

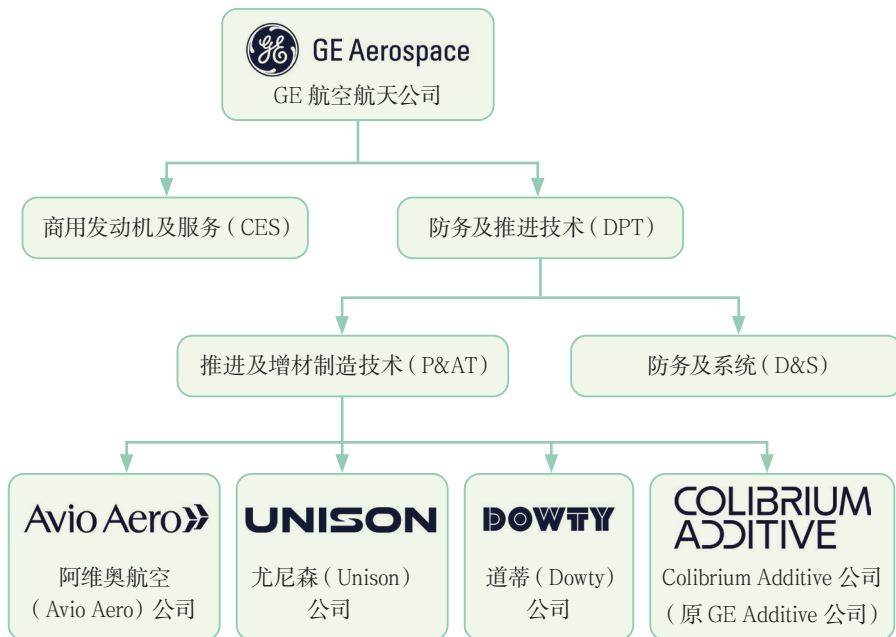
2024年主要航空发动机制造商态势分析

Operation Analysis of Major Aero Engine Manufacturers in 2024

■ 付玉 / 中国航空发动机研究院

2024年，全球航空客运总量创新高。主要航空发动机制造商在外部市场需求和内部战略转型的双重驱动下，经营业绩不断向好，经营收入基本实现了两位数的增长，整体呈现出蓬勃发展、欣欣向荣的景象。

尽管一些国家和地区在2024年仍然面临一系列经济和地缘政治挑战，但全球航空运输市场依旧呈现出持续复苏的态势，创造了新的纪录。在强劲运输需求引领下，主要航空发动机制造商纷纷开展契合市场发展趋势的战略转型，并取得积极成效，经营指标数据都处于历史高位；被蓬勃发展的市场所吸引的新参与者，也采取多种措施谋求破局，希望能够早日加入整机制造商行列。在积淀中发展，在竞争中超越，2024年的航空发动机制造市场生机勃勃，精彩纷呈。



GE 航空航天公司业务架构

GE 航空航天公司：拆分完成，收入增长

2024年4月2日，GE 航空航天公司正式在纽约证券交易所挂牌上市，完成了其持续多年拆分转型计划的最后一步。独立运营后的GE 航空航天公司对其业务进行了重新划分，目前拥有商用航空发动机及服务 (CES) 和防务及推进技术 (DPT) 两大业务板块。

独立运营后的GE 航空航天公司上调了年度经营预期，多项关键经营指标迎来强劲增长。全年总收入为387亿美元，同比增长9.5%；

经营利润为76.2亿美元，同比增长15%。其中，商用航空发动机及服务板块收入为268.8亿美元，同比增长12.7%；利润为70.6亿美元，同比增长25%。防务及推进技术板块收入为94.8亿美元，同比增长5.8%；利润为10.6亿美元，同比增长16.8%。全年共交付商用发动机1911台，军用发动机490台，同比略有减少。

在军用动力方面，GE 航空航天公司在产品研发与装配，以及下一代动力探索中都取得了积极进展。2024年5月，GE 航空航天公司完成

了XA100自适应发动机的第4轮试验，此次试验收集的数据可用于改进自适应发动机的设计和制造方法，并助推美国空军下一代自适应推进 (NGAP) 项目发展；6月，GE 航空航天公司开始在“黑鹰”直升机上安装并测试T901发动机，预计将于2025年投入使用；7月，北大西洋公约组织 (北约) 支持与采购局 (NSPA) 与GE 航空航天公司合作，对下一代旋翼机动力装置进行了初步研究，分析了先进燃气涡轮发动机、混合电推进系统和氢燃料发动机等多种

动力装置,对其单位成本、运营成本、全生命周期成本、速度、有效载荷和航程进行全面评估,为选取满足下一代旋翼机能力(NGRC)项目需求的动力装置奠定基础,该研究为后续深入探索NGRC提供了理论支撑,标志着北约成员国家在设计和开发下一代中型多用途旋翼机方面迈出了关键一步。

在民用动力方面,GE航空航天公司与赛峰集团合资成立的CFM国际公司推出的可持续发动机革命性验证(RISE)项目正在加速测试进程。2024年1月,该项目在法国航空航天研究院(ONERA)开始进行开式转子5:1缩比验证模型风洞试验,试验时间超过300h;7月,该项目验证机在GE航空航天公司总部进行了高压涡轮耐久性测试,累计超过2000循环;此外,GE航空航天公司宣布开始测试下一代压气机和燃烧室技术,以提高材料性能,并了解发动机设计对二氧化碳及其他污染物排放的影响。RISE项目已经完成超过250项测试,相关技术持续成熟,正在从部件级评估向模块级测试发展。

在无人机动力方面,GE航空航天公司的相关产品逐渐成熟,并积极探索低成本“一次性”发动机。2024年7月,GE航空航天公司宣布配装“欧洲无人机”(Eurodrone)的“催化剂”(Catalyst)涡桨发动机正在达到并超过其目标性能数据,该发动机与同类动力装置相比,燃料消耗降低了18%,在高海拔地区的功率增加了10%,目前已经完成900余次飞行测试,预计将于2025年获得认证;同时,GE航空航天公司将与无人机制造商克雷托斯(Kratos)公司

联合推出新型涡扇发动机,为新一代军用小型无人机提供动力,新发动机推力为3.6~13.3kN,体积更小、成本更低,使用寿命也更短,预计为数百循环,将系列化发展,此类发动机适用于无人机、导弹和某些巡航导弹,可能成为美国空军未来空中力量的战略支柱。

作为未来发展战略的重点方向之一,GE航空航天公司多年来对旋转爆震燃烧(RDC)技术潜心研究,并将其与在高马赫数技术领域的研究成果和发动机研发积累的经验相结合,使双模态冲压发动机研发能力得到了快速提升。继2023年年底成功完成了高超声速双模态冲压发动机(DMRJ)台架试验之后,GE航空航天公司于2024年7月成功完成空气流量增大3倍的DMRJ技术验证机测试,性能测试结果超出了预期,标志着GE航空航天公司高超声速动力组合装置研发达到了最新里程碑。

此外,GE航空航天公司在2024年投资了6.5亿美元用于提升产能。其中,4.5亿美元为位于美国的制造工厂购置生产设备、升级设施、建设新试验单元和增强安全措施;1亿美元拨给美国本土供应商来保障并提升其供应链的稳健性;另外1亿美元投资位于北美、欧洲、印度的一些国际工厂以支持其全球客户的运营。GE航空航天公司于2024年7月宣布将于5年内再追加3.5亿美元投资,用于扩大并升级全球维护、修理和大修(MRO)设施,增加发动机测试单元和设备等,此项投资金额高达10亿美元的产能提升计划有助于减少订单积压,响应市场的强劲需求。

普惠公司:销量大增,扭亏为盈

尽管仍然在遭受产品召回导致的停飞困扰,但由于民用发动机售后市场的需求旺盛和多个军用发动机型号研发维护合同的签订带来了大额收入,普惠公司2024年成功实现扭亏为盈。全年总收入为280.7亿美元,同比增长53.4%。从收入类型看,原始设备销售收入为163.2亿美元,同比实现翻番;售后服务收入为117.5亿美元,同比增长20.9%。从客户类型看,国内军事销售收入为60.9亿美元,对外军事销售(FMS)收入为15.3亿美元,直接商业销售(DCS)收入为7.1亿美元,民用航空航天及其他销售收入为197.4亿美元,同比均有所增长。经营利润为20.2亿美元,利润率为7.2%。全年共交付军用发动机180台,大型商用发动机996台,目前在役的航空发动机超过90000台。

在军用动力方面,尽管美国下一代空中优势(NGAD)项目由于面临严峻的资金困局一度暂停,但作为与该项目配套的NGAP项目的有力竞争者,普惠公司表示其自适应发动机的研发仍将继续;同时,普惠公司认为NGAP项目在高温部件材料、涂层、冷却和热管理系统等方面的技术进展将有助于F135发动机核心机升级(ECU)。2024年2月,普惠公司宣布其为NGAP项目研发的XA103发动机已经完成关键设计评审(CDR),准备进入详细设计阶段,预计将在21世纪20年代末进行地面测试;7月,普惠公司宣布其为F135发动机ECU项目已经通过初始设计评审(PDR);9月,普惠公司获得ECU项目合同,该合同将资助

普惠公司进行设计、分析、地面试验、发动机试车准备、硬件开发、试车台组装搭建、空气系统集成、适航评估以及产品维护保障等工作，为全球F-35战斗机所有3种型号的第四批次（Block 4）及未来的升级版提供更强大的推力和冷却能力。

在民用动力方面，普惠公司多型发动机实现取证，有望提升未来市场份额。2024年5月，普惠加拿大公司的PW545D涡扇发动机获得加拿大民用航空局型号合格证，该发动机已经完成230h飞行试验和630h发动机试验，将为德事隆航空公司赛斯纳“奖状”系列雅昇（Ascend）公务机提供动力；12月，普惠公司PW1100G-JM发动机获美国联邦航空局（FAA）认证，将成为首型配套空客A321XLR飞机的发动机；此外，普惠公司还于12月宣布其齿轮传动涡扇（GTF）Advantage发动机已经完成大部分测试工作，认证工作正按计划推进，预计将于2025年

获得认证并实现交付，将为普惠公司带来更大的市场份额。

在产能提升方面，普惠公司加大了基础设施建设力度，提升了军用、民用产品生产维修能力，增强了全球客户运营能力，缓解了订单积压压力，于2024年10月宣布将投资255亿美元用于在美国俄克拉何马城新建全球最大军用发动机工厂，该工厂能够将其生产、维护和修理能力提升1倍多，并以自动化和先进技术为特色，提高生产效率和成本效益，将满足美国国防部和全球客户对F135、F117、TF33、F100和F119等发动机的订购需求。此外，2024年普惠公司还在美国本土、新加坡、摩洛哥、印度等地兴建民用发动机生产线、MRO工厂、零部件加工厂及客户服务中心，使GTF、PT6等型号的发动机零部件的生产维修数量和效率大大提升，MRO支持、备件管理、发动机租赁、发动机可靠性分析，以及合同管理等服务能

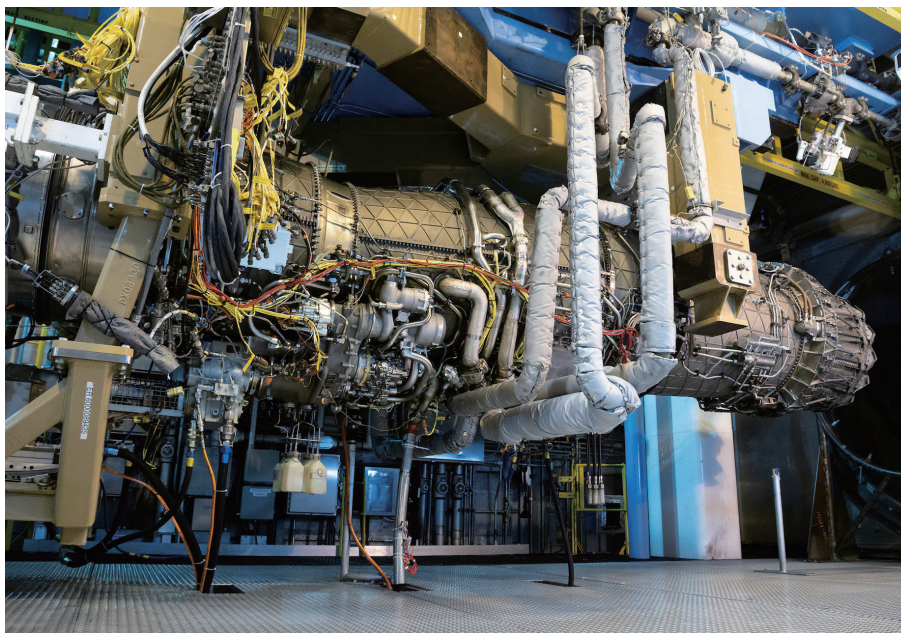
力显著增强，提高了产品服务的可靠性及客户体验水平。目前，普惠公司在全球拥有18个GTF发动机大修工厂，另有2家即将开始运营，为GTF发动机机队规模增长提供了有力支持。

罗罗公司：模式优化，业绩强劲

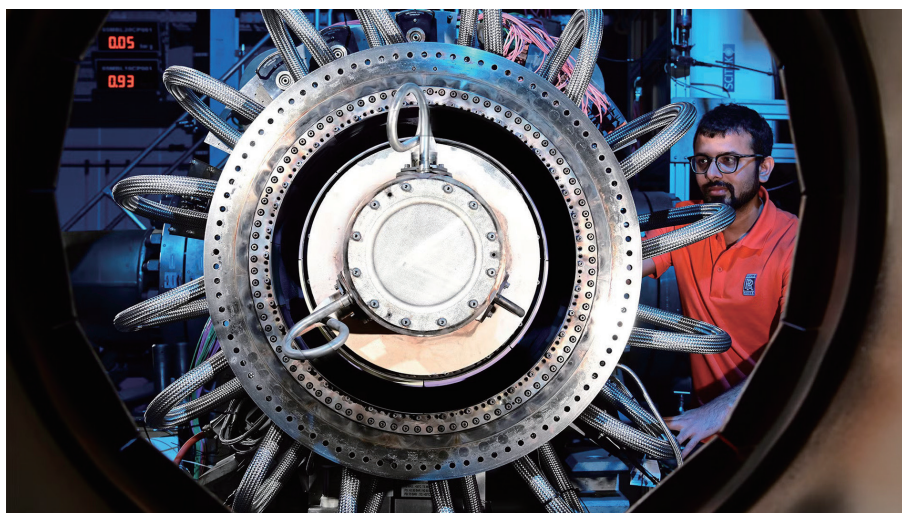
2024年，罗罗公司战略转型计划成效凸显，盈利能力与现金流持续向好，各项商业优化措施和成本效率提升使其提前完成了多项转型计划的中期目标，财务指标韧性增强，经营业绩大幅提升。全年总收入为178.5亿英镑，同比增长15.8%；经营利润为24.6亿英镑，同比增长55%。其中，民用航空航天部门收入为90.4亿英镑，同比增长23%；经营利润为15.1亿英镑，同比增长77%，主要来自大型发动机售后服务收入，以及公务机原始设备销售和服务收入的增长。全年共交付民用发动机529台，同比增长15.5%。

在军用动力方面，罗罗公司的B-52轰炸机换发计划进展顺利，军事装备供应商地位得到增强。2024年8月，罗罗公司的F130发动机成功完成了快速双舱试验，获得了包括侧风条件下的性能等多项关键数据，降低了集成风险，并开始开展地面试验；12月，罗罗公司顺利完成了F130发动机的CDR，为最终的开发、试验和生产工作铺平了道路。

在民用动力方面，罗罗公司的宽体客机动力装置性能显著提升，公务机动力交付能力改善和合同模式的优化使其利润增长了1倍以上，同时重返窄体客机动力市场意图更加明显，相关工作开始启动。2024



普惠公司F135发动机正在进行全状态试车



罗罗公司“珍珠”700发动机在全环形燃烧室中进行100%氢燃料燃烧测试

年2月，罗罗公司公布了1项价值10亿英镑的升级计划，用于增强遄达XWB-84、遄达XWB-97、遄达7000和遄达1000发动机的耐久性。目前，遄达XWB-84发动机压气机叶片性能得到改善，该发动机性能增强版获得认证，进一步提升了燃油效率和可靠性；遄达XWB-97发动机引入了新型涂层及高压涡轮密封件，并改进了高压涡轮设计，有效地延长了使用寿命；罗罗公司利用其在“超扇”（UltraFan）发动机研发过程中积累的技术，改善了遄达7000和遄达1000发动机的设计，将两型发动机的在翼时间提升了30%；4月，罗罗公司“珍珠”700发动机正式投入使用，为湾流公司的G700公务机提供动力，并能够支持即将推出的G800机型；4—10月，“珍珠”10X发动机在波音公司747-200试验台上完成了一系列飞行试验和地面测试，包括在不同速度和高度下对发动机性能和操纵性进行检查、空中点火、短舱防冰系统测试，以及不同高度下的振动测试，总飞行次数超过25次，该发

动机已经交付给达索公司，计划于2025年配装“猎鹰”10X公务机首飞；7月，罗罗公司重启了“超扇”发动机的飞行测试计划，并于12月启动了该发动机单通道版本的评估工作，计划将齿轮系统、核心机及电力系统集成到窄体客机发动机上进行地面测试。2024年，得益于发动机交付量的提升、商业优化措施的实施，以及成本效率的提高，罗罗公司宽体客机动力市场份额提升至36%，大型公务机市场份额接近70%。

在多方寻找买家未果后，罗罗公司决定关停旗下电推进部门，终止燃料电池和电解槽等技术的开发，关闭先进空中交通（AAM）业务；同时，罗罗公司着眼长期排放目标，在氢燃料研究方面加大力度。2024年7月，罗罗公司扩大与印度塔塔咨询服务（TCS）公司的合作，旨在共同研究解决氢燃料燃烧、氢燃料输送和氢燃料系统与发动机集成三大挑战，同时开始建设用于开展露天全尺寸氢燃烧测试的试验台，并将在该试验台上进行“珍珠”15发动

机气态氢燃料地面测试；10月，罗罗公司提交了低温燃料飞机专利申请，详细介绍了将传统发动机改造为氢燃料发动机的方法，同时与加州大学合作设计出更环保的氢燃烧室，通过加入一种特殊的催化剂来减少氢燃烧释放出的 NO_x ，该方法已经在“珍珠”700发动机上完成测试，有望推动新一代更环保的飞机发展。

赛峰集团：积极合作，推陈出新

受益于航空发动机售后服务市场的强劲增长和飞机内饰业务的显著改善，2024年赛峰集团收入、利润等经营指标创出历史新高，并上调了经营预期。全年总收入为273.2亿欧元，同比增长17.8%；经营利润为41.2亿欧元，同比增长30.1%。航空航天推进部门收入为136.5亿欧元，同比增长15%；经营利润为28.2亿欧元，同比增长17.9%；其中，原始设备销售收入为52.2亿欧元，售后服务收入为84.3亿欧元。全年共交付民用航空发动机1602台，直升机发动机682台，M88发动机40台，同比基本保持稳定。

在军用动力方面，赛峰集团加强国际合作，对新一代动力产品进行探索，并提前谋划布局，积极争取未来市场份额。2024年8月，赛峰直升机发动机公司和印度斯坦航空公司（HAL）的合资企业SAFHAL直升机发动机公司被选中为正在研发的印度多用途直升机（IMRH）和海军型甲板多用途直升机（DBMRH）提供动力。根据协议，SAFHAL直升机发动机公司将开始新一代大功率发动机的设计、制造、供应和支持；9月，赛峰集团提出与印度联合研制

先进中型战斗机（AMCA）计划下的110kN级发动机，并提出开发推力可达130kN的增强版本，使其可用于AMCA的未来衍生型号，甚至作为大涵道比涡扇发动机的基础，用于印度的运输机或支线飞机项目，赛峰集团将完全转让发动机技术，包括其关键的热端部件技术，确保印度可以利用这项技术满足自己的国防和商业需求，并对参与该发动机项目的员工进行培训。

赛峰集团持续将飞机及推进系统电气化作为脱碳战略的关键举措，多项成果完成测试认证进入实用状态，产品谱系进一步完善。2023年12月，赛峰集团的GENeUS 300发电机完成首次地面试验，该发电机功率达到300kW，效率约为96%，功率密度为10kW/kg，是同等功率下传统发电机体积的1/3，可以用来作为新一代航空混合电推进系统的一部分，或者与涡轮发动机组合构成涡轮发电机。2024年4月，赛峰集团推出新一代电推进飞机用大功率电气线

束系列产品GENeUSCONNECT，线束的尺寸与当前为传统飞机生产的线束大小相当，但承载的功率水平是其2倍，特别适合高温和高振动工作状态以及集成度要求高的环境；5月，赛峰集团宣布为美国陆军新型未来远程攻击机（FLRAA）项目提供高压启动发电机系统，满足V-280倾转旋翼机对电源系统的需求，该系统将采用高速转子和先进的电源电子设备，具有优异的控制能力和可靠性，将作为FLRAA平台的单一来源启动发电机；7月，赛峰集团被波音公司选中为X-66飞行验证机提供电力生成系统，该系统由变频发电机及其配套控制单元组成，能够减少近50%的液压机械损失，显著减少燃料消耗和碳排放，赛峰集团将于2028年开始该项目的地面和飞行试验。

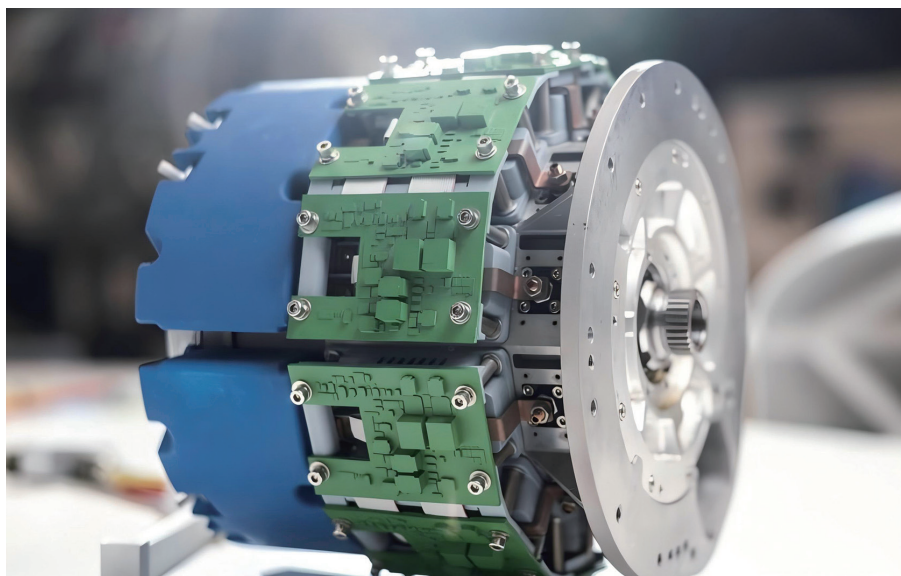
赛峰集团进一步增大在欧洲的基础设施建设投入，并对海外相关公司进行收购，促进其全球生产和MRO网络的扩张，为发动机市场的需求增长做好准备，已经陆续在法

国布列塔尼、布雷塞尔投资兴建铸造厂和MRO工厂，并对摩洛哥的发动机服务公司进行扩建，增强了M88和LEAP发动机供应链的稳定性，提升了大修能力。2024年9月，赛峰集团宣布计划收购总部位于美国的部件维修技术（CRT）公司，该公司主要从事大型发动机部件的维修，包括CFM56、LEAP、GE90等型号发动机的机匣和旋转部件等，对赛峰集团在北美地区的MRO能力进行了有效扩充。

MTU公司：雄心勃勃，蓄势待发

MTU公司的主要业务为发动机部件的开发生产、整机组装以及发动机的修理和维护，在全球共有员工12892人。MTU公司2024年总收入为74.9亿欧元，同比增长18%；经营利润为10.5亿欧元，同比增长28%。从业务板块来看，原始设备销售收入为25.3亿欧元；民用产品服务收入为50.7亿欧元，主要来源于GE90、V2500以及GENx发动机不断增长的售后服务需求。

在军用动力方面，MTU公司积极与主承包商开展合作，努力推动欧洲下一代旋翼机和战斗机项目发展，期望在军用动力市场取得突破。2024年6月，赛峰直升机发动机公司与MTU公司签署合作协议，双方平股合资成立欧洲军用旋翼机发动机联盟（EURA），EURA将致力于新型重型直升机发动机的研发，针对欧洲下一代旋翼机技术（ENGRT）项目需求，为计划于2040年服役的下一代欧洲军用直升机提供动力，新型发动机的研发目标是在大幅提高发动机效率的同时降低运行和维



赛峰集团 GENeUS 300 发电机



MTU公司完成飞行燃料电池液氢燃料系统测试

护成本，为欧洲下一代旋翼机提供更远的航程、更高的速度，以及更好的机动性；9月，MTU公司呼吁德国政府加速推进未来作战航空系统（FCAS）项目，作为该项目配套动力装置的开发商之一，MTU公司称配套的发动机将使用高负荷抗畸变压气机、先进的合金和复合材料、先进的动力与热管理系统，以及混合动力、变循环发动机（VCE）、矢量喷管等诸多新技术，并呼吁德国政府采取更具体的措施来保证德国在欧洲国防项目中的参与度。

在民用动力方面，MTU公司进一步优化其部件设计开发技术，并新建试验台对一系列新技术进行验证。2024年5月，MTU公司与吉凯恩（GKN）公司、德国航空航天中心（DLR）合作，进一步优化MTU公司的低压涡轮（LPT）和高压压气机（HPC）部件，还重点关注研发的部件与相邻单元体之间的兼容

性，如低压涡轮段的进、出口机匣耦合性能等。此外，MTU公司研制了发动机材料验证（EMVAL）设备，优化并进一步发展了如纤维增强陶瓷基复合材料等耐高温材料的制造工艺；同时开发了双轴压气机试验台，来提升低压压气机、压气机内部流道和高压压气机之间的性能协调性，进一步提高燃油效率。经过优化和验证的新技术预计将用于GTF发动机。

在新技术研发方面，MTU公司坚持概念创新和电气化战略，持续在包含混合电推进的可持续喷水涡轮（SWITCH）和飞行燃料电池（FFC）等项目上发力，企图在新技术领域弯道超车，早日进入整机制造商行列。2024年7月，SWITCH项目的混合电推进验证机通过PDR，MTU公司在该项目中主要负责水增强涡轮（WET）系统的开发，能够从发动机排气中回收水蒸气并注入燃烧室，

从而显著降低燃料消耗、减少 NO_x 排放，减少尾迹的形成；9月，MTU公司完成液氢FFC系统的新一轮测试，测试结果表明该系统运行状态安全可靠，证明了设计原理可行，且相关性能符合设计预期值，后期将围绕该系统轻量化工程、集成概念和空间布局等方面进行优化工作，进一步提升综合性能，该型号液氢燃料电池的装机测试将于2026年开始。

结束语

世界主要航空发动机制造商在2024年的发展态势呈现出如下特点：一是经营数据大幅向好，由于商业航空的强势回归，主要产品的返厂维修和大修率显著提升，售后服务收入和利润增长基本达到了20%~30%；二是产能提升投资力度加大，多家航空发动机制造商发布了“10亿”乃至更大级别的投资计划，在全球多地兴建零部件加工厂、维修工厂、客户服务中心等，对现有的生产维修能力进行有效扩充，MRO网络持续扩大，由于停飞导致的运力不足问题和订单积压问题有望得到改善；三是供应链问题仍然存在，零部件短缺和交货延迟的问题依然困扰航空发动机制造业，部分原材料和零部件的采购周期已经被迫大大拉长，熟练劳动力也一直处于短缺中。尽管面临着诸多问题和挑战，但航空发动机市场潜力仍然得到了市场和制造商的一致认可，随着经营预期持续上调，未来前景值得期待。

航空动力

（付玉，中国航空发动机研究院，高级工程师，主要从事航空发动机科技情报研究）