



法国“阵风”战斗机的RBE2-AA机载有源相控阵雷达。



俄罗斯米格-35战斗机的Zhuk-AE机载有源相控阵雷达。



美国F-35战斗机的AN/APG-81机载有源相控阵雷达。

有源相控阵雷达

先进战机的『千里眼』

■于斌

在美以对伊朗军事打击行动期间,美军宣称“战斧”导弹是“零伤亡”打击利器,射程远、精度高、破坏力强,几乎无法被拦截。事实真是如此吗?本文从技术角度剖析“战斧”导弹的软肋,分析伊朗如何利用低空补盲雷达和多层火力网拦截“战斧”导弹。

“战斧”的优势与软肋

在美以对伊朗军事打击行动中,“战斧”导弹作为美军核心打击武器备受关注。“战斧”导弹是全世界最先进的全天候巡航导弹之一,中远程射程(460至2500千米)能实现对敌“零伤亡”作战,高爆杀伤战斗部破坏力惊人,配合复合制导技术,圆概率误差不会超过10米。不过,“战斧”导弹的软肋同样明显。其最大飞行速度仅0.74马赫(亚音速),只比民航飞机稍快,且空中机动性差、采用预设航线,即便能以低空飞行,仍会被地面防空系统发现、跟踪并击落。此次作战中,伊朗曾多次击落“战斧”导弹。

4月8日伊朗革命卫队宣布,前一天(4月7日)伊朗国家综合防空系统成功拦截多枚“战斧”导弹和其他巡航导弹,并拿出照片为证。当记者就此事向美方求证时,美方显得十分尴尬。

如何击落“战斧”

美方声称,在此次军事打击行动中“战斧”导弹百发百中,无一被拦截。而伊朗方面多次表示,来袭的“战斧”导弹大部分都被拦截。情况究竟如何暂且不论,就目前公开资料分析,至少以下几点已成事实。

一是“战斧”导弹确实多次被拦截,有残缺照片为证。不过,声称大部分“战斧”导弹被拦截有夸大之嫌。二是拦截

“战斧”导弹并无太大技术难题,理论上“战斧”导弹有许多克星。

伊朗拥有哪些“战斧”导弹的克星?伊朗方面表示,国家综合防御系统是其中之一。伊朗国家综合防御系统整合了伊朗所有反导资源,包括俄制S-300-1、S-300-2防空系统和“铠甲-S2”弹炮合一系统,以及伊朗国产远、中、近程防空系统。这些武器系统性能互补,由伊朗革命卫队统一指挥,能够对来袭导弹进行多层反导拦截。其中,S-300-2防空系统作为S-300防空系统的最新改进型号,低空作战性能强,是拦截“战斧”导弹的关键装备。

美国《航空周刊》杂志日前刊文指出,伊朗国家综合防御系统是“战斧”导弹的克星。其关键的两个子系统,一是“铠甲-S2”车载中近程弹炮合一系统,反应快、火力猛,专打低空小目标,是“战斧”导弹的直接杀手。二是低空补盲雷达,使“战斧”导弹贴地飞行的优势全无。此外,还有伊朗自行研制的“马吉德”近程防空系统也是拦截“战斧”导弹的主要装备。

普通雷达由于地球曲率、地面杂波等影响,很难发现低空目标,加上最新升级的“战斧”导弹配备敌情告警装置,一旦发现被雷达锁定,导弹会自动降低飞行高度,加大敌方探测难度。此时,低空补盲雷达就显得特别重要。公开资料显示,S-300-2防空系统的最低作



美军军舰发射“战斧”导弹。

战高度是10米,理论上完全有能力发现和拦截超低空飞行的“战斧”导弹。另外,伊朗的“马吉德”近程防空系统采用无源探测技术,比一般低空补盲雷达

在军事新闻报道中,我们常常听到这样的描述:某型先进战斗机配备了采用氮化镓材料的有源相控阵雷达,具备强大的探测能力和优异的综合性能。什么是有源相控阵雷达?它为何被视为衡量战斗机先进水平的关键指标?本文为您一一解读。

何为“相控阵”

现代空战的胜负,很大程度上取决于机载雷达的性能,而机载雷达的性能又首先取决于雷达体制。雷达体制是指雷达工作的技术方案,打个比方:就像汽车发动机,气缸越多、排量越大,动力越足。传统机械扫描雷达与相控阵雷达的不同,正是技术方案带来的差距。

传统机械扫描雷达依靠马达带动天线来回转动,雷达发射机产生的信号通过天线向外辐射,形成一个有限角度的探测扇面。为了覆盖更广阔的空域,天线必须不停地来回摆动,就像人要看清四周需要左右摇头一样。这种机械扫描方式虽然扩大了探测范围,但弊端也很明显:设备复杂、扫描速度慢,多目标监视能力弱,难以做到全域全时监视。面对高速目标或瞬息万变的战场,传统机械扫描雷达显得“力不从心”。

相控阵雷达的出现,从根本上解决了上述问题。“相控阵”三个字精准概括其技术原理:“阵”是指多个独立的天线有规则地排列组成的天线阵列,这些天线协同工作,具备大型天线功能;“相”是指雷达波的相位,即电磁波在一个周期中所处的位置。“控”是指通过计算机对每个单元发射或接收信号的相位、幅度进行精确调节。通过控制各单元之间的相位差,利用波的干涉原理,雷达可以在空间中合成特定方向的波束,并灵活调整波束指向。整个过程无需任何机械运动,因而被称为“电子扫描”。

相比机械扫描雷达,相控阵雷达的性能优势明显。首先是响应速度。电子扫描在微秒至毫秒内可完成波束指向变化,没有机械惯性,能够瞬间完成“视线转移”。其次是多目标处理能力。一部相控阵雷达可以同时形成多个独立波束,边扫描边跟踪,极大地提升了目标容量。再次是可靠性。由于取消了沉重的机械驱动系统,不仅减轻了重量、缩小了体积,也消除了机械磨损带来的故障隐患。可以说,相控阵雷达让战斗机告别过去“摇头晃脑”的工作方式,拥有“眼观八方”的本领。

有源与无源之别

根据每个天线单元是否具有收发组件(T/R组件),相控阵雷达分为无源相控阵雷达和有源相控阵雷达。两者外观相似,但内部结构和工作原理大不相同。

无源相控阵雷达只有一套发射机和一套中央接收机,阵列中的天线单元不产生电磁波,只负责将发射机送来的信号转发出去,或将接收到的信号传回接收机,这就是“无源”:天线自身不对外发射信号。这种结构的缺点很明显,一旦

发射机或接收机损坏,整部雷达就会瘫痪;信号在传输过程中有损耗,限制了雷达的整体性能。

有源相控阵雷达则完全不同。它的每个天线单元都配备独立的收发组件,每个收发组件能独立发射和接收雷达信号,这就是“有源”的涵义——每个天线单元都是一个微型雷达。这种设计优势明显:

一是极高的系统可靠性。即便部分天线单元的收发组件损坏,其余天线单元仍能正常工作,整部雷达只是性能略有下降而不会彻底失效。这就像蜻蜓的复眼结构,即便损失少量小眼也不影响整体视力。

二是灵活高效。有源相控阵雷达可以根据任务需求,动态调配阵列中的不同天线单元。例如,让一部分天线单元执行警戒监视任务,另一部分休息,从而实现长时间持续工作;也可以集中调动多个天线单元同时对同一目标进行高精度探测,满足火控探测需求;还可以将大量能量汇聚到某一个方向,实施高功率电子攻击。这种“能量管理”能力是无源相控阵雷达不具备的。

三是更优的探测性能。由于收发组件靠近天线单元,发射信号不必经过长距离传输,损耗低。另外,多个组件功率可叠加,使得总发射功率远超无源体制,这意味着更远的探测距离、更高的分辨率和更强的抗干扰能力。

氮化镓助力更强劲

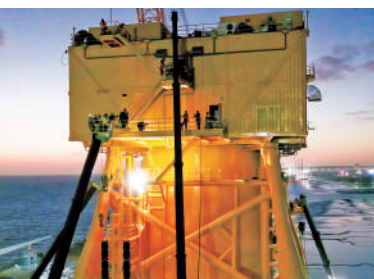
相控阵雷达的核心是收发组件,而收发组件的性能,在很大程度上由制造它的半导体材料决定。最初一代相控阵雷达的收发组件采用以砷化镓材料制造,虽然有高频性能强等优势,但也存在功率受限,难以进一步提高探测距离等问题。新一代氮化镓材料的运用,极大地提升了相控阵雷达的功能上限。

通常,为了提高雷达的发射功率,需要为发射机施加更高的电场能量,很多材料在高电场环境下会被击穿,失去了绝缘能力,强大的电流还会把收发组件烧毁。氮化镓的核心优势是其击穿电场是传统材料的10倍,且耐高温高压,可在更苛刻的环境中稳定工作,实现更高的发射功率。同时,氮化镓具备电能转换损耗低的特性,相同功率下耗电量更少,能更好地满足战斗机长时间工作要求。此外,在相同功率下,氮化镓制造的收发组件体积仅为传统硅基器件的1/4,更适合作为机载设备。

先进的材料和先进的工作体制结合,使得有源相控阵雷达成为五代机的“千里眼”,也是四代机技术升级的首选方案,越来越成为各国技术竞争的焦点。

前沿技术

全球首个海底数据中心投入运行



海底数据中心在海面以上的平台。

近日,全球首个实现“海上风电直连+海水自然冷却”的海底数据中心在上海临港正式启用。

据报道,该项目建设总投资16亿元,总规模24兆瓦,分两期实施。项目将海洋冷却、风电供电、模块化建设与智能化运维进行融合,实现了海上绿色电力与海底算力的协同发展,为破解人工智能时代算力激增与能源紧缺的矛盾提供了“中国方案”。

“海风直连”是将海上风电与海底数据中心直接连通的供电模式,通过专属海缆,将海上风电直接输送至海底数据舱,提升能源利用效率,降低传输损耗。

大多数陆上数据中心在运行期间,都需要大量冷却系统支撑,冷却环节的用电占总耗电量的25%至40%,同时还要消耗大量淡水资源。随着人工智能算力需求激增,其用水、用电问题日益引发外界关注。联合国大学、环境与健康研究所发布报告指出,到2030年,全球数据中心的用水量可能达到9.3万亿升,相当于撒哈拉以南非洲13亿居民一年的生活用水量。在这一背景下,将数据中心搬入海底,将大幅减少对陆地淡水资源的依赖。

可直接喷涂的雷达吸波涂层问世



采用新型雷达吸波涂层的无人机。

据外媒报道,土耳其一家防务初创企业推出一种可直接喷涂于飞机表面的雷达吸波涂层,以低成本、易部署方式实现无人机隐身性能的跃升,打破了目前飞机隐身技术成本高等局限。

该雷达吸波涂层以玄武岩、浮岩等天然火山岩为主要材料,通过微观孔隙结构吸收雷达波并将其转化为热能,无需复杂精密的制造工艺。该材料可直接喷涂在任何飞机包括无人机的表面。测试数据显示,这种雷达吸波涂层对雷达波的吸收强度远超普通隐身涂层,能显著降低机体的雷达反射截面积。

可手动部署的无人地面车辆出现



侦察无人地面车辆。

近日,国外一家防务企业推出一款可手动部署的微型侦察无人地面车辆,专为高危、高密闭环境下的战术突入任务设计。

该无人地面车辆总重仅2.6千克,可由单兵快速投掷至目标区域,实时回传视觉、热成像与音频数据。其车身强化结构可承受5米自由落体冲击,落地后自动翻正车身,并能穿越楼梯、瓦砾堆等复杂地形。

该无人地面车辆集成增强型光电/红外摄像头、照明系统、双向音频通信设备和加密低延迟数据链路,确保在低照明度与干扰环境下的持续侦察能力。该无人地面车辆与同公司的“黑蜂4”纳米无人机共享通用控制器,操作员无需切换设备即可无缝管理地面与空中平台,实现跨域不间断监控。

(子渊)