

2023年军用航空动力进展

Progress of Military Aero Engine in 2023

■ 韩玉琪 / 中国航空发动机研究院

2023年，世界范围内的局部军事冲突进一步加剧，主要国家进一步加大了军费投入，以新型作战概念和新兴技术发展牵引作战装备及其动力的研发，并实现多项重大进展。

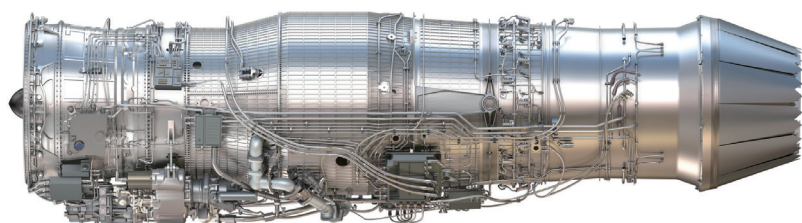
在军用航空动力方面，国外多款航空主战装备及动力在2023年完成重大里程碑节点，涡轮发动机综合性能持续提升以支撑装备平台的升级换代：下一代战斗机动力进入详细设计阶段，下一代战略轰炸机及其动力实现首飞，下一代旋翼机动力实现飞行试验用发动机的首批交付。

美欧俄竞相加速先进战斗机动力的研发与完善

针对下一代战斗机用自适应发动机的研发，国际上目前已形成美国、法国/德国/西班牙合作团队、英国/日本/意大利合作团队、俄罗斯等4个团队，其中美国处于绝对领先发展的地位，已进入详细设计阶段。同时，美国不断修复第五代战斗机动力F119、F135在使用中出现的问题，美国空军选择F135发动机核心机升级（ECU）方案为F-35战斗机换发，俄罗斯AL-51F-1发动机将于2024年配装苏-57战斗机交付空军。

美国NGAP已进入详细设计阶段

2023年5月，美国空军向工业界发布招标文件，广泛征集下一代空中主宰（NGAD）平台方案，并明确指出计划2024年正式授出工程和制造发展（EMD）合同，标志着



XA100自适应发动机

美国空军正式启动了NGAD平台的工程研制方案征集与选择流程。该EMD合同将只选择一家企业作为总体设计和开发单位，但NGAD平台的一系列机载技术仍将采用模块化开放系统以维持竞争。NGAD平台计划取代F-22，兼具对空和对地攻击能力，将增强杀伤力、远航久航能力、战场生存力、装备互用性和环境适应性，从而满足强对抗作战环境需要，将于2030年投入使用，并计划采购200架。

NGAD平台的配套动力研发项目为下一代自适应推进（NGAP），NGAP发动机将在自适应发动机转化（AETP）项目的技术基础上研发。2023年5—11月，GE公司对其AETP发动机XA100进行了第三阶段试验，目前XA100已具备进入工程

研制阶段的技术成熟度，但并不能直接满足NGAD平台的需求，NGAP发动机与AETP发动机的推力、大小和性能不同，但两者将共享技术。2023年5月，GE公司将其提出的NGAP发动机命名为XA102，美国空军在NGAP项目中同时资助了另一个竞争性替代方案，即普惠公司基于XA101开发的后继者（《航空周刊》透露该发动机命名为XA103）。2023年8月，美国空军生命周期管理中心透露，NGAP发动机已进入详细设计阶段。2023年11月，普惠公司的NGAP发动机完成了数字初始设计评审（PDR）。尽管美国国防部已决定不采用任何AETP发动机，但在2023年12月，AETP项目再次获得国会资助的2.8亿美元。最近5个财年NGAP项目的预算如表1所示，2028财年之

表1 NGAP项目近5个财年的预算

财年	2023	2024	2025	2026	2027
预算/亿美元	2.24	5.95	5.798	4.569	2.911

后的预算尚未公布。

法国、德国、西班牙下一代战斗机的正式动力已形成两个方案

未来空中作战系统（FCAS）项目由法国、德国和西班牙合作，并由法国国防部武器装备总署（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）等5个组成部分。NGF预计将是一种大型双发隐身多用途战斗机，约30t，能够从航母上起飞，由法国达索公司作为主承包商，空客公司参研。NGF计划将于2028—2029年首飞，2029年进入工程研制阶段，2040年服役。

NEFE由欧美特公司（赛峰集团和MTU公司各占50%的股份）作为主承包商，西班牙ITP Aero公司参研。赛峰集团负责整体设计集成、热端部件和控制系统开发，MTU公司负责冷端部件，并提供维护、修理和大修（MRO）服务，ITP Aero公司负责开发低压涡轮和喷管等工作。发动机推力约为120kN，涡轮前温度可达2100K，计划在2024—2026年做出正式研发决策。2023年7月，赛峰集团透露正在进行M88发动机改型升级，研制能够提供125 ~ 130kN加力推力的发动机，为NGF验证

机提供动力。2023年11月，欧美特公司提出两种NEFE方案：一种是常规涡扇发动机，另一种是自适应发动机，自适应方案具有更大优势并有望成为NGF的最终选择，常规涡扇方案可作为低研发风险的备选方案。

英国、日本、意大利下一代战斗机及动力项目持续推进

2022年12月，英国、日本和意大利宣布共同研发下一代战斗机项目——全球作战空中计划（GCAP），3国于2023年12月签署正式协议并建立了GCAP国际政府组织（GIGO），GIGO将代表各方对GCAP进行指导、控制、监督和管理。2023年1月，瑞典与日本签署协议并加入GCAP。2023年4月，英国国防部向GCAP拨款6.56亿英镑（约8.18亿美元），以促进GCAP研发进入下一阶段，主合同授予了BAE系统公司，2025年5月前英国在该项目上总投资将超过20亿英镑（约25亿美元）。GCAP计划于2024—2025年开始组装验证机，2027年首飞，2035年服役。未来对GCAP的采购需求，英国、日本和意大利均超过300架，瑞典有望超过50架。

GCAP飞行验证机由2台EJ200发动机提供动力，正式发动机将由

英国罗罗公司、日本石川岛播磨重工（IHI）和意大利Avio公司合作研发，在2026年做出有关进入完整开发计划的关键决定。新发动机将比现役发动机产生更多的电力，以支持飞机能够使用激光和其他定向能武器，采用自适应技术，并测试采用新的数字设计工具和新的制造技术以加快研发速度。

俄罗斯为下一代战斗机研发自适应发动机

俄罗斯留里卡设计局正在为下一代战斗机研发自适应发动机“产品333”，将采用高性能材料，如先进陶瓷、复杂的电气系统以及新型的三涵道结构。第三涵道在需要高推力时关闭，巡航时打开，旨在节流模式下减少高达5%的燃油消耗，极大地提高了不同飞行模式下的燃油效率，同时增加了散热能力，这对于下一代战斗机开发的电子战系统和激光武器至关重要。留里卡设计局表示，该型发动机可能要到2035年才能生产出来。

F119发动机低压涡轮疲劳问题得到修复

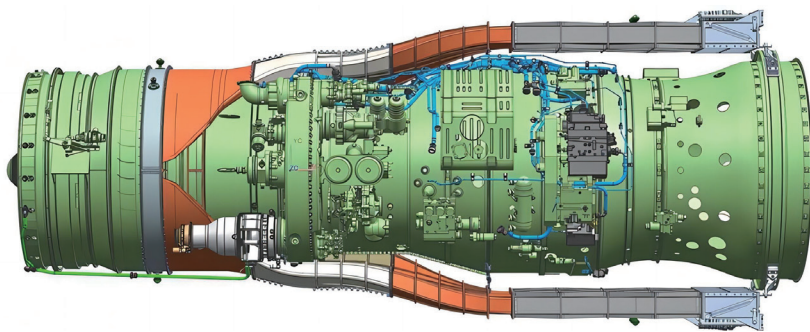
2023年7月，美国空军和普惠公司完成了一项耗资2100万美元的F-22战斗机全机队范围内的F119发



FCAS战斗机及其动力



GCAP下一代战斗机的动力与推进系统



“产品333”三涵道发动机验证机

发动机改造工作，美国空军目前有177架F-22在役。在此之前，第二级低压涡轮叶片存在低循环疲劳缺陷，该疲劳问题导致了7起A级事故，损失近2300万美元，但未造成F-22停飞。

F135发动机ECU方案被美国空军选中为F-35换发

2023年2月，普惠公司公布2022年12月发生的F-35B坠机事故原因为F135发动机的振动问题导致燃料管破裂。普惠公司制订了一个短期补救方案，随后于2023年2月月底获准恢复发动机交付，后续通过重新设计组件来解决该问题。2023年3月，美国空军宣布F-35战斗机换发采用F135发动机ECU方案，放弃自适应发动机方案，并在2024财年预算申请中为ECU方案拨款2.45亿美元，普惠公司希望在2024年年初完成ECU的初步设计评审，并进入详细设计阶段。2023年7月，普惠公司获得一份6600万美元的ECU初步设计合同，总经费达到1.8亿美元。普惠公司预计，升级后的发动机将于2029年投入使用。

AL-51F-1发动机将于2024年配装苏-57战斗机

2023年7月，俄罗斯留里卡设计局透露，目前配装AL-41F-1发动机的苏-57需要开加力才能达到

超声速巡航的速度，第五代战斗机苏-57战斗机的最终动力被确定为AL-51F-1（“产品30”为其内部名称）。AL-51F-1具有3级风扇、5级高压压气机、1级高压涡轮和1级低压涡轮，目前配装轴对称矢量喷管，未来计划采用二维矢量喷管以降低雷达和红外特征，该喷管已成功在地面试验台上进行了试验，包括加力燃烧功能。AL-51F-1发动机将于2024年配装苏-57战斗机交付俄罗斯空天军，据推测，未来还将配装S-70B“猎人”无人机和苏-75轻型战斗机。

美俄加快推进战略轰炸机动力升级更新

战略轰炸机作为远程打击的核心装备，美国和俄罗斯既全力研发下一代隐身战略轰炸机及其动力，又注重升级现役常规战略轰炸机动力以提升战斗力，相关的动力信息透露较少，但据推测均为基于现有发动机技术基础改进发展，并将于2026—2029年投入使用。

动力或为基于F135发动机改型的B-21轰炸机完成首飞

2023年9月，诺斯罗普-格鲁门（诺格）公司开始在首架B-21飞机上测试运行发动机；2023年10

月，首架B-21飞机开始地面滑行测试；2023年11月10日，首架试验型B-21完成首飞，然后将转移到加利福尼亚州爱德华空军基地进行飞行测试，美国空军随后授予了诺格公司第一份低速生产合同，项目进入初始小批量生产阶段，预计2025年前后向南达科他州的埃尔斯沃斯空军基地交付。B-21项目于2011年正式启动，2015年进入工程研制阶段，2018年开始制造原型机，2022年12月推出首架原型机。美国空军计划购买至少100架B-21，替代其现役的全部B-2A和B-1B轰炸机。B-21预计于2026—2027年投入使用。

动力或为基于NK-32-02发动机改型的PAK DA持续研发

2023年12月，俄罗斯国家技术集团宣布，已完成用于测试下一代轰炸机未来战略轰炸系统（PAK-DA）的测试基地与综合试验台的开发工作。PAK-DA于2009年开始工程研制，2012年完成初步设计评审，2019年完成最终设计评审，2020年开始首架原型机组装，其配套动力为“产品RF”，由俄罗斯联合发动机制造集团（UEC）下属的库兹涅佐夫设计局提供，据推测是基于图-160M的NK-32-02发动机改进研发，并可能借鉴了民用发动机PD-14的相关先进技术。PAK-DA预计于2024年首飞，2028—2029年开始批量生产。

用于B-52换发的F130初步测试即将完成

2023年3月，罗罗公司开始为B-52轰炸机测试F130发动机，并于9月表示有望在年内完成初步测试（目前尚无确切消息）。项目的开发主要集中在将发动机与B-52的机



用于B-52轰炸机换发的F130发动机

翼、短舱和驾驶舱控制集成方面。新发动机的项目成本可能上涨50%，预期燃油效率也有所降低，从之前的目标（比当前TF33发动机降低30%）降至约20%。F130发动机基于运行时间超过3000万h的罗罗公司公务机动力BR725发动机改型开发，在罗罗公司位于印第安纳波利斯的工厂制造、组装和测试，预计未来将交付600多台新发动机。F130发动机预计能将B-52的使用寿命延长30年，提高耐用性和性能。罗罗公司计划2024年年初开始F130发动机的关键设计审查。B-52H轰炸机换装F130发动机后，将被命名为B-52J，首批将于2026—2027年交付，2030年达到初始作战能力，并服役至2050年后。

美欧稳步研发下一代旋翼机动力

美国陆军接收了首批2台飞行试验用的T901发动机，北大西洋公约组织（北约）下一代旋翼机能力（NGRC）计划选择GE公司及其子公司Avio Aero研发动力，为满足下一代直升机平台的高速需求，这两型动力的

功率较现役同类型产品提高50%，达到2000kW以上。

GE公司向美国陆军交付首批2台飞行试验用T901发动机

2023年10月，GE公司向美国陆军交付了配装未来攻击侦察机（FARA）原型机的首批2台飞行试验发动机T901。T901发动机是为了满足美国陆军对动力增强的需求而研发，其设计借鉴了一系列商用发动机技术，包括三维（3D）建模、陶瓷基复合材料（CMC）和3D打印零件，通过机载发动机健康管理系统增加飞行时间，提升保障服务灵活性，与T700相比，T901发动机的功率提高50%（达到2237kW），耗油率降低25%。T901发动机配装FARA的首飞延期至2024年第4季度，2032年配装FARA服役，此外，还将用于UH-60“黑鹰”和AH-64“阿帕奇”直升机换发。

GE公司获得北约NGRC计划的动力研发合同

2023年12月，北约支持与采购局（NSPA）宣布，GE公司与Avio Aero公司共同研究可满足下一代旋翼机能力（NGRC）计划要求的新

型动力装置，这项为期6个月的研究将“确定、评估和比较能够满足NGRC计划要求的创新动力装置解决方案”，预计新型动力的功率将超过2237kW。NGRC计划是法国、德国、希腊、意大利、荷兰和英国等6国之间的合作项目，是美国陆军未来垂直升力（FVL）计划的欧洲版本，未来将替代1000多架米-18/17、“美洲豹”、S-70/UH-60和NH90直升机，这些国家于2022年6月签署了一份谅解备忘录，并投入2670万欧元（2800万美元）开发下一代中型多用途高速直升机，准备在2035—2040年投入使用。

结束语

美国处于全面领先发展的态势，下一代战斗机动力用自适应发动机已进入详细设计阶段，同时也不断完善升级第五代战斗机用动力，并积极推进战略轰炸机及直升机的换发升级，支撑军用航空装备的战斗能力提升；欧洲各国及日本更加注重自身的产品研发和保障能力，但受限于技术能力、未来装备需求量和自身工业基础等多种因素制约，被迫采取抱团研发的策略，其各种动力方案都带有“美国方案”的影子，但多国需求、分工的协调以及缺乏第五代战斗机动力研制经验，使得相关研发存在较大的不确定性；俄罗斯的动力研发进度较相应的飞机平台出现滞后，但因受到西方制约，正在全力实现动力的自主保障，同时也在积极探索下一代动力方案。

航空动力

（韩玉琪，中国航空发动机研究院，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）