近年来，在一些军事热点地区，防空导弹与来袭空中兵器对抗激烈，各有胜负。“矛”利“盾”坚，对防空导弹来说，更多的“对抗”则是发生在战场之外。对更高、更快、更准的防空能力的追求，一直让各国角力不断、你追我赶。

近年来，美国一直在为“爱国者”防空系统赋能，使其可以使用体量更小的PAC-3导弹，增强末段反导能力。俄罗斯于去年4月再次试射了新型反导导弹，该导弹甚至被一些西方媒体描述为“具有反卫星能力”。更多的国家也在跟进。以色列不断提升“铁穹”系统及“塔米尔”拦截弹性能，韩国则制造和列装了“天弓2”防空导弹系统。今年11月，伊朗国防部也公布了巴瓦尔-373防空导弹系统的升级型，导弹射程显著增加。

那么，各国为何对防空导弹青睐有加？当前发展进程如何？今后朝哪些方向发展？请看解读。

在矛盾交锋中“突围”

——透视防空导弹的进化之路

■陈云昌 张 媛 王 皓

图①：可由S-300F及S-400防空导弹系统发射的48H6E防空导弹；

图②：S-400防空导弹系统；

图③：“爱国者”防空导弹系统发射PAC-2防空导弹；

图④⑤：S-500防空导弹系统及其发射40N6M防空导弹。

资料图片

兵器广角

战火催生，防空导弹成为“天网”重要支撑

防空导弹的作用有多大？从两场战事之中可窥一斑。20世纪80年代发生的贝卡谷地之战，以色列空军的大编队机群攻击时，如入无人之境。原因在于，攻击前，以军已摧毁了叙利亚位于此处的19个“萨姆”-6防空导弹系统。

而在1973年的中东战争期间，借助同样的“萨姆”-6防空导弹，埃及和叙利亚曾击落以色列空军数十架战机，一度成为后者的“噩梦”。

一得一失、一胜一败之间，尽显防空导弹的地位、作用，也使其有了“广袤长空的‘守门员’”之称誉。

从飞机投入战争的那一天起，防空就成了各国高度关注的课题。早期的战机飞行高度、速度有限，防空舞台上的主角是高射机枪、高炮。随着科技的发展与战机性能的提升，防空导弹开始强势崛起并担当主力。

1944年，德国研制出了地空导弹“瀑布”，之后又在短时间内秘密研发“龙胆草”等多型陆基防空导弹。在此期间，美、英试制了“小兵”“助手”等海基防空导弹，进而拉开了导弹撑起“天网”框架时代的幕布。

自诞生以来，防空导弹在战火考验中不断发展，现已有百余种型号。它们中既有可以直接扛在士兵肩上的单兵便携式导弹，也有由数十辆车载设备构成的高空远程防空导弹系统。

一般来说，防空导弹的主要构件有弹体、弹上制导装置、战斗部、动力装置以及气源、电源等。它的威力大小，不仅取决于导弹本身，还和整个系统包括发射装置、目标搜索指示系统、地面制导系统、技术保障设备等息息相关。换句话说，负责探知目标的预警侦察系统、负责紧盯并辨识锁定目标的指示系统、负责指引导弹完成姿态调整的制导系统等共同组成了防空导弹打击目标的整个链条。

就防空导弹弹体本身而言，决定其性能高低的因素很多，如气动外形、发动机、导引头、引信研制水平等。以引信为例，飞行末段，引信会不断探测弹体与目标的距离，一旦足够近就引爆战斗部，随即产生大量破片打击目标。先进的引信可以将爆炸位置控制得比较精确，专门打击驾驶舱、油箱或发动机等要害部位，进而使防空导弹呈现出不同的战技术性能。

多年来，防空导弹的功能在不断拓展。如今，它们中有的能拦截来袭战斗机、直升机、无人机、巡航导弹、空地导弹，有的还能承担反导和反临近空间目标等任务，从而成了织就现代“天网”的重要支撑。

需求拉动，与空袭之“矛”斗法中不断升级换代

空袭之“矛”愈尖锐，防空之“盾”就愈坚厚。防空导弹在与空袭之“矛”斗法中不断“生长”，至今已经历了四代变化。

第一代防空导弹于20世纪50年代装备，主要用于拦截高空轰炸机和高空侦察机，如美国CIM-10A“波马克”、苏联SA-2等。第一代防空导弹体积庞大、稳定性差且几乎没有抗干扰能力，但它的出现使防空作战能力发生了质的飞跃，其突然性和威力深刻影响了空袭样式、指挥策略、交战规模等。

在该代防空导弹压制下，20世纪60年代，空中进攻开始转向低空和超低空突防。与此同时，更复杂的巡航导弹如BGM-109“战斧”出现。第二代防空导弹以拦截低空、超低空目标为主，强调快速反应，采用大量新技术新体制，在导弹推力、系统自动化、整体小型化和电子对抗能力等方面水平明显提升，如苏联SA-6、法国“响尾蛇”、美国“霍克”、英国“山猫”和“长剑”等都是如此。这一代防空导弹有的经历多次改型后目前仍在服役。

20世纪80年代，针对第一、二代防空导弹战术特征，特别是单目标通道的特点，空袭样式转变为在干扰机掩护下实施多波次、全高度、高密度的饱和攻击。为适应这一新变化，第三代防空导弹转向对高中低空和远中近程各类目标实施全方位拦截，强调抗干扰、抗饱和攻击、全空域拦截能力。该代防空导弹系统大都采用相控阵雷达和复合制导体制，同时高性能固体火箭发动机、计算机技术等得到广泛应用。比如，美国“爱国者-2”、俄罗斯9M96E、48N6E2等弹型。

20世纪90年代起，空中舞台“高、快、远、隐”各路新星“你未唱罢我登场”，第四代防空导弹随之诞生。该代导弹增大了射程，提高了制导控制精度和快速反应能力，还具备一定反隐身目标及防空反导一体化能力，可对大气高层和大气层外目标实施直接碰撞。其代表型号有俄罗斯S-400使用的40N6E和S-500使用的40N6M导弹、以色列“箭-3”导弹等。

多头并进，防护、抗击覆盖面立体式扩大

进入21世纪，世界新军事变革迅猛发展，战争形态发生深刻嬗变，空天作战高度融合。这一严峻形势，倒逼着世界各国在防空导弹研发上不遗余力，呈现出如下特点：

不同型号同步研制。防空导弹在覆盖低、中、高空和近、中、远程方面各有优长。因此，不少国家通过同步研制不同型号和对其混编使用来扩大防护覆盖面。如美国通过“萨德”系统和“爱国者-3”导弹实施末段高低两层防御；俄罗斯S-300、S-400使用48N6、40N6型防空导弹等承担中远程防空，“山毛榉”系列导弹承担中低空、中近程防护，“铠甲”和“道尔”则承担末段防御任务。

族谱化、系列化发展。通过模块化、通用化、弹族化设计来增强防空导弹发展延续性和可扩展性，已成为不少国家的共识。这样，就可以借助一次次“小步快跑”，来实现导弹性能的快速提升，适应新任务。其中，较有代表性的有AM-RAAM、ASTER、“标准”系列等。如“标准”系列，先后经历了“标准-2”“标准-3”“标准-6”等型号，弹径始终保持不变，共用一级发动机，主要通过导引头和发动机等关键部位的更换或改良，来满足不同作战需求。

持续推进导弹组网作战。与空袭武器弹药的高机动性相比，防空导弹可防御的区域相对有限，因此各国一直在探索“互为手眼”的方法，寻求导弹组网作战。近年来，一些国家已开始着手发展防空导弹网络化作战统一制导体制、互操作系统、高精度雷达组网技术等，其目的就是将不同区域的防空导弹系统连接成一张网，借助算法优选出更合理的拦截方案，用处于最佳位置的防空导弹来实施拦截。

向“天”向“快”寻求新能力。近年来，一些国家开始将防空导弹所打击目标扩展至空天侦察手段、临近空间飞行器、高超声速武器等新型威胁。2021年，以色列和美国宣布合作研制“箭-4”导弹以应对新型远程导弹和高超声速武器；俄罗斯将服役的S-500和正在研制的S-550，据称都将装备77N6-N、77N6-N1导弹，可以拦截高超声速飞行器甚至太空目标。

打造灵动之“镖”快速补位。针对无人机、巡飞弹等“新生代势力”带来的近程低空威胁，防空导弹也在以变制变，呈现出低成本、高精度、强火力等新趋势。如以色列“铁穹”系统能以卡车和拖车为“坐骑”，部署灵活，在面对火箭弹攻击时，可在短时间内预判弹着点，自动计算拦截可行性并实施拦截。便携式防空导弹也在因时而变，如美国“毒刺”、英国“星光”、俄罗斯“雷霆”等，几乎可“傻瓜式”操作，能对低空、超低空飞行的战斗机、直升机和无人机造成更大威胁。

一弹多用，或将以更精准“手法”织密天网

进攻与防御是战场上一对永恒的矛盾，在彼此制约的同时又促进了相互的飞跃式发展。在体系化对抗增强、新威胁纷至、作战形态发生根本性变革等新情况下，未来的防空导弹或将在以下几个方面继续发力：

提升在复杂战场环境中作战能力。防空导弹今后将面临高超声速打击武器、新型隐身战斗机、隐身无人侦察机、智能察打一体无人机等多种“对手”的挑战，加上防区外精确攻击、远程强渗透攻击、蜂群式无人化智能打击等新攻击形式的出现，防空导弹将不得不在适应复杂战场环境方面再进一步，如提升反应速度、增强抗毁性和抗复杂电磁干扰能力等。

进一步一体化、通用化。一体化既指对防空导弹弹载设备进行一体化设计，使导弹在“瘦身”同时搭载更多有效载荷，也指对发射装置进行一体化设计，使多种类型的防空导弹可“共享”一种发射装置，大幅提升发射效率。通用化，则指实现军种间通用和导弹部件通用，改变弹族种类繁多的局面。如俄罗斯S-300实现了海、陆、空三军通用；以色列的“铁穹”系统新近推出了舰载版等。

借助智能化和多能化提升抗击效力。在智能决策方面，防空导弹或将实现目标自动识别，并具备目标切换、动态规避等功能；在体系贡献度方面，未来防空导弹还可能被赋能用作探测器，获取最前沿信息回传后方，或作为运载平台将多枚子弹药“快递”至预定空域；在多目标打击能力方面，未来防空导弹或将实现多类目标智能应变打击、跨介质追击目标等；在协同方面，防空导弹或将通过网络联通“组团”作战，在多套防空系统数据支援、接力制导下，实现多枚导弹协同攻击目标。

供图：阳 明

两栖战车水上倾覆事故：

“因水而生”却“为水所困”？

■刘 奎 孟祥辉 林 臻

兵器知识

近年来，世界各国在水上训练发生倾覆的两栖战车不少。今年10月13日，美海军陆战队一辆新型轮式两栖战斗车辆训练时又在海浪中倾覆。

因水而生又为水所困，两栖战车为何频发此类事故？除了车辆突发故障又“屋漏偏逢连阴雨”遭遇恶劣海况外，倾覆事故的发生，还和其固有结构特征及运行原理有关。

纵观世界各国的两栖战车，其车型车体都不算大。与拥有较好稳定性和抗风浪性的大型舰船相比，两栖战车在广阔的大海中论块头只算是“一片树叶”。其随波逐流、随浪起伏的特点更加鲜明。一旦海浪过大，其发生倾覆的概率就会猛增。

因此，世界各国对两栖战车在海上的使用有诸多限制。即使一些先进国家的两栖战车，允许航行的海浪高度也不超过1.22米（三级浪）。这些限制，在一定程度上标示出了两栖战车海上“行驶”的禁区。这些“禁区”的设立与否，与两栖战车的浮力储备系数、耐波性和密封性等息息相关。

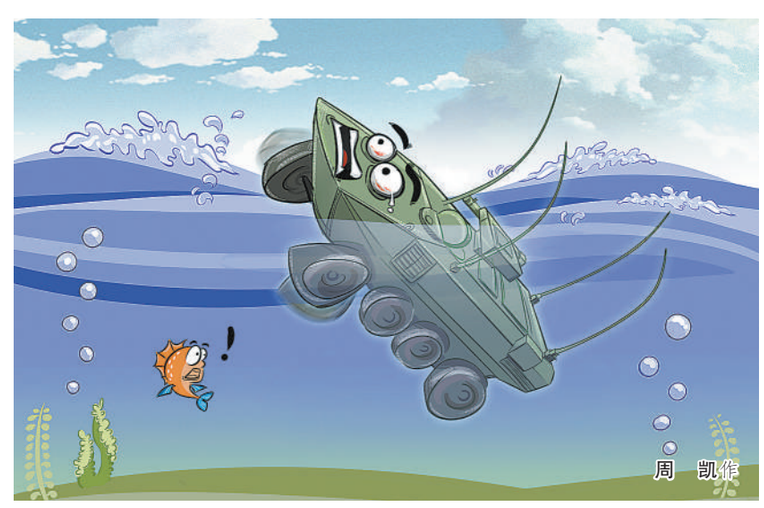
浮力储备系数是指两栖战车的浮力储备与车辆战斗全重的百分比，该系数越大，两栖战车抗风浪、抗沉没的能力就越强。浮力储备也不是越大越好，过大的浮力储备会导致车辆体型庞大、适航性降低。通常，两栖战车的浮力储备为25%~30%左右。海上航行时，随车携带的物资重量不能超出两栖战车承载能力，进入车内的水量也不能超过战车的浮力储备，否则很容易造成战车倾覆。

耐波性通常是指两栖战车在一定风浪条件下持续稳定航行的能力，包括车体在受外力发生倾斜而在外力消失后能自动恢复原来平衡状态的能力。然而，耐波性也有“天花板”。如果海况恶劣，产生的回正力矩不足以克服侧倾力矩，那么战车就会倾覆。因此，驾驶员使用两栖战车时均会重视“安全航行海况”或“安全航行海浪高度”等参数，来保证在波浪中安全航行。

这其中，最具危险性的海况是穿越碎浪区。在众多两栖战车可通行的海况中，碎浪区表面看起来并不是最恶劣的。然而，危机往往潜伏在看似安全的地方。碎浪区内的波浪不是规则的正弦波形浪涌式状态，而是呈现出运动方向、波浪高度较为破碎而随机的状态，其成因之一是海底凹凸不平的地貌。这种“碎浪”更容易使两栖战车“纵摇”或“横摇”。如果这种“碎浪”导致的“纵摇”或“横摇”达到一定强度，就可能使两栖战车倾覆。

两栖战车驾驶员的技术素养对海上安全行驶也很重要。有经验的驾驶员一般都会注意观察波浪发生规律，适时调整车辆迎浪航行，减小车辆横倾的机会。

综上所述，两栖战车在海上训练或执行任务是否存在“行驶”禁区，既和战车本身的性能有关，也与人的能力素质息息相关。当前，不少国家的两栖战车通常采取以下措施来保证其训练安全。首先，确定海上环境是否为安全航行海况，超出规定等级的就视情叫停。其次，下水前重点检查车身密闭性以及动力系统、水上推进系统的状态，避免战车在海上航行时发生故障。再次，强调驾驶时保持车体稳定，以减小车辆横摇幅度。尤其是在由海上陆过程中，面对松软的泥质水际滩头或处于水陆工况转换中的碎浪区域时，尽量避免停顿和斜切上岸，以免发生车轮淤陷、翻车等事故。



周 凯作

托盘弹药赋能运输机：

“二传手”变身“主攻手”？

■李由之 苏 健 高 凯

装备动态

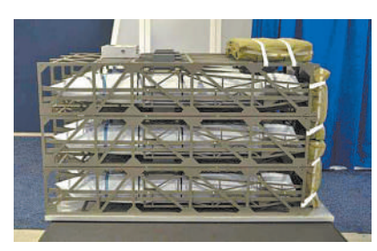
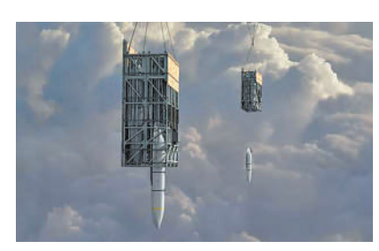
最近，美国空军测试的“迅龙”托盘弹药武器系统引起各国媒体关注。该系统有可能把运输机这一昔日的“搬运工”“二传手”，变为实施防区外打击的“主攻手”。

将武器装备和作战人员等运送到较远地方，是运输机的传统使命。运送到目的地后，一些导弹会按要求分配，包括挂载到轰炸机上，然后再实施相应打击任务。“迅龙”托盘弹药武器系统的现身，在一定程度上改变了这种流程，使运输机“我运弹药我发射”成为可能。

从网上出现的该系统发射实弹的一些画面来看，“迅龙”托盘弹药武器系统由滚装托盘、模块化框架或“部署箱”、巡航导弹、信息接收控制装置等组成。由于采用了模块化设计，每个托盘可根据运输机内部的实际情况选择不同的载弹数量。运输机内部容量一般较大，因此可搭载多个此类托盘。

发射时，“迅龙”托盘弹药武器系统先从机尾被拖带到机外，类似重装空投方式。然后，在降落伞作用下，系统会利用滞空时间按先期输入的指令，一一向下释放出巡航导弹。随之，导弹弹翼和尾翼张开、发动机启动，并通过调姿直奔目标。

客观来说，该系统的出现，进一步拓展了运输机的功能，可在特定情况下迅速增加空中打击力量，使饱和攻击的实现变得更加容易。但从本质上来说，它像该国也曾试验将轰炸机用作运输机一样，只是对现有武器装备功能的挖潜。

有外媒分析认为，此举虽有一定创新和优点，如火力配置选项增多、输送火力较强、未来可适用机型较多等，但弊端同样不少。比如，此举将挤占战时运输机资源、对现有感知分析决策体系形成新冲击、所用导弹价格不菲等。

随着该项目取得实质性进展，一些媒体已开始推测其服役后可能带来的影响。但作为在研新装备，它今后是否能成为美国空军打击力量的组成部分，研发者对它的期许如携带和发射滑翔炸弹、反舰导弹、空射水雷、巡飞弹等能否最终实现，还需要时间来证明。