

# 欧盟清洁航空联合行动第二批项目分析

## Analysis of Second Call Projects in European Union's CAJU

■ 韩玉琪 / 中国航空发动机研究院

航空制造业和航空运输业每年为欧洲创造超过1万亿欧元的国内生产总值（GDP），并提供约2500万个工作岗位，是欧洲的重要支柱产业。在碳中和发展的时代背景下，欧洲航空行业积极响应，寻求维持航空产业竞争优势，在充分论证的基础上启动实施清洁航空联合行动（CAJU）。

欧盟CAJU旨在推动碳中和战略落地，提升欧洲航空研究和创新能力，聚焦新型绿色低碳航空技术研发，制定新的全球标准，计划用10年左右的时间加速相关技术成熟，支撑2035年实现绿色低碳飞机投入运营、2050年实现气候中和航空。CAJU第一阶段（2022—2025年）主要进行关键技术开发、部件/系统及全尺寸集成技术验证工作，将技术成熟度（TRL）提高至4~5，随后在第二阶段（2026—2031年）开展大规模的地面验证及飞行验证工作，至

2028年达到TRL6，为进入产品研发做好准备。第一阶段共设置了两批项目，其中第一批设置20个项目，第二批设置8个项目，研发重点涉及3个领域：氢动力飞机、混合电推进支线飞机和超高效中短程飞机。

### CAJU 第二批项目概况

第二批项目于2023年12月完成拨款协议签署，并于2024年1月正式启动实施，主要目的是为2026年开始的大规模飞行验证活动准备所有必要的要素，欧盟资助经费为1.52亿欧元，计入英国及其他相关国家的

拨款后总资助经费为2.05亿欧元，计入欧洲航空行业投入的资金则经费总额达到3.8亿欧元，主要信息如表1所示。

### 氢动力飞机领域 TROPHY 项目

氢能推进技术研究（TROPHY）项目由赛峰集团牵头，空客公司、Avio公司等20家单位参研。TROPHY项目研究将为CAJU第一批项目中的航空氢涡轮动力验证机（HYDEA）项目提供支撑，HYDEA项目将在较短的时间（2023—2026年）内开展地

表1 CAJU第二批项目概况

领域	项目名	牵头单位	项目周期	总资助经费/ 万欧元	欧盟资助经 费/万欧元	项目主题
氢动力飞机	TROPHY	赛峰集团	2024年1月—2026年12月	2901	2060	氢涡轮动力
	FAME	空客德国公司	2024年1月—2026年12月	5251	3499	中短程飞机用氢电力
	HEROPS	MTU公司	2024年1月—2026年12月	4040	2968	支线飞机用氢电力
混合电推进 支线飞机	HERFUSE	莱昂纳多公司	2024年1月—2026年12月	3302	2571	机身和尾翼技术
	ODE4HERA	德国航空航天中心 (DLR)	2024年1月—2026年12月	889	699	用于开发飞机架构的开放 数字环境
超高效中短程 飞机	COMPANION	空客公司	2024年1月—2026年6月	2590	1995	开发通用飞行平台和先进 仪器用于超高效推进
	AWATAR	法国航空航天研究院 (ONERA)	2024年1月—2026年12月	1476	1323	成熟并集成先进的机翼技术
支撑行动	CLAIM	DLR	2024年1月—2025年6月	75	75	监测欧盟航空研究和创新的 影响

面测试,并验证氢涡轮动力的可行性。TROPHY项目将为HYDEA项目的地面验证机提供燃料系统,并为飞行验证做好准备工作,来支撑CAJU路线图从第一阶段过渡至第二阶段。

### FAME项目

兆瓦级航空氢燃料电池动力(FAME)项目由空客德国公司牵头,空客法国公司、空客西班牙公司和Aerostack公司(由空客和ElringKlinger合资)等20家单位参研。FAME项目将开发一种紧凑高效的基于液氢的燃料电池动力系统,并用于中短程(4000km以内)飞机。新型的氢电力飞机研发需要飞发协同创新,故在研发氢燃料电池动力的同时,空客公司作为飞机的设计、制造和集成单位,需要确保在材料、零组件、发动机乃至飞机各个层级都实现最优化。FAME项目将研发所需的全部子系统并集成为地面验证机,并验证几兆瓦的氢燃料电池动力系统用于中短程飞机的可行性,该系统将为CAJU第二阶段进行飞行测试提供基础。

### HEROPS项目

氢电零排放动力系统(HEROPS)项目由德国MTU公司牵头,德国MT航天航空公司和柯林斯爱尔兰公司等10家单位参研。HEROPS项目将验证1型总功率为1.2MW的氢燃料电池动力系统,该系统基于可扩展的600kW核心模块构建,该核心模块当前为TRL4,核心模块和其他子系统将在项目中发展至TRL5。项目还将补充对整个模块化系统的模拟和电网测试,来评估进一步扩展至2~4MW功率水平的可行性。HEROPS项目建立在MTU公司此前提出的飞行燃料电池(FFC)推进

系统概念的基础上,CAJU预计将在2028年前将FFC概念推进到TRL6,以便在支线飞机上进行集成演示验证,MTU公司的目标是将FFC配装支线飞机于2035年投入运营。

## 混合电推进支线飞机领域 HERFUSE项目

混合电推进支线飞机机身和尾翼(HERFUSE)项目由意大利莱昂纳多公司牵头,空客直升机西班牙公司和希腊帕特拉斯大学等29家单位参研。HERFUSE项目将研究混合电推进支线飞机机身系统集成面临的机身和尾翼布局、材料、部件、制造和组装方面的挑战,将集成支线混合电推进系统和互补系统所需的功能和组件,并改善质量、耐用性、空气动力学效率和操作问题。HERFUSE项目中成熟的技术和解决方案将与混合电推进支线飞机架构(HERA)项目(CAJU第一批项目中的混合电推进相关项目)中的支线飞机模型、分析和实测数据保持一致,HERFUSE项目整体需求将与HERA项目中设置的飞机级需求并行并互补,如低温室气体排放型能源(电池和燃料电池)、储存(可能是液氢)、分配和管理、操作和安全性、热管理规定、电气和隔热等,将使混合电推进支线飞机的性能增益目标变得可行。

### ODE4HERA项目

混合电推进支线飞机架构的开放数字环境(ODE4HERA)项目由DLR牵头,西门子工业软件比利时公司、空客防务与航天西班牙公司等14家单位参研。ODE4HERA项目的目标是通过在可移植的开放数字平台(ODP)中开发改进工具和技术,实现并加速

混合电推进支线飞机的开发。混合电推进支线飞机构型意味着比传统构型更高的复杂性,同时涉及新的飞机技术和跨供应链的更广泛合作。当前先进数字化技术自身的局限性使混合电推进支线飞机2035年投入运营的目标实现面临风险,为了应对这些挑战,ODE4HERA项目开发的ODP将结合基于模型的系统工程(MBSE)、多学科设计优化(MDO)、仿真数据管理(SDM)和产品全生命周期管理(PLM)技术,并通过新的开放接口、格式、智能模型和数据转换技术对其进行扩展,高效地应对和处理混合电推进支线飞机构型的复杂性,包括设计阶段的前期验证,以及通过虚拟验证工作来支撑未来的虚拟认证。

## 超高效中短程飞机领域 COMPANION项目

用于超高效推进技术验证的通用平台与先进仪表准备(COMPANION)项目由空客公司牵头,DLR、ONERA等13家单位参研。COMPANION项目的目的是定义、设计和准备一个通用的飞行验证平台,以便对CAJU第一批项目中开发的超高效推进系统在实际操作条件进行全尺寸、宽包线的验证。COMPANION项目计划在2026年7月前准备并交付飞行测试平台的硬件,以便安装后续项目所需的飞行验证用发动机。项目计划基于空客A380飞机构建一个通用的飞行验证平台,飞机内侧一个发动机短舱经过改装,以适应CAJU第一批项目中正在研发的超高效中短程飞机动力系统,即开式转子测试发动机(来自航空环境低影响开式转子(OFELIA)项目)和混合电推进

超高涵道比涡扇发动机（来自混合电推进的可持续喷水涡扇（SWITCH）项目）。飞行验证平台将配备各种标准和特殊的飞行测试仪器，这些仪器将与OFELIA和SWITCH项目协同定义，以提供测量验证发动机的运行性能所需的所有数据，并允许验证发动机使用100%可持续航空燃料（SAF）。

### AWATAR项目

先进机翼研发与集成（AWATAR）项目由ONERA牵头，空客德国公司、达索公司等11家单位参研。为了加速基于氢动力的超高效中短程飞机投入使用，AWATAR项目将开发一种超高展弦比桁架支撑的无油箱机翼，其特点是外部区域层流流动、先进的一体化前缘系统和优化集成开式转子发动机系统。高保真仿真和地面测试（包括利用欧洲跨声速风洞、ONERA的S2MA跨声速风洞、柯林斯结冰风洞）将加速相关技术成熟，以预测和加速未来的认证过程。就性能收益而言：与2020年最先进的飞机相比，新的大展弦比气动构型将在飞机层面减少18%阻力；集成防冰系统的先进前缘解决方案

将全蒸发系统所需的能源需求减少50%；根据构型的不同，外部层流区预期使飞机减阻5%~10%；单台开式转子发动机的优化集成将安装阻力限制在飞机总阻力的4%以下。总的来说，AWATAR项目的目标是将中短程飞机（250座、航程3700km）一次飞行中所需的全部燃料减少18%。

### 支撑行动

为影响监测提供清洁航空支持（CLAIM）项目属于支撑行动项目，由DLR牵头，荷兰航空航天中心（NLR）、意大利航空航天中心（CIRA）、ONERA等单位参研。CLAIM项目将把CAJU的减少30%温室气体净排放量目标转化为可测量的发动机排放量的有形指标，实现途径包括：收集、分析和确定世界气候和大气科学界对航空气候影响及其温室气体排放贡献的当前认知水平；确定知识差距、障碍和研究需求，以便更适当地确定未来绿色和零排放飞机的技术研究途径。CLAIM项目将编制来自航空界以及其他相关部门的相关航空先进研究活动和技术领域清单，实现途径包括：审查和分析关于“颠

覆性飞机概念”或更环保飞机以及气候中性航空的航空文献，包括其（初步）环境性能/结果；针对主要技术性能改进的数值和前景，研判假定和度量的路径方法；根据空气动力学、结构、系统和推进技术及其在飞机层面的相关优势对这些概念进行分类，并形成技术地图。

### 结束语

CAJU是欧盟的长期预研计划，是欧盟航空行业凝聚行业共识、跨国协同创新、成果共建共享的重要抓手，以氢动力、电推进、新构型动力等颠覆性动力技术为主要突破点，加速航空领域新质生产力生成。CAJU与其前续计划（清洁天空1、2）相比，技术研发更为聚焦，在总经费体量相当的情况下，项目数量设置降低了一个数量级，保证了单个项目经费充足（数千万欧元级别）；同时单个项目的参与单位较多，包含了飞机制造商、发动机制造商、部件/系统供应商、航空公司、政府监管机构、航空协会、专业研究机构 and 高等院校等全行业利益相关者，保证了整体目标在项目实施各环节中的落实；各项目之间设有沟通机制，确保共同研发主题下的各项关键技术攻关的协调性；第二批项目是对第一批项目的有机补充，为2026年开始的大规模地面验证和飞行验证工作奠定坚实基础。在这些颠覆性技术的攻关下，全电推进小型通勤飞机、混合电推进支线飞机、氢动力支线飞机、使用SAF的下一代单通道干线客机有望于2035年左右投入运营。 **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战略和科技情报研究）



配备开式转子发动机的超高效中短程飞机示意图