

2023年航空氢动力进展

Progress of Hydrogen Powered Aviation in 2023

■ 韩玉琪 / 中国航空发动机研究院

氢能具有清洁低碳、应用场景丰富、来源广泛、高效储能的优点，在碳中和发展的大趋势下，将成为能源体系的重要组成部分，但也存在易燃易爆、易泄漏、极难存储、计量控制难度大等现实技术难题有待解决。

氢能航空研发活动在2023年持续增强，多国开展相关的大型预研计划以支撑碳中和战略落地实施，尤其以欧洲国家最为积极，业界在前期论证的基础上开展多个细分领域的技术攻关，并实现多架氢动力飞机试飞，同时也注重开展政产学研用合作，以加速技术成熟并早日投入使用。

大型预研计划加速氢能

航空实现

在战略落地方面，欧盟、英国、日本等地区和国家在前几年针对可持续航空开展的论证工作基础上，均将氢能航空视为“换道超车”的新机遇，通过国家级的预研计划加速相关技术成熟。据不完全统计，目前上述各国氢能航空相关研发项目中，政府总投入超过60亿人民币，研发活动包括氢涡轮动力、氢燃料电池动力（简称氢电力）、机载储氢、氢能飞机架构、机场氢能基础

设施，以及运营、安全与认证等6个方面，而且主要集中在前三个方面。

CAJU将氢动力飞机作为重点研发领域

2023年1月，欧盟清洁航空联合行动（CAJU）第一批项目拨款协议已签署并正式启动实施，设置了5个研发领域，包括氢动力飞机、混合电推进支线飞机、超高效中短程飞机、交叉领域和支撑行动，前三个领域为该计划的重点研发领域。氢能航空相关项目的详细信息如表1

表1 CAJU第一批项目中氢能航空相关项目

项目名称	牵头单位	项目周期	欧盟资助/万欧元	主要研发内容
氢涡轮动力验证及与飞机集成战略联盟 (CAVENDISH)	罗罗德国公司	2023年1月—2026年12月	2167	氢涡轮动力（基于“珍珠”15发动机的地面验证
航空氢涡轮动力验证机 (HYDEA)	AVIO公司 (GE子公司)	2023年1月—2026年12月	8050	氢涡轮动力（基于“通行证”20发动机的地面验证
航空用下一代高功率燃料电池 (NEWBORN)	霍尼韦尔公司	2023年1月—2026年6月	3332	兆瓦级氢电力
零排放飞机用轻质氢储罐 (H2ELIOS)	ACITURRI公司	2023年1月—2025年12月	996	大型轻质液氢集成储存方案
基于无人机平台的液氢承载储罐飞行验证 (fLHYing tank)	蝙蝠飞机公司	2023年1月—2025年12月	300	液氢储罐飞行验证
氢燃料电池动力总成验证机 (HyPoTraDe)	蝙蝠飞机公司	2023年1月—2025年12月	400	氢电力地面验证
氢能发动机架构设计虚拟工程创新 (HEAVEN)	罗罗德国公司	2023年1月—2026年12月	2991	缩比“超扇”发动机以适应中短程飞机，并集成混合电推进和氢燃烧技术
机身、后机身和尾翼氢集成解决方案验证和技术 (FASTER-H2)	空客公司	2023年1月—2026年3月	2490	氢能机身的架构集成，整合新的推进系统、氢储罐和分配系统
适应颠覆性技术的新型认证方法及途径构建 (CONCERTO)	达索公司	2023年1月—2026年12月	2009	氢能、混合电推进等技术的新型认证方法和合规方式

表2 CHJU及其前序计划中2023年氢能航空在研项目

项目名称	牵头单位	项目周期	欧盟资助/ 万欧元	主要研发内容
复合材料保形液氢储罐 (COCOLIH2T)	柯林斯爱尔兰公司	2023年2月—2026年1月	873	热塑性塑料液氢储罐
下一代改进型航空高温膜电极组件 (NIMPHEA)	赛峰集团	2023年1月—2026年12月	494	下一代改进型航空高温膜电极组件
突破性航空用氢燃料电池技术 (BRAVA)	空客运营公司	2022年12月—2025年11月	1999	兆瓦级航空氢燃料电池系统
商用载人飞行器用高功率密度液氢燃料电池系统 (HEAVEN)	H2FLY公司	2019年1月—2023年9月	690	高功率密度液氢燃料电池系统
用于飞机应急操作的氢燃料电池系统 (FLHYSAFE)	赛峰集团	2018年1月—2023年6月	730	基于航空氢燃料电池的应急动力装置系统

所示，氢动力飞机领域包含6个项目（表中前6个），主要开展氢涡轮动力、兆瓦级氢电力、大型轻质液氢集成储存方案的研发，以及液氢储罐飞行验证、氢电力地面验证等工作。此外，在超高效中短程飞机领域，HEAVEN项目包含氢涡轮动力研发内容，FASTER-H2项目开展氢动力飞机机身的架构集成研究；交叉领域下的CONCERTO项目包含氢能技术的认证研究。

2023年9月，CAJU确定在第二批项目中，将欧盟资助资金中的8600万欧元专门用于氢动力飞机领域，具体包含3个项目：赛峰集团牵头的氢推进技术研究 (Trophy) 项目；空客公司牵头的兆瓦级氢燃料电池动力系统 (Fame) 项目；以及由MTU公司牵头的氢电零排放推进系统 (Herops) 项目。

CHJU持续研发航空氢燃料电池及机载储氢技术

欧盟清洁氢能联合行动 (CHJU)

于2021年11月启动，该计划及其前序计划（燃料电池与氢能计划、燃料电池与氢能2计划）持续研发航空

氢燃料电池技术，2023年在研项目的详细信息如表2所示，主要研究内容包括：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。

ATI研发氢涡轮动力和氢电力

2023年2月，英国航空航天技术研究院 (ATI) 资助罗罗公司总计8280万英镑的3个项目，以研发氢涡轮动力相关的关键技术，主要包括：氢燃烧室技术、集成的氢涡轮动力系统和储氢技术、氢输送和控制技术。2023年4月，有报道称，ATI启动了氢能力网络第0阶段 (HCNPO) 项目，这项为期12个月的研究将评审氢能网络如何支持英国航空航天工业。此外，ATI资助的航空氢动力在研项目还包括H2GEAR项目、HyFlyer II项目和Fresson项目，如表3所示。

表3 2023年ATI资助的氢能航空在研项目

项目名称	牵头单位	项目周期	欧盟资助/ 万欧元	主要研发内容
氢动力系统技术 (HYEST)	罗罗公司	—	1480	氢燃烧室零部件及子系统结构
氢涡轮动力设计的鲁棒性实现 (RACHEL)	罗罗公司	—	3660	短舱、发动机外部及动力系统本身相关的氢能技术
液氢涡轮动力 (LH2GT)	罗罗公司	—	3140	从储罐到燃烧室的氢输送和控制技术
氢能力网络第0阶段 (HCNPO)	—	—	129	详细了解氢动力飞行系统端到端测试所需的基础设施，并由此规划商业运营道路
混合氢电架构 (H2GEAR)	GKN公司	2020年12月—2025年9月	2719	氢燃料电池系统和下一代低温电机/驱动和电气网络
HyFlyer II	ZeroAvia公司	2020年12月—2023年2月	1226	600kW氢电力系统
Fresson	克兰菲尔德航空航天解决方案 (CAeS) 公司	2019年10月—2023年3月	962	将9座飞机改装为氢电力飞机

日本“下一代飞机发展”计划将重点研发氢动力飞机

2023年5月，日本推出了“下一代飞机发展”计划，该计划总预算210亿日元（1.4亿美元），通过使用日本在氢和材料核心技术方面的优势，在全球碳中和行动中加强日本飞机工业竞争力。该计划包括两大研究主题：氢动力飞机核心技术；复杂形状和显著轻量化的初级飞机结构的开发。

西班牙“航空技术”计划将研发氢能航空动力

2023年3月，由ITP Aero公司领导的西班牙国家团队成立，目的是开发该国第一台氢能航空动力装置，并计划于2025年进行首次测试。该项目名为“航空运输中的低温学、燃料电池和氢燃烧”，是西班牙工业技术发展中心（CDTI）管理的航空技术计划的一部分。该项目投资1200万欧元，包括4个研究领域：开发将液态氢转化为气态氢的调节技术及其在涡轮发动机中的使用规范；开发燃料电池推进系统；氢燃烧基础研究；修改现有发动机以适配天然气和氢气的混合物，为过渡到纯氢气运行奠定基础。

氢涡轮动力实现燃烧技术突破

在技术创新方面，罗罗公司和赛峰集团等企业积极布局氢涡轮动力并实现燃烧技术突破。

罗罗公司完成“珍珠”700发动机100%燃氢测试

2023年9月，罗罗公司宣布其与英国拉夫堡大学和德国航空航天中心（DLR）合作，使用100%氢燃料在DLR位于科隆的设备上对“珍

珠”700涡扇发动机的全环燃烧室进行了试验，通过干预空气和氢燃料的反应速率来控制火焰位置，验证了新设计的燃料喷嘴，并证明了氢燃料可在最大起飞推力状态下燃烧。

赛峰集团、空客公司和阿丽亚娜集团共同完成航空氢燃料燃烧系统组件测试

2023年5月，赛峰集团、空客公司及阿丽亚娜集团共同开展的对环境负责的航空氢推进（HyPERION）项目，完成了氢涡轮动力中氢气调节系统的概念验证测试，此次试验是通过使用航天器中的电动泵、燃气发生器和换热器等设备实现的。HyPERION项目研究周期为2020年12月—2023年6月，由法国政府未来投资（PIA）计划资助，项目研究覆盖了氢燃料从离开储罐到喷射燃烧的全过程，并评估了氢气与燃烧系统所用金属的兼容性。

空客公司完成小型氢涡轮动力试飞

2023年11月，空客子公司UpNext的氢气尾迹研究实验中心使用改装后的“蓝色秃鹰”滑翔机开展了氢涡轮动力的飞行测试，该动力由德国

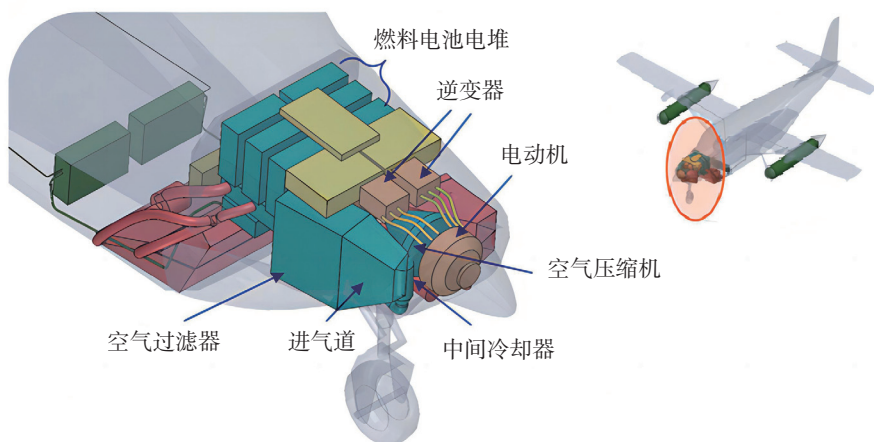
Aero Design Works公司基于捷克PBS公司生产、推力110kgf的TJ-100小型涡喷发动机改装而成，此次飞行为其首次使用氢气作为唯一燃料，由70MPa的高压氢罐提供，目的是提高氢涡轮动力在2100m高空的推力，同时在不同速度下保持飞机稳定，并开展了3000m高空发动机起动等测试。公司计划于2024年年初开展飞行尾迹研究，研究活动将为配装大型氢涡轮动力的ZEROe A380飞行台的飞行试验指明方向。

氢电力或将率先进入市场

大量初创公司聚焦氢电力并实现最大配装50座级飞机的试飞，氢电力有望在2025—2030年配装通勤飞机进入市场。

ZeroAvia公司完成19座氢电力飞机首飞

2023年1月，美国ZeroAvia公司成功试飞19座的多尼尔（Dornier）228飞行平台，这架双发飞机经过改装，左翼上安装了ZeroAvia公司的氢电力ZA600，右翼是一台霍尼韦尔公司的TPE-331涡桨发动机。氢电力总成包括两个燃料电池堆，以及



“大篷车”飞机ZA600动力系统

在起飞期间提供峰值功率支持并为安全测试增加额外冗余的锂电池组。氢罐和燃料电池发电系统安装在机舱内，在商业配置中，将使用外部储存并恢复座位。

2023年4月，ZeroAvia公司首次发布了其初始飞机平台和动力产品路线图的详细信息。ZeroAvia公司的600kW的ZA600动力系统的首个应用平台是赛斯纳“大篷车”飞机，ZA600将改装替换普惠PT6A涡桨发动机，并将其大部分系统封装在“大篷车”的机头中，目标是2025年进入市场；目前已在开发中的ZA2000的初始2MW版本，将从2027年开始用于改装的大型涡桨支线飞机；还将针对不同飞机开发相适用的动力系统，最高功率将达10MW以上。

环球氢能公司完成50座级氢能动力飞机首飞

2023年3月，美国环球氢能(UH2)公司完成“冲”(Dash) 8-300飞机首飞，飞机一侧的PW123涡桨发动机被替换为氢电力，成为了迄今为止最大的燃料电池动力验证飞机。改装后的“冲”8飞机机舱内部有两排测试电子和传感器组件，以及两个容量30kg的大型氢燃料罐。位于飞机右翼下方的640kW的电动机由新型氢燃料电池驱动，整个飞行过程中，氢燃料电池能产生高达800kW的功率。

空客公司进行1.2MW氢电系统的全功率运行测试

2023年6月，空客公司宣布，经过6个月的地面测试，其在电动飞机系统测试室(EAS)开展了1.2MW燃料电池系统全功率运行测试，该测试通过多个功率通道耦合驱动单个螺旋桨实现，空客公司是航空业中



HY4飞机

唯一实现这样完整动力“链”的公司，该动力“链”连接12个燃料电池以达到商业用途所需的输出功率。

H2Fly公司完成全球首次液氢燃料电池动力飞机试飞

2023年9月，德国H2Fly公司顺利完成全球首次完全由液氢驱动的载人电动飞机HY4试飞，试验结果表明，采用液氢能使HY4飞机的最大航程增加一倍，达到1500km。HY4左侧机身的驾驶舱区域安装有双层壁真空隔热圆柱形液氢储罐，通过内部加热器对储罐中的液氢加压，并使用换热器利用燃料电池的废热将液氢蒸发为氢气，后输送至使用质子交换膜技术的燃料电池，可在较高的温度下运行以提高性能。HY4飞机配备了80kW的电动机和21kW·h的锂电池(连续输出功率45kW)，可在起飞和爬升阶段提供额外的电力供给。

NASA完成低温氢电概念客机第一阶段研发

2023年7月，美国国家航空航天局(NASA)与伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校(UIUC)签署

协议，将NASA在大学领导力倡议(ULI)下的高效飞机电气技术中心(CHEETA)项目延长了2年(开始第二阶段)。CHEETA项目于2019年启动，第二阶段将推进零排放概念客机开发，概念机使用液氢作为燃料和冷却剂，以实现超导性能，提高效率并减轻质量。为了有效集成液氢储罐、机身和风扇等众多子系统，计划先使用气态氢燃料开展缩比模型试飞。第二阶段将开展300kW低温冷却电机、300kW零损耗超导电缆、300L液氢储罐等子部件测试。其中，液氢储罐的重量指数(GI)计划达到60%(现有液氢储罐小于30%)。

氢能航空相关研发联盟不断涌现壮大

在管理创新方面，欧盟、英国、中国等地区和国家成立研发联盟来加速多学科专业交叉群集、多领域技术融合集成，加强政产学研用深度融合，共同推动氢能航空的创新研发。

欧盟零排放航空联盟持续壮大

截至2023年11月22日，零排放



CHEETA概念客机

航空联盟 (AZEA) 成员已增长至 161 个, 包含了飞机制造商、发动机制造商、航空公司、机场、能源公司、燃料供应商、认证机构、乘客团体和监管机构在内的行业利益相关者。AZEA 于 2022 年 6 月由欧盟委员会正式设立, 以呼吁航空界通过引进氢动力和电推进飞机来实现欧洲 2050 年的碳中和目标, AZEA 关注机场氢动力和电推进飞机的燃料和基础设施要求、可再生燃料和电力的获取、标准化和认证、运营商 (航空公司) 的行动和空中交通管理等领域的解决方案。

CAJU 加强与其他组织的战略合作

2023 年 3 月, CAJU 和 CHJU 签署谅解备忘录, 开展氢动力航空技术研究和创新战略合作, 主要包括: 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。2023 年 6 月, CAJU 与法国奥克西塔尼亚大区、意大利坎帕尼亚大区均签署了合作备忘录, 以加快低排放飞机技术的成熟与演示验证, 并于 2035 年前进入航线服务。

此外, 2022 年 10 月, 欧洲航

空安全局 (EASA) 与 CAJU 在布鲁塞尔签署合作备忘录, 合作范围包括: 针对 CAJU 研究的新概念和新技术, 消除风险并验证其可行性; 行业标准的发展演变; 飞机和系统设计的新认证方法和符合性认证方式; 与其他监管机构和国际民航组织 (ICAO) 协调制定监管规章。

英国成立航空氢能联盟

2023 年 9 月, 英国成立航空氢能联盟 (HIA), 成员为英国航空和可再生能源领域的一批领先企业, 包括易捷航空公司、罗罗公司、空客公司、GKN 公司和布里斯托尔机场等。HIA 将致力于确保英国充分利用氢能为航空业和整个国家带来的巨大机遇, 加快实现零碳航空。该联盟指出, 政府需要关注 3 个关键领域: 支撑英国成为全球领导者所需的基础设施; 确保航空监管制度为氢能做好准备; 以及将氢能航空研发支持资金转变为一项为期 10 年的计划, 只有这样英国才能获得经济效益并实现脱碳目标。

中国发布国际绿色航空协会倡议

2023 年 10 月, 中国航空学会正式向全球发布了国际绿色航空协会

(IAGA) 倡议, 旨在以“通过技术进步与全球合作促进航空可持续发展”为愿景, 促进新技术在绿色航空领域得到广泛应用, 加快全球航空产业链全体参与者达成双碳目标的进程。IAGA 业务范围覆盖: 产业研究与合作, 包括产业报告与路线图制定、国际合作项目以及展览; 学术交流与咨询, 包括会议、出版与咨询; 评奖与评定, 包括国际奖项、院士评选以及标准制定; 人才培养与举荐, 包括设置奖学金、开展培训与认证以及科学普及等方面。

“机场氢能枢纽”网络持续扩张

2023 年 12 月, 德国汉堡机场加入“机场氢能枢纽”网络, 成为其第 12 个成员, 以促进航空氢能基础设施的进一步扩张, 该网络的成员已经包括来自法国、美国、英国、新加坡、日本、韩国和新西兰等 11 个国家的机场管理部门、航空公司和能源部门等。该国际网络由空公司于 2020 年推出, 以帮助机场确定未来氢能飞机的基础设施需求, 研究、开发和扩大氢的使用基础设施, 以及整个价值链的低碳机场运营, 为 2035 年 ZEROe 氢动力飞机投入运营做好准备。

结束语

2023 年, 世界范围内的氢能航空研发活动持续加强, 各国政府、飞机商、发动机商等多个层级的氢能航空战略布局正在紧锣密鼓的落地实施, 并实现多个细分领域的技术突破, 基于航空氢动力的零排放飞机正在逐步走进现实。

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)