

# 2024年军用航空动力进展

## Progress of Military Aero Engine in 2024

■ 韩玉琪 / 中国航空发动机研究院

2024年，国际安全局势动荡变革加剧，各军事强国更加重视作战装备及其动力的自主研发，并积极探索新型作战样式，以打造非对称优势。

世界军用航空动力在2024年呈现出以下发展趋势：多国的下一代战斗机及动力研发出现波折，下一代轰炸机及其动力密集试飞，无人作战飞机及其动力备受追捧。

### 美欧下一代战斗机及动力研发

在下一代战斗机及动力研发项目方面，美国空军及海军均出现经费问题，空军进行了再审查，海军则更多考虑放弃自适应发动机转而采用传统涡扇发动机的衍生发展型；法国、德国、西班牙以及英国、日本、意大利两个研发团队由于采用多国合作研制的模式，团队内部存在分歧并导致研发进度受到影响。在第五代战斗机用动力方面，美国F135发动机核心机升级（ECU）项目完成初步设计评审，俄罗斯苏-57战斗机单发换装AL-51F-1二维矢量型发动机试飞。

#### 美国空军开展NGAD平台研发再审查 配套动力NGAP即将进入制造阶段

下一代空中优势（NGAD）平台计划取代F-22战斗机，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

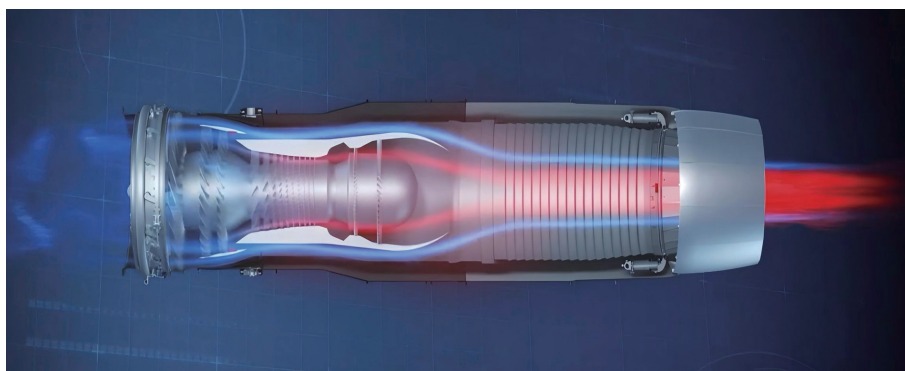
和环境适应性，从而满足强对抗作战环境需要。2024年7月，NGAD平台因过于昂贵（单价约为F-35战斗机的3倍，即2.5亿~3亿美元）而暂停研发并进行再审查，美国空军希望NGAD平台的单价不超过F-35战斗机。2024年12月，美国空军表示，对NGAD平台的再审查已完成并继续支持其研发，将由特朗普政府决定NGAD平台的后续研发方案，意味着工程与制造发展（EMD）合同将延迟至2025年授出，目前竞标商仅剩洛克希德-马丁（洛马）公司和波音公司。NGAD平台计划于2028年左右开始试飞，2030年左右投入使用，计划采购200架。

NGAD平台的配套动力研发项目为下一代自适应推进（NGAP）计划，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。2024年5月，GE航空航天公司的AETP发动机XA100发动机完成了第四轮地面试验，进一步加速自适应发动机技术成熟。NGAP项目由GE航空航天公司和普惠公司承担，GE航空航天公司的发动机方案命名为XA102、普惠公司的为XA103，推力小于AETP发动机。NGAP项目包括初始设计、初步设计、自适应原型规划、详细设计、发动机制造

和发动机评估6个阶段。2024年2月，XA103发动机通过了美国空军的关键设计审查（CDR），将继续进行地面测试工作。美国空军计划于2025财年完成NGAP的详细设计，进入发动机制造阶段。

#### 美国海军将于2025年授出F/A-XX的EMD合同 配套动力或选择传统涡扇发动机改进型

美国海军的下一代舰载战斗机为F/A-XX，将取代海军现役的F/A-18E/F多用途战斗机和E/A-18G电子战飞机，兼具对空和对地攻击能力，可执行舰队防御和远程打击任务，较F-35C第五代战斗机拥有更远的航程、更强的传感和电子战能力。与空军的NGAD平台一样，F/A-XX也旨在与协同作战飞机（CCA）等无人平台协同作战。2024年3月，由于面临预算压力和更紧迫的战备要求，美国海军削减F/A-XX 2025年的研发支出至4.538亿美元，较上一年减少约10亿美元；2024年7月，2025年《国防授权法案》草案显示，F/A-XX 2025年的研发支出将进一步缩水至0.5382亿美元。2024年11月，美国海军表示，将于2025年年底（约2025年第三季度）授出其F/A-XX的EMD合同，在波音公司、洛马公司、诺斯罗普-格鲁曼（诺格）公司3家



MTU公司发布的NGFE发动机

竞标商之间做出选择。F/A-XX预计于2030年之后投入使用。

F/A-XX配套动力信息披露较少，美国海军最初曾考虑与NGAD平台共享发动机技术，但在2024年11月时海军表示，将更多考虑采用传统涡扇发动机的衍生发展型，GE航空航天公司和普惠公司正在竞标F/A-XX的发动机。

### 法国、德国、西班牙合作的下一代战斗机首飞延迟

法国、德国和西班牙3国合作研发的未来空中作战系统（FCAS）是一个系统簇，其中的下一代战斗机（NGF）预计将是一种大型双发隐身多用途战斗机。2023年12月，法国空天部队表示，NGF正在权衡4种方案设计，将于2025年3月确定最终设计方案。2024年5月，FCAS项目的人工智能主干网络（AI-Backbone）正式投入运行；同月，空客公司表示，将开发一种有人-无人编队（MUM-T）能力，通过系统和组队高级研究（STAR）计划使“台风”战斗机能够远程操控无人忠诚僚机，未来将引入FCAS。由于法国、德国、西班牙在军事任务需求、工作分配与共享、知识产权等方面存在分歧，NGF的设计指标尚未最终确

定。NGF首飞延迟至2029年，并将于2040年服役。

NGF的配套动力为下一代战斗机发动机（NGFE），推力约120kN，涡轮前温度可达2100K，在M88发动机的技术基础上研发，将采用变循环、推力矢量喷管、混合电推进、先进能源和热管理、健康管理、隐身、增材制造等新技术，预计将具有更低的油耗和开发制造成本、更长的维护时间间隔、更高的发动机功率提取等特征。2024年7月，空客公司高管指出，目前的发动机技术可能成为未来演示验证飞机设计的一个限制因素，发动机的尺寸和性能将决定飞机的尺寸。NGFE计划

于2025年做出正式研发决策。

### 英国、日本、意大利下一代战斗机及动力项目完善管理体制

全球作战空中计划（GCAP）是英国、日本和意大利合作的未来战斗机研发项目，是具备超声速能力的隐身战斗机，或将配备高超声速导弹和定向能武器。2024年5月，英国“暴风”战斗机演示验证机设计方案完成了关键设计审查。2024年7月，在范堡罗国际航展首日，3国合作的GCAP战斗机展示了新外形，采用了修改后的设计，配备新的、翼展更大的三角翼，意味着燃料容量增加，航程更远，有效载荷和武器载重可能更高。2024年11月，日本防卫省宣布，3国已达成协议将GCAP的国际管理机构设在英国雷丁，日本前防卫审议官冈真臣成为该机构首任最高管理者——首席行政官，后续由3国轮流派人担任。2024年12月，3国宣布成立1家合资企业（英国BAE系统公司、日本飞机产业振兴株式会社、意大利莱昂纳多公司各占1/3份额）来负责GCAP，计划2025年年中启动运营。由于3国对于GCAP的任务定位及技



2024年范堡罗航展上展示的GCAP战斗机新外形

术指标存在分歧，当前项目进展缓慢。GCAP计划于2025年完成概念评估，2027年首飞，2035年投入使用。

2024年7月，罗罗公司透露，正与意大利Avio Aero公司、日本石川岛播磨重工（IHI）为GCAP合作研发发动机的全尺寸地面验证机，作为未来技术的验证平台，获取的数据将直接输入到生产设计环节，并最终输入给早期的飞行测试飞机，但验证机的规格尚未最终确定。GCAP飞行验证机由2台EJ200发动机提供动力，正式发动机的研发将在2026年做出有关进入完整开发计划的关键决定。

### F135 发动机 ECU 项目完成初步设计评审

2024年7月，普惠公司宣布，F135发动机的ECU项目已通过初步设计审查（PDR），并进入详细设计阶段。2024年9月，普惠公司在该项目上获得了一份价值13亿美元的合同，以继续开展设计、分析、地面试验、发动机试车准备、硬件开发、试车台组装搭建、空气系统集成、适航评估以及产品维护保障等工作。在F-35战斗机正在开展的第四批次（Block 4）升级中，需要从发动机提取更多的引气用于冷却，此次的发动机核心机升级能完全满足该需求，同时还将提升发动机的推力和燃油效率。核心机升级后的F135发动机将会在F-35生产阶段直接集成，或在全球多个F135发动机维修维护设施中进行改装，升级后的发动机将于2029年投入使用。

### 苏-57 战斗机单发换装AL-51F-1 二维矢量型发动机试飞

2024年12月，俄罗斯的第五代战斗机苏-57单发换装AL-51F-1二

维矢量型发动机（另1台仍为AL-41F-1发动机）开展了测试，苏-57战斗机集成AL-51F-1发动机有望提高隐身性能、实现超声速巡航、降低使用成本和维护需求、增加机载子系统（如雷达）的可用功率，并显著提高航程和各方面的飞行性能。AL-51F-1发动机有望于2027年之前投入使用，未来将配装升级后的苏-57M战斗机，以及S-70B“猎人”无人机和苏-75轻型五代战斗机。

## 美国推进战略轰炸机及其动力升级更新

美国下一代轰炸机B-21研制进展顺利，已进入低速生产阶段，目前正在开展密集试飞工作，预计美国空军将于2025年接收首架。B-52轰炸机换发项目通过了关键设计审查，但成本继续上升且初始作战能力（IOC）里程碑延迟至2033年。

### 美国下一代轰炸机B-21密集试飞 其动力或基于F135发动机改型

B-21隐身战略轰炸机是美国空军远程打击的核心装备，未来可与隐身侦察无人机（RQ-180等）、空中电子攻击装备组成远程打击系统

簇。2024年1月，美国国防部宣布，B-21轰炸机已进入低速生产阶段。2024年9月，诺格公司宣布，B-21轰炸机正在开展密集试飞工作，可达每周2架次，密集的试飞活动表明，B-21轰炸机具有比B-2轰炸机好得多的航后维修性，试飞结果与数字工程模型仿真的符合度较高；同时，美国空军在与太空军协会组织的“B-21更新”主题活动上宣布目前共有3架B-21验证机在测试：1架进行飞行测试、1架进行疲劳测试、另1架已完成结构测试。据推测，B-21轰炸机配置了2台基于F135发动机改型的无加力涡扇发动机。2024年5月，美国空军首次发布B-21轰炸机飞行测试图片，可看到发动机尾部的排气口较B-2轰炸机更为扁平，从而可进一步降低其雷达和红外特征。美国空军计划采购100架B-21，预计将于2025年接收首架，21世纪30年代初部署40多架，2035年左右部署达到100架。

美国空军指出，最初的飞行试验飞机与后续作战配置的B-21轰炸机的生产，都将依靠相同的人员采用相同的设备制造，飞行试验结束



美国空军首次发布的B-21轰炸机飞行测试图片

后，试验飞机也要拆除试验设备，并配置成作战飞机。美国空军宣布将首先把B-21轰炸机部署在3个基地：南达科他州埃尔斯沃思空军基地、密苏里州怀特曼空军基地和得克萨斯州戴斯空军基地。英国智库国际战略研究所（IISS）分析指出，未来B-21轰炸机可在亚太地区的4个基地部署：美国关岛安德森空军基地和澳大利亚的达尔文、汤斯维尔和安伯利3个皇家空军基地，未来配备AGM-158D JASSM-XR联合空对地导弹改进型（射程约1800km，计划于2027年2月开始交付）后，将极大地扩展美国空军的远程投射能力，几乎可覆盖亚洲全境。

### **B-52轰炸机换发项目通过关键设计审查**

2024年8月，罗罗公司宣布，在其印第安纳波利斯的工厂中启动了新发动机F130的海平面测试。同时，罗罗公司已在美国国家航空航天局（NASA）坦尼斯航天中心完成了快速双吊舱测试，测试结果包括侧风条件下的性能验证，进一步降低了新发动机与飞机集成的风险。但2024年6月，美国政府问责局（GAO）发布的报告显示，该项目成本不断增加且进度也出现延迟。2024年12月，罗罗公司表示，该项目已通过关键设计审查。换发后的B-52J轰炸机预计将于2033年达到初始作战能力，较原计划晚了3年。

### **美欧推进无人作战飞机研发以催生新质战斗力**

美国和欧洲均将无人作战飞机作为未来空中力量新质战斗力的重要增长点，并积极推进研发工作。美国在此方面的进展处于领先状态，美

国空军的CCA项目选出2家竞标商并完成了关键设计审查，尽管配套动力需求尚未完全确定，发动机制造商已针对其研发低成本涡轮发动机，预计首批CCA将于2028年交付；英国提出了相应的无人机设计概念，配备单台涡扇发动机并具有远程作战能力，并计划2年内首飞；欧洲无人机（Eurodrone）项目通过初步设计审查，但进度已延迟，未来将作为法国、德国、西班牙FCAS项目中的一型无人协同作战飞机使用，配备2台新研制的高效涡桨发动机，计划于2030年开始交付。

### **美国CCA完成了关键设计审查 发动机制造商针对其研发低成本涡轮发动机**

美国空军表示，CCA将是快速迭代版本的短寿命无人机，每2~4年推出一种新设计，以确保最新技术快速应用于新版本的CCA，平均服役年限不会超过10年，接近服役年限的飞机可能会被用于充当导弹训练或目标训练的靶机。CCA采用开放式架构、开放式任务系统和具备愈加成熟的人工智能自主作战能力，可通过软硬件的升级不断增加新的能力，服役初期将与有人机共同执行任务，包括NGAD平台、F-35A战斗机和其他机型，进一步成熟后也将独立作战。2024年4月，美国空军宣布，通用原子航空系统公司和安杜里尔公司获准进入CCA的下一研发阶段，两家公司将分别开展原型机的详细设计、制造和测试；2024年11月，美国空军宣布上述2家公司的两型CCA设计通过了关键设计审查。通用原子航空系统公司参与CCA项目的飞机为XQ-67A，于2024年2月首飞，采用背部进气和

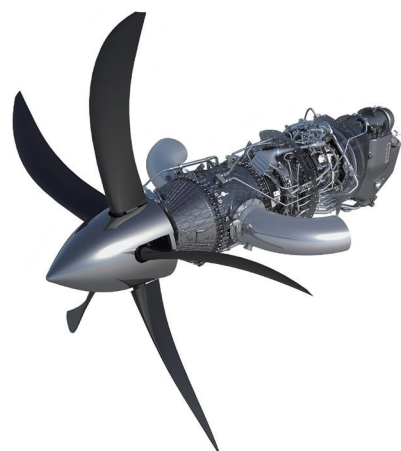
V形尾翼，最终的CCA无人机与XQ-67A将拥有相似的起落架和机身结构设计，但机翼截面形状将略有不同。美国空军早期CCA无人机的采购单价将是F-35战斗机的1/4~1/3，即2050万~2750万美元之间。美国空军计划采购1000架CCA，首批将采购100架，2028年开始交付，并最终于2035年部署1000架。

美国国防部仍在探索究竟需要CCA提供什么样的能力，这将决定最终的发动机需求。针对CCA用动力，GE航空航天公司与克雷托斯（Kratos）公司合作开发了低成本涡扇发动机GEK 800，推力为3.6~13.3kN，将系列化发展，较传统的载人飞机动力具有更低的寿命与维护、修理和大修（MRO）工作量；普惠公司计划基于其TJ150单级涡喷发动机改进设计，从而实现低成本、快速批量生产，新发动机的核心机所需的零部件数量显著减少，从原设计的大约50个减少到大约5个，还能够3D打印以实现最高效率，普惠公司计划2025年开始飞行测试。

2024年4月，美国海军宣布，希望海军的CCA单价低于1500万美元，且采购后的长期储存费用为零，飞行寿命应具有数百小时，将采用“小批量、多批次”的滚动采办方式，以确保其基础平台、武器系统和传感器均是最新的，海军的CCA预计将于2025—2030年入役，其最终数量将占美国海军舰载固定翼飞机总数的60%左右。

### **英国自主协同无人机验证机将在2年内试飞**

2024年2月，英国BAE系统公司披露了1种可消耗无人机——自主协同平台（ACP）验证机的概念设计，



欧洲无人机及其配装的“催化剂”涡桨发动机

其目标是在未来2年内试飞。ACP基于BAE系统公司于2022年7月推出的“概念2”飞行器设计，“概念2”飞行器的最大起飞质量为3.5t，内部载荷为500kg，续航时间为5h，巡航速度大于马赫数 ( $Ma$ ) 0.75，最大飞行高度达12200m，BAE系统公司设想其未来可与“台风”战斗机或下一代飞机协同作战。BAE系统公司的ACP概念具有2个内部弹舱，可装载2枚超视距“流星”空空导弹进行空对空作战，或4枚SPEAR3微型巡航导弹进行空对地作战，使用传统跑道起降，充分考虑远程作战能力，作战半径可达2770km，能够巡航数小时，并储存在集装箱内，在需要时才组装部署。该机在尺寸上与BAE系统公司的“鹰”式高级喷气教练机相当，将采用单台涡扇发动机作为动力。

2024年3月，英国皇家空军(RAF)表示，已开发了先进的一次性系统，定义为“一级平台”的ACP，用于情报、监视和侦察(ISR)、电子战或充当诱饵，并计划最早在2025年投入使用；英国希望未来可引入其称之为“二级平台”的ACP，具有

更先进的自主能力，类似于美国的CCA系统，并希望能在2030年前部署。英国的ACP开发工作已经从围绕无人机蜂群开展的Alvina系列试验、轻型经济的新型战斗机以及相关“蚊子”ACP验证机得到经验，“蚊子”项目因无法满足成本效益要求而于2022年6月中断。

### 欧洲无人机项目通过初步设计审查

2024年5月，欧洲军用中空长航时无人机(MALE)项目Eurodrone通过了初步设计审查，该节点原计划于2023年9月完成，为进一步进行详细设计铺平了道路，支持工作包括技术评估和评价，如风洞测试以确认气动结构、整体设计，确保验证作战能力，以及验证数字孪生技术。Eurodrone配装2台GE航空航天公司的“催化剂”(Catalyst)涡桨发动机，单台功率625~1210kW，与同等功率等级的普惠加拿大公司的PT6发动机相比油耗将降低20%。Eurodrone未来还将作为法国、德国、西班牙3国未来作战空中系统中的一型无人协同作战飞机系统，执行情报、监视、目标捕获和侦察(ISTAR)

任务，预计于2027年首飞。首架飞机和地面控制站将于2030年交付德国，合作伙伴国家法国、德国、意大利和西班牙将采购总共20套系统，每套系统由3架飞机和2个地面控制站组成。

### 结束语

2024年，涡轮发动机综合性能持续提升以支撑军用配套装备平台的更新升级。美国处于全面领先发展的态势，但也受到经费不足的困扰，同时或存在对于潜在威胁变化评估的更多审慎考量，在巩固传统涡轮发动机优势的同时，也积极探索低成本动力等新方向；欧洲国家和日本则加强国际合作以掌握战略技术自主权、降低重大装备研发风险、分摊研发经费并扩大未来产品市场，但多国需求差异及分工带来的分歧也导致相关项目推进受限，能否顺利完成研发存在较大的不确定性；俄罗斯加速弥补动力短板以实现第五代战斗机性能全面提升。 **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)