

# 某型航空发动机燃油泵性能检测台的研制

## Research and Development of the Performance Test Platform for Aircraft Engine Fuel Pump

吕孟军 赵学军 温海涛 郭 琪

(空军第一航空学院航空机械工程系,河南 信阳 464000)

**摘要:**为解决某型航空发动机燃油泵在返厂维修和封存期间的性能检测问题,构建了综合化的燃油泵性能检测平台。为确保功能和指标的实现,依据检测内容,基于安全性和可靠性的设计原则,对平台驱动系统进行了科学搭建、对液压系统和测控系统等进行了试验和修正。检测台实现了对燃油泵的磨合运转、性能参数的准确检测和性能的综合判定,为装备的维护保养和正确使用提供了可靠依据。相关单位应用表明,该平台有效提升了某型航空发动机装备的维护保障效率。

**关键词:** 航空发动机 燃油泵 性能检测 驱动系统 流量测量

**中图分类号:** TP216+.1 **文献标志码:** A

**Abstract:** In order to solve the performance testing issue during returned for repair and sequestration period of the fuel oil pumps of certain model of aircraft engine, the comprehensive performance test platform of the fuel oil pumps is constructed. To ensure implementation of functions and performance indexes, in accordance with the detection contents, Based on the design principle of reliability and security, the drive system is built scientifically, and the hydraulic system and measurement and control system are tested and revised. The run-in operation, precise detection of the performance parameters, and comprehensive performance judgment for the fuel oil pump are conducted, thus reliable basis of maintenance and proper use of the facility is provided. The application indicates that this platform effectively improves efficiency of maintenance security for facility of this model of aircraft engine.

**Keywords:** Aircraft engine Fuel pump Performance test Drive system Flow measurement

## 0 引言

某型航空发动机作为我军先进战斗机的动力装置,其整体和部附件性能需符合技术指标才能确保飞行安全。燃油泵是发动机的关键部件之一,在返厂维修或封存期间必须对其进行维护保养和性能检测,以保证装备完好率<sup>[1]</sup>。

本文研制的燃油泵性能检测台能够完成对某型航空发动机主燃油泵的磨合运转。在稳态和过渡态条件下进行规定时间内的磨合运转,检查燃油泄漏量、噪声振动等指标是否合格;按照履历本,检测通道流量、压力、温度及变化率等性能参数是否符合技术规范的要求<sup>[2]</sup>;依据性能和故障数据库,判定附件的性能是否合格,依据规程指导进行基本的检查调整工作。相关单位应用表明,该平台有效提升了某型航空发动机装备的维护保障效率。

## 1 总体设计方案

### 1.1 功能组成

按功能划分,燃油泵性能检测台<sup>[3]</sup>主要由驱动系统、检测台体、液压系统及测控系统4部分组成,具体如图1所示。

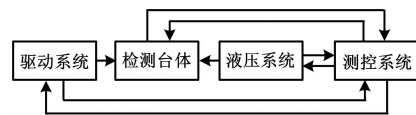


图1 系统功能组成

Fig. 1 Functional composition of the system

图1中,驱动系统主要由大功率防爆电机、变频器、配电柜、增速齿轮箱、联轴器、转速箱等部分组成,其功能是按检测需求,安全可靠地为待测附件提供一定功率、扭矩、转速,以及能够按需求实时变化的动力。检测台体用于安装或放置驱动系统中的变频器、测控系统中的工控机部分,将待测泵与驱动系统进行隔离,同时为各测量接口提供管路连接,固定各种控制开关、旋钮、二次仪表、接头、传感器、线路等测量附件。液压系统主要包括散热装置、液气压力附件(油滤、气滤、

修改稿收到日期:2013-04-21。

第一作者吕孟军(1978-),男,2008年毕业于南京航空航天大学机电控制及自动化专业,获硕士学位,讲师;主要从事航空发动机故障诊断方面的研究。

电磁开关、调压阀、安全阀、截止阀、单向活门等)、管路及显示仪表等,使供给进入待测主泵的燃油、空气指标达到要求,确保系统工作的安全可靠。测控系统主要包括工控机、功能板卡、传感器部分、直流电源、调理电路、电子元器件等,完成对参数的采集处理和显示、对电磁开关等的控制。

### 1.2 工作原理

系统的工作原理如图 2 所示。

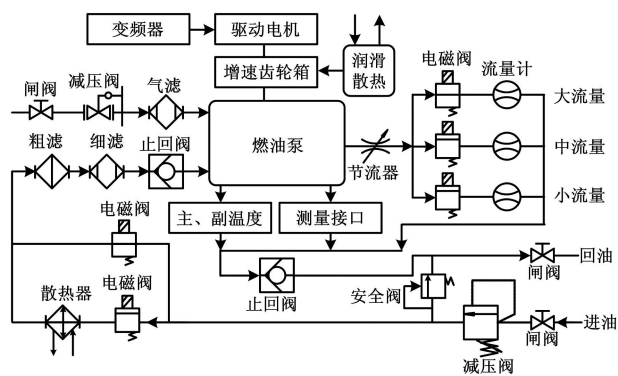


图 2 系统工作原理图

Fig. 2 Operational principle of the system

待测泵由大功率的变频调速电机带动运转,为确保转速在最大转速内实现无级调节;变频器使供电频率在设定频率内变化;增速齿轮箱将转速提升 2 倍。待测泵进口燃油通过低压泵(小型电机驱动)从油箱中抽出<sup>[4]</sup>,通过调压阀将压力调整到进口允许压力范围;设置旁路安全阀,防止系统压力过高;燃油经过散热后经过粗、细油滤进入主泵;为防止燃油倒流,设置单向活门。待测泵出口安装燃油分配器、主副温度传感器,各出口处均设置节流器,模拟燃油实际的运动阻力,相关接口设置压力、流量传感器进行数据采集测量,燃油流回油箱。

## 2 系统详细方案

### 2.1 驱动系统

驱动系统设计的好坏关系到整个系统工作的安全性和可靠性,它是性能检测平台的核心功能模块。依据技术资料数据,待测型号燃油泵的出口最大油压力不超过 10 MPa、最大流量不超过 15 000 L/h、最大转速不超过 6 000 r/min。根据这些参数,可以计算得到驱动系统工作的一些关键参数。

泵功率的计算公式为:

$$N = Q \times P \approx 42 \text{ kW} \quad (1)$$

设定泵运转时的机械损失为 10%、传动效率为 90%,则带动所需功率的计算公式为:

$$N = 42 / 0.81 \approx 52 \text{ kW} \quad (2)$$

所需扭矩的计算公式为:

$$L = N / \omega \approx 67 \text{ Nm} \quad (3)$$

驱动系统的选型依据上述数据进行。

#### 2.1.1 驱动电机

依据提供功率大于所需功率的选型准则,同时考虑扭矩传递过程中的各种损失,电机选定功率为 55 kW 的 YB2 系列大功率防爆型鼠笼式异步电机<sup>[5]</sup>,2 级额定转速约达到 2 970 r/min,只需增速 2 倍即可满足转速要求(最大不超过 6 000 r/min)。

55 kW 的 2 级电机的转矩计算公式为:

$$L = 175 \text{ Nm} \quad (4)$$

增速 2 倍后转矩降低一半,假定增速机械损失 20%,则扭矩的计算公式为:

$$J = 175 \times 80\% / 2 = 70 \text{ Nm} \quad (5)$$

因此,无论是功率、转速,还是扭矩,上述驱动电机指标满足要求。

#### 2.1.2 增速齿轮箱

三相电机的额定转速接近 3 000 r/min,因此只需提高到原来的 2 倍即可达到要求。方案有以下两种。

其中一种方案是采用专用的变频调速电机直接变频到要求转速。变频电机的级数基本都是 4 级以上,也就是说转速均为 1 500 r/min 以下,这样达到设计要求需要将最大频率变化到 200 Hz 左右。一方面,达到 200 Hz 的变频电机需要定制,造价较高;另一方面,变频到 200 Hz 的变频器性能要求高、价格高,均不利于节约研发成本和批量生产。基于以上原因,我们放弃这种方案。

另一种方案是利用增速装置将转速提升到原有值的 2 倍,这就需要用到传动比 1:2 的增速齿轮箱。通过调研,满足要求的齿轮箱价格不高、构造简单,因此最终采用这种方案。为满足高速运转要求,增速齿轮箱齿轮采用“人字形”齿<sup>[6]</sup>,设计有独立的润滑和冷却系统,确保工作的安全稳定。

#### 2.1.3 变频器

由于泵运转时转差率变化很小,转速基本上正比于频率,因此变频调速器选用 PWM 电压源型<sup>[7]</sup>。为确保良好的运行质量,选用三菱 FR 系列变频器,功率与电机相同。

三菱 FR 系列变频器为微型数字式控制器,通过输入 4~20 mA 的控制信号,可实现 0~100 Hz 的供电频率变化。由于电机的额定转速为 2 970 r/min,增速到原有值的 2 倍即可达到 5 940 r/min(齿轮箱),这样最大频率调节只需要满足:

$$f=50.5 \text{ Hz} \quad (6)$$

考虑到待测泵在极低转速时的测量没有意义,我们将变频器的输出频率设定在 5 ~ 50.4 Hz 之间,满足系统的性能要求。

#### 2.1.4 配电箱、联轴器、转速箱及固定底座

由于驱动系统工作时消耗功率较大,需要配置独立的配电箱。联轴器用于实现电机与增速齿轮箱、增速齿轮箱与待测泵之间的扭矩传递,均为弹性轴,确保同心。转速箱中放置加工有 30 个齿的齿轮,用于输出给转速传感器信号,测量转速大小。固定底座为电机、齿轮箱等提供固定安装。为减小机械振动,固定底座打桩深埋于地下,同时其内部提供漏油盘及线路的固定,保证美观实用和安全。

最终设计完成的驱动系统示意图如图 3 所示。

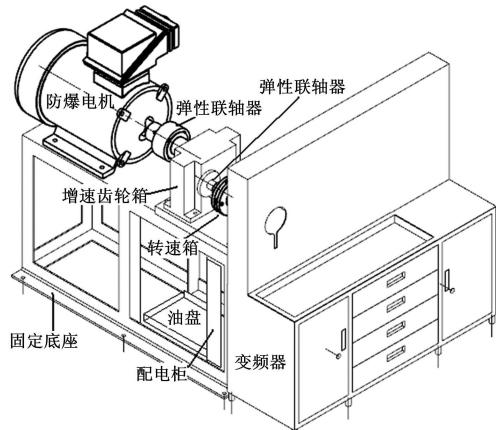


图 3 驱动系统示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the driving system

## 2.2 测控系统

测控系统用于对待测主泵参数进行采集处理、对开关量进行控制,主要包括工控机部分、传感器部分和电气连接部分。

燃油泵上的接口开式测量点共有 10 个、闭式测量点有 4 个、主副温度传感器上的测量点有 4 个、供油路线上(进)的测量点有 2 个、输出转速测量点有 2 个、控制点有 6 个。各测控点名称及性质不作介绍。为达到对所有测控点的测控要求,硬件选型方案具体如下。

工业控制计算机采用军品级工控机,要求具有 6 个以上全长 ISA/PCI 扩展槽、2 个 USB 2.0、2 个串行口、1 个并口。A/D、I/O、计数器板用于采集开关量信号、模拟量信号(温度、压力、流量、转速)和频率量信号(电机转速)。信号调理板对采集到的信号进行滤波、放大及电平、波形转换。采取电气隔离等保护措施防止过载对仪器的损坏。直流稳压电源输入 220 V AC、输出 +5 V、

±12 V、+24 V,为信号调理板、仪表和电磁开关等元器件提供可靠供电。压力传感器选用压力检测与信号变送于一体的压阻式压力传感变送器,输出 4 ~ 20 mA 标准电流信号;流量传感器选用带压力和温度在线补偿的高精度涡轮流量计,输出 4 ~ 20 mA 标准电流信号;温度传感器选用铂热电阻传感器,信号通过串口直接由计算机处理;转速传感器采用非接触式。

## 2.3 检测台体

检测台体框架材料为不锈钢,面板采用冷板,在固定待测泵、管接嘴和嵌入显示器、操作按钮的位置采用 5 mm 的加厚材料,其余部分采用 3 mm 厚的板材。

台体右侧含上、下部分的工控机部分,用于对系统的控制(电机的启动与停止、电机转速等)、采集处理测量的参数、显示打印检测结果。

台体下方设计为存储位置,左侧用于安装变频器等设备,中间存放燃油连接导管、接头,右侧用于存放必要的紧固、拆卸工具,上侧漏油槽用于收集检测台安装和工作时从接头渗漏的燃油。

台体上方左侧为主功能区,用于显示系统工作时的压力、流量、温度关键参数,通过专用接口固定安装待测泵。管接嘴区提供导管的连接位置,开关旋钮分别控制驱动系统的启停、显示部分的开关及转速调节。

台体后面用于铺设液压管路、安装传感器、指示仪表及电磁附件,提供与齿轮箱和电机的连接空间。

## 2.4 液压系统

液压系统用于安全可靠地为检测台提供符合要求的燃油和压力空气,满足不同状态下的检测需求。

压力燃油和压力空气由液压泵站和气源泵站提供,燃油压力和气压大小可通过调节阀调整<sup>[8]</sup>。

管路和液压元器件根据技术指标和要求制作;所有的液压电磁元器件(安全阀、单向活门、蓄压器、油滤气滤、电磁开关、调压阀等),特别是电磁控制部分,均采用军品级防爆产品,具有打开与关闭指示,确保可靠性和安全性。

散热系统由于不需要对泵的性能进行全面检测,因此不需要对油液进行加温,也不需要设置加热系统;但经过齿轮泵的燃油具有一定温升,而且由于是循环使用,为确保安全,散热系统是必须要设置的。散热器购买成品件,采用水冷式。

## 2.5 软件部分

软件开发工具选用 Labwindows CVI8.0<sup>[9]</sup>。软件主要实现两部分功能:一部分用于实现常规的控制面板,在屏幕上建立图形化的仪器面板,从而实现数据采集、结果显示;另一部分用于实现检测控制功能,利用



数据采集卡自带的 DAQ 控件,通过所提供的接口函数实现对采集卡的 I/O 端口进行读写操作<sup>[10-11]</sup>。

程序启动后,首先显示欢迎界面,后台进行端口的自检,自检成功后进入主程序界面。主界面中的菜单栏提供软件操作选项,包括检测的开始停止、系统的退出、数据文件的保存读取及必要的帮助信息等;中间的检测结果显示区实时显示参数曲线,包括各种压力、流量、转速及温度信息,指示液压管路的工作情形;主界面最下方提供待测附件的状态信息、故障信息和处理意见。该软件不仅能够实现实时的参数检测,而且可以调取以前的测试数据,打印生成报表,为附件状态的跟踪掌握提供数据支撑。

### 3 主要技术难点

#### 3.1 流量值和压力值的准确测量

燃油泵需要在不同转速下运转,燃油流量差异较大,从 400 L/h 到 15 000 L/h,相差近 40 倍,若采用尺度相同的测量标准,必然导致参数测量的准确性降低,甚至无法采集到数据。为解决此问题,将流量测量分为大流量、中流量和小流量 3 个档次,涡轮流量计的直径(单位:mm)分别为:35、15、10,对应的量程范围(单位:m<sup>3</sup>/h)分别为:0.2~1.2、0.6~6、1.5~20。当主泵转速达到某一转速时,电磁阀切换流量测量通道,这样不同流量采用不同量程及精度的控制阀和传感器,就可保证大、中、小流量的流通和测量精度。

对于小流量燃油的产生如果采用持续泵源,会有很大的压力脉动,影响压力检测精度。为保证小流量时燃油的压力稳定,在液压管路中设置蓄压器,同时采用气压供压的方式,用调节冷气压力来调节小流量燃油系统压力。这样在保证小流量燃油系统压力稳定的同时,其精度也可以得到保障。

#### 3.2 安全保障措施

由于燃油具有挥发性,当燃油在空气中的浓度达到一定值时,一旦有电火花等明火出现,将会出现燃烧,所以设计时必须充分考虑系统运行的安全性问题。为确保燃油系统附件测试时的防火、防爆等安全问题,可以采用以下多种方式来保证:①各型电磁阀和传感

器仪表等均采用防爆等级高的元器件;②高压电源与试验设备安装位置分离;③试验场所采用换气设备,保证油气密度低于可燃标准;④建立可靠接地,防止静电产生电火花;⑤由于使用的电源为 380 V/100 A 动力电,为确保用电安全,必须设置独立的安全防护设备,如配电柜、断路器、空气开关等,试验和运行场所必须达到规定的使用环境要求。

### 4 结束语

本文研制的某型航空发动机燃油泵性能检测台已推广到多个单位使用,应用表明,该设备操作方便灵活、测量参数齐全、性能判定准确、工作安全稳定,功能设计完全满足技术指标要求。同时,监测结果存储和分析功能的实现为燃油泵寿命预测和工作可靠性评估提供了较为可靠的数据依据,对于燃油泵的使用、维护和保养工作具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 吕孟军,郭琪.某型航空发动机综合检测系统研制关键技术[J].自动化与仪表,2012(1):15-19.
- [2] 唐永红,史贤俊,刘陵顺.飞机发动机转速实时检测与显示系统的设计[J].自动化仪表,2012,33(3):84-86.
- [3] 杨旭东,李晖.汽车燃油泵单向阀灵活性检测台的设计[J].机电一体化,2010(12):63-66.
- [4] 孙春耕,袁锐波,吴张永.PLC在液压泵站中的应用[J].液压与气动,2010(2):87-88.
- [5] 赵震,刘志刚.大功率异步电机矢量控制系统[J].电机与控制应用,2007(4):23-27.
- [6] 靳国忠.齿轮箱系统集成设计方法探讨[J].机车车辆工艺,2012(5):6-8.
- [7] 王坤,张磊.PWM变频驱动系统差模干扰分布研究[J].电力电子技术,2012(4):62-64.
- [8] 严共鸣,赵德春.基于电液伺服阀检测仪的可移动式液压泵站研制[J].液压与气动,2011(8):16-18.
- [9] 张海丽,苏淑靖.基于LabWindows/CVI的测试仪软件设计[J].测控技术,2012(7):88-91.
- [10] 陈志光,秦朝葵,孙秀丽.虚拟仪器的温度流量测试系统设计[J].自动化仪表,2009,30(6):54-56.
- [11] 童启明.控制系统数字仿真与监控组态软件应用[M].北京:科学出版社,2006.
- [7] Beckwith T, Mmranngoni R, Lienhard J. Mechanical measurements[M]. 5th edition. Wesley: Longman, 1993.
- [8] FTDI Ltd. FT232R USB UART IC [EB/OL]. [2012-03-28]. <http://www.ftdichip.com>.
- [9] 霍宏发,李明,蒋阳,等.大型平台变形量实时监测的光电测量方法[J].光电工程,2009,11(36):1-4.
- [10] 陈鸣慰,袁作林,季鹏.基于RS232/485协议的数据采集系统[J].微处理机,2009(4):86-87.
- [11] 阮林波,李海涛,田耕,等.基于线阵CCD的可扩展式非接触微小位移测量方法及装置:中国,201110267091.1[P].2011-10-26.

(上接第76页)