

前不久，加拿大有史以来规模最大的国防采购——“巡逻潜艇项目（CPSP）”竞标结果出炉，德国蒂森克虏伯海洋系统（TKMS）的212CD方

案击败韩国韩华海洋 KSS-III 方案。若合同签署执行，不仅能提升加拿大潜艇制造和维护能力，而且还将对全球潜艇军贸格局产生持久影响。

加拿大史上最大国防采购项目竞标结果出炉——

一纸订单或将重构全球常规潜艇军贸格局

■ 罗兆成

军工 T 型台

欧企胜出契合加方战略考量

加拿大“巡逻潜艇项目（CPSP）”计划采购 12 艘常规潜艇，替换老旧的 4 艘“维多利亚”级潜艇，建成后加拿大可常态化保持 3 艘潜艇前沿部署，提升在大西洋、太平洋和北冰洋的水下作战能力。

此次竞标，加拿大放弃了单艇火力、垂发导弹占优的韩国 KSS-III 方案，转而采用德国与挪威联合研发的 212CD 新一代 AIP 柴电潜艇，主要源自其作为北约成员国，希望更好融入北约作战体系与军工体系的战略考量。

首先，加拿大将北约系统兼容作为潜艇选型重要标准。在北约已逐步形成内部潜艇闭环供应链的情况下，非北约军工企业很难切入高纬度北极防务采购。例如，德国第四代常规潜艇一体化作战管理系统 TKMS ORCCA，被认为是全球最先进的非核潜艇作战系统之一，该系统采用北约标准，直接适配北约水下联合作战网络。选择 212CD 潜艇，加拿大将与德国、挪威统一水下装备，实现水下情报、反潜体系互通，北约北极、北大西洋水下监控网络得到强化，可更好地制衡俄罗斯北极军事活动。而韩国 KSS-III 潜艇的作战系统、数据链如果进行兼容北约体系的改造，不仅工程量巨大且需要额外花费数十亿美元。而且，韩国潜艇的核心 AIP 动力、静音钢材、水下声呐的生产仍然依赖德国 TKMS 授权，长期批量采购还存在供应链受控风险。

其次，加拿大工业技术补偿更青睐 TKMS 提供的方案。根据加拿大国防部要求，潜艇竞标方必须依照加拿大国防专属政策——工业与技术效益（ITB），即俗称的工业技术补偿条款，承包商需要把等同于合同金额的业务、投资、技术转移、研发合作、本土生产落地到加拿大本土企业。TKMS 提出的 860 亿加元工业补偿方案，包括潜艇零部件本土化制造、丘吉尔港极地军工码头改造、加拿大鱼雷生产线落地等。而韩国韩华海洋仅承诺本土总装、基础零部件加工，没有跨国家双向军工采购协议，产业链开放程度远低于 TKMS 提供的方案。

第三，德国 212CD 潜艇的环境适应性和产能更符合加拿大要求。212CD 潜艇本身就适应北欧低温环境，能很好地满足加拿大北极低温水下环境要求，且其冰下耐压特种钢材技术领先，全套极地军工配套成熟。而韩国 KSS-III 潜艇为暖水区设计，冰区改造需重新开发耐压壳体、低温电池、冰下通信等全套军工模块，研发改造成本或需百亿加元。而且，TKMS 预计年产 3~4 艘 212CD 潜艇，可同步交付德国、挪威和加拿大三方订单，而韩国 KSS-III 潜艇年均仅量产 1 艘，产能弹性不足，这也是加拿大首选 TKMS 的考量因素。

根据加拿大国防投资机构的消息，



加拿大将在 2027 年底前完成合同签订，首批 4 艘潜艇将于 2034 年前交付。

依托军购试图重振国防工业

本次采购合同如签署成功，加拿大可依托千亿级军购和工业技术补偿落地规则，将资金回流加拿大本土制造业，为本国防工工业体系带来多层次、长周期的提升。TKMS 声称，最终提案将在加拿大产生总计 1670 亿加元的经济活动，带来超过 860 亿加元的经济影响。加拿大可重建本土常规潜艇制造与维修产业链，形成东西海岸双潜艇产业集群。

加拿大自二战之后长期丧失潜艇建造、大修完整产业链。现役的“维多利亚”级潜艇是 1998 年自英国购入的“支持者（Upholder）”级二手潜艇，故障频发，目前仅 1 艘常态可用，大修需要远赴英国。此次采购，加拿大企业将全程参与潜艇分段制造、作战系统集成、氢燃料电池配套、全周期维修，未来将构建东西海岸双潜艇产业集群。一是在西海岸依托位于大不列颠哥伦比亚省的塞斯潘（Seaspan）船厂承担潜艇总装、全周期大修、水下系统集成，建设北美首个 212CD 潜艇维修基地，打造本土维护体系，彻底摆脱加拿大长期依赖海外维修的被动局面；二是东部魁北克马耳门（Marmen）公司承担潜艇大型耐压分段、精密结构件制造，建立极地特种钢材加工产线，搭建大西洋潜艇零部件制造中心。在此基础上，加拿大将逐步形成覆盖大西洋、太平洋的东西海岸潜艇产业集群，建成北美第二条常规潜艇制造与大修链条。同时，TKMS 还将投资改建丘吉尔港极地潜艇专用码头、低温水下测试

设施以及北极装备维护场地，助推加拿大的极地船舶、寒区海洋装备标准化研发能力形成，补齐加拿大极地海军工业短板。

依托工业技术补偿，还将拉动跨区域国防供应链，培育大批本土中小型军工企业，带动特种钢材、水下声学设备、舰载指控系统、仿真训练装备等上下游配套企业发展，打破加拿大大型军工项目长期由跨国巨头垄断的局面，大量本土中小型军工企业将因此得以进入高端海军装备供应链。同时，TKMS 提出双向军工贸易框架，承诺推动德国及欧洲企业采购加拿大航空特种平台、军工电子、太空防务组件、极地传感器、关键矿产深加工等军工产品，进而帮助加拿大军工企业接入欧洲防务市场与 TKMS 全球潜艇供应链，有机会为德国、挪威以及其他采购 212CD 潜艇的海外客户提供零部件，扭转加拿大防务产业长期以装备进口为主的格局。

此外，选择 212CD 潜艇也是加拿大落实新版国防工业战略、降低对美国军工单一依赖的关键举措。2026 年，加拿大发布《国防工业战略》，其中提出降低防务采购对美依赖，推动供应商多元化。通过此次千亿大单，加拿大可构建起北美与欧洲并行的防务工业合作体系，避免单一供应链地缘风险，为后续大型海军装备、极地防务项目树立多元化供应商合作范本。加拿大本土形成完整的常规潜艇制造和大修产业链后，也将改变北美仅美国具备潜艇建造能力的格局。

对全球潜艇军贸市场影响深远

从世界范围看，加拿大 CPSP 项目

是本世纪目前单笔最大的常规潜艇订单，它的签署将对全球常规潜艇军贸市场产生多重影响。

首先，TKMS 进一步巩固了全球高端常规潜艇市场的优势地位，构建起 212CD 全球标准化军工生态。如果加拿大 12 艘潜艇合同签署完成，叠加已经签订的德国 6 艘与挪威 6 艘订单，24 艘同型号批量采购，将形成全球规模最大单一常规潜艇型号。自 2019 年起，TKMS 累计在核心基地基尔投入 2.5 亿欧元升级潜艇产能；收购维斯马船厂后规划投入 2 亿欧元改造形成第二条潜艇生产线。212CD 批量总装计划将于今年 9 月启动，产能将覆盖德、挪、加三国全部需求。由于三国共用 212CD 生产线、AIP 动力、ORCCA 作战系统、鱼雷弹药体系，可分摊研发、模具、检测成本，业界分析，212CD 单艇生产成本还可下降约 18%~25%。同时，TKMS 具备 AIP 燃料电池、无磁特种钢、水下指控系统、静音推进等全套核心军工技术，90% 上游配套为欧洲北约企业，供应链自主可控，即使向加拿大开放全球配套网络，也将形成排他性产业联盟。

其次，全球常规潜艇军贸市场格局重构，将形成“北约内部闭环”与“非北约外销市场”二元分割。加拿大订单落地后，北约高端市场彻底向德国倾斜，TKMS 将占据北约常规潜艇 70% 存量市场与未来新增订单绝大多数份额，实际上形成相对闭环市场。这意味着，进入北美、欧洲高纬度国家的准入条件将要符合北约成员国身份、原生北约指控体系、极地适配以及多国联合运维体系。无强制北约体系要求的国家将形成非北约外销市场。对于韩国韩华海洋来说，此次失去打入北美高潜艇市场窗口期，未来只能深耕东南亚、中东、东欧非北极温暖海域市场；而瞄准北欧、北美作为其常规潜艇外销目标市场的法国，面对 212CD 标准化平台的挤压，未来只能聚焦印太、中东无北约体系约束国家。

当然，加拿大 CPSP 潜艇项目存在的风险也不容忽视。一是近千亿军工投入，持续挤占加拿大医疗、基建预算，若引发国内民生财政冲突，12 艘采购上限或下调至 8 艘；二是 TKMS 承诺的加拿大零部件全球配套、对等采购军工产品均为长期框架协议，无强制法律约束，若后续潜艇订单缩减，加拿大本土配套份额也将同步缩水；三是 24 艘订单同步交付三国，导致 TKMS 产能紧张，存在交付延期隐患。

（作者单位：国防大学）

上图：212CD 潜艇渲染图。
左图：韩国 KSS-III 潜艇。

资料图片

军工科普

近日，国内一家军工企业披露智能制造升级成果，其飞机部件装车车间正稳步推进数字孪生管控体系建设，上千个设备与产品实现虚实同步，工序仿真、故障预判、节拍优化等环节均可在数字空间先行完成验证。

在过去，装备研发，从立项到列装往往需要数年。其间，图纸更新、样机试制和实装测试，耗费巨大，任何一处设计缺陷都可能付出高昂的试错成本。在战争形态快速演进、装备不断迭代升级的背景下，这种“长周期、高成本”的传统研发模式面临严峻挑战。

数字孪生技术的出现，为破解这一困局提供了全新路径。该技术并非简单的三维设计模型，而是为物理装备在数字空间创建一个具备全要素、覆盖全生命周期、支持实时交互的动态数字镜像。利用多物理场仿真等技术，装备的每一处结构细节、每一项性能参数，都被精确复刻至数字空间，构建出与物理实体行为状态高度一致的数字孪生体。

在数字空间，可灵活调整孪生体的模型结构与参数设定；突破物理条件限制，开展极限工况测试、极端环境模拟和复杂作战场景推演。由此，大量原本依赖物理样机的验证工作得以在数字空间完成，待设计方案优化成熟，再将方案应用于物理装备。

数字孪生技术的核心理念是实现物理世界与数字空间的“双向映射、实时交互、协同演进”。装备列装后，遍布其全身的传感器持续采集运行工况、环境数据、损耗状态等信息，并实时回传至数字孪生体，确保数字镜像精准、动态地反映物理装备的全量状态，为装备的状态监控和故障预警提供依据。

目前，数字孪生技术已在军工领域展现应用价值。据报道，在新型舰船或战机的研发中，通过全程应用数字孪生技术，研发团队能在数字空间完成大量设计仿真与建造流程推演，有效减少了实物样机的制造轮次和实装测试数量，在缩短研制周期、降低研发成本方面成效突出。在装备维护方面，通过为现役战机等复杂装备构建数字孪生维护系统，可实时分析装备状态，实现从“故障后维修”向“预判性维护”的转变，有效提升了装备的战备完好率。

当然，数字孪生技术在军工领域的深度应用仍面临挑战。对于航母、战斗机超复杂系统，实现全要素、高精度的实时数字映射，对建模精度、仿

数字孪生技术赋能军工制造

■ 刘 崇 马 朔

真算法和计算能力要求极高；同时，数字孪生体蕴含着装备核心的性能参数与设计蓝图，属高级别军事机密，如何构建绝对安全的数据交互与防护体系，是技术应用必须解决的课题；此外，打通设计、生产、维护、作战等不同主体间的数据壁垒，建立统一标准，也是规模化应用需要突破的关口。

从物理样机的反复试制，到数字空间的无限迭代，数字孪生技术正为军工装备发展注入新动能。它不仅是建模与仿真工具的跨越式升级，更是驱动装备研发设计、生产制造、综合保障全体系智能化变革的核心引擎，为加速新质战斗力生成与提升提供了关键的技术支撑和实现路径。

西部战区陆军某保障大队一级上士张海龙——

战车也有“修脚师”

■ 赵彦军 本报特约记者 张石水



高原夏夜，某驻训场帐篷内灯火通明，西部战区陆军某保障大队一级上士张海龙挑灯夜战，细致核对某新型装备的维修数据。他使用红蓝两色笔，将性能参数密密麻麻地标记在手册上。不久后，他将带着这份心血，保障实弹射击演练，为该新型装备“拉得出、打得赢”提供技术支撑。

翻开张海龙的履历，一连串创新成果熠熠生辉。近年来，他紧盯战场保障需求，潜心研发针对履带装备抢修的专用工具，其革新成果在多项重大演训中发挥关键作用，赢得战友和兄弟部队官兵广泛好评。更可贵的是，他还将多年积累的研发笔记、试验数据整理成册，为部队培养专业修理人才提供实用教材。

这些成绩的取得，源于强烈的使命担当和创新意识。多年前，入伍不久的张海龙跟随班长执行某型履带装备抢修任务，眼前的一幕令他深受震撼：数十公斤重的负重轮，需要多位战友协力用撬棍撬动，绳索牵引，大家身上沾满油污，累得气喘吁吁。

“依靠蛮力作业，效率低且安全风险高。”目睹这个情景，一颗创新的种子在张海龙的心底萌发。回到营区，他有一空闲就铆在工间，寻找履带各部件间隙的最佳受力点，揣摩更省力、更安全的拆装方法。

履带修理涉及机械、电气、液压多个专业，解决一个问题往往需要“多域融合、多策并举”。一次实兵对抗演训中，某型装甲战车履带断裂，张海龙带着战友紧急抢修，虽然最终成功排除故障，但因错失最佳机动时机，该战车被“敌”炮火“摧毁”。

“履带，就像战车的‘铁脚’。我们作为战车的‘修脚师’，战场上哪怕一秒之差，也会影响整个战局！”张海龙回忆道。他系统梳理多次演训中的维修痛点，结合拆装经验，想到一个“金点子”——以叉车为基，加装双向液压抓手，用机械动力代替人力，实现精准抓取与平稳拆装。

说干就干。凭借多年维修经验，张海龙逐台记录各类履带底盘参数，仔细研究液压传动与杠杆原理。为攻克“精准定位”难题，他从零学习数字化设计，遇到液压系统瓶颈，便带着草图多方请教专家。经过不断调试，12 款样机迭代，历经数百个日夜的攻关，“履带行动部分拆装车”终于研制成功。

后来，他从某型工程装备的液压伸缩臂中得到启发，将“整体吊装”改为“分段顶推”，加入自适应定位装置，成功实现多型号兼容。至此，这一新设备集激光定位、液压驱动与精准可视于一体，总重较传统设备总重减轻 40%，部署操作更加快捷。经验证，该装备作业时间仅为原来的 1/4。更关键的是，以往需要多人完成的双侧诱导轮拆装，如今可单人完成。

去年，在军委机关主办的“强装杯”部队装备管理运用创新大赛中，“履带行动部分拆装车”获得金奖。

左上图：张海龙在检修发动机。

姚虎林摄

军营创客