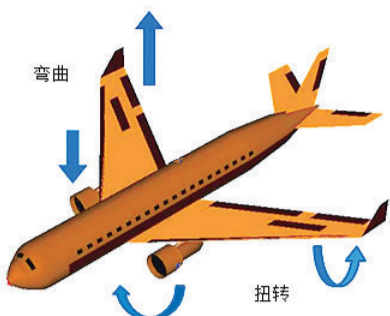


发动机是如何“装”到飞机上的

中国航发研究院基础与应用研究中心 冯建文

发动机“装”哪里？



▲翼吊发动机的“卸载”作用。

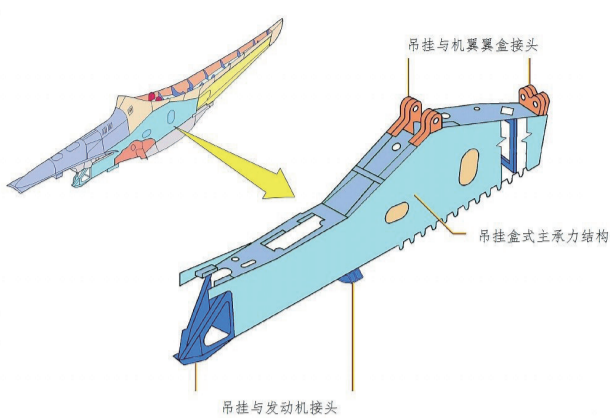
自从波音707客机首创发动机翼吊方式以来，翼吊式布局已成为发动机的“标准”方式，这一现象是大涵道比发动机不断发展进步的结果。

翼吊方式最大的优点是可以利用发动机的“卸载”缓解机翼受力。空气对机翼升力使得机翼向上弯曲，而翼吊发动机的重量使得机翼向下弯曲，缓解了机翼上弯。机翼一般向后掠，机翼气动升力同时还会使机翼发生下俯的扭转，而发动机推力会使机翼发生上仰的扭转，抵消了气动力产生的扭转。

翼吊发动机也简化了燃油管路的布置，飞机的燃油是储存在机翼以及中央翼盒内部的，发动机可以就近获取燃油。

翼吊发动机通常将发动机安装在靠近翼根的位置，单发失效时推力的不平衡作用被降低，但是，离机身太近会削弱“卸载”作用同时又导致发动机喷流灼烧机身。发动机一般挂在机翼前方，机翼通过吊挂像“挑扁担”一样挑着发动机，发动机离机翼太近会发生流场互相干涉，而发动机离机翼距离太远又会加剧吊挂受力。所以发动机吊点的位置需要经过气动设计、结构布置、强度部门共同确定。

吊挂



▲吊挂主要结构。

吊挂用于直接传递发动机的重力和推力，是飞机上受力最严重的构件。吊挂通常由高强度钛合金或者合金钢制成并采用盒形梁的结构形式，具有较高的强度和刚度。

吊挂承受了如此巨大的载荷，但是其强度也不是越高越好，在飞机发生坠撞的时候，为了防止发动机失火或者转子飞转危及乘客安全还需要采取发动机应急分离措施。可见，吊挂既需要在正常飞行状态下“hold住”发动机，又需要在紧急状态下断掉以保护乘客，所以其设计制造十分复杂。

进气罩/风扇罩

进气罩与风扇罩都属于气动面，需要提供光滑的外形降低飞行时空气阻力。进气罩还需要引导外界空气较为均匀地流入发动机并通过在罩壁上布置的噪声吸附材料降低噪声水平。风扇罩需要遮挡发动机附件管线避免其暴露在气流冲击下影响寿命。

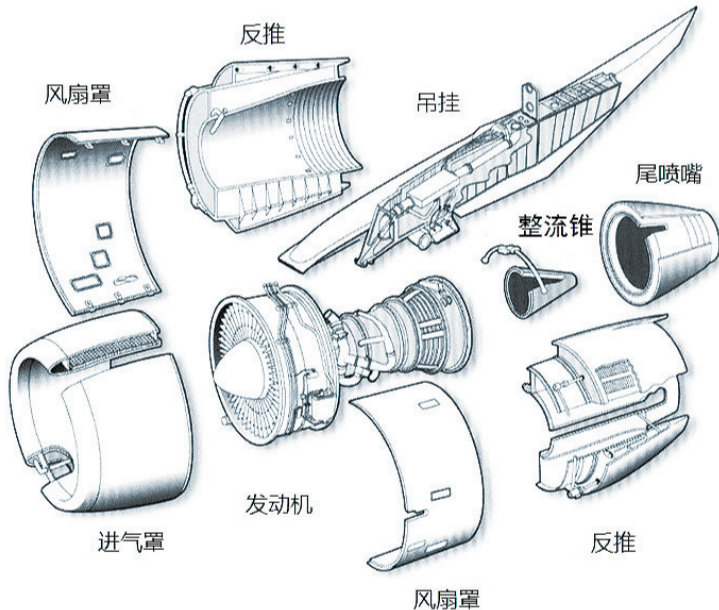
进气罩的截面形状一般为圆形，但是波音737的短舱例外。这是因为波音737飞机起落架高度较低，为了安装直径较大的发动机而不至于影响离地净空迫不得已才把短舱“拍扁”的。



▲波音737飞机短舱。

发动机怎么“装”

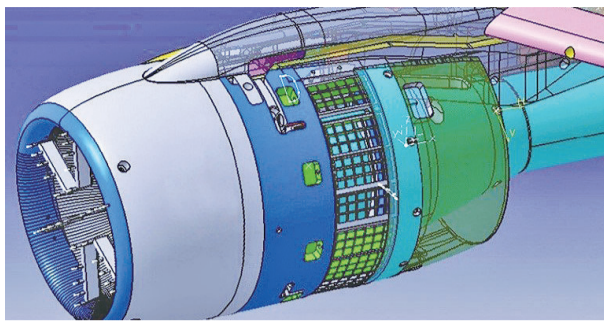
发动机通过短舱—吊挂系统安装在机翼翼盒上，为飞机提供动力。短舱—吊挂系统如下图所示，主要包括进气系统、吊挂、反推以及排气系统几个子部件。



▶短舱—吊挂系统。



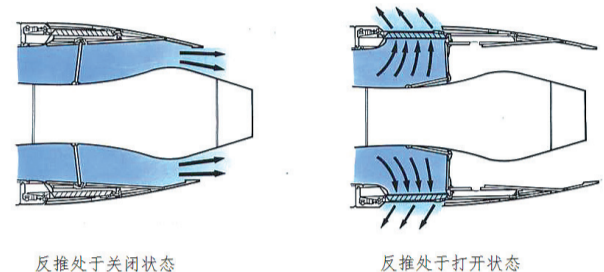
▲A330飞机可选装的三种发动机的喷管（左：遼达700；中：PW4000；右：CF6）。



▲阻流门式反推。



▲铲斗门式反推。



反推处于关闭状态

反推处于打开状态

▲阻流门式反推工作原理。

反推

反推是使飞机降落时减速、减小降落滑跑距离的一种辅助装置。反推使发动机部分气流向前排出达到减速的效果。客机降落的瞬间有较大的噪声发出就是反推打开造成的气流噪声。反推的形式包括铲斗门式、蛤壳形门式、阻流门式等种类。现代客机最常用的是阻流门式反推装置。

阻流门式反推装置有一个类似百叶窗的排气格栅以及一个类似推拉门的滑动罩。飞机在飞行过程中滑动罩处于关闭状态，空气向后排出产生正常的推力。当飞机降落反推打开时，作动筒推动滑动罩漏向后滑动带动一个活门堵塞外涵道，迫使外涵道气流通过排气格栅向前排出使飞机刹车。阻流门式反推装置只能改变外涵道气流方向而内涵道气流仍然向后排出，但是由于运输类飞机均使用大涵道发动机，大部分推力由外涵道气流产生，阻流门式反推大致能使推力的70%转变为反推力。

反推装置虽然原理简单，但是设计时有很多细节需要特别注意。例如，需要采取措施防止反推装置在飞机起飞或者飞行途中误打开，历史上曾经发生过多次反推误打开导致的空难。此外，两台发动机的反推展开时还需要有同步机构保持两侧反推的打开协调一致，否则飞机由于推力不平衡会造成事故。所以反推装置涉及到气动、机械、液压、控制等多个专业的协作。

对于需要在跑道长度有限的野战机场降落的运输机，反推装置则是必不可少的。

排气系统

涡扇发动机内涵道排出的高温高速气流与外涵气流的低温低速气流混合能带动外涵排气进一步加速膨胀，提高推进效率。根据气流混合位置的不同可以将排气系统分成混合排气和分开排气两种。

混合排气的发动机整流罩向后延伸得较长，内外涵气流在发动机整流罩内完成混合向外排出，而分开排气的发动机整流罩较短，内外涵气流在整流罩外混合。空中客车A330飞机装备了三种发动机，分别为罗罗遼达700发动机、普惠PW4000发动机以及赛峰CF6发动机。其中遼达700发动机采用了混合排气喷管而另外两种发动机则采用了分开排气喷管，CF6发动机尾部还加装了一个整流罩，这三种发动机的排气装置对比如左图所示。

混合排气的排气装置推力较高气动噪声较低，但是较长的整流罩带来了额外的重量且较重的整流罩不利于布置阻流门式反推装置。

最“个性”的喷管当属波音787客机的锯齿形喷管，这种喷管具有噪声抑制的功能，是波音787客机最明显的特征。

目前，高空长航时无人动力类型包括涡扇发动机、涡桨发动机、带涡轮增压的涡轮—活塞组合发动机以及燃料电池和太阳能动力等。

例如，美国的“全球鹰”等以侦察任务为主的先进高空长航时无人机均选用涡轮风扇发动机作为其动力装置；“死神”MQ-9无人机则采用涡轮螺旋桨发动机；以色列“苍鹭”无人机，采用涡轮增压活塞发动机，已经可以满足高原无人机大多数使用要求。

如何使高空长航时无人机飞得更远、更久、更稳，仍然是当前和今后无人动力装置的重点研究方向。增材制造、先进复合材料等技术的发展均为未来无人机发动机的发展提供了更多可能性。（陈轲）

舰船动力用燃气轮机市场究竟有多大？



美国海军LHA-8气垫登陆舰。



LM2500系列燃气轮机。



MT30燃气轮机。

燃气轮机的发展代表着国家重大装备制造业的总体水平，是国家高新技术与科技实力的重要标志之一。目前，世界上只有美、英、俄、德、法、日等少数国家具备独立研制燃气轮机的能力。而舰船燃气轮机具有尺寸小、重量轻、功率大、机动性好、效率高、运行平稳、操作简单、维护方便和工作可靠等诸多优点，因此其发展速度很快，装舰数量与日俱增。燃气轮机直接影响军用舰船的总性能指标和战斗力。世界军事强国都对舰用燃气轮机的发展特别关注并予以专门支持。

为什么要用燃气轮机

1947年，英国研制的G1燃气轮机在英国皇家海军MGB2009高速炮艇上试装成功，揭开了舰船燃气轮机发展的序幕。20世纪60年代末，英国和美国等国家陆续做出“舰船以燃气轮机做动力”的历史性决策。之后，英国、美国、俄罗斯等国家开始大力发展舰船燃气轮机，并广泛应用于各种舰船上。

尽管舰船燃气轮机研制起步较晚，但由于航空技术发展很快，至今舰船燃气轮机已发展了3代。目前，主要海军强国的舰船燃气轮机系列均已发展得非常完善，效率已超过了40%，单机功率超过了40000kW。

对国内外舰船燃气轮机发展趋势的研究表明，舰船燃气轮机走航机改型的发展道路已经取得了共识，航改燃气轮机在大、中型水面舰船动力装置中已处于主导地位，成为世界各国海军装备现代化的重要标志之一。

随着对舰船吨位性能和舰船吨位级别要求的提高，舰船燃气轮机越来越朝着大功率、高效率、低排放的方向发展。如MT30、WR-21、LM2500+G4等，这些应用广泛的舰船燃气轮机均是航改型，特别是随着舰船全电力推进系统的发展，对燃气轮机的功率等级提出了更高要求。

另外，3MW以下小型燃气轮机在军用或军民两用舰船动力系统中也具有较大的优势。MTU航空发动机公司的TF40小型燃气轮机是3MW级舰船燃气轮机的典型代表。

燃气轮机都被用在哪些舰船上

航改燃气轮机被广泛用作大、中型水面舰船的动力装置，成为世界各国海军装备现代化的重要标志之一。

（高端装备发展研究中心）

微小型燃气轮机突破多项关键技术

近日从安徽省发改委获悉，微小型燃气轮机研发与产业化重大新兴产业专项项目已突破多项关键技术，取得积极进展。

安徽省微小型燃气轮机研发与产业化重大新兴产业专项研制的100kW级、1MW级和4MW级微小型燃气轮机产品，由中科院合肥微小型燃气轮机研究院有限责任公司承担。目前该项目已突破高效、高压比的离心压缩机设计方法与制造技术、双级离心压缩机工程设计与试验验证、双级离心压缩机试验台设计建设及试验件研制、紧凑回流环燃烧室工程设计与试验验证等多项关键技术。100kW级燃气轮机已完成样机采购加工和整机调试，已加工完成10套整机样机，正在进行可靠性试验；50Hz、90kW燃气轮机电源已研制完成。1MW级燃气轮机已完成各部件的加工和试验，完成整机性能试验，整机性能指标满足要求，已通过中科院知识创新工程重要方向项目验收。4MW级燃气轮机已完成燃气发生器与动力涡轮整机集成装配，正在开展燃气轮机整机试验台建设并投入使用。产业化步伐也在不断加快，已与北京中航智公司开展100kW无人直升机动力应用合作，正在进行项目对接。（辛文）

飞得更远，更久，更稳

——浅析高长航时无人机动力

在2017年度国家科学技术奖励大会上，来自北京航空航天大学“长鹰高原型远程无人侦察机系统”摘得国家科技进步一等奖。与去年多个航展上亮相的“翼龙”等无人机一样，“长鹰”也属于高空长航时无人机（HALEUAV）。目前，HALEUAV一般指飞行高度大于18千米，巡航时间不小于24小时的无人机。由于这种无人机的飞行时间特别长，甚至一度被人称为“大气层人造卫星”，它非常适用于高技术局部战争中的情报侦察和监视任务，在我国现代化发展进程中具有重要战略意义。

高空长航时无人机主要用于执行侦察和传感任务，甚至被要求具有察打一体化的能力，集侦察和打击敌方目标等能力于一体，如我国的“翼龙”无人机等。这些任务都要求HALEUAV运行、维护工作量少且可快速部署。因此，HALEUAV的动力装置必须具有良好的可靠性，良好的燃油经济性，稳定的高空工作能力良好的爬升能力。发动机的重量要轻，寿命要长，运行和维护成本要低。

侦察、传感和打击等多任务对无人机载荷提出了更高要求，要求无人机发动机提供更多的电力。短航程飞机一般在6000米至9600米高度飞行，长航程飞机一般在8000米至12600米高度飞行，高空长航时无人机的飞行高度更高。

随着高度的增加，空气的密度和压力都大大降低，当高度达到24千米时，空气的密度和压力只有海平面的1/30左右。涡轮发动机为了达到更高的增压比就必须增加压气机的级数，活塞发动机也必须采用涡轮增压器，这样会大大增加无人机的重量，因此需要研究重量轻、效率高的压缩系统。同时，增压比增大空气的温度比低空更高，空气密度的降低使雷诺数减少，空气的热容量减小，严重影响了发动机的对流换热，导致发动机散热相对低空更加困难，对发动机的冷却提出了更高要求。发动机分出更多的功率用于电力驱动，空气密度大大降低进一步增加了压气机喘振裕度的负担，使高空工作的发动机压气机稳定性受到更大挑战。