

# LEAP-X发动机和Tech-X发动机先进技术分析

## Advanced Technology Analysis of LEAP-X Engine and Tech-X Engine

西安航空动力股份有限公司 李杰  
中航发动机有限责任公司 巨亚斌



李杰

高级工程师,主要从事外贸技术与管理工作。

LEAP-X发动机和Tech-X发动机采用和融合了众多创新性先进技术和先进材料。发动机的核心机均由“eCore”核心机技术发展而来。本文就LEAP-X发动机和Tech-X发动机的性能指标和先进技术创新做一概括性分析,供相关人士参考。

LEAP-X发动机采用和融合了众多创新性先进技术和先进材料。发动机的核心机均由“eCore”核心机技术发展而来。本文就LEAP-X发动机和Tech-X发动机的性能指标和先进技术创新做一概括性分析,供相关人士参考。

LEAP-X发动机作为A320neo的动力,为其展示了良好的市场前景。

2009年6月,在GE公司位于俄亥俄州Peebles的室外试验台,对LEAP-X发动机的风扇和压气机进行首次测试(安装在现有的CFM56-5C发动机上)。2011年1月宣布完成了发动机叶片飞出包容性试验。试验于2010年12月在位于巴黎附近维拉罗奇的公司研发中心进行,试验时使一片或数片叶片断裂,验证发动机含18片叶片的三维复合风扇和复合风扇机匣的包容性,之后继续运转一段时间,模拟着陆的过程。

2011年5月开始eCore2核心机的试验。eCore2核心机采用10级高压压气机和2级高压涡轮,同时采用贫油、低污染TAPS燃烧室。公司计划2012年运转第三台核心机,恰好赶在第一台LEAP-X1C整机2013

### LEAP-X和Tech-X发动机的研制

#### 1 LEAP-X发动机的研制进展<sup>[1-3]</sup>

LEAP-X发动机是CFM国际公司LEAP56计划研究成果的实际应用。早在2008年,CFM国际公司预测波音和空客会在2012年分别推出波音737和A320的后继机型,并实施更换发动机的计划,进而将LEAP-X发动机的取证时间定为2016年。由于中国C919大飞机选择LEAP-X发动机为唯一指定外方发动机和空客公司宣布选择

LEAP-X发动机是CFM国际公司研发的新一代发动机。Tech-X发动机是GE公司正在研发用于超远航程公务机的新一代高涵道比涡扇发动机。

CFM国际公司研发LEAP-X发动机的目的是将其作为CFM56发动机的替代型发动机。而GE研发Tech-X发动机的目的是将其作为CF34发动机的替代型发动机。

LEAP-X发动机和Tech-X发

年初试验之前。

2011年第一季度完成先进三维编织树脂模传递成型(3-DW RTM)风扇以及复合材料机匣的5000循环的耐久性试验。同时,采用MASCOT风扇的验证机在2010年和2011年将会再累计将近400h试验时间。

LEAP-X发动机的首款应用型LEAP-X1C发动机在2012年进行验证型发动机试车,并争取在2016年取证,随A320neo投入商业运营。

## 2 Tech-X发动机的研发进展

Tech-X发动机的研发始于2009年,当时庞巴迪公司正在研制新型超大航程大机舱公务机——庞巴迪环球7000和庞巴迪环球8000,并为其选择动力装置。2010年10月庞巴迪公司宣布,选用GE公司正在研制Tech-X发动机作为庞巴迪环球7000和庞巴迪环球8000公务机的动力装置。

Tech-X发动机的核心机由LEAP-X发动机的核心机技术发展而来,采用了贫油燃烧室和52英寸(1320mm)金属风扇整体叶盘,如此大尺寸的整体叶盘在发动机中应用尚属首次。风扇整体叶盘的应用大大改进了风扇的整体气动性能。工程试验用核心机的测试始于2010年,eCore2核心机采用10级高压压气机和2级高压涡轮于2011年制造完成并开始试验。按GE目前的计划,Tech-X发动机整机预计在2013年完成组装,于2014年开始进行相关测试和取证,预计2015年取证,而装配Tech-X发动机的庞巴迪环球7000公务机将于2016年投入运营。2011年5月16日,Tech-X被重新命名为Passport。

## LEAP-X发动机和Tech-X发动机的推力级别和结构特点

LEAP-X发动机的推力级别为20000磅~30000+磅(89~134kN);而Tech-X发动机的推力级别为

10000磅~20000磅(44~89kN)。

LEAP-X发动机的涵道比约为(10~11):1;Tech-X发动机的涵道比约为6.5:1(推测值)。LEAP-X发动机和Tech-X发动机均为双转子结构。

LEAP-X核心机拥有8级压气机、1个单级高压涡轮和先进的第二代双环预混旋流器燃烧室。是美国GE公司“eCore”发动机核心机研发项目的首次应用。它的结构更简单紧凑、重量更轻,压气机和涡轮承载能力更强、效率更高;发动机的调节和控制系统更先进。按CFM公司的传统,LEAP-X发动机仍由斯奈克玛公司负责开发与GE研制的核心机相配套的低压部分,包括进气道、风扇、低压压气机、低压涡轮、附件机匣和调节系统等。

与LEAP-X发动机的风扇不同,Tech-X发动机风扇的结构为整体叶盘,风扇整体叶盘为金属制造。低压压气机为3级轴流式。高压压气机为10级轴流式。燃烧室为环形贫油低污染燃烧室。高压涡轮为2级轴流式。低压涡轮为4级轴流式。

LEAP-X发动机和Tech-X发动机为一体化设计的推进系统(IPS-Integrated Propulsion System),包括了发动机短舱和反推系统。LEAP-X发动机和Tech-X发动机未来的发

展将与其他型号航空发动机的研发道路相同,会逐步形成系列化,将根据不同的用途推出不同推力级别的衍生型号。

## LEAP-X发动机和Tech-X发动机创新性技术

### 1 LEAP-X发动机创新性技术概述

LEAP-X发动机采用了许多行业内领先的创新性技术,包括超高压比核心机、采用三维编织树脂模传递成型技术制造的复合材料风扇叶片、复合材料风扇机匣、第三代三维气动设计压气机和涡轮叶片设计技术、第二代双环预混旋流器(TAPS II)燃烧室技术、可变面积外涵喷管和先进材料等。发动机和短舱将作为一体化推进系统设计,拥有先进的进气道、声学处理和电动反推力装置,可以充分发挥其气动性能、重量和声学优势。图1是LEAP-X发动机部分创新性关键技术示意图<sup>[1,4-6]</sup>。

### 2 Tech-X发动机创新性技术概述

在Tech-X发动机的设计中也融入了众多先进的创新性技术,如:直径尺寸达52英寸(1320mm)的风扇整体叶盘、复合材料风扇机匣、复合材料风扇后导向器、三维气动设计的高压缩比压气机,先进的环形贫油低污染燃烧室、三维气动设计涡轮叶

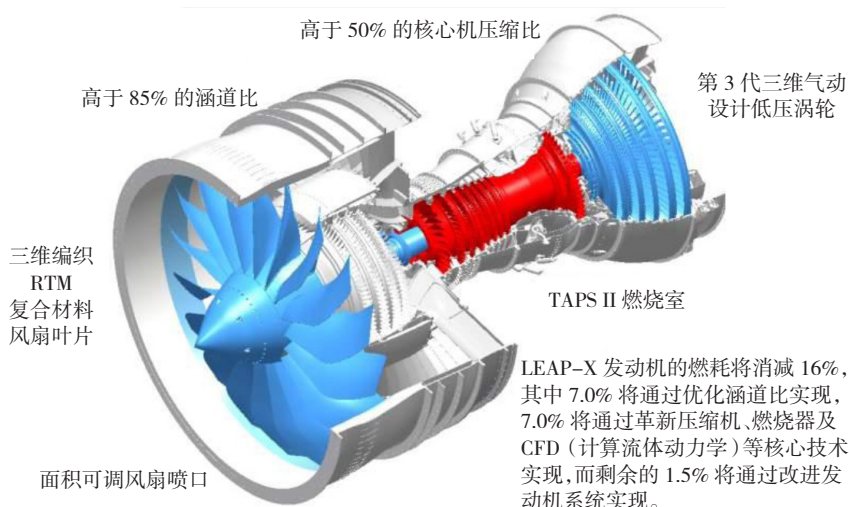


图1 LEAP-X发动机部分关键创新性技术示意图

片、大量使用复合材料的发动机短舱等。发动机和短舱作为一体化推进系统设计,拥有先进的进气道、声学处理和电动反推力装置,可以充分发挥其气动性能、重量和声学优势。图2是Tech-X发动机部分创新性关键技术示意图。

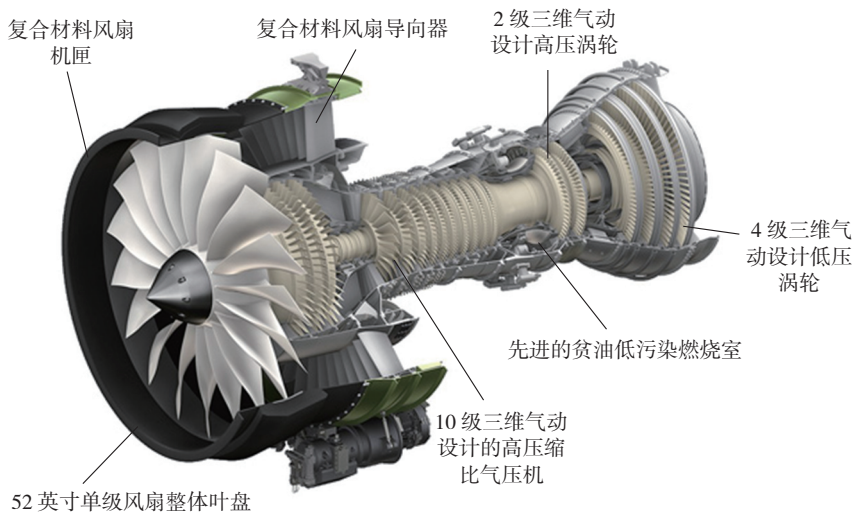


图2 Tech-X发动机部分先进的创新性技术示意图

## LEAP-X发动机和Tech-X发动机创新性技术对比和分析

### 1 LEAP-X发动机和Tech-X发动机的风扇<sup>[1-3,6-8]</sup>

LEAP-X发动机的风扇为先进碳纤维复合材料风扇叶片,可以有效降低噪声并提高推进效率。LEAP-X的风扇叶片数量为18片,直径为1.8m,总重为76kg。为了大幅度地减重,LEAP-X发动机的风扇叶片边缘将采用钛合金,叶片本身为采用三维编织树脂模传递成型技术制造的复合材料风扇叶片(见图3)。这项采用碳纤维及特殊的制造工艺的革新型技术制造出了免维护、耐久性极高的风扇叶片。试验结果表明,应用该技术制作的叶片不仅重量轻,而且结构牢固,抗大体积鸟撞击能力强,制造成本却相对较低。

与LEAP-X发动机的复合材料风扇不同,Tech-X发动机的风扇采用的是金属制造的整体叶盘,并且达

到了破纪录的52英寸(1,320mm),是Tech-X发动机的创新性设计。风扇的叶形为弯曲前缘后掠大流量宽弦叶片,这为风扇整体叶盘的制造增加了难度,但保持了好的气动性能和高抗外来物打击的能力。在GE已披露的报道中仅说明Tech-X发动机

扇的气动性能更好,气流损失更小。

### 2 复合材料风扇机匣<sup>[1-3,6-8]</sup>

与GENx相同,LEAP-X发动机和Tech-X发动机也采用了复合材料风扇机匣。复合材料风扇机匣包容性能及强度均优于金属机匣,而且不会被腐蚀、便于维护。复合材料风扇机匣为发动机带来的减重效果也十分明显。

### 3 超高压比核心机<sup>[1,6-8]</sup>

LEAP-X发动机和Tech-X发动机的核心机均为超高压比核心机。LEAP-X发动机核心机的压比是目前CFM发动机的两倍,拥有8级压气机、1个单级高压涡轮和先进的第二代双环预混旋流器燃烧室。是美国GE公司“eCore”发动机核心机研发项目的首次应用。

Tech-X发动机的核心机拥有10级压气机、2级高压涡轮和先进的贫油低污染燃烧室。是GE公司“eCore”发动机核心机研发项目除LEAP-X发动机的核心机外的再次实际应用。

Tech-X发动机的高压压气机与LEAP-X发动机相同都是采用了三维气动设计的高压缩比压气机。

LEAP-X发动机和Tech-X发动机核心机的结构更简单紧凑、重量更轻,压气机和涡轮承载能力更强、效率更高;发动机的调节和控制系统更先进。

### 4 可变面积风扇外涵喷管<sup>[1,6-7]</sup>

LEAP-X发动机和Tech-X发动机均采用了可变面积风扇外涵喷管。通过调节发动机外涵道的面积,控制外涵气流速度,在不同飞行状态下都可使发动机始终处于最佳工作状态,同时还可以有效降低噪声和振动。

除此之外,Tech-X发动机的风扇出口导向器也采用了复合材料,将复合材料在发动机上的应用又推向了一个新高度。

### 5 先进贫油低污染燃烧室<sup>[1,4-5]</sup>

在目前GE发布的关于Tech-X发动机的报道中,虽然都称Tech-X



图3 三维编织树脂模传递成型(3-DW RTM)复合材料风扇叶片

的风扇整体叶盘为金属制造,推测其为钛合金的可能性最大,而该风扇整体叶盘的制造工艺采取线性摩擦焊工艺的可能性也最大。由于采用了整体叶盘结构,Tech-X发动机的风

发动机的燃烧室是先进的贫油低污染燃烧室,并没有明确采用的是第二代双环预混旋流器燃烧室,但 Tech-X 发动机的核心机由 LEAP-X 发动机的核心机发展而来。

由于 LEAP-X 发动机的燃烧室为先进的第二代双环预混旋流器燃烧室(TAPS II)是随着 GE 公司低排放燃烧室技术的发展而演进出来的。LEAP-X 的 TAPS II 燃烧室的氮氧化物排放量比 CAEP/6 的标准低 50%。

而 Tech-X 发动机的氮氧化物排放量要求将比 CAEP/6 的标准低 50%,或不少于 50% 的余度。由此可见 Tech-X 发动机的燃烧室应与 LEAP-X 发动机的燃烧室相类似,同属双环预混旋流器燃烧室,而双环预混旋流器燃烧室就是先进的贫油低污染燃烧室中的代表之一。

在结构特点上,TAPS 燃烧室燃油喷嘴的主燃级燃油喷射采用的是气动雾化式。其通过主混合器空气旋流器的高压空气气流与主燃级燃油的射流相垂直,目的是使主燃级燃油的雾化更充分,混合度更高;其进入燃烧室燃烧可在燃烧室内形成稳定的主燃级燃烧回流区。这种混合形式的燃烧模式在现代商用航空发动机燃烧室中采用较多,特别是用于具有多燃级燃烧的主燃级燃烧中,以便实现贫油燃烧,从而达到低污染排放的目的。

由于燃油预先与空气混合后喷入燃烧区进行燃烧,燃烧区也处于贫油状态。从燃烧室的燃烧区分布来看,TAPS 燃烧室的燃烧分区更合理,可实现发动机全工况的贫油燃烧。就燃油燃烧效率而言,TAPS 燃烧室的燃油燃烧效率更高,火焰温度更低,燃烧室出口温度场也更均匀,污染物排放更低。

## 6 新一代低刚性高载荷高压涡轮

图 4 是 LEAP-X 用的新一代高压涡轮叶片,属于低刚性高载荷涡轮叶片,目前 LEAP-X 核心机单级

高压涡轮的设计压比是 16。Tech-X 发动机的核心机由 LEAP-X 发动机的核心机发展而来,因此可以推测 Tech-X 发动机的高压涡轮沿用了此项新技术<sup>[1,6-8]</sup>。



图4 新一代高压涡轮叶片

## 7 新一代三维气动设计低压涡轮<sup>[1,6-7]</sup>

GE 公司在 LEAP-X 发动机的低压涡轮上采用了新一代三维气动设计。低压涡轮转子叶片材料使用了先进的耐高温、重量轻的钛铝金属间化合物(Titanium Aluminide)材料。低压涡轮导向器叶片的材料为陶瓷基复合材料(CMC),其质量仅为传统材料的 1/2 甚至更轻,但可以耐 1200℃ 以上的高温,并且不需要冷却,易于加工。一项新技术开发成功以后不会只在一个机型上应用,一定会推广应用,由此可以推测 Tech-X 发动机的低压涡轮设计中也会融合和沿用了这些新技术。

另外,目前 GE 公司正在研究一种“独到的工艺技术(unique technologies)”,以期降低低压涡轮的重量,这一独到的工艺技术指的就是整体叶盘。因此,Tech-X 发动机有可能是 GE 将整体叶盘应用到涡轮中去的第一款商用发动机。

## 8 一体化集成推进系统

与 LEAP-X 发动机相同,Tech-X 发动机和短舱作为一体化推进系统设计,作为集成推进系统,将使用先进的进气道、声学处理和

电动反推力装置,可以充分发挥其气动性能、重量和声学优势。但与 LEAP-X 发动机相比,Tech-X 发动机的短舱上应用了更多的复合材料。

## 9 其他创新性技术<sup>[1,6-8]</sup>

LEAP-X 发动机和 Tech-X 发动机上采用的其他关键创新性技术还有:先进的冷却技术;新的耐高温材料;先进的控制诊断技术以及全新的性能保持特性技术等。

另外,GE 公司还在研究将发动机全权数字控制系统装到发动机短舱中,而非常规的装在发动机中,这样将更加便于更换和维修,同时还可以使发动机全权数字控制系统在更低的温度下运行,进一步提高其可靠性和寿命。

## 结束语

LEAP-X 发动机上应用的创新性技术使得其为世界第一种第三代民用航空发动机,并为其抢占了市场先机。与主流发动机 CFM56 系列相比,LEAP-X 燃油消耗可减少 16%,二氧化碳排放量可减少 16%,氮氧化物排放量不足其 60%,且更为安静。

Tech-X 发动机不但传承了 LEAP-X 发动机的核心机技术,还融合了众多其他先进技术,包括先进的空气动力学设计,使用更轻耐久性更强的材料和更前沿的环保技术,使得 Tech-X 成为发动机技术上的又一次重大突破,使其成为继 LEAP-X 发动机之后的又一款新一代商用航空发动机。

大飞机发动机项目是我国航空发动机行业难得的发展机遇,参考、借鉴和学习国外的先进技术是非常必要的。本文就 LEAP-X 发动机和 Tech-X 发动机及其先进技术做一概括性分析,以供相关人士参考。

本文共有参考文献 8 篇,因篇幅所限未能一一列出,读者如有需要请向本刊编辑部索取。(责编 小城)