兵器广角

去年底，俄罗斯又有两艘核潜艇入列。据称，这两艘潜艇分属北风之神级和亚森级，艇上都装备有“布拉瓦”潜射弹道导弹。

潜射弹道导弹是指由潜艇搭载和发射的弹道导弹，通常配备核弹头。较好的发射隐蔽性和巨大的毁伤力，使潜射弹道导弹成为二次核打击的主要力量。因此，潜射弹道导弹的发展和动向，很容易“激起波澜”。

2022年6月，美国俄亥俄级战略核潜艇发射了4枚“三叉戟”Ⅱ D5导弹。随后不久，俄罗斯公布了其海基核力量的最新中坚——北风之神-A级战略核潜艇试射“布拉瓦”导弹的消息。

不仅是军事大国，其他国家在潜射弹道导弹方面的进展同样备受关注。特别是近年来，一些国家相继使用常规动力潜艇成功试射潜射弹道导弹，一时成为国际热点。潜射弹道导弹为何如此受人关注？请看解读。

潜射弹道导弹——

藏于深海的战略“重剑”

■崔 强 周尚贤 汤 璐

图①：法国M-51型导弹；图②：俄罗斯“布拉瓦”导弹；图③：“北极星-5”型导弹；图④：美国“三叉戟”Ⅱ D5导弹。 资料图片

战略打击力量的重要支撑

众所周知，核打击方式主要有3种：陆基洲际弹道导弹、海基潜射弹道导弹、空基战略轰炸机打击，共同构成“核三位一体”。当一国拥有三位一体的核打击能力，就意味着具备全面核威慑能力。

综观各核大国的核打击力量组成，可以看出，海基潜射弹道导弹的占比不低。

据公开资料显示，美国的战略核弹头在潜射弹道导弹上的部署率已超过60%，并且这个比例还在逐年提高，英国和法国则将战略核弹头全部部署在潜射弹道导弹上。

为什么各国对海基战略核力量如此看重？原因很多，其中重要的一点，是其更可能形成二次核打击能力。

二次核打击能力，简单来说，是指一个国家在遭受敌方核打击后，仍然具有使用核武器进行反击的能力。这种能力主要由两部分组成，一是在遭到敌方核打击后能将部分或者大部分战略核力量保存下来，二是能用它们实施有效的报复性打击。按照相关理论，一个国家如果具备二次核打击能力，就可有效威慑和遏止敌方，让其不敢实施战略核打击。

与陆基、空基两种核打击方式相比，海基潜射弹道导弹更可能形成二次核打击能力的原因，来自它的载具通常是核潜艇。长期随艇游弋于海底、可随时发射的特点，使潜射弹道导弹具有得天独厚的优势。

隐蔽性好。潜艇向来有“深海幽灵”之称。凭借着强大的续航能力和较大潜深，战略核潜艇一旦提前部署，很难被敌方发现。得天独厚的隐蔽性带来的是较强的生存能力，这为形成二次核打击能力提供了条件。

机动性强。战略核潜艇可在深海大洋中巡航数月，这意味着它理论上可以抵达任何海域，射程可覆盖到任何国家和地区，使敌方防御难度倍增。

受领土面积影响小。一般而言，领土面积较大的国家，战略回旋余地较大，组织核反击的能力较强。领土面积较小的国家在核力量博弈中则处于相对劣势。潜射弹道导弹的出现，打破了囿于领土面积的局限，这也是英国和法国将战略核弹头全部部署在潜射弹道导弹上的主要原因。

各国发展路径和水平有一定差异

潜射弹道导弹登上历史舞台始于二战之后，随着核武器、核潜艇和弹道导弹的出现与发展，以美苏为首的两大阵营敏锐地察觉到潜射弹道导弹的战略价值，并投入到这场战略角力当中。

1955年9月，苏联首次从潜艇上成功发射弹道导弹，但使用的是常规动力潜艇，发射也是在水面状态，导弹射程为150千米，因此只具有象征性意义。

1960年7月，美国乔治·华盛顿号核潜艇从水下试射“北极星”A1弹道导弹，命中1800千米处的目标，标志着潜射弹道导弹登上历史舞台。

美国现役潜射弹道导弹型号为“三叉戟”Ⅱ D5，搭载在俄亥俄级战略核潜艇上，为美国第三代潜射弹道导弹，1990年服役，最大射程超过11000千米，圆概率误差90～120米，最多可携带14枚核弹头。一艘俄亥俄级核潜艇可搭载24枚“三叉戟”导弹。该型导弹已服役30多年，期间不断升级，却迟迟没有换代。据外媒报道，美国新一代战略核潜艇哥伦比亚级首艇计划于2031年服役并开始作战值班，届时仍将搭载“三叉戟”Ⅱ D5型导弹。

苏联解体后，俄罗斯继承了其大部分战略核力量，并在此基础上研发出“布拉瓦”潜射弹道导弹。“布拉瓦”导弹2013年起服役，射程超过8000千米，可携带6～10个独立制导的核弹头，也可携带10个高超音速弹头，弹头上还可装备诱饵以欺骗敌方反导系统。一艘北风之神级核潜艇能够搭载16枚“布拉瓦”导弹。

法国从20世纪60年代开始研发潜射弹道导弹。1969年，该国在水下成功试射了M1型潜射弹道导弹。经过几十年的发展，法国现役潜射弹道导弹为M-51型，搭载于凯旋级战略核潜艇上。M-51型导弹最大射程8000～10000千米，圆概率误差小于400米，可搭载6～12个分弹头。

英国虽然从20世纪60年代末开始就具备海基核力量，但其一直使用美制潜射弹道导弹。目前，英国现役的前卫级战略核潜艇上搭载的是“三叉戟”Ⅱ型导弹。

20世纪90年代，印度开始发展海基核力量，其潜射弹道导弹被命名为“K”系列，主要是从“烈火”系列陆基弹道导弹发展而来。首款“K-15”型导弹从2008年开始进行水下发射试验，2018年在歼敌者级弹道导弹核潜艇上试射成功，射程700千米。2020年初，印度宣布“K-4”型导弹试射成功，射程为3500千米。据外媒报道，印度已经开始研发“K-5”型潜射弹道导弹，该型导弹预计最大射程为6000千米，可携带4枚分导式核弹头。

当然，用核潜艇发射带有核弹头的潜射弹道导弹，如今已并非海基战略力量形成的唯一形式。有专家分析认为，运用常规潜艇来发射潜射弹道导弹，或用潜射弹道导弹来搭载常规弹头，在一定条件下，可能成为今后一些国家的选项。

朝、韩两国也先后研发潜射弹道导弹。朝鲜自2015年开始，多次从常规潜艇上成功试射其研发的“北极星”系列潜射弹道导弹。据外媒分析，朝鲜在2021年初公开展示的可携带多枚弹头的“北极星-5”型导弹，射程估计可达5000～6000千米。2021年9月，韩国也从岛山安昌浩号常规潜艇上试射了其研发的“玄武-2B”型潜射弹道导弹，该型导弹在携带约1000千克战斗部时，射程为500千米，如果携带500千克战斗部，射程可达800千米。

研发难度虽大难挡其继续发展

从问世至今，潜射弹道导弹已有60多年的发展历史，拥有它的国家屈指可数。除了所蕴含的战略价值决定了它的发展受到各种因素制约之外，更为重要的是其研发难度大、门槛高。大部分潜射弹道导弹是由陆基弹道导弹发展而来，但从地面发射改成水中发射，这一“转身”过程可谓困难重重。

——缩短导弹长度难。受限于潜艇内部空间，潜射弹道导弹的个头不能太大。俄罗斯“布拉瓦”导弹从陆基“白杨-M”导弹发展而来，弹体长度缩短了9.5米，发射重量也大大减轻。这种情况下，仍要保证导弹的射程和载荷，就必须向复合材料等借力。好的复合材料不仅能减轻弹体的重量，而且具备吸波作用，使对方难于发现，从而增强导弹突防性能。研发出理想的复合材料，难度很大。

——水下点火发射难。3种点火发射方式都有相应技术难点需加以攻克：一是导弹直接从发射筒点火发射，此时产生的高温高压对艇体设计来说是严峻考验；二是先用压力把导弹从发射筒弹出，在其还没有出水之前点火发射，水中点火发射的难度同样很高；三是先把导弹从发射筒弹出，待其出水后点火发射，此种方式对点火时机、精度要求极高。

——提升弹体刚性难。潜射弹道导弹发射后一般需要在水下运行一段距离，而水的密度相当于空气的800多倍，此时导弹弹体承受的过载与冲击力很大，只有大幅提高弹体刚性，才能避免弹体变形、破裂。在大幅提高弹体刚性的同时又不能明显增加弹体重量，这对弹体所用材料提出了更高要求。

——确保精确制导难。与陆基弹道导弹相比，潜射弹道导弹的制导要求更高，多采用复合制导模式。比如，美国“三叉戟”Ⅱ D5型导弹使用了卫星+星光+惯性联合制导的方式。且不说卫星制导或者星光修正，即使是其中较为简单的惯性制导系统，很多国家也不具备研制能力。

——艇弹协同匹配难。操纵潜艇本来就不易，如何确保安全可靠地发射潜射弹道导弹？除了强化导弹自身安全性之外，提高艇弹之间的协同匹配程度是关键所在，这就需要研发者和使用者做好大量相关工作。

虽然研发困难重重，使用存在诸多限制，但较强的隐蔽性和生存能力等，仍使潜射弹道导弹成为一些国家的研发重点，并在发展中呈现出如下趋势：

一是提高突防能力。面对各国不断升级的导弹防御体系，潜射弹道导弹可能采用更先进的全导式多弹头技术，也可通过在飞行中不断变化路径、搭载诱饵弹头等欺骗敌方拦截手段，实现有效突防。面对传感器技术、声呐探测技术的发展，潜射弹道导弹很可能会进一步增大射程，以确保战场生存力。

二是提高打击精度。潜射弹道导弹要形成威慑能力，提高打击精度是重要一环。今后，潜射弹道导弹很可能会借助更多的先进制导手段，包括更多地倚重卫星制导来达成目的，采用末端主动制导方式来获得打击移动目标的能力等。

三是提高通用程度。武器通用化能提高武器的战场保障力以及使用效能，潜射弹道导弹的发展也可能朝这个方向发展。俄罗斯的“亚尔斯”“白杨-M”两型陆基弹道导弹和“布拉瓦”潜射弹道导弹之间的部件通用化率为30%，在特殊情况下可通过换用部件来恢复导弹战力，达成目的。

四是提高反拦截能力。拦截助推段的弹道导弹，是各大国研发的重点。潜射弹道导弹要形成威慑，有必要提高助推段的反拦截能力。如俄罗斯的“白杨-M”以及“布拉瓦”都采用速燃助推技术，既降低导弹在助推段的红外、激光特征，也可有效缩短导弹的助推段飞行时间。

五是所搭载弹头有所变化。一方面是核弹头的低当量化，一些国家企图借此来降低核武器的使用门槛，如美国正在为“三叉戟”Ⅱ型导弹加装低当量核弹头，英国也已部署低当量的潜射弹道导弹核弹头。这是一个危险的开端，很可能引发战略上的误判。另一方面是改装常规弹头，如美国在研究如何让“三叉戟”导弹携带常规弹头，以便在常规战争中使用潜射弹道导弹，使其同时具备战术打击能力和战略威慑能力。

供图：阳 明

热点追踪

无人机发射空空导弹难在哪

■杨龙霄 刘凯予

前不久，伊朗对外展示了可发射空空导弹的“卡达尔”无人机，并表示该型无人机已经部署到边境地区以增强防空能力。这则消息受到多方关注。

在用无人机发射空空导弹方面，伊朗不是“第一人”。2002年，美国“捕食者”无人机就向伊拉克空军的米格-25“狐蝠”战斗机发射过两枚“毒刺”导弹，不过都未命中。

近年来，这方面的探索逐渐增多。当前，美国一家公司正在研发的“远射”无人机，功能之一就是发射空空导弹。土耳其拜卡公司研制的AKINCI无人机，据称也可发射空空导弹。2023年，美军开始在MQ-9“死神”无人机上搭载“响尾蛇”空空导弹，试图让其获得一定的空战能力。

但从总体来看，无人机发射空空导弹还处于探索阶段。形成这种情况的原因不少，其中之一就是用无人机发射空空导弹客观上存在一定难度。

众所周知，研制空空导弹需要耗费大量的人力物力财力，打造出一款成熟的空空导弹投入更多。这种情况导致目前无人机使用的，大都是为现役有人战机研制的空空导弹。这些空空导弹，只有一些满足条件的无人机才能搭载。比如，无人机要有足够的升力和搭载空间，机体强度要能承受导弹重量和发射时产生的作用力，挂载导弹后不会过度影响无人机飞行性能等。无人机要同时满足这些条件，并不容易。

用无人机发射空空导弹的另一个难点是从发现到摧毁的时间链条较长。和有人驾驶战机飞行员可以即时发现情况、快速决策不同，能发射空空导弹的无人机通常由人在地面上操控，各种信息的传输依赖无线通信链路。尽管科技在发展，信息传输速度在提升，但电磁环境日益复杂、远距通信形成的路径损耗、对方实施的电磁干扰等，都有可能拉长从发现到摧毁的时间链条，甚至使无人机在关键时刻失联。这个问题，短时间内无法彻底解决。

机动能力不够，也影响着无人机挂载空空导弹的进程。与制空能力很强的有人驾驶战机比，不少能搭载空空导弹的大型无人机飞行速度较慢。两者一旦发生对抗，无人机往往会处于“无力还手”的处境。这方面的担忧，也迟滞了一些国家及军工企业的研发。不过，随着战斗无人机的出现，这方面的担忧正在被“稀释”。

一些难度则来自无人机的操作者之间需要磨合。无人机发射空空导弹，通常采取“前端无人、后方有人”的模式，操作者往往不是一个人，而是一个机组。主飞操作员、传感器操作员、任务情报协调员和图像分析员之间，需要高效协同。要做到这一点，就要经过系统、大量的训练，才能确保无人机用空空导弹实施有效打击。

难点不少，但探索仍在继续。这一情形，反映着各国对无人机空战能力的预判和新期待。

坦克防磁条带缘何重现战场

■钱生超

车体侧面加装了防磁条带的以军坦克。 资料图片

近年来，在一些热点冲突地区，坦克防护手段呈现出一定程度的“回潮”迹象。俄罗斯、乌克兰的一些坦克加装了格栅装甲，以色列的梅卡瓦Mk3坦克车体侧面出现了防磁条带。这些防护手段，一度被认为已经“过时”。如果说，重新启用格栅装甲，是破甲弹来袭方向日益多样化所导致，那么梅卡瓦Mk3坦克车体侧面的防磁条带为何也会重现战场呢？

“防磁”“消磁”等概念，海军使用较多。二战时期，德军投入使用的空心装药磁性反坦克手雷，让其他国家开始关注这类武器。当时的坦克普遍使用金属外壳，一般的手雷即使投中坦克，也会很快滚落，无法对坦克造成足够损伤。空心装药磁性反坦克手雷的出现，则让投中的手雷借助自身磁性可以吸附在坦克金属壳上，从而通过爆炸产生金属射流来破坏坦克装甲，进而杀伤坦克手，使坦克失能。为应对这种磁性手雷，坦克开始采用一些与以往不同的防护手段。

消磁涂料是较早使用的防护手段之一。这种涂料，可比较方便地喷涂在坦克的金属外壳上，从而达到一定防磁效果。不过，使用消磁涂料代价较高，不仅配料复杂，而且喷涂厚度有要求。后来，防磁手段开始向更加简洁、实用的方向转变，防磁条带逐渐兴起。

防磁条带发挥作用基于一个原理——磁性物体与吸附对象之间的磁力会随着彼此距离的增加、接触面积的减小而锐减。为取得较好防磁效果，防磁条带本身有一定厚度，此举有助于拉开车体与磁性爆炸物之间的距离；由橡胶、木头或聚乙烯等材质制造的特点，使防磁条带自身基本上与磁性“绝缘”；采用条状布设方法，则使坦克金属外壳表面变得凹凸不平，进一步降低了磁性爆炸物成功吸附的可能性。

再加之防磁条带取材方便、可快速生产、使用便捷、成本较低，它很快成为二战时期盟军坦克应对空心装药磁性反坦克手雷的一种装置，发挥了不小作用。

后来，随着科技发展，尤其是反坦克手段不断增多，坦克防护的发展重点发生偏移，防磁条带逐渐淡出人们视野。

不过，战场上没有标准作战样式，冲突双方情况也各不相同。基于自身条件进行作战的特点，使处于劣势的一方也可能使用一些过去的兵器，采用过去的打法。巴以冲突中，简易爆炸装置和磁铁被固定在一起用来打击坦克，很可能是防磁条带在梅卡瓦Mk3坦克上现身的主因。

从梅卡瓦Mk3坦克车体侧面的防磁条带可以看出，其布设更加规范、合理。但是，这种局部布设的防磁条带在实战中究竟能发挥多大的作用，还有待进一步观察。

兵器知识