

2023年主要航空发动机制造商态势分析

Operation Analysis of Major Aero Engine Manufacturers in 2023

■ 付玉 秦亚欣 / 中国航空发动机研究院

后疫情时代出行需求的高涨为航空业的复苏提供了动力，但地缘政治风险和供应链挑战的加剧也给其发展前景带来了不确定性。2023年，航空发动机制造商在方向选择上出现分歧。

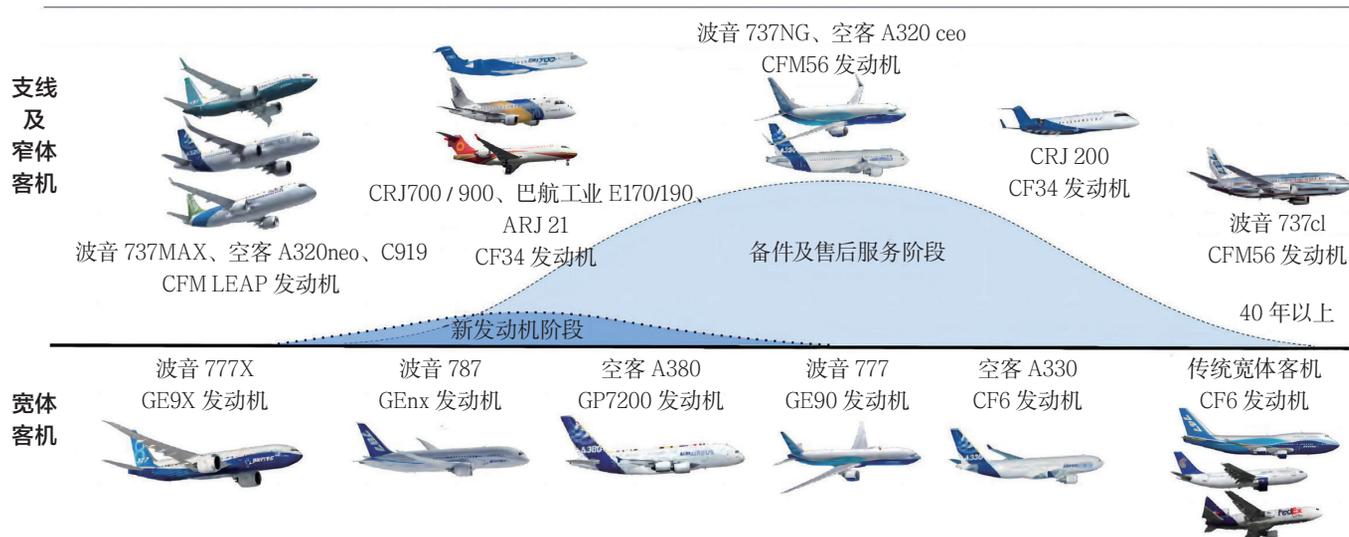
航空业在2023年面临着前所未有的复杂局面。一方面，国际航线班次的成倍增加、全球军费的持续上涨给航空发动机制造商带来积极影响；另一方面，全球通货膨胀压力加大、地缘政治冲突恶化导致原材料价格上涨、供应链风险进一步加剧，也给航空发动机制造商的发展预期蒙上阴影。在纷繁复杂的局势下，航空发动机制造商根据自身的特点，各自选择了不同的策略以实现快速调整，更好地应对外部冲击。

GE 航空航天公司：均衡发展，逐项突破

受益于疫情结束后出行需求的成倍增长，GE 航空航天公司2023年经营状况超过预期。全年收入达到317.7亿美元，同比增长22%；实现利润61.2亿美元，同比增长28%。其中，民用业务收入为240亿美元，售后服务收入约占70%；军用及系统业务收入为90亿美元，售后服务收入约占55%。全年共交付民用航空发动机2075台，同比增长24.8%；交付军用航空发动机556台，同比下降12%。目前，GE 航空航天公司共有

7万台在役发动机，其中约12600台签有长期服务协议，保证了收入和现金流的稳定。

在战斗机发动机方面，自适应发动机测试达到里程碑。2023年11月，GE 航空航天公司宣布其在自适应发动机转化计划（AETP）下开发的XA100发动机已经完成了第三轮测试，此次测试进一步验证了该型发动机的详细设计和数字模型，以及由于之前测试中暴露的不足而进行的改进方案；此外，还将用于下一代空中优势（NGAD）项目的发动机命名为XA102，新名称意味着该



GE 航空航天公司典型民用产品配套平台及其所处生命阶段

发动机与XA100发动机的大小和性能会有所区别，但共享技术。凭借着积极的测试结果和美国国会对先进发动机开发的支持，GE航空航天公司的自适应发动机正在逐步接近实用状态，从中获得的技术和经验可支持下一代自适应推进（NGAP）项目的实施。

在涡轴发动机方面，首次实现下一代旋翼机动力交付。2023年10月，美国陆军接收了首批作为未来攻击侦察机（FARA）竞争原型机动力装置的2台飞行试验发动机T901-GE-900。该发动机的设计借鉴了陶瓷基复合材料以及增材制造等一系列商用发动机技术，使发动机质量更轻、功率更大；T901-GE-900发动机的另一显著特点是使用了模块化设计，使得发动机成本更低、可靠性更强、成长性和维修性更高。此外，GE航空航天公司还宣布建立一个旋翼机动力运营中心，为CT7系列发动机提供远程诊断和分析服务，提升了支持服务的灵活性。

在可持续发展航空技术方面，重点发力混合电推进领域。2023年3月，GE航空航天公司宣布与西科斯基公司合作开发全自主混合电推进验证机（HEX），动力采用由CT7涡轴发动机驱动的混合电推进系统，该系统借鉴了在美国国家航空航天局（NASA）电气化动力系统飞行验证（EPFD）项目和美国陆军应用研究合作涡轴电气化应用项目（ARC-STEP）下开发的技术，将驱动1台1MW的发电机以及相关的电力电子设备。10月，GE航空航天公司接收了燃料电池嵌入式发动机（FlyCLEEN）项目第二阶段资金，用于制造和演示1个25kW的发电系

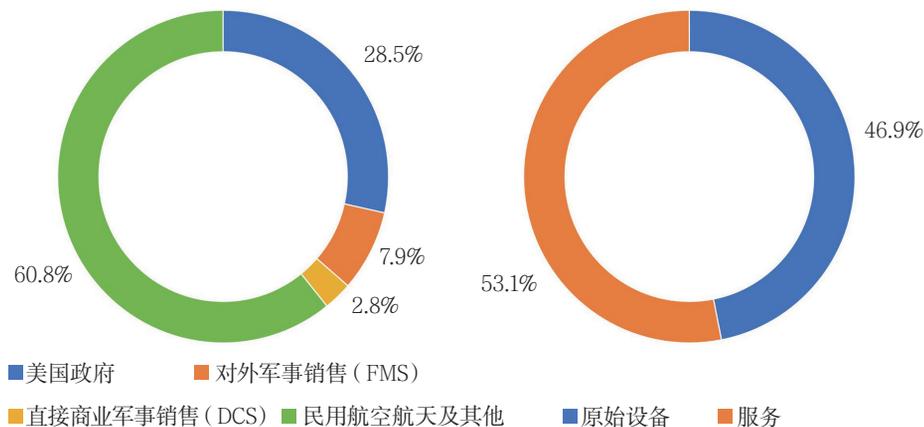
统，该系统集成了固体氧化物燃料电池（SOFC）和以可持续航空燃料（SAF）为动力的燃气涡轮发动机，燃料电池的使用可大大提高SAF化学能转化为电能的效率，更接近净零碳排放。

此外，GE航空航天公司还在积极推动旋转爆震技术的发展，并将其作为未来能够在高速导弹、可重复使用高超声速飞行器和其他无人机动力系统中发挥重要作用的业务增长点。2023年6月，GE航空航天公司通过在涡轮基组合循环（TBCC）发动机演示验证机中测试旋转爆震发动机（RDE）技术，以支持美国国防预先研究计划局（DARPA）、美国空军研究实验室（AFRL）和导弹防御局的相关工作。GE航空航天公司的RDE技术主要通过提高从外涵道导入加力燃烧室的二次入口气流的压力、温度和速度来实现，并通过使用进气预冷器、外涵道中冷器、与冷却气流相互作用的多孔流道衬壁、空油换热器等设备来实现冷却，该项目目前正专注于从配备RDE的燃气涡轮发动机到双模态冲压/超燃冲压发动机的高超声速下的模态转换试验。

普惠公司：事故频出，陷入亏损

2023年8—11月，普惠公司两度发出召回通告，由于制造高压涡轮和高压压气机的粉末冶金材料出现“罕见状况”，需要对2015—2021年生产的PW1100G-JM发动机进行拆除和检查，涉及的发动机有1800~1900台，将于2023—2026年完成所有检查。作为在该发动机项目中占比达到51%的主导者，普惠公司因此次召回产生了54亿美元的相关支出，对年度财务表现造成了打击。2023年，普惠公司全年收入为183亿美元，同比下降10.9%。从收入结构看，原始设备销售收入为85.8亿美元，同比下降30.9%；售后服务收入为97.2亿美元，同比增长16.5%。从业务组成来看，军用业务收入为66.5亿美元，同比略有提升；民用业务收入为116.5亿美元，同比下降17.6%。普惠公司全年共亏损14.6亿美元。

尽管在民用业务领域遭受了重大挫折，但普惠公司在现役战斗机动力的完善升级和下一代动力研发方面都取得了一定的成绩，作为美国现有先进战斗机动力唯一供应商



普惠公司2023年客户组成及收入结构

的地位得到进一步巩固。2023年2月，普惠公司公布了2022年12月发生的F-35战斗机坠毁事件的调查结果，该事故是F135发动机的振动问题导致燃油管破裂所致，在采取了短期补救方案之后，该发动机已于2023年2月底恢复交付，后续将重新设计故障相关组件以彻底解决该问题。3月，美国空军宣布F-35战斗机换发采用F135发动机核心机升级方案，随后F-35联合项目办公室（JPO）正式宣布，向普惠公司签发多份独家合同，由普惠公司全权负责升级工作，合同涉及F-35A/B/C升级的方案设计、产品制造和开发、武器系统集成、试验设备采购和开发硬件采购等相关工作，目前涉及的合同金额达到1.8亿美元。11月，普惠公司的NGAP系统通过数字初始设计评审（PDR）里程碑，该计划旨在为NGAD项目开发配套动力，普惠公司正在与GE航空航天公司各自开发自适应发动机来竞标，力图延续在战斗机动力领域的霸主地位。

在小型发动机业务方面，普惠加拿大公司达到多项重大里程碑。2023年4月，PT6系列发动机面世60周年，该发动机配装了超过155型飞机，累计交付5万余台，飞行时间超过5亿h，堪称世界上最成功的小型航空发动机；5月，PW300系列发动机交付第6000台，该系列发动机凭借良好的可靠性、耐用性和经济性，为赛斯纳“奖状”、达索“猎鹰”7X、湾流G200等多型中型公务机提供动力；10月，PW127XT-L涡桨发动机获得型号合格证，是该公司第200个获得认证的产品。目前，普惠加拿大公司已交付38个型号的18000多台直升机发动机，其中超过10700台

发动机在役，全线产品累计飞行时间超过10亿h。

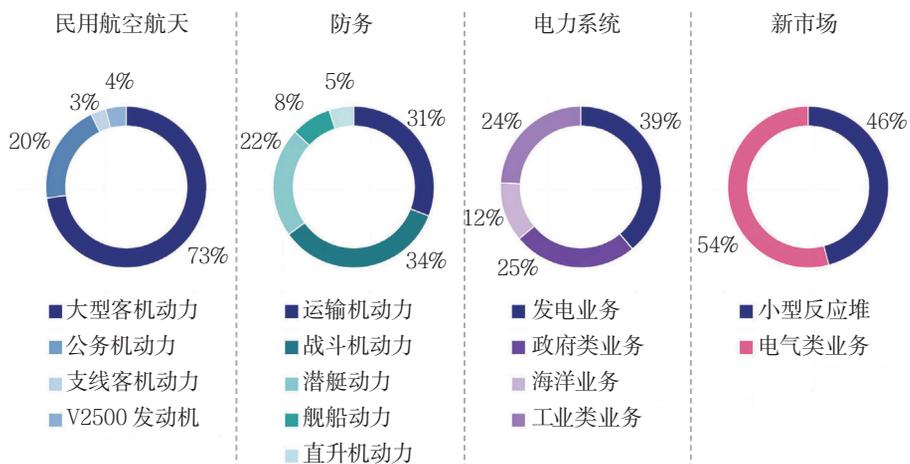
此外，普惠公司在售后维修保养领域持续深耕，不断推出新型服务，持续完善维修基础设施，维修网络进一步扩张，对客户的支撑能力有所增强。2023年3月，普惠加拿大公司推出直升机发动机远程维护包，该维护包内置专用缆线、点火激励器、内窥镜导向工具等发动机关键零部件和工装，提升了发动机维护的自主性和及时性。5月，普惠加拿大公司宣布将投资1000万美元改善其热端部件的维修能力，改造现有的涂层生产线以使用新的涂层工艺技术，大幅提高发动机的耐用性和性能，此项改造预计将于2025年年初完成；同时，还宣布拓展德国客户服务中心的维修能力，并将为其在波兰的维修工厂增设新的维护、修理和大修（MRO）生产线，来增强对PW500系列和PT6A系列发动机的维护能力，以改善欧洲客户的整体体验。在军用动力维修方面，普惠公司于3月宣布将投资2.55亿美元在美国廷克空军基地附近建造一座世界级的维护保障设施，该设施占地

7.85万m²，将成为普惠公司所有军用发动机的基地级维修中心，预计2028年建成，将进一步提升普惠公司对美国空军的服务保障能力。

罗罗公司：转型顺利，业绩飙升

2023年2月，罗罗公司为改善现金流，实现收入的可持续增长，启动了一项为期多年的转型计划。该计划在2023年进展良好，助力罗罗公司取得了业绩上的突破，全年营业收入为154亿英镑，同比增长21.4%。其中，民用航空航天部门收入为73.5亿英镑，同比增长29.2%；防务部门收入为40.8亿英镑，同比增长11.4%。营业利润为15.9亿英镑，同比增长143.9%。民用航空航天部门实现利润8.5亿英镑，同比增长近4倍；防务部门实现利润5.6亿英镑，同比增长30%。全年共交付航空发动机458台。其中，大型发动机262台，同比增长37.9%；公务机发动机196台，同比增长18.8%。收获大型发动机订单678台，订货数量为近15年之最。

在民用发动机方面，遛达系列



罗罗公司部门结构及其主要业务收入占比

发动机性能有所提升，并收获了大量订单，“珍珠”700发动机和“超扇”（UltraFan）发动机陆续达到里程碑节点。2023年4月，罗罗公司推出针对遑达7000和遑达1000TEN的发动机升级包，该升级包通过扩大冷却孔的数量和尺寸从而使高压涡轮叶片的冷却气流增加40%，温度降低45℃，提升了叶片耐用性，增加在翼时间。9月，“珍珠”700发动机获得美国联邦航空局（FAA）的适航认证，该发动机将为湾流公司的G700和G800大型公务机提供动力。11月，“超扇”发动机验证机成功完成满功率试车，罗罗公司借助该验证机完成了碳钛风扇、复合材料机匣、大功率齿轮箱、Advance 3核心机、应用于核心机的高温陶瓷基复合材料、ALECSys贫油燃烧系统等一系列新技术的验证，罗罗公司有望凭借该型发动机重返窄体客机动力市场。

在军用发动机方面，B-52换发项目进展良好。2023年3月，F130发动机露天测试启动，测试内容主要集中在侧风气动性能、发动机数字控制系统等。9月，该发动机测试初步完成，测试结果符合预期，B-52H换发项目顺利通过“里程碑B”，进入工程研制阶段。罗罗公司预计在2024年年初完成关键设计审查，在2024—2026年交付地面和飞行测试用发动机，该换发项目涉及的新发动机订单数量超过600台，这些发动机预计将B-52飞机的使用寿命增加30年，发动机将在飞机的全生命周期中保持在翼而无需大修，维护成本显著降低。

作为资产重组计划的重要措施，罗罗公司在2023年决定剥离不符合

目前战略的非核心业务——罗罗电气。此前，罗罗公司一直将电推进作为未来航空航天发展的核心技术，在2019年收购了西门子公司航空电推进相关业务，并在2022年的内部架构调整中创建了罗罗电气部门，主要产品为涡轮发电机和电推进装置（EPU）。罗罗电气业务之所以被剥离，一是因为罗罗公司的主要产品为宽体客机发动机，罗罗公司认为目前只有燃气涡轮发动机才能为远程大型客机提供必要的功率密度；二是因为罗罗电气的主要业务在2023年接连受挫，与意大利飞机制造商泰克南公司合作开发的全电推进客机P-Volt P2010项目被认为电池技术还不够成熟，项目被暂停，与巴航工业Eve公司合作的Evtol项目竞标失利出局。综合来看，该部门无法在短期内承担起为罗罗公司创收的重任，反而需要持续的研发投入、不断“烧钱”，不符合罗罗公司目前的核心战略。

不再押注电动飞行的同时，罗罗公司选择通过SAF来为旗下的航空发动机实现“脱碳”。2023年，罗罗公司陆续完成遑达1000、遑达XWB-97、“珍珠”10X等发动机使用SAF的地面测试或试飞，至此成功完成了其所有在产民用航空发动机型号的100% SAF兼容性测试。在长期“脱碳”目标方面，罗罗公司致力于氢动力研究，研发活动持续增强，目前主导了为液氢发动机燃烧室元件开发技术和子系统架构的氢动力系统技术（HYEST）、着眼于完全集成的推进系统以及氢燃料储存的氢涡轮动力设计的鲁棒性实现（RACHEL）、以及研究氢燃料输送和控制的液氢涡轮动力（LH2GT）

等多项研究，努力实现2050年净零碳排放的承诺。

赛峰集团：广泛合作，电气化加速

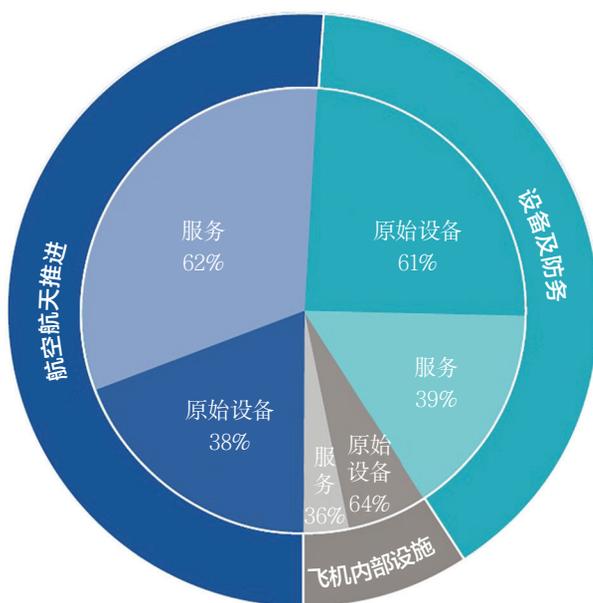
赛峰集团2023年的总收入为232亿欧元，实现利润26.5亿欧元。航空航天推进部门收入为119亿欧元，同比增长25%；实现利润23.4亿欧元，同比增长近50%。其中，原始设备销售收入为43亿欧元，同比增长28.7%；售后服务收入为73亿欧元，同比增长22%。全年共交付民用航空发动机1812台，同比增长34.1%；交付直升机发动机588台，同比增长15.7%；军用M88发动机共交付42台，交货量和售后服务收入均有所降低。

赛峰集团继续发力开式转子发动机。2023年4—5月，赛峰集团宣布正在航空环境低影响开式转子（OFELIA）项目框架下开展新型开式转子发动机技术的演示验证项目。该项目是欧盟清洁航空（Clean Aviation）计划下的一个联合项目，赛峰集团将与空客公司、Avio航空公司、吉凯恩（GKN）公司、法国航空航天研究院（ONERA）等26家欧洲工业关键合作伙伴共同开展项目研究。OFELIA项目的目标是验证开式转子架构在效率方面的优势，以满足2035年左右下一代短程和中程（SMR）飞机的需求，实现到2050年净零碳排放的行业目标。在该项目中，赛峰集团及其合作伙伴将解决影响开式转子技术成熟的具体问题，如旋转颤振、无涵道风扇、高速助力器、高功率紧凑型减速齿轮箱等，期望将开式转子技术的成熟度提升至5级（TRL5），为清洁航空计划第二阶段飞行测试做好准备，并为2050年之前以

开式转子为动力的空客 A380 飞机的地面和飞行测试做好技术储备。

在军用直升机动力方面，积极开展多方合作。2023年2月，赛峰集团与印度斯坦航空公司（HAL）达成合作协议，为印度正在开发的13t级多用途直升机（IMRH）及海军型甲板多用途直升机（DBMRH）开发新型发动机，HAL将参与发动机关键部件的设计、开发和生产。6月，赛峰集团宣布计划与MTU公司组建欧洲团队共同开发新型直升机发动机，以应对欧洲下一代旋翼机技术（ENGRT）项目。新发动机完全在欧洲设计、开发和生产，用以加强欧洲的技术、工业基础以及供应链建设。该计划预计将于2025—2029年进行初步技术开发，2030年开始新产品开发，并于2040年投入使用。

在电推进领域，赛峰集团正积极布局，成果不断涌现。在整机层面，赛峰集团于2023年2月完成Tech TP混合电推进涡桨发动机技术验证机的首次运行，该验证机将电动机集成在发动机的减速齿轮箱中，可以仅依靠电池动力滑行，或在飞行中提供助力以减小涡轮发动机的载荷；6月，赛峰集团对“节能模式”（Eco Mode）混合电推进系统进行了地面试验，该推进系统专门为双发直升机设计，可减少约15%的燃料消耗和二氧化碳排放量，延长航程。在部件层面，3月，赛峰集团的ENGINEUS XL电动机在气候实验室中进行了高空试验，输出功率可达750kW，并可以扩展到1MW，现已准备好投入市场；6月，赛峰集团宣布开始对ENGINEUS100电动机进行认证测试，并同步开展飞行测试，该电动机功率范围为100 ~ 180kW，



赛峰集团主要业务分布及其收入结构

已被选中配装多型混合电推进飞行器。此外，赛峰集团还宣布将为ENGINEUS系列电动机配置4条生产线，到2026年实现年产1000台，以服务全电和混合电推进航空市场。

赛峰集团还致力于通过收购来补充其在电气业务方面存在的短板。2023年7月，赛峰集团提出18亿美元的报价，从雷神技术公司手中收购柯林斯宇航公司的驱动和飞行控制系统业务。赛峰集团认为，未来中短程飞机将主要依靠机械、液压和电气混合装置实现驱动，将柯林斯宇航公司在传统机械驱动和液压驱动方面的专业知识与赛峰集团在电气驱动方面的技术相结合，可以助力赛峰集团在下一代商用飞机设计中取得主动权。10月，赛峰集团完成对泰雷兹公司航空电气系统业务的收购，收购对象包括泰雷兹航电电气系统部门和航电电动机部门，及其位于美国和新加坡的航空电气设备支持、维护和生产工厂。此次收购增强了赛峰集团在电气转换方面的技术能力，使其电动

飞行方面的实力得到提升。

结束语

在充满动荡和不确定性的2023年，航空发动机巨头企业的方向选择正式出现了分歧。在业务结构上，GE航空航天公司、罗罗公司持续聚焦主业，非核心业务剥离速度加快；而赛峰集团致力于加快并购重组，试图在更多领域探索发展机遇。在方向选择上，GE航空航天公司、赛峰集团着眼于中长期发展目标，加快电推进领域的研发和布局；而罗罗公司不再押注电动飞行，期望通过SAF来实现减排目标。从经营结果上看，罗罗公司、GE航空航天公司从一系列改革中获益，而普惠公司则陷入亏损。2023年也许只是个开始，随着内外部环境变化加剧，航空发动机行业格局可能会发生更大的改变，未来值得持续关注。 航空动力

（付玉，中国航空发动机研究院，工程师，主要从事航空发动机科技情报研究）