

霍尼韦尔的航空电推进系统发展分析

Development of the Electric Propulsion Systems of Honeywell

■ 王翔宇 / 中国航发研究院

霍尼韦尔公司将专注于现在和着眼于未来结合起来，充分利用在通用航空领域的固有产业链优势，瞄准城市空中交通这一热门市场，全力发展混合电推进系统。

在过去60多年里，霍尼韦尔公司共交付了72000余台燃气涡轮发动机和100000台辅助动力装置（APU），是全球航空动力市场的核心供应商之一。随着以数字化和电气化为典型特征的航空“第三时代”的到来，电气化的航空旅行已经成为业界公认的未来发展趋势，霍尼韦尔公司在对其燃气涡轮发动机产品不断改进升级的同时，以清洁低噪、安全高效为核心目标，开始全力发展混合电推进系统。



XV-24A “雷击”验证机概念图

推进高功率高效率发电机的研发

早在2017年，霍尼韦尔公司就参与了由美国国防预先研究计划局（DARPA）资助、波音公司旗下极光飞行技术公司（Aurora）主导的XV-24A“雷击”验证机项目，主要负责开发高功率高效率发电机。按照最初的计划，该无人混合电动验证机将配装3台兆瓦级发电机，由一台罗罗公司的AE1107涡轴发动机驱动，为分布在机翼和鸭翼上的24个推进风扇提供动力。要知道，当前最先进的多电飞机波音787由6台发电机供电，总发电量也不过1.4MW，霍尼韦尔公司兆瓦级发电机输出功率是波音787单台主发电机的4倍，质

量却仅比后者多40%，功率质量比接近惊人的8kW/kg，其独特的同步发电机设计可直接为电动机提供交流电，省去了逆变器有助于整个推进系统进一步减轻质量。不仅仅是“小块头大动力”，霍尼韦尔公司声称其兆瓦级发电机效率将从普通发电机的90%达到98%，在节能的同时也可有效降低大量废热对发电机自身以及电池系统的不利影响。

遗憾的是，DARPA在2018年4月决定取消“雷击”验证机项目第三阶段研发和相关飞行试验，主要原因是霍尼韦尔公司负责研制的兆瓦级发电机在热管理等问题上也面

临着很多意想不到的困难，导致项目研究周期一再拖延，严重影响了第二阶段计划中全尺寸样机的研制。不过“雷击”验证机项目的下马并没有动摇霍尼韦尔公司发力电动飞行市场的决心，同年7月如期在佛罗里达州立大学开始发电机全功率状态试验，当然想要一步到位直接拿出兆瓦级发电机的解决方案还是比较困难的。在随后的美国国家公务航空协会（NBAA）年会上，霍尼韦尔公司表示其兆瓦级发电机设计已完成90%，预计2019年技术成熟度可达到6级以上，与此同时正在开发60kW ~ 1MW的各类发电机。



霍尼韦尔公司兆瓦级发电机概念图

兆瓦级发电机主要参数

质量	127kg
尺寸	约0.61m × 0.356m
额定转速	19000 r/min
设计效率	98% (交流), 97% (直流)
输入电压	≤ 230V (交流), 300V/600V (直流)

在2019年3月举办的国际直升机博览会 (Heli Expo 2019) 上, 霍尼韦尔公司展示了由一台 735kW 级 HTS900 涡轴发动机和两台 200kW 发电机组成的混合电推进系统, 通过燃烧传统或生物衍生的航空煤油产生能量, 驱动电动机或为电池充电。单台发电机质量不超过 25kg, 与传统的机型相比减轻了 32% ~ 40%, 整流后输出的直流电压达到了 600V, 先进励磁系统的采用使其无需额外的换流装置且具备极佳的故障调节与灵活控制能力。后续能够根据客户对执行任务和有效载荷的需求, 相应调整发电机的

配置数量。XTI公司提出的“三风扇”(TriFan)600电动飞机计划采用该混合电推进系统, 目前已开展了65%缩比验证机的系留式离地试飞, 不过在验证机上使用的仍是全电动形式。

与多家公司合作开拓城市空中交通市场

从2019年1月开始, 霍尼韦尔公司陆续与斯洛文尼亚的蝙蝠 (Pipistrel) 飞机公司、德国 Volocopter 公司、Jaunt 空中交通公司和英国 Vertical 航

宇公司等4家初创企业签署了谅解备忘录, 共同应对未来城市空中交通市场可能出现的产品技术、监管法规以及商业运作等方面的挑战。此时的霍尼韦尔公司不再是一个单纯的部件供应商, 而是要为电动垂直起降 (eVTOL) 飞行器的研发提供一揽子技术支持。

考虑到霍尼韦尔公司在机载配套设施以及辅助动力装置领域的市场支配地位, 航空电子系统、飞行控制与导航系统、数据通信传输系统和环境冷却系统等方面的研发可



XTI公司TriFan 600电动飞机概念图



Vertical 航宇公司的VA-IX概念图

能会相对顺利一些。例如，紧凑型电传操纵系统就是霍尼韦尔公司为eVTOL飞行器市场开发的一款新产品，其尺寸仅为一本平装书大小，通过驱动电动装置并动态调整飞行操纵面和电动机，控制飞机平稳地沿航路飞行，可有效降低飞行员对重型液压系统、控制电缆或操作推杆的依赖。不仅如此，下一代紧凑

型相控阵雷达系统RDR-84K也处于测试和预生产阶段，与基于硬件的传统雷达传感器不同，该系统采用多个波束同时扫描，可在同一时间检测到来自不同目标的信号，使无人驾驶车辆或飞机得以同步完成对多输入信息的感知与检测，包括天气、飞机、人员和建筑物等，革命性地改变了未来交通工具的自主能

力。霍尼韦尔公司在2019年6月宣布已与一家未透露姓名的空中出租车开发商签署协议，将为该开发商的原型机提供多套RDR-84K系统。

2019年6月，霍尼韦尔公司宣布与全球第二大汽车零部件供应商日本电装（DENSO）公司共同研发电推进系统，并就未来城市空中交通的地面服务保障开展深入合作。客观地说，霍尼韦尔公司的特长在于航空器的系统级集成与飞行测试、复杂软硬件应用环境的搭建、齿轮、轴和轴承等机械部件设计以及整机热管理等，借助于电装公司在车辆高可靠性牵引电动机以及逆变器上雄厚的经验积累（在丰田普锐斯、凯美瑞混合动力以及日产奇骏混合动力等经典车型上都得到了应用），可以更为顺利地完成航空用电动机的研发工作，这可能也是完成整个混合电推进系统计划的最后一块拼图。毫无疑问，此次航空工业和汽车工业之间的合作对于加速航空电推进系统技术成熟、提高城市空中交通的质量和覆盖规模都有着重大的意义。

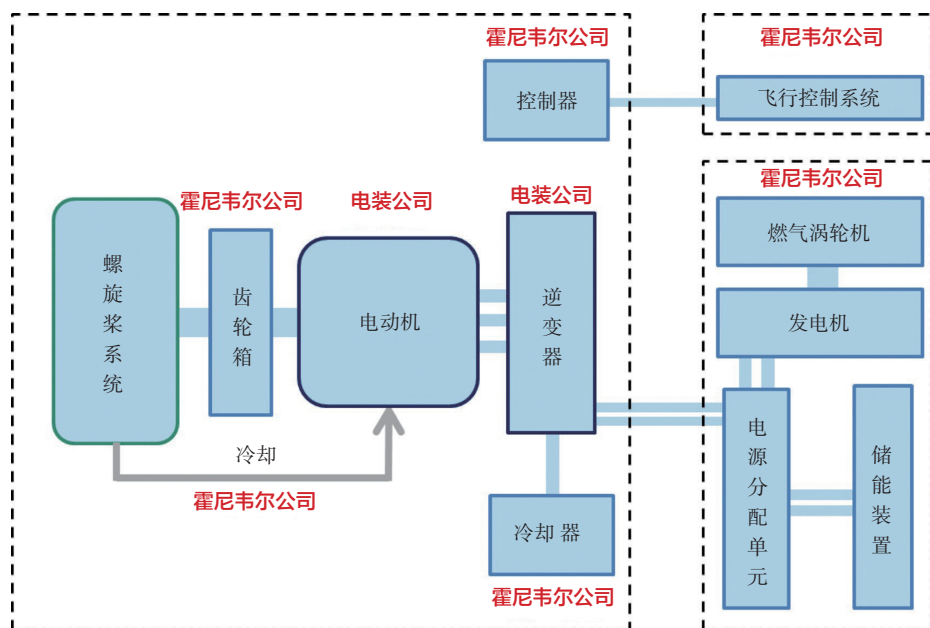
在2019年10月的北京航展上，霍尼韦尔中国公司航空机械系统及零部件研发总监罗迪表示，未来霍尼韦尔在混合电推进系统的制胜要素有3点：公司在航空航天领域的技术耕耘已经超过100年，建立了极为庞大且深受好评的产品谱系，能够根据时代的发展提出全新的动力解决方案，并具备强大的适航取证与服务保障能力；公司一直是全球小型燃气涡轮发动机（160000台以上）以及发电机（5kW ~ 1MW）的领跑者，同时在高可靠性、高经济性航空动力控制系统开发上有着50年以上的经验，能



为eVTOL飞行器定制的电传操纵系统（左）和姿态航向参考系统（右）



安装在AS350直升机上进行飞行测试的RDR-84K雷达系统



混合电推进系统构架示意图与任务分工

够实现混合电推进系统的全要素集成；而与电装公司的合作则意味着全球航空界和汽车界顶尖技术水平的强强联手，在混合电推进系统的研发中充分拓展电动汽车领域的技术边界，为打造更适合城市空中交通市场的精品eVTOL飞行器奠定了成功的基础。

发展特点

霍尼韦尔公司在航空电推进系统研发上有如下特点。

第一，延续了专注于通用航空市场的发展策略，霍尼韦尔公司将城市空中交通作为未来电气化飞行的主要甚至是唯一发力点，同时选择了更加审慎稳妥、更能体现传统航空动力制造商特长的混合电推进这一技术路径。相比之下，罗罗公司、空客公司等制造商更加倾向于研发全电动的通用航空飞行器，而将未来航空商业运输的动力方案寄希望于混合电推进系统。

第二，霍尼韦尔公司在过去的几年里重点针对高功率高效率发电机进行了技术攻关并取得了积极的进展。混合电推进系统的另一个核心组件电动机则是与电装公司合作研发，这条路也是目前其他传统航空动力制造商不曾走过的。无论是在产品技术上还是在商业运营上，所有城市空中交通的参与者都是在摸着石头过河，参考借鉴电动汽车行业的有益成果是极为必要的。

第三，除了发电机和电动机以外，换流器、配电器、控制器以及储能装置长期以来都是霍尼韦尔公司的优势业务领域。不仅如此，无论是超轻固态雷达、全权限数字式控制，还是虚拟现实训练、增强型近地告警，后续霍尼韦尔公司还有相当多的前沿技术可以集成应用到混合电推进系统上，电气化、智能化和数字化的整合与统一将是霍尼韦尔公司在城市空中交通市场上核心竞争力的体现。

第四，未来电气化飞行的时代，飞机和发动机深度融合，二者的界限越发模糊，这也使得传统航空动力制造商开始投身电动飞机整机的研制。与罗罗公司和普惠公司不同，时至今日霍尼韦尔公司仍未“从幕后到台前”提出由其主导的电动飞行验证机计划，而是选择为多家初创公司提供全方位的技术支持，这样做的好处是可以推广普及自身产品技术标准，带动做活整个城市空中交通产业。

第五，电动飞行的前景是光明的，但发展道路是曲折漫长的。霍尼韦尔公司兆瓦级发电机只是其中的一个缩影，无论是设计验证高效电动机还是集成先进电力电子系统，未来电推进系统的研发肯定不会一帆风顺。霍尼韦尔公司在“All In”电气化城市空中飞行的同时，也会持续完善提升其传统航空动力产品线。两手抓两手都要硬，这一点也是其他传统航空动力制造商不约而同的选择。

结束语

在电动飞行开启全球竞速模式的大背景下，针对潜在的城市空中交通市场需求，霍尼韦尔公司充分挖掘和利用自身在传统动力领域的优势和底蕴，以混合电推进技术为重点攻关方向，在积极研发高功率高效率发电机和新一代航空电子设备的同时，还进行了广泛的行业内以及跨行业技术合作，逐步开辟了一条有特色的航空电气化发展之路，取得了令业界瞩目的成果。 **航空动力**

（王翔宇，中国航发研究院，高级工程师，主要从事航空发动机发展战略研究）