

航空发动机地面试车

| 本报通讯员 贺丽

航空发动机被誉为“工业之花”，是一个国家科技、工业和国防实力的重要标志。我国航空发动机工业从最初的仿制、改进到可以独立设计制造高性能航空发动机，走过了一条布满荆棘的发展之路。作为我国唯一的航空发动机飞行试验鉴定机构，航空工业试飞中心（中国飞行试验研究院）伴随着航空工业发动机事业发展一路前行，所有航空发动机都必须通过严格的地面试验和空中飞行试验对发动机性能进行详尽考核和极限探索。

在这里，有一个特殊的职业——航空发动机整机地面试验工程师（以下简称“地面试车工程师”），他是每一型发动机是否能够正式飞翔蓝天的“主考官”。

独一无二的航空发动机地面试车工程师

提起试车，更多人熟知的可能是一辆汽车在出厂前，要由试车手对车辆性能进行摸索，并给出合格分数，告知大众对车辆感受度。同样的航空发动机地面试车工程师，也是对一型航空发动机在未定型之前进行地面标定试验，凭借发动机不同状态下发出的细微声音区别、各种设计参数上下限值以及参数变化趋势对发动机技术状态进行判断和考核，以确定被试发动机是否能够装入飞机进行空中试飞检验。可以说，发动机地面试车工程师是把好发动机上天前的“最后一关”。

早在试飞中心建院之初，我国第一代航空试飞专家就意识到要发展自己的航空工业，并按照国际惯例设立了发动机地面试车工程师岗位，开始进行飞行试验，不断学习各类专业知识。

上世纪60年代，我国开始踏上自主研发研制、生产的发展之路。试飞中心地面试车工程师边摸索边学习，边开始严格的按照岗位设置要求对所有发动机进行地面标定试验、预先研究等一系列考核和探索。这一职业的重要性逐渐凸显出来。

当前，国内航空发动机设计研究院所中，发动机从设计、到特性管理、到总体制造、到试车手试车都有着精细化的分专业管理。而试飞中心发动机地面试车工程师则是对发动机全方位的综合评判，内容涉及多个专业。也因此，造就了航空发动机地面试车工程师的唯一性。

首先，地面试车工程师必须做到单一发动机全方位知识掌握。既要能研究透彻发动机各类性能，又要对发动机整体结构如指掌，还要能够创造性改造地面试车台架适应新型发动机的试车需要以及敏捷的身手，眼观四路耳听八方。

只有这样才能在推油门过程中随时感受发动机异样。如发动机瞬间启动时，地面试车工程师要同时观察近20个温度、压力、转速、振动等重要参数，辅助观察喘振等80多个测试参数，实时观察发动机外观状态，并按照试验要求准确地对油门杆操作。而发动机地面试车的慢车状态、中间状态、小加力状态、全加力状态和瞬态所需参数范围不同，需要进行不同的油门操作。地面试车工程师必须把成百上千的设计参数了然于胸，做到单一发动机全方位知识掌握，才能提高试验成功率，保障发动机安全。

再者，地面试车工程师必须做到多类型发动机知识游刃有余。航空发动机基本分为涡轴发动机、涡扇发动机、



机、涡桨发动机、涡喷发动机四大系列。国内的航空发动机设计研究院所的相关试车员也仅能接触本单位生产的3~4型发动机，且型号之间有着先天的关联性。而试飞中心地面试车工程师作为“考核者”，相比设计提出了更高的要求。

结合着不同系列发动机特点，试飞中心先后建立了多个地下、地面试车台。地面试车工程师不仅要熟悉每个试车台的台架构造、适用范围、操作方法等，更要对不同系列发动机特点详细掌握，在地面试车时的操作细节和同类经验，才能做到在试验开展时游刃有余。

经过试飞中心试飞的各类发动机有的已经安装在各类飞机、直升机中发挥“心脏作用”。有的发动机还在进行地面标定、飞行试验，即将成为我国国产发动机新亮点。也可以说地面试车工程师伴随着我国航空发动机发展的每一个脚步。这也使得发动机地面试车工程师成为接触我国发动机型号最多的人，掌握各类发动机特点最全面的人。

同时由于发动机地面试车声音达到130分贝以上，这已经远远超过国家噪声安全标准值，良好的听力也成为这一职业的必备要求。地面试车工程师在地面试车时要在高度的噪声中听取发动机细微的变化，快速反应。

截至目前，试飞中心发动机地面试车工程师已经经历三代航空试飞人，高精尖的专业素养积累成就了这一岗位的“独一无二”。

纷繁复杂的发动机地面试车工作

发动机地面试车工作按照类别大致可分为四大类：发动机性能标定试验、发动机飞行试验地面排故、发动机专业预先研究、发动机油封保存。纷繁复杂的工作和地面试车工程师岗位的唯一，使地面试车工程师成为发动机试飞工作中最忙的人之一。

1、充满风险的新机性能标定试验

新机性能标定就是对新型发动机在上飞机之前进行的最终考核，明确性能是否合格。试验按规定需要在一周时间内完成6~7个小时的试验，然而它的准备工作早在2~3个月前就开始了。

前期试飞中心地面试车工程师需要赴发动机设计研究院所学习被试发动机性能，全面记忆发动机成百上千的技术参数。随后在等待发动机到院的间隙，结合现有发动机地面试车台状况进行被试发动机固定零件加工，以保证发动机在试车台架上能够牢固、精确的安

装到位。

正式试验更是充满挑战，在发动机台架试验前，地面试车工程师要对发动机外观进行检查，对各类管路、线路、控制系统、测试系统等进行检查。发动机试车过程中也可能发生发动机涡轮叶片断裂、叶片击穿机匣、发动机漏油、发动机尾喷口着火、测试线路故障等各类突发状况。面对高风险性要求，地面试车工程师要有过硬的心理素质，遇到紧急情况时临危不乱；还要有高超的技艺，能够在几秒钟内紧急处理险情。

经常有发动机设计院所的人员在发动机做地面标定试验中被发现问题后说，该问题在设计时就偶发，更对试飞中心地面试车工程师能够及时发现准确发现问题表示佩服。

2、充满挑战的发动机专业预先研究

为了逐步赶上世界先进航空发动机试飞专业发展，试飞中心一直没有停滞预先研究的步伐。地面试车由于能够充分考验发动机的极端环境性能，成为预先研究的重中之重。

每一类环境试验都是高风险性试验，考验着发动机的耐受力。截至目前，试飞中心已进行过发动机吞砂、吞鸟、吞烟、外物击伤等各类风险性试验10多种，多次填补国家技术空白，突破历史首次纪录，有力地提升了我国发动机试飞技术实力。

比如吞鸟试验，就是将不同体积的鸟类在发动机不同转速状态下用专用抛鸟装置打入发动机中，以考核发动机能够承受的最大限度的鸟类撞击指标。比如吞烟试验，就是应对飞机在弹射后产生大量尾烟进入发动机可能会出现发动机空中停车现象。比如吞盐试验，考验发动机在飞临海边等潮湿空气时，盐分附着发动机内部是否产生影响。基本上，每一类试验的开展都需要近1~2年的准备时间，包括试验调研、设备设计、风险性评估等等，地面试车工程师在这其中一路随行，配合课题组一起研讨地面试验方案、保障预案等。

试验时，由于风险试验均是国内首次，在没有借鉴的情况下，地面试车工程师作为整个试验的核心操作员，既要保证试验的顺利推进又要保证发动机不被破坏，在承担着难以想象的压力下，一次次摸索发动机的试验状态和试验方法，判断发动机性能状态，直接决定了试验的成功与否。

试飞中心更是在一次次试验中不断与国际接轨，有效提升我国发动机

试车水平。吞咽试验、全机推力试车、整机吞鸟试验等一批先进的试验技术分别荣获国家级、省部级和集团级等各类奖项。

3、充满压力的在试发动机地面排故

随着我国航空发动机研制能力的不断提高，试飞中心在试发动机数量不断增加。再结合在试发动机的状态不确定性，使得地面排故工作量也不断增加。

常见的发动机排故现象包括发动机在飞行一段时间后，推力出现明显下降；发动机试飞过程中突然出现滑油消耗量不断增大；发动机试飞中突然断电造成空中停车等等。

地面试车工程师在接到排故任务后，必须快速消化发动机在飞状态，将其组织台架地面试验，并在试验过程中二次再现空中出现的同类故障，以此为基础检查发动机温度、振动、压力等各种性能，迅速判断故障点，并提出故障排出方法。同时，由于在试发动机均有试飞任务，各种节点均会收到发动机排故速度的影响，人为压力和任务压力都要求地面试车工程师要严格遵守岗位职责，把好发动机地面检查的最后一道关口。

举一个例子，在某型机试飞中，该发动机出现颤振超值现象。经组织地面试车试验后，故障重现，地面试车工程师明确表示该发动机需返厂检修。由于试飞任务紧，试飞总师、课题人员、发动机厂家工作人员纷纷和地面试车工程师沟通，是否降低标准。发动机厂家工作人员甚至拿出了相关文件，表示该型发动机颤振上限值可以适当增加。面对压力，地面试车工程师坚守原则，以文件没有标明可增加值，要求发动机返厂，最终排除了这一故障，保障了试飞安全。

4、与时间赛跑的发动机油封工作

有发动机正常工作时间，就有发动机正常备用准备时间。发动机日常存储不仅关系发动机各类设备老化问题还关系发动机能否再次快速启用。

说起发动机油封，顾名思义就是用滑油将发动机进行封存。这里通常有两种方式，放置3个月以内的发动机需进行冷油封，2年内不用的发动机要进行热油封。每次热油封工作都需要地面试车工程师将发动机启动一段时间后停车，切断所有发动机内部线路，并迅速指挥将滑油注入发动机，同时在外面用吸油纸、防潮沙进行包装后抽真空保存。这一过程需要持续6~8小时。冷油封相对简单没有给发动机断线路一说，但也需要1~2小时。

地面试车工程师以高度的责任心和过硬的身体素质完成了一系列纷繁复杂的工作。每次地面试验短则1小时长则3小时，试车手要在地面方舱内一直保持高度集中，随时观察各种现象，保障试验成功。

作为我国唯一的飞行试验鉴定机构，像地面试车工程师一样“独一无二”的工作在试飞中心还有许多，每个“唯一”的背后是对航空试飞工程师更高的职业要求和航空报国精神的体现。而今，试飞中心以型号试飞为依托，借助飞行试验这一特有手段，先后成功进行几十型发动机的鉴定试飞，技术研究和设备研制水平已经达到了世界先进水平，并掌握了关键技术，引领了国内该领域的专业发展。

东航20架波音777-300ER完成交付布局欧洲航线



7月23日，一架编号为B-7882的波音777-300ER飞机从西雅图飞抵上海浦东机场，正式加盟东航650余架机队的“大家庭”，标志着东航于2012年4月采购的20架波音777-300ER全部完成交付。

随着东航20架波音777-300ER陆续投入使用，为东航开辟更多的国际航线、加密重点航线创造了条件。大型宽体客机的规模化运营有力支持了东航的“太平洋计划”和“欧洲盈利计划”。目前，东航777-300ER执飞国际地区航线主要11条，主要覆盖了东航的北美航线。上海至洛杉矶、纽约、旧金山、芝加哥和多伦多的航线都由777-300ER执飞；欧洲航线中的上海至巴黎、法兰克福、伦敦也由777-300ER执飞。东航将进一步

扩大投放范围，特别是上海温哥华航线考虑启用波音777-300ER全年运营，欧洲主干航线将进一步增加波音777-300ER的投放量，重点在夏秋季的欧洲旺季市场、冬春季的澳洲旺季市场。除了在上海投放波音777-300ER以来，上海飞往北京、福州的往返都有东航777-300ER的身影。东航还根据市场情况，灵活投放到上海飞往成都、西安等航线。截至2017年6月底，东航波音777-300ER飞机已经执行航班11986班，承运旅客303万人次。

据悉，从2018年开始，东航将接收最新一代的宽体远程机型波音波787-9和空客A350-900，也标志着东航机队结构将进一步优化。

（闻梓）

空客欲与泰国国家航空公司成立合资企业



空客公司与泰国国家航空公司正在洽谈成立一个合资企业，并确定具体条款。该合资企业将专注于为泰国的一系列飞机提供维护，修理和大修（MRO）服务。双方的谈判已经持续了一段时间，该合资企

业将支持泰国政府在境内建立一个重要的商用/军用维护，修理和大修设施的计划，并且该设施可能会演变成东南亚地区提供MRO服务的基地。

（刘秀）

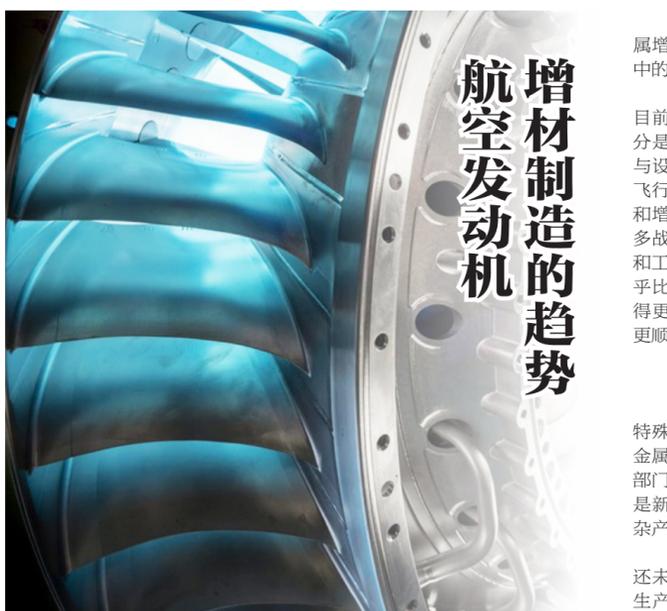
俄罗斯评估超声速民机的低声爆技术

俄罗斯的超声速民机计划目前在探索验证可降低低声爆的设计方案，俄罗斯中央空气流体动力研究院（TsAGI）认为研制超声速客机的“基本挑战”是缺少测量其噪声的“被普遍接受”的度量指标。

TsAGI目前已经完成了超声速技术验证机综合研究项目的第一阶

段工作，该项目的研究重点是超声速巡航时的低声爆以及机场周边的噪声。研究人员已经对可能的噪声抑制系统和概念设计进行了评估。声爆分析将作为技术验证机的研制奠定基础，如果成功，将会开始考虑进行技术验证机的研制。

（理群）



航空发动机的增材制造趋势

近日，航空航天制造杂志总结了金属增材制造技术在航空发动机组件制造中的应用趋势。

报道指出，西方航空发动机制造商目前都在发力增材制造，尽管只有小部分是公开的。航空发动机制造商通过与设备和制造服务提供商合作，提升了飞行认证的试验件数量。在发动机公司和增材制造设备或制造服务商之间，许多战略已经在制定，以增强内部的开发和工程活动。增材制造在之前10年间似乎比纤维增强聚合物复合材料技术发展得更快，因为商业化具备了价值，并且更顺利地实现现有制造工艺的替代。

GE公司

高温要求下的航空发动机需要一些特殊材料，特别适合固结冶金学，这是金属增材制造的主要组成部分。GE增材部门的增材集成副总裁表示：“增材制造是新的革命，改变我们设计和制造更复杂产品的方式，使之更快、更复杂。”

尽管在特定增材制造工艺的选择上还未有定论，但对航空发动机金属零件生产来说，在基于粉末床工艺的直接激

光烧结（DMLS）和电子束熔化上已有明显进展，在基于送粉的激光沉积和基于填充电线的电子束沉积方法上也有进步。每种工艺的多样特性意味着没有单一的解决方案。粉末床工艺拥有高解析度和制造非常复杂几何外形的能力，不过尺寸和建造速度受限。送粉和电线工艺提供不受限的建造体积和更高的沉积速度，而且具备在建造策略中集成部分制成工件能力。

GE在先进制造能力投资中有约15亿美元的收购，包括电子束熔化机床制造商Arcam和直接金属激光烧结设备制造商概念激光公司的大部分股份。报道最广泛的典型是GE90发动机的T25传感器和LEAP发动机的燃油喷嘴，它们都不能用常规工艺制造，这些零件都已经进入生产，预计在2020年年产10万个。

赛峰公司

通过与BeAM和Prodways集团合作，赛峰开发的送粉激光沉积能力特别引人注目。BeAM生产设备支持粉末输送速度，在热动力和粉末效率上有了很

大改变，其开发伙伴包括发动机激光研究所（IREPA）。赛峰增材制造副总裁表示：“我们从2014年起在系列试验中证明了其可行性，现在正在将该工艺工业化。”

罗罗公司

罗尔斯·罗伊斯一直在英国制造技术中心（MTC）内研究使用电子束熔化制造XWB97K的前轴承叶片。在上万小时研究和超过4年制作数百个试验件后，公司认为在电子束熔化机床使用方面的经验已经世界第一。罗罗公司增材制造能力中心首席制造工程师表示：“每一层的沉积都有可能让工艺出错，定义热动力和运动的参数大约有400个，它们影响激光增材制造工艺的结果，其中超过100个都是非常重要的。有无数种方法生产同样的材料，意味着要采用不同的方法完成认证。这将让主要客户和供应链内的材料、制造和设计方面建立更紧密的联系。”

他指出，工业化仍是增材制造能力面临的挑战。“每个人都对增材感到兴奋，因为你只需按下按钮就能得到一个

很好的零件，但是它需要精加工、去除粉末、无损检测、抛光加工、测量。我们每周都在做迭代，而且作为设备能力供应商的一个有挑战的客户是开发过程的全部。”

针对已知类型的材料、规格和质量，在生成抛光工件的能力上仍存在技术约束。对缺陷类型的严格分类和掌握情况还未成熟到生产能力可被称之为“可靠”的水平。多尺度建模和真正掌握缺陷静态分布的能力，如掺杂物、晶体错位、空隙、孔隙等，将在所有航空发动机零件生产所需的大量一次性工程工作上减少工作量平衡道路。

增材制造的组件在任何工程和结构制造能力的可靠演示上都已成为必须。显然目前这些零件还只是材料、工艺和设计工程工作的冰山一角，许多还处在飞行认证过程中，龙头企业将这些技术转入大规模批产的方式还不是那么明显。一旦对一个特定零件的工艺得到认证，比如GE燃油喷嘴，迈向批产之路就将变得简单。金属航空发动机零件的供应链应该牢记这些，并且准备好对商业和人力规模化需求。

（辛文）