

航空发动机涡轮叶片加工获突破

近日，中国科学院第三季度例行新闻发布会上传来了关于国内航空制造领域的好消息。中科院西安光学精密机械研究所瞄准航空、航天等战略领域对极端精密制造装备的重大需求，开发出国内最高单脉冲能量的26瓦工业级飞秒光纤激光器，研制出系列化超快激光极端制造装备，实现了航空发动机涡轮叶片气膜孔的“冷加工”突破。

在航空领域，航空发动机制造水平代表着一个国家的科技、工业和国防实力。然而，我国现有加工手段易导致航空发动机关键件出现各种制造缺陷，影响新一代航空发动机的研制和生产。在航天领域，卫星电推进器等关键件存在微米级加工精度、高表面质量和大幅面薄壁结构等极端制造瓶颈，会极大影响航天飞行器的性能、寿命及可靠性。因此，对于本次国产“黑科技”的突破，中科院西安光学精密机械研究所研究员杨小君表示：“研制出系列化超快激光极端制造装备，填补了国内空白，达到了国际先进水平。”

杨小君介绍，这次创新在国际上率先突破了小空腔（0.5毫米）叶片对壁无损微孔加工的世界技术难题，在国内率先攻克了高精度、三维可编程、异型微结构扫描成形技术，实现了超高精度（±2微米）及异型气膜孔

的高品质加工，为新型航空发动机叶片的研制提供了重要的技术支持。

此次针对航空领域，项目组在国内率先利用超快激光极端制造技术攻克了新型超高温单晶材料和高精度复杂微结构制造难题，实现了超高压涡轮叶片气膜孔的“超精冷加工”，解决了现有电火花、长脉冲激光加工工艺存在重铸层、微裂纹、再结晶等缺陷的问题，完成了国产发动机多型号、多批次高压涡轮单晶叶片的气膜孔加工及验证，为国产大飞机发动机换上“中国心”打下了坚实基础。同时，针对航天领域，攻克了50±2微米高品质钻孔技术，将航天推进器流量控制板的控制精度提升三个数量级（由毫克/秒提升至微克/秒），减少燃料携带量约20%，并成功应用于世界首套在轨验证的磁聚焦霍尔推进系统，促进了航天推进系统升级。

“超快激光极端制造技术是我国飞机发动机性能提升与发展的革命性技术，航空发动机涡轮叶片气膜孔是微米级，而且叶片中间是空心的，要求对壁不能损伤，我们通过超快激光微加工技术，突破了传统制造工艺加工叶片气膜孔存在的重铸层、微裂纹、再结晶等缺陷，解决了航空发动机在超高温（1700℃）及超高压等苛刻条件下，造成叶片易产生裂纹、蠕变、侵蚀甚

至是断裂等难题，实现对高压涡轮叶片气膜孔“超精冷加工”的重大突破，显著提升了发动机寿命及推力，促使我国航空发动机设计、制造等进入了新的发展阶段。”中科院微纳科技装备部相关人员表示，超快激光因其具有极短的作用时间和超强的峰值功率等特性，可将作用区域材料直接电离，实现无材料选择的非热熔性“冷加工”，获得传统工艺无法比拟的超精细、低损伤等加工优势，已成为航空、航天、电子等领域极端制造的重要手段。

叶片无疑是航空发动机核心中的核心，突破叶片技术难关，成为航空发动机研发的关键。多年来，中国的航空材料人不仅实现了单晶叶片的技术突破，还打通了从基础研究到应用技术研究，再到工程化研究，直至型号应用和型号保障的全流程科研工程系统。中国航空发动机所需的单晶合金叶片研究与应用，已经走上了可持续发展的快车道。

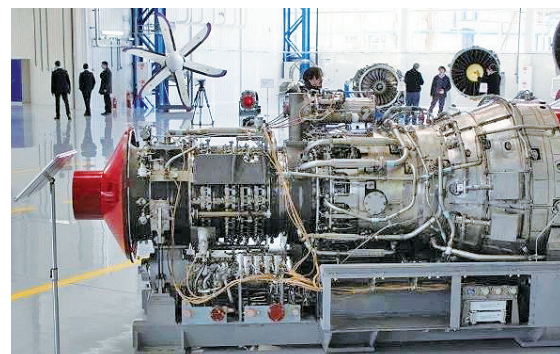
在叶片工作的过程中，叶片需要承受发动机工作时的启动制动力，发动机将面临温度剧变、转子叶片在高速运动下的离心力和根部切应力。这样的工作环境，就要求叶片材料具有较高的蠕变强度、热机械疲劳强度、抗硫化腐蚀等特性，一些较为先进的航空发动机内部力要求更高。公开数

据显示一个小小的涡轮叶片（几十毫米量级大小）在工作时承受着相当于5辆皮卡车的重量，一个十几克重的涡轮叶片给涡轮盘施加的离心拉力为上万吨。

这么高难度的核心制造工艺属于欧美长期垄断和严格技术封锁的技术项目，至今中国航空发动机的落后领域仍然是叶片，虽然已取得巨大进步，但是与主要发达国家相比，仍存在差距。早些年，我国的航空工业实力不够，我们的高端发动机一直都依赖国外进口。业内人士表示，这种差距除体现在技术、工艺、材料上，还有一个至关重要的东西需要跟上，那就是技术积累。

2014年，我国自行研制的第五代含镍高温合金材料、陶瓷基高温涡轮叶片及单晶涡轮叶片项目正式投产，这是我国在航空发动机和工业汽轮机制造领域取得的新突破。目前，我国自主研发的第一代和第二代单晶叶片已经应用于发动机，而三代高温单晶合金也已经应用于发动机上。据介绍，航空发动机叶片相关技术的掌握，意味着我国将大大提高大推重比发动机的使用寿命，并将大大提高原有发动机的使用寿命。（宗合）

2018年俄罗斯燃气轮机产量将会下降



据俄罗斯商务咨询网站报道，根据BusinesStat编制的俄罗斯燃气轮机市场分析所引数据，2013~2017年俄罗斯燃气轮机产量下降35.6%，2017年的产量为47台。这一时期的总体生产动态呈多样化：2014~2015年产量增长，2016~2017年产量下降。燃气轮机的最高产量在2015年为96台，最低产量是在2017年47台。

在未来几年，俄罗斯燃气轮机产量增长的主要动力之一可能是旧火力发电站现代化改造计划。计划

投资总额为3.5亿卢布。除了对现有设施进行现代化改造外，还计划在克里米亚建造新的发电站。

应该指出的是，火力发电站现代化改造计划旨在刺激生产大功率燃气轮机，因为大部分产量目前属于低功率燃气轮机。因此，由于需求较低，俄罗斯燃气轮机不是批量生产的产品。大功率燃气轮机仅由德国西门子和美国GE生产。而最初对大功率燃气轮机的需求，正是来自天然气价格较低的俄罗斯。与此同时，俄罗斯技术国家公司与俄罗斯纳米技术公司共同致力于创建大功率燃气轮机项目。

据BusinesStat预测，2018年产量仍将下降，产量将从2019年开始恢复。2022年俄罗斯燃气轮机产量估计为85台，将超过2017年产量80.9%。（王新宇）

西门子讨论燃气轮机在俄本地化生产

10月5日，西门子发电和燃气部门主管Oleg Titov表示，作为100%本地化计划的一部分，西门子希望将大功率燃气轮机SGT5-2000E关键部件的生产转移到俄罗斯，这似乎是自西门子因燃气轮机转移克里米亚事件之后的一次转机。

去年7月，西门子发现其为俄罗斯南部塔曼的一个项目提供的4台燃气轮机已迁至克里米亚，用于俄罗斯正在那里建造两座热电厂。事件发生后，西门子决定取消电厂供应许可协议，并暂停向俄罗斯国有企业交付任何发电设备。

事件发生后，德国《经济周刊》报道称：西门子公司正在研究从俄InterAutomatic公司退出的可能性。据路透社报道，InterAutomatic公司是在克里米亚热电厂安装西门子涡轮机的承包商之一，西门子首席执行官凯佩也正在考虑西门子从其子公司西门子燃气轮机技术有限责任公司退出，西门子在此子公司持股65%。当时，西门子发言人恩慈对卫星通讯社说：“对媒体有关西门子公司从俄InterAutomatic公司退出的谣传不予置评。”

今年8月22日，西门子公司向

俄罗斯最高法院提起上述，质疑俄下属法院否决西门子起诉Rostec等2家公司的判决。根据法院的登记，西门子和西门子燃气轮机技术公司SGTT提交了上诉案，SGTT公司是指西门子和俄罗斯动力机械公司在俄的合资企业，该公司利用西门子的燃气轮机技术在俄罗斯境内生产和销售燃气轮机。西门子曾经将重型燃气轮机在俄罗斯的本土化生产提升到了90%，价值高达数千万欧元。

Titov表示：“我们已准备好实现百分之百的本地化，当然这并不意味着我们将在俄罗斯生产所有100%的燃气轮机零部件，我们希望我们在俄罗斯的合资公司能够建立一个独特的生态环境，该公司将生产和购买制造大型燃气轮机所需的零部件，我们正在讨论SGT5-2000E燃气轮机在俄罗斯的全部本地化，包括热端部件。”

SGT5-2000E型燃气轮机是一款成熟可靠的50Hz燃机，支持简单循环或联合循环，输出功率为187MW，目前该燃气轮机在全球销售了超过280台，总运行时间超过1700万小时。Titov补充说：“我们希望将SGT5-2000E燃气轮机这些技术转让给俄罗斯联邦的。（李想）

GE计划对航改型燃气轮机再投资2亿美元

GE发电集团白皮书《重塑电力未来》认为，去中心化、数字化与低碳化将继续推动全球能源工业的变革。可再生能源装机容量在过去十余年中始终保持了两位数增长，并有望在未来继续保持这种趋势。发电企业需要不断提高灵活性，以实现电网平衡，航改型燃气轮机的市场潜力巨大。因此GE发电集团宣布，计划未来三年内在航改型燃气轮机领域投入超过2亿美元，引入新产品，提升服务能力，以满足市场不断增长的需求。本次投入将着重扩建休斯敦服务中心（HSC），以及提高GE在航改型与重型燃机领域的跨品牌服务能力。

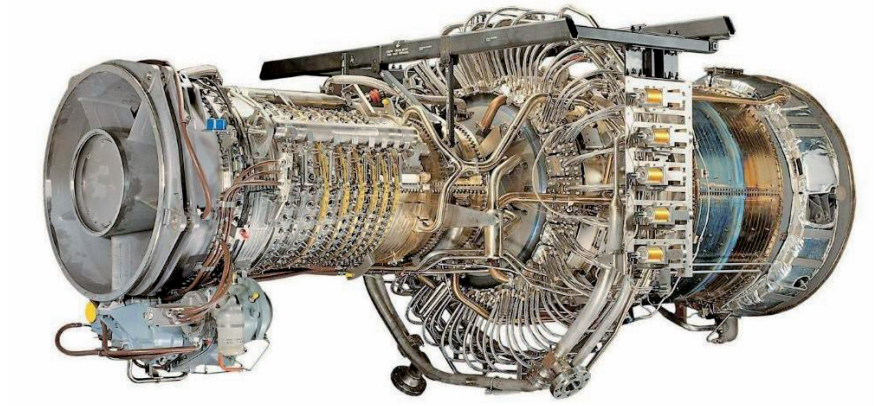
市场研究机构Technavio在2016年的一项研究同样指出，全球航改型燃气轮机市场有望在2016年至2020年间保持每年5%的速度增长，成为平衡可再生能源间歇性的首选技术。为了应对可再生能源发电的峰谷变化，传统电厂需要提高自身运营灵活性，更为频繁地快速启停，以保持电网稳定。电力基础设施对社会经济运行至关重要，停机代价高昂。电力运营商需要为维护与运行制定详尽计划，尽可能减少停机维修时间。

“作为全球最大的燃气轮机制造商与技术提供商之一，GE一直致力于研发最优秀的航改型燃机解决方案，为客户提供灵活的发电解决方案，适应复杂、时刻变化的行业环境。”GE发电服务航改型燃气轮机总经理Martin O' Neill表示，“投入新技术，提升它们的灵活性、可靠性对于实现这一目的至关重要，同时，我们也希望这些技术能够服务于运营非GE设备的发电企业。”

非GE设备同样可以受益于GE航改型燃气轮机技术。目前，GE已将自己的跨品牌服务能力扩展至西门子、罗罗、普惠、西屋电气与三菱等品牌。并已完成服务于非GE航改型燃气轮机超过1500万美元的待交付服务订单。

受益于GE航空的深厚积淀，GE已有四十余年的航改型燃气轮机运营经验。2015年11月，GE整合了阿尔斯通发电业务，进一步升级了在蒸汽轮机、发电机以及余热锅炉的专业技能，也增强了GE为不同OEM发电设备进行服务的能力。

今年5月份，GE推出了对西门子SGT-800和三菱501F在内的非GE燃气轮机的跨品牌解决方案，并已积



GE LM2500+航改型燃气轮机。

累了超过2亿美元的待交付订单。

在提升跨品牌服务能力的同时，GE也在扩建其全球最大的LM航改型燃气轮机服务中心——休斯敦服务中心，以加快服务速度，巩固其世界领先地位。

2017年，休斯敦服务中心为客户提供超过了34万工时的服务，范围涵盖发动机大修、模块升级维修等诸多方面，支持了全球60多个国家和地区超过470个客户。本次扩建将提升休斯敦服务中心的设施水平、客户体验流程与数字化能力，并增加约40个岗

位。扩建后，休斯敦服务中心的服务能力将高于现在每年500个发动机与模块的水平，并超过任何GE全球其它服务中心。

GE正通过不断投入，使航改型燃气轮机成为客户发电组合中的必要部分。以南加州爱迪生电力公司为例，GE正与之联合研发一种混合发电燃气轮机。该燃气轮机结合了GE的航改型燃气轮机和储能解决方案。在运营近一年的时间内，让温室气体排放减少了60%，使启停次数减少50%。（王小米）

罗罗在Advance3核心机中使用3D打印和CMC材料技术



最近，罗罗公司宣布3D打印正在引领下一代飞机发动机的发展，在Advance3发动机中的2万多个组件中，其中的一部分是通过3D打印制造出来的。发动机中还包括陶瓷基复合材料（CMC）。

通过使用陶瓷基复合材料（CMC）和应用3D打印技术，Advance3与第一代 Advance2 发动机相比，燃油效率将提高25%，并且提高燃油效率也将降低排放。

Advance3是大涵道比涡扇发动机，根据高端装备发展研究中心，齿轮箱使用五个行星齿轮，传动比率为4:1，该设计允许风扇在气动损失和噪声都较小的较低转速下工作，同时，压气机和涡轮在效率较高的高转速下工作，从而实现发动机涵道比增大，使发动机可靠性提高，耗油率、使用与维修成本、噪声均降低。

而下一代大涵道比涡扇发动机是

罗罗公司发展的重中之重，根据业内专家，罗罗公司长期持续推进大涵道比涡扇发动机技术研究的项目可以归纳为：Advance2x项目，包括用于公务机、支线客机和部分窄体客机的涡扇发动机；Advance3项目，包括用于宽体客机和大型窄体客机的涵道比涡扇发动机。其大致发展途径是以Advance2和Advance3项目所发展的双转子或三转子发动机技术在2020年前达到成熟为目标，实现发动机耗油率比 Advance 2 发动机（XWB）至少降低20%。

3D打印可以将原本通过多个构件组合的零件进行一体化打印，这样不仅实现了零件的一体化结构，避免了原始多个零件组合时存在的连接结构（法兰、焊缝等），也可以帮助设计者突破束缚实现功能最优化设计。一体化结构的实现除了带来轻量化优势，减少组装的需求也为企业提升生产效

益打开了可行性空间。

此外，金属3D打印可以让打印部件达到传统方式无法达到的薄壁、尖角、悬垂、圆柱等形状的极限尺寸，让产品设计师有了更大的发挥空间。在进行飞行器中的复杂零件设计时，设计师由过去以考虑零件的可制造性为主，转变为增材设计思维下的实现零件功能性能为主。

据观察，早期的罗罗发动机 Advance XWB-97 就采用了增材制造部件，3D打印的镍金属结构件是一件直径1.5米、厚0.5米的前轴衬套，含有48个翼面。而空客A350-1000用的是XWB-97发动机，XWB-97看起来非常像A350-900的XWB-84发动机，可产生97000磅（约43998千克）的推力。提升的推力主要来自新型高温涡轮技术，结合了更新的发动机的核心技术以及更大风量的风扇来实现的。这一切的实现归根结底是使用了先进的空气动力学技术，以及3D打印零部件。

由此出发，3D打印开启了下一代航空领域的飞机发动机以及航天领域的火箭发动机性能竞争之路。根据航空航天业内专家，航空发达国家在航空发动机的技术发展及产品研制过程中，持续出台具有指导意义的战略政策，并不惜巨资实施系列专项技术研究计划，如美国的综合高性能涡轮发动机（IHPTET）计划、极高效发动机技术（UEET）计划，环境负责航空（ERA）计划以及欧盟的系列框架计划。多种涡扇发动机牢牢占据了各级别发动机市场，同时不断开展包括齿轮传动、开式转子、混合电推进技术等新型动力技术的探索，呈现出多元化的发展趋势。（梁坤）

CFM国际公司即将达到1100台发动机的交付目标

10月12日，CFM国际公司首席执行官盖尔·梅赫斯特表示，将在今年年底前实现1100台发动机的交付目标，并将这一成就归功于双供应商政策的严格执行。他还透露LEAP-1C发动机装配的第三架中国C919大飞机即将开始飞行测试。

梅赫斯特在印度新德里对记者表示：“CFM国际公司的产量将与今年的预计时间表保持一致，对于每一个发动机部件，我们都有双供应商，有时甚至有3个，这是我们能迅速提升的一个重要原因。”按照目前的产能提升速度，到2020年，CFM国际公司的交付能力将翻一番，实现年交付超过2000台发动机。

之前，曾在一架装配Leap-1B发动机的空客A320neo中发现了一个涡轮盘故障，去年5月还在一批为波音737 Max客机提供动力的发动机中发现了一批有缺陷金属的涡轮盘，CFM国际公司联合销售和营销执行副总裁Philip Couteaux强调，这些问题都与发动机设计无关，他认为这不是一个发动机设计问题，但是承认是“产能问题”。

Couteaux表示：“我们正在和供应商合作以提高产量，我们正在积极地缩小与我们交付目标的差距，今年我们将交付比CFM-56系列发动机更多的LEAP发动机，这几个月我们从未停止交货。”

今年早些时候，印度廉价航空公司 SpiceJet 与 CFM 国际公司签署了一项“按小时计算”的合同，以提供对300多台Leap-1B发动机的售后支持，还与Vistara公司签署了一份意向书，内容涉及另外

50架空客A320/321neo客机的Leap-1A发动机的供应。

同时，LEAP发动机的前身，CFM56系列发动机已经在印度动力竞争中取得了64%的市场份额，Couteaux解释说：“这有助于我们为Leap发动机开拓市场，印度是一个非常具有前景的市场。”

Couteaux认为印度航空公司对更高效的发动机需求最为强烈，因为燃料成本的支出占到了这些公司总支出的34%，而世界上其它地区则为24%。随着Jet Airways和SpiceJet公司波音737 Max客机和Vistara公司空客A320neos的服役，CFM国际公司将迎来更大的发动机供应挑战。Couteaux说：“我们需要加紧生产更多的发动机来满足印度机队的增长。”

Leap-1A发动机于2016年开始随着空客A320neo进入商业运营。

它已经吸引了全球32家航空运营商和268架飞机投入使用。Leap-1B发动机则是波音737 Max的唯一动力选型，也已经有全球41家航空运营商的219架飞机投入使用。

最值得一提的是，LEAP-1C发动机也已经装配到了我国的前2架国产大飞机C919上，正在随着该客机进行飞行测试。

梅赫斯特强调，Leap-1C发动机采用了由奈赛公司（Nexcell）研发的复合材料O型反推装置，独特的一体式配置有助于降低整体结构重量和更大程度的降噪。奈赛公司也是赛峰Nacelles公司和GE航空中河飞机系统公司的合资企业。

目前中国航空公司也已经订购了超过5000台CFM国际公司的发动机，其中包括1000多台Leap-1C发动机。（边际）

