

# 欧盟清洁航空联合行动的混合电推进支线飞机项目分析

## Analysis of Hybrid Electric Propulsion Regional Aircraft Projects in European Union's CAJU

■ 韩玉琪/中国航发研究院

混合电推进支线飞机是欧盟清洁航空联合行动（CAJU）的三大重点研发领域之一，旨在实现2035年投入使用并使油耗降低50%、排放降低90%（充分使用替代燃料的情况下）。

在未来20年，支线航空运输市场的增长和对低排放的更大需求将推动支线飞机朝着创新的解决方案发展，助力航空业实现脱碳目标。混合电推进系统能够将技术部件的优势结合起来，从而实现整体效率的提高。针对混合电推进支线飞机，欧盟清洁航空联合行动在首批项目中设置了5个项目，总经费达2.1亿欧元，其中欧盟资助1.6亿欧元，见表1，主要研发兆瓦级混合电推进、热管理方案、电力配送方案和创新机翼设计等技术。



混合电推进支线飞机概念

表1 CAJU混合电推进支线飞机项目

项目名	牵头单位	项目周期	项目经费/万欧元		项目主题
			总经费	欧盟资助	
HE-ART	罗罗德国公司	2023年1月—2025年12月	6020	4410	兆瓦级混合电推进
AMBER	Avio Aero公司	2023年1月—2026年3月	4349	3376	热管理方案
TheMa4HERA	霍尼韦尔公司	2023年1月—2026年12月	3370	2545	电力配送方案
HECATE	柯林斯宇航爱尔兰分公司	2023年1月—2025年12月	4516	3421	创新机翼设计
HERWINGT	空客防务与航天公司	2023年1月—2025年12月	2795	2179	

### HE-ART项目

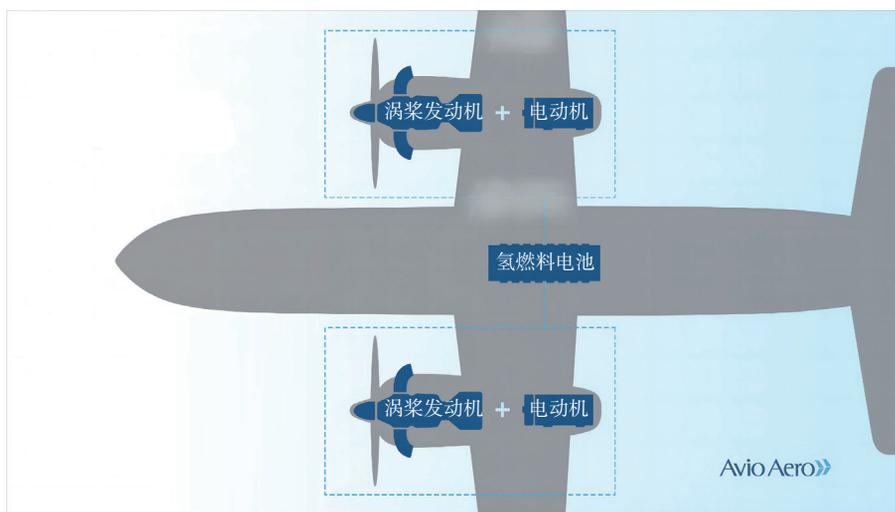
支线飞机用混合电推进系统（HE-ART）项目，由罗罗德国公司牵头，项目总经费6020万欧元，其中欧盟资助4410万欧元，研究周期为2023年1月至2025年12月。

HE-ART项目将在专用的全尺寸地面验证机中验证混合电推进涡桨发动机（e-TP）的可行性，通过电传系统、超高效涡桨发动机、100%可持续航空燃料（SAF），提高效率并将温室气体排放量减少30%。

HE-ART项目以赛峰集团的阿内托（Aneto）涡桨发动机为基础，

将集成涡轮发动机、电动机和电力电子设备、配电系统、变速箱、螺旋桨、短舱和换热器等核心技术，

在2025年之前对混合电推进验证发动机进行地面测试，该项目将测试2.15 ~ 2.85MW不同的功率组合。该



AMBER验证机示意

项目由不同的工业、研究和学术团队组成，37个合作伙伴来自奥地利、比利时、法国、德国、意大利、挪威、波兰、罗马尼亚、西班牙和英国。

此外，欧盟清洁天空2（Clean Sky 2）计划中的为新型涡轮发动机的电起动机-发电机和健康监控系统开发先进机电设备（ACHIEVE）项目成果将为HE-ART项目提供支撑。2023年2月，赛峰集团的Tech TP混合电推进涡轮发动机技术验证机首次试车，Tech TP是阿蒂丹（Ardiden 3）涡轴发动机的改型，包含了来自ACHIEVE项目的技术，将一台电动发电机集成在发动机的螺旋桨和减速齿轮箱中，可以仅依靠电池动力滑行，或在飞行中提供助力以减小涡轮发动机的载荷。测试从2022年11月持续到2023年1月，评估的模式包括全电起动、电动滑行和发电、起飞时提升至最大功率及混合动力运行。

## AMBER项目

混合电支线应用创新验证机（AMBER）项目，由GE公司下属的Avio Aero公

司牵头，项目总经费4349万欧元，其中欧盟资助3376万欧元，研究周期为2023年1月至2026年3月。

AMBER项目目标是将氢燃料电池和“催化剂”（Catalyst）涡轮发动机相结合，集成混合电推进组件（包括电动机/发电机、电力转换器和电力传输系统），以开发一个2.25MW的验证机，研发、集成和验证由氢燃料电池驱动的兆瓦级并联混合电推进系统所需的关键技术，计划在2025年左右使用“催化剂”发动机进行台架试验。

Avio Aero公司领导的研发团队包括21家来自欧洲的成员单位，其中，GE欧洲分公司将为发动机、螺旋桨和电推进系统的研究做出贡献；H2FLY公司将提供兆瓦级氢燃料电池系统以及相应的架构、接口和氢燃料电池控制系统；意大利莱奥纳多（Leonardo）公司将提供飞机集成方面的指导。Avio Aero公司表示，在AMBER项目上开发的混合电推进技术将与先进的发动机架构兼容，未来或可用于CFM国际公司的RISE发动机上。

## TheMa4HERA项目

混合电推进支线飞机热管理解决方案（TheMa4HERA）项目由霍尼韦尔公司位于捷克布拉格市霍多夫地区的航空技术服务中心牵头，项目总经费3370万欧元，其中欧盟资助2545万欧元，研究周期为2023年1月至2026年12月。TheMa4HERA项目将为下一代混合电推进支线飞机研发先进的热管理部件和架构，以管理由锂电池、燃料电池、电力电子器件和电动机产生的兆瓦级热量，评估各种热管理技术，并应用到下一代飞机上。

配备混合电推进系统的支线飞机机会产生多余的热量，机载热管理非常重要，需要更高效、轻质的热管理系统，以降低油耗、增加航程。TheMa4HERA项目将开发、设计和测试创新技术，以应对300~1000kW范围内散热的挑战，而目前热管理系统的容量为35~50kW。构型将基于德国航空航天中心（DLR）的电动飞机概念及技术（EXACT）项目进行调整和完善，以反映最终的混合电推进飞机构型，并将与CAJU交叉领域中混合电支线飞机架构（HERA）项目建立集成需求、反馈约束和验证结果的沟通渠道，以允许进一步的飞机架构优化迭代。为了模拟和优化给定飞机架构的零件级需求，该项目将开发一个全数字孪生体，并将在德国弗劳恩霍夫建筑物理研究所（IBP）的全尺寸试验设施中验证和演示其结果。

## HECATE项目

混合电支线飞机电力配送技术（HECATE）项目，由柯林斯宇航爱尔兰分公司牵头，项目总经费4516万欧

元，其中欧盟资助3421万欧元，研究周期为2023年1月至2025年12月。

HECATE项目将解决系统质量和功率密度、雷击电弧和电磁干扰的高电压问题，并对热管理进行优化。该项目将提供一套使能技术，并为CAJU第二阶段的飞行验证和开发提供可扩展路线图。

HECATE项目共有12个欧洲国家的37个合作伙伴参与。柯林斯宇航公司在德国的诺德林根基地和英国的索利哈尔基地将提供电力转换和配送方面的专业知识；德国拜罗伊特大学环境生产工程系负责可持续和轻量化部件的增材制造；空客公司正在探索使用低温超导材料实现潜在的效率增益；其他成员包括代傲（Diehl）、赛峰、泰雷兹（Thales）以及莱奥纳多等公司。此外，其他公司也正在开发用于航空的高压配电系统，尤其是空客公司正在探索使用低温超导材料实现潜在的效率增益。

HECATE项目为下一代混合电推进支线飞机研发大功率、高压配电系统，并基于数字孪生实现设计过程的数字化。该项目将在不同的电压水平（800 ~ 1200V）下评估两个主要架构，计划在2023年完成高压配电系统的初步设计，2024年完成关键设计评审里程碑，2025年完成技术成熟度（TRL）5的全面测试（包括铁鸟试验台地面验证），系统功率在500kW以上。项目将研发

单个组件或子系统（电源开关，保护和电源转换系统）、整体集成配电系统以及运行不同系统所需的电压转换，由于未来飞机的功率要求可能高于测试中的系统，其设计将具有增长潜力。为了实现优化协调并确保可认证性，HECATE项目将与CAJU的其他项目，以及欧洲航空安全局（EASA）、欧洲民航电子设备组织（EUROCAE）等机构建立联系。

## HERWINGT项目

混合电推进支线飞机机翼集成创新绿色技术（HERWINGT）项目由空客西班牙公司牵头，项目总经费2795万欧元，其中欧盟资助2179万欧元，研究周期为2023年1月至2025年12月。

HERWINGT项目目标是为混合电推进支线飞机研发一种全新的复合材料机翼，将为全翼部件进行制造、组装、结构概念和工艺、概念研究、配置和架构权衡分析。项目目标的实现途经为：经空气动力学优化的先进机翼构型将减少15%的燃料消耗；创新的结构、更好的系统集成和新材料将减轻20%质量；燃料系统将与SAF兼容。

HERWINGT项目共有33个合作伙伴参与。空客西班牙公司分支机构将测试新的材料、配置和制造技术，以制造更轻且经过空气动力学优化的机翼。大约15个不同的部件验证将为最终机翼设计提供输入信息，机翼设计将在2024年年中之前

进行初步设计审查，然后在2025年年初进行关键设计审查。到2025年，所有必要的组成部分都将充分成熟，以便在第二阶段进行全尺寸验证，该项目将形成与其参考飞机兼容的部件、子系统和整个机翼的数字孪生和生命周期评估，以及新构型飞行准备就绪的路线图。

相关的使能技术包括热固性、热塑性和树脂注入复合材料等新材料，以减轻质量，以及使用高压釜工艺生产“高度集成结构”。传统上，复合材料机翼仅限于宽体飞机，缓慢且昂贵的高压釜固化工艺不适合单通道或支线飞机应用所需的高生产率要求。这些新材料或工艺将有助于开发新的机翼结构和集成度更高的结构，有利于最大限度地减少甚至消除机翼内对接头和黏结的技术需求。HERWINGT项目将在机翼上额外安装健康监测系统，其他辅助系统（如基于感应的防冰系统）也将集成到结构中，进一步减少质量和阻力。高展弦比机翼设计将减少空气动力学阻力，通过使用具有优化飞行控制规律的变形控制表面提高机翼的层流性。最后，将采用与燃料系统相关的新传感器、密封剂和材料，使其更好地兼容SAF。

## 结束语

电气化正在引发航空业的变革发展，受限于电池能量密度、电机和电力电子器件功率密度及效率的发展水平，混合电推进系统有望先在支线飞机上实现应用，并为更大型飞机的应用奠定技术基础。

**航空动力**

（韩玉琪，中国航发研究院，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）



高展弦比机翼将由复合材料经由高压釜工艺制成