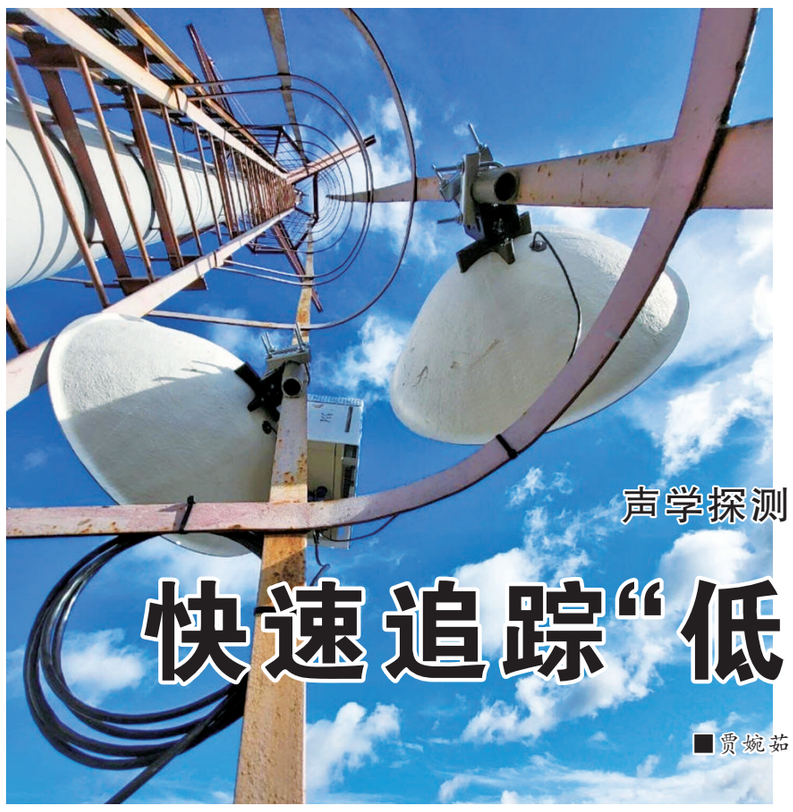


低空防御常常面临这样的尴尬：雷达屏幕上看不出异常，小型无人机已悄然抵近。这类目标飞行高度低、速度慢，反射截面积小，雷达回波常常淹没在地表杂波里。如果无人机再保持无线电静默，靠截获遥控信号发现目标的射频侦测技术同样难以奏效。此时，还能靠什么完成先期预警？

近年来，一种仅被动接收声音、不主动向外发射探测信号的声学探测设备，逐步走向低空防御前沿。它填补了雷达对“低慢小”目标的探测盲区，验证了一条电磁频谱之外的探测途径：从声音入手。

声学探测设备——

快速追踪“低慢小”无人机

■贾婉茹　潘佳琪

声音成为探测手段

将声音作为探测手段并不新鲜，如声呐、炮兵声测设备、窃听器和地面传感器等，都是利用声波特性进行目标探测，但用声音探测小型无人机，则是近年来地区冲突催生的新思路。

无人机飞行时，高速旋转的螺旋桨会产生低频噪声，电机也会产生高频电磁噪声，两者叠加形成具有谐波特征的声信号。不同无人机的声信号特征各不相同，可以用来区分机型，甚至区分同一机型的不同工作状态。

过去，依靠人耳从复杂的背景噪声中分辨特定声音十分困难，人工智能技术的发展显著提升了这一能力。深度学习算法能从风声、鸟鸣、车流声等混杂噪声中分离并提取出无人机的声信号特征，再比对声纹样本库完成目标识别。例如，挪威一家公司开发的声学探测系统，利用机器学习算法分析螺旋桨的声学特征，完成对目标的探测、分类与跟踪。

声学探测设备的价值由此显现：雷达看不见的目标，它听得见，即使是不发射无线电信号的光纤无人机，也照样能被它捕捉。它只听不发，隐蔽性强，不易被电子侦察定位。更重要的是，声学探测设备成本低廉，可以实现大量布设，扩大覆盖范围。

多点组网追踪目标

声学探测设备有个先天局限：单个探测节点只能确定目标的方向，无法给出精确位置。解决办法是组网。当至少3个分布在不同位置的传感器同时探测到同一架无人机时，每个传感器提供一条方位射线。这些来自不同节点的射线在方位空间中交汇，交汇点就被解算为无人机的精确坐标。参与交会的节点越多，定位偏差就越小。

近年来，多国将声学探测设备投入实战使用。这些声学探测设备的技术架构高度相似，基本都采用“感知—边缘处理—网络传输”分层设计。

感知端负责“收声”，通常由定向抛物面反射体或麦克风阵列构成，目的是在背景噪声中把来自特定方向的声音分离出来。

边缘处理端负责“初判”，由设备自带的单板计算机运行分类算法，先滤掉风声、车流声、鸟鸣等噪声，再判断目标类型，输出目标方向、时间等信息。

网络传输端负责“解算”。通过汇聚各节点的方位数据，交叉验证后完成三角测量交会，得到目标轨迹，随后推送给火力单元等。

声学探测设备的主要优势在于成本低、抗毁伤能力强。成本方面，一套防空系统单价动辄数亿美元，而单个声学探测设备的成本仅数千美元，即使组网使用，整体造价也远低于一套防空系统。抗毁伤能力方面，防空雷达探测距离远、精度高，但作为高价值目标，一旦被摧毁，其探测覆盖区域会出现防空漏洞。声学探测设备则不同，其探测节点分散在数百个地点，即使若干节点受损，也不影响整张探测网络正常运行。

远程探测有限

声学探测设备并非万能，其短板至少有三。

一是受环境影响较大。城市噪声、工业噪声、海浪声和大风等，都会抬高环境背景噪声级，缩短声学探测设备的有效探测距离。风与温度变化会导致声波折射，城市建筑群还会引起声波多次反射与散射，进一步降低目标探测与定位精度。

二是低噪声目标探测难度大。采用低噪声电动推进的无人机声学特征较弱，可能使漏警率升高。

三是探测距离有限。单个声学探测设备对小型四旋翼或第一人称视角（FPV）无人机的有效探测距离有限，通常只有数百米至数千米，留给拦截的时间很短。另外，现有声学探测设备在稳定测试环境下虚警率较低，但战场环境复杂，一旦对手释放宽带噪声压制或布设声学诱饵，可能导致漏警率升高、虚警风险增大，探测可信度随之下降。

因此，声学探测设备在低空防御体系中的定位是“补盲”而非“取代”，即弥补雷达、光电设备在超低空、近距离和复杂遮挡条件下对“低慢小”目标探测的不足。未来，声学探测设备可融入防空探测体系，作为低空预警的前沿补盲节点，在雷达保持电子静默时段发挥预警作用。同时，将声学探测初判与射频侦测结果相互印证，降低虚警率。声学探测的价值不只是“听得远”，更是在复杂低空环境中能及时发现抵近目标。

左上图：安装在高塔上的声学探测设备，能够探测到小型无人机发出的噪声。

“阿尔法”自主水下航行器——

能悬停的水下“排爆手”

■史　斌　刘鸿宇

近期，英国近海水域的一场反水雷演示引发关注：一架小型无人潜航器由母船释放后，自主潜航至目标附近，静止悬停，将装药精准布设在目标水雷上，随后撤离至安全距离，伴随水声起爆信号，目标水雷被远程销毁。执行这一任务的是新加坡BeeX公司研发的“阿尔法”轻型悬停式自主水下航行器，它也是今年无人化反水雷领域的一款焦点装备。

“阿尔法”与保持鱼雷外形、只能持续向前航行的水下潜航器的最大区别，是能够在水下稳定悬停、定点保持位置，这也是它能近距离完成水雷处置作业的重要前提。普通水下潜航器航速快、适用于大范围搜索作业，但无法定点悬停；遥控式水下潜航器能悬停，但受缆绳约束，无法自由行动。“阿尔法”通过矢量推进具备六自由度运动能力，可在允许的水下深度范围内定点悬停，弥补了前两者的不足。

排雷作业过程中，操作人员通过笔记本电脑在后方进行操控，“阿尔法”自主抵近目标附近稳住姿态，通过声呐与摄像头完成识别检查，确认目标后投放遥控排爆模块，后退至安全距离并触发起爆。起爆装置采用声波传递指令，无需线缆连接。

“阿尔法”机体紧凑，仅重53千克，可装入小型携带箱，能够手动布放，无需吊车与潜水作业组。能量来源为两块500瓦时（Wh）锂离子电池，续航2至8小时。它支持无缆独立作业，可多机同步投放，能够从无人水面艇、巡逻艇、护卫艇等小型艇上释放，人力和经济成本优势明显。

不过，“阿尔法”的瓶颈同样明显。100米的耐压深度使其无法前往深水区作业，续航也难以支撑大面积雷区搜索，作业半径受限于投放点周边水域；单平台逐点搜索能力有限，需依赖集群与轮换部署。其载荷以传感器为主，对复杂引信水雷的处置需借助外部灭雷装置，自主识别与处置技术尚未完全成熟。此外，其在对抗条件下的生存能力也尚未经过检验。



“阿尔法”轻型悬停式自主水下航行器。



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）