

赛峰集团电推进技术发展

The Development of Safran Electric Propulsion Technology

■ 廖忠权 / 中国航发研究院

2020年3月10日，赛峰集团的ENGINEUS 45电动机安装在VoltAero公司的混合电推进试验飞机Cassio 1上进行了首飞。这既是VoltAero公司混合电推进飞机发展的重要一步，也是赛峰集团不断发展电推进系统研究的重要一步。

随着航空旅行要求和航空技术的提高，未来的飞行器将更加安静、更清洁、更节能。未来的飞机可能和我们今天看到的大不相同，发动机制造商都在寻找新的与之相适应的推进解决方案。赛峰集团作为世界领先的发动机制造商，也在研究探索未来的先进推进系统，认为未来的飞机必须更加可靠、经济、环保，并具有更高的效率，而电推进系统则是未来飞机的重要动力解决方案。近年来，公司大力开展电推进，特别是混合电推进技术的研究，以促成“多电”（more-electric）飞机的发展。而且赛峰利用集团优势，不仅仅关注固定翼飞机的电推进系统，也在开发适合旋翼机的电推进系统。此外，赛峰集团还将其节能减排技术目标与欧洲“航迹2050”（FlightPath 2050）计划中航空研究与创新咨询委员会提出的远期环境目标相匹配。这些目标要求与2000年水平的飞机相比，2050年的飞机CO₂排放减少75%、NO_x排放减少90%、噪声降低65%。

技术优势

近年来，赛峰集团在电推进领域，特别是混合电推进系统方面开展了大量的工作，可谓苦心孤诣。

2018年7月，赛峰集团在波城机



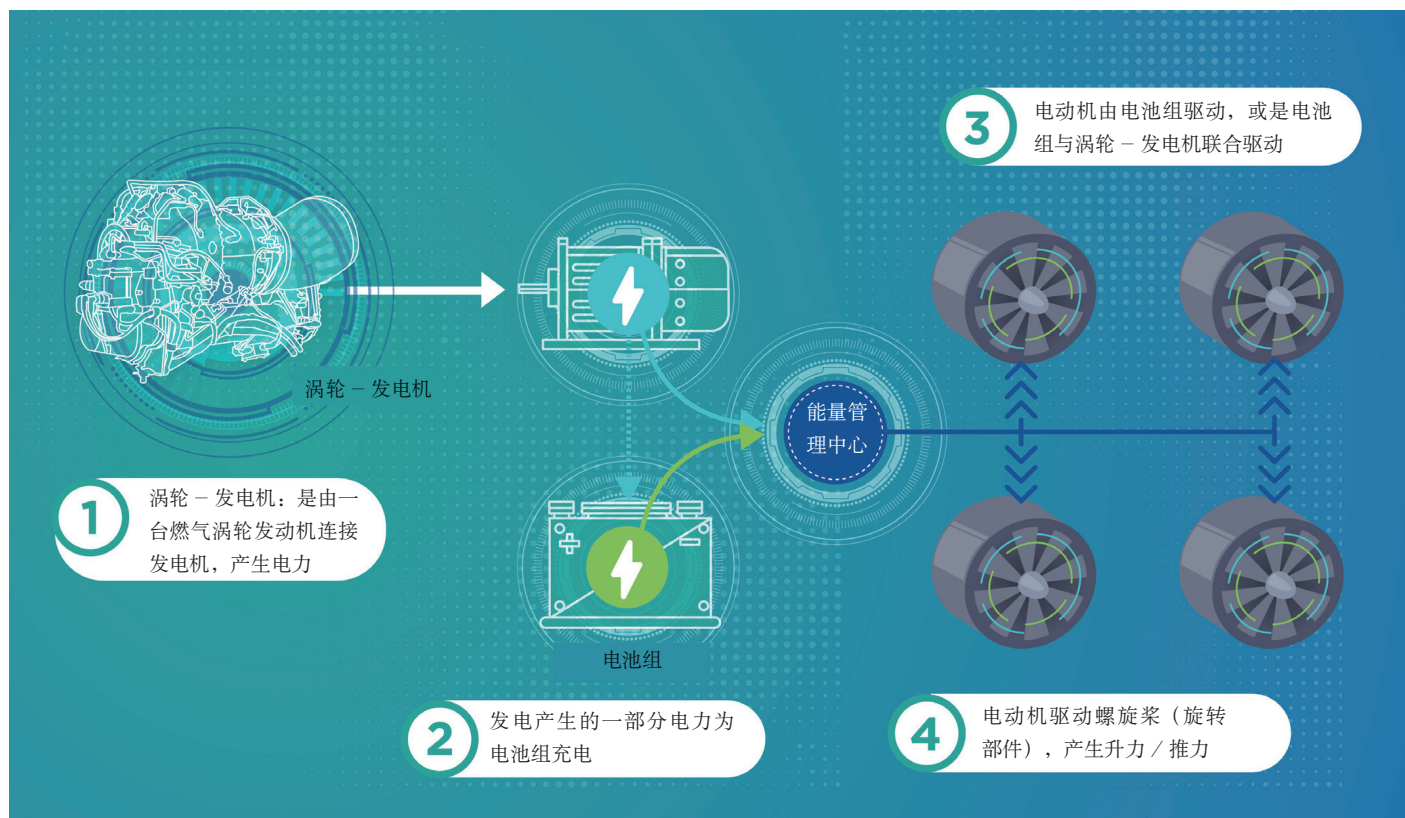
Cassio 1 首飞

场附近的直升机发动机测试中心进行了首次混合电推进系统地面测试。该推进系统由燃气涡轮发动机驱动发电机，并与一组电池结合在一起，组成涡轮-发电机，可产生100kW的电，驱动由4台ENGINEUS电动机驱动的4副电动螺旋桨，能用于垂直起降飞行器（VTOL）、短距起降飞行器（STOL）、支线飞机以及电动垂直起降飞行器（eVTOL）。赛峰集团计划在2020年进行分布式混合电推进系统的演示验证。

城市空中交通（UAM）作为一个新兴市场正如火如荼地发展，

这也是赛峰集团关注的重点。目前，正在发展用于城市空中交通的eVTOL基本都采用电推进或混合电推进，其中多款在研的eVTOL都是采用全电推进，例如，优步公司就在大力推动全电动eVTOL的开发和应用，但考虑到飞机续航能力需求，城市空中交通市场对混合电推进系统仍然存在较大需求。

赛峰集团认为，飞行时间超过30min或航程超过100km的全电动平台可能还需要至少20年的时间才能出现，建议现阶段使用“涡轴发动机-发电机-分布式电动机”的



赛峰集团分布式混合电推进系统架构

涡轮-电推进方案。事实上，赛峰集团正在开发的eVTOL动力正是这种涡轮-电推进系统。

正在开发用于该eVTOL的混合电推进系统，并将尽快交付给贝尔公司，以满足其验证机首飞的进度要求。

ENGINEus 系列电动机

2018年10月，在美国佛罗里达州奥兰多举行的美国国家公务航空

通用航空混合动力

为贝尔公司的eVTOL提供混合电推进系统

2018年6月，贝尔公司宣布将与赛峰集团合作开发混合电推进系统用于eVTOL。2019年1月，贝尔公司正式将其eVTOL命名为Nexus空中出租车。贝尔公司正在针对有人驾驶/无人驾驶、商用/军用、客运/货运、全电动/混合电动等不同的市场需求开发模块化的eVTOL架构，计划在2020年完成eVTOL验证机首飞。首架飞行验证机将采用混合电推进系统，但公司同时也在推进全电架构的技术研发。赛峰集团



贝尔公司Nexus空中出租车

协会 (NBAA) 年会上, 赛峰集团展示了ENGINEUS系列的第一型电动机ENGINEUS 45。ENGINEUS系列是专门用于未来混合电推进和电推进飞机的电动机, 最大功率将达到500kW。ENGINEUS 45电动机的额定功率为45kW, 它有内置的专用控制电子设备, 能效超过94%。在转子转速为2500r/m时, 功率质量比为2.5kW/kg, 这型电动机已经在赛峰集团的电气综合试验台上进行了测试, 以验证其性能, 并在分布式混合电推进系统上利用4台该系列电动机进行了地面测试。公司正在促进ENGINEUS系列电动机快速向VTOL和STOL动力转变。

为EcoPulse飞机提供混合电推进系统

2019年6月, 法国大合 (Daher) 公司、空客公司和赛峰集团宣布共同开发EcoPulse分布式混合电推进演示验证机, 将基于大合公司的TBM 900单发涡桨飞机研发, 计划2022年首飞。该验证机将在机翼上安装6副 (每侧各3副) 电动螺旋桨替换原有的标准发动机和螺旋桨, 每副螺旋桨由一台ENGINEUS 45电动机驱动, 由电池和100kW辅助动力装置供电。

大合公司负责总体设计、系统安装、飞行测试和全面分析。空客公司负责分布式推进系统的气动优化和高能量密度电池的供应和安装。赛峰集团则负责提供除电池以外的分布式混合电推进系统, 包括涡轮-发电机 (涡轮和发电机的组合)、电源管理系统和包含电动机和螺旋桨的集成电推进器 (或电动螺旋桨), 电推进器将被集成到EcoPulse的机翼中。

与美国国家航空航天局 (NASA)



EcoPulse 验证机

的X-57分布式电推进验证机项目类似, EcoPulse飞机项目中也将评估分布式推进的潜在优势。两副机翼外侧螺旋桨 (3叶) 除提供推力外, 还可消除翼尖涡流以减少阻力, 而4副内侧螺旋桨 (5叶) 滑流吹过机翼表面时, 会对机翼翼面气流形成加速作用以改善机翼升力特性, 提高升力系数。内侧螺旋桨将由电池驱动, 并设计成可折叠式, 以减小巡

航时的阻力。验证阶段将耗资2200万欧元, 其中50%将由法国民航局 (DGAC) 提供。

ENGINEUS 45电动机助力Cassio 1电动试验飞机

2020年3月, 法国初创公司VoltAero公司首架混合电推进试验飞机Cassio 1完成首飞, 该机基于赛纳纳337“天空大师”飞机改装。配备了赛峰集团的两台ENGINEUS 45电



Cassio 1 试验飞机



赛斯纳337“天空大师”



量产型Cassio飞机

动机和日产（Nissan）公司的活塞式发动机。赛斯纳337是双发螺旋桨飞机，两幅螺旋桨分别位于机体前后，即同时装备了拉进式螺旋桨和推进式螺旋桨。Cassio 1取消了机体前部的螺旋桨，而在机翼上安装了两副螺旋桨，分别由一台ENGINEUS 45电动机驱动。机体后部的第三副推进器螺旋桨则由传统的170kW活塞式发动机驱动。2020年5月，VoltAero公司推出了量产型Cassio飞机的最新构型，机体尾部安装了混合电推进系统，优化了机体气动外形，机体前部采用了鸭翼，配置带有双尾撑带高置平尾的后置机翼，取消了Cassio 1试验飞机机翼上安装的螺旋桨和驱动装置，只保留了安装在机尾的一副螺旋桨。

直升机混合动力

不仅固定翼飞机或eVTOL的动力系统在向电推进方向转变，传统直升机动力也在向采用更多电力的混合动力方向发展。直升机混合动力包括应用于直升机不同飞行阶段的多种能源组合，其目的是优化直升机的动力配置。在巡航状态下，由传

统涡轴发动机提供动力；在起飞、悬停或是其他紧急情况下，直升机所需的额外功率由其他能源提供，如辅助动力装置（APU）或发电机。因此，直升机发动机将不再需要为这些特定情况改变工作状态，将始终工作在最佳状态，燃油消耗将因此下降。

赛峰集团正在研究几种直升机混合动力配置，以在双发直升机上更有效地利用更多的电力。其中一种便是“节能模式”（eco mode）概念：在巡航状态下，将两台发动机中的一台置于待机模式，从而可将燃油消耗降低15%，并增加航程；在起飞、悬停或是其他紧急情况下需要附加动力时，智能辅助电动机会迅速重新启动待机的发动机。赛峰集团开发的“电动直升机”（ePPH）验证机已在地面测试中验证了这一概念，并将进行飞行测试。除了赛峰直升机发动机公司外，赛峰集团的其他子公司也参与了这项研究，包括赛峰电子与防务公司。

赛峰集团还在研究双发直升机在一台发动机失效的情况下，如何通过不同途径为直升机提供飞行所

需的功率。公司正在研究涡轮-电混合动力系统，可优化发动机的体积和质量，降低10%~15%的耗油率。赛峰直升机发动机公司执行副总裁西里尔·波奇表示，双发直升机的主要设计原则是确保单发失效（OEI）条件下的飞行安全，即当一台发动机失效时，另一台发动机要提供比额定功率大20%的输出功率。但是现代直升机OEI并不经常出现，20%的备用功率显得有些“多余”。这意味着如果采用涡轮-电混合动力系统，直升机可以选用功率较小的发动机。例如，空客直升机公司的“超级美洲狮”直升机目前装配的是赛峰集团生产的马基拉1A1涡轴发动机，功率为1400kW；如果换用混合动力系统，可以使用质量较轻的1044kW功率的阿蒂丹3发动机，在OEI情况下由混合动力系统的电力提供额外的功率。

支线航空混合动力

2018年10月，波音投资的新创企业Zunum公司选择赛峰集团为其12座、航程1126km的支线客机ZA10提供发电系统。ZA10将采用电池和

涡轮-发电机两种动力，共同驱动两个500kW的电动涵道风扇。机载电池组提供500kW的功率，涡轮-发电机系统提供另外500kW的功率。赛峰集团将为其提供阿蒂丹3Z涡轴发动机，与Zunum公司另行选择的发电机组成涡轮-发电机，进行联合地面试验后交由Zunum公司在试飞平台上进行飞行试验。涡轮-发电机系统将安装在ZA10机体后部的两个涵道风扇中间，而机载电池组则被置于机体、机翼和短舱中。阿蒂丹3Z是阿蒂丹3涡轴发动机的改进型，功率为1268 ~ 1492kW。

由于ZA10飞机采用的是混合电推进系统，电力系统可以自动调节输出电力，作为源动机的阿蒂丹3Z可始终运行在最佳工作状态，而不必像其他纯粹由燃气涡轮发动机推动的飞机一样，发动机输出功率会随着飞机飞行状态的不同而改变工作状态，并不总是保持在最佳工作

状态。基于混合动力架构，将降低燃气涡轮发动机燃油消耗、延长发动机寿命并降低运营成本。

干线客机混合动力

值得注意的是，在较长时间里，对干线客机而言，全电推进很难实现。当前的电池密度只有200 ~ 300 (W·h) / kg，与航空燃油12000 (W·h) / kg的能量密度相比，相差太远。A320和737这一级别的干线客机，最大起飞质量在70 ~ 80t，如果采用电推进，即使电池的能量密度达到1000 (W·h) / kg，也需要170t的电池。因此，赛峰集团分析认为，在相当长时间里，适合大型飞机的电推进方式是混合电推进。赛峰飞机发动机研究与技术副总裁杰罗姆·波尼尼对此表示，“如果想实现全电推进，我们必须取得更大的进展，虽然该技术已经在研发过程中，但应用到大型飞机还不现实。我们认为未来有更

多的路径，应当同时在3个方面实施推进技术的改进，首先是改善动力装置效率，第二是将动力装置更好地与机体集成，第三是通过推进和非推进手段改善能量管理。”

航空燃料能量密度比电池高，而电动机效率比涡轮更高。混合电推进系统使用燃气涡轮作为动力来源，具有燃油的能量密度和电动机的高效效率，将二者优势综合在一起，但代价是混合推进系统的质量和复杂性也随之增加。

赛峰集团高级执行副总裁和首席技术官斯特凡·屈埃耶声称，如果采用混合电推进系统，大型短程/中程飞机的油耗可降低3% ~ 12%，具体取决于飞机构型的复杂程度，但同时会造成飞机的质量增加，因为混合电推进系统的质量将比常规发动机更大，只有在飞发一体化带来的效率提升足够补偿质量增加时才可行。

赛峰集团针对用于大型飞机的混合电推进系统制定了“三步走”的发展路线。

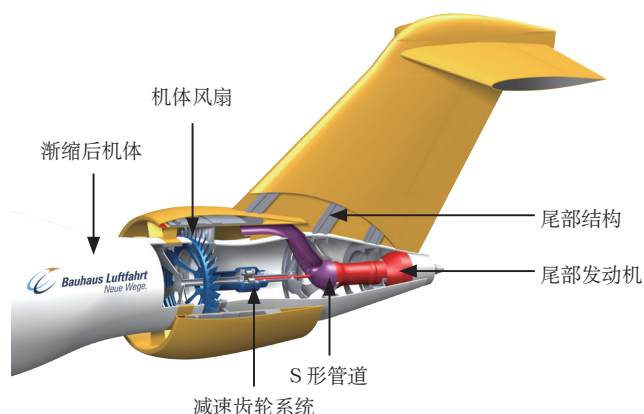
第一步，2030年实现初步的混合电推进系统，起飞、爬升和慢车推力的10%由电力提供。这也是为了适应世界电池技术逐步提升的步伐。在此阶段，飞机的大部分推力仍由常规涡扇发动机提供。

第二步，2035年实现带边界层吸入(BLI)的混合电推进，推力的20% ~ 50%由电力提供。在BLI推进系统设计中，在机体尾部嵌入风扇，可以将机体上的边界层气流吸入并加速，进而降低阻力。尾部风扇由电池或常规发动机产生的电力驱动。

不少研究机构和企业都提出了类似的结构布局，NASA就提出了带后置边界层推进的涡轮电推进飞机



ZA10支线客机



包豪斯研究院提出的“推进式机体概念”(PFC)

(STARC-ABL), 与赛峰集团的BLI概念非常相似。极光飞行科学公司、法国航空航天研究院(ONERA)、德国包豪斯研究院也都提出了采用BLI技术理念的布局, 其中包豪斯研究院提出了“推进式机体概念”(PFC)。

第三步, 2040年实现100%电推进, 前提是解决了能量储备和大功

率能量传递这两大技术问题。

在干线客机领域, 赛峰集团同时在考虑的方案包括: 在“清洁天空”I计划下开展研究的开式转子发动机概念; 在“清洁天空”II计划下开展研究的超高涵道比(UHBR)发动机概念; BLI推进概念以及分布式混合电推进。赛峰飞机发动机研究

与技术副总裁杰罗姆·波尼尼表示, 正在探索上述所有的构型, 还不知道哪种解决方案是最佳的, 但可以确信的是发动机制造商和飞机制造商间的界限将发生变化, 需要更多的飞发集成。

结束语

正如今世界海量航空信息所彰显的那样, 电气化是航空制造业的大趋势, 电推进是航空动力的重大发展趋势之一。GE、普惠、罗罗等传统航空动力巨头都在尽力促进其电推进技术及产品的发展, 并积极探索各种新技术和新应用。作为传统动力巨头之一的赛峰集团同样也不甘人后, 一方面开发包括新型电动机在内的电推进新技术和新产品; 另一方面也充分挖掘和利用自身在传统动力领域的优势和积蕴, 促成传统与革新的融合, 开发出充分利用公司燃气涡轮发动机的涡轮-电推进系统, 并且针对不同类型的飞行平台, 采取了不同的动力应对方案。

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)



极光飞行科学公司的D8布局概念