

2022航空氢动力研发进展

Development Progress of Hydrogen Powered Aviation in 2022

■ 韩玉琪 王则皓 谭米 / 中国航发研究院

2022年度，氢能航空相关的研发活动显著增强，包括航空氢动力、机载储氢、液氢分配系统和机场氢能基础设施等方面，而航空氢动力的研发主要集中在氢涡轮动力和氢燃料电池动力两个方向，未来两者亦可进一步组成混合动力。

为积极应对气候变化，全球超过140个国家和地区提出了“双碳”目标。2022年10月，国际民航组织（ICAO）在第41届会员大会上确定了航空业的长期气候目标：2050年前实现国际航空业务的净零碳排放。在此背景下，航空氢动力技术的发展和應用受到了各国的高度重视。在航空业的碳排放中，由航空煤油燃烧产生的占了79%，因而航空动力的减碳创新发展是航空领域实现“双碳”目标的关键，氢能源以其零碳排放的特性吸引了航空业界的广泛关注，并在2022年取得了进展。

氢涡轮动力

氢涡轮动力适用于支线飞机及大中型飞机（参与者以传统航空动力巨头为主），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以形成新的动力系统，预计于2035年后投入使用。

空客组建氢生态系统

空客公司全面布局氢能航空，联手CFM国际公司、GE公司和赛峰集团研发氢涡轮动力技术。空客公司设立专门的团队与氢能行业利

益相关者合作构建生态系统：与欧美多国的机场运营商合作并着手建设氢动力飞机运营所需的基础设施，包括与阿丽亚娜（Ariane）集团合作在图卢兹布拉尼亚克机场建造的首座液氢加注站将于2025年投入使用；空客公司在西班牙、法国、德国和英国设立零排放开发中心（ZEDC）以研发氢能技术，已建造出首个机载液氢储罐，并准备使用改装的滑翔机（配备TJ-100涡喷发动机）进行氢气燃烧对尾迹特性的影响研究；与CFM国际公司合作改造GE的“通行证”（Passport）发动机，并准备在A380 MSN1测试飞机上开展燃氢试验，氢储罐、液氢分配系统和氢涡轮动力等组件在完成地面测试后，将于2026年年底之前开始飞行测试，目标是2035年投入使用。

赛峰集团、大合（Daher）公司、液化空气（Air Liquide）集团、涡轮技术（Turbotech）发动机公司和Elixir飞机公司联合研制的BeautHyFuel液氢飞机验证机项目，获得法国政府疫情经济复苏计划360万欧元资助。该项目的验证机基于Elixir飞机公司的单发双座飞机进行改装，安装涡轮技术发动机公司的103kW的TP-90

小型涡桨发动机，计划2023年开始试飞。赛峰集团将为涡轮发动机使用液氢燃料提供技术支持，液化空气集团负责研制液氢储罐，大合公司提供整机系统集成技术支持。

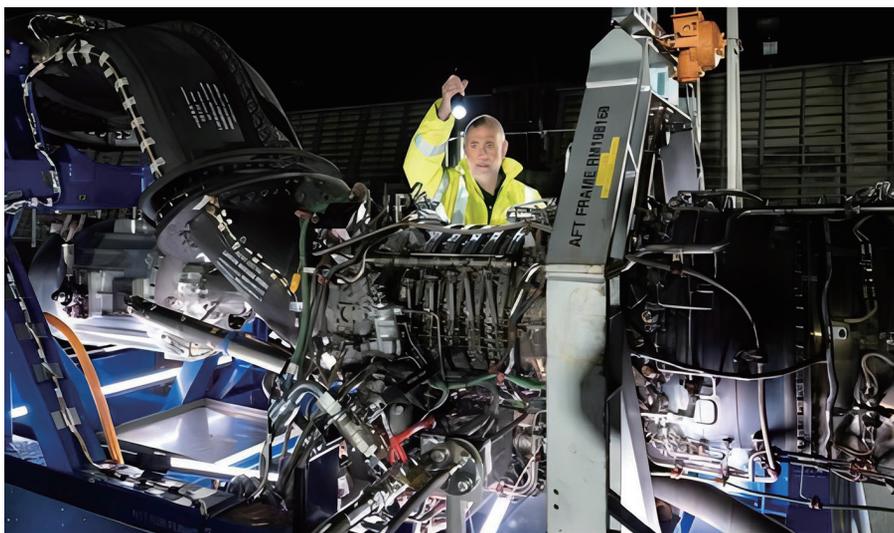
此外，GE公司的燃气轮机掺氢燃烧累计运行超过800万h，航改燃机和重型燃机都采用过氢气作为燃料，其最先进的HA级燃机机组已具备50%掺氢燃烧的能力，并计划在2030年前提高到100%，可为航空氢涡轮动力的研发提供相关经验。

罗罗积极推进氢动力设计和测试

罗罗公司在欧盟清洁航空联合行动（CAJU）中主导了新型氢燃料发动机结构设计（HEAVEN）项目和氢动力飞机与发动机的一体化设计与演示（CAVENDISH）项目。2022年6月，罗罗公司宣布正在收购德国赫勒电解槽（Hoeller Electrolyzer）公司54%的股权，以支持其新的mtu系列电解槽项目；2022年11月，罗罗公司使用改进的AE2100涡桨发动机完成了液氢燃料运行的地面测试，后续还将使用“珍珠”15发动机进行全尺寸地面测试。

普惠另辟蹊径发展HySIITE项目

普惠公司获得美国能源部氢蒸汽喷射间冷涡轮发动机（HySIITE）



罗罗公司在AE2100 涡桨发动机上完成液氢燃料试验

项目提供的380万美元资金支持，将氢涡轮动力与蒸汽注入/回收系统集成，利用低温液氢（约-253℃）来实现水的回收和蒸汽注入过程，能够减少系统所需的换热器的尺寸和质量，实现零碳排放并最高减少80%的氮氧化物排放和35%的燃料消耗。项目为期24个月，研究侧重于综合系统评估、概念部件设计和部件可行性测试，预计于2035年之后投入使用，进度取决于配装飞机的开发以及机场氢运输的基础设施。

更多的零碳项目

英国航空航天技术研究院(ATI)发布了《英国航空零碳排放愿景》并公布了零碳飞行(FlyZero)项目，论证了氢动力航空的可行性及诸多领域的技术路线图，提出了2050年前氢燃料电池动力支线飞机、氢涡轮动力窄体飞机与中型宽体飞机的设计概念。FlyZero项目确定了13项关键技术，其中6项与氢动力飞机有关，包括氢涡轮动力、低温燃料和储存系统、氢燃料电池、热管理、

电力推进系统和空气动力学结构。

日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)宣布与文部科学省、川崎重工(KHI)等合作研发氢涡轮动力、液氢储罐、氢动力飞机机体结构检查等技术，项目为期10年，由KHI主导、新能源和工业发展组织(NEDO)的绿色创新基金提供资助。

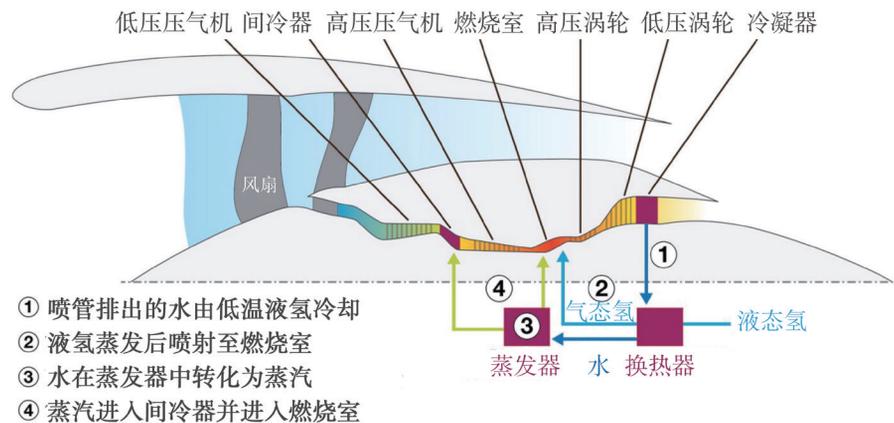
欧盟清洁天空2(Clean Sky 2)计划中的LEAFINNOX项目拟开发航空用纯氢燃烧室；欧洲地平线(Horizon Europe)计划中的Overleaf项目拟开发新型低压低温液氢储罐，项目于2022年5月启动，为期3年，由西班牙Aciturri工程公司牵头，参与者为来自6个欧洲国家的10家企业。

氢燃料电池动力

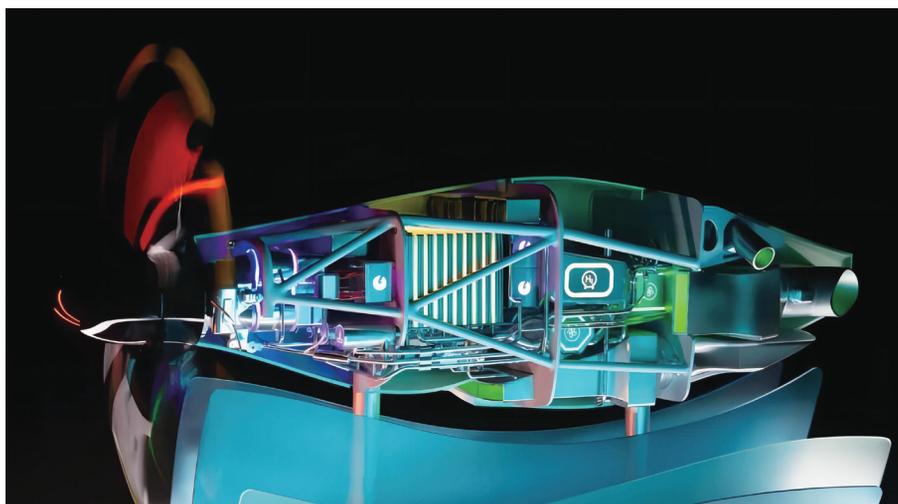
氢燃料电池动力适用于支线及以下的小型飞机，传统航空动力领域外的大量公司和机构积极涌入。氢燃料电池使用机载储氢和空气中的氧气，利用化学能发出直流电，逆变器将其转换为交流电，电机驱动减速齿轮进而带动风扇/螺旋桨/旋翼产生动力，有望2030年前在部分小型飞机上投入使用。

空客自行研发动力系统

2022年11月30日，空客公司首次展出氢燃料电池动力概念，并计划自行研发兆瓦级动力。空客公司与爱尔铃克铃尔(ElringKlinger)公司成立合资公司Aerostack，以研发氢燃料电池系统，目前正在评估首个氢燃料电池组原型；与欧洲粒子物理实验室(CERN)合作探索使用液氢冷却的低温超导动力系统，考虑未来将氢燃料电池动力与氢涡轮动力组成混合动力系统，计划于2026年左右对氢燃料电池动力进行地面和飞行试验。同



普惠公司的氢蒸汽喷射间冷涡轮发动机方案



空客公司的氢燃料电池动力

时,在完成氢涡轮动力的飞行试验后,空客公司将于2027—2028年做出氢能支线飞机的动力配置决定,目标是2035年投入使用。

DLR牵头引领德国氢动力发展

德国航空航天中心(DLR)牵头开展328H2-FC项目,H2FLY公司、德国飞机公司、代傲(Diehl)航空公司和其他6家合作伙伴参与,开发1.5MW的氢燃料电池系统,并改装一架多尼尔328飞机。改装工作涉及动力系统的电气化和燃料电池系统的集成,包括冷却系统和液氢罐,使其成为符合欧洲航空安全局(EASA)适航要求的验证机,预计2025年首飞,为未来40座的支线飞机奠定技术基础。

MTU公司发布飞行燃料电池(FFC)概念,即氢燃料电池动力,并预计在2035年用于短途通勤飞机和支线飞机,2050年应用于中短途商用飞机,相关研发支出占MTU公司总研发支出的20%~25%。MTU公司计划与DLR合作,在多尼尔228飞机上开展氢燃料电池动力的飞行测试(替换两台涡桨发动机中的1

台),并将与EASA合作制定FFC相关的适航条例。

德国初创公司H2FLY的4座HY4氢燃料电池动力飞机于2022年4月,在两个商业机场之间完成首飞,距离达123km,首飞燃料采用了气态氢(未来改为液态氢),2023年年初将开始严格的地面测试。H2FLY公司同时还为AVIO公司的混合电推进验证机“琥珀”(Amber),提供兆瓦级燃料电池系统以及相应的架构、接口和燃料电池控制。AVIO公司于2022年

12月获得了3400万欧元,用于结合氢燃料电池和“催化剂”(Catalyst)涡桨发动机,进行混合电推进系统的技术演示。

吉凯恩全面布局氢燃料电池

英国吉凯恩(GKN)公司于2022年牵头开展了H2GEAR项目(6476万美元预算,为期5年),目前正在开发用于19座支线客机的1~2MW的低温液氢燃料电池动力系统,预计2026年投入使用。2022年8月,吉凯恩公司与菲尔顿系统工程(FSE)公司、新西兰Fabrum公司建立合作关系以开发液氢燃料基础设施技术。2022年11月,吉凯恩公司交付首个采用氢燃料电池动力的小型地面演示验证飞机,并验证了液氢燃料系统。2022年12月,吉凯恩公司与初创机构先进推进研发中心(IAAPS)建立合作关系,以研发使用质子交换膜(PEM)氢燃料电池的兆瓦级低温电驱动系统,IAAPS将提供综合测试和验证,包括绿色氢燃料生产、液氢储存设施、混合氢和电力架构的组件和系统级测试,并推动对气态和液态氢输送基础设施的投



吉凯恩公司的采用氢燃料电池动力的小型地面演示验证飞机

资，以及低温冷却系统的开发。

荷兰欲借机重建飞机工业

荷兰联合体（Dutch Consortium）计划开发用于40~80座支线飞机（航程750km）的氢燃料电池动力系统，也可用于更大的零排放飞机，目标是2025年试飞，2028年投入使用。该计划名为“氢能飞机动力总成和存储系统”（HAPPS），获得荷兰政府1亿欧元的资金支持，由荷兰创新中心牵头，成员涉及17家公司、荷兰政府和荷兰航空航天中心（NLR），该计划的一个重要目标是重建荷兰商用飞机工业。

ZeroAvia开发多型氢燃料电池动力系统

ZeroAvia公司为14座赛斯纳208B飞机开发了一套600kW的ZA600型氢燃料电池动力系统，该系统于2022年12月获得英国民航局（CAA）颁发的飞行许可证。ZA600配装多尼尔228飞机于2023年年初完成了首飞，预计于2023年年底前提交ZA600动力总成的生产合格配置以供认证，2025年完成FAA认证；其2~5MW的ZA2000型氢燃料电池动力系统能与40~90座的涡桨飞

机兼容，预计于2030年前上市。

通用氢能打造试验台

美国初创公司通用氢能（Universal Hydrogen）于2022年建成了一个1MW铁鸟试验台，用于对氢燃料电池动力进行地面测试。通用氢能公司正在针对支线飞机开发氢燃料电池动力改装套件，将用于ATR72和“冲”8（Dash 8）飞机的改装，计划于2025年获得首个美国联邦航空局（FAA）的补充型号合格证（STC），并交付第一架改装的ATR飞机。与此同时，该公司也在构建可扩展的绿色氢燃料物流系统，将其模块化储罐从生产中心运输到机场。

其他研究进展

巴西航空工业公司于2022年12月更新了Energia系列飞机概念设计，Energia氢燃料电池飞机采用氢燃料电池推进、后置电动机以及19座和30座两种构型，相关技术于2035年就绪。

美国Hydroplane公司获得美空军75万美元的合同，以验证氢燃料电池动力装置，计划2023年配装派珀公司轻型飞机试飞；同时其正在开发一种200kW的氢燃料电池动力，

以取代广泛用于通航飞机的活塞式发动机。

新加坡H3动力公司于2022年1月完成了氢燃料电池动力无人机的风洞测试；2022年11月在25kg级无人机平台上首次成功测试了分布式氢燃料电池动力短舱；2022年12月宣布与澳大利亚Carbonix公司合作开发氢能电动垂直起降（eVTOL）无人机。

俄罗斯中央航空发动机研究院（CIAM）开展了基于氢燃料电池的飞机混合动力装置（HPU）的研究工作。

结束语

氢能在航空领域的应用愈发引起业界重视，但仍面临者诸多技术挑战，2022年相关研发活动显著增强。从研发布局角度来看，欧洲企业、研究机构及政府对航空氢动力的研发非常积极，以商业应用为目标开展了全产业链布局，其中以空客最具代表性；美国企业则对氢能持较为谨慎的态度，但也开展了部分技术探索与研发。从技术创新角度来看，氢涡轮动力主要技术瓶颈在于机械领域，主要研发力量仍为传统航空动力巨头；氢燃料电池动力主要技术瓶颈在于化学和电力领域，与传统航空动力关联不大。从产业影响角度来看，氢涡轮动力的突破有利于加强传统航空动力企业在产业链中的龙头作用；氢燃料电池动力则与传统航空动力关联度不高，一旦取得突破，或对现有产业链造成颠覆性影响。

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）



ZeroAvia基于多尼尔228飞机改装的ZA600氢燃料电池动力验证机