

装备动态

无人机可超长时间留空

激光「隔空」充电

于政侠



让无人机在空中飞行更长时间，甚至实现无限飞行，一直是各国研发人员的梦想。

如果说以前太阳能无人机、氢能无人机的出现，部分实现了各国研发人员梦想的话，那么近期美国一家初创企业的测试，则用激光“隔空”充电的方式，使无人机空中超长时间飞行又多了一种可能。

这家初创企业前不久进行的测试，主要验证了其研发的激光电力传输系统“端对端”为空中无人机充电的能力。该系统由高功率地面发射机、轻量化机载接收装置、智能化控制系统和相关先进算法组成。从工作流程上看，高功率地面发射机接到空中无人机充电的指示时，会借助光学手段跟踪无人机获得所在位置、飞行速度和角度等参数，建立与无人机的通信链路，并适时向无人机机载接收装置发出激光束。无人机接收装置则会通过内置的激光电能转换器，将接收到的激光转化为电能，为机上电池充电，借此实现无人机更长时间的飞行。

在一次测试中，该公司成功地将激光束传输到1500多米高度，并把能量精确输送到目标位置。

如果这种方式取得成功，将为各国研发超长时间留空无人机提供

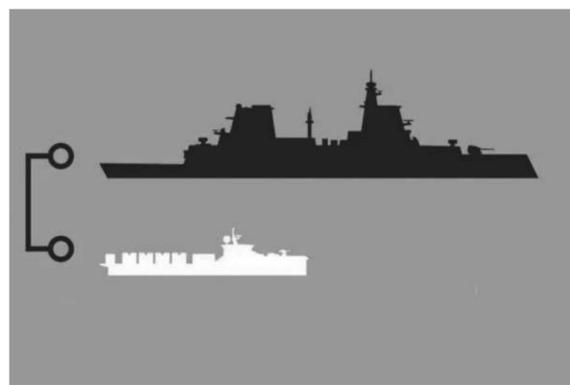
新借鉴。如果说太阳能无人机更适合在云层以上飞行的话，那么用激光“隔空”为无人机充电的方式，将使更多飞行在中低空的无人机受益。据有关资讯，该初创公司用激光“隔空”为无人机充电的方式，前期已经完成了各组成部分的测试，下一步将转向整机集成验证，并计划于今年进行首轮“完全集成”飞行测试。

至于届时其结果会如何，还需进一步观察。毕竟，在真实飞行环境中同时验证地面发射机、无人机平台和机载接收系统的协同性，并不是一件容易的事。

上图：用激光“隔空”为无人机充电示意图。

德国计划发展无人导弹武库舰

李学峰



近日，德国拟制的一份海军转型发展计划中，一种被称为无人导弹武库舰的海上作战平台受到媒体关注。

武库舰概念最早由美国海军提出，是指一种可以搭载大量武器弹药并具备持续打击目标能力的大型水面舰船。所谓无人武库舰，显然是指该水面舰船主要搭载的武器弹药是大量导弹。

近年来，随着人工智能、自动化技术进一步融入无人作战平台，德国开始将运用无人作战平台作为海军发展的重点之一。比如，该国计划建造18艘无人水面舰艇，来补充和强化轻型护卫舰力量；计划建造12艘无人潜航器，以支援和强化潜艇力量。同时，计划在2035年前建造和列装3艘大型无人远程导弹艇，也被称作无人导弹武库舰，来携带大量导弹，补充其护卫舰力量，实现对目标的高效甚至饱和打击。

据有关资料，与有人水面舰艇相比，这些无人舰艇的块头明显要小一些，在某些方面的功能却不差。无人导弹武库舰的长度约为F127护卫舰的一半，可以搭载和发

射大量导弹。比如，它可用垂直发射系统发射“标准”-2或“标准”-6导弹等实施防空任务，也可以搭载和发射“战斧”等巡航导弹打击海上或陆地目标。此外，它还可能配备一些有目的自卫武器。

这种无人导弹武库舰，具备在特定海域进行长时间巡航的能力。不过，囿于当下的条件，该类舰船也可能配备少量人员，来从事损管或应对突发性事件的作业等，但是否会因此建造生活舱间，还难以确认。

据称，该无人导弹武库舰用于大西洋海域，主要承担防空作战任务。它能借助其他舰艇的传感器来实施对导弹的制导，也能通过卫星链路获取相关数据情报。

不过，该计划目前还处于早期阶段，准备建造的3艘无人导弹武库舰，很可能是1艘保养、1艘训练、1艘出海执行任务的配置。未来其具体架构、采购数量、导弹搭载能力如何，还需要进一步观察。

上图：无人导弹武库舰(下)及F127护卫舰(上)外观大小对比图。

兵器广角

复合制导鱼雷：或将改变未来海战攻防规则

刘一澳 张承旺

特点鲜明

想明白复合制导鱼雷在水下武器库中的地位作用，先要了解鱼雷的制导方式。通常情况下，鱼雷的制导方式可概括为“三自一线”。“三自”指3种自主制导方式，即惯性制导方式、声自导方式、尾流自导方式。惯性制导方式依赖陀螺提供初始航向修正；声自导方式通过声呐系统捕捉目标声纹来识别目标，又分为主动和被动声自导两种模式；尾流自导方式利用尾流传感器探测舰艇螺旋桨留下的气泡轨迹。“一线”指的是线导方式，需要依靠舰艇上的操作人员，用放线器牵引导线传输指令。

这些制导方式各有所长，但单一使用则存在明显短板，如采用惯性制导方式的鱼雷会随距离的增加累积误差，采用声自导方式的鱼雷易受噪声干扰，采用尾流自导方式的鱼雷难以发现尾流较弱且易消散的目标，采用线导方式的鱼雷射程则会受到导线长度的限制。通过对这些制导方式扬长避短、组合运用，复合制导鱼雷由此问世——从定义上讲，复合制导鱼雷特指在标准鱼雷架构上至少集成了两种上述制导系统并形成导航网络的鱼雷。

复合制导鱼雷的鲜明特点是：从较远距离实施打击时可保证更高的精度。采用常规单一制导方式的鱼雷在水下远距离攻击目标时，常会出现航路偏差。复合制导鱼雷可以通过对不同制导方式的有效组合，如“惯性制导+线导/自导”等，利用惯性导航方式提供基础航向，再利用其他制导方式实时纠偏。

复合制导鱼雷的可扩展性较强。此类鱼雷一般会采用模块化设计，允许根据技术发展和作战需求，灵活搭配或升级制导系统组合。例如，韩国“虎鲨”重型复合制导鱼雷就可以更换不同制导模块。

制导方式的冗余机制可为该类鱼雷带来高生存力与强抗扰性。例如，俄罗斯的UGST“物理学家-2”重型复合制导鱼雷兼有线导、声自导和尾流自导功能。当它攻击一艘释放了先进声诱饵的水面舰艇时，如果其声自导系统被欺骗，则可以切换至尾流自导模式，转而追踪舰艇航行时在水面形成的独特尾流，从而绕开假目标并打击“真身”。

多维发展

复合制导鱼雷的优势源于技术融合，而其现阶段发展则体现为多维度从粗放到精细的迈进。

一是“线导+自导”串联式复合制导成为常态。目前，绝大多数先进复合制导鱼雷采用串联式复合制导，其基本思路是“划分阶段，择优制导”。例如，意大利的“黑鲨”复合制导鱼雷，在发射后初段采用线导模式，由舰艇操作员精确控制其航向，避开障碍，引导其前往最佳攻击阵位；进入中段，为降低暴露风险，复合制导鱼雷会切断导线，转入被动声自导模式，静默逼近目标；进入末段攻击时，则根据目标类型有针



图①：“黑鲨”复合制导鱼雷。图②：UGST“物理学家-2”重型复合制导鱼雷。图③：“瓦鲁纳斯特拉”复合制导鱼雷。

对性地选择尾流自导模式或主动声自导模式。这种“接力式”制导能够让鱼雷在整个航程中行动隐蔽、攻击精准高效。

二是通过优化壳体材料与外形设计，提升航深与反潜能力。现代潜艇的下潜深度不断增加，促使担负反潜任务的复合制导鱼雷也不断“下潜”。现代复合制导鱼雷多采用高强度钛合金或特种钢材制造壳体，并优化流体力学外形，以承受更强水压，适应深水作战。这种变化赋予了其双重战术价值：一方面，其自身可以在更深的水层中航行，利用深海复杂的水文环境作掩护，提升突防的隐蔽性；另一方面，它能够对深藏于数百米水下的敌方核潜艇构成威胁，拓展反潜作战的维度。

三是导线介质从“铜”到“光”转变，通信能力有所提升。早期的复合制导鱼雷普遍把铜缆作为导线，但铜缆重量大、体积大、抗拉力小，且信号在传输过程中衰减严重，进而影响到鱼雷的有效射程和控制精

度。随着光纤通信技术的发展，现代复合制导鱼雷，如美国正在研发的MK48mod8复合制导鱼雷，计划将铜缆导线升级为光纤导线。光纤直径小、重量轻，一盘50千米长的光纤重量仅几千克，能使复合制导鱼雷的射程进一步加大。同时，其传输带宽较宽，能够双向传输大量数据，不仅能将潜艇的指令清晰无误地传递给复合制导鱼雷，还能将传感器探测到的高清声学图像等信息实时回传潜艇，保密性也很强。

四是战斗部与引信技术不断进步，毁伤效能增大。现代复合制导鱼雷普遍采用聚能装药或高能混合炸药，能量密度远超传统TNT。例如，印度“瓦鲁纳斯特拉”复合制导鱼雷的战斗部可携带重250千克钝感高能炸药，可对大型驱逐舰形成威胁。同时，引信技术也从传统的触发式发展为非触发式。先进的磁引信或声引信能够在复合制导鱼雷航行至目标舰龙骨正下方时引爆，利用水中爆炸产生的

气泡效应，将舰船从中部生“折断”。

五是制导系统小型化推动了鱼雷轻型化发展。早期复合制导鱼雷因电子元器件体积庞大，多为潜艇和大型舰船使用的重型鱼雷。随着微电子技术的快速进步，制导系统在性能更强的同时体积大幅缩减，这使得研发高性能的轻型复合制导鱼雷成为可能。瑞典萨博公司研发的SLWT复合制导鱼雷，在400毫米直径壳体内容纳了先进的声自导和线导系统，不仅可以由水面舰艇、直升机搭载，用于攻击常规潜艇和小型水面目标，甚至可作为“反鱼雷鱼雷”使用。

智能融合

未来，复合制导鱼雷将向更智能、低成本等方向发力，出现如下几个方面的趋势。

引入新型制导技术。未来的复合制导鱼雷制导系统将不再局限于声学及尾流技术等，诸如量子磁力制导技术等将会融入其中，形成一种全新的探测手段，尤其适合在声学环境恶劣或对付静音潜艇时使用，鱼雷的探测精度将更加多元，抗干扰能力呈指数级增长。

制导趋于智能化。当前的串联式复合制导方式虽然有效，但本质上仍依靠“公式化”的预设程序。未来，AI的引入将使复合制导鱼雷变得更加“聪明”，能根据传感器实时获取的战场环境数据，如目标机动规避方式、敌方干扰类型与强度、海洋环境变化等，自主分析、实时决策，动态选择最优的制导模式组合或切换时机，甚至能预测敌方下一步行动并提前规划作战方案和攻击路径。

并联式制导将成“新宠”。如果说串联式制导是“轮流上岗”，那么并联式制导就是“多管齐下”。未来复合制导鱼雷将不再满足于在不同阶段切换单一制导模式，而是追求多种传感器在同一时间协同工作。这种多源信息融合处理能够生成一个远比单一信息源更准确、更稳定、可信度更高的战场态势图，有效辨别假目标和干扰信号，高效完成对目标的探测、识别和锁定。

低成本化与规模化更受关注。一枚先进的复合制导鱼雷造价动辄数百万美元，如此高昂的成本在大规模冲突中将给使用者带来巨大经济压力。因此，研发“低成本”复合制导鱼雷，将成为重要发展方向。例如，2024年美国提出的“快速采购鱼雷”项目(RAPTOR)，旨在通过简化部分非核心功能、优化生产工艺等方式，制造出数量庞大、能满足大规模饱和攻击需求的低成本复合制导鱼雷，与少量高性能鱼雷形成“高低搭配”的格局。

虽然复合制导鱼雷发展前景广阔，但同时也存在一系列技术新难点，例如如何确保新型制导系统稳定性、AI处理器如何在高压环境下可靠运行、有无能有效支撑并联式复合制导模式的算法等。

如果这些难题被攻克，新一代“水下杀手”威力将更加强大，并可能在一定程度上改变未来海战场的攻防规则。

本版供图：阳明

八字”，行进间射击基本靠运气。而采用液气悬挂技术的坦克能快速调整悬架，把路面冲击过滤掉八成以上。它相当于给火炮搭建了一个动态的软平台，有助于坦克快速调整到最稳射击姿态。

当然，液气悬挂系统也有短板。在复杂地形条件下，一块拳头大的飞石砸中悬挂压力传感器，就可能致致整车当场“趴窝”，而传统扭力杆坦克则皮实得多。如果发生油液泄漏，也有可能致致车体失衡。这些情况，倒逼着工程师想方设法增强其可靠性。

当前，液气悬挂系统已成为现代坦克的标配。部分国外型号的坦克将其与主动悬挂系统结合使用，有的型号则将悬挂系统与火控系统深度融合，以实现行驶和射击的无缝切换。

今后，各国研发人员势必会进一步挖掘液气悬挂系统的潜力。比如，在无人化趋势下，将它与激光雷达联动，让后者提前扫描路面并实现自主调整；如果磁悬浮技术实现小型化，也可能出现“液气—磁浮”混合动力悬挂，让坦克实现“贴地飞行”。眼下最实用的操作，是把悬挂数据接入全车信息网，让乘员看见“坦克怎么走”，进而形成人、车、地形的智能化联动。

“坦克鞠躬”背后的技术密码

赵一博

兵器知识



吴志峰绘

液气悬挂技术的成熟应用，让现代主战坦克具备了较好的姿态控制能力。在战场上，时常能看到这样一种现象：坦克

在占领射击阵地时，车头会主动下沉3至5度，炮管随之下垂，数秒后平稳复位。这个被业界形象地称为“坦克鞠躬”的动作，

正是液气悬挂系统在发挥作用。传统坦克悬挂多采用扭力杆或钢板弹簧，相对固定，遇到复杂地形只能硬扛冲击。液气悬挂则像给坦克安装了“智能关节”——用油液传递压力，用高压气体充当弹簧，用电控阀门实时调节悬架行程。这种结构让数十吨重的坦克动作和缓了许多。

“坦克鞠躬”的专业名称叫“俯仰姿态调整”。车长按下专用按钮，液压泵会瞬间给前悬挂油缸增压，让车头下沉3至5度，火炮俯角能多出2度以上。别小看这点角度变化，在城市环境中，它能让坦克提前瞄准一楼窗口的目标。射击结束后，系统泄压回正，整个过程不过数秒，比传统坦克调整身位快得多。

这种动作在高原山地作战中更实用。普通坦克在碎石路上颠簸，炮口晃得直“画