

# 航空发动机试验测试技术发展探讨

周婧雯

中国航发沈阳发动机研究所 辽宁铁岭 110015

**摘要:**我国民用航空发动机技术经过多年的技术测试,取得了巨大的进步,已经积累了大量的试验经验和新的测试数据,但同时也随着新时代发展,也慢慢对航空发动机的测试技术提出了更高要求,积极探索试验测试技术的发展势在必行。本文将首先介绍航空发动机试验测试技术的发展,分析测试技术的特点;其次将研究基于试验测试技术特点的试验数据管理的需求、特点和思路,对航空发动机试验测试技术特点和测试数据管理技术有全面的认识。

**关键词:**航空发动机;测试技术;发展

航空发动机是1个复杂大型飞机型内部动力装置,主要由进气道、压气机、燃烧室、涡轮、加力燃烧室、尾喷管、附件传动装置与多个附属系统等组成。其内部的气动、热力和结构特性非常复杂,因此对其工况尚不能从计算上给予详尽准确地描述,必须依靠试验来获得相关数值。在进行发动机装配前,需要确认每个部件的性能均满足设计指标,同时,需要在试车台上进行试验测试(如压气机的增压比、空气流量、喘振点,燃烧室的燃烧效率、出口温度分布等),获得整机的推力、单位耗油量等性能数据,用于评价其是否满足设计使用要求。发动机研制中要进行大量的材料、零部件、整机试验测试才能确认其性能、可适用性、环境条件、完整性、战斗生存力等是否满足发动机使用要求。据统计,一型航空发动机研制工作一般需要进行10万h的部件试验,4万h的材料试验,1万h的整机试车。试验测试技术是发展先进航空发动机的关键技术之一,试验测试结果既是验证和修改发动机设计的重要依据,也是评价发动机部件和整机性能的重要判定条件。“航空发动机是试出来的”已成为行业共识。

## 1 航空发动机试验测试技术的特点

航空发动机是1种集流体力学、热力学、结构强度、机械传动、计算机与电子技术、光学技术、材料、自动控制、故障诊断、噪声控制和红外隐身等多学科于一身,对温度、压力、应力、间隙和腐蚀等工作条件要求苛刻,对质量、可靠性、寿命等要求极高的复杂系统。航空发动机试验测试技术是1门综合性、多学科技术,涉及到力学、几何量、热学、电磁学、时频、声学、光学等专业领域;测试参数包括温度、压力、转速、空气流量、燃油流量、推力、扭矩、轴向力、功率、振动、位移、间隙、角度、气流速度与方向、面积、电流、电压、组分浓度、湿度、滑油品质、进排气颗粒、红外辐射、噪声等;应用技术包括结构设计、气动热力分析、信号传感、信号处理、信号传输、数据采集处理、数据分析、数据存储技术等。航空发动机工作的压力变化范围约为10~4000kPa、温度变化范围约为200~2200K、转

速为20000r/min或更高,具有温度高、压力高、转速高、内流复杂、结构复杂、空间狭小等特点,其结构及工作条件如图1所示。因此,航空发动机的测试系统必须适应这种环境,覆盖发动机的各种参数测量需求,并且能够测得到、测得准、测得快。

## 2 航空发动机试验测试技术发展现状

航空发动机测试技术是航空航天技术发展的重要保障组成部分,经过半个多世纪的快速发展,航空发动机测试技术取得了巨大的进步。数字模拟和试验仿真技术应用于航空发动机测试,减少了试验次数,保证试验质量的同时加快了研究进度。测试技术正在从传统的试验、修改、试验的迭代过程到建模、仿真、实验、改进的过程转变,但是目前地面测试依然是航空发动机研发的主要方式。随着光电检测、计算机技术、电磁感应技术、传感器技术的迅猛发展,更多的新技术被应用到航空发动机测试中,大大促进了测试技术的升级。新技术让测试手段多样化,让以往不能实现的测试项目变为可能,主要表现在激光、薄膜传感器、红外、超声波和射线等手段加入到试验测试。依赖于集散式的数据采集技术发展,动态测试、测试数据库管理和信号处理技术都取得了较大的发展。数据采集功能的强大让发动机的各项参数更加直接快速的反馈到试验者手中,通过建立完整的信息分析系统,形成交互的一体化网络,让发动机的性能特征直观的反应出来。

## 3 航空发动机试验测试技术的特点

发动机是航空飞机的动力装置,对飞机运行的性能、安全性和可靠性至关重要,各国对于发动机的研发都投入了大量的精力<sup>[1]</sup>。航空发动机主要由进气道、压气机、燃烧室、涡轮和附属传动装置等部件构成,是一个复杂的动力系统。航空发动机内部的热力交换、气动特性和结构组成比较繁杂,因此暂时没有一套算法能对其工况进行详尽精确的描述,试验测试成为获取发动机运行工况数据的重要途径。发动机装配前需要试验测试,确认每个零部件的性能指标满足设计要求。

(1) 综合性航空发动机试验测试是一项综合性的研究学科,汇集了流体力学、热力学、机械传动技术、光电技术、计算机与电子技术、结构力学、材料技术、自动控制和故障诊断等学科技术。

(2) 测试参数多样由于航空发动机结构的复杂性,以及涉及学科技术的多样性,试验测试参数也具有多面性。具体而言,试验测试数据主要包括转速、压力、功率、气流速度、空气流量、位移、进排气颗粒、燃油量等。

(3) 测试要求高航空发动机的工作压力变化范围大,温度高,转速可达到20000r/min甚至更高。总体来说,航空发动机运行具有压力大、温度高、转速快、空间小、结构复杂和流体流动不规律等特点。因此,测试系统必须要能够匹配这些运行特性,适应发动机测试各种指标测量的需求,而且能够做到“快、准、稳”,这对测试设备和相应的测试技术都提出了很高的要求。

#### 4 航空发动机试验测试技术发展需求

未来发动机技术的发展要求发动机具有更高的涡轮进口温度、效率和可靠性,以及更低的排放和噪声,这些都对发动机试验测试技术提出了新的挑战。新一代智能发动机将采用更多的主动控制技术和健康管理技术,这对传感技术提出了更高要求。未来航空发动机试验测试技术发展的需求主要包括:高性能测试仪器、小型传感器设计、长寿命高可靠传感器设计、嵌入式传感、高温燃气温度测量及校准、高温构件表面温度测量及校准、涂层状态监测、高温气体流量测量校准、燃油流量动态测量校准、叶尖间隙测量与校准、整机和部件应力和振动测量、遥测、噪声测量校准分析、排放测试、滑油品质在线监测、气路监测诊断、气动稳定性及动态压力测量、空气系统测量、流场精细测量等试验测试技术研究工作、专用测试设备校准技术及试验测试结果的准确度提高技术等<sup>[2]</sup>。

#### 5 试验测试技术发展设想

##### 5.1 推进航空发动机试验测试仪器研究开发

随着航空发动机研制水平的深入,需要开展的试验种类和数量越来越多;需要测量的参数类型越来越多,测量范围越来越宽,测量准确度要求越来越高。现有试验测试仪器的能力与不断增长的航空发动机试验测试需求之间的矛盾日益明显,国家应有计划地开展航空发动机研制部件和整机试验所需的测试仪器的研究与开发工作,包括特种测量仪器、传感器、测试系统等,以便及时满足航空发动机研制需要。

##### 5.2 深入开展试验测试技术研究

针对航空发动机发展对试验测试技术的需求,应深入开展试验测试技术研究,应积极制订相关措施,如组建类似PIWG、EVI-GTI的专业组织并设立发动机试验测试技术专

项计划;或依靠承担航空发动机研制任务的组织,设立专项经费,开展航空发动机研制所需的高温燃气温度、高温构件表面温度、叶尖间隙、整机和部件应力和振动、气动稳定性及动态压力等试验测试方法、试验测试技术和试验测试校准技术的研究及应用,提升航空发动机试验测试技术水平。

##### 5.3 加强专业间交流和协同

发动机测试工作与发动机设计、试验工作是高度融合的,应加强专业间的技术交流并运用系统工程的思想大力开展专业间协同,这样才能更好地推动发动机研制工作。设计工作需要试验来验证其设计的可行性及技术指标是否满足要求;试验工作需要设计试验方法、建设试验设备以满足试验要求;测试工作要根据试验要求构建测试系统、准确获取数据、开展数据处理和分析等工作。发动机测试工作需要与发动机设计初期开展,需要与发动机性能设计专业探讨性能测试点的数量和布局是否科学合理;需要与发动机结构工程师研究测试结构的可行性,即需要在发动机结构设计时考虑发动机的可测试性;还需要与试验专业研究测试系统与试验设备的相容性,试验程序与测试系统的匹配性等<sup>[3]</sup>。因此,应通过设计、试验、测试工作的流程梳理,在设计流程中集成于试验、测试相关的模块和技术接口,在试验和测试流程中设置与设计协同的模块和接口,同时细化每个流程模块的技术细节,形成1个有机整体,才能达到预期的试验测试目标。

#### 结语

试验测试是对航空发动机零部件、系统和整机性能设计和优化的重要参考依据,因此提升航空发动机测试技术对推动航空发动机发展有着重要的意义。提升航空发动机测试技术,设立专项计划开展航空发动机测试技术研究,加强国内外相关技术探讨和交流,并将数据管理纳入到重要技术研发,建立完善的航空发动机测试标准和规范,推动测试技术快速发展。

#### 参考文献

- [1] 李杨,礼家贺,於琦.试论航空发动机试验测试及数据管理技术[J].科技传播,2019,11(21):91-92.
- [2] 单晓明.民用航空发动机试验测试技术需求与应用探讨[J].测控技术,2019,38(07):1-7.
- [3] 饶志锋,高君.试论航空发动机试验测试及数据管理技术[J].科技创新与应用,2018(35):156-157.

通讯作者:周婧雯,女,汉族,1989年5月,籍贯:辽宁铁岭,邮编:110015,单位:中国航发沈阳发动机研究所,职称:工程师 职位:航空标准化规范设计师,学历:本科 研究方向:航空标准化规范设计 邮箱:zhoujingwen510@126.com