

欧盟清洁航空超高效中短程飞机项目分析

Analysis of Ultra Efficient Short/Short-Medium Range Aircraft Projects in European Union's CAJU

■ 韩玉琪 / 中国航空发动机研究院

超高效中短程飞机（150~250座，航程1000~3700km）是欧盟清洁航空联合行动（CAJU）的三大重点研发领域之一^[1]，旨在实现2035年投入使用，并使油耗降低30%、排放降低86%（充分使用可持续航空燃料（SAF）的情况下，与现役的最先进客机相比）。

中短程商用飞机目前在航空运输系统中的排放占比约为50%，同时，根据波音公司发布的2024版《商用飞机市场展望》，未来20年中，新交付的窄体客机将占机队的71%，用于多用途的中短程航线，降低中短程商用飞机的排放对于航空业实现双碳目标至关重要。针对超高效中短程飞机，CAJU在首批项目中设置了5个项目（见表1），总资助经费达3.2亿欧元（其中欧盟资助2.4亿欧元），主要研发超高效率飞机构型和超高效率燃气涡轮发动机，包含混合电推进的可持续喷水涡扇（SWITCH）项目分析详见参考文献[2]，其余4个项目分析如下。

OFELIA项目

航空环境低影响开式转子（OFELIA）

项目总资助经费1.3921亿欧元，其中欧盟资助1亿欧元，研究周期为2022年11月—2025年12月。可持续发动机革命性验证（RISE）项目的开式转子架构是实现20%减排的极有前途的燃油效率解决方案（与现役先进窄体客机发动机LEAP相比），OFELIA项目的目标是验证开式转子架构在效率方面的优势，以满足2035年左右投入使用的下一代中短程（SMR）飞机的需求，实现2050年净零碳排放的行业目标。

OFELIA项目支持CFM国际公司正在进行的RISE开式转子演示验证机的工作，由赛峰集团下属的赛峰飞机发动机公司牵头，并将与27家欧洲工业关键合作伙伴合作，包括赛峰短舱公司、吉凯恩（GKN）公司、Avio公司、GE德国公司、空

客公司，比利时宇航研究卓越中心（Cenaero）、德国航空航天中心（DLR）、荷兰航空航天中心（NLR）、法国航空航天研究院（ONERA）和捷克航空研究与测试中心（VZLU），以及德国德累斯顿、奥地利格拉茨和意大利都灵等地的大学。根据OFELIA项目计划，赛峰飞机发动机公司及其合作伙伴将提升技术成熟度（TRL）至5级，包括低压系统、核心机和其他先进系统如混合电推进系统，为开式转子发动机配装空客A380飞机的地面和飞行测试做好技术储备，目前计划2025年12月前只进行地面测试，2026年开始进行飞行测试。OFELIA项目的路线图包含20多项测试。赛峰飞机发动机公司、Avio公司和GKN公司将合作设计和制造开式转子发动机验证机的

表1 CAJU超高效中短程飞机项目

项目名	牵头单位	项目周期	项目经费/万欧元		项目主题
			总资助	欧盟资助	
OFELIA	赛峰集团	2022年11月—2025年12月	13921	10000	开式转子发动机
SWITCH	MTU公司	2023年1月—2025年12月	6789	4850	包含混合电推进的可持续喷水涡扇发动机
HEAVEN	罗罗德国公司	2023年1月—2026年12月	3564	2991	缩比“超扇”（UltraFan）用于中短程飞机，集成混合电推进和氢燃烧技术
UP Wing	空客德国公司	2023年1月—2026年6月	4382	3801	超高性能机翼
FASTER-H2	空客德国公司	2023年1月—2026年3月	2946	2490	先进轻质集成机身与尾翼



开式转子发动机飞行测试示意图

部件。与此同时，基于项目合作伙伴与实验室和学术界之间的独特合作，OFELIA项目将解决开式转子架构成熟的关键技术，如旋转颤振、无涵道风扇和叶片、高功率紧凑型减速齿轮箱、高转速低压涡轮空气动力学、轻质发动机部件、燃烧室排放、高压压气机空气动力学和混合电推进系统等。OFELIA项目团队将确保这种开式转子架构与SAF和氢燃料的完全兼容性，还将与适航当局密切合作，在飞行许可的范围内，与飞机制造商一起开展发动机安装和认证优化研究。

2021年6月，GE公司与赛峰集团共同宣布启动RISE项目。2024年1月，赛峰集团与ONERA开始对缩比验证模型发动机Ecoengine进行风洞试验，模拟真实环境下的空速来评估风扇模块的气动性能和声学性能，试验时长将达200h，后续还将安装在验证用机翼上来开展进一步的测试。截至2024年11月，RISE项目已完成250多项部件和性能测试，参与的技术人员数量超过1000人。

HEAVEN项目

氢发动机架构设计虚拟工程创新

(HEAVEN)项目总资助经费为3564万欧元，其中欧盟资助2991万欧元，研究周期为2023年1月—2026年12月。HEAVEN项目将拓展罗罗的“超扇”超高涵道比涡扇发动机架构，将其缩比以适应中短程飞机市场，包含可变桨距风扇技术和齿轮传动风扇技术，并集成混合电推进技术和直接氢燃烧技术。

HEAVEN项目由罗罗德国公司牵头，西班牙ITP Aero公司、德国达姆施塔特工业大学和DLR等19家机构参与。该项目将极大地发展可扩展“超扇”发动机架构和技术套件，以满足未来民用航空的需求，并为氢技术和混合电推进技术提供一个平台，使其能够适当地融入民用航空产品组合。

“超扇”发动机拥有111~489kN的可扩展推力技术，有望于2030年代用于下一代窄体和宽体客机。2023年5月，罗罗公司宣布其在英国德比工厂的80号试车台上成功完成“超扇”技术验证机的首次试车，使用了100% SAF；2023年11月，技术验证机在德比工厂实现最大功率试车，相关工作得到了英国航

空航天技术研究院(ATI)、英国研究与创新署(UKRI)、欧盟清洁天空2(Clean Sky 2)计划、德国航空研究(LuFo)计划和德国勃兰登堡州的联合支持。技术验证机的主要工程特征包括：一种新的、经过验证的Advance3核心机架构，与罗罗公司的ALECSys贫油燃烧系统相结合，最大程度提升燃油效率并降低排放；碳钛风扇叶片和复合材料机匣；齿轮传动设计，为未来的高推力、大涵道比发动机提供高效传动，动力齿轮箱运行功率曾达64MW，创下世界纪录。

UP Wing项目

超高性能机翼(UP Wing)项目总资助经费为4405万欧元，其中欧盟资助3801万欧元，研究周期为2023年1月—2026年6月。UP Wing项目将为超高效中短程飞机提供“超性能机翼”概念的架构集成，目的是与现役最先进的参考飞机空客A321neo相比，燃料消耗至少降低30%。项目成果将用于2035年投入使用的下一代飞机，到2050年市场渗透率将达到75%。

UP Wing项目由空客德国公司牵头，DLR、ONERA和达索航空公司等29家单位参与。集成可持续推进系统、增大的涵道比和潜在的新燃料等技术要素组合将影响机身设计，UP Wing项目将研发两种飞机构型：一种使用SAF；另一种使用氢燃料，需要一个没有整体油箱的干机翼。该项目目标是：使用SAF的涡扇发动机对应的高展弦比机翼能效提高10%~13%；氢燃料发动机对应的高展弦比干机翼的能效提高17%。所有技术都被分解为需要监控的单个目标，预计将进行地面、

风洞和虚拟测试。UP Wing项目将把SAF对应的机翼发展到TRL4，并对几种干机翼构型进行概念研究，在CAJU结束时实现TRL6。

此外，空客公司的超性能机翼（eXtra Performance Wing）项目已于2021年9月启动，目标是通过仿生设计改善机翼气动性能，使其可与未来的飞机构型和推进系统兼容，从而减少二氧化碳排放。2022年4月，空客公司完成超性能机翼演示样机风洞试验，试验模型3D打印而成。根据项目计划安排，未来将使用缩比样机在赛斯纳“奖状”VII公务机试验平台上进行试飞。超性能机翼项目重点研究和验证4项技术：一是加装阵风传感器，使飞机能自动调整机翼操纵面以应对阵风载荷；二是采用半气动弹性铰链翼尖，飞行中根据需要，翼尖可自动折叠或展开，该技术曾在空客公司“信天翁1号”项目中进行过小尺寸样机的飞行验证；三是采用多功能变体机翼，可在飞行中改变机翼后缘形状，从而提高飞机的总体气动性能；四是安装弹出式扰流板，可根据气流状况快速偏转至所需角度，从而优化机翼性能。

FASTER-H2项目

机身、后机身、尾翼、客舱和货舱的氢集成解决方案验证和技术（FASTER-H2）项目总资助经费为2946万欧元，其中欧盟资助2490万欧元，研究周期为2023年1月—2026年3月。氢涡轮动力和氢燃料电池动力等绿色动力技术将显著改变机身结构（后机身、尾翼、客舱和货舱）。FASTER-H2项目目标是实现高效氢能飞机机身的架构集成，旨在整合

新的动力系统、氢储罐和分配系统，机身和尾翼将使用可持续材料，客舱和货物系统将集成到机身中，并将使用先进的生产技术来减少材料浪费，这种一体化机身概念预计将在2025年达到TRL3~4。

FASTER-H2项目由空客德国公司牵头，DLR、西班牙Aernnova空天公司、德国奥尔巴尼工程复合材料公司等33家单位参与。FASTER-H2是清洁天空2计划中两个项目的后续项目——多功能机身验证项目涉及客舱结构和系统的物理集成，并使用焊接热塑性复合材料来减轻质量和节约成本，提高生产效率，该演示验证机是一段8m长的空客A320机身，由预装模块建造；创新尾翼项目开发了一种先进、紧凑的后机身设计，以减少阻力和减轻质量，后机身更短，为两排座位或一个氢罐腾出了空间，垂直尾翼较小以减少浸润面积，水平尾翼前掠以改善自然层流，该复合材料结构使用树脂传递模塑成型工艺制造。

比利时复合材料芯供应商EconCore公司正在与空客公司、丹麦技术大学（DTU）等单位合作，为空客A320飞机开发一种由热塑性蜂窝夹层复合材料制成的可回收方向舵。这种可回收方向舵是FASTER-H2项目所包含的EcoRudder子项目的一部分。EcoRudder项目专注于为单通道商用飞机开发新一代方向舵结构，并使用在飞机退役后有可能回收利用的热塑性材料制造。在该项目范围内，将根据方向舵的要求生产和评估热塑性蜂窝夹层结构，并展示面板的回收概念。该项目将进行广泛的测试和分析，以确保材料满足飞机结构部件认证的所有要求，并

进行详细的生命周期分析（LCA），以确认减少新型热塑性蜂窝夹层方向舵的碳排放。EconCore公司表示，复合夹层结构是飞机结构部件中非常有效的结构概念。根据当今的可持续性要求，“绿色”或更可持续/可回收的复合材料有望取代传统的热固性材料，如酚醛树脂蜂窝和环氧树脂层压板。这种可持续性的改进必须在不影响机械要求的情况下实现，如极端环境和意外加载情况下的损坏容限；同时也必须确保足够的坚固性和结构完整性以抵抗工作负载，以及热塑性成分材料的潜在回收利用。

结束语

2023年全球航空运输市场持续强劲复苏并实现重新盈利，国际行业协会预测2024年全球航空出行人次将创下新高，而新兴市场和中短程飞机需求正是航空业的主要增长动力。飞机制造商和发动机制造商对此高度重视，面对日益严格的绿色低碳发展要求，铆尽全力提升飞机的气动性能和发动机的燃油效率，同时着力提升与SAF、氢、电等绿色能源的适配性。

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）

参考文献

- [1] 韩玉琪,王则皓,付玉. 欧盟清洁航空计划分析[J]. 航空动力, 2023(2): 28-30.
- [2] 韩玉琪,李明,廖忠权,等. SWITCH加速水增强涡扇和混合电推进技术研发[J]. 航空动力, 2023(4): 28-30.