还是流入 了F-35A的液压系统。

这起事故,也给其他国家的航空业 敲响了警钟:再先进的飞机,也经不起工 作中的疏漏。装备的安全,既离不开科 学的系统设计,也离不开严谨细致的基 础维护工作。



lacksquare