封闭海域的“信号情报船”

■刘一澳 卑诗淳

近日，波兰海军为其首艘信号情报船“耶日·罗日茨基”号举行下水仪式。官方数据显示，该舰长74米、宽14米，装备电子情报系统和声呐侦察模块，将重点加强波兰在波罗的海复杂信号环境下的情报侦察能力。

全球范围内，像波罗的海这样水文复杂、航道密集、岛屿众多且地缘价值突出的封闭海域，一直是多国海军情报侦察活动的“聚集区”。这类海域独特的信号环境和战略价值，让能在复杂环境中完成深度渗透、精细侦察的信号情报船，成为多国海军重点关注和研发的目标。

波兰海军“耶日·罗日茨基”号信号情报船。

环境复杂 侦察受限

所谓“封闭海域”，通常指四周被大陆或群岛环绕，仅通过狭窄海峡与大洋相连的海域。这类海域的信号环境条件具有以下几个特点。

首先是“浅”。封闭海域通常平均水深不足100米，在浅水环境下，声信号会在海面和海底间反复折射、反射，形成复杂的混响，给水下目标侦察带来挑战。

其次是“挤”。狭窄的海域内挤满民用航道、渔区以及沿岸多个国家的军事港口和雷达站，导致海域上空的电磁频谱异常拥堵，信号的筛选和识别较为困难。

最后是“杂”。封闭海域通常具有曲折的海岸线、众多的岛屿及复杂的海底地形，这些因素导致信号传播路径复杂多样，影响信号的准确接收和处理。这些因素共同作用，使得封闭海域的信号环境呈现出高度复杂性和不确定性，对信号的接收、处理和目标识别提出更高要求。

信号情报船，又称电子侦察船，是海军重要的情报支援平台，主要用于在不暴露己方意图的前提下，通过搜集、分析对方各类电磁信号（包括雷达、通信、声呐等）为作战指挥提供关键情报支持。在封闭海域执行任务的信号情报船通常采用中型设计，船长约100米，满载排水量3000至4000吨，最大航速20节左右。这类舰船配有多型高灵敏度电子侦察设备，其中全频谱电子支援系统是其核心装备，可实现对低频至极高频范围内所有信号的侦收。

针对封闭海域的特殊作战环境，此类舰船通常还集成有先进声呐侦察系统（如拖曳阵列声呐），用于水下目标的探测跟踪。为应对信号处理问题，这些舰船多集成高性能计算机与多元传感器系统，提升实时分析与情报分发能力，确保在复杂战场环境下仍能保持稳定的情报保障能力。

多域侦察 平战结合

在封闭海域的军事博弈中，信号情报船的作用贯穿于平时与战时，主要有以下3个方面。

一是构建水上电磁信号数据库。在封闭海域，沿岸国家的军事部署密度高、更新快。信号情报船通过长期、系统的抵近侦察，能够精确采集岸基雷达站、防空系统、舰载电子设备等目标的电磁频谱特征，包括脉冲宽度、重复频率、调制方式等关键参数。通过对这些数据的深度分析，可准确识别目标型号、作战用途及部署位置，进一步掌握对手装备的运行规律、维护周期及战备状态变化，最终形成高价值的电磁态势数据库，为战时行动提供精准的“电子作战地图”，预先标定对手关键雷达、通信节点以及火力单元位置与特性等。例如，今年5月，法国海军“迪皮伊·德·洛梅”号信号情报船在波罗的海执行任务期间，便对区域内舰船进行持续信号监控，并将获取的雷达及通信数据录入相关数据库。

法国海军“迪皮伊·德·洛梅”号信号情报船。

二是布设水下声学探测反潜网。封闭海域水浅多礁的特点，为中小型常规潜艇提供天然的隐蔽条件，也给传统反潜手段带来严峻挑战。反潜机投掷的声呐浮标覆盖范围有限，易被沿岸国家侦测；卫星猎潜的遥感器易受复杂环境中各种水文条件与非目标信号的干扰。在此背景下，信号情报船的机动式声学侦察能力显得尤为重要。它们可以像猎人一样，在关键水道或潜艇可能出没的海域进行长时间监听，捕捉数公里外常规潜艇发动机的微弱噪音或螺旋桨的特定声纹。北约数据显示，德国欧斯特级信号情报船曾多次使用被动声呐侦听声学信号，为德国联邦国防军提供反潜战情报支持。

三是充当实时情报网络连接点。封闭海域的冲突往往具有突发性强、节奏快、决策时间短的特点。如突发冲突，信号情报船可摇身一变成为“前线情报员”，压缩“从侦察到打击”的时间链，提升体系作战效能。如果信号情报船侦测到对方舰队的火控雷达已锁定己方舰艇，可立即通过高速、保密的数据链，将预警信息和雷达参数共享给整个编队，己方舰艇可进行针对性战术规避与反击。同时，如果其声呐系统探测到有潜艇正在接近，也能实时将方位信息传送给反潜直升机。数据显示，挪威海军“玛利亚娜”号信号情报船通过数据链，反馈电磁信号源定位信息，使导弹拦截率提升近20%。

面临考验 未来可期

尽管信号情报船在封闭海域的军事博弈中发挥着重要作用，但在高强度对抗环境下，这类舰船正面临着日益严峻的双重考验——信息处理的“过载危机”与战场环境的“生存困境”。

一方面，在充斥着海量信号的封闭海域中，如何从大量数据中快速、准确地筛选出具有军事情报价值的关键信号，是对舰载系统处理能力和分析人员的较大考验。传感器的物理极限与瞬息万变的战场需求间存在较大差距，大量无关民用信号挤占了宝贵的处理资源和分析精力。另一方面，信号情报船通常武备薄弱，自卫能力有限。比如，法国某型信号情报船仅配备两挺12.7毫米M2重机枪。此外，封闭海域几乎没有战略纵深，一旦冲突爆发，这些高价值、低防御的目标将成为对手首轮打击的重点。

为应对这些挑战，多国海军正从3个维度推动技术革新。

在信号处理层面，基于深度学习的智能分析系统或成为破局关键。未来的信号情报船将尝试引入基于深度学习的智能分析系统，自主学习和甄别海量信号，并对异常、未知或高威胁的军用信号进行标记、分类和预警。

在作战模式方面，“母舰+蜂群”的分布式侦察体系正逐渐形成。信号情报船作为指挥中枢，可协同多型无人平台构建立体侦察网络。无人机负责扩展侦察半径，无人艇则深入高危水域执行抵近侦察。这种模式不仅分散了风险，更将大幅提升侦察效率。

在生存能力建设上，新一代信号情报船正朝“隐身化+自卫强化”的方向发展。瑞典“阿尔忒弥斯”号信号情报船，在设计之初就将雷达、红外和声学特征的隐身处理作为其重点研发目标之一。未来，加装更先进的电子战武器、诱饵发射装置乃至近程防空导弹等硬杀伤武器，也将成为提升信号情报船战场生存力的重要选项。

从波兰海军新船下水可以窥见，在地缘政治热点地区——封闭海域中，集电磁、水声等多域侦察能力于一身的信号情报船，已成为衡量一支海军现代化水平和联合作战能力的重要标尺之一。然而，信号情报船能否在未来战争中成为掌控封闭海域制信息权的关键，仍需时间来验证。

土耳其混合定向能武器系统亮相

■蒋红磊

近日，在土耳其伊斯坦布尔国际国防工业博览会上，一款名为“阿尔卡-卡普兰”（Alka-Kaplan）的混合定向能武器系统引发广泛关注。该武器系统由土耳其罗克特桑国防工业公司和FNSS公司联合研发，结合了FNSS公司的“卡普兰”混合动力装甲车与罗克特桑国防工业公司的“阿尔卡”激光定向能武器系统，旨在应对日益严峻的无人机威胁。

资料显示，“阿尔卡-卡普兰”混合定向能武器系统车长5.6米，宽3米，高2.4米，乘员5人，战斗全重17.5吨，工作温度范围覆盖零下32摄氏度至49摄氏度。该武器系统采用FNSS公司研发的新型混合动力技术，配备2台永磁同步电动机，持续功率397马力，峰值功率617马力。同时，该武器系统还搭载了一台400马力柴油发电机、两挡变速箱以及800伏56千瓦时锂离子电池，功率重量比达22至35马力/吨。这种新型混合动力技术不仅为车辆提供了强劲动力，还可为能耗巨大的激光武器系统提供充足能量支持。

分析人士表示，新型混合动力技术赋予该武器系统较好的机动性和隐蔽性，其最大公路速度达65公里/小时，0至32公里/秒加速时间小于6秒，续航里程525公里，可跨越0.75米高的垂直障碍物及1.8米宽的壕沟。在纯电动模式下，该武器系统能实现静音驾驶并操作车载系统进行侦察和通信，大幅降低声学和热信号特征。在静音行驶模式下，该武器系统以10公里/小时的恒定速度可连续行驶20公里；在静默监视模式下，关闭空调后，可连续运行48小时。

此外，新型混合动力技术还显著减少该武器系统的废热和噪音排放，同时提升续航能力。该技术利用电动机的能量回收特性，在制动过程中将车辆的动能转化为电能并储存到电池组中，从而有效降低对战场液体燃料的依赖。

“阿尔卡-卡普兰”混合定向能武器系统另一大优势是集成“阿尔卡”激光定向能武器系统。该系统由土耳其罗克特桑国防工业公司开发，于2023年量产，是一种双层超近距混合防空系统，可使用电磁干扰武器或激光武器对无人机进行干扰或打击。不过，此次亮相的“阿尔卡-卡普兰”混合定向能武器系统仅配备激光定向能武器，未搭载电磁干扰装置。据悉，其激光定向能武器由3个激光器和1个光电摄像头组成，可360度旋转，最大有效射程随功率变化而调整。

此外，“阿尔卡-卡普兰”混合定向能武器系统尾部集成的相控阵探测雷达，可同时跟踪约100个目标，激光定向能武器系统可通过雷达实现对威胁目标的精准探测与跟踪，并结合AI辅助图像处理技术自动检测和跟踪目标，降低误报率。

分析人士指出，“阿尔卡-卡普兰”混合定向能武器系统堪称强强联合。一方面，新型混合动力技术使其具有高机动性、高隐蔽性和操作灵活等显著优势；另一方面，激光定向能武器系统在反无人机能力方面表现突出，使得该武器系统在国际市场上具有较强出口潜力。当然，该武器系统也存在明显缺点：比如激光定向能武器系统体积较大、射程较短，且攻击所需时间较长，这在一定程度上制约了其实战效能和市场竞争力。

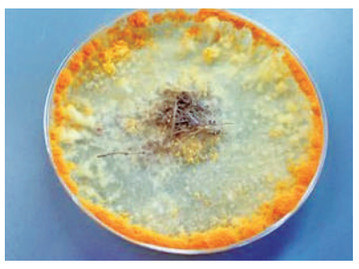
“阿尔卡-卡普兰”混合定向能武器系统。

“卡普兰”混合动力装甲车驾驶舱。

“卡普兰”混合动力装甲车乘员舱。

前沿技术

新活体材料自带修复力



正在培育中的粗糙脉孢菌。

据外媒报道，美国蒙大拿州立大学的研究团队通过培养真菌的菌丝体与细菌细胞，在较低温条件下获得一种类似骨骼和珊瑚的坚硬活体结构材料。该材料具有自我修复的特性，未来可用作建筑材料，成为传统高碳排放建筑材料（如混凝土）的环保替代品。

据报道，当前，菌丝体在包装领域主要作为生物基复合材料的支架，应用广泛。受此启发，研究团队通过对粗糙脉孢菌的深入研究，成功利用其菌丝体制造出类似骨骼和珊瑚的结构材料，其强度和韧性显著提升。与现有的其他生物基材料相比，这种新型活体结构材料至少可在一个月内维持稳定性能。

下一步，研究团队计划通过延长细胞存活时间、优化材料结构以及开发量产制造方法，进一步提升这种生物材料的实用性和可持续性。

仿生膝关节假肢更灵活

新型仿生膝关节假肢。

近日，美国麻省理工学院研究人员开发出一种新型仿生膝关节假肢。与传统假肢相比，这种仿生膝关节假肢不仅能够帮助膝上截肢者实现更快的行走速度，还能让他们轻松完成爬楼梯和跨越障碍等复杂动作。

新型假肢的技术核心在于与人体肌肉和骨骼的深度整合。研究人员采用“激动剂—拮抗剂肌神经元界面”手术方法，重新连接断肢肌肉以提供感觉反馈并产生控制电信号。同时，他们将钛棒植入断肢股骨，并内置16根导线收集肌肉电极信息，构建一套智能假肢系统，该系统能读取肌肉信号并指挥假肢做出相应动作。

研究人员表示，这种组织整合式假肢稳定性较高、可控性较好，能给截肢者带来更强的“肢体归属感”。实验显示，该系统的受试者在精细控制和动态平衡任务上的表现显著优于传统假肢使用者。未来这项技术有望提升截肢者的行动能力和生活质量。

“果冻电池”柔软可拉伸

仿生“果冻电池”。

据外媒报道，英国剑桥大学研究人员受电鳗启发，开发出一款柔软可拉伸的“果冻电池”。这种电池具有自我修复功能，呈胶状，能够拉伸至原长度的10倍以上，而且不影响其导电性能。相关论文发表在最新一期《科学》杂志上。

这款“果冻电池”采用水凝胶材料，其设计灵感来源于电鳗的发电细胞分层结构，通过离子而非电子导电实现能量传输。与传统材料不同，当“果冻电池”受到拉伸时，其导电性能并不会随之下降。这一突破得益于其独特的分子结构，该结构确保了各层之间具有强大的黏合性，即使在拉伸状态下，各层也不会分离，从而保持稳定的导电性。

这种电池的柔软特性，有望用于可穿戴设备、软体机器人或生物医学植入物中。研究人员表示，“果冻电池”不含刚性金属，不易被人体排斥或导致疤痕，且能自我修复。目前，团队正计划在实验中用活体来测试这款“果冻电池”，以全面评估其在多种医疗应用场景中的适应性和安全性。

（张诗宏、陈李辉）

社址：北京市西城区阜外大街34号 邮政编码：100832 发行电话：（010）68525572 每周一、二、三、四、五出版 全年定价150元 零售每份0.57元 承印单位：解放军报社印刷厂（地址同社址）