

LEAP-X发动机的创新性技术

Technology Innovations of LEAP-X

李杰 / 西安航空动力股份有限公司

摘要: LEAP-X发动机是CFM国际公司研发的新一代发动机, 采用了许多先进技术。本文就LEAP-X发动机的先进技术创新做一概括性分析, 供相关人士参考。

关键词: TECH56计划; LEAP56计划; TAPS II燃烧室; LEAP-X发动机; 创新技术

Keywords: TECH56; LEAP 56; TAPS II combustor; LEAP-X engine; technology innovations

0 引言

作为CFM国际公司正在研发的新一代发动机, LEAP-X发动机采用了许多创新性先进技术和先进材料。LEAP-X与最新的CFM56发动机相比, 力争将发动机单体的燃油消耗减少16%, 其中7.0%将通过优化涵道比实现, 7.0%将通过革新压气机、燃烧室及计算流体动力学(CFD)等核心技术实现, 而剩余的1.5%将通过改进发动机系统实现。在涵道比方面, LEAP-X发动机的涵道比将从目前CFM56的5.5左右提高至9以上。

LEAP-X发动机的研发得益于CFM国际公司为保持其在世界商用发动机市场上的领先地位而进行的大飞机发动机技术研究计划: TECH56计划和LEAP计划。

1 TECH56计划和LEAP计划

1.1 TECH56计划

1998~2003年, CFM国际公司实施了TECH56计划, 其目标是: 与1999年水平的CFM56发动机相比, 拥有成本(Owner Cost)降低15%~25%, 燃油消耗率降低4%~7%, 维护成本降低15%~20%, 氮氧化物(NO_x)排放降低到

低于国际民航组织规定水平的50%, 噪声相对于FAR36第3阶段的水平降低20dB。

通过该计划, CFM国际公司开发和验证了金属材料空心弯掠风扇叶片、新的高载荷高压压气机、低排放的双环腔贫油预混燃烧室、高载荷高压涡轮、对转低压涡轮和对转差动轴承、锯齿形喷管、全功能数字式发动机控制器、低噪声喷气技术和风扇隔离器技术等。这些技术满足甚至超过了TECH56计划的预期目标。

1.2 LEAP56计划

在TECH56计划之后, CFM国际公司确定了CFM56发动机的未来发展方向, 即总运行成本逐步降低, 结构设计更加牢固、噪声明显降低、排放大大降低、循环参数实现最优、控制更加高效。系统集成性明显改善等。为此, CFM国际公司启动了LEAP计划, 为未来30年或更远的发动机开发和验证更先进的技术。

该项目开发和验证的技术包括: 铝、钛和复合材料风扇机匣等轻质结构, 先进的复合材料风扇叶片, 高效率且低油耗的高压压气机, 双环预混旋流器低排放燃烧室, 三维气动设计的涡轮, 革新的发电装置设计等发动机基本设计技术, 低使用成本的外部硬件, 先进轻质齿轮箱, 下一代控制装置等发动

机系统部件设计技术。基本技术的部件验证试验于2007年开始, 2~3年后进行了系统验证试验。这些技术将于2013年前在CFM56发动机上投入使用。

2 研制进展

LEAP-X发动机是CFM国际公司LEAP56计划研究成果的实际应用。

2009年6月, GE公司在位于美国俄亥俄州Peebles的户外试验台, 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)。在被运到Peebles之前, 风扇和压气机已在斯奈克玛公司位于法国Villaroche的基地完成了气动及性能试验。随后还进行了广泛的侧风试验和声学试验以测量在多种不同运行条件下的噪声水平。

2011年1月, CFM国际公司宣布完成了发动机叶片飞出包容性试验。试验时使一片或数片叶片断裂, 验证发动机风扇机匣的包容性, 之后继续运转一段时间, 模拟安全着陆的过程。

2011年5月, CFM国际公司开始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。第三台核心机试验计划于2012年开始。

2011年第一季度完成先进三维编织树脂模传递成型(3-DWRTM)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年将会再累计近400小时试验时间。

按计划,LEAP-X1A发动机将于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。

LEAP-X发动机具体的性能参数还未公布,可能的原因是目前只完成了核心机和风扇的气动性能试验,而整机试验刚开始。LEAP-X发动机的研发与以往商用发动机的研发有所不同,没有先期公布发动机设计的性能参数,给出的是燃油消耗和污染物排放目标。

3 创新性技术

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、三维编织树脂模传递成型复合材料风扇叶片、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来设计,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。

按CFM国际公司的传统,LEAP-X发动机仍由斯奈克玛公司负责开发包括进气道、风扇、低压压气机、低压涡轮、附件机匣和调节系统等低压部分,GE公司负责核心机研制。

1) 超高压比核心机

LEAP-X的核心机为超高压比核心机,其压比是目前CFM56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“eCore”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。

2) 可变面积风扇外涵喷管

LEAP-X发动机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。

3) 先进碳纤维复合材料风扇叶片

LEAP-X的涵道比约为10~11,是目前CFM56发动机的两倍,可以有效降低噪声并提高推进效率。风扇叶片也是发动机整体技术水平的重要标志之一。为了改善进气效率(加大进气流量、降低进气噪声等),新一代涡扇发动机的风扇叶片采用宽弦、三维气动设计,且数量大幅度减少。

LEAP-X的风扇叶片数量只有18片,直径为1.8米,总重为76千克。而且空气动力性能大幅优化。为了有效减重,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(图2)。

LEAP-X发动机的风扇叶片总重为76千克,而CFM56系列发动机的24个1.5米叶片总重118千克。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,抗鸟撞能力强,制造成本却相对较低。

4) TAPS II燃烧室

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(NO_x)排放

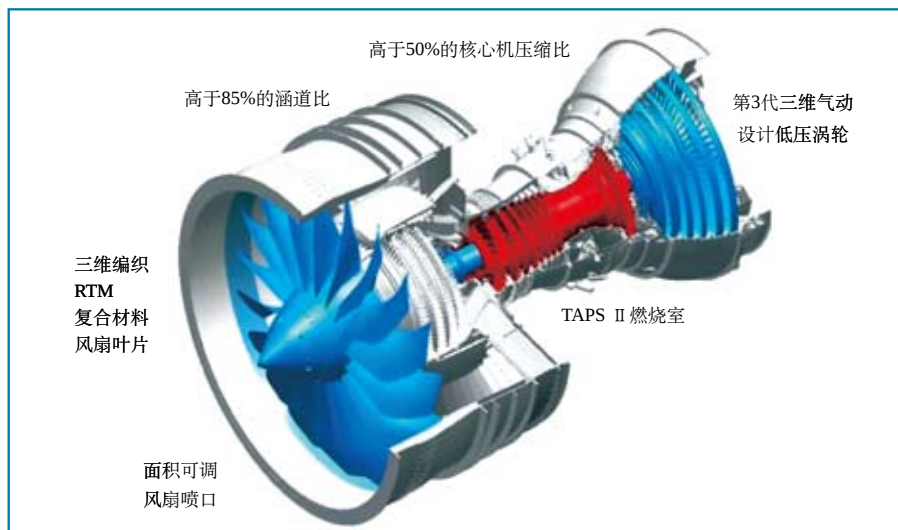


图1 LEAP-X发动机部分关键创新性技术示意图



图2 三维编织树脂模传递成型复合材料风扇叶片

量将比CAEP6的标准低50%。

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;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;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。预燃级燃烧回流区和主燃级燃烧回流区可形成一定的交叠,从而形成预燃/主燃旋流交叠区。这样TAPS燃烧室可以仅用一套喷嘴系统实现发动机不同工况燃烧的要求。

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。因此,TAPS燃烧室是更为先进、结构更为简洁的燃烧室,并大大降低了氮氧化物排放。



图3 新一代高压涡轮叶片

5) 新一代低刚性高载荷高压涡轮

LEAP-X发动机的高压涡轮采用了低刚性高载荷设计,目前LEAP-X核心机单级高压涡轮的设计压比是16。涡轮叶片(图3)材料为先进的涡轮叶型材料(ATAMS)。还应用了经过验证的涡轮导向器新结构,新的气动设计技术和减震叶片,使得LEAP-X发动机的高压涡轮的效率和耐久性大幅提高,而重量明显降低。

6) 新一代三维气动设计低压涡轮

LEAP-X发动机的低压涡轮采用了新一代三维气动设计。低压涡轮转子叶片使用了先进的耐高温、重量轻的钛铝金属间化合物材料。低压涡轮导向器叶片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,且无需冷却,易于加工(图4)。

7) 集成推进系统

LEAP-X发动机和短舱可作为一体化推进系统来设计,将使飞机拥有先进的进气道、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。

8) 其他创新性技术

LEAP-X发动机上采用的其他关键创新性技术还有:复合材料风扇机匣;更轻的风扇包容机匣、先进的冷却技术、新的耐高温材料、先进的控制诊断技术以



图4 陶瓷基复合材料低压涡轮导向器叶片

及全新的性能保持特性技术等。

4 结束语

今年6月,CFM国际公司将三维编织树脂模传递成型技术制造的复合材料风扇叶片确定为LEAP-X发动机的第1001项技术创新,这说明LEAP-X发动机上应用的创新性技术将不少于1000项。为了赢得市场和在竞争中占据优势,将这么多创新技术集中用于一款正在研制的新型商用发动机是前所未有的。这充分说明了技术创新在新型号发动机研发中的重要性,也显示出研发第三代商用航空发动机的门槛大为提高。

由于结合了先进的空气动力学设计,使用了更轻耐久性更强的材料和更前沿的环保技术使得LEAP-X成为发动机技术上的一次重大突破。

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发动机的先进技术创新做一概括性分析,以供相关人士参考。【AST】

参考文献

- [1] Bachelet E. Advanced technology engines for the next generation of aircraft, another leap forward for LEAP technology[C], ISTAT 27th Annual Conference, 15 March 2010
- [2] Bengue L M. Toward ACARE 2020: innovative engine architectures to achieve the environment goals[C], 27th International congress of the aeronautical sciences 2010.
- [3] 李杰. TAPS燃烧室燃油喷嘴结构设计特点分析及思考[J]. 航空科学技术, 2010(1).
- [4] 李杰. 现代航空发动机分区燃烧策略分析[J]. 航空科学技术, 2011(3).