

# 欧盟清洁航空计划分析

## Analysis of European Union's Clean Aviation Program

■ 韩玉琪 王则皓 付玉 / 中国航发研究院

清洁航空 (Clean Aviation) 是欧盟重要的研究和创新计划, 旨在推进航空业脱碳技术的发展, 推动欧洲的可持续发展并最终于2050年实现航空业的气候中和。

为应对气候变化, 2019年12月欧盟发布了《欧洲绿色协议》(European Green Deal), 提出了欧洲到2050年实现气候中和的目标。2021年6月, 欧洲理事会又发布了《欧洲气候法》(European Climate Law), 使其成为具有约束力的政治义务。欧洲航空业积极响应欧盟的倡议, 致力于建立一个气候中和的航空系统, 清洁航空 (Clean Aviation) 计划在此背景下得以提出。

### 清洁航空计划概述

清洁航空是欧盟清洁天空2 (Clean Sky 2) 的后续计划, 于2021年启动至2031年12月31日结束, 重点研发混合电推进支线飞机、超高效中短程飞机、氢动力飞机。该计划中不同类别的演示验证飞机的目标性能水平见表1。

清洁航空计划在公私合作伙伴

关系 (PPP) 下运行, 总投资额达41亿欧元, 其中欧盟通过欧洲地平线计划拨款17亿欧元, 欧洲航空业提供24亿欧元。同时, 若计入英国及其他相关国家的拨款, 总投资额将达45亿欧元。考虑到建立气候中和的航空系统远远超出了私营企业的技术和投资能力, 同时欧洲也没有一个国家具备单独实施转型的财政、技术和工业能力, 因此清洁航空计划整合了欧洲航空业利益相关方和所需资源, 并充分降低转型研究和创新的行业风险, 在符合欧盟政策优先事项的前提下开展创新技术的研发。

### 清洁航空计划项目设置

2023年1月, 第一批项目拨款协议已签署并正式启动实施, 欧盟资助总额为6.54亿欧元, 共计20个项目, 由来自24个国家的244家单位联合

承担研究工作, 详见表2。其中, 围绕混合动力支线飞机、超高效中短程飞机和氢动力飞机3个重点领域的16个项目中有8个为动力项目, 凸显了动力技术创新对于实现碳减排目标的重要性。混合动力支线飞机领域涉及兆瓦级混合电推进、热管理、电力配送、机翼设计等主题, 超高效中短程飞机领域涉及动力、机翼、飞机集成等主题, 氢动力飞机领域涉及氢涡轮动力、兆瓦级氢燃料电池、机载储氢等主题。

第二轮提案征集于2023年2月10日发布, 将于5月11日结束, 仍主要围绕混合动力支线飞机、超高效中短程飞机和氢动力飞机3个重点领域, 资金总额将超过3.5亿欧元。在欧盟资助的1.37亿欧元中, 3200万欧元用于混合动力支线飞机领域, 将解决机体和尾翼设计以及开放数字平台等问题; 4000万欧元用于中短程飞机

表1 清洁航空计划演示验证飞机的目标性能水平

飞机类别	飞机级路线图中将验证的关键技术与架构	可能的最早投入使用时间	油耗降低 (以2020年订购/交付的最先进飞机为基准)	排放降低 (充分使用替代燃料)	目前在航运系统中的排放占比
支线飞机	混合动力、分布式推进并结合高效飞机构型	约2035年	-50%	-90%	约5%
中短程商用飞机	先进超高效飞机构型、超高效涡轮发动机、超高涵道比	约2035年	-30%	-86%	约50%

表2 清洁航空计划第一批项目

飞机类别	项目名称	牵头单位	项目主题
混合动力飞机	HE-ART	罗罗德国公司	兆瓦级混合电推进
	AMBER	AVIO (GE子公司)	
	TheMa4HERA	霍尼韦尔公司	热管理方案
	HECATE	柯林斯爱尔兰分公司	电力配送方案
	HERWINGT	空客公司	创新机翼设计
氢动力飞机	CAVENDISH	罗罗德国公司	氢涡轮动力
	HYDEA	AVIO (GE子公司)	
	NEWBORN	霍尼韦尔公司	兆瓦级氢燃料电池
	H2ELIOS	ACITURRI公司	大型轻质液氢集成储存方案
	flHYing tank	蝙蝠飞机公司	近期颠覆性技术
	HyPoTraDe	蝙蝠飞机公司	
超高效中短程飞机	OFELIA	赛峰集团	超高效动力
	SWITCH	MTU公司	
	HEAVEN	罗罗德国公司	
	UP Wing	空客公司	超高性能机翼
	FASTER-H2	空客公司	先进轻质集成机身与尾翼
交叉领域	HERA	莱奥纳多公司	可减排30% ~ 50%的飞机概念
	SMR ACAP	空客公司	
	CONCERTO	达索公司	颠覆性技术的新型认证方法和合规方式
支撑行动	ECARE	欧洲航空谷	发展欧洲清洁航空区域生态系统

领域，研究超高效推进系统的机翼技术和飞行演示，机翼设计工作将聚焦空气动力学优化，包括桨扇发动机集成解决方案；6500万欧元将用于氢动力飞机领域，包括氢燃料电池动力、直接燃烧的燃料分配和发动机测试，目标包括燃料系统试验台设备的开发和飞行试验演示组件的最终确定；75万欧元用于对欧盟航空研究及创新的影响监测。

## 清洁航空的主要研发领域及内容

### 混合动力支线飞机

清洁航空计划将推动对混合动

度。

1000km以内的支线航空在空中交通领域发挥着重要作用，支线飞机目前为世界上38%的城市对提供服务，约占起降总数的40%，飞行时间总数的36%。尽管目前支线飞机业务在整个航空业的碳排放占比较小，但支线和通勤飞机可以作为新的低排放或零排放技术的应用起点，亦可作为其他领域的试验台。

为了确定最有效的飞机结构，清洁航空计划将在权衡中评估不同的动力飞机构型（即涡轮电推进、并联/串联混合电推进），探索不同功率水平的混合动力和不同的一次能源，包括作为混合动力（或纯电）配置一部分的热机或氢燃料电池的选项。同时，还将寻求能够缩短上市时间和降低成本的技术和解决方案。为了实现潜在的市场应用，需要解决的关键补充问题是制定法规和新的基础设施，以支持此类颠覆性飞机构型。

对于复杂系统工程设计，评估全生命周期产品性能的指标可能会发生根本性变化，引入以前从未考虑过的新参数。混合动力支线平台的集成活动将涉及几个相互依赖的

力架构及其集成的研究和创新，提升验证支线飞机构型、机载能源概念和飞行控制相关关键技术的成熟



清洁航空计划混合动力支线飞机概念

研究领域：在第一阶段，将梯次研究构建模块和不同的集成选项，以了解它们的潜力和集成前景，从而确定最有前景的架构；第二阶段，将前一阶段的技术进一步成熟为能供演示验证机选择的技术，并提供适合集成的最终解决方案，同时还成熟一些尚未为演示验证机做好准备但对2030年的实际飞机集成很有价值的技术。最终的演示验证机是一架集成了2035年可用技术的支线飞机，包括技术、集成、基础设施和认证方面的产品可行解决方案，该飞机将包括混合动力系统，使用100%可持续航空燃料（SAF）或氢燃料，以降低90%排放，同时完全符合国际民航组织（ICAO）的噪声规则。

### 超高效中短程飞机

清洁航空计划将创新飞机架构、利用高度飞发集成、研发超高效推进系统并大幅提升燃油效率，以满足中短程（4000km以内）飞机的需求。

飞机概念的研究和技术路线图以演示验证机为基础，涉及设计和开发下一代气候中和型飞机的所有关键技术，为未来的绿色、生态高效、经济可行和具有竞争力的产品提供一个全面的飞机套件解决方案。路线图还包括一个用于演示和验证氢燃料的选项，前提是清洁航空计划中氢能相关技术取得足够的技术成熟度。

开发、成熟和演示验证超高效中短程飞机的路线图由两个阶段组成。第一阶段旨在选择、成熟并鉴定最优技术，以充分发挥潜力并集成到超低排放单通道、中短程飞机中。以顶层飞机需求的明确规范为

基础，这些需求为候选技术和概念界定了“技术工作空间”的边界。该阶段将通过选择最佳构型，最终确定目标演示验证飞机的概念设计和初步设计特征。上述目标的实现将基于整体多学科数值模拟、关键部件、材料和工艺、技术的研究和开发，以及相关的综合地面试验，如高雷诺数（飞行条件）风洞试验、功能台架试验（包括虚拟试验），以及全尺寸子部件集成试验和飞行试验。第一阶段将建立一个数字飞机平台，并通过一个补充的技术验证飞机平台，来评估任务和机队级别目标概念飞机的最佳组合。第二阶段将侧重于验证和整合选定的最佳候选技术，以形成单一飞机概念，关键要素将是大规模集成飞机部件试验，以及大型飞行演示验证平台，以验证目标飞机在实际运行条件下的关键技术性能。

### 氢动力飞机

氢燃料用于航空动力有两种基本途径：一是通过对传统涡轮发动机改进设计，包括燃烧室、燃料系统和控制系统等，使用氢燃料替代现用的航空煤油来形成新的动力系统；二是通过氢燃料电池发电，由电机带动推进器产生动力。

在该领域中，有些要素仍然处于非常低的技术成熟度水平，需要进行大量的开发、成熟和演示验证，以便为集成到未来的飞机做好准备。气态氢的体积能量密度过低，因此对于大型商业航空运输，必须采用液氢，但其液化和储存（需保持-253℃以下的温度）带来了巨大挑战，由此产生的对储罐、燃料/分配系统、加氢以及整个系统设计、可靠性和安全性的影响是主要的研发

困难。除了开发必要的机载技术之外，氢的可用性、分配和必要的基础设施以及可再生能源生产，将是这一方法取得全面成功的关键。

清洁航空计划将成熟并展示所有相关系统：机载液氢储存、燃料分配系统、氢燃料电池动力、氢涡轮动力，以便集成到未来的飞机中，包括选择和验证最合适的概念、材料和设计，以提供所需的性能、寿命、成本和安全性。除此之外，将这些系统集成到飞机平台中还需要深入在操作、维修和认证等方面开展研究。该领域成果在新飞机上的应用将取决于不同飞机类别的性能要求、技术能力和成熟度以及可实现的性能增益。

在未来10年内，通过将氢燃料电池应用于混合电推进通勤或小型支线飞机，可能会实现早期部署。在此基础上，中短程飞机将受益于储存和分配系统架构，以开发氢涡轮动力，并为远期更大型飞机应用奠定基础。清洁航空计划将为氢能飞机的动力架构奠定基础。

## 结束语

航空业的绿色转型是一项艰巨的挑战，清洁航空计划展现了欧洲航空业在面向2035年投入使用的支线飞机和中短程飞机的技术发展思路：一方面积极探索电能、氢能、SAF等低碳/零碳能源的应用，该方面的重大突破有望塑造欧洲航空业的领导地位；另一方面将持续提升传统燃料的燃油效率（提高发动机效率和飞发集成度等）以降低排放。 **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）