

# 2020年军用航空动力发展综述

## Development Review of Military Aero Engine in 2020

■ 颜瑾钊 李明 / 中国航发研究院

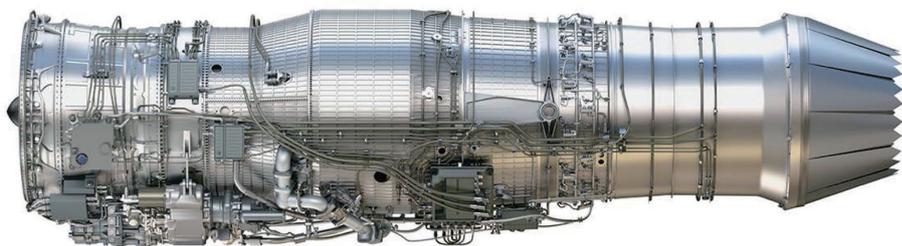
受新冠肺炎疫情影响，2020年全球经济萎缩、国内生产总值（GDP）下滑，但全球国防开支却增长1.9%，保持了7年的不间断增长，对动力装置的研发投入也随之水涨船高。当前，对于战斗机的动力，三代机仍是主力担当、四代机业已成熟、下一代的研发稳步推进；而轰炸机和旋翼机的动力则继续升级换代。

### 欧美持续投入战斗机动力换代发展

即使没有明确的航空平台牵引发发动机的需求，美国依然采取技术推动策略，一直超前研发，保持航空发动机的持续换代升级。欧洲则针对较确切的需求，几乎与飞机同步发展动力装置，考虑政治、经济、市场、能力等综合因素，法德两国选择合作研发下一代动力，英国则是独立开展。从型号研发的角度来看，以F135为典型代表的四代机动力现已基本成熟，进入大批量生产、维护保障、改进升级阶段；俄罗斯的“产品30”大量技术细节公布，正在开展二阶段试验；F110、AL-41F-1S等三代机动力，凭借成熟的技术、充沛的产能、稳定的后勤保障，仍是战斗机动力的中流砥柱。

#### 欧美持续研发下一代战斗机动力

**美国自适应发动机将在2025年前具备飞行能力** GE航空集团和普惠公司按计划将在2022年第二季度之前各自完成“下一代自适应推进”（NGAP）系统的独立竞争设计，并将在3年后完成全尺寸发动机评估。NGAP系统的研发包括初步设计、详细设计、发动机制造和发动机评估等4个阶段。美国空军分别授予了



GE航空集团的自适应发动机

GE航空集团和普惠公司价值4.27亿美元合同，以支持NGAP系统的研发。据报道，美国的自适应发动机将在2025年前具备飞行能力。

**英国“暴风”战斗机动力采用先进电气技术，预计2035年服役**

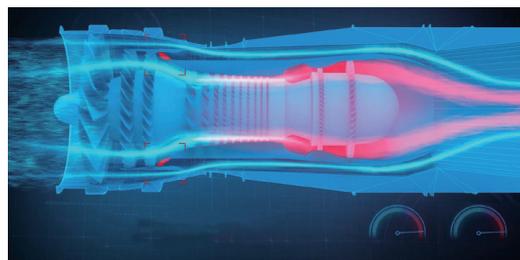
罗罗公司表示将在下一代战斗机“暴风”项目中应用近5年一直在开发的世界顶尖技术。为了更电气化、更智能，未来战斗机的电力需求将达到前所未有的水平，包括武器、大功率的传感器、通信系统、作动系



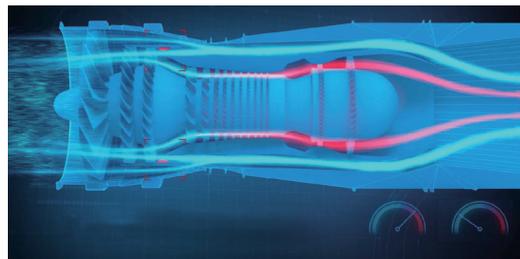
“暴风”战斗机及发动机



(a) FCAS 战斗机及其动力装置概念图



(b) FCAS 用发动机的大推力模式



(c) FCAS 用发动机的低油耗模式

### FCAS 战斗机及其动力装置

统、附件及常规航电设备等。电气化导致热负荷随之增加，需要在飞机隐身的前提下进行妥善管理。“暴风”启动之前，罗罗公司已经开始相关研究，如完全嵌入燃气轮机发动机核心机的起动机发电机，即“嵌入式起动机发电机”（E2SG）的演示验证项目，发动机不仅产生飞机所需推力，还为飞机所有系统提供电力，并管理由此产生的热负荷。

**法德采用变循环技术，演示验证机将在2027年就绪** 法国赛峰集团公布了“未来作战航空系统”（FCAS）的动力装置的部分技术细节。该发动机由赛峰集团和德国MTU航空发动机公司在2019年年年初确定合作研发，前者负责热端部件的研发与集成，后者负责冷端部件并提供维护、修理与大修（MRO）服务。该发动机具有变循环能力能够调节涵道比，矢量喷管更易于飞机操纵；并将探索混合动力技术以进行机载能量管理。结构更紧凑、质量更轻的该发动机能产生强大推

力，支持超声速巡航以及长时间的低速巡航。由于涡轮前温度预计将高达2100K，赛峰集团将研发可以承受此温度的先进技术和材料。演示验证发动机将在2027年准备就绪。

### 美国F135生产保障能力提升，俄罗斯持续发力“产品30”

**美国大批生产F135发动机并进行改进维护** 洛克希德-马丁（洛马）公司在2020年全年交付123架F-35战斗机，截至2020年年底，该机共交付了600余架，累计飞行时间超过34.5万h；作为其动力的F135发动机由普惠公司独家提供。美国在加速生产F135发动机的同时，已着手对其进行改进升级研究，并推进建立一个有效的全球支持网络，提供发动机全生命周期的使用保障支持。

在批量生产方面，普惠公司从21世纪初就相继获得了一系列F135合同，配装前11批次小批量生产的F-35，并在2019年宣布与美国国防部签订了一份价值57亿美元的332

台F135发动机生产合同，包含第12批次和第13批次发动机，第14批次的定价期权，以及配套的项目管理、工程支持和生产支持。

在改进升级方面，普惠公司在2020年3月宣布获得价值约3.198亿美元的发动机改进合同，涉及为美国海军、空军以及日本生产交付的32台F135-PW-100。10月，普惠公司获得对F135开展升级研究和作战评估的合同，来确定F-35及后续型号对发动机不断增长的要求，以支持未来武器系统能力要求，评估集中在提升推力和动力热管理能力，以及减少燃油消耗等。

在维护保障方面，美国国会要求在2021年财年增购24%的F-35，并额外建设包括飞机和发动机在内的备件和场站级维修能力。4月，美国向韩国开始提供价值6.75亿美元的F-35及F135维修服务。11月，普惠公司开始在挪威启用F135的MRO和升级工厂，计划到2021年年底形成初始大修能力，工厂可为未来数

10年F135的全球用户提供MRO、升级及后勤支持等一系列服务。12月，普惠公司获得6.42亿美元的F135使用和维护合同，支持美国空军、海军、海军陆战队、国际客户的F135的外场使用，合同预计将于2021年11月完成。

**俄罗斯“产品30”进行第二阶段试验** 俄罗斯多功能战斗机苏-57的第二阶段动力“产品30”发动机（也称“30号机”）进行第二阶段试验。“产品30”由俄罗斯联合发动机集团（UEC）研发，采用变涵道比设计，涡轮前温度高达1950~2100K，最大推力可达107.8kN，加力推力176.4kN，推重比大于10:1，耗油率与AL-31F发动机相当。两台“产品30”可使苏-57在不开加力状态下巡航速度达Ma1.5。等离子点火系统提高了发动机红外和雷达隐身能力，矢量喷管大幅提升了飞机各状态下的机动性。首架配装“产品30”的苏-57将于2022年完成。

### 三代机动力成熟可靠，仍是主战装备

#### F110发动机再获大批生产订单

GE航空集团获美国空军授予的4份F110-GE-129发动机生产合同，属于不确定交付/不确定数量（IDIQ）性质，价值约7.07亿美元，将为第70批次F-16C/D及F-15QA战斗机提供动力，以及安装、备件和升级发动机管理系统。合同涉及多个对外军售项目。

2020年5月，美国空军为461台F-15EX用发动机发起竞争性招标，要求2023年6月开始交货，预计生产将持续到2030年。6月，美国空军授予GE航空集团1.01亿美元固定价格合同，采购F-15EX用F110-GE-129

发动机，包括发动机安装、备件及现代化的发动机监控系统。9月，GE航空集团向空军交付了首台发动机。

**F414发动机为韩国下一代战斗机KF-X提供动力** GE航空集团为韩国航空工业公司的KF-X飞机交付了首台F414-GE-400K发动机。KF-X是韩国正在研发的下一代战斗机，以替换F-4D/E、F-5E/F，计划在2023年开始飞行试验，2026年完成开发。作为研发计划的一部分，GE航空集团将在2021年前为6架原型机飞行试验提供15台F414发动机。韩国空军计划采购120架KF-X，配套的240台发动机及备用发动机由GE航空集团提供。

**配装苏-30的AL-41F-1S正加紧生产** 俄罗斯空军计划在2021年将基于苏-30SM设计的苏-30重型战斗机新型号投入使用，将配装更加先进的AL-41F-1S发动机（即117S），该型发动机目前正在生产中。AL-41F-1S在AL-31F基础上持续改进而来，配装苏-35战斗机，不仅具

有更大的推重比、爬升率和可操纵性，而且效率和功率也更高；能提高战斗机飞行速度，改善飞行性能。使用单一类别的标准发动机可减轻空军的维修负担。

## 美俄加速战略轰炸机动力升级换代

### 美国发布B-52H换发信息征询书

2020年4月23日，美国空军发布了B-52H轰炸机的换发需求草案。B-52H以普惠公司的8台TF33发动机为动力，自20世纪60年代初开始服役。美国空军打算采购608台民用发动机，外加备用发动机和支援设备，以确保该重型轰炸机可以服役至2050年。GE航空集团、普惠公司和罗罗公司均对参与此计划表示了兴趣。GE航空集团打算以CF34-10和“通行证”（Passport）等两型发动机参与竞标，普惠公司打算以PW800发动机参与竞标，罗罗公司打算以由BR700衍生而来的F130发



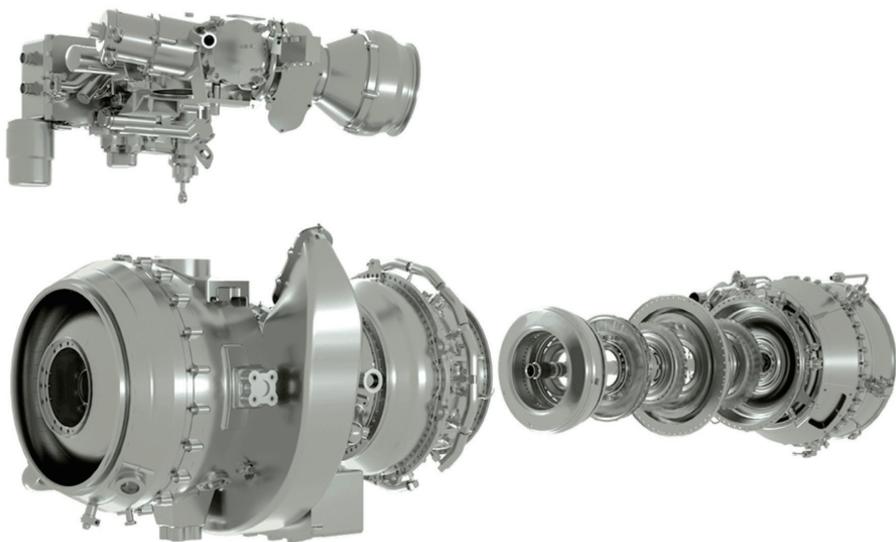
图-160M换装NK-32-02发动机

动机竞标。

### 俄罗斯图-160M换发首飞

图-160M战略轰炸机换装NK-32-02新型发动机在11月完成首飞，这是继图-160M在2月完成首飞后达到的又一里程碑。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，不论是节油性能、使用寿命，还是推力都有所提高，使图-160的航程增加了1000km以上。NK-32-02由俄罗斯联合发动机集团研制，已具备批量生产条件，预计将于2021年供应新一批NK-32-02。而对于下一代战略轰炸机“远程航空兵未来航空综合体”（PAK DA）的动力，据俄罗斯透露，目前正处于原型机研制阶段，预计将于2021—2022年完成。NK-32-02发动机的研制将为新一代动力装置奠定基础。

### 美国新一代旋翼机动力产品和技术发展顺利



T901涡轴发动机部件示意

### 新一代涡轴发动机T901完成关键设计评审

美国陆军确定入围“未来攻击侦察直升机”（FARA）原型机研制的两个方案，分别是西科斯基公司的“袭击者”X和贝尔公司360“不屈”。GE航空集团的新一代涡轴发动机T901被指定为FARA项目的唯一动力，同时也是600架AH-64“阿帕奇”和1300架UH-60“黑鹰”直升机的升级动力。

与“阿帕奇”“黑鹰”的当前动力T700发动机相比，T901功率将提高50%达到2240kW，耗油率降低25%，功重比提高65%，设计寿命提高20%，生产和维修成本均降低35%，且能在1830m高度、35℃的环境下保持性能。

T901在2019年进入工程和制造开发（EMD）阶段，在2020年7月完成系统级关键设计评审（CDR），受新冠肺炎疫情影响采用的是线上评审的方式。此后，T901进入了下一个关键里程碑，即XT901首台发动机整机试验；2021年预计完成发动机整机

试验；2024年与平台一起完成飞行验证；2028年未来攻击侦察直升机进入服役状态，形成初始战斗力。

### 未来经济可承受涡轮发动机计划即将完成

GE航空集团即将完成“未来经济可承受涡轮发动机”（FATE）计划，开发一型3730 ~ 7460kW的涡轴发动机。FATE计划由GE航空集团和美国陆军联合出资，旨在达到一系列发动机质量、成本和性能目标，包括油耗降低35%，功重比提高80%，设计寿命提高20%，生产和维护成本比目前使用的传统发动机降低45%。

截至2020年10月，GE航空集团已经完成两台发动机的测试，以及几项部件测试，包括进口粒子分离器、压气机、燃烧室和涡轮。目前发动机已完成超过130h的测试，获得了2200多个稳态数据点。

在FATE计划中开发和验证的技术将用于下一代涡轴发动机、正在研制的T901发动机，以及T700和T408等现役发动机产品。

### 结束语

纵观2020年世界军用航空动力技术和产品的发展，传统燃气涡轮发动机仍是当前航空装备的主流动力形式，形成了“三代是主力，四代是先锋，自适应、电气化是可见未来”的基本格局，不断融合新技术，改进、提高燃气涡轮航空发动机的综合性能，缩短研发时间、降低全生命期成本仍是各国目前的主攻方向。

**航空动力**

（颜瑾钊，中国航发研究院，工程师，主要从事航空发动机发展战略研究）