

2022世界电动系统进展

Electric Power System Progress in 2022

■ 廖忠权 / 中国航发研究院

电推进作为未来碳中和的动力解决方案之一，近年来受到业界的高度关注。2022年主要动力制造商力图继续维持行业优势，行业新进入者则是力争获得一杯羹。

电 推进领域在2022年一如既往地蓬勃发展，针对单通道干线、支线、通用飞机的电推进技术和产品继续稳步推进。各家制造商根据自己情况对选定的动力细分领域持续开展研究。GE公司依然锁定市场价值量最大的窄体客机领域；雷神技术公司则是在支线客机电推进系统领域发力；罗罗公司推出了一种用于通勤飞机的全新涡轮发电机；赛峰集团则是关注电动机；霍尼韦尔公司完成了兆瓦级涡轮发电机首轮测试；初创公司H3X则是瞄准支线客机市场推出其模块化全电推进系统。电推进系统领域已呈现百花齐放、百舸争流之势。

GE公司——军民并进， 稳固窄体客机市场

推动窄体飞机兆瓦级混合电推进系统研发

2022年2月，GE公司与波音公司就窄体飞机兆瓦级混合电推进系统研发项目达成合作协议。该系统总功率约1.5MW，原动机选用GE公司的CT7-9B涡桨发动机，飞行试验台由一架萨伯340B飞机改装。波音及其子公司极光飞行科学公司负责提供萨伯340B飞机改装、系统集成和飞行测试服务，包括短舱制造、驾驶舱界面设计和软件、飞机级性能分析和系统集成。最初的飞行试验是将萨伯340B飞机的一侧CT7-9B发动机换成兆瓦级混合电推进系

统，另一侧继续使用CT7-9B发动机；最终要将两侧发动机都改装成混合电推进系统进行试飞。

获美国陆军510万美元发展混合电推进技术

2022年3月，美国陆军作战能力发展司令部、陆军研究实验室授予GE公司一份价值510万美元的研发合同，用于应用研究协同系统-涡轴电气化项目（ARC-STEP），以支持GE公司为未来飞行开发混合电推进技术。项目包括对兆瓦级电气化动力装置的研究、开发、测试和评估，利用该动力装置将进一步开发用于陆军未来垂直起降飞机（FVL）计划的技术。ARC-STEP将采用GE公司的CT7涡轴发动机，以及GE公司生



GE公司兆瓦级电动机/发电机为测试台上的3.35m直径螺旋桨供电



GE公司的CT7涡轴发动机

产的电动机和电力电子设备。

开展大功率高压混合电推进系统高空测试

2022年7月，GE公司宣布成功完成兆瓦级混合电推进系统在13.7km高空的运行试验，可在未来几年内进行飞行测试。此次测试是在单通道干线飞机运行模拟环境中进行，验证了发电机、电力转换器、电力传输和控制系统等相关系统性能。测试于2022年早些时候在美国国家航空航天局（NASA）位于俄亥俄州的电动飞机试验平台（NEAT）完成，但测试结果则是于7月19日在范堡罗航展上宣布。GE公司认为该系统是未来推进计划的基石，预计将于21世纪30年代中期投入使用，后续测试计划将作为NASA电气化动力系统飞行验证（EPFD）项目的一部分。

雷神技术公司——整合资源，发力中小型支线飞机市场

推动可持续航空混合电推进系统发展

2022年3月，雷神技术公司旗下两家公司——柯林斯宇航公司和普惠公司，合作将混合电推进系统集成到德·哈维兰“冲”8-100飞行验证机上。将验证机一侧的发动机换装成一个2MW级的推进系统，该系统由普惠公司的燃油发动机与柯林斯宇航公司的电池供电电动机相结合，形成并联的混合电推进系统。发动机和电动机将各自产生约1MW的功率，发动机将针对巡航效率进行优化，而电动机将在起飞和爬升期间提供额外动力，与现有涡桨发动机相比，燃油效率提高了约30%。

柯林斯宇航公司和普惠公司还针对未来先进空中交通（AAM）的新型混合电推进飞机，以及潜在的中小型支线飞机，合作开发了可扩展涡轮电力传动系统技术（STEP-Tech）验证机。STEP-Tech验证机专注于100 ~ 500kW级的高压分布式涡轮电推进概念，并有潜力增加到1MW或更高，特点是模块化和可扩展，可快速发展出一系列原型机进行验证。该项目耗资1.25亿美元，将于2024年开始飞行测试。

继续建设电推进实验室

柯林斯宇航公司正在建设电气化和电推进实验室，建设投资5000万美元。该实验室曾测试过波音787、空客A220和中国商飞C919的电力系统，并将很快用于测试“冲”8-100验证机的1MW电动机和电动机控制器。截至2022年6月，柯林斯宇航公司已经测试了400kW

的电动机驱动系统，功率密度是之前同类最佳产品的4倍，更是目前在787上使用的普通电动机起动控制器的10倍以上。

罗罗公司——巧妙推新，加快产品进度

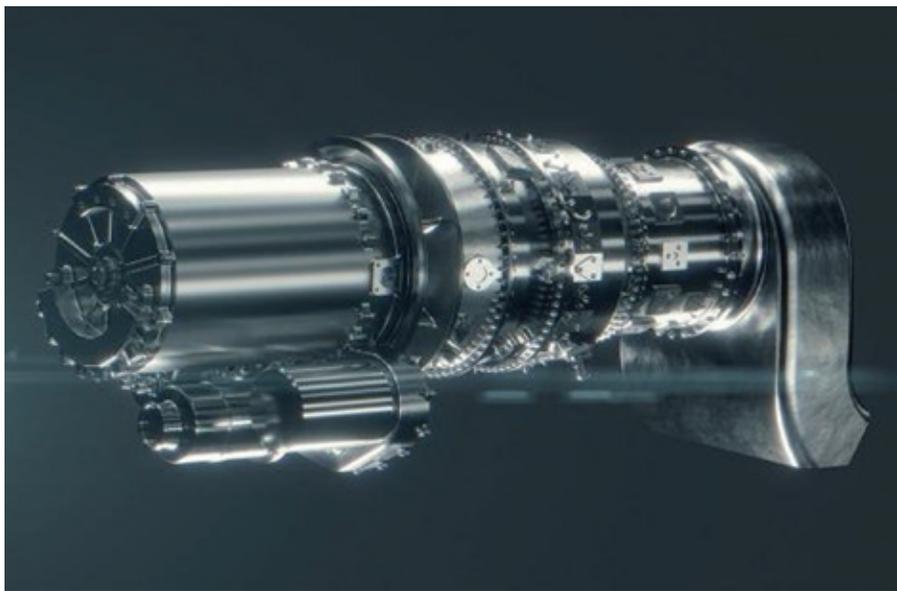
2022年6月，罗罗公司宣布正在验证一种全新的涡轮发电机用于AAM，包括作为电动短距起降（eSTOL）飞行器的主推进系统，以及扩大eVTOL飞行器的航程。这种涡轮发电机由一个功率约800kW、长约1m的涡轮核心机和一个长0.5m的发电机组成，公司选择800kW进行演示验证，是因为该功率级涉及了公司所有需解决的技术挑战。该涡轮发电机系统功率能缩放到500 ~ 1200kW的范围，可用于新一代19座eVTOL和通勤飞机，满足全电飞机的动力需求。公司计划于2023年



Collins Aerospace



STEP-Tech验证机的潜在应用



罗罗公司正在研发的新型涡轮发电机

进行包括电动机在内的完整系统试验，2027年认证并进入市场。传统燃气涡轮发动机为各种工作点、速度和瞬态条件预留了设计裕度；而涡轮发电机则是要被设计成以相同的速度和功率持续运行，因此能设计得更紧凑，功率密度也更大。

此外，罗罗公司还与意大利的泰克南公司合作，为其P-Volt电动型P2012飞机提供电推进系统。

赛峰集团——战略制胜，明确公司定位

为奥拉航空公司提供电推进系统

2022年4月7日，赛峰集团宣布，旗下赛峰电气与电源（Safran Electrical & Power）公司将为奥拉航空（Aura Aero）公司的Integral E飞行验证机提供电推进系统，Integral E是奥拉航空公司特技飞行双座教练机Integral的电动改型。赛峰电气与电源公司还为奥拉航空公司19座支线客机ERA设计了电动结构布局，并提供电推进系统，主要研究高直

流电推进结构如何为电动发动机提供所需的功率。ERA计划于2024年首飞，2027年投入商业运营。

新的电气工程中心落成

2022年9月，赛峰集团在法国克雷泰伊的电气工程中心落成。该中心占地约6400m²，将开展全电和

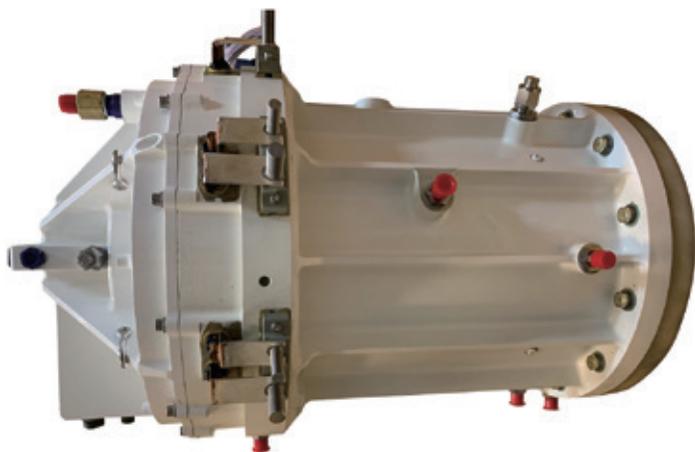
混合电推进系统、电子电力学、配电和电力转换等方面的研究，中心拥有一个电气系统测试台，具备技术研究、工程制造、项目和客户支持等能力。新的工程中心是赛峰集团电气系统设计的核心，定义了一次和二次配电方案，用于从电动机到载荷的电力输送和管理。赛峰集团的ePower产品线也在克雷泰伊进行设计，产品涵盖整个电气系统，适用于未来的全电和混合电推进飞机，主要包括GENeUSPACK电池、EngineUs电动机、GENeUSGRID一次和二次配电系统，以及GENeUSGRID推进的电源管理系统。

推动电推进发展战略

赛峰集团正在推进其电推进总体规划，将公司定位为从轻型飞机到窄体飞机全电和混合电推进系统的全系列电动机供应商。欧洲航空安全局（EASA）预计将于2023年对赛峰集团100kW的EngineUs 100电动机进行认证。之后，赛峰集团将推出



Integral E飞行验证机



霍尼韦尔公司兆瓦级发电机



HPDM-3000电驱动推进装置

EngineUs 500电动机。EngineUs 100和EngineUs 500的最大功率分别为150kW和750kW。此外，赛峰集团预计从2023年开始交付EngineUs系列电动机，目前可提供50 ~ 500kW的功率输出。该系列电动机已被奥拉航空公司和VoltAero公司开发的混合电动飞机以及Bye公司的全电动eFlyer系列双座和4座轻型飞机选中。

霍尼韦尔公司——稳步前行，领先产品取得重大进展

霍尼韦尔公司为混合动力飞机设计的兆瓦级涡轮发电机已成功完成首轮测试，其发电机是业内第一台航空级发电机，无须修改也可用作1MW发电机。2022年5月的测试中，该兆瓦发电机以1.02 MW功率平稳运行，连续运行功率为900kW，发电机的功率密度约为8kW/kg，效率为97%，高于传统飞机发电机的92%效率。涡轮发电机是霍尼韦尔公司1MW发电机和HGT1700辅助动力装置的组合，后者是霍尼韦尔公司为空客A350开发的辅助动力装置，该电源系统质量为127kg，可用于驱动大功率电动机，给电池充电，

或驱动带螺旋桨的大型货运系统、空中出租车和支线飞机。

H3X公司——后起之秀，角逐支线客机市场

美国初创公司H3X正在开发一种集成模块化电推进装置，其功率密度和容错能力实现了巨大飞跃，可将现有50 ~ 100座客机转变为全电推进。H3X公司正在与飞机制造商就2.8MW的HPDM-3000电推进装置的可能应用进行谈判，预计该推进装置将提供12.5kW/kg的连续功率密度。该电推进装置总质量为220kg，具备紧凑和适应性强的架构，可与现有和未来的动力系统灵活集成，并能够在没有变速箱的情况下驱动螺旋桨或高涵道比风扇。HPDM-3000的全尺寸样机预计将于2023年第三季度进行测试，2024年将向客户和合作伙伴提供更多单元。

结束语

电推进系统是当前航空动力解决方案的热点之一，近年来一直在持续快速发展中。总体来看，2022年在电推进系统领域主要发动机制造商

持续发力，GE公司、普惠公司、罗罗公司、赛峰集团都在持续关注电推进系统，2022年都获得了显著成效。其中，普惠公司的母公司雷神技术公司更是将旗下的普惠公司、普惠加拿大公司和柯林斯宇航公司这三家动力制造商充分整合，集中发力；赛峰集团则是明确了在电推进领域的定位。

行业新进入者来势迅猛，电推进系统作为新概念吸引了许多初创公司和行业新进入者，这些新进入者一开始就起点很高，甚至展现了不逊于主要动力制造商的竞争力，推出了卓越的产品和技术，力图站到行业的制高点上和老牌动力企业争抢市场。

电推进系统的应用不分军民，军方也很重视电推进系统的发展，正在积极鼓励并推出电推进系统研究项目并持续性推动。行业竞争者们目标明确，且都在紧锣密鼓地推进，力图早日将自身产品投入市场。

航空动力

(廖忠权，中国航发研究院，高级工程师，主要从事航空发动机前沿技术探索和产业发展研究)