

欧盟清洁氢能联合行动推进氢能航空技术创新

European Union's CHJU Innovates H2-Powered Aviation Technologies

■ 韩玉琪/中国航发研究院

欧盟清洁氢能联合行动（CHJU）将加快欧洲安全和可持续清洁氢技术价值链的开发和部署，加快创新的、具有竞争性的清洁解决方案进入市场，最终为可持续、脱碳和完全一体化的欧盟能源系统以及欧盟的氢能战略做出贡献。CHJU将和欧盟的清洁航空联合行动（CAJU）加强战略合作，开展氢动力航空技术研究和创新。

欧盟的清洁氢能联合行动于2021年11月启动，是欧盟燃料电池与氢能（Fuel Cells and Hydrogen）计划（2007—2013年）、燃料电池与氢能2（Fuel Cells and Hydrogen 2）计划（2014—2021年）的后续，主要目标是通过优化研发活动的资金配置，为欧盟绿色协议和氢能战略做出贡献。CHJU的研究和创新活动在很大程度上受到欧盟氢能战略以及在此背景下的政策发展的指导，研发重点是可再生氢能的生产、运输、配送和储存，以及运输、建筑和工业中选定的燃料电池最终使用技术，通过氢能应用的开发和扩大，产生显著的、量化的成果，在实施气候中和路线图中发挥重要作用。欧盟在CHJU及前续计划中的氢能航空相关的项目主要涉及机载轻质液氢储罐、航空用氢燃料电池、应急动力装置及辅助动力装置等技术，见表1。

COCOLIH2T项目

机载液氢的安全高效储存是氢能技术的重要推动因素，也是最复杂的航空工程挑战之一。每千克液氢所含能量大约是传统航空燃料的3倍，但其密度较低，相同能量情况下液氢体积几乎是传统航空燃料的4倍。对现有最先进解决方案的改进包括更好地利用可用的燃料储存空间、

充分的隔热技术，以最大程度地减少热泄漏、持续的安全操作，以及通过轻质材料（如热固性或热塑性复合材料）减轻质量，同时解决这些材料在渗透、微裂纹和热疲劳等方面的固有挑战。

柯林斯宇航公司领导的复合材料保形液氢储罐（COCOLIH2T）项目，为液氢储罐研发新的热塑性材料，用于未来的氢动力飞机，重点是减轻储罐质量和体积对飞机的影响，同时确保系统安全。COCOLIH2T项目不仅将为航空业开发一种安全的复合材料和真空隔热液氢储罐，而且还将通过新的制造技术设计和制造保形储罐，

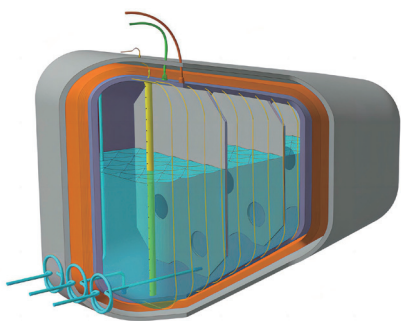
使生产能耗减少60%以上，生产时间减少50%以上，从而显著降低制造成本。此外，COCOLIH2T项目所提出的储罐结构旨在使整体系统质量比传统储罐配置减轻。COCOLIH2T项目将解决的关键挑战是，生成一种可行且价格合理的保形储罐，同时尽可能减少蒸发泄漏。COCOLIH2T项目的整体系统将于2025年达到技术成熟度（TRL）4。

NIMPHEA项目

基于氢燃料的燃料电池（FC）用于飞机，可在不排放污染物、减少噪声排放和提高能效的情况下提供能源

表1 CHJU及前续计划中的氢能航空相关项目

项目名称	经费/万欧元	研究周期	承研单位	主要内容
COCOLIH2T	872.677	2023年2月—2026年1月	柯林斯宇航公司	热塑性材料液氢储罐
NIMPHEA	494.29	2023年1月—2026年12月	赛峰集团	下一代改进型航空高温膜电极组件
BRAVA	1998.68	2022年12月—2025年11月	空客公司	兆瓦级航空氢燃料电池系统
HEAVEN	690.31	2019年1月—2023年9月	H2FLY公司	高功率密度液氢燃料电池系统
FLHYSAFE	729.66	2018年1月—2023年6月	赛峰集团	基于航空氢燃料电池的应急动力装置系统
HYCARUS	1206.45	2013年5月—2019年3月	赛峰集团	基于航空氢燃料电池的辅助动力装置系统



热塑性材料液氢储罐

和动力。汽车行业的低温质子交换膜(LT-PEM)技术引起了航空业的极大兴趣,但该技术的热管理问题仍有待解决。在100℃以下运行时,LT-PEM技术所包含的膜电极组件(MEA)具有较高的功率密度,但由于散热不良,与飞机环境不兼容。此外,目前在160℃左右运行的高温燃料电池尽管有较好的散热,但并没有达到预期的航空性能水平。开发在高于120℃的温度下工作、且性能与当前MEA相当的新一代MEA,是开启氢燃料电池在航空领域应用的关键。

下一代改进型航空高温膜电极组件(NIMPHEA)项目的目标是在开发和优化组件(催化层、膜和气体扩散层)的基础上,开发一种与飞行环境和要求兼容的新一代MEA,能在1.5MW的系统规模下,实现更高水平的燃料电池目标,即在160~200℃的标称工作温度下,功率密度达1.25W/cm²。MEA的高端合成和组装工艺将通过确定工艺参数进行评估,并通过实验室级MEA测试的迭代过程进行改进,这种MEA技术将最终在一个典型的单电池原型(165~180cm²)中得到验证,并进行生态效率评估、全生命周期成本和内在危害分析,以验证MEA的开发,在2026年年底达到

TRL4。

BRAVA项目

汽车用燃料电池系统功率通常在100kW左右,但飞机需要更大的兆瓦级功率,并且必须在不同的温度和压力下运行,同时保持系统的安全性和可靠性水平符合航空标准。

突破性航空用氢燃料电池技术(BRAVA)项目将为基于燃料电池的航空用发电系统(PGS)开发突破性技术,目标功率达到2.4MW。预计未来的兆瓦级系统将是一种基于多电堆的飞机推进系统,空客公司估计,几台基于燃料电池的兆瓦级PGS可以用来驱动一架搭载100名乘客的飞机达到1852km的航程。

燃料电池电堆和生态平衡元件、热管理系统、换热器设计技术以及空气供应系统构型,将成为这种基于兆瓦级燃料电池的PGS的构建模块。项目的关键成果包括:新型催化剂和膜具有更高的性能、耐用性和更高的运行温度能力,能够集成到新型MEA中,以实现高效率、轻质量、小体积和长寿命;基于两相冷却的热管理系统(包括一个新设计的燃料电池电堆),具有紧凑性和轻质量,从而优化燃料消耗;增材制造的换热器可增加散热能力,且紧凑、轻质、低阻;一种新的空气

供应结构和组件经过设计优化,可提供低寄生功率并减轻质量,从而降低燃料消耗和设备成本。这些燃料电池子系统的每一项技术都将研发至TRL5。

HEAVEN项目

商用载人飞行器用高功率密度液氢燃料电池系统(HEAVEN)项目的主要目标是设计、开发基于高功率密度燃料电池和低温技术的动力总成,并将其集成到现有的4座HY4飞机中用于飞行测试,展示飞机利用低温液氢的可行性。该项目将设计一种具有模块化系统的架构,可以扩展到其他尺寸的飞机和无人机中应用,在设计过程中辅以安全和法规分析。两个基于金属双极板的45kW的PEM燃料电池系统将适用于飞机,并与生态平衡元件优化相集成,以获得增强的燃料电池系统,该系统能够在没有锂电池支持的情况下推动飞机运行。储氢方面将基于在太空中成功应用的低温技术,以便在10~25kg的氢有效载荷下达到约15%的质量效率(燃料质量/(燃料质量+燃料箱质量)),支撑演示验证飞机飞行8h。在项目执行期间,研究团队将通过经济和商业评估辅助技术开发,对该技术的生命周期成本进行评估,并制订在不同



氢燃料电池动力HY4飞机

航空市场中部署该技术的商业计划。HEAVEN项目利用现有的传动部件和飞机验证机，在项目结束时达到TRL6。

FLHYSAFE项目

为了减少燃料消耗、温室气体排放以及运营和维护成本，同时优化飞机性能，燃料电池系统被认为是多电飞机背景下高效发电系统的最佳选择之一。

用于飞机应急操作的氢燃料电池系统（FLHYSAFE）项目旨在证明具有成本效益的模块化燃料电池系统可以取代最关键的安全系统，并用作商用飞机上的应急动力装置（EPU），用于飞行控制、连接液压系统和飞行关键仪表，以备紧急情况下使用，提供增强的安全功能。此外，该项目将证明在考虑安装体积和维护约束的情况下将燃料电池系统集成到当前的飞机设计中的可行性。为了从演示验证级别转变为准备认证的产品级别，有必要优化燃料电池系统的不同组件，以减轻质量、延长寿命、确保可靠性以及认证安全性，并使其成本符合市场要求。在FLHYSAFE项目中，由两个主要航空一级原始设备制造商（OEM）带领的研发团队将提出使用PEM燃料电池电堆、集成度更高的功率转换器和采用空气轴承的空压机的燃料电池技术。基于研发团队在之前项目中的经验，进行必要的测试，以证明与典型环境和安全要求的兼容性，项目在2023年已达到TRL5~6。

HYCARUS项目

为了应对日益增加的减少燃料消耗

和温室气体排放的压力，航空公司正在寻找飞机上非推进系统的替代能源，大力研究在下一代飞机上使用非化石燃料发电为非必要应用（NEA）供能，氢燃料电池作为提供这种电力的潜在手段正在被积极探索。

航空用氢燃料电池（HYCARUS）项目开发了通用燃料电池系统（GFCS），为NEA提供能源，如商用飞机的厨房或公务机上的二次电源。通过在达索“猎鹰”飞机上的飞行测试，GFCS将实现在有代表性的客舱环境中的性能验证。此外，项目还调查了解如何捕获和再利用副产品（热、水和缺氧空气），以提高其整体效率。HYCARUS项目开发的基于航空燃料电池的辅助动力装置（APU）系统包含一个高压氢罐，可用于飞机座舱增压。HYCARUS项目扩展了汽车行业已经完成的工作，特别是安全规范和标准，并将其开发用于机载安装和应用，在高空和低环境温度的飞行条件下，检查效率、可靠性、性能、质量/体积比、安全性、成本和寿命方面的改进。HYCARUS项目还促进该行业所有厂商之间更好、更强的合作，包括航空设备和系统制造商、飞机制造商、系统集成商和燃料电池技术供应商等，项目在2019年已达到TRL6。

清洁氢能与清洁航空的战略合作

清洁航空联合行动和清洁氢能联合行动于2023年3月23日在清洁航空年度论坛上签署了一份谅解备忘录，开展氢动力航空技术研究和创新战略合作。该备忘录的目标是最大限度地发挥两个联合项目的协同作用，

加强相互合作，保持业务活动步调一致。这一合作的基础是交流双方以下几方面的信息：航空氢技术领域资助资金、工作方案规划和协同，以及项目征集。这并不是双方的第一次合作，2020年双方曾启动短程氢动力飞机技术联合研究，预计可能在2035年投入使用。研究结果证明，协同两个联合行动，组织各自的项目计划和相应的征集课题对于氢动力航空发展至关重要。

2023年4月25—26日，清洁航空联合行动和清洁氢能联合行动共同组织了研讨会，欧洲航空和氢能行业讨论了氢动力航空路线图的现状以及未来的研究和创新需求。研讨会包括一次全体会议（介绍了氢动力航空路线图的现状），以及6次技术会议。这些技术会议深入探讨了包括氢能飞机架构、机载液氢储存、氢涡轮动力系统、氢燃料电池集成动力系统、氢加注流程、机场基础设施和地面运营，以及安全和认证等各个方面。与会者确定了路线图中的潜在差距和障碍，并产生了一系列重要建议。

结束语

航空业作为碳减排的困难领域，面对2050年净零碳排放的艰巨目标，氢能的航空应用是一条重要的技术途经。欧盟汇聚航空产业链上的各个利益相关方，在多个预研计划下开展了包含氢燃料电池动力、氢涡轮动力、机载液氢储存的相关技术研究，以促进技术成熟度提升并支撑氢能航空的生态构建。 **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）