

北航校长徐惠彬，航空发动机非常科普

航空发动机为什么难造？北航校长道出答案...

石墨烯联盟 5月6日

<https://mp.weixin.qq.com/s/epO2gN xuQq23UNtn08No6w> 01 北航校长：让航空发动机叶片穿上祖国的衣服



航空发动机被誉为工业皇冠上的明珠，是一个国家工业实力的集中体现。航发是典型的资金密集型和技术密集型产业，门槛相当高，具有独立研制先进航发的国家更是很少，就拿印度来说，印度研发卡佛里涡扇发动机花了25年，砸了33亿美元，设计指标一降再降，却始终拿不出成果。

世界范围内，英、法、俄罗斯、乌克兰能算得上是航发强国，而实力最强的还是美国——三大航发巨头中的普惠与GE都来自美国。具备研发、制造和生产航空发动机的国家一般都不轻易出口自己的技术，只出口发动机成品，有的甚至连维护都需要送回原产国。金粉们有没有想过，为什么航发这么难造？说不定从下文中你能得到答案.....

01 北航校长：让航空发动机叶片穿上祖国的衣服

视频时长10分53秒，建议WiFi观看



航空涡轮风扇发动机

而这其中最重要的结构是压气机、燃烧室和涡轮，这三个结构部件组成了发动机的核心机。喷气式发动机主要的功率输出流程都是在核心机中实现。

一台航空发动机从纸面的设计数据到最终装机服役需要一个漫长的研制过程。

这其中包括了最初的论证到方案，再到进行技术验证的工程研制阶段，之后才能设计定型，最终生产定型、投入批量生产。



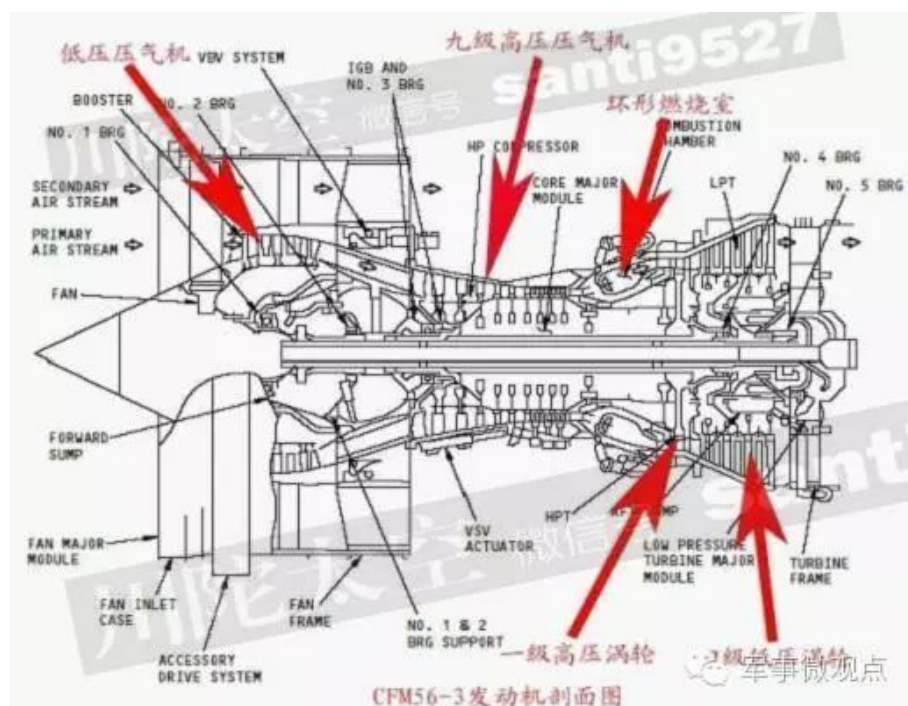


航空发动机研制周期过程和主要任务

目前大部分航空发动机都是属于燃气涡轮型，民用客机的发动机突出的安全性和可靠性，而军用发动机在这个基础上还追求更大的推力，以及开加力时的最大推力。由此可见，航空发动机领域中最强者必然是军用航发，而军用发动机算是人类科技的巅峰之作。具备研发、制造和生产航空发动机的国家一般都不轻易出口自己的技术，只出口发动机成品，有的甚至连维护都需要送回原产国。

(1) 复制拆解难

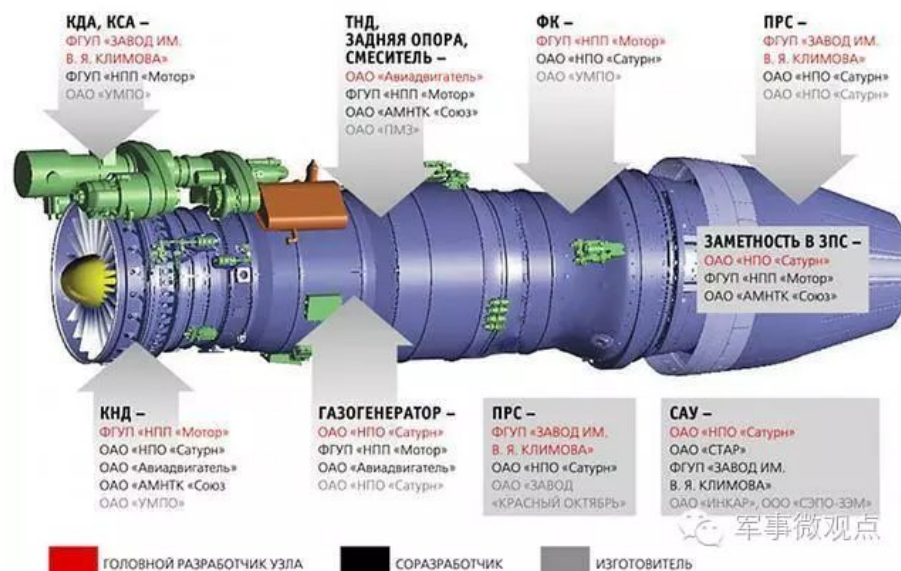
航空发动机难以制造的特点首先体现在复制拆解难，一款汽车、航空器的外形可以通过反向测绘进行复制，汽车就不用说了，复制起来更是信手拈来。航空器外形复制也是有的，比如图-160和B-1B轰炸机，但发动机的复制如果没有图纸介入，那根本是不可能的。比如目前波音737客机上使用的主流发动机CFM-56系列发动机，从1974年首次运转到今天，一共生产了超过2万台，波音、空壳主打的单通道客机几乎都用了。



拆解CFM-56时就会发现，发动机叶片上指甲盖大小的地方覆盖着许多小气孔，如果没有图纸定位，完全没法对其进行复制。一旦气孔打的位置不对，会直接影响叶片散热，那么复制品的整体性能就下降了。GE公司凭借CFM-56的技术基础，研制了覆盖各种机型使用的发动机，与普惠展开直接竞争。

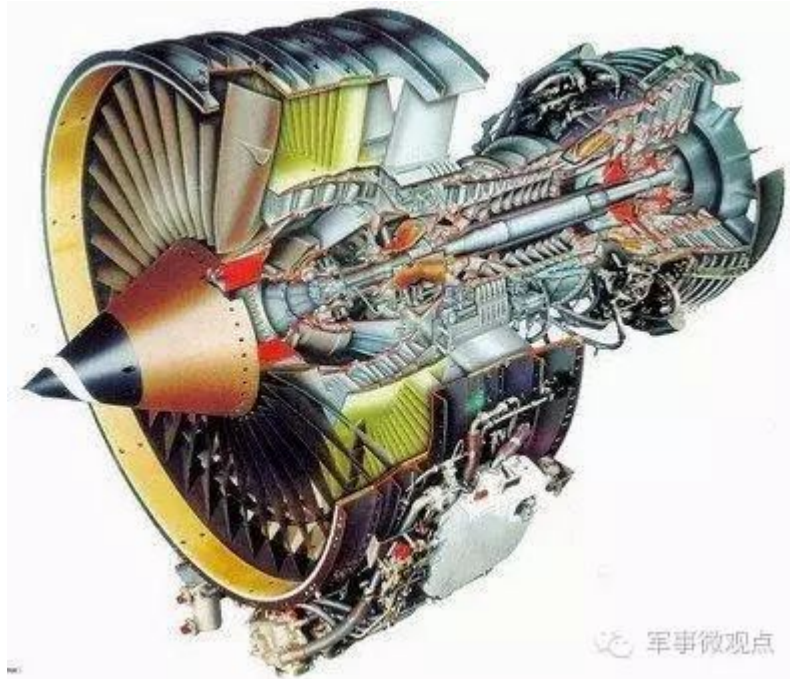
(2) 材料制造难

航空发动机其实也很简单，以经典的CFM-56发动机为例，包括低压压气机、九级高压压气机、一级高压涡轮和四级低压涡轮，中间还有一个环形燃烧室。但是就是这些结构，工作的温度、压力环境不一样，就说明其使用的材料是不同的。以涡轮叶片为例，工作环境上千摄氏度，一分钟数万转，使用多种金属混合制造，而且比例也各不相同。



因为在靠近燃烧室的叶片承受的温度较高，材料也得耐高温，稀有金属元素的比例就不一样。如果全部使用统一耐高温材料，那么单价就高了，经济性就差，对于商业化运营的民用客机发动机最好是又便宜又好用。

同理，除了涡轮叶片之外，发动机各个部件所用的材料也是不一样的，波音737使用的CFM-56发动机涡轮为高温合金打造，其他部分有的使用了复合材料。目前比较流行的是树脂基复合材料，普惠的F-119外涵道机匣就用这个材料，可耐400摄氏度温度，而成本也可以得到控制。



(3) 加工精度高

如果有了先进的材料和图纸，也不代表能够制造出一台优秀的航空发动机，因为加工工艺是最后的拦路虎。一台CFM-56发动机的风扇直径仅为1.55米，长度为2.5米，如此小的空间内要产生86千牛的推力，可想而知其加工工艺有多么复杂。

从小的方面看，以目前主流单晶涡轮叶片为例，精铸工艺要求是0.1毫米的误差，这样才能保证每个叶片都可以正常工作。

要让各种合金材料放在一起加工，就需要掌握高温合金的加工技巧和焊接工艺。同时，发动机转子、叶片在工作时处于高速运转，工艺不到家就意味着发动机磨损很快，寿命不长，直接影响经济性。

工艺的高要求同时也促进航空发动机运行的效率，还是以叶片为例，GE公司搞了一种无缝对接式叶片，在发动机叶片外端有一个特殊材料制成的软体，在叶片工作时可与外环结构无缝对接，提高发动机的工作效率。这样的软质材料对加工工艺的要求是非常高的，不仅要保持稳定性，还要经济、不用太多的保养。不然提高发动机效率的同时，也加重了地勤的负担，在经济帐上表现不够明显。

综上，从逆向测绘、材料和加工工艺角度看，航空发动机应该说是工业工程领域的皇冠，是一国科技实力的标识。

03 大飞机发动机研制，究竟难在哪？

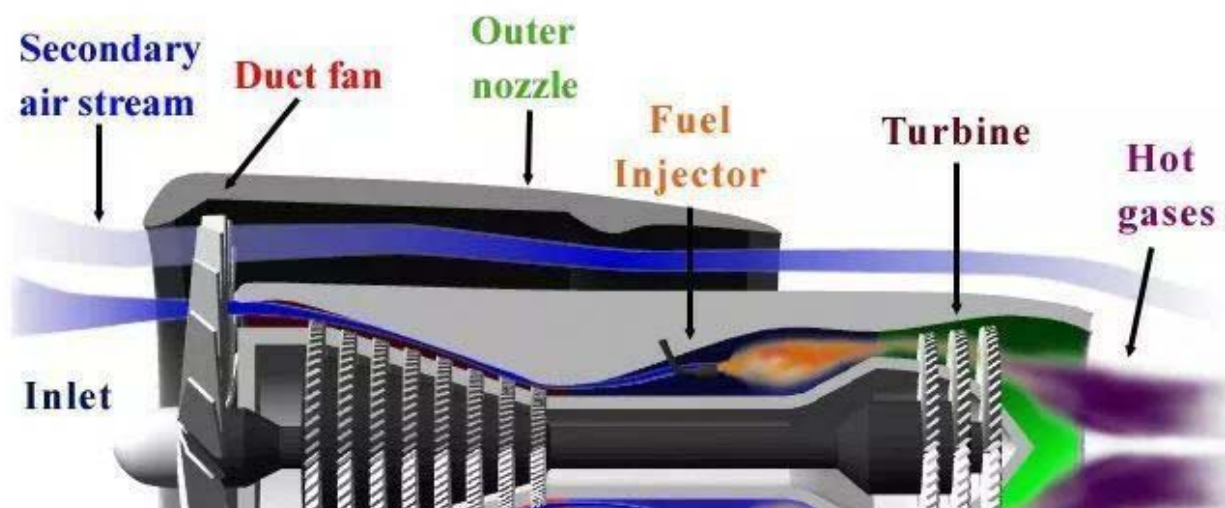
我们再来看看，航发内部结构到底有多复杂：

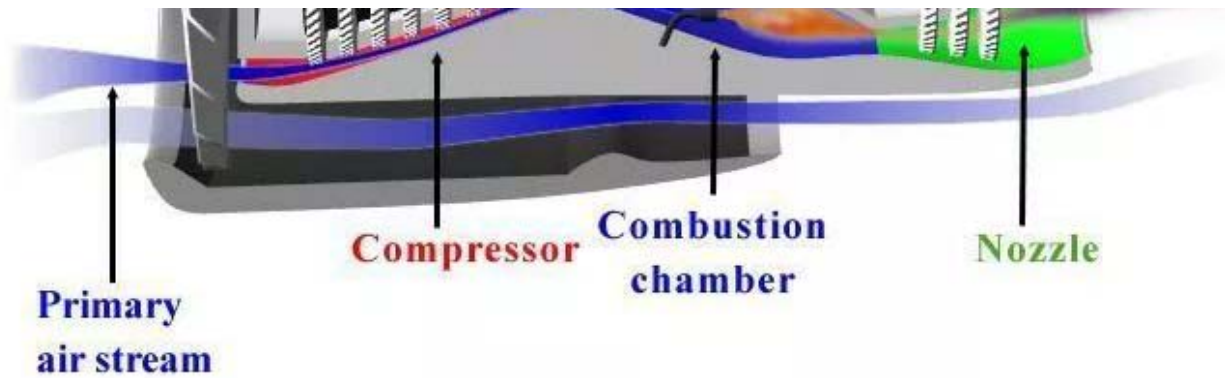
视频时长2分4秒，建议WiFi观看



为什么中国要造民用航空发动机这么困难呢？这就不得不提到现代喷气式发动机的两个研制难点，第一是控制，第二是材料。

1. 控制问题





涡扇发动机发动机气流控制

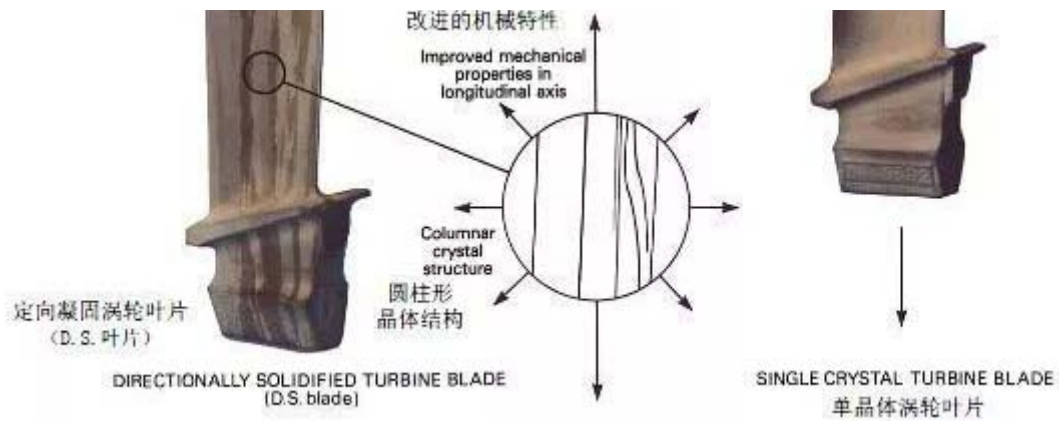
喷气式发动机的控制主要分为两个方面，第一是压力的控制，第二是温度的控制。

例如，如何提高高压压气机出口的压力，从而提高压气机的增压比？如何提高从尾盘口排出燃气的温度和压力，从而使发动机具有更强劲的推力？如何降低低压涡轮的排气温度，从而提高发动机的整体效率？如何防止发动机的喘振？

这些都需要科研人员无数次的改进气动热力方案和无数次的试验去探索。如果这些问题解决不了，就会影响发动机工作状况，造成结构损坏和空中停车等严重状况。

2. 材料问题





涡轮叶片的成形工艺和晶相结构

涡轮始终工作在极端的高温高压条件下，严苛的环境对其材料制造工艺有着非常苛刻的要求。

目前国际上主流的涡轮叶片主要采用粉末冶金工艺制造的空心叶片，叶片内部的空心结构有着特殊的走向和构型。而且为了避免分体铸造造成的应力集中和结构缺陷，叶片和叶盘要求一次性铸造成型，具有很高的工艺难度。

除了涡轮之外，涡轮风扇发动机的宽弦叶片的制作也需要很高的工艺。

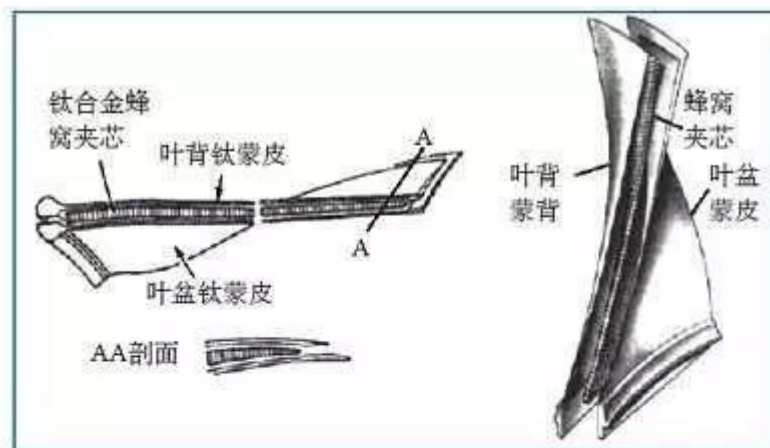


图3 蜂窝夹层结构的宽弦风扇叶片^[1]

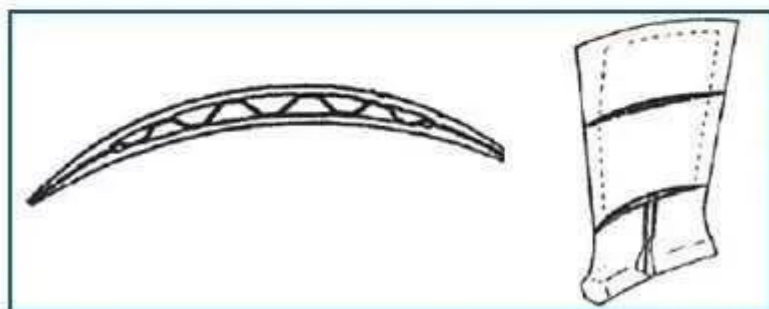


图4 扩散连接/超塑成型的宽弦风扇叶片^[1]

宽弦叶片成形工艺

例如减轻重量、增加强度而设计的叶盆/叶背钛蒙皮和钛合金蜂窝夹芯的叶片结构。

除此之外，用扩散连接/超塑成形的宽弦风扇叶片也是一种难度很高的成型工艺。



空心挖孔叶片

这种叶片利用两层钛合金之间夹装一层波浪形的加强结构，在减轻重量的同时也能提高整个风扇叶片的强度。

最后，以珠海航展上的国产矢量发动机作结，它是冉冉新星，也预示着我国航发的光明未来。

视频时长3分41秒，建议WiFi观看



声明

转载此文是出于传递更多信息之目的。若有来源标注错误或侵犯了您的合法权益，请添加小编微信联系（右方二维码为小编微信），我们将及时更正、删除，谢谢。



点击进入“2019中国国际石墨烯创新大会”小程序

重点关注

- ▶▶免费参加石墨烯大会的攻略！
- ▶▶石墨烯圈，也是一个江湖……
- ▶▶《2018全球石墨烯产业研究报告》火热订购中！（内附目录）
- ▶▶9102了，这组数据您需要知道