兵器广角

据外媒报道，巴基斯坦陆军近日成功试射“法塔赫-2”增程型高超声速弹道导弹。导弹点火升空后按预定弹道飞行，精确命中预定目标。该武器系统配备先进导航装置和航空电子设备，依托独特飞行轨迹和机动性能，可高精度打击目标并突破敌方导弹防御系统。

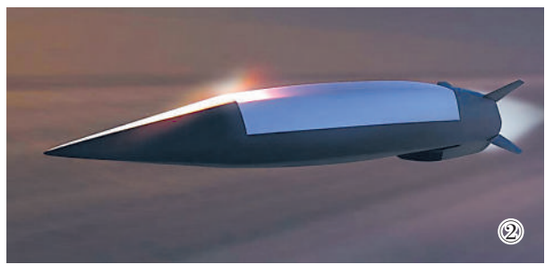
其他国家也正在加快高超声速武器研发部署。前不久，美国空军在澳大利亚一处靶场完成“高超声速攻击巡航导弹”（HACM）首次飞行试验；韩国首次试射自主研发的高超声速滑翔飞行器……试验研发、技术突破、实战运用相互交织，表明全球高超声速武器发展正呈现多维突破特征，传统反导体系的“盾牌”正面临高超声速突防利器的加速冲击。

当高超声速武器以速度挑战传统反导体系，一系列问题随之而来：高超声速武器究竟发展到了何种水平？其战术性能优势如何？未来实战运用面临哪些挑战？请看本文解读。

高超声速武器：以快破局的突防利器

■卢永泓 刘沁予 张 煌







图①：伊朗“法塔赫-2”高超声速导弹；图②：美国“高超声速攻击巡航导弹”；图③：俄罗斯“榛树”高超声速导弹。

资料图片

从“概念验证”到“实战检验”，高超声速武器正在加速完成跨越

“天下武功，唯快不破。”突破现有反导体系拦截、掌握高速打击优势，一直是各军事强国竞相追逐的目标。

速度，是军事对抗中永恒的变量。高超声速飞行的概念，早在20世纪30年代就已提出。奥地利工程师尤金·桑格尔设想以火箭动力实现10马赫级的临近空间飞行。此后，各国围绕这一设想展开理论探索和早期试验。20世纪50年代，美国通过相关高超声速研究计划推动X-15试验机研制，并在试验飞行中创造了当时有人驾驶飞机6.72马赫的速度纪录，为高超声速武器研究积累了宝贵数据。然而，20世纪60年代之后，随着洲际弹道导弹和侦察卫星出现，高超声速飞行器部分战略需求被替代，加之技术瓶颈制约，其发展一度放缓。

冷战结束后，世界大国着眼谋取核常兼备的战略主动权，重新将目光投向这一领域。各军事强国围绕超燃冲压发动机和助推滑翔技术路线展开密集飞行试验，不断突破技术瓶颈。20世纪90年代至21世纪初，美国先后实施“高超声速-X”计划和X-51A“乘波者”项目，其中X-43A验证机在2004年试飞中速度达到约9.6马赫，创下吸气式飞行器速度纪录。俄罗斯同期也开展大量技术验证，并于1998年实现超6.4马赫的飞行速度。这一阶段的探索，为高超声速武器后续的技术突破和实战化应用奠定了基础。

进入21世纪，为应对日益发展的导弹防御系统，世界主要军事大国持续投入高超声速武器研发，推动技术验证转向型号研制，少数国家率先实现从试验平台到武器系统的跨越，高超声速武器发展进入快车道。美国先后推出“常规快速全球打击”计划、“先进高超声速武器”（AHW）、HTV-2“猎鹰”高超声速滑翔飞行器等多个项目，但多因技术难度大而延期。俄罗斯依托苏联时期技术遗产，在这一阶段实现较快突破。2017年底，俄军“匕首”高超声速导弹开始试验性战斗值班，据俄方公布数据，其速度约10马赫且具备机动变轨能力。

现如今，高超声速武器正从试验场走向列装与实战，全球研发格局由大国主导转向多国扩散，世界多个国家围绕高超声速武器的研发竞争日趋激烈。据外媒报道，近期俄军使用包括“榛树”高超声速导弹在内的多种武器，对乌克兰境内相关指挥目标实施打击。据报道，这是“榛树”导弹自2024年底以来第三次投入实战，也是高超声速武器从实验研发走向战场运用的一个缩影，高超声速武器在实战中呈现出由单一突防向体系突击演进的趋势。与此同时，美国空军研究实验室与商业火箭发动机公司Ursa Major合作，完成“Draper”液体火箭发动机首飞测试，推动高超声速武器推进系统向可规模化生产方向发展。

三重特质相辅相成，共同支撑起高超声速武器撼动传统攻防体系的底气

现代战争中，传统反导体系通常按“预警—跟踪—拦截”的链条运转，其前提是能预判来袭目标的飞行轨迹。高超声速武器的出现，恰恰打乱了这一前提。

速度与机动的结合，是高超声速武器突破防御体系的首要条件。传统弹道导弹沿抛物线飞行，轨迹相对规整，反导系统有较充足时间预判弹道、预设拦截点。高超声速武器则不同，它既可在大气层内横向机动，也可在末段改变航向，绕开敌方重点防御方向，使按预定弹道组织拦截的机制失效。长期以来，“铁穹”防空系统以反应快、自动化程度高、可多目标拦截等优势，被以色列视为重要防空盾牌。但据外媒报道，在2026年3月美以伊冲突中，伊朗发射的“法塔赫-2”高超声速导弹仅用7分钟，便突破“铁穹”防御网络，对美以关键目标构成实质性毁伤威胁。这种速度与机动相结合的突防方式，使防御方预警和拦截窗口被大幅压缩，传统“以盾制矛”的格局受到动摇。

而让这种速度转化为实际战果的，是对打击时间窗口的有效压缩。现代战场上，机动导弹发射车、航母编队等高价值目标机动性强、暴露时间短，传统巡航导弹准备流程较长、飞行速度较慢，抵达目标区时往往已错过打击时机，且途中易被预警拦截，需要密集投入才能奏效。

高超声速武器则能在较短时间内抵达目标区。据俄方公布，俄海军“戈尔什科夫海军上将”号护卫舰曾发射“锆石”高超声速巡航导弹，数分钟内飞行400余公里命中海上目标。同样的距离，亚音速导弹所需时间要长出数倍。时间差带来的直接后果，是防御方从发现目标到组织拦截的余地被大幅压缩。不仅如此，部分高超声速武器在飞行末段还可机动搜索、修正，不必沿预定弹道直扑坐标。快，压缩了对方的反应时间；变，增加了对方的拦截难度。两者叠加，使其在打击时敏目标方面具有明显优势。

高速本身所蕴含的动能，同样是不可忽视的毁伤要素。传统导弹主要依靠战斗部装药毁伤目标，装药量越大，弹体越重；高超声速武器则以自身高速飞行形成毁伤。以5马赫以上速度撞击目标，即使战斗部质量有限，也能对加固工事、舰体等目标形成有效破坏。由此带来的是设计上的余量：战斗部可以适当减重，省下的重量可用于增加燃料、延长射程或增强机动。一减一增之间，高超声速武器的效费比优势随之显现。

从快而多变的突防，到分秒必争的快打，再到以速度弥补装药的毁伤，三重特质相辅相成，共同支撑起高超声速武器撼动传统攻防体系的底气。

谁能率先实现技术与体系的深度融合，谁才能在未来战场上占据先机

尽管高超声速武器在实战检验中展现出传统导弹难以比拟的速度优势和打击优势，但面对现代复杂战场环境，追求高速攻击也带来一系列特有技术挑战。速度是一把“双刃剑”，既赋予其远超传统导弹的打击能力，也给自身埋下技术隐患。

高超声速武器最直接的技术瓶颈，是极端环境下的适应性问题。飞行过程中产生极端高温，对耐高温材料及配套热防护技术提出很高要求，二者缺一不可。美国X-51A“乘波者”项目自21世纪初启动研制，研制试验期间在技术层面实现多项创新，但组装配套后因控制系统不成熟、系统稳定性不足等原因多次试射受挫，甚至发生偏离航线自毁、飞行途中解体等事故，暴露出单项技术突破与系统集成之间的落差，相关试验计划最终作出调整。更棘手的是，高超声速飞行中容易出现“等离子体鞘套效应”——导弹外部剧烈摩擦产生等离子体层，会在一定频段内衰减、散射无线电信号，干扰制导系统接收雷达信号或卫星数据。这意味着导弹在末段飞行中可能面临制导信息断续甚至短时中断等状况，影响精确锁定目标和修正能力，命中精度随之下降。

此外，当前高超声速武器发展还面临动力系统发展的瓶颈。发动机是高超声速武器的“心脏”。吸气式高超声速巡航导弹所需的超燃冲压发动机技术制造难度极高，目前仅有极少数国家掌握。主要应用于助推滑翔飞行器和巡航导弹的固体火箭发动机，其产能、材料和工艺都受到相关技术的制约。此外，传统高能液体燃料在储存和操作上要求极为苛刻且具有高度危险性，长期以来是推高系统成本和后勤保障难度的因素之一。

更需警惕的是，技术竞赛之外的规则真空同样在扩大。高超声速武器核常界限模糊，飞行时间短、决策窗口窄，容易引发误判和危机升级，相关透明度和核查机制仍存在明显空白。技术跑在规则前面，风险往往在无人预料处累积。

挑战总是与机遇并存。高超声速武器已从技术验证阶段进入实战部署与扩散的新时期，其“快、准、变”的突防优势正在改写攻防规则，但技术成熟度、成本可负担性和防御体系构建仍是制约其大规模列装的关键瓶颈。在这场关于速度与突防的竞赛中，谁能率先实现技术与体系的深度融合，谁才能在未来战场上占据先机。

兵器动态

“雷霆”倾转旋翼无人机——

低空突击编队迎来“自主僚机”

■王莉萍 李月朋



前不久，在英国范堡罗国际航展现场，一款名为“雷霆”的倾转旋翼无人机以全尺寸样机形态正式公开亮相，引发广泛关注。

这款无人机由美国安杜里尔工业公司与阿彻航空公司联合研发，可充当低空战场的“忠诚僚机”，与“阿帕奇”武装直升机等有人平台编队协同，执行低空突防任务。

近年来，“忠诚僚机”作战概念加速演进，但全球已公开的项目大多集中于空军固定翼平台，主要担任中高空制空和纵深打击任务，起降多依托固定机场跑道，难以适配陆军航空兵贴地突防、前沿分散部署、近距火力支援的作战节奏。而近年来的局部冲突实践表明，随着便携式防空导弹、低成本巡飞弹广泛应用，低空作战“死亡区”持续扩大，传统有人武装直升机的突防代价显著上升，生存压力持续加大。

“雷霆”正是瞄准这一现实痛点提出的解决方案。该机整体采用传统倾转旋翼布局，兼顾垂直起降能力与高速飞行性能；搭载的串联混合动力系统，带来可观的航程与续航表现，有效拓展任务覆盖范围。更为关键的是，该机设计中运用最优转速倾转旋翼技术，可随飞行阶段动态调整旋翼转速，既能降低巡航阶段功率需求和燃油消耗，又能抑制声学特征，提升低空突防生存能力。

在任务能力层面，“雷霆”采用高度模块化设计：机头与机身中部均设置可重构载荷舱，机身主弹舱可分别搭载10枚空地导弹、16枚空射效应装备或76枚70毫米火箭弹；机头任务舱可搭载动能拦截弹发射装置，为其自身提供主动防御。两处载荷舱均能兼容电子战套件、扩展传感器、通信载荷等多样化任务模块；结合内置传感套件，还可独立完成侦察监视、目标捕获等任务，战场角色灵活多变。

值得关注的是，研发方没有单纯将“雷霆”定位为传统低空突击编队的“力量倍增器”，而是提出“友好参与者”的设计理念。依托态势感知、自主控制和协同任务自主软件，该机无需对现役有人平台加装配套软硬件，飞行员也无需手动操控，即可自主编队伴飞、共享战场信息、响应作战意图、执行作战指令。较低的适配成本使其能够深度嵌入现有低空作战体系，成为可靠的“自主僚机”。

当然，这款无人机现阶段的短板与不确定性同样不容忽视。目前，该无人机仅通过替代验证机完成多轮试飞，原型机首飞计划定在2027年。核心元器件的军用环境适配、混动系统在战场的可维护性、强电磁对抗条件下自主算法的稳定性等一系列关键问题，仍有待在后续试验试飞中加以验证。

左上图：“雷霆”倾转旋翼无人机。

资料图片

兵器控

品味有故事的兵器

■本期观察：王铭晗 毛显智

现代战场空中威胁日趋多元，廉价无人装备与高端导弹交织来袭，拦截的成本与效能矛盾愈发突出。如何以可承受代价织密防御网络，成为各国军队必须回答的问题。本期“兵器控”，聚焦3型各具特色的新型拦截装备。

以快制快

PAC-3 Edge拦截弹



PAC-3 Edge是美国洛克希德·马丁公司基于PAC-3 MSE研制的一款拦截弹，主要用于防空反导、拦截先进导弹目标。

该弹由导引头、多脉冲固体火箭发动机和控制系统等组成。新型导引头采用通用化、模块化架构研制，用于探测跟踪目标，为控制系统修正弹道提供目标信息。多脉冲固体火箭发动机将推进剂分为多个燃烧单元，可分段提供推力，实现飞行全程精确推力分配，支撑拦截弹机动。

按设计理念，该弹可接入美陆军一体化防空反导指挥系统，适配M903、集装箱式等平台。该弹计划于2027年开始测试，但其能否跟上高超声速武器的发展，尚需观察。

软硬兼施

MARSS一体化反无人机系统



英国MARSS公司最新升级的一体化反无人机系统以NiDAR人工智能指挥控制系统为核心，由雷达、光电设备、频谱监测装置、电子干扰设备和拦截器等组成，主要用于固定设施或机动平台的反无人机作战。

作战中，雷达负责搜索目标，光电设备进行成像跟踪，频谱监测装置侦收无线电信号。多源信息汇入NiDAR系统后形成态势图，系统利用机器学习分类目标、评估威胁。

NiDAR根据来袭目标生成不同处置方案：对无线电遥控无人机，以干扰设备压制其控制链路，实施软杀伤；对光纤制导等难以干扰的目标，以拦截器实施硬毁伤，由操作员选择处置方式。目前，该系统已投入运用，但实际效能仍有待验证。

以机打机

“格卡尔普”车载反无人机系统



据公开报道，“格卡尔普”系统是土耳其阿塞尔桑公司研制的一款车载反无人机系统，其基本思路是以无人机拦截无人机。

该系统由AURA雷达、DRONE-DEF指控系统和E1拦截无人机等组成。作战中，雷达发现目标，指控系统传输跟踪数据，引导E1实施拦截。E1重约2公斤，采用电力驱动，从发射箱垂直发射，配备昼夜摄像头。据土耳其媒体报道，其对小型无人机的拦截距离超过1000米。

该系统已纳入土耳其“钢穹”分层防空体系。不过，其抗干扰能力和应对“蜂群”攻击能力仍需进一步检验。