



《大飞机》专访中国工程院院士刘大响

——举全国之力,打赢航空发动机“翻身仗”

2014年12月12日 15:14 来源:《大飞机》杂志 庄敏

[打印本稿] [字号 大 中 小]

航空发动机的发展需要长期的数据和经验积累,需要大量资金投入。中国要打赢航空发动机的“翻身仗”,必须尽快脱离长期以来的仿制模式,坚定不移地走自主创新之路。

刘大响

中国工程院院士

1937年10月生,湖南祁东县人,北京航空航天大学发动机设计专业毕业,1995年当选中国工程院院士。曾任十届全国人大常委会委员、全国人大外事委员会委员、国防科工委专家咨询委员,现任中国航空工业集团科技委副主任。

近几年来,以新型歼击机和大型运输机为标志,我国不断有先进飞机翱翔蓝天,捷报频传,令国人鼓舞,世界为之震惊。但十分遗憾的是,不少新飞机却采用国外发动机进行首飞,这说明我国航空发动机的发展落后了,成为制约我国航空

工业快速发展和军民用飞机装备使用的“瓶颈”。如何根治飞机的“心脏病”，打赢航空发动机“翻身仗”，已成为国人关注的热门话题。在此背景下，《大飞机》杂志专访了我国著名航空动力专家、中国工程院院士刘大响先生。

《大飞机》：航空发动机是飞机的“心脏”。种种迹象表明，我国航空发动机的发展相对落后了，这已成为国人关注的热门话题。刘院士，请您讲一下我国航空发动机的发展历程、现状和存在的主要问题。

刘大响：我国航空发动机工业创建于抗美援朝时期。在一穷二白基础上，经历了“维护修理、测绘仿制、改进改型、自主研制”四个发展阶段，从无到有，从小到大，由弱变强，目前正处于从“测绘仿制向自主研制”的转变过程之中。

60年来，在党中央、国务院、中央军委的正确领导下，航空发动机工业建立了比较完整的研发和生产体系，积累了经验，培养了人才，取得了长足进步和显著成绩，共生产了几万台各型发动机，保障了我军作战训练的基本需要，为我军航空武器装备建设和国民经济发展作出了重要贡献。现在，我们已是世界上举足轻重的航空大国，以“太行”涡扇发动机和某涡轴发动机设计定型并装备使用为标志，表明我国已基本具备了自主研制第三代涡扇、涡轴发动机的能力。从1980年开始实施的几个大型预研计划也取得了重要进展和成果，为未来新一代发动机的可持续发展奠定了良好的技术基础。这些成就应该予以充分肯定。

但是，面对世界发动机专业加速发展的态势和国内飞机旺盛的需求，与世界先进水平相比，我国航空发动机技术是落后了，发动机赶不上飞机的需求，已成为制约军民用航空装备的“瓶颈”。主要表现在：

一是现役军用发动机多数仍是仿制国外的第二代发动机及其改进改型，发动机难以全面满足各类飞机对动力的需求，新研飞机无国产动力可供选用，有时不得不选用国外发动机进行首飞或过渡。

二是自主创新的研发体系尚未真正建立起来，创新能力薄弱，技术储备不足，设计手段相对落后，自主研发之路还没有真正走出来。

三是民用大涵道比涡扇发动机型号研制属于空白，全部依赖进口，民用发动机的特有关键技术预先研究才刚刚开始。

四是目前虽已初步建立了航空发动机设计体系，但验证尚不充分，还需要通过几型发动机走完自主研制的全过程才能得以不断完善和提高。

五是航空发动机所需的先进材料、制造技术相对落后，自主研制航空发动机所必需的基础设施和保障条件不足，大型试验设备有缺项，试验和测试技术相对落后，满足不了自主研制先进航空发动机的需求。

六是与发动机研究的高难度相比，经费投入不足，预先研究和应用发展经费偏低，使许多试验研究工作做得不深不细。

七是体制机制仍存在缺陷，尚不适应现代新型发动机研发的需要，行业封闭状态未完全打破，单位所有制导致知识和数据不能有效共享，造成许多低水平的重复建设。

总而言之，改革开放以来，我国航空发动机已取得不少成绩和技术进步，但还没有完成从“测绘仿制到自主研发”的战略转变，与国外先进技术相比还有较大差距。

对航空发动机行业来说，当前我们面临的形势是挑战与机遇并存，困难与希望同在。我们一定要抓住机遇，迎难而上，坚决打好航空发动机“翻身仗”，彻底根治飞机的“心脏病”。可以说目前是形势严峻，任务艰巨，责任重大，使命光荣！

《大飞机》：您在担任第十届全国人大常委期间，积极推动国产大型飞机及发动机项目的立项，并先后提交了三份建议书和一个议案，在后续的工作中，您的这些建议得到了国家领导人和有关部委的重视与采纳。借此机会请您谈谈，航空发动机在国家安全、科技进步和经济发展中的战略地位和重要作用。

刘大响：动力技术既是制约航空技术发展的“瓶颈”，也是航空工业发展的“推进器”。人类在航空领域取得的每一次重大革命性进展，无不与航空动力技术的突破和进步相关；同时，飞机的更新换代又促使发动机向更高水平迈进，两者相互依存，相得益彰，促进了整个航空工业的蓬勃发展。因此，在航空发达国家，发动机技术一直被列为国家高科技战略领域。

以美国为例，美国长期将推进技术、战略计算机、超大规模集成电路、先进战斗机和航天技术列为国家五大关键技术计划，优先予以规划和安排。美国国防部在《2020联合设想》中提出构成美国未来军事战略基础的九大优势技术中，喷气发动机技术被排在第二位，而核武器只排在第三位。

从民用航空来看，大涵道比涡扇发动机是自主研发大飞机的关键，发动机技术不突破，就无法真正掌握大飞机研制的主动权。自20世纪70年代初大涵道比涡扇发动机投入使用以来，民用飞机的燃油效率提高了70%，其中三分之二是发动机技术进步作出的贡献。民用航空发动机也是航空动力产业的重要支柱，国外民用发动机的产值已达到发动机总产值的70%~80%，可见不发展民用航空发动机，我国就谈不上有独立、完整、强大的航空动力产业，当然也就谈不上建立独立自主的、强大的航空工业体系。

另外，航空发动机的产业链很长，覆盖面十分广泛，其上游涉及机械、冶金、材料、化工、能源、电子、信息等诸多工业部门，本身又涉及气动热力学、传热学、结构力学、材料学等众多基础学科和工程科学技术领域，下游除了在军民航空领域的应用之外，在航空发动机基础上改型发展的轻型燃气轮机还可为舰船、坦克、车辆、电站、泵站提供优良动力，并为地面重型燃气轮机的发展提供技术支持。可见航空动力对国民经济发展和科技进步有着巨大的带动和促进作用。

有外媒曾做过这样的描述：“在经济全球化的今天，美国能够容忍汽车、船舶、电子、材料等单个领域被其他国家超越，甚至能容忍高铁技术被中国超越，但绝不允许在航空发动机领域存在挑战者。”所以，以美国为首的西方强国，一直把航空发动机列为国家战略性产业，其核心技术严禁向中国出口和转移。

《大飞机》：大型客机项目立项之后，其国产发动机CJ1000A也同时列入国家重大科技专项。您认为，作为我国第一款完全自主研发的国产大型民用发动机，它面临的最大挑战是什么？

刘大响：发动机是制约我国航空工业发展的主要“瓶颈”，也是我们搞大飞机的“短板”。这个问题不解决，我们的民族航空工业就谈不上健康可持续发展，更谈不上建立独立自主的航空工业体系。很显然，如果将来我们只能造大飞机而不能自主研制发动机的话，那时发动机仍然主要靠国外进口，这张王牌始终拿在人家手里，别人想“捏”你一把，你一点办法都没有。一旦国际形势“突变”，发动机的供货渠道就有可能中断，再好的飞机也只能“扒窝”；或者如果西方只卖给我们二流的发动机，我们花了大量真金白银研制出来的大飞机，也就不会有市场竞争力了。所以，在发展国产大飞机的同时，我们一定要搞自己的发动机，在大飞机科技专项中包含自主研制CJ1000A发动机的决策是完全正确的。

但问题的关键在于，几十年来我国大型民机发动机型号研制仍是空白，全部依赖从国外进口，关键技术研究也才刚刚开始，所以，作为我国第一款完全自主研发的高水平国产发动机，CJ1000A的发展之路一定是艰难曲折的，甚至会遇到许多意想不到的困难。无论是从软件还是硬件的角度来看，国产发动机的研制还有很多基础技术功课需要一点点地补课，而这些也是中国民用航空工业发展过程中必须补修的“学分”。

好在军民用发动机有许多共性技术，通过军民融合，可以有效夯实其技术基础，同时我们要提前开展民用发动机特有关键技术的预研工作，打好关键技术基础，扎扎实实地向前推进。另外，民用发动机毕竟是市场化产品，我们可以采取各种途径，积极开展多种形式的国际合作和交流，以借鉴和吸收国外的先进技术，提高起点，减少风险。

现在，中航工业商发公司已经作了全面的规划和安排，在上级的正确领导下，在行业内外的全力支持下，尽管研制过程中还会碰到许许多多困难，我相信他们一定会不辱使命，有信心、有能力自主研制出先进发动机来，用自主研发的“中国心”，装备中国自己的干线客机C919，翱翔祖国的蓝天，飞向全世界！

《大飞机》：人们常说，航空发动机的研制难度很大，花钱很多，但很多人对此又不太理解，他们常常会问，航空发动机的研制究竟难在什么地方？

刘大响：据日本通产省分析，按产品单位重量创造的价值计算，假如船舶为1，那么小汽车为9，电子计算机为300，喷气客机为800，航空发动机为1400。这充分说明航空发动机是当代高科技的结晶，被人们誉为“工业之花”、“皇冠上的珠宝”。

前面已讲到，航空发动机被称为飞机的“心脏”，是军民用飞行器和航空工业发展的源动力，是决定现代战争胜负的重要因素，对国民经济发展和科技进步有着巨大的带动和促进作用。一代发动机，一代新飞机。目前，航空发动机的发展水平已是一个国家综合国力、工业基础和科技水平的集中体现之一，是国家安全和强国地位的重要战略保障。

航空发动机是一种十分复杂的热力机械，需要在高温、高压、高转速和交变负荷的极端恶劣条件下长时间可靠地工作，并满足推力（功率）大、油耗低、重量轻、寿命长、噪声小、排污少、可靠性高、安全性好、研制和维护成本低等众多互相矛盾而又十分苛刻的要求。一台现代发动机拥有上万个零部件，须用轻质、高温、高强度的特殊材料制造，加工精度已达微米级；高性能压气机叶片既薄又具有弯、扭、掠的构形，高速旋转时要长时间承受自身重量2万倍的离心力；薄薄的机匣要长时间承受50~60个大气压而不能变形和损坏，这相当于蓄水175米的2.5个长江三峡大坝所承受的水压；涡轮叶片的气流环境温度现已高达2000~2200K，远超过其金属材料的熔点，要求在1万~2万转/分条件下能够长时间可靠工作；主燃烧室中气流速度高达20m/s（相当于8级大风），要求燃烧稳定，出口流场均匀，效率达99%以上；现代民用发动机寿命已长达3万小时以上，将来要超过10万小时，而对空中停车率的要求是发动机每10万飞行小时不能大于0.2~2次；现代航空发动机的单位重量价值与白银相当，发动机涡轮叶片的单位重量的价值与黄金等值，可以说是昂贵的奢侈品，而汽车的单位重量价值仅仅相当于一个汉堡的价钱。

上述所有这些都充分说明航空发动机的研制难度大、周期长、耗资多、风险高。可以毫不夸张地说，航空发动机的研制，一直是在挑战工程科学技术的极限，正如美国《国家关键技术计划》所描述的：“这是一个技术精深得使新手难以进入的领域，它需要国家充分保护并利用该领域的成果，需要长期数据和经验的积累以及国家的大量投资。”

正因为如此，长期以来，美、俄、英、法等少数航空发达国家一直把优先发展航空发动机作为基本国策，将航空动力工业发展成高附加值的国家高科技战略性产业，把航空发动机技术列为严密封锁、严禁出口转让的关键技术，并逐步形成了对航空动力技术和全球市场的垄断地位。目前，世界上能独立设计生产飞机、坦克、舰船的国家有几十个，能研制核弹、火箭、发射卫星的国家也不少，但能自主研制先进航空发动机的国家却只有美、俄、英、法等少数发达国家。

《大飞机》：在“利用全球资源进行自主创新”的大思路下，外界一方面十分关心国产发动机项目究竟是会走一条完全自主研发的道路，还是像汽车、电视机行业那样选择一个风险合作伙伴进行联合生产。您认为，我们的国产发动机研发应该走哪条道路？

刘大响：中国航空发动机产业要想甩掉落后的帽子，“破茧化蝶”，我认为必须坚定不移地走“自主研制、创新驱动”的发展之路。航空发动机的关键技术是花大钱也买不来的，尤其是随着技术水平的不断提高，航空发动机的复杂性和集成度在大幅提升，今后再想通过仿制的方法来完全掌握先进发动机技术的可能性已越来越小，想借此途径走向自主研制更是难上加难。更重要的一点，从国家发展大型客机的战略高度来看，如果我们不具备独立研制发动机的能力，将成为大飞机自主研制的“短板”，会导致国产民机的研制始终处于受制于人的状态，一旦国际风云变幻，出现国外供应商断货的情况，对于我国民机产业的打击将是灾难性的。

当然，坚持自主研制绝不是要“闭关锁国”，关起门来一切从头开始摸索也是不行的。我们要充分利用世界科技资源为我所用，要主动打开合作的大门，积极创造条件开展多种形式的国际合作，引进先进技术，借鉴先进经验，提高起点，少走弯路，达到减少风险，缩短研制周期，节约经费的目的。

我的这些观点其实与中国商飞公司选择的“主制造商-供应商”的民机研发模式是一致的。在以我为主研制的大前提下，单项技术完全可以先借用一下“洋拐棍”，在材料、元器件等方面也可以先选用一些国外产品，集中力量突破主要关键技术，提高发动机总体设计、试验验证、适航取证等核心竞争力。事实上，在经济全球化的今天，发展航空工业一定要把加强国际合作、充分利用国际科技资源为我服务放在重要的位置上。只有这样，我们才能发挥后发优势，才能在高起点上实现跨越发展，才能在国际竞争中赢得一席之地。

《大飞机》：习近平总书记在考察中国商飞公司时表示，“中国飞机制造业走过了一段艰难、坎坷、曲折的历程，现在是而今迈步从头越”，而在“从头越”的过程中，一方面是您刚才提到的，需要补上历史上落下的“学分”，另一方面还要攻克技术和行业的壁垒，尽快跟上行业强者的发展步伐。在这个从“望尘莫及”到“望其项背”的发展过程中，您认为那些行业强者的身上有哪些经验值得我们学习？

刘大响：作为建设创新型国家的一项标志性工程，大型飞机给航空发动机产业带来了前所未有的发展机遇。更为重要的是，我国民用航空制造业落后的局面，已引起党和国家领导人的高度关注和重视，相关决策部门已经在落实具体措施，举全国之力，聚全球之智发展航空产业，并将它上升到了国家的战略层面。就发动机产业的发展来说，综观世界航空发达国家的发展规律，我觉得有以下几点是特别值得我们学习和借鉴的：

首先，要坚持“预研先行、技术推动”的原则。国外成功经验表明，一台新型发动机立项开展型号研制之前，应有60%~70%的关键技术是早已成熟的技术。所以，只有遵照自身发展的客观规律，相对独立地提前开展发动机技术的预先研究，使主要关键技术得到充分的验证，并达到较高技术成熟度基础上开展型号研制，才能降低研制过程中的技术风险，才能达到预期目标。

其次，要强化基础技术研究，高度重视新材料、新工艺研究及工程应用研究。据外刊报道，在未来航空发动机性能的提高中，新材料的贡献率将达到50%~60%，先进材料和工艺技术对发动机减重的贡献率将在70%以上。为此，国外十分重视新材料、新工艺的研究和应用，建立了系统的、高水平的新材料、新工艺技术体系。在这方面，我们一定要静下心来，稳扎稳打，做好基础技术的沉淀工作。

第三，创新管理和运行机制，实施“优秀人才战略”。在航空发动机技术发展中，国外建立了科学权威的组织机构、管理体制和灵活的运行机制，并且实施“全球人才战略”，采取包括提高福利待遇和各种激励政策在内的多项措施，吸引全球最优秀的科技人才为其服务，为航空发动机的技术发展奠定了最为关键的人才基础。

第四，进一步深化体制机制改革。要建立更加开放、更加包容的“以企业为主体、以市场为导向、产学研用相结合”的航空发动机技术创新体系，形成以中航工业为主力军，以中科院、高等院校、其他科研院所和国内优势力量（包括有优势的民营企业）为生力军，“产学研用”相结合的联合研发团队，形成真正意义上的“国家队”，集智攻关，举全国之力，坚决打好航空发动机的“翻身仗”。

《大飞机》：造中国人自己的大飞机是几代航空人的梦想。2004年，您与其他15名院士联名上书中央，在两会期间您又向全国人大提交了《关于尽快开展大型飞机研制的建议》的提案，在当时这个提案引起了广泛关注。如今，C919大型客机项目正按计划稳步推进，在这个过程中有困难、有挫折，甚至也有一些质疑的声音。作为大型客机项目最早的推动者之一，您对C919飞机和中国商飞公司有哪些寄语和希望？

刘大响：造大飞机，我国经历了30多年的反复酝酿、探索和尝试。新世纪之初，国务院审时度势，果断决策上马ARJ21新支线飞机项目。虽然从表面上看好像是倒退了，但我认为这个选择是正确的。因为，既有国内外市场的需求，又可以为研制大飞机做好人才、技术、适航、市场营销等各方面的准备。事实上，虽然ARJ21新支线飞机从2008年首飞至今经历了许多波折，但是这款飞机作为中国民机产业的探路者，为后续型号的发展积累了许多宝贵的经验。几个月前，在电视上看到ARJ21实现环球飞行的报道，我的心情十分激动，这是非常鼓舞人心的一件大事，它向全世界表明了中国民机产业发展的新面貌。

研制大飞机是国家意志，是势在必行的。但同时，大家也必须要认识到研制大飞机的艰难性，作为一个高度复杂的高科技项目，它的研制周期一定是漫长的，想要获得市场成功和商业成功更是需要几代人付出努力。如法、德、英等西欧发达国家，在雄厚技术基础的前提下，也是在连续投入260多亿美元，耗时25年才扶植起一个空客公司，才形成今天能与美国波音公司平分秋色的市场格局。

我国的民机产业可以说是白手起家，大型飞机项目立项之初制定的在90个月内实现首飞的目标是符合世界民机发展的客观规律的，但要完成这个目标对于中国商飞公司而言是极不容易的。我认为，作为我国自主研发的首款大型民用客机，安全性和高质量才是最关键的，即便将来出现项目延期的情况，我相信大家也能对中国的自主创新有多一点的宽容和理解。毕竟像波音这样的老牌飞机制造商，在研制787飞机项目上，也曾出现过长达5年之久的项目推迟。


作为国家大型飞机工程专家委员会成员之一，作为在航空领域工作了一辈子的老同志，我对成功研制C919飞机充满了信心和希望。我完全相信中国商飞公司的同志们，一定会牢记习主席在公司参观时的讲话精神，而今迈步从头越，脚踏实地，锲而不舍，攻坚克难，奋力拼搏，按照既定目标，稳步向前推进。

我愿借此机会，真诚地祝愿C919飞机早日翱翔祖国蓝天，飞向全世界，为实现中华民族伟大复兴的“中国梦”作出卓越贡献！祝中国商飞公司取得更加辉煌的成就！

（责任编辑：缪杰娴）

- | | |
|--------------------------|------------|
| • 《大飞机》：指引我国大飞机事业发展的科学指南 | 2014-12-12 |
| • 《大飞机》：殷殷民情 泱泱中国梦 | 2014-10-24 |
| • 《大飞机》：我的“孩子”我的梦 | 2014-10-24 |
| • 《大飞机》：在大飞机研制中实现我的中国梦 | 2014-10-23 |
| • 《大飞机》：安全卫士 空中防撞系统 | 2014-10-23 |
| • 《大飞机》：喷丸成形技术助力机翼制造 | 2014-10-22 |

[关于经济日报社](#) — [关于中国经济网](#) — [网站大事记](#) — [网站诚聘](#) — [版权声明](#) — [互联网视听节目服务自律公约](#) — [广告服务](#) — [友情链接](#) — [纠错邮箱](#)
经济日报报业集团法律顾问：北京市鑫诺律师事务所 中国经济网法律顾问：北京刚平律师事务所

中国经济网  版权所有 京ICP备18036557号 网络传播视听节目许可证(0107190)

京公网安备110102000527

【行业观察】刘大响院士：中国的大飞机梦经历了三上三下坎坷

刘大响 两机动力控制 2017-09-12

导读：8月17日，在2017年暑期院士专家系列科普讲坛上，中国工程院院士刘大响讲述了当前中国航空发动机的现状及趋势。他说，目前世界上包括中国在内的几个大国，都在研究新一代超声速民机，可在常规机场上，实现低噪音、零排放水平起降。这个组合发动机一旦研制成功，将会把飞机的飞行马赫数提高到4左右，使北京到纽约的飞行时间缩短到3到4小时。本次讲坛由上海市新闻出版社，上海市科学技术协会主办，上海市科普作家协会，上海科协大讲坛管理办公室和新华网科普中国科技前沿大师谈承办。



以下是刘大响院士的演讲实录，经演讲人审定：

今天我发言的主题是：国之重器，跨越发展，对加快我国航空动力发展的一些思考。

第一部份：动力的现状和趋势

航空发动机是飞机的“心脏”，国之重器，是“皇冠上的珠宝”，是国家重要的战略性新兴产业。我想讲述四个方面的问题：动力的现状和趋势，动力的特点和难点，动力的挑战和机遇，中国的大飞机之梦。

从20世纪40年代末以来，世界上军用航空喷气发动机已经发展了四代。推重比是发动机的推力与重量之比，是衡量军用航空发动机的重要指标之一，这个指标越高发动机性能越好但同时涡轮前燃气温度更高了，研制难度也就更大了。目前世界上只有美国F22飞机有了四代发动机，中国的第四代发动机正在加紧研究之中。第五代是下一代发动机，目前连美国也没有搞出来，这是我们下一个重要的奋斗目标。

民用航空发动机同样也发展了四代，我国的C919干线飞机用的就是第四代发动机。这是美国研制的Leap—1c，国产的长江1000A发动机正在上海加紧研究。由于我国民机动力启动时间比较晚，需要从第一代直接跨到第四代，指标先进，难度很大，可能还需要十几年的时间才能够完成研究工作，将来是C919飞机的主要动力，用来替换Leap—1c发动机。一种全新研制的新飞机，先采用比较成熟的发动机进行首飞，这也是国际上的通常做法。

在现代军民用发动机中，涡扇发动机是目前的主流，将来还会有巨大的发展前景。民用发动机的涵道比会进一步增大至10-15，涵道比越大，一般来说其耗油率会越来越低。军用涡扇发动机推重比会进一步提高，估计推重比可能提高到12-15，这是未来第五代发动机所需要达到的重要指标。

我们知道发动机有多种类型：如涡轮发动机、冲压发动机火箭发动机。这几种发动机都有其最佳的使用范围，不可能单独地从地面飞到太空，当然火箭可以发射上去，但很不经济，价格很贵，又不能多次重复使用。要想在常规机场实现水平起降、并多次重复使用进入太空，只用一种发动机是很困难的。目前比较可行的办法，一般要采用这三种动力的组合。

航空与航天动力相结合，将引发第三次动力“革命”。冲压发动机现在主要用于航天工程，将来可与涡轮发动机组合起来，成为常规水平起降、临近空间高超声速军民用飞机的主要动力装置。这种组合动力，如用于军用飞机，其飞行速度可达到马赫数5—8，如用于民用机飞，其飞行马赫数为4+，也就是说一小时可使飞机飞行近5000公里。

目前世界上包括中国在内的几个大国，都正在研究新一代超声速民机，可在常规机场上，实现低噪音、零排放水平起降。这个组合发动机一旦研制成功，将会把飞机的飞行马赫数提高到4左右，使北京到纽约的飞行时间缩短到3到4小时，世界变成了“地球村”，人类将真正实现“天涯若比邻”的梦想！你早晨到美国去，晚上就可以回来。这是一个很高的科技成果，对于人类社会的文明进步将是一个巨促进作用。

我们知道，现在美国有NASA的N+、N+2、n+3计划，欧洲有LAPCAT计划，俄罗斯的计划是Transport2011，这些都是在研究超声速民用飞机的发动机。如果涡轮加冲压再加火箭的组合，则成为空天飞机的动力。可以在普通机场起飞，飞到一定高度，启动另外一种发动机。当离地面80到100公里左右，接近地心引力的边界时，火箭点火启动，再加一把力，飞机就可以进入低轨道太空运行了。

太空飞机的飞行途径是怎么样的？先在常规机场水平起飞，飞机达到一定高度、速度之后，母机与进入太空的飞行器脱离，母机返回地面。飞行器继续飞行，进一步加速，到达一定高度和速度时，进入太空的飞机又跟火箭脱离，在一个更小的火箭推动下，即可进入太空低轨道绕地球飞行，回来的时候，飞机可以在常规机场跑道上正常着陆。

我相信，人类文明的这一梦想一定能够实现。我们这一代科学工作者正在开展这方面的研究工作。由于这种组合发动机十分复杂，技术难度很大，需要几代人不断的努力，用接力赛的办法把它搞出来。我也相信，这一代飞机和发动机，一定会在包括今天在座的年轻朋友在内的下一代人的手中创造出来！你们的责任重大，使命光荣，任重而道远。在座的各位青少年同学们，你们要好好学习，长大后要脚踏实地，撸起袖子加油干，为早日实现人类的这一伟大梦想贡献出自己的力量！

第二部分：航空动力的特点和难点

航空发动机被称为飞机的“心脏”，是军民用飞行器和航空工业发展的源动力，是决定现代战争胜负的重要因素，对国民经济发展和科技进步有着巨大的带动和促进作用。**一代发动机，一代新飞机**。目前，航空发动机的发展水平已是衡量一个国家综合国力、工业基础和科技水平的集中体现之一，是国家安全和强国地位的重要战略保障。

航空发动机是一种十分复杂的热力机械，需在高温、高压、高转速和交变负荷的极端恶劣条件下长期可靠地工作，并满足推力（功率）大、油耗低、重量轻、寿命长、噪声小、排污少、可靠性高、安全性好、研制和维护成本低等众多互相矛盾而又十分苛刻的要求。下面我讲一下发动机的特点与难点。

第一点就是要具备高安全性和高可靠性。不允许发动机空中停车。现代民用发动机寿命已长达3万小时以上，将来可能要超过10万小时，而对空中停车率的要求是发动机每10万飞行小时不能大于0.2~2次。因为发动机一旦空中停车，不可能悬停在空中进行排故修理，飞机因缺少动力就会像铁块一样往下掉，甚至造成重大的灾难性事故。为了保证发动机在空中能安全可靠地工作，除了大量的理论研究和设计、仿真之外，还需要在模拟飞机在空中的真实环境条件下做大量的试验研究工作，把所有可能发在的故障都排除掉。

第二点是压力比很高。民用发动机压气机出口有50到70个大气压，相当于2个半175米深的长江三峡大坝的水压，要求2-3毫米厚的薄壁机匣不变形、不裂纹、不破裂。

第三点是转速很高，目前涡轮发动机转速达到15000、16000转/分时，在高温条件下，一个小小叶片承受的离心载荷，是它自身重量的一万多倍，需保证叶片不会断裂。

第四点是温度很高。发动机涡轮前的燃气温度，军用发动机已接近2100K，民用发动机是1900K左右。在这个温度下，现在的任何金属都熔化掉了。我们必须从设计上、材料上、制造工艺上要采取各种方法，如空气冷却、隔热涂层加上提高材料耐温性等，来克服这些困难。

第五点是燃烧室中的风速很大。要在17级大风情况下必须点着火，同时火焰要很稳定，出口温度场分布要达下规定的指标要求，这些是很不容易做到的。但通过人们的努力，现在这一点已经实现了，即使在超声速条件下，都可以实现稳定燃烧。

第六点发动机的加工制造难度很大，一台现代发动机拥有上万个零部件，须用轻质、高温、高强度的特殊材料制造，加工精度已达微米级，很多人形容现代发动机像一个很复杂精致的工艺品，被誉为“皇冠上的珠宝”。

第七点航空发动机在飞行之前，必须要做各种大量的试验。据统计，一台全新设计的航空发动机，通常要做20余万小时的零部件实验，3万小时整机地面试验，3000到6000小时高空台模拟试验，5000到10000小时飞行试验，之所以发动机研发周期很长，就是因为必须要做那么多的试研究，如果出现意外故障，还要修改设计，还要反复做试验。而且，在发动机设计定型后，还要在原型飞机上做10到20万小时的成熟性飞行试验，只有这才能真正使发动机变得很成熟，把故障率降到最低。

第八点是发动机是非常昂贵的产品。我们知道涡轮发动机的燃气温度非常高，需采用最好的材料，需要最精细的制造，需要做大量的试验研究，需要建立大量的试验设备，需要投入大量的人力、物力，因而其成本高、价格贵。按照国际上的统计，高温涡轮叶片的价值就相当于同等重量黄金的价值，整台发动机的价格与白银价格相当。

另外，航空发动机的产业链很长，也涉及到气动力、燃烧、材料、机械、制造等众多学科，可带动国家一大批产业的发展。据美国兰德公司统计测算，向航空工业每投资一万美元，十年后航空工业及其所带动的相关产业能产出约60万美元的产值。日本通产省分析，按产品单位重量创造的价值计算，如果船舶为1，那么小汽车为9，电子计算机为300，喷气客机为800，航空发动机为1400。

正是由于有以上几大特点和难点，航空发动机的研制难度大、周期长、耗资多、风险高。

航空发动机是国家装备制造业水平的集中体现，是国家经济安全和国防安全的重要保障。

可以毫不夸张地说，航空发动机的研制，一直是在挑战工程科学技术的极限。正如美国《国家关键技术计划》所描述的：“这是一个技术精深得使新手难以进入的领域，它需要国家充分保护并利用该领域的成果，需要长期数据和经验的积累以及国家的大量投资”。

也正因为如此，长期以来，美、俄、英、法等少数航空发达国家一直把优先发展航空发动机作为其基本国策，将航空动力工业发展成高附加值的国家高科技战略性产业，把航空动力技术列为严密封锁、严禁出口转让的关键技术，并逐步形成了对航空动力技术和全球市场的垄断地位。目前，世界上能独立设计生产飞机、坦克、舰船的国家有几十个，能研制核弹、火箭、发射卫星的国家也不少，但能自主研制先进航空发动机的国家却只有美、俄、英、法等少数发达国家。

第三部份：航空动力的挑战与机遇

2013年11月1日，美国洛克希德·马丁公司发布SR-72高超声速飞机发展计划，巡航马赫数为6，将在2018年开始研制，并在2023年实现首飞，2030年装备部队。美军扬言：有了SR-72，世界上现在所有的导弹防御体系都将失去作用。

2001年美国提出新的“三位一体”战略威慑体系概念，由单纯依赖核武器向“核常兼备、攻防一体”转变，航空武器逐步从常规武器提升为战略性武器装备。

美国国防部在《2020联合设想》中提出，构成美国未来军事战略基础的九大优势技术为：雷达、喷气发动机、核武器、夜视装备、灵巧武器、隐身、全球定位系统、无人机和能力更强大的信息管理系统。他们把航空发动机喷气发动机排在第二位，第三才是核武器。

美国重返亚洲，提出“亚太再平衡”，加强构筑以关岛为中心的第二岛链，部署了B-2隐形轰炸机和第四代F-22隐形战机等航空武器。第四代F-35轻型战机也正大量部署在我周边国家和地区。这对我国国家安全构成了严重威胁。美国国防部称：有了高超声速巡航导弹和空天飞行器，美军就具备“发现即摧毁”的能力；有了临近空间高超声速飞机，美军就能超越领空限制，不需依赖海外基地，可在1-2小时内直接打击全球任何目标。

由此可见，我国未来的主要威胁和挑战来自天空。这要引起我们高度重视和警惕！

我们的重大机遇就是：在党的十八届五中全会上，习主席提出，**在原来16个科技重大专项基础上，以2030年为时间节点，再选择一批体现国家战略意图的重大科技项目，力争有所突破。明确将航空发动及燃气轮机（简称“两机”），列为国家重大科技专项之一。**2016年8月28又单独成立了中国航空发动机集团公司，这是党中央、国务院在新时期作出的重大战略决策。

我们的发展目标是，通过20-30年的努力，坚定不移走独立自主的发展道路，全面提升自主创新能力，攀登三个技术台阶，实现第三、四代主战飞机和C919干线客机动力的自主保障，完成从“跟踪研仿到自主研制”，从“航空动力大国到动力强国”的战略转变。

我们国家发动机之所以落后，最大问题是技术基础不牢、储备不足。因此我们需要进一步夯实技术基础，提高自主创新能力，同时也要加紧研制装备，提高我们主战装备动力的自主保障能力。另外，因为国家“两机”重大专项计划很庞大，所以必须统筹协调，突出重点。再一个就是要通过深化改革，包括体制机制的改革，科学的管理，来加快我们研制进度。

通过“两机”重大专项的实施，我们要**提高三个能力：第一是自主创新的研发能力，第二是材料和制造的支撑能力，第三是科学试验的保障能力**。跨上三个技术台阶，实现两个战略转变，到2030年左右，我们国家将跻身于世界航空动力强国之列。

第四部份：中国的大飞机之梦

大家对我国的大飞机很关心。非常可喜的是，我国的大型运输机Y20，已于2013年1月26日实现了首飞，2016年7月6日，两架Y20飞机已交付部队使用，使我国空军向战略空军迈进了关键性的一大步。

我国第一架自主研发的C919干线客机，今年5月5日在上海成功地实现了首飞。作为国家大型飞机论证委员会和专家委员会的委员之一，我有幸坐在C919首飞现场的主席台上，与大家一起欢呼跳跃，流下了激动的泪水！

中国的大飞机梦经历了“一波三折”、“三上三下”坎坷。

1970年8月份，中国第一个大飞机工程正式立项，叫“七〇八工程”，后取名运-10。经过十年拼搏，中国第一架大型喷气客机运10于1980年9月在上海成功首飞，并且10余次飞到北京和几大城市，7次飞越西藏高原到达拉萨，这个意义十分重大。在当时十分艰苦的环境下，国内经济实力不足，技术也相对落后，但通过努力，飞机的研发取得这么大的成功，的确是一个了不起的重大成就。但是很遗憾，由于种种原因，1982年运10黯然下马了。

第二次是1984年到1996年的12年之间。我们的运10于1982年下马后，紧跟着1984年就与美国麦道公司合作，组装MD80和MD90并实现国产化，这个项目干了十二年最终也下马了。原因是当我们的国产化达到70%的时候，美国突然采取了一个措施，由波音公司收购麦道。完成收购之后，波音公司宣布原麦道公司研制的MD系列飞机全部停产，所以，中美合作的MD飞机项目不得不下马。

第三次是在1999年，中央决定上100座的大型飞机，叫做AE100，与法国、新加坡、韩国开展合作研制。但由于种种原因，两年之后也停下来了，这就是中国大飞机的“三上三下”坎坷。经历30多年两代人的努力拼搏，却没有取得成功，但中国人民的大飞机梦并没有就此破灭和放弃。这一次我们搞单通道的C919干线客机，可以说是第四次启动中国的大飞机研发，只能成功不能失败。在党中央、国务院的正确领导下，在各部委、上海市和全国人民的支持下，采取了很多措施，“十年磨一剑”，终于实现了首飞。目前C919已有近600架订单，尽管距投放市场还有很长一段路程要走，但我坚信C919飞机，一定能够取得圆满成功！

从2001年开始，由王大珩、师昌绪、顾诵芬三位院士牵头，我也参与其中，经多次研讨，又召开了一次规模盛大的“香山科学会议”，2003年，十几位院士决定向中央上书呼吁：一定要造中国自己大飞机！这一呼吁得到党中央和国务院的高度重视并被采纳。我是第十届全国人大代表，又当选为全国人大常委委员。利用这个难得的机会，在2004-2007年全国人大会议期间，我又连续给中央写了三个建议书和一份议案，有十几个委员联署签名。多次呼吁一定要造中国自己的大飞机！后来有关部门和单位的许多院士和专家，也用多种形式向上级反映自己的意见和看法。这些努力最终没有白费。2006年3月，十届全国人大四次会议通过了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》，将大型飞机正式列入我国“十一五”发展规划纲要中16个重大科技专项工程之一。

2006年，中央决定设立大飞机工程专项，并成立国家“大飞机方案论证委员会”，我又有幸作为委员之一参与论证工作。

当时，我们大飞机论方案论证面临着六大问题，通过研究，统一了思想，最终都取得了一致的观点和建议：

- 要不要搞大飞机—这是建立创新型国家的标志性工程，是中国人民又一强国之梦。
- 能不能搞大飞机--国内已具备技术、条件、人才和资金四个必要条件。
- 搞什么样大飞机—一个平台，两种机型，军民结合，大运先行。
- 怎么样搞大飞机—自研为主，合作为辅，坚定不移走自主创新之路。
- 在那里搞大飞机—军民分开，紧密合作，双向转移，互利双赢。
- 要不要搞民用发动机--大飞机一定要装上健康强劲的“中国心”。

实践证明，当年国家大飞机方案论证委员会提出的方案和建议是积极合理和切实可行的。在党中央、国务院、中央军委的正确领导下，国家“大型飞机重大专项”所确定的两型大飞都先后成功首飞。2013年1月26号，我国自主研制的大型运输机Y20实现首飞，只

用了5年半的时间，这是一个了不起的重大成果，2016年7月6号，2架Y20大型运输机交付部队使用。2015年11月2日，C919大型客机总装下线，仅用了7年半时间，这也是又一个了不起的重大成果。今年5月5日，C919在上海成功实现首飞。自主研发的大型飞机所需的先进大涵道比涡扇发动机，也已取得了可喜的进展。对此，全国人民欢心鼓舞，世界各国为之震惊！

现在，“航空发动机及燃气轮机”重大专项已正式立项，又单独成立了中国航空发动机集团公司，这是党中央、国务院在新时期作出的又一个重大战略决策，我国航空发动机迎来了前所未有的发展机遇。

我们坚信，在党中央、国务院、中央军委的坚强领导下，举全国之力，“两机重大专项”一定能够取得圆满成功。一个航空动力强国必将屹立在世界的东方！

来源：澎湃新闻

(欢迎加微信小编号：gtc6000；QQ群：455757118；微信群：两机动力控制，加小编微信号后拉入群，QQ群中有大量学习资料)



免责声明：本公众号所载内容为本公众号原创或网络转载，转载内容版权归原作者所有。如涉及作品内容、版权或其他问题，请跟我们联系！转载内容为作者个人观点，并不代表本公众号赞同其观点和对其真实性负责。本公众号拥有对此声明的最终解释权。




两机动力 China Turbine

两机动力控制致力于航空发动机和燃气轮机两机动力领域，包括行业动态和技术发展。


分享

请点击右上角按钮在弹出的菜单中选择  或  分享

订阅

请点击右上角按钮在弹出的菜单中选择  查看公众号并订阅

关注

请在通讯里点击添加  图标搜索 两机动力控制



两机动力控制官方公众帐号：GTC2006



阅读原文

喜欢此内容的人还喜欢

【行业新闻】中国工程院院士刘大响：航空硬科技和软服务两手都要硬
两机动力控制

换季乱穿衣，娃易感冒，掌握这3点，孩子不冷不热不生病！
妈妈手册

警惕来自“毒蛇”的偷袭！

有理儿有面

【行业人物】刘大响院士：转换观念，促进科技与经济结合

两机动力控制 2018-08-30

导读：“我今年已经81岁了，从事航空发动机研究有56年，只要我还走得动、不倒下，‘小车不倒只管往前推’，我就要退而不休，仍然要为我国的航空发动机事业鼓与呼，继续从事研究工作。”



刘大响院士告诉记者，航空发动机涉及到空军、海军、空天等武器装备，与我国国防事业关系极大。如果航空发动机搞不上去，那么国家GDP总量再大，也是不完美的。

作为我国著名航空动力学专家，刘大响院士长期从事航空发动机设计和研究工作，为我国航空发动机基础和关键技术研究奠定良好基础。刘大响说，发动机是航空航天器的“心脏”，它要在高温、高压、高转速、高疲劳的状态下还能持续稳定地工作。比如战斗机发射导弹后，温度骤然上升2000多度，如何保持战机发动机的良好工况，这非常困难。

近年来我国军机发动机研发进展比较快，现在的装配是进口发动机向国产发动机过渡阶段。我国民航发动机研发才刚起步，与发达国家差距还比较大，大概与最先进的发动机相差约4-5代，许多领域是从“0”起步，完全靠自己摸索。“如果大飞机我们只能造个外壳，而发动机靠进口，那么等于‘命门’掌握在人家的手里，国外随时都可能制裁我们。”刘大响说，发动机需要先进的工艺、材料、实验设备等，最关键的是缺乏相关标准。“目前，国家已把研发航空发动机列为重大专项，我们责无旁贷，争取最短时间内赶上发达国家水平。”对此，他充满信心。

发动机难，难在材料、工艺上，归根到底是难在缺少人才。据刘院士介绍，研发成功一个型号的航空发动机往往要经过2-3代甚至更多代的总设计师的努力才能获得成功，令人欣慰的是，近些年我国很重视航空发动机人才的培养，目前40-50岁担任发动机项目总设计师的中年科学家非常多，他们将发挥中流砥柱的作用。

谈到江苏的科技创新和产业发展时，刘大响院士认为，过去我国科技和经济是“两张皮”，各干各的，许多科技成果不能有效转化成生产力。而江苏GDP能排全国第二位，其重要因素正是江苏重视科技创新和产业转型，科技与企业结合进行产业化，比如，江苏连续多年搞“科技镇长团”下企业活动，把优秀的科学家引进来与企业家对接，收到了很好的效果。

最近，江苏又出台许多优惠政策吸引国内外专家来苏进行成果产业化，都是非常有力的举措。

青年科技工作者如何快速走向成功之道？刘大响院士认为，创新主要是靠人才。青年科技工作者是国家未来和希望，中华民族复兴要靠他们。一要转换观念，创新思维；二要耐得住寂寞，不要浮躁；三要努力把科技与产业、经济结合起来，这样才能产生强大的生产力。他还送了一首诗来鼓励青年科技工作者：仰望星空，放飞梦想，脚踏实地，砥砺前行！

相关阅读：

【行业观察】刘大响院士：飞机“心脏病”问题 我国必须自主解决

【行业观察】刘大响院士：中国的大飞机梦经历了三上三下坎坷

【长知识】航空发动机试验过程详解：访我国著名航空发动机专家刘大响院士

来源：新华日报

(欢迎加小编微信号：gtc6000；QQ群：603094810；资料都存在QQ群文件夹中)

免责声明：本公众号所载内容为本公众号原创或网络转载，转载内容版权归原作者所有。如涉及作品内容、版权或其他问题，请跟我们联系！转载内容为作者个人观点，并不代表本公众号赞同其观点和对其真实性负责。本公众号拥有对此声明的最终解释权。



两机动力
ChinaTurbine

两机动力控制致力于航空发动机和燃气轮机两机动力领域，包括行业动态和技术发展。

分享 请点击右上角按钮在弹出的菜单中选择 或 分享

订阅 请点击右上角按钮在弹出的菜单中选择 查看公众号并订阅

关注 请在通讯里点击添加 图标 搜索 **两机动力控制**

两机动力控制官方公众帐号：GTC2006



2018
**航空发动机和燃气轮机热端部件
制造及维修技术发展论坛**

中国·贵州贵安新区 北斗湾开元酒店
2018年10月11日-10月12日 **点击阅读原文报名**

 两机动力控制

[阅读原文](#)

喜欢此内容的人还喜欢

【行业新闻】中国工程院院士刘大响：航空硬科技和软服务两手都要硬
[两机动力控制](#)

长城汽车行业史上最大规模股权激励的背后：人才战略驱动投资价值

成年男女的深夜搜索记录，尺度太大了吧！

晚安少年

【长知识】航空发动机试验过程详解：访我国著名航空发动机专家刘大响院士

姜浩 秦沁 两机动力控制 2017-04-03

导读：

航空发动机的正式试验之前，要经历大大小小、从地面到空中各种各样的试验。试验累计时间长达几千个小时。试验周期长达九年乃至十年左右。经历了各种磨难之后，航空发动机才能作为“心脏”推动飞机翱翔蓝天。那么，航空发动机的试验都有哪些呢？具体又是如何进行的呢？为了了解清楚以上问题，本台特邀到了著名航空发动机专家刘大响院士为



试验的重要性

记者（以下简称记）：刘院士您好，我们了解到，一型航空发动机在投入正式使用之前要做各种试验，而且试验项目很多，试验时间很长。**为什么航空发动机要做如此多、如此长的试验呢？**

刘大响院士（以下简称刘）：航空发动机是推动飞机飞行的动力，与地面、水面运输工具的动力装置不同，地面、水面运输工具动力装置出现问题时，可以停车或者停泊排除故障，而航空发动机其“工作岗位”是在数千上万米的空中。**发动机一旦在空中出现问题，飞机将失去动力，就无法保持飞行高度和速度，轻则导致飞机无法完成任务，重则会造成机毁人亡的重大事故。**同时，与其他机械装置相比，发动机结构十分复杂，零件数目达数十万个，不仅如此，发动机主要零部件的工作环境十分恶劣，常常处于高温（最高可接近2000摄氏度）、高压（几十个大气压）和高速转动（转速可达每分钟几万转）的工作状态，任何一个零件出现问题，都可能导致发动机停车或破坏，并引发灾难性后果。因此，在任何一台航空发动机正式投入使用（服役）前，必须通过各种试验对其性能、功能、强度以及可靠性有充分的认识 and 了解，以便安全、有效、合理地使用。

另一方面，由于航空发动机的研制和发展是一项涉及空气动力学、工程热物理、传热传质、机械、强度、传动、密封、电子、自动控制等多学科的复杂的综合性系统工程，航空发动机内部的气动、热力和结构材料特性又是非常复杂，以至于到目前为止，仍然不能够从理论上给予详尽而准确的描述，只有依靠实际发动机的试验来获得。通过试验，可以验证设计的合理性、扩展已有的经验，并有可能促进对物理机理的进一步认识。此外，航空发动机设计能力的提高也主要依靠试验数据的不断扩大和完善、对已有经验的扩展以及理论分析的完善。近百年来国内外研制航空发动机的实践证明，新型航空发动机的诞生，发动机的改进、改型都离不开试验。**航空发动机的发展史就是一个设计、制造、试验、修改、再制造、再试验...，一个不断摸索和反复完善的过程。**甚至有人说发动机主要是靠试出来的。由此可见，试验在航空发动机研制过程中起着举足轻重的作用。

记：发动机的试验是如此重要，这种重要性在试验中是如何体现出来的呢？

刘：新型航空发动机研制强调走一步试验一步，从部件到整机要通过设计—试制—试验的几个循环才能达到实用阶段，甚至投入使用后仍在试验。以使设计的薄弱环节充分暴露，并予以改进。早在二十世纪七十年代，在英国一种新型发动机被批准定型投入使用前建造了20台进行试验，地面运转了一万余小时，飞行两千多小时。**某型发动机的研制费用中，设计占10%，制造占40%，而试验要占50%。**

研制发动机的地面试验和飞行试验统计数据

国别	发动机	装备飞机	地面试验台数	飞行试验台数	试验总台数	地面试验时数	飞行试验时数	总试验时数
美	F100	F-15/16	27	87	114	12000	5750	约18000
美	F404	F/A-18	5	34	39	14000	5000	19000
美	F101	B-1	28	27	55	11000	11000	35000
美	RB199	狂风	16	35	51	14500	6500	21000
俄	AL-31F	苏-27	49	8	57	14425	6275	20700

由于重视研究试验，航空技术发展就有坚实的科学基础，同时也保证了产品安全可靠。在美、英、俄三国军用发动机的研制中，用于地面试验和飞行试验的发动机最少需要51台，多则114台才能最后定型。**发动机地面试验要上万小时，最高达16000小时以上，飞行试验需5000小时以上。**

再如，二十世纪七十年代中期，发达国家在追求航空发动机高性能研制思想指导下，忽视了结构强度问题，结果在使用中产生了大量结构故障问题。据统计，1963~1978年间，美空军战斗机发生了3824起飞行事故，**其中由于发动机原因引起的有1664起，占43.5%，而43.5%中因结构强度和疲劳寿命方面问题导致的事故又占90%以上。**美军方在总结单纯追求发动机高性能，而忽视可靠性与耐久性的沉重教训后，执行了一项“发动机结构完整性大纲”。该大纲有五项基本任务，而其中有三项就与试验有关，每项试验任务均包含着极其复杂而周密的试验项目、试验目的、考核指标等，这充分体现了发动机试验工作的重要性。

记：既然航空发动机的试验这么重要，那试验时的分工是不是非常之细？

刘：对。从航空发动机各组成部分的试验来分类，可分为部件试验和全台发动机的整机试验，一般也将全台发动机的整机试验称为**试车**。部件试验主要有：进气道试验、压气机试验、燃烧室试验、加力燃烧室试验、尾喷管试验、附件试验以及零、组件的强度、振动试验等。整机试验有：整机地面试验、高空模拟试验、环境试验和飞行试验等。

如果将一台发动机的设计看作是一个足球队的训练和培养，那么部件试验就相当于对每个队员能力的测试。其中部件性能测试相当于队员足球技术和基本功的测试，如带球、控球、传接球能力等；而零、组件的强度、振动试验就相当于队员的体能测试，如12分

钟跑、往返跑等；发动机的各类整机试验则相当于全队的各种教学或模拟比赛，通过“比赛”来暴露和解决问题，而发动机一旦正式投入使用，就好比到了正式的比赛场上。“平时多流汗，赛时少流泪”，正如严格训练才能取得好成绩一样，只有以大量的试验为基础，才能保证发动机的各项指标满足设计要求，成为一个合格的产品。

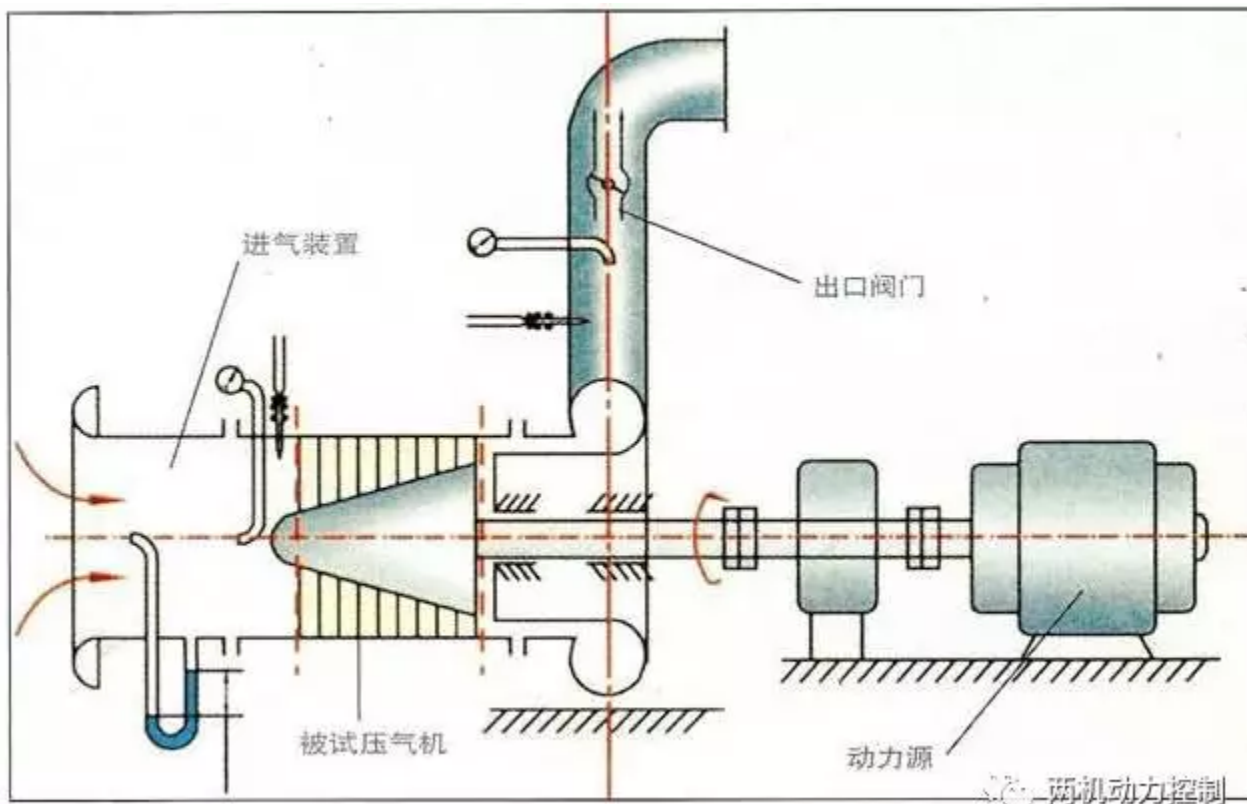
部件试验

记：从航空发动机各组成部分的试验来看，**进气道试验是如何进行的？**

刘：一般先进行小缩比尺寸模型的风洞试验，主要是验证和修改初步设计的进气道静特性。然后还需在较大的风洞上进行1/6或1/5的缩尺模型试验，以便验证进气道全部设计要求。进气道与发动机是共同工作的，在不同状态下都要求进气道与发动机的流量匹配和流场匹配，相容性要好。

记：进气道后的一个重要部件就是压气机，**压气机是如何进行试验的呢？**

刘：压气机性能试验主要是在不同的转速下，测取压气机特性参数，如空气流量、增压比、效率和喘振点等，以便验证设计，计算是否正确、合理，找出不足之处，便于修改、完善设计。具体来说，压气机试验可分为压气机模型试验、全尺寸压气机试验以及在发动机上进行的全尺寸压气机试验。压气机模型试验是用满足几何相似的缩小或放大的压气机模型件，在压气机试验台上按任务要求进行试验。全尺寸压气机试验是用全尺寸的压气机试验件在压气机试验台上测取压气机特性，确定稳定工作边界，研究流动损失及检查压气机调节系统的可靠性。在发动机上进行的全尺寸压气机试验是在发动机上试验压气机，主要验证部件间的匹配等。



压气机试验示意图

记：压气机试验后所进行的是什么部件的试验？

刘：压气机试验后所进行的是**燃烧室的试验**。这个试验在专门的燃烧室试验设备上，模拟发动机燃烧室的进口气流条件，包括**压力、温度、流量**，然后进行各种试验。主要试验内容有：燃烧效率、流体阻力、稳定工作范围、加速性、出口温度分布、火焰筒壁温与寿命、喷嘴积炭、排气污染、点火范围等。由于燃烧室中发生的物理化学过程十分复杂，目前还没有一套精确的设计计算方法。因此，燃烧室的研制和发展主要靠大量试验来完成。

与燃烧室试验有关的试验有：冷吹风试验、水力模拟试验、燃油喷嘴试验、燃气分析、壁温试验、点火试验。冷吹风试验是研究气流流经试验件时的气动特性和流动状态。水力模拟试验是根据流体运动相似原理，以水流代替气流，研究试验件内部各种流动特

性。燃油喷嘴试验是鉴定喷嘴的特性。燃气分析是对燃烧室燃烧后的气体的化学成分进行定性、定量分析。壁温试验是模拟燃烧室的火焰筒壁面冷却结构，对不同试验状态下的壁面温度和换热情况进行测量和分析。点火试验用来研究燃烧室点火和传焰性能。

记：除了燃烧室试验外，带加力燃烧室的发动机还有加力燃烧室的试验吧？

刘：是的。加力燃烧室的试验是研究加力燃烧室燃烧效率、流体损失、点火、稳定燃烧范围是否满足设计要求，以及结构强度、操纵系统与调节器联合工作等性能的试验。按设备调节可分为全尺寸加力燃烧室地面，高空模拟试车台和飞行台的加力试验。全尺寸加力燃烧室地面试验。

一般选用成熟合适的发动机作主机，以改型或新设计的全尺寸的加力室作试验件，进行地面台架状态或模拟状态试验。目的是确定加力燃烧室的性能及结构强度，为整机试验创造条件，缩短整机研制周期，在性能调整试验合格后再与原型机联试。加力燃烧室高空性能，如高空的推力、耗油率、飞行包线内点火和稳定燃烧的试验，则在高空模拟试车台和飞行台上进行。

记：最后一个大部件尾喷管的试验是如何进行的呢？

刘：尾喷管的试验是用全尺寸或缩尺模型尾喷管在试验设备上模拟各种工作状态，测取性能数据，考核尾喷管是否达到设计要求。尾喷管试验按试验内容又分为结构试验、性能试验。结构试验主要考验机械构件、调节元件、操纵机构的工作可行性。除用部件模拟试验外，还要在整机上对全尺寸尾喷管做地面试验、模拟高空试验及飞行试验。

其实除了以上主要部件的试验外，发动机部件试验还有很多，例如涡轮试验、附件试验、强度试验等。具体如叶片振动疲劳试验、叶片包容试验、涡轮叶片热冲击模拟试验、发动机超速试验、发动机超温试验、发动机低循环疲劳试验、外物吞咽试验、轮盘超转破裂试验等。

全机试验

记：部件试验完成以后应该就是整机试验了吧，整机试验是不是就相对简单一点了，现在只是把达到设计标准的部件整合在一起而已？

刘： 部件试验完了后就是整机试验，整机试验项目也很多。像整机地面试验、高空模拟试验、环境试验和飞行试验等，而且大多数时间很长，因此并不简单。首先说一下整机地面试验。**整机地面试验一般在专用的发动机地面试车台上进行，包括露天试车台和室内试车台两类，其中露天试车台又包括高架试车台和平面试车台。**发动机地面室内试车台由试车间、操纵间、测力台架和试车台系统等组成。试车间包括进气系统、排气系统和固定发动机的台架。对于喷气发动机，涡轮风扇发动机，台架还包括测力系统；对于涡轮轴和涡轮螺旋桨发动机则包括测扭系统。试车间内要求气流速度不大于10米/秒，以免影响推力的测量精度；进排气部分还要力求做到表面光滑，气流流过时流动损失尽量少。整机模拟试验完成以后就是高空模拟试验。



航空发动机地面试车台

记：高空模拟试验从字面上理解应该就是把发动机放置在空中进行，而不是在地面上进行，如果要把发动机放置于空中进行试验，应该会借助于专门的高空试验设备吧？

刘：简而言之，高空模拟试验就是在地面人工“制造”高空飞行条件，模拟飞行状态，例如飞行高度、飞行马赫数，以及飞行姿态，像攻角、侧滑角，使安装在地面上的发动机如同工作在高空一样，从而验证和考核发动机的高空飞行特性，所以高空模拟试验需要借助专门的高空试验设备——高空模拟试车台。

记：高空模拟试车台是一种什么样的试验设备？

刘：高空模拟试车台，就是地面上能够模拟发动机在空中飞行时的高度、速度条件的试车台，它是研制先进航空发动机必不可少最有效试验手段之一。高空模拟试车台是从飞机推进系统风洞逐步发展而来的。早在1928年，为了研究活塞发动机整流罩和短舱的阻力及冷却问题，美国就利用兰利机场的老式推进器研究风洞，对活塞发动机装置进行过开式吹风试验。为适应气冷活塞发动机的发展，美国于1943年在克利夫兰建成了世界上第一座真正意义上的发动机高空模拟风洞，模拟高度达到16000米，模拟速度达到225米/秒（810千米/小时），试验段直径6.1米，曾用于多种活塞发动机的高空试验。

记：为什么航空发动机一定要做高空模拟试验？

刘：随着飞机飞行高度、速度的不断提高，发动机在整个飞行包线，即发动机正常工作的速度和高度界限范围内的进气温度、压力和空气流量等参数有很大变化，这些变化对发动机内部各部件的特性及其工作稳定性，对低温低压下的点火及燃烧，对发动机的推力、耗油率和自动调节均有重大影响。另外，发动机在高空的性能与地面性能大不相同，影响发动机结构强度的最恶劣的气动、热力负荷点已不在地面静止状态条件下，而是在中、低空高速条件下，如中空的2.5~3.0马赫，接近地面的低空1.2~1.5马赫。

在这种情况下，发展一台新的现代高性能航空发动机，除了要进行大量的零部件试验和地面台试车之外，还必须利用高空模拟试车台进行整个飞行包线范围内，以及各种模拟飞行状态下的部件和全台发动机试验。美国国防部和NASA（美国国家航空航天局）联合调查组宣称，一个现代航空发动机的研制计划，在5~6年的周期中，高空试验要进行5000多小时，并要用3~4个试验舱。正因

为如此，从二十世纪四十年代中期开始，美、英、苏、法等国家，均不惜花费巨额投资，进行了大量的试验研究工作，这对迅速提高发动机研制水平起了重大作用。



航空发动机高空模拟试车台

记：从理论上讲，将新研制的发动机装在其将要配装的飞机上直接进行试飞，就可以在发动机的全部飞行范围内考核其性能，为什么不采取这样更简单、直接的办法？

刘：理论归理论，但实际上，这样做有很多问题。首先，新研制的发动机将要配装的飞机一般也是新研制的，将全新的飞机和发动机放在一起进行试飞，其风险是很大的，飞机和发动机的问题纠缠在一起，将使试飞中的故障诊断和分析过程变得十分复杂和困难，会严重影响研制进度；而且，一般情况下，飞机和发动机的研制进度和周期是不相同的，发动机的研制进度往往落后于飞机，会造成飞机和发动机互相等待、牵制的局面。

因此，一般采用新飞机加现役发动机首先试飞的办法，先解决新飞机自身的问题。而对于新研制的发动机，在装新飞机之前，一般需先装在飞行试验台或现役飞机上进行试飞，但由于飞行试验台或现役飞机的性能往往不能达到新飞机的性能，这就使新发动机的性能不能得到充分的验证和考核。而高空模拟试验则可以方便、灵活地改变发动机的进、排气条件，完全模拟发动机在整个飞行范围内的工作状况，甚至可以模拟超出飞行范围的极限情况，进行广泛的试验研究。这是其他任何飞行试验台所无法做到的。

记：高空模拟试车台可不可以模拟现实飞行中很难遇到的恶劣的环境条件？

刘：当然可以。恶劣的环境条件有两个方面的含义，一方面是指在实际飞行中不可能出现、但有关发动机规范中要求的环境条件。如我国《航空涡轮喷气和涡轮风扇发动机通用规范》规定，在发动机的某些试车阶段，要求发动机应在一定飞行高度和速度下可能出现的最大压力和温度下工作。事实上，实际飞行中，发动机进口的空气压力和温度值不可能同时出现最大值，但规范规定要在比实际情况更恶劣的条件下考核发动机。显然，这种现实中不可能出现的情况只能依靠高空模拟试验来达到。另一方面是指在实际飞行中可能会遇到、但很难在需要的时候出现的情况，典型的如地面高、低温和高原发动机起动加速试验。

我国幅员辽阔，地形和气候条件复杂，既有西部边陲号称“世界屋脊”的高原低压、低温气候，也有长江流域和南部沿海有“火炉”之称的高温、高湿气候。为了适应不同的飞行作战环境，保卫祖国的每一寸领土和领空，发动机就需要在高原、平原、海上和不同的气象条件下进行考核试验。但“老天爷”并不归发动机总设计师管辖，也不太理解发动机设计人员的艰辛和付出，不但不会在发动机试验最关键的时候助一臂之力，反而会与人们开一些大不小的玩笑。

如我国的某型发动机在定型试飞时，根据定型规范的有关要求，应在大气温度 $-54\sim+74^{\circ}\text{C}$ 、海拔高度 $0\sim4500$ 米的范围内完成发动机起动和加速试验。为了寻找合适的气候条件，几十个技术人员带着发动机，为了“三抢”，即抢高寒、抢高温、抢高原，飞遍了祖国的大江南北，转战20多个机场，行程数万千米，先后忙乎了5个多月，结果只在黑龙江某机场。“抢”到了 -23.4°C 的低温，在长沙“抢”到了 $+41^{\circ}\text{C}$ 的高温，在西北某机场“抢”到了海拔2840米的高原。可见如果没有高空模拟试验，仅仅靠“天”搞发动机是很困难的。

记：高空模拟试验还有哪些好处？

刘：好处还有很多。

第一、可以使发动机试验在更加安全的条件下进行。相比于飞行试验，在地面进行的高空模拟试验的安全性是不言而喻的。首先是人员的安全，至少不再需要勇敢的试飞员用生命去冒险；其次是发动机和设备的安全，在高空模拟试验中，一旦出现故障，容易发现和排除，也容易及时进行处理，完全可以防止机毁人亡的惨剧发生。

第二，可以提高试验水平。这主要体现在两个方面：一方面，高空模拟试验的发动机进口空气的压力、温度、流量等参数可以得到准确的控制，使试验可以多次精确重复，这对于发动机的故障复现和分析，对于研究孤立参数对发动机性能的影响等都具有重要的作用。而正如前面提到的，由于“老天爷”的不配合，要想在实际飞行中准确复现以前的工作状态几乎是不可能的。另一方面，由于受空间和重量等限制，在飞行试验中不可能采集和测量大量的试验参数，而在高空模拟试验中，由于没有这种限制，完全可以按照试验要求，自由地采集测量尽可能多的试验数据，并可以利用先进的数据处理系统，进行现场实时处理和分析，从而大大提高了试验水平。例如，通过发动机高空模拟试验一般可以测量1000~2000个稳态参数、200~400个动态参数，这是任何飞行试验所无法企及的。

第三，缩短新发动机研制周期，提高经济效益。高空模拟试验由于不受地点、天气、时间等因素影响，因而可以大大缩短试验周期，降低研制成本，提高经济效益。据英国的统计，两周的高空模拟试验工作量，相当于300次飞行试验。二十世纪五十年代，对于高空模拟试验和用飞机试验台进行试验还存在一些争议，当时正好英国在用“火神”轰炸机改造的飞行试验台进行某型发动机试验，因受试发动机着火而导致飞机坠毁，无奈之下，只好利用高空模拟试车台继续进行试验。本来计划要用几个月的时间来重复已在“火神”飞行试验台上进行1年多的试验项目，结果在英国国家燃气涡轮研究院第3号高空试验舱上只用了约1个月的时间就完成了全部试

验项目，其中还包括设备改装时间在内。也就是说，完成同样的试验项目，在高空模拟试验台上可以只用不到1个月的时间，而在飞行试验台上就需要1年多的时间，其间的差距和潜在的经济效益是显而易见的。这也是导致后来各国纷纷大力发展高空模拟试验设备的原因之一。

记：我国是否也建有高空模拟试车台？

刘：我国的航空发动机高空模拟设备的建设和高空模拟试验技术的研究，起步不算太晚。早在1958年就着手进行航空涡轮发动机高空模拟试验设备的建设；1959年曾与苏联协作，规划建设以航空涡轮发动机高空模拟试验设备为核心的航空发动机试验基地；1964年正式规划并着手建设大型连续式气源的航空涡轮发动机高空模拟试验设备，即高空模拟试车台。在当时特殊的政治环境下，1965年，选定在四川西部的秦岭山区建设了我国的SB101连接式高空模拟试车台。1995年，**SB101高空模拟试车台顺利通过国家验收，并与俄罗斯中央航空发动机研究院高空模拟设备的U—4H高空试验舱进行了对比试验**，完全可以满足我国现在和将来航空涡轮发动机研制和发展的需要。SB101高空模拟试车台的设备规模在世界上是继美、俄、英、法后居第五位，在亚洲目前是第一位，因此被称为“亚洲第一台”。



记：我国的高空模拟试车台建成后，在航空发动机的研制方面都有哪些贡献？

刘：SB101高空模拟试车台建成后，相继完成了多种航空发动机和部件、系统的设计定型试验、高空性能试验、高空鉴定试验、模拟高空飞行状态对比试验、进气畸变鉴定试验、飞行中使用故障分析研究与排除等模拟高空试验，并研究出一套比较成熟、实用的航空发动机高空模拟试验技术，在我国自行研制航空发动机的过程中起到了不可替代的重要作用。至今已完成P11-300、WP-7、WP-13AII、WP-13B、RD-33、WP-14、WS-10、推重比10—级的核心机等10多个机种的研究试验、排故试验和定型试验等任务，可以说，现在正在服役和即将服役的绝大部分国产发动机都曾先后在SB101高空模拟试车台上经受过高空模拟试验的严格考验，为我国航空动力装置的侧绘仿制、改进改型和自行研制作出了巨大的贡献。

环境试验，吞咽试验

记：高空模拟试验完成后，发动机的问题基本上已经暴露的差不多了，接下来应该就是装配到飞机上进行飞行试验了吧？

刘：还不是，接下来还要进行发动机环境试验和吞咽试验，这个完成以后才是飞行试验。**发动机环境和吞咽试验有很多科目，要考核发动机在恶劣环境条件下的适应能力**，像高低温起动和加速试验、环境结冰试验、腐蚀敏感性试验，此外还有吞鸟试验、外物损伤试验、吞冰试验、吞沙试验、吞入大气中液态水试验、吞入火药气体试验等，让发动机也尝尝“酸甜苦辣”的滋味，看看发动机的“肚量”(包容性)和“泼辣”(抗畸变)程度如何，最后还有噪声试验、排气污染试验等。

以上试验中，最有趣的还是吞鸟试验。随着飞机飞行速度的提高，鸟撞飞机事件不断增多，据美国空军统计，自1956~1973年发动机鸟撞112次。严重的鸟撞事故会引起飞机失事，例如1975年，一架DC-10民航机在纽约起飞失事，就是与一群重约1.82千克的鸟相撞，使CF6发动机全部风扇叶片损坏，并与环氧树脂屏板摩擦导致失火爆炸。加拿大空军因鸟撞事件损失了10架CF-104飞机。1985年，印度斯坦航空公司的一架波音747客机在飞越喜马拉雅山脉时，与一只在高空飞行的成年老鹰相插，造成发动机起火爆炸，飞机坠毁，导致200余人死亡的重大空难事故。

记：做吞鸟试验时，对鸟有什么特殊要求吗？

刘：撞入发动机的鸟类范围很广，按重量分类，一般分为大鸟(2千克以上)、中鸟(1千克左右)、小鸟(50~100克)三类。为避免鸟撞发动机造成影响飞机飞行安全的事件，航空发动机在设计中均采用了一系列抵抗鸟撞造成机件严重损伤的措施。为验证所采取的措施是否可行，在发动机研制中，一定要进行鸟撞试验。试验中，中、小鸟群撞入不应破坏发动机的结构完整性，也不应停车，但会引起短暂的(1~2秒)推力下降或压气机不稳定，大鸟撞入发动机应能安全停车且不发生危及飞机安全的发动机故障。试验方法则有静态单独叶片撞击试验、单个旋转叶片撞击试验、全部旋转叶片撞击试验。

画中画

00:00/00:00

下载视频

倍速

大家都在看

AES100发动机双发配装直升机首飞成功，我国民用涡轴发动机自主研发迈出坚...

用腾讯视频观看

民用航空发动机吞鸟试验。

记：您刚才提到的静态单独叶片撞击试验、单个旋转叶片撞击试验、全部旋转叶片撞击试验，它们具体是如何进行的？

刘：静态单独叶片撞击试验成本最低，是用火药枪或气枪将与射人，打在一块静态叶片的叶尖处，鸟撞速度要超过音速，然后看鸟撞后对叶片的损伤程度。单个旋转叶片撞击试验，通常以自由落体的方式打入模拟鸟，降落速度约为4米/秒，模拟真实情况下鸟撞后对叶片离心力的影响。经过单个叶片静止和旋转试验考验后，便可以进行发动机吸鸟性能的全部旋转叶片撞击试验了，这个试验是用气枪把鸟射入，要考察是否有导致叶片断裂的裂纹，并用高速摄影机摄下撞击过程。

记：除了以上三项试验外，还有其他试验吗？

刘：完成上述各种预先试验对所研制叶片之抗鸟撞强度、工作性能的变化特性和安全问题的考核之后，便可以在发动机上进行吸鸟试验，目的在于验证：是否会产生喘振等现象；产生喘振后发动机能否自动退出喘振，恢复正常工作状态；从喘振产生到发动机恢复正常工作期间，发动机推力，转速等主要工作参数随时间的变化情况，鸟撞所引起的二次破坏，例如叶片变形、脱落等情况；发动机包容性是否满足设计要求，即脱落的叶片或大鸟的残骸是否会打穿发动机机匣而危及飞机安全，以及由于风扇叶片局部变形而引起发动机性能变化等。

发动机吸鸟试验用鸟必须是真实禽类，试验的鸟由压缩空气炮按一定速度、一定的位置射向工作中的发动机。由于现代飞机的巡航高度一般在8000米以上，很少有鸟类能飞到如此高空中，因此发动机吞鸟事故一般发生在中低空，尤其在机场附近，即飞机的起飞和降落过程中。由于在起飞过程中飞机的迎角很大，速度不快，高度不高，需要发动机处于最大推力状态才能保持稳定飞行姿态，此时一旦因为鸟撞造成发动机的推力下降，哪怕只有十几秒，都会造成严重的后果。

因此，鸟撞试验时发动机一般应处于最大推力状态，以模拟起飞的情况，并需要用不同大小的鸟类，在不同的径向位置射入，从接近发动机轴线的中心位置一直到接近发动机机匣的外部位置，以模拟实际鸟撞情况。试验时，除用高速摄影机摄下撞击过程外，还

需记录整个试验过程中的发动机参数变化情况，并在试验后分解发动机，分析鸟撞的后果和各部件，尤其是风扇叶片的结构变形情况，为评估发动机的结构完整性和改进设计提供依据。

飞行试验

记：有了以上各种试验，为什么还要做飞行试验？

刘：由于地面模拟试验的局限性，新研制的发动机尽管经过了大量的部件试验、台架整机试验和高空模拟台试验，在装原型飞机试验之前，为了安全起见，特别是对一些危险试验项目，仍需要在飞行试验台上进行不同飞行高度、速度、飞行姿态和不同大气条件下的飞行试验。实际上，飞行试验有飞行试验台试验以及装在相对型号上的飞机上的试验两种。

记：飞行试验台所选用的飞机有什么特殊要求？

刘：飞行试验台一般是用大型多发飞机改装而成，例如俄罗斯用伊尔-76大型运输机改装而成的飞行试验台，将左翼内侧的发动机拆掉，换成要试验的发动机，飞机内部则装上相应的各种发动机工作参数测量装置，成为一般地面试车台的测试间，所以，从某种程度上讲，飞行试验台是可以飞行的发动机试车台。



飞行试验台一般是用大型多发飞机改装而成，图为伊尔-76运输机改装的飞行试验台，左翼内侧发动机已被拆掉，成为发动机试验舱（圈中所示）

记：发动机飞行试验的项目都有哪些？

刘：飞行试验台试验项目主要有：发动机空中起动；应力应变测定；冷却、防冰系统试验；喘振试验；滑油系统可靠性检查；以及发动机的高度、速度特性测定等。

记：但最终发动机还是要装到配装它的飞机上进行飞行试验。那么，此时的飞行试验是如何进行的？

刘：飞行试验台虽能真实地测出发动机在各种高度、速度下发动机的工作参数与工作状态，但它受到飞行试验台所用飞机性能的限制，不能超越该飞机的飞行范围，特别是对用于高空、高速战斗机的发动机，局限性更大。因此，最终一定要在装配它的飞机上进行大量试验，以获得飞机的全面性能，暴露发动机以及飞机上与发动机有关的组成部分的设计缺陷与问题，并在试飞中不断改进、完善。

在用配装的飞机做发动机飞行试验时，对于新型双发战斗机，一般是先用一台现有成熟的发动机及一台新研制的发动机装在飞机上进行试飞，然后再装上两台全为新研制的发动机进行试飞。一般这种在用新研制的发动机的飞机上进行的飞行试验通常要进行5~8年或更长的时间，例如，美国的F-22战斗机于1997年9月7日首飞，1998年2月5日交付美国空军进行飞行试验。1999年7月20日，美国空军首次进行了超音速巡航，以马赫数高于1.5的速度飞行了2小时。经过了漫长的飞行试验后，直到2003年初才开始向美国空军交付两架生产型飞机，供美国空军作为培养飞行员及维修人员用的教学飞机。所以说，发动机的研制，仅从其各种试验来看就是一项漫长而复杂的工程。

记：谢谢刘院士的解答，让我们了解了这么多关于发动机试验的知识。

来源：《兵工科技》2008年11月19日



(欢迎加微信小编号：gtc6000；QQ群：455757118；微信群：两机动力控制，加小编微信号后拉入群，QQ群中有大量学习资料)




两机动力
China Turbine

两机动力控制致力于航空发动机和燃气轮机两机动力领域，包括行业动态和技术发展。


分享

请点击右上角按钮在弹出的菜单中选择  或  分享

订阅

请点击右上角按钮在弹出的菜单中选择  查看公众号并订阅

关注

请在通讯里点击添加  图标搜索 **两机动力控制**



两机动力控制官方公众帐号：GTC2006

喜欢此内容的人还喜欢

【行业新闻】中国工程院院士刘大响：航空硬科技和软服务两手都要硬

两机动力控制

海运价格暴涨10倍，冲击全球化产业链，加大美国通胀压力，对我们有什么影响？

大白话时事

美女说话更管用？比美貌更好用的「有效请求」法，让你真·有求必应！

BeTheBeauty

波音777坏掉的发动机为什么还在转?

航空制造网 2月24日

以下文章来源于航空知识，作者航小北的日常科普



航空知识

风上风云，云端故事。

最近两年对于航空业来说，可谓坎坷不断。北京时间2月21日，波音生产的777客机发生严重的事故。

当地时间2月20日下午，一架美国联合航空波音777客机升空后不久，飞机右侧的发动机外壳碎裂并且开始起火燃烧，飞机随即返航，幸好没有酿成重大事故，很快美联航和日本就决定禁飞所有777。



↑发动机正在燃烧的波音777客机↑

事故中的一处细节

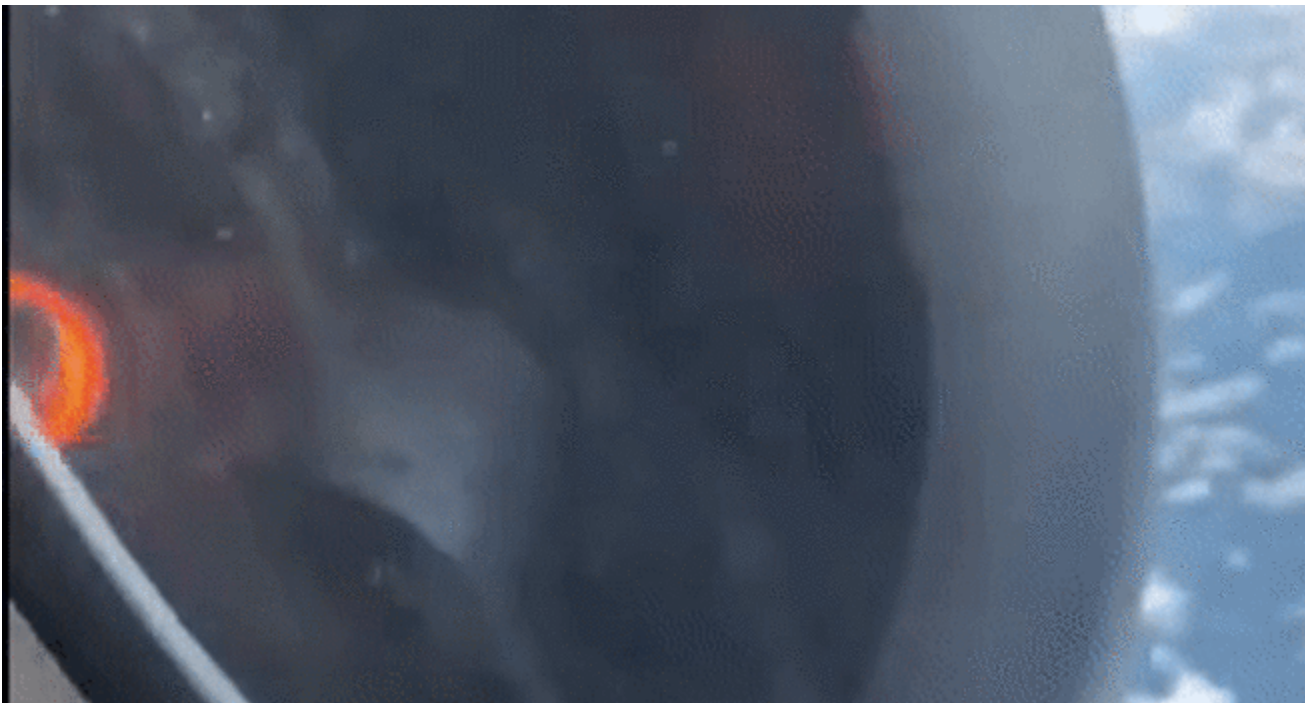


当然了，这次出事并不是波音公司的锅，而是应该把重点放在这款PW4000发动机上。事故原因还在调查中，我们今天先来讲讲其中一个“不引人注意”的技术细节。不知道大家注意没有，下图就是当时乘客拍摄的事故发动机的视频，视频中除了可以看到面目全非的发动机和熊熊燃烧的火焰之外，一个引人注目的地方就是这台发动机中的转子居然一直在转动。



↑熊熊燃烧的发动机依然在转动↑

而且不仅仅是这次的发动机事故，诸如2019年7月份的达美航空DL1425号航班事故，同样是发动机发生了严重故障故障，而根据机上乘客拍摄的视频，你同样可以看到发动机中的转子依然在转动。



↑2019年达美航空事故中依然在转动的发动机↑

难道飞行员胆子这么大吗？都已经发生这么严重的事故了，怎么还能让发动机在那儿转动？这是怕发动机坏的还不够彻底？你还别说，这让发动机“转起来”还真就是故意的，甚至于不转都不行，必须要转。

发动机的风车状态



当然，这里说的让发动机“转起来”，不是给发动机推力、让它继续转动，而是让它进入一种叫做“风车状态”的模式。

我们知道，当飞机在高速飞行的时候，相对飞机而言，气流是高速从前往后流动的。而发动机最前面的大风扇就好像一架风车一样，静止的风扇在这股气流的吹动下，发动机的转子就会转动起来，而这种状态就叫做风车状态。



↑民用大涵道比涡扇发动机的风扇结果↑



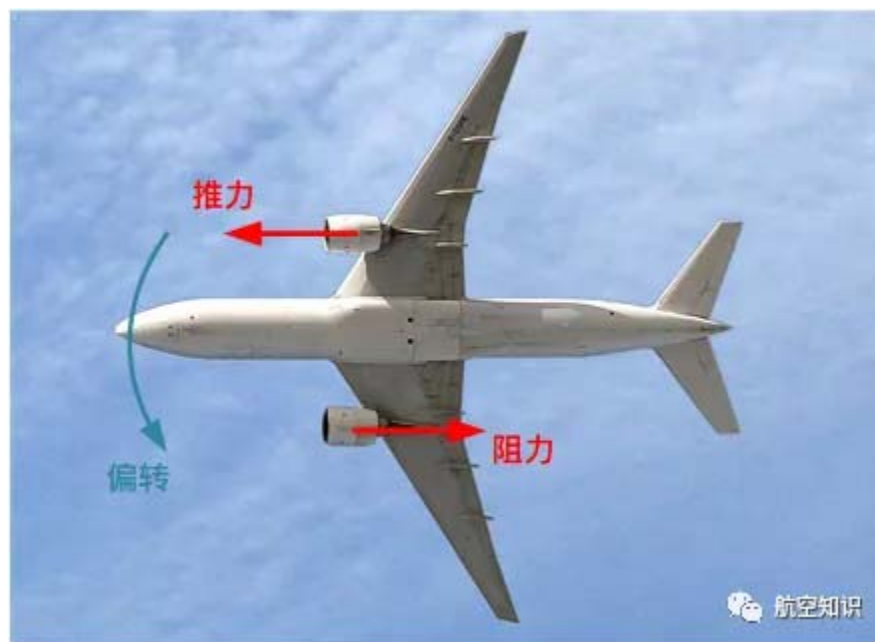
↑风吹动下转动的风车↑

而上面说到的发动机事故中，发动机就是进入了风车状态，这个时候发动机已经完全失去了自主动力，是在空气的驱动下才转动起来的。

而之所以在发生事故之后，要让发动机进入风车状态，原因很简单：因为只有转子转动起来、进入风车状态，失去动力的发动机才能够把阻力降到最低。

要知道，飞机的发动机一旦故障，产生的效应不仅仅是没有推力那么简单，更重要的是，不仅没有推力了，直径那么大的发动机反而是很大的阻力。

像波音777这样的只有两台发动机的客机，一旦一台发动机失去动力，那么一台发动机有推力、另一台发动机有阻力，就必然会让飞机受到一个很大的力矩作用，这样飞机就会变得很难操作，降低飞机安全迫降的可能性。



↑单发失效之后的波音777科技↑

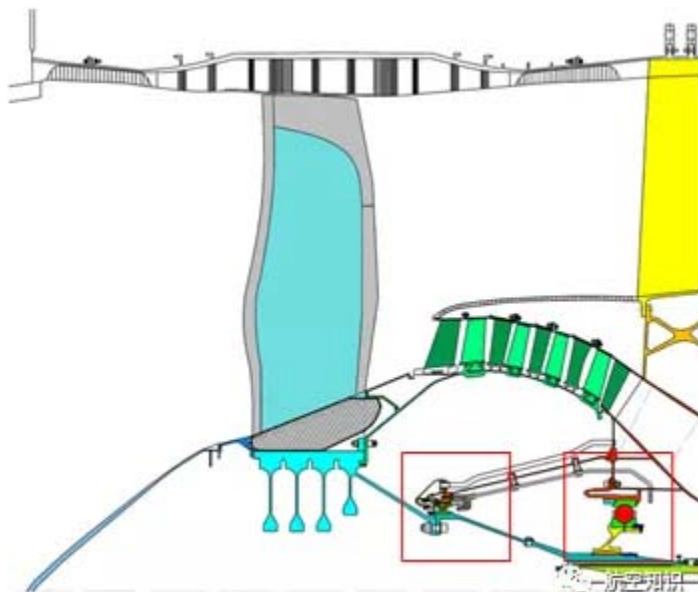
所以，在发动机发生故障之后，一定要让发动机进入风车状态，因为风车状态，转子的转速会远远低于正常的工作转速，不会造成发动机进一步的损伤，而且可以尽可能地降低发动机产生的阻力，让飞机可以正常着陆。

发动机的安全性设

计

可千万不要小看这个“风车状态”，事实上它涉及到一个非常新的航空发动机设计技术，叫做“安全性”设计。简单说，这种设计要求，当发动机遇到非常罕见的事故之后，一定不能阻碍飞机的正常飞行，所以这种设计不是说让飞机或者发动机不坏，而是顺着我们设计好的方式坏。

比如说著名的GE90发动机，这台发动机巨大的风扇后有两处轴承来约束风扇的转动，那么请问，这两处的支承结构是设计更不容易坏好呢？还是更容易坏好呢？



↑GE90发动机风扇后的两处轴承↑

你一定会想：那还用说嘛，当然是越不容易坏越好，最好是造的特别结实，不管你怎么折腾绝对不坏才最好。

但是安全性设计可不是这么想的。

中国工程院院士刘大响：航空硬科技和软服务两手都要硬



每日经济新闻

发布时间: 09-06 10:32 每日经济新闻官方帐号, 优质财经领域创作者

昨日(9月5日), 第三届“空中丝绸之路”国际合作峰会在北京国家会议中心举行。作为2021年服贸会期间航空业唯一一场品牌论坛, 会议主题聚焦“空中丝路引领临空经济高水平开放”。

峰会主论坛期间, 中国工程院院士、航空动力专家刘大响表示, 我国的航空发动机正处在从改进改型向自主研究转型升级的关键时刻, “中国航空发动机集团公司成立以来已经突破了多项关键技术, 我们有多个型号, 有了重大的进展, 这是一个非常好的消息。”

此外, 刘大响表示, 航空科技和服务的发展水平是一个国家综合国力的集中表现之一, 也是国家安全和强国地位的重要战略保障, 航空硬科技和航空软服务要坚持两手抓、两手都要硬的方针。

作者最新文章

莆田发布重要通告! 在莆人员原则上非必要不离开本市

格力新手机曝光, 王自如加盟后首款产品! 面板颜色罕见! 支持5G, 高通芯片加持

早财经 | 工信部要求各平台限期解除屏蔽网址链接问题; 雷军与一汽集团深度洽谈合作事宜; 国药集团正在研发两款新冠特效药

相关文章

西安的阎良区还有没有发展空间?



“航空+”西部陆海新通道发布 成都开放新平台闪耀“东博会”



观察 | 环沪“群狼”竞逐, 太仓“大器晚成”?



中国工程院院士刘大响演讲 图片来源: 主办方提供

每日经济新闻

举报/反馈



[百度首页](#)

[登录](#)



发表

专访中国工程院院士刘大响：实现“天涯若比邻”离不开航空发...



“低慢小”航空器飞行管控通告



【先锋】为了装上“中国心”的大飞机翱翔蓝天——李继保

上海经信委 7月12日



新时代前景光明壮丽，新征程奋斗未有穷期。当前，我国进入新发展阶段，正向第二个百年奋斗目标进军，为更好地激励上海市经济信息化系统的广大党员和各级党组织在上海产业和信息化高质量发展中奋勇争先，在创造上海城市数字化转型的新征程中建功立业，我们将集中展示市经济信息化系统全国和上海市优秀共产党员、优秀党务工作者和先进基层党组织的风采，进一步推动形成“比学赶超”的生动局面和浓厚氛围，努力创造无愧于党、无愧于人民、无愧于时代的业绩，努力提升上海城市软实力，为上海的经济和社会发展作出新的更大贡献！

为了装上“中国心”的大飞机翱翔蓝天

李继保

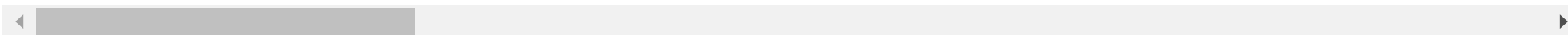
(上海市优秀共产党员)



李继保同志现任中国航发商用航空发动机有限责任公司科技委主任、某型航空发动机总设计师，是我国航空发动机设计专业专家、航空发动机研发领域的领军人才。他始终将习近平总书记关于航空发动机的重要指示批示作为新时代振兴航空发动机事业的科学指引，作为航空发动机自主研发的重要思想武器和制胜法宝，作为攻坚克难、奋力前行的根本准则，矢志不渝为国产大飞机装上“中国心”。



纪录片《大国重器》



滑动查看更多

坚定政治担当 勇挑历史重任



主持召开公司项目会

给大飞机装上“中国心”是三代中国航空人的梦想，这个梦想正在新一代中国航空工程师手中走向实现。

产品研制谋发展 某型发动机研制是我国民机研制中的重要研制工作 李继保在验证机研制工作基础上开展型号研制

勇创新的突破。自主研发研制是我国民航业初下的重大研制工作。李继保在担任研制工作全面工作开展主导研制工作，目标完成满足国产大型客机动力需求的大涵道比发动机产品的研制，并获得型号合格证。

技术攻关求突破。作为一名27年党龄的党员和科技工作者，面对国家重大工程和历史重任，李继保带领团队逢山开道、遇水架桥，奔着同一个目标，大力协同，勇于战胜一切风险挑战。已取得重要进展，实现我国民用发动机技术平台、关键核心技术、自主研发能力从无到有的重大跨越。

方案优化促提升。李继保带领团队一直在超负荷运行，记不清论证了多少个方案、解决了多少个难题，经历了多少次评审，过着“6+1、白加黑”的生活，最终经过多轮优化迭代形成初步总体性能与结构方案，以实际行动践行共产党人的初心使命。

运用科学方法 确保目标达成





在试验一线工作

飞机发动机被誉为现代工业皇冠上的明珠。一款新型航空发动机的研发周期比飞机整机更长，世界上仅有美国、俄罗斯、英国、法国能够自主研制。

作为总负责人，他面对我国航发技术落后的局面，与团队同志一道，自力更生、艰苦奋斗，一路攻克种种技术难关，完成了包含初步设计阶段方案设计、多台份核心机工程设计在内的100余项设计任务，圆满完成整机、核心机、主要部件等重点试制试验任务。

作为总设计师，他在国内首次自主研制的民用大涵道比涡扇发动机项目中坚持对标国际标准，按照高起点开展产品研制工作，保证产品具备市场竞争力；坚持“市场观、客户观”的价值导向，始终瞄准客户价值与市场需求，强化自主研发、正向设计的理念；坚持项目团队密切联系客户，结合民机市场化特点，与客户进行多轮管理和技术对接，持续做好客户需求对接工作。

作为总带头人，他发挥项目研制的引领作用，带领项目团队做到型号研发与体系建设同部署、同推动，通过型号研制过程持续验证完善体系工具方法，大力推进仿真设计手段应用，推进设计、制造、试验等环节研发数字化转型，初步建成了我国民用航空发动机系统工程自主研发体系。

践行初心使命 发挥灯塔作用





试验前与青年员工亲切交流

中国的目标是打造航空动力的强劲“中国心”，在发动机设计、制造、试验及相关材料研制等方面全面布局，形成中国航空动力研制和生产的完整产业链。

在李继保的主持下，项目团队按照“小步快跑”原则，统筹规划验证机与原型机各批次研制工作。开展关键技术攻关与试验验证的过程，就是我国民用航空发动机设计、制造与试验全过程，整个团队在这过程中基本完成技术积累，积累了宝贵工程研制经验。

在李继保的带领下，团队坚持开放合作、资源整合。来自全国9个主要制造基地的200多家供应商参与这型民用航空发动机的研制，形成全国大协作格局。团队项目关键技术上积极推动国际合作，利用国外高端智上海提升关键部件

发动机的研制，形成全国大协作的格局。围绕项目关键难点积极推动国际合作，利用国外高端智力资源提升关键部件研制技术水平，加快补齐关键技术短板。

在李继保的感召下，团队党员积极发挥先锋模范作用，拼搏进取、砥砺奋斗，在重大专项技术和项目管理中作出了突出贡献。以型号研制为牵引，大力培育具备工程实际研制经验的高素质研发队伍，培养出各类技术研发、制造、试验、测试等专业人才，初步打造了一支政治坚定、素质精良、作风优良的航空发动机研制生产“国家队”，为我国建设成为航空强国奠定了坚实的组织基础和人才保障。

欢迎转发，但请注明出处“上海经信委”

如何关注“上海经信委”？——点击右上角按钮“…”，查看官方账号，点击关注，了解上海最新产业发展和信息化建设最新情况

觉得不错请点赞！

长按二维码关注我们



上海经信委

上海市经济和信息化委员会

使用最新版抖音扫码，加我好友



要知道，一旦发动机发生故障，一般最先出问题的就是轴承，而轴承一旦抱死，就意味着转子无法再转动，但这个时候发动机的转动还有巨大的惯性，所以可能直接造成断轴，这样的话涡轮就会飞转，很容易引发更严重的事故。另外，轴承抱死之后，发动机就不能进入风车状态了，同样会给飞机的迫降造成严重的威胁。

所以安全性设计就要求，这两个的支承结构一定要相对容易坏一些，这样一旦发生事故，只要轴承抱死，那么巨大的旋转惯性会把整个风扇后面的支承结构给“拧断”，这样转子反而能够“自由”了，不会造成更严重的事故。

不要看就是这么一个小小的细节，背后的考虑，实际上远比你想象的复杂得多，也反直觉得多。

来源：航空知识

这里有：

- ① 先进制造技术
- ② 全球航空企业动态
- ③ 技术论坛与会议预告



喜欢此内容的人还喜欢

世界最大的军火商，如何奠定美国的霸主地位？

航空制造网

逢折扣就要回购的好物，单身的、当妈的都说得有！

每天只种一棵草

6只软嫩系唇釉，深唇都能变浅唇！

深夜发媿