

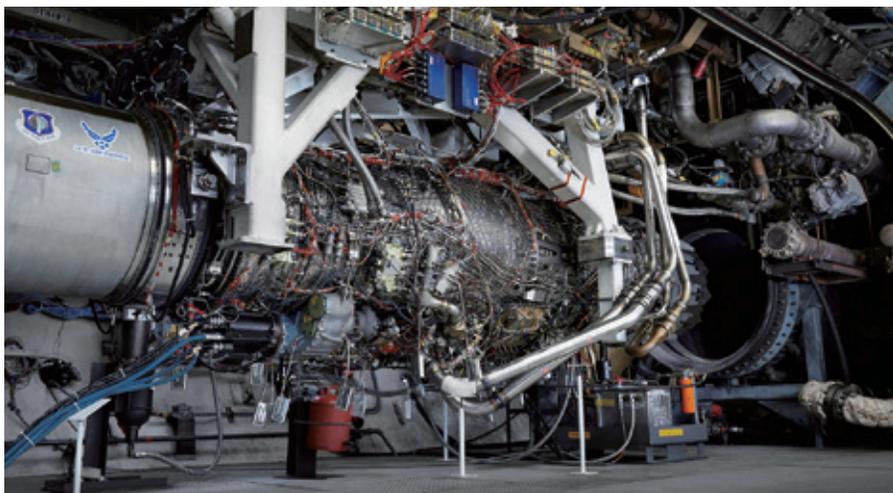
2022军用航空动力进展

Progress of Military Aero Engine in 2022

■ 韩玉琪 / 中国航发研究院 郑小梅 / 93208 部队

受新冠疫情和俄乌冲突的影响，2022年度全球的能源危机及地缘政治博弈更加复杂激烈，发生军事冲突的风险陡然提升。在此背景下，相关国家和地区进一步加强了先进武器装备的研制和探索，航空发动机研制进展取得重大突破。

在全球能源危机及地缘政治博弈日趋激烈的背景下，为在国际竞争乃至潜在的军事冲突中取得优势地位，欧美俄等国家和地区加强了航空军事装备的研制力度，多款航空装备及动力于2022年取得了重大突破进展：下一代战斗机的动力装置即将进入工程研制阶段，下一代战略轰炸机动力装置持续研发，下一代旋翼机动力装置完成首台和第一阶段试验。



GE公司的第二台XA100自适应循环发动机完成测试

战斗机动力研发升级

美国下一代战斗机用的自适应发动机研发，自2007年以来已投入40多亿美元，在2022年更是授出了48.8亿美元合同以开发原型机，并计划于2032年7月完成研制，从而再次领跑世界。同时，美国也注重通过新技术来持续提升五代机的性能、可靠性和维修保障水平，不断提升装备的出勤率和战斗力。法国、德国和西班牙合作研发下一代动力，其新研涡轮在M88发动机上进行了测试，计划在2024—2026年做出正式研发决策。英国、日本和意大利在合作研发下一代发动机验证机的基础上，进一步确定了合作研发下一代战斗机的计划，发动机验证机

的工作将集中在推进与动力/电力的联合应用，2026年视情制订完整开发计划。

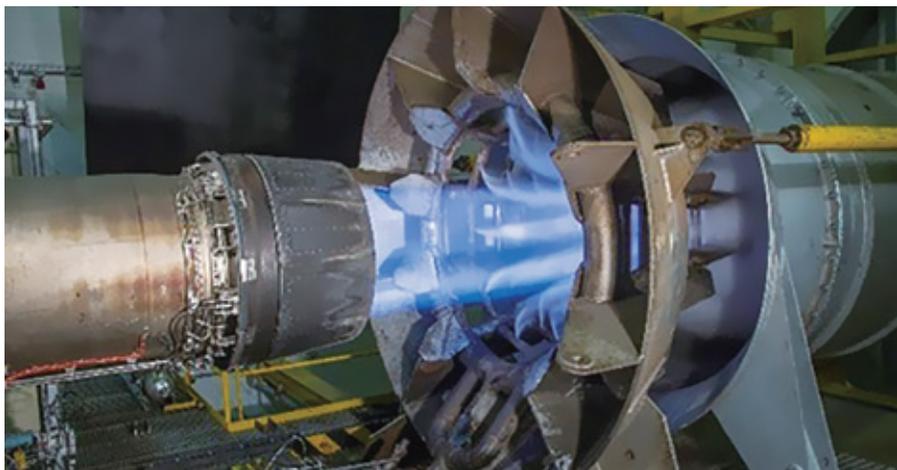
美国自适应发动机即将转入工程研制阶段

GE公司完成了第二台XA100自适应发动机工程验证机的第二阶段试验，至此已完成自2016年开始的空军自适应发动机过渡计划（AETP）的全部研发任务，准备过渡到工程和制造发展（EMD）阶段。同时，美国空军在下一代自适应推进计划（NGAP）中向GE、普惠、波音、洛克希德-马丁（洛马）和诺斯罗普-格鲁门（诺格）等5家公司授出总计

约48.8亿美元的合作（每家9.75亿），预计于2032年7月完成。此外，美国空军于2022年12月还授予GE公司3.03亿美元的下一代战斗机自适应发动机部件技术合同，包含2.03亿美元的技术成熟及风险控制服务，以及截至2024年12月的9947万美元的研发成本及固定费用合同。与配装F-35战斗机的F135发动机相比，自适应发动机可将飞机航程增加35%，耗油率降低25%，推力增大10%，热管理能力提高100%。

法国完成下一代战斗机动力的部分关键技术测试

未来空中作战系统（FCAS）项



法国为下一代战斗机发动机新研的高压涡轮在试验台上测试

目由法、德、西等三国合作，并由法国国防部武器装备局（DGA）主承包，FCAS包括下一代战斗机（NGF）、下一代欧洲战斗机发动机（NEFE）、下一代武器系统（NGWS）、欧洲中高空长航时无人机系统（MALE），以及未来的巡航导弹与集群无人机5个组成部分。2022年1月，法国宣布为NEFE新研的高压涡轮在基于M88衍生型发动机的试验台上完成测试，12月DGA授出FCAS的1B阶段验证机合同，将涵盖FCAS演示样机及组件的工作，时间约为三年半。NGF预计将是一种大型双发隐身多用途战斗机；NEFE推力约为120kN，涡轮前温度可达2100K，在M88发动机的技术基础上研发，采用变循环技术和矢量喷管，并探索混合电推进技术以进行机载能量管理。NEFE由欧美特（EUMET）公司（赛峰和MTU各占50%组成的合资公司）作为主承包商，西班牙ITP公司作为主要合作伙伴。其中，赛峰负责整体设计集成和热端部件开发，MTU负责冷端部件，并提供维护、修理和大修（MRO）服务，ITP负责

开发低压涡轮和喷管等工作，计划在2024—2026年做出正式研发决策，2029年左右NEFE验证机配装NGF验证机首飞，2040年服役。

英日确定合作研发下一代战斗机动力的验证机

2022年12月，英、日、意等三国宣布共同研发下一代战斗机项目——全球作战空中计划（GCAP），这是日本自第二次世界大战以来首次与美国之外的国家开展重大防务合作。英、日原本都有自己的下一

代战斗机项目：英国主导的“暴风”（Tempest）计划2027年首飞，2035年前后交付；日本的F-X计划2028年首飞，2031年批量生产，2035年起正式列装服役。发动机验证机由英国罗罗公司与日本石川岛播磨重工（IHI）联合开发和交付，并在2026年做出有关进入完整开发计划的关键决定，具体方案尚未透露，但验证机的工作将集中在推进与动力/电力的联合应用，关键是能为飞机任务系统和传感器的运行提供大量电力，甚至为使用定向能武器铺平道路，验证机将结合英国未来作战航空系统技术倡议（FCAS TI）开发的技术和IHI的XF9-1试验型发动机验证的技术。

美国F135升级方案存在分歧

F135之前的维修能力不足造成发动机短缺，导致2021年50多架F-35停飞，空军维修人员和普惠公司共同努力于2022年3月底将F135的平均维修时间缩短了一半以上，发动机短缺情况得到缓解。F-35战斗机至2022年年底的生产总量接近900架，但仍面临三个问题：偏低



普惠公司提出的F135“增强型发动机套件”

的任务执行率、一直未能达成的可靠性目标和维修成本翻倍。上述问题均与F135发动机的可靠性问题相关，截至2022年9月已生产的1000台配装F-35A/B/C的三型F135都存在可靠性问题。F-35的雷达、电子战模块和其他传感器已取得长足的进步，这些电子设备的电力和冷却需求远远超出F135的初始设计能力。美国各方对于发动机升级问题存在分歧，普惠公司希望改进F135，GE公司则称XA100可在20年代末为F-35提供动力并同时兼容F-35A/B/C。美国空军支持换发并启动F-35A换装自适应发动机计划（FAER）的前期调研，而美国海军和海军陆战队对换发兴趣不大，美国国会则对换发持保留意见，美国国防部预计将在2024年就发动机升级方案做出决定。普惠公司于2022年12月初获得1.15亿美元的F135发动机核心机升级合同，用于支持到2023年的初步研发，12月底又获得国会7500万美元额外拨款用于该方面研发，普惠公司和柯林斯宇航公司公布一种新的应急动力可冷却系统（EPACS）用于F135核心机升级，可使F-35航程和推力增加7%，冷却能力提高1倍。

美国F119提升维护能力和机动性能

普惠公司于2022年3月宣布针对配装F-22战斗机的F119发动机机队启动了一项基于使用情况的寿命监测（UBL）计划，以数字化手段将飞行数据与普惠公司最先进的维修工程算法结合，使得美国空军能够按需规划发动机的维修，从而最大限度地提高机队战备状态和降低维修成本，这种尝试在航空航天推

进史上尚属首次，预计该计划可为美国空军节省8亿美元以上。普惠公司通过对实际飞行数据的分析发现，F119发动机的使用方式与设计者的计算假设不同，借助为F119创建数字孪生体，普惠公司将使F-22通过软件更新来增强飞行包线内某些区域的机动性能。

美俄稳步推进战略轰炸机动力升级更新

美俄一方面根据下一代战略轰炸机需求研发动力装置，另一方面不断升级现役战略轰炸机的动力，以期用更经济的方式提升作战效能。关于新的动力装置的信息较少，据推测，均为基于现有发动机的技术基础改进发展，将于2026—2029年之间投入使用。

美国B-21轰炸机或采用F135发动机改型

B-21隐身战略轰炸机的原型机于2022年12月2日首次公开展示，诺格公司称其为首款六代机。B-21的相关性能指标严格保密，其最大起飞质量为68~80t，内埋载弹量5.5~9.1t，不进行空中加油的作战半径为3900~4600km，采用低成

本技术，造价相对低廉，预计采购数量达到100架。关于B-21的动力，美国官方披露的信息较少，据推测，B-21选择了两台基于F135发动机的无加力改进型作为动力。B-21预计于2023年上半年首飞，2026—2027年投入使用。

俄罗斯PAK DA的发动机正在进行台架试验

远程航空兵未来航空综合体（PAK DA）是飞翼布局的亚声速飞机，最大起飞质量145t，最大有效载荷30t，能够在不空中加油的情况下飞行15000km。据推测，PAK DA的发动机“产品RF”是基于配装图-160M的NK-32-02改进研发，由俄罗斯联合发动机公司（UEC）下属的库兹涅佐夫公司提供，单台推力230kN；PAK DA的TA18-200-80辅助动力装置由航空动力公司制造。PAK DA于2020年5月开始制造，预计2025年首飞，2028—2029年开始批生产。

美国B-52H新发动机F130完成短舱风洞试验

2022年9月，B-52H完成了新发动机的短舱风洞试验，美国空军表示换发项目成本比预计的上漲了50%，主要与飞发集成有关，大量



美国B-21战略轰炸机的原型机



B-52H即将换装的F130涡扇发动机

的工程工作在飞机内，在与发动机所连接的吊架上，而不是发动机本身。B-52H以普惠公司的8台TF33发动机为动力，20世纪60年代初开始服役，目前仍有76架在役，美国空军2021年9月与罗罗公司签订26亿美元合同，采购608台F130发动机为B-52H换发。F130是BR725发动机的军用型，累计飞行时间超过2900万h，美国空军C-37和E-11飞机已安装了该型发动机。罗罗公司预计新发动机的工程和制造发展阶段将持续到2026年，B-52H目前使用的TF33预计在20年代末到达使用寿命，美国空军计划在2026—2027年间交付首批换发后的B-52H，于2030年具备初始作战能力，新的发动机将在B-52H上服役至少到2050年。

俄罗斯首架独立建造的图-160M2 配装NK-32-02发动机完成首飞

2022年1月12日，第一架从零开始生产的图-160M2战略轰炸机配装NK-32-02发动机完成首次6000m高空的30min飞行测试，此前的图-160M是以苏联遗

留下来未完工的图-160机体制造的。图-160M2是图-160的深度改型，起飞质量275t，载弹量45t，是全球最大的战略轰炸机，实用升限21000m，最大飞行速度 $Ma2.05$ ，飞行距离13000km以上。NK-32-02推力高达245kN，是俄罗斯目前推力最大的航空发动机，采用新型冷却系统，压气机和涡轮叶片都采用了新材料，与图-160使用的NK-321相比，节油性能、使用寿命和推力都有所提高。除图-160M2外，今后所有的图-160也将换装NK-32-02，预计2023年首批图-160M2将列装部队。



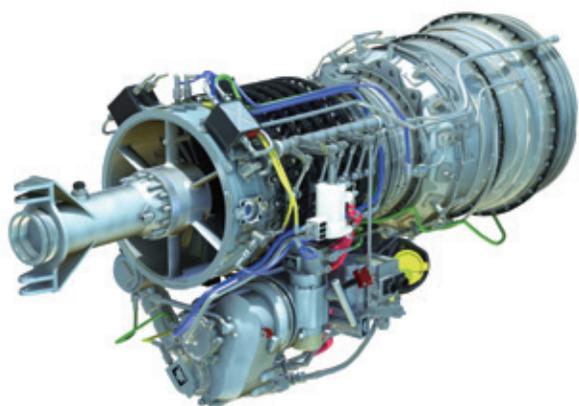
NK-32-02涡扇发动机进行台架试验

美俄旋翼机及动力研发各有侧重

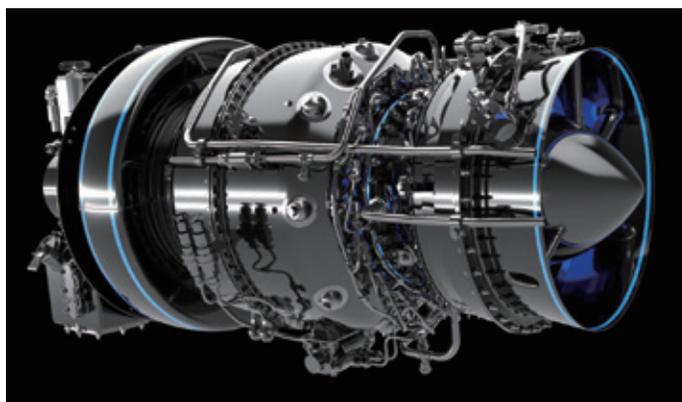
美国下一代涡轴发动机T901交付首台并完成第一阶段测试，除了配装未来攻击侦察机（FARA）外，还为现役UH-60“黑鹰”和AH-64“阿帕奇”换发，实现“一发多机”；V-280“勇士”倾转旋翼机中标未来远程攻击直升机（FLRAA），即刻转入工程研制阶段，将配装罗罗公司AE1107F发动机。俄罗斯受到西方制裁的影响，不仅现役直升机用的国外发动机进口受阻，生产设备和零件也受限，目前正加紧研发替代用的国产发动机，努力实现自主保障。

美国下一代旋翼机动力T901首 台交付并完成第一阶段试验

GE公司于2022年3月，向美国陆军交付首台T901涡轴发动机（比原计划推迟了9个月），并在7月初完成第一阶段试验。T901发动机累计运行时间超过100h，并继续开展为期约为一年的一系列飞行前评估（PFR）试验，评估性能是否符合军用适航认证标准。T901将为美国陆军的FARA、UH-60“黑鹰”和AH-64“阿帕奇”提供动力。与T700相比，



AE1107F 涡轴发动机



VK-1600V

T901的功率提高50%，耗油率降低25%，部件耐久性的增加还将降低全生命周期成本，保持了与T700相同的安装方式便于在现有机队上进行换装。T901预计2023年年底前完成配装FARA的首飞，2032年服役，最初两年交付255台，第三年交付212台。

美国FLRAA将配装AE1107F发动机

贝尔公司研制的V-280“勇士”倾转旋翼机于2022年12月中标美国陆军FLRAA项目，将即刻转入工程研制阶段。V-280的速度是传统直升机的2倍，最高巡航速度达565km/h；使用航程超过3000km（携带机身油

箱的情况下接近4000km），作战半径达930~1400km，可满足从第二岛链出发的“远程”需求。V-280采用两台罗罗公司的AE1107F涡轴发动机，是V-22“鱼鹰”倾转旋翼机所配装的AE1107C的改进型，单台功率5149kW。FLRAA计划于2025年投入使用，2030年左右正式服役，取代大约2000架UH-60通用直升机和大约1200架AH-64攻击直升机。

俄罗斯加速国产涡轴发动机研制以实现自主保障

在过去的20年里，俄罗斯没有制造出任何一型全新的直升机发动机，受西方制裁影响，俄罗斯准备将其直升机产品上的国外发动机换

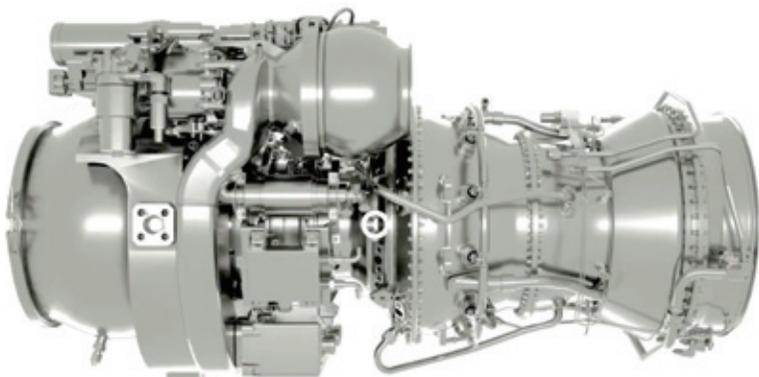
装为俄制发动机。安萨特（Ansat）和卡-226轻型直升机将换装克里莫夫VK-650V涡轴发动机，该发动机起飞功率485kW，计划于2023年取证，2024年开始量产；卡-62多用途中型运输直升机将换装VK-1600V涡轴发动机，该发动机起飞功率为1029kW，计划2023年取证，2024年批产；米-26系列重型运输直升机也将换装俄制涡轴发动机，新发动机将基于俄新型PD-14或者PD-8发动机的核心研制。

结束语

2022年，多款航空主战装备及动力实现突破性进展，涡轮发动机的综合性能持续改进提升以支撑传统装备换代升级。在技术方面，飞机平台和武器系统对发动机的能量供给需求越来越高，综合能量和热管理、飞发集成等愈发关键；在产品方面，去全球化趋势叠加军事冲突的风险提升，自主保障成为各国优先考虑事项。

航空动力

（韩玉琪，中国航发研究院，高级工程师，主要从事航空发动机科技情报与战略论证研究）



T901 涡轴发动机