

核心机燃油与控制系统研究

廖邦兴, 钟小红

(中国燃气涡轮研究院, 成都 610500)

摘要: 简述了核心机研制的目的和核心机试验的内容, 并提出了核心机燃油与控制系统的选用原则和核心机控制计划的基本方法。可供核心机试验和核心机燃油与控制系统研究人员参考。

关键词: 核心机; 试验; 控制计划; 控制系统。

中图分类号: 228.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-2620(2003) 03-0019-03

An Investigation on Core Engine Fuel and Control System

LIAO Bang-xing, ZHONG Xiao-hong

(China Gas Turbine Establishment, Chengdu 610500, China)

Abstract: The purposes of core engine research and contents of core engine experiments are briefly introduced in this paper. Principles in selecting fuel and control system are put forward together with basic methods to realize core engine control plan. This paper can be used as a reference for core engine experiment and research on its fuel and control system.

Key words: core engine; experiment; control plan; control system

1 引言

核心机是由发动机的三大核心部件(高压压气机、主燃烧室、高压涡轮)和与之匹配的进排气装置、起动系统、燃油与控制系统、传动与润滑系统、电气系统、测量系统等构成的单转子核心发动机。发动机的三大核心部件是发动机中工作条件最恶劣(高温、高压、高转速),对发动机性能影响最大的关键部件。因此,在开发和研究现代发动机先进技术的过程中,核心机是其中技术难度大,占位重要而且关键的开发和研究项目。核心机的研制不仅可以为验证机提供工程适用的三大核心部件,而且在成熟核心机的基础上还可以进行发动机系列发展^[1]。本文针对核心机的试验及对燃油与控制系统的要求进行了分析,并在此基础上进一步探讨了用于核心机的燃油与控制系统的发展趋势,明确了今后研究的方向。

2 核心机的研制目的

在核心机的研制中应达到如下目的:

- a. 考核发动机三大部件的性能,验证其设计技术体系,完善设计规范;
- b. 考核核心机在模拟整机工作环境下的气动、热力和机械性能,解决高压部件之间及其与各系统之间的匹配技术;
- c. 验证关键材料及加工制造技术,为研制发动机提供技术支持;
- d. 验证核心机结构方案及主要零、组件的强度、寿命、可靠性设计的正确性,验证强度设计准则;
- e. 验证较高精度的空气系统和相关零件的热分析技术,验证空气系统典型元件流量、损失特性及换热准则关系式;
- f. 通过核心机试验,积累和充实发动机试验数据库;
- g. 验证核心机三大部件用于验证机的有效性,最终为验证机提供工程适用的三大核心部件。

收稿日期: 2003-01-04; 修回日期: 2003-02-25

作者简介: 廖邦兴(1942),男,四川中江人,研究员,主要从事航空发动机燃油与控制系统试验和研究工作。

3 核心机试验内容

核心机研制过程可分为设计、制造和试验验证三个阶段。核心机试验是核心机研制全过程中最重要的阶段,是考核核心机研制是否达到研制目的的唯一手段。

核心机试验项目繁多,可以分为许多种类。其中按试验条件可分为:地面台试验;进气加温、加压台试验;高空台试验。按试验时核心机工作状态可分为:稳态试验;瞬态(过渡态)试验。按试验时测取核心机参数可分为:性能测定试验;结构强度试验;环境适应试验;循环寿命试验;特殊测试试验;研究性试验等。为了完成核心机的所有试验项目往往需要多台核心机共同来完成。其中每台核心机只完成部分试验项目。

以前,核心机试验基本上只进行核心机的稳态试验。稳态试验,在地面台、进气加温加压试车台及高空台上进行。在地面台上进行的试验主要包括:核心机的起动和低速运转;核心机加工、装配质量考核;低转速范围内核心机三大部件间及其与各系统的匹配考核试验;核心机部分性能考核试验。在进气加温、加压试车台上可以较真实地模拟核心机在验证机上的进气条件,在该试车台上的试验主要包括:核心机的起动;在全程转速范围内完成核心机三大部件间和各系统匹配考核;核心机气动性能考核;初步强度可靠性、结构完整性考核;完成上述考核后再进行专项试验和特殊测量,以获取丰富的试车数据。高空台试验主要完成:核心机起动;核心机在验证机工作条件下,验证机飞行包线内特征飞行点的试验;考核这些工况下核心机的性能。

进行稳态试验的方法和程序是:

a. 在地面台试车时,其方法和程序类同于普通单转子发动机。

b. 在进气加温、加压台试车时,首先将进气条件调节到核心机在验证机中工作时慢车状态的空气温度和压力,再起动核心机达到慢车转速并稳定工作;然后再缓慢移动核心机油门杆使转速增加至新的稳定工作状态,其每次增加值在 5% 范围内;与此同步改变进气的温度和压力,使它们和转速增加相协调;最后上升到核心机中间状态并稳定工作;缓慢移动油门杆使转速降低,重复上述过程至核心机慢车状态;最后将油门杆拖至停车位置,使核心机停车。

c. 在高空台试车时,其程序与前面进气加温、加压台试车时雷同,但进气参数要调至在该飞行状

态下核心机在验证机中相应工作状态下的参数值,而出口空气参数要保持在该飞行状态下的大气温度和压力。在高空台试车时,一般只进行中间状态性能测试。

现在核心机的试验已经发展到对核心机进行过渡态试验。为了完成核心机过渡态的试验,近年来国外已建成了专门用于核心机试验用的进气加温、加压试车台。该试车台具有很好的台架动态特性,可以进行核心机起动试验、加减速试验和全程的稳态试验。过渡态的试验方法和程序,可以按核心机试验任务循环来决定。其试验方法和程序与核心机主体以及相配套的燃油与控制系统(含所采用的控制计划和控制算法)有极大的关系。一般而论,试验时必须保证按照核心机在验证机工作条件下的进出口工作条件同步调节试车台进口的空气温度、压力和流量,使之满足所进行的试验(含起动、加、减速和稳态试验)要求。

核心机过渡态试验在核心机试验发展中具有里程碑的重要意义。通过试验可以获得丰富的过渡态资料和核心机加、减速特性。这对于研究核心机,匹配低压系统进而研究验证机以及它的控制计划都是必需的。

4 核心机控制计划

早期的核心机只进行稳态试验,其控制计划主要是起动控制计划和稳态控制计划。其它的控制计划只在试验人员误操作时起保护作用。所以控制计划的制定和实现均较容易,一般可采用传统的机械液压调节装置作为核心机的燃油与控制系统。

现代的核心机不仅需要稳态试验,而且需进行瞬态试验。它的控制计划较复杂而且精度要求高。一般而论,核心机的控制计划来源于它服务的发动机(验证机)控制计划的相关部分,仅需略加修改和调整。核心机的控制计划主要包括:稳态控制计划(含慢车、最大连续和中间状态);瞬态控制计划(含起动、加、减速);参数限制计划(含转速、涡轮后燃气温度、压气机出口压力、最小燃油流量);压气机静子叶片安装角位置调节计划;喷管喉道面积调节计划;防喘控制计划;主动间隙控制计划和其它所需控制计划。对于变循环发动机核心机的控制计划还包括压气机放气、涡轮导向器出口面积调节等控制要求。当核心机控制计划在无法采用验证机控制计

划, 而需要单独确立时, 往往采用以下几种方法或者将这几种方法综合运用进行确定。这些方法包括: 直观推断方法; 用计算机进行解析研究和参数研究的方法; 半物理模拟。核心机控制计划最终需通过核心机试验研究确定。在采取验证机的控制计划作为核心机控制计划时, 若不加以修改和调整, 则必须采用验证机进口空气温度模拟器参与核心机燃油与控制系统工作。否则必须对验证机的控制计划进行修改和调整, 以保证核心机的工作(含稳态工作和瞬态工作)沿着验证机的共同工作线和过渡态工作线相似工作。为了较方便地实现这些控制计划, 现代核心机燃油与控制系统通常采用全权限数字式电子控制系统。

5 核心机的燃油与控制系统

核心机研制阶段的主要任务在于验证压气机、燃烧室和涡轮这三大部件的设计技术及其部件间是否匹配。核心机的燃油与控制系统是保证核心机试验所必须的、不可缺的基本组成部分。为了缩短核心机研制周期、降低核心机研制成本、减少核心机研制风险, 在核心机研制阶段都不开展新型燃油与控制系统的研究。通常, 选用适用于核心机试验任务要求、经验证成熟、长期使用可靠的自动控制与燃油系统, 或在现有系统上改制。早期, 核心机研制只进行稳态试验。与此同时, 全功能数字式电子控制系统还处于初期应用阶段。因此, 当时核心机试验所采用的燃油与控制系统往往是传统液压式控制系统或者是液压机械——模拟电子混合式控制器。它们是在型号发动机上可长期使用、可靠、成熟的附件。虽然这些核心机将来所发展的验证机或型号必须应用全权限数字式电子控制系统, 但在核心机研制阶段可以不考虑燃油与控制系统的继承性问题, 不把验证机阶段进行的燃油与控制系统研究提前进行。现在, 全权限数字式电子控制系统正在替代传统的液压机械式控制系统, 新研制的发动机几乎无一例外地采用全权限数字式电子控制系统。美、英等发达国家无论是军机还是民机上使用的全权限数字式电子控制系统已经历了十多年的飞行验证, 该技术日臻成熟。国内, 全功能数字式电子控制系统在试车台架已为多种型号发动机所验证。同时, 随着核

心机技术发展, 核心机试验设备的完善, 核心机过渡态的试验不仅必要而且已具备条件。目前, 核心机试验用的燃油与控制系统, 必然将更多地选择较成熟的数字式电子控制系统。这不仅可以考虑到附件系统的继承性问题, 而且因为数字式电子控制系统能够满足现代核心机较复杂的调节计划和控制精度高的要求, 同时具有可更改性好, 更能适应核心机研制中控制规律和参数改变的特点。数字式电子控制系统的硬件更具通用性, 其中机械液压执行装置结构相对简单。另外, 采用数字式电子控制系统在核心机试验中只需要一台份, 而液压机械式控制系统则需根据核心机试验(地面台、进气加温加压台、高空台)要求需要多台份。这里还必须指出, 随着核心机试验设备的发展, 国外核心机试车台还专门装配了脱机的地面电调供油与控制系统(由电机带动)和脱机的滑油系统(由电机带动)。这不仅解决了核心机燃油与控制系统的选用问题, 还简化了核心机润滑与传动系统的设计和制造。

总而言之, 无论是早期的核心机还是现代的核心机燃油与控制系统; 无论选择机械液压式的还是数字电子式的; 无论是核心机机载系统还是地面台架试车装置; 除了它们必须实现要求的控制计划外, 它们的供油能力(燃油流量范围、出口压力大小、燃油清洁度)和与附件传动系统的匹配(油泵转速、转向和输出功率)都是必须满足的最基本条件。

6 结束语

核心机和验证机是把发动机先进部件预研和型号设计衔接起来的桥梁, 是全面验证、发展和应用预研成果并使之迅速向型号转移的重要阶段。核心机试验是考核核心机研制是否达标的唯一手段。合理选择核心机燃油与控制系统是保障核心机试验、缩短研制周期、降低费用、减少风险的主要措施之一。本文指出, 在进行核心机试验时, 选用现有型号的数控系统或在其基础上改型作为核心机燃油与控制系统都是今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 刘大响. 加速发展我国航空发动机事业[J]. 燃气涡轮试验与研究, 2000, 13(3): 1-4.