

前段时间，法国一家防务企业宣布，拒绝向印度提供“阵风”战机核心系统源代码。若无法获取核心算法，印度将失去自主修改武器适配权限，相关的国产化升级计划也恐难实施。而俄罗斯国防出口公司高层代表则表示，愿意向印度开放苏-57E全套技术权限。据报道，俄罗斯已提议提高苏-57E战机在印度本地化生产的比例，扩展印度可独立生产的设备、组件及其他部件清单。

近年来，印度推行“高价军购换取技术突破”的航空工业发展模式。但在实际军贸合作中，印度多次遭到西方国家技术限制，绝大多数西方国家出口战机仅开放基础使用权限，关键源代码、核心算法保持严控。此次来自法国的技术封锁，会给印度的战机列装计划带来怎样影响？俄罗斯的技术让利，又将使印度航空工业做出何种调整？请看本文解读。

印度外购战机遭遇冷热两重天

■李彦霖 姜子晗

★ 军工T型台

技术壁垒凸显，采购“阵风”套上无形枷锁

印度引进法国“阵风”战机，近年来话题不断。2016年，为补齐因对外合作项目推迟造成的战机缺口，印度紧急采购36架“阵风”战机。今年2月，印度再次计划投入约360亿美元，追加采购114架“阵风”战机，创下本国对外军购新纪录。

在印度军方的规划中，此次大额采购并非单纯的装备扩充，还有引进核心技术的意图。印度寄希望于高价采购换取技术转让，将“阵风”战机作为技术借鉴载体，打通国产弹药适配、航电改装、后期升级的完整技术链路，逐步提升本土航空制造水平。

尽管印度仍将出资不菲，法国出于军工技术保密考量，“阵风”战机多项核心航电设备列为防务机密清单。法国达索公司明确表示，永久禁止对外转让源代码，特别强调对RBE2有源相控阵雷达、模块化数据处理单元和SPECTRA综合电子战套件的技术封锁。这3类系统分别承担战场态势感知、飞行数据运算、全域电磁对抗的核心职能，是保障“阵风”战机综合实力的关键部件。

法国这一表态的背后，有着深层次的考量。经济层面，战机的后续升级、软件密钥激活等服务，是达索公司长期收益的重要来源，一旦开放接口，印度可能绕过法国自行维护，冲击法国军工的利润链条。安全层面，达索公司担心印度将技术外泄，威胁到法国本土及北约其他国家的“阵风”机队安全。这道技术壁垒的背后，体现了现代军工卖产品更卖生态的行业逻辑。

技术封锁给印度的使用、维护、改造“阵风”战机套上无形枷锁，使用限制贯穿装备应用全流程。由于无法获取火控系统底层源代码，印度没有权限自主修改武器适配，部分国产导弹无法兼容战机挂载系统，且无权调校雷达波形、干扰样式等核心作战参数，难以根据复杂多变的战场环境快速调整作战模式，电子对抗能力也存在明显短板。

面对法国的技术封锁，印度迅速作出多项战略调整对冲技术风险。一方面，印度国防部采取订单施压手段，对外宣称若法国持续严控技术，将直接取消114架“阵风”战机追加采购订单；另一方面，印度采取折中让步策略，在无法获取源代码的前提下，争取“阵风”战机机身结构部件本土化生产权限，依托印度塔塔集团搭建专属生产工厂，逐步实现部分零部件自主制造。

不过，印度空军早期列装的米格-21



图①：俄罗斯苏-57战机；图②：法国“阵风”战机。

新华社发

战机已全部退役，若“阵风”战机订单告吹，战机缺口将直接削弱其空军战力。更为深远的影响是，印度以市场换技术的策略失效，其国防自主愿景与现实之间的差距也将被继续拉大。

技术开放让利，俄印军工合作并非短期试水

相比法国严苛且保守的技术管控模式，俄罗斯长期采用技术共享、联合生产的对印军贸模式，稳固自身南亚防务市场份额。为契合印度国防自主诉求，俄方在苏-57E项目中放宽技术限制，开放程度远超法国。

去年6月，俄罗斯联合航空制造集团率先抛出技术合作的“橄榄枝”，承诺向印度移交苏-57E完整源代码、原始设计图纸和全套底层技术资料，涵盖隐身复合材料、机载雷达、动力控制系统、人工智能辅助作战系统等核心技术；今年1月，俄罗斯军事技术合作局再次确认技术开放方案，进一步放大合作优势。

俄军工部门曾公开表态，愿意将苏-57E采购合作升级为联合研发项目，赋予印度部分关键技术共享权，允

许印度工程师在有限范围内自主开展战机改装、优化与升级工作。这种自主技术使用权限，契合印度的核心诉求。

俄印军工合作并非短期试水，历史上苏-30MKI战机合作项目便是一个典型案例——1996年，印俄签订首批苏-30MKI战机采购合同，初期由俄方整机交付。2000年，两国正式签署本土生产许可协议，印度斯坦航空公司可以在本土生产发动机的部分组件。

现阶段，印度正投入专项资金推进“超级苏霍伊”升级计划，为现役苏-30MKI换装国产有源相控阵雷达和新一代航电系统，持续提升战机本土化设备适配能力，试图通过不断提升的本土制造水平，为苏-57E战机落地印度打牢基础。

按照今年最新谈判方案，俄罗斯将采取分批交付、循序渐进的合作模式，先期交付成品苏-57E快速补齐印度空军高端战机缺口。后期，印度将依托现有苏-30MKI生产线完成改造升级，实现苏-57E本土化批量制造。

俄罗斯大范围开放核心技术，并非单纯的贸易让利。当前全球军机市场趋于饱和，西方国家战机长期占据主流市场，俄罗斯试图依靠区别于西方国家的高开放度合作模式，深度绑定印度防务

体系，稳固南亚军工贸易份额，这应当是俄罗斯采取当前策略的原因之一。

对于印度而言，俄罗斯丰厚的合作条件为其提供了绝佳的谈判筹码，印度可利用法俄两国的军贸竞争，主动争取更大技术权限，缓解长期以来装备依附他国的被动局面。

自研实力薄弱，印度军事航空发展需要时间

法俄两国截然不同的军贸合作模式，让印度对外军购战机遭遇冷热两重天，表面上看是军机订单的商业博弈，深层次则折射出印度航空工业体系的结构性短板。

尽管印度早已出台国防自主发展规划，力求完善本土军工产业链，但目前其航空产业体系仍不完善，在高端特种材料、精密机械制造、工业控制软件等基础领域出现明显技术断层，产业短板难以短期补齐。

作为本土核心军工企业，印度斯坦航空公司长期以组装代工、授权生产为主要经营模式，高度依赖国外技术授权，自主设计、正向研发能力薄弱，尚不具备现代化战机全流程独立研制能力。

受技术水平与工业体系制约，印度国产战机普遍存在研发周期冗长、故障频发、量产效率低下等问题。在高端航空飞行器研发领域，印度多项重点军工项目发展迟缓，各种技术瓶颈长期难以突破。其中，极具代表性的印度国产五代机AMCA虽然已于去年获批立项，但受航电系统整合、隐身气动设计、动力系统不足等多重因素制约，列装时间被迫延后。

此外，按照印度军工产业规划，新一代改进型发动机预计21世纪40年代才能完成技术定型，高温合金、燃烧室结构等核心技术仍未突破。长期缺乏可靠国产动力装置，将严重制约印度高端战机的研发进程。

自研能力不足、老旧机型加速退役，印度空军战机断代问题凸显，战力缺口持续扩大，只能依赖外购战机维持机队规模。从短期来看，印度可以借助大国军贸竞争获得技术红利，提升本土加工制造能力，但无法从根本上摆脱对国外的技术依赖。纵观世界军工发展规律，高端航空核心技术无法依靠商业采购获得，外购装备始终存在技术限制、升级约束和安全隐患。

印度国防部明确规划航空工业短期整改方案，压缩非必要外购机型，加大本土军工财政拨款，优先保障AMCA五代机与改进型“光辉”战机研发进度，试图通过外购分流、自研提速的组合方式，逐步缓解空军战力缺口。不过，就目前发展状况看，印度想要补齐航空工业短板、搭建自主研发制造体系，仍需要很长一段时间积淀。

近期，全球军工领域热点新闻频出，其中美国C-5M运输机延长服役年限，法国推进多个远程打击装备研制项目，土耳其与印尼签署“红苹果”无人机首份出口协议等受到关注。本期，国防大学教授赵辉对这3则新闻进行点评。

美军C-5M运输机延长服役年限



美军C-5M运输机

新闻播报：5月11日，据国外一家网站报道，美国空军2027财年预算文件正式确认，现役52架C-5M运输机将服役至2050年。届时，机队中最新的战机也服役达到61年。

赵辉：C-5M运输机超期服役的背后，是战略投送力量更新迭代滞后、战力衔接断层等问题。据美国空军一名高官披露，该机队任务执行

率已明显下滑。近年来，C-5M运输机在军事行动中被高强度使用，但其生产线早已关闭，零部件供应链断裂，美军不得不依赖二手拆解件或者定制生产来应对这一局面。值得注意的是，美军下一代战略投送平台还在研制，预计2038年投入生产，新旧装备衔接存在空窗期，或将对战备建设产生一定程度影响。

法国推进多个远程打击装备研制项目



阿丽亚娜集团的两款新型陆基弹道导弹模型

新闻播报：4月，据外媒报道，法国正同步推进多个远程打击装备研制项目。在此之前，法国宣布启动新一代陆基弹道导弹研制工作，其射程达2500公里，将配备高超声速滑翔载具。

赵辉：当前法国集中推进多款远程打击装备研制，一方面攻坚高超声速导弹等高端战略武器，另一方面列装低成本自杀式无人机等非对称作战装备。这一系列动作凸显了法国自主构建覆盖战略威慑、常规远程打击、无人作战等装

备体系的决心。新一代陆基弹道导弹虽然目前定位为常规武器，但其技术平台具备搭载核弹头的潜力。同时，法国秉持合作研发思路，联合英、意共同推进巡航反舰武器项目，借助多国协作分摊高昂研发经费、互通核心技术，有效降低装备研制风险、加快列装进度。这种跨国军工合作，既盘活了欧洲多国军工产能与技术储备，也加速了欧洲武器系统通用化、体系化发展，有利于欧洲军工产业防务自主的实现。

土“红苹果”无人机拿下首份出口订单



土耳其“红苹果”无人机

新闻播报：5月6日，土耳其拜卡技术公司与印尼签署了“红苹果”无人机的首份出口协议，印尼成为该型机首个国际客户。首批12架计划于2028年交付，合同框架内还包含48架选购权，采购数量可达60架。

赵辉：“红苹果”无人机获得印尼出口订单，标志着土耳其在全球无人机领域已具备较强竞争力。“红苹果”无人机于2022年底首飞，融合了隐身设计、有源相控阵雷达、自主控制等多项技术，能够执行空战、对地打击、压制防空等多种任务。特

别是其短距起降能力可与航母兼容，契合印尼接收意大利退役航母的计划。对印尼来说，此次采购不仅可以提升本国军事实力，还可以通过技术转让和本地生产带动本国航空工业发展，协议包含在印尼建立生产和维护中心、人员培训及后续联合研究等条款。但也要看到，“红苹果”无人机目前仍需国外提供发动机，尚未实现完全国产化，这是未来将面临的技术瓶颈。

（王振羽整理）

水平舵——

潜艇稳定航行的“小翅膀”

■胡勇华



当潜艇浮出水面时，我们发现，艇艏或者指挥塔上常装有一对形似“小翅膀”的装置。这对“小翅膀”是潜艇灵活潜浮、平稳航行的核心装置——水平舵。

水平舵的工作原理并不复杂。艇员通过操作水平舵偏转，并配合压载水舱注入或者排出海水，带动潜艇下潜或者上浮。

水下环境远比想象中复杂，暗流涌动、航速变化都可能让潜艇“跑偏深度”，要么越潜越深，要么意外上浮。此时只需微调水平舵的角度，就能让潜艇保持在预定深度稳稳航

行。尤其在潜艇接近潜望镜深度时，这种精准控制更为关键，能够避免因姿态失衡导致艇体暴露，保障任务隐蔽性。

当前，潜艇“小翅膀”设计各有不同，适配不同作战需求。有的“长”在艇艏，叫做艏水平舵；有的则装在指挥塔围壳上，叫做围壳舵。艏水平舵更贴近潜艇纵轴，舵效更高，尤其在深海高速航行时机动性更强，俄罗斯核潜艇多采用这种设计，方便在北极冰层下破冰上浮而不损坏舵面。围壳舵则因安装位置更高，在浅海航行时不易被渔网、暗礁刮蹭，且不会影响艇艏声

呐工作，美国鲑鱼级核潜艇采用围壳舵设计，提升声呐工作效率，降低潜航阻力。

这些设计差异背后，还藏着潜艇壳体技术的重要考量。双壳体潜艇艇身空间充足，能够安装可收放式艇艏水平舵，高速航行时收起有利于减少阻力；单壳体潜艇则大多安装围壳舵，可避免在艇体开设收纳结构时影响耐压强性。如今，随着军工技术发展，部分先进潜艇还会通过优化舵面材质和控制逻辑，进一步提升操纵精度与可靠性。

值得一提的是，水平舵的作用离

不开压载水舱的协同配合。压载水舱通过注水、排水调节潜艇重力与浮力平衡，而水平舵则通过水流借力实现姿态微调，二者相互配合，让潜艇在水下既能灵活航行，又能稳定悬停。这一“轻重调节+姿态控制”的组合设计，彰显了武器装备“简约又不简单”的设计智慧。

左上图：印度鲑鱼级攻击潜艇。
新华社发

★ 军工科普

专家连线