

核心机技术在发动机研制中的作用和地位

中国燃气涡轮研究院 黄顺洲 黄红超 李刚团 刘德虎



黄顺洲:

南京航空航天大学在读博士、研究员, 1995年作为访问学者在法国马赛第Ⅱ大学非平衡现象研究所进修, 从事流体动力学领域的研究, 研究方向为动态紊流场及紊流噪声的大涡模拟。曾任航空发动机跨变专业副主任设计师, 长期从事航空发动机稳定性研究, 现从事航空发动机总体性能研究, 研究方向为面向对象的航空发动机整机数值试验台的研究

自半个世纪前航空涡轮发动机诞生以来, 在不到60年的时间里, 表征涡轮发动机综合性能水平指标的推重比已由当初的2提高到10一级, 确保了军用和民用航空发动机性能水平的

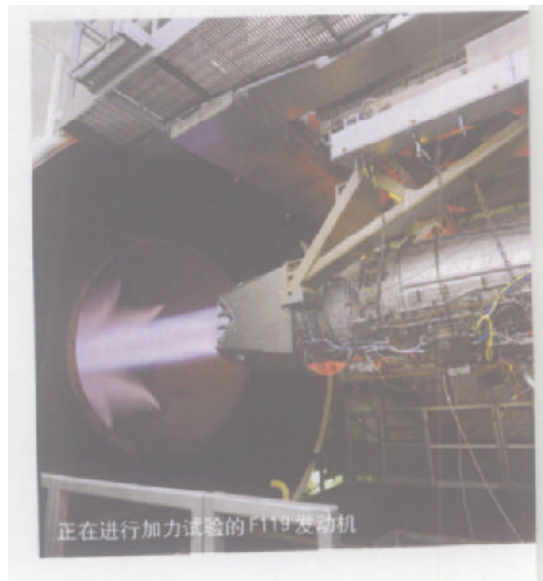
在核心机及基本发动机基础上进行不同推力或功率和用途的系列发动机发展, 在国外已经得到了普遍推广, 在发动机全寿命期内其发展的技术途径具有巨大的优越性。因此, 进行核心机及其发动机派生发展的方法研究是十分必要的

不断提高。现在人们已经普遍认识到航空发动机研制和发展的特点是技术难度大、耗资多、周期长, 而且还应具有有良好的军民两用特性。由于发动机对飞机的性能和研制有着决定性的影响, 航空工业发达国家如美、俄、英、法等国无不将优先发展航空发动机作为国策, 将航空推进技术列为国家和国防关键技术, 并都倾注了巨大的人力、物力和财力, 实施了一系列航空发动机研究计划, 采取“核心机和技术验证机”的途径来保证发动机得以相对独立地优先发展。

由于全新的航空发动机研制是一个耗资大、周期长的过程, 因而在成熟核心机的基础上进行系列发展是一个可节约研制经费、缩短研制周期的低风险技术思路和技术途径, 被拥有先进航空技术的世界各国所广泛采用, 美国的通用核心机技术研究和可替代发动机计划都是与该技术思路相关的研究计划。

核心机技术特征

从物理概念上讲, 核心机是在燃气涡轮发动机中由高压压气机、燃烧室和驱动高压压气机的高压涡轮组成的核心部分, 它连续输出具有一定可用能量的燃气, 因此又可称为燃气发生器。



正在进行加力试验的F119发动机

从技术途径来看,核心机是利用在探索发展(应用研究)中已得到验证的先进部件和技术制成的。用核心机作为技术平台,可以在真实的发动机环境下验证新设计、新材料和新工艺的技术可行性,同时在一定程度上评估相关发动机的性能、成本和耐久性。这种关键硬件技术的验证有助于降低将这些技术转移到工程应用时的风险。

在核心机基础上,配上不同的风扇、低压涡轮、加力燃烧室等低压部件及相关系统,就可以以较低的风险研制出覆盖一定推力(功率)范围的一系列发动机,即利用同一核心机派生发展出多个型号的发动机。派生发展的主要技术途径,一是保持核心机基本几何参数不变,通过改变低压部件来获得不同性能和用途的发动机,其技术风险小,零部件通用性好,有利于降低发动机生产和维修费用;二是对核心机作局部改进再配以不同用途的低压部件及系统,从而形成新系列的发动机。

表征和评价核心机性能、水平的主要参数有核心机进口空气流量 G_c 、核心机压比 π_c 、核心机温比 τ_c 、核心机循环功 N_c 。其中 G_c 、 N_c 用于评估核心机提供的燃气做功能力和经济性, π_c 、 τ_c 用于衡量燃气做功能力。

核心机技术在发动机研制中的作用和地位

1 核心机设计技术

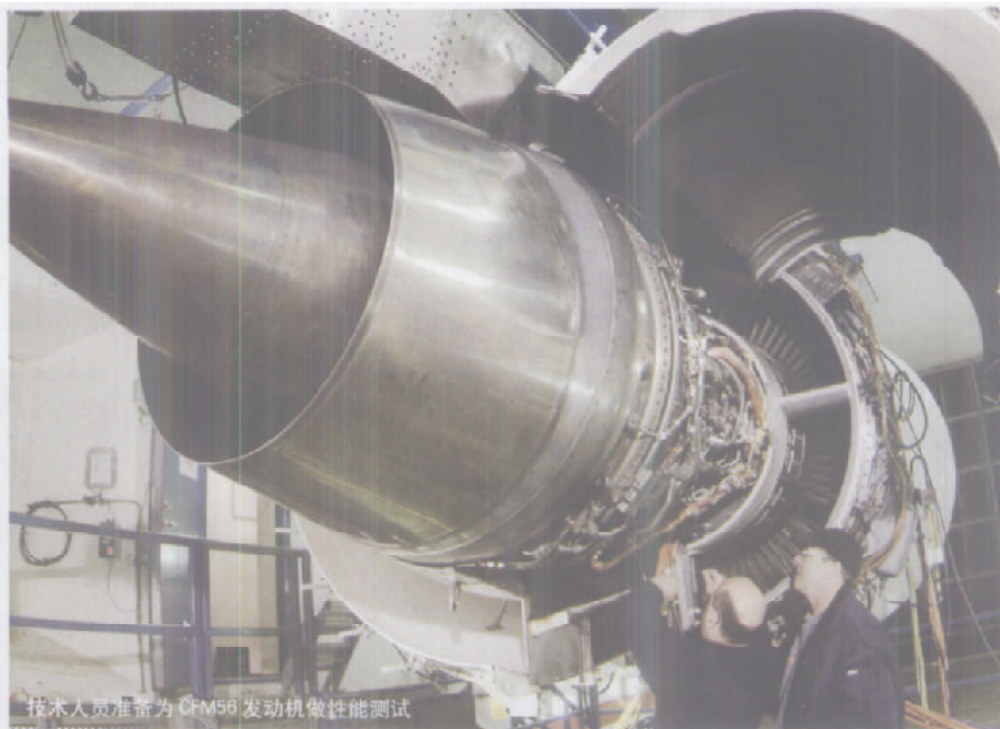
核心机是燃气涡轮发动机中最重要的组成部分,其设计技术水平的高低对发动机的水平有着决定性的影响。核心机的主要组成部件(压气机、燃烧室、高压涡轮)在发动机中处于最恶劣的工作环境(高压、高温),且具有最高的工作转速,因而也是发动机强度和使用可靠性方面最为关键的部件。在新发动机研制过程中发生的许多问题,以及使发动机调试过程延长的大部分问题都与核心机密

切相关。因此,提前对核心机设计技术进行研究,能够大幅度减少发动机的研制风险,缩短高性能发动机的研制周期。国外航空发动机发展的成功经验表明,“核心机—验证机—原型机”是一条科学、合理的航空发动机发展道路。

航空发动机行业采用核心机途径来研究发展航空发动机,快速解决研制中出现的问题,西方国家已获得巨大成功。早在60年代初,GE和PW公司在型号研制前做了一代又一代的核心机研制工作。到90年代,核心机

而核心机设计技术又是高发动机性能的保证。这些相关设计技术的验证,特别是在核心机/发动机环境下的综合试验验证是其中的关键环节,有利于考核部件设计技术的适应性和高压部件的匹配性。早在50年代末,美国就实施了一系列重大的研究计划,通过不同层次的技术验证,推进新技术的应用,提高设计能力。

在高空台上对核心机进行试验研究,可以检查核心机部件和系统在接近发动机真实工作条件下的工作情况;同时,通过改变喷管面积来确定



技术人员准备为CFM56发动机做性能测试

研制计划已成为大量先进战斗机发动机设计的技术基础。美国政府计划在21世纪初发动机性能指标翻一番的综合高性能涡轮发动机技术(IHPTET)计划,也将通过新一代的多种核心机和验证机研制来实现。由此可见,核心机设计技术在发动机研制中占有不可替代的地位,起着十分重要的作用。

2 核心机试验技术

核心机技术验证对发动机研制的重要性也日益明显。部件设计技术作为核心机、验证机设计技术的基础,

核心机的工作性能和参数的变化范围,以便确定其部件在外部环境条件下的最佳工作条件。核心机在高空台上的试验为发动机研制提供了以下重要信息:

- (1) 核心机流道的气动和热力特性;
- (2) 压气机的稳定性储备系数;
- (3) 不同压比情况下的核心机性能;
- (4) 雷诺数Re对部件特性的影响程度;
- (5) 压气机叶片的动力学特性;

(6) 压气机和涡轮的径向间隙变化规律；

(7) 核心机在不同飞行条件下的自转特性；

(8) 燃烧室的点火特性；

(9) 起动过程中的压气机稳定裕度；

(10) 起动机功率。

核心机在高空台上试验时,可以根据飞行高度和速度的要求来调节核心机进口的温度和压力,从而模拟更宽广的进口参数和状态变化范围。通过分析所获得的试验数据,可以验证和修改实际使用的核心机的数学模型,提高发动机整机性能预测的正确性,同时为在核心机基础上进行发动机的派生发展提供技术基础。国内外研制成功的发动机,均是在验证了许多部件的关键设计技术后,在成功的高性能核心机基础上研制的,因而大大缩短了发动机的研制周期和降低了发动机的研制风险。

3 核心机的系列化

核心机技术是航空发动机的核心技术,核心机是发展各种型号发动机的基础,同一核心机可以发展出覆盖一定的推力范围的发动机。核心机系列发展的道路一直受到航空工业发达国家的高度重视,并成为发动机系列发展的主要技术途径。

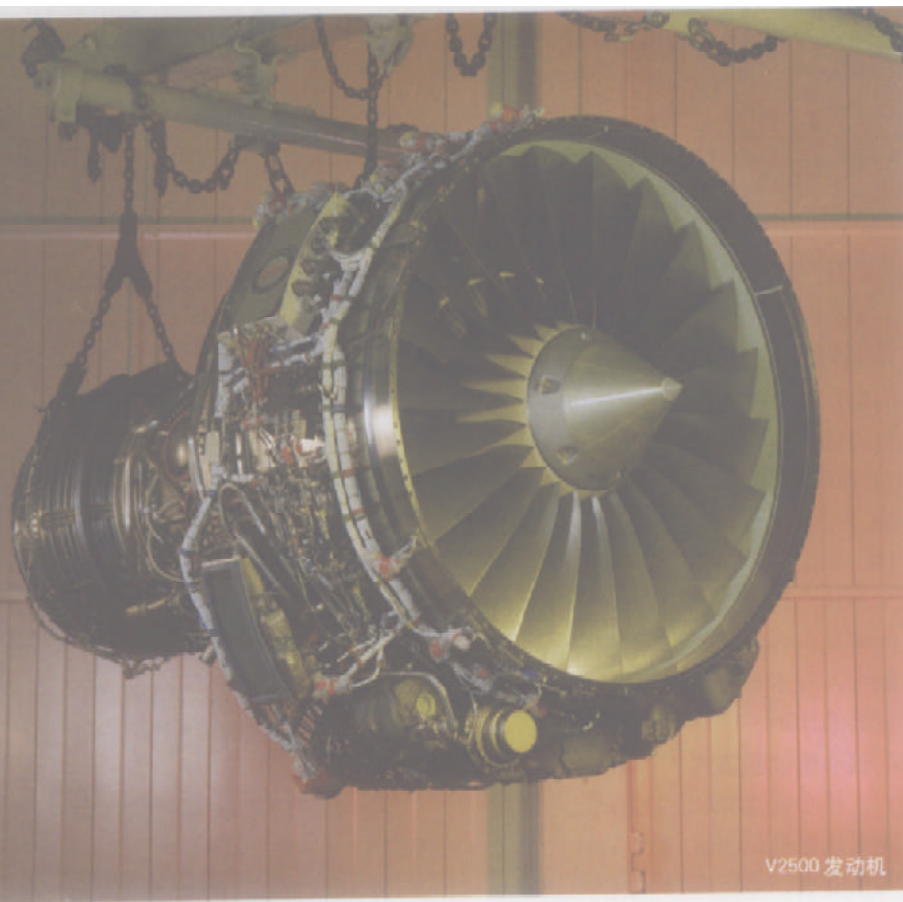
(1) 早在60年代初,美国就开始采取核心机途径来解决飞机系统研制中发动机自身系列化发展的问题,并已获得巨大成功。80年代末,美国又实施了一系列重大的研究计划,其中“先进涡轮发动机燃气发生器(ATEGG)计划”,类似于多用途核心机技术研究。该项研究成果形成了在同一核心机基础上发展不同推力等级的涡轮发动机的技术途径,GE公司在前3代核心机的基础上成功地研制出了一系列军用和民用发动机,如F101、F110、F404、TF39、CF6和CFM56,其第5代核心机已成为90年

代先进战斗机发动机的基础,使发动机性能指标翻一番的综合高性能涡轮发动机技术(IHPTET)计划也将通过第6、7代核心机实现。GE公司推出的适用各种座位级客机CF34系列民用发动机,特别是近年来研制的CF34-8/-10发动机,他们均是在军用TF34核心机基础上研制的。

(2) 在汲取美国经验的基础上,英国从1970年开始建立发动机验证机计划。首先建立的是以阿杜尔发动机核心机为对象的高温验证装置(H-TDU),此后又实施了一系列由政府 and 罗·罗公司共同出资的核心机和验证机计划。在这些计划的基础上,成功研制出RB199、RB211、V2500和RTM322等发动机,为90年代欧洲战斗机研制的EJ200发动机也正处于工程发展阶段,推重比20一级的发动机技术将通过先进核心军用发动机第2阶段(ACME-)计划加以验证。

(3) 近期,第4代发动机F119、EJ200等也都经过核心机、验证机到原型机的发展阶段。为了研制推重比10一级的涡扇发动机,美国空军于1983年分别与GE和PW公司合作,开始GE37和PW5000的研制,在此基础上,成功地研制出了F119涡扇发动机。在IHPTET技术发展计划的第2和第3阶段,安排了XTC16核心机和XTC76变循环核心机研制,验证F119推力增大型的技术方案。法国在80年代中期开始了M88核心机研制,经过不断改进,还发展了推重比10一级发动机M88-III。EJ200的研制,也是在发展的推重比10一级的核心机基础上研制成功的。

(4) 另外,随着技术的发展,航空发动机的推重比不断提高,全寿命使用成本下降,对核心机研制提出了更高的要求,因此,核心机也存在不断改进的问题,不同水平的核心机所派生发展的发动机也具有不同水平。当先进技术储备积累到一定程度,可以对核心机进行较大的改进,形成更



V2500 发动机

高水平或新一代的核心机,并相应地提高发动机的水平。

(5) 根据用户的特殊需要,当利用现有核心机派生发展的发动机不能全面满足用户需要时,为了缩短研制周期,还可以利用部件缩放技术将现有成熟的核心机放大或缩小后再匹配低压系统发展出所需发动机。经缩(放)后的核心机为系列核心机增加了新的成员,加大了系列核心机的稠密程度,可以为用户提供更多的选择余地。

由此可见,在核心机及基本发动机基础上进行不同推力或功率和用途的系列发动机发展,在国外已经得到了普遍推广,在发动机全寿命期内其发展的技术途径具有巨大的优越性。因此,进行核心机及其发动机派生发展的方法研究是十分必要的。

我国开展核心机研制的重要性

(1) 我国发展航空发动机工业几十年来,专利生产和引进了多个型号,生产了几万台发动机,为建设强大的人民空军作出了积极贡献。但对航空发动机研制技术的复杂性、研制规律及预先研究重要性方面则认识不足,重视不够,基本上停留在参照及改进的水平上,到目前为止,尚未完全走完一个“突破单项关键技术—部件验证—核心机—验证机—型号研制”的全过程,在自行研制能力方面与航空动力先进国家有着很大的差距。由于研制能力不强,我国航空发动机行业提供给用户(飞机和部队)的发动机品种少、水平低、研制周期长,远远不能满足用户的需求,严重制约了航空工业和航空装备的发展。

(2) 由于我国空军对武器装备的要求趋于多样化,除了对教练机、战斗机、轰炸机提高作战能力和水平的要求之外,开始提出了对大型运输机、侦察机(高高空长航时及战区侦察机)、无人作战飞机、空天一体化飞行器等新型装备的要求。民用航空



实施干线、支线客机并举,构成以若干骨干机场为核心的航线网的方针,对民航客机的要求也趋于多样化。通过核心机系列化及在它们的基础上派生发展的途径,可以满足这些飞机对发动机提出的多样化要求。

结论与建议

核心机在发动机中最为关键,其部件工作转速、工作温度和工作压力最高,技术含量最高、设计难度最大,是性能先进发动机研制的核心部分。

高压部件设计技术是核心机、验证机设计技术的基础,部件设计技术的验证则是开展核心机、验证机技术验证的前提。首先,高压部件设计技术只有在核心机/发动机环境下才得以验证,而核心机设计技术只有在发动机整机真实环境下才得以验证;其次,重要研究内容——部件匹配、性能调试、系统考核,都必须依赖于核心机/发动机整机的试验验证平台。国内外研制成功的发动机,均是在验证了许多部件的关键设计技术后,在成功的高性能核心机基础上研制的,大大缩短了发动机的研制周期和降低了发动机的研制风险。

根据我国发动机发展现状和具体国情提出的“系列核心机及派生发展”的发动机发展思路,在5个核心机基础上派生发展的发动机,其推力涵盖2~200kN范围,基本上能够满足我国军民用飞机发展的动力需求。同时,我国开展5个核心机及派生发展发动机研制,不仅可以填补我国各种推力量级发动机的空白,形成具有自主知识产权的航空发动机产品,提升航空发动机行业的竞争能力,而且可以大大改善传统的航空发动机研制过程,缩短研制周期,加快技术向产品转化。

为了进行核心机技术研究,建议采取如下措施:

(1) 加强核心机技术基础研究,为掌握核心机设计技术奠定坚实的基础;

(2) 深化通用核心机技术的研究,提高研发核心机的综合能力;

(3) 加大投资力度,加速目前在研核心机的研制。

(4) 在核心机基础上加强系列化派生发动机研制,以满足目前我国军民用飞机发展多样化的需求;

(责编 七丁)