

某型航空发动机自动测试系统研制

苗卓广¹, 杨坤², 王海涛¹, 谢寿生¹, 翟旭升¹, 蒋爱武¹

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 95896 部队, 河北 沧州 061036)

摘要:为解决某型航空发动机测试系统检测结果主观因素大、检测速度慢, 损耗发动机使用寿命等问题, 研制了该型航空发动机的自动测试系统。首先介绍了系统总体方案要求, 分析了该自动测试系统的硬件总体结构并设计了高、低压转速信号, T_1 、 T_3 、 T_6 温度小信号等调理电路; 其次归纳分析了动、静态检测流程, 为模拟人工搜索过程确定了检测点位置, 结合单因素试验 0.618 法提出了一种时序递增自寻优搜索算法, 并阐述了该算法的基本原理; 最后在发动机上进行了试验验证。试验结果表明: 该自动测试系统硬件电路设计合理, 信号采集准确, 误差满足要求; 软件流程设计合理, 搜索算法快速准确, 检测速度提高了约一倍, 节省发动机的使用寿命。

关键词:航空发动机; 自动化测试; 单因素试验 0.618 法

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.02.006

中图分类号: V233.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)02-0024-05

目前, 发动机控制器和测试系统的研制都在向着数字化、自动化方向发展^[1]。某型航空发动机测试设备由于受研制时测试技术发展限制, 主要存在以下不足: 首先, 由于发动机控制通道多, 导致检测设备笨重复杂, 检测规程繁杂, 检测时间长, 影响了发动机的使用寿命; 其次, 检测过程人为因素多, 检测结果不客观; 最后, 系统自动化程度低, 参数记录不及时, 事后补充不精确, 缺乏管理功能^[2-8]。本文针对这些问题, 对发动机进行自动测试系统研制, 以快速准确地实现故障诊断和故障定位, 减少对发动机使用寿命的损耗。该测试系统要能够测试和发送最初配发的动、静态 2 套检测设备所有信号; 对非电量测试信号如 IGV、 X_6 等, 要配置相关的传感器; 整合、动、静态检测流程, 编写检测软件, 实现检测自动化; 能够自动记录检测过程中发动机的实时参数以便于事后分析, 对有故障的发动机要能够给出排故路线。

1 测试系统硬件结构及信号调理

1.1 硬件总体结构的设计

该系统以工控机为操作载体, 包括主控板 PXI3800 控制器, 3 块多功能板 DAQ-2010、DAQ-2204, 总线无源母板, 电源单元和 4 块信号调理板等组成, 系统结构见图 1^[9]。4 块调理板分别将高、低压转速、 T_1 、 T_3 、 T_6 等信号调理成板卡输入需求

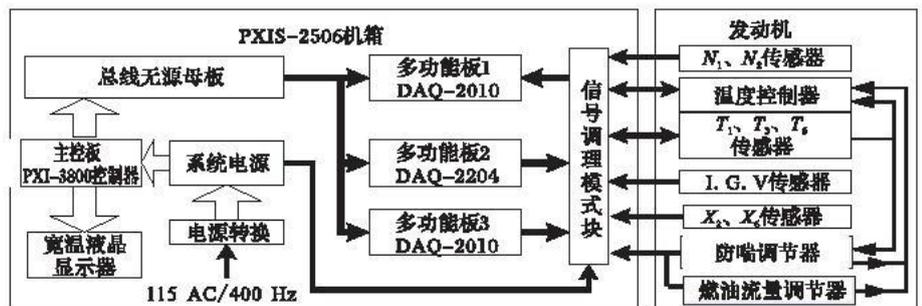


图 1 系统总体结构

Fig. 1 System general structure

* 收稿日期: 2009-09-17

基金项目: APTD 计划资助项目(1703-01)

作者简介: 苗卓广(1985-), 男, 河北栾城人, 博士生, 主要从事航空发动机测试、控制与状态监控研究。

E-mail: mohen267@126.com

信号,3 块多功能板则实现上述信号的采集、控制。

1.2 转速信号调理

采用测周法采集转速信号,设计电路见图 2。转速信号引入后,通过 C_1 和 C_2 分压, U_1 、 U_2 、 U_3 及 3 对并联的二极管进行半波整流、反向整形等。由于信号输入变化范围较大(0 - 30 V),若采用固定放大器衰减电压,必然顾此失彼,因此,采用 3 级变限幅衰减信号通过 U_4 单元一次跟随后采用光电隔离器 U_5 (PC817) 隔离输出为标准信号,最后进入由锁相环 U_7 (MC14046BCL) 和 12 位计数器 U_8 (CD4040BCN) 组成的倍频电路,该倍频电路能够选择倍频的倍数,扩频后的标准方波信号进入采集板卡 DAQ - 2010 的计频端口 Gate。

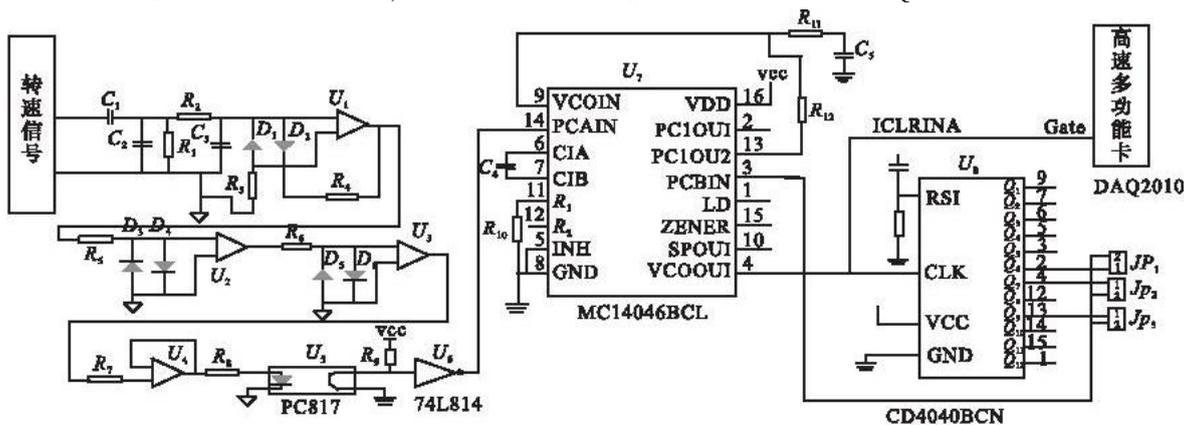


图 2 转速信号调理电路

Fig. 2 Circuit of rotate speed sensor

1.3 T_1 、 T_2 、 T_3 小信号调理

实验发现, T_1 、 T_3 、 T_6 热电偶信号非常小,传输距离长,现场干扰多。针对这一测试系统硬件电路设计中的难点,经过多次实验,最终选用 AD595 芯片作为测量芯片。AD595 是 AD 公司专门为 K 型热电偶温度测量生产的宽温(-40 - 85 °C) 自带冷端补偿(内部冰点补偿器)的高精度热电偶测量芯片。为防止小信号被干扰,必须高精度隔,离但要求隔离不能损失测量或发送精度。HCNR201 可以满足这一要求,因为它是高精度线性光耦隔离,输出跟随输入变化,线性度达 0.01%,隔离电压最高峰值达 8 kV。以 T_1 测量为例,电路设计见图 3。

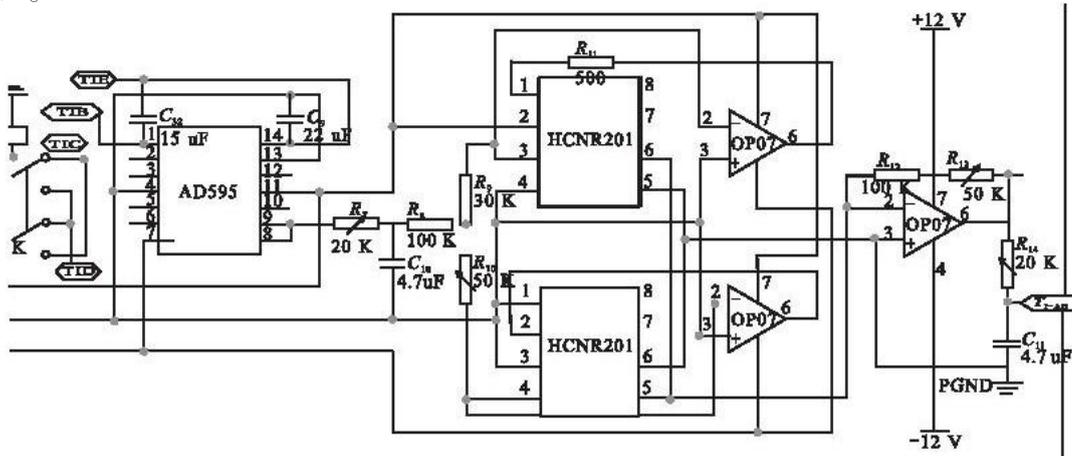


图 3 小信号采集电路(以 T_1 为例)

Fig. 3 Circuit of acquiring faint signal (for example T_1)

经过 AD595 进入高频无源滤波器,再经过 HCNR201 光隔,经过 1:1 有源滤波运算放大器 OP07,最后电压信号 T_{1-AD} 到达 T_1 采集板卡。限于篇幅,其它信号的采集调理电路略。

2 测试软件构建及算法实现

2.1 静态检测总体结构

归纳静态检测规程,按照控制单元分为 T_1 、 T_3 、 T_6 调节系统和附面层引气系统的检测,其主要目的为检测温度控制器在发动机静止通电状态下是否正常。设计静态检测软件流程,其结构见图4,主要为数据采集线程、数据显示线程和检测主控线程等。

2.2 动态检测总体结构

动态检测主要目的是在发动机开车状态下检查压比调节器、防喘调节器以及发动机整体情况是否正常,共包括 X_2 的检查、 ΔN_L 的检查、发动机最大军用状态检查等。动、静态检测流程类似,不同的是动态检测需在发动机开车状态下检查且检测内容不同,故结构图略去。

2.3 检测点搜索方法

测试过程中,除了继电器的通断、离散量的确定等,模拟手动调整是重点。在静、动态检测中,均需自动引入信号将发动机或者控制器调整到检测点位置;如在静态检测中需要输入 T_1 等信号;在动态检测中引入 T_6 ,调整温度控制器的输出使转速下降至对应检测点。这些过程本质可归结为具有相关性的控制参数的搜索问题^[10]。针对该问题,结合单因素试验0.618法^[10]设计了一种时序递增自寻优搜索算法,模拟人工调整过程。单因素试验0.618法又称黄金分割法,是一维优选法。其基本原理为:在试验范围内取第1个试验点,第2个试验点取其对称点,即0.382,在上述2点上进行试验并作试验结果比较,删除较差的一点及外测的试验范围,在保留的范围内重复上述方法取点,直至找到最佳值。本文设计的时序递增自寻优算法先通过递增调整信号将发动机工作状态经历过检测点确定引入信号上限、下限,再利用单因素试验0.618法优选微调精确搜索到检测点为止。

3 试验与结果分析

该系统的试验在某发动机厂的试车台上分2步进行:第1步检验信号采集的精度。限于篇幅这里只给出 T_1 的测试结果,见表1。 T_1 小信号采集测量误差在 ± 0.5 °C 之内,满足工程应用要求。

表1 T_1 测试结果

Tab.1 Test result of T_1

给定温度值/°C	-100	-77	-50	-20	0	20	65	100	150	207	250
T_1 采集温度值/°C	-99.7	-76.8	-50.3	-20.1	-0.2	19.6	65.5	100.2	150.3	207.3	250.5

第2步检验软件流程和算法的正确性。此步骤连接发动机进行试验,限于篇幅仅给出以下2步检测过程:①静态时“引入 T_6 温度调整某控制器响应使转速表电压和励磁电压为零”的检测情况,此时采集 T_6 温度应为最大 T_6 限制值的3~5 °C 度范围内,否则温控器不正常;②动态 X_2 检查中“ T_6 调整引入降转过程检查”检测情况,此时采集 X_2 位置应为设计值 X_2 的 $\pm 1\%$ 范围内,否则发动机不正常。针对静态时“引入 T_6 温度调整某控制器响应使转速表电压和励磁电压为零”检测过程,由系统自动向发动机发送 T_6 信号,同时采集 T_6 反馈信号和控制器非线性反馈响应-励磁电压、转速表电压信号,采样间隔为0.1 s。从试验结果中提取该段调整过程,见图5。调整过程从37 s到77 s为递增粗调整过程,引入信号逐渐增大;77 s到100 s为精确调整过程;调整完成后,励磁电压和转速表电压分别为0.36 V和0.02 V,满足调零标准,检测点搜索精确,从而正确模拟了人工搜索过程。动态时“ T_6 调整引入降转过程检查”的试验情况见图6。从图6中可知,发动机的转速准确跟随了 T_6 信号,能够很快地准确降到规定的转速上,采集 X_2 的值进行检测。通过试验还发现该测试系统动、静态检测完毕所需时间仅为20多 min,而目前人工检测却需40多 min 因此显著提高了检测速度意味着缩短了发动机地面开车时间,节省了寿命。

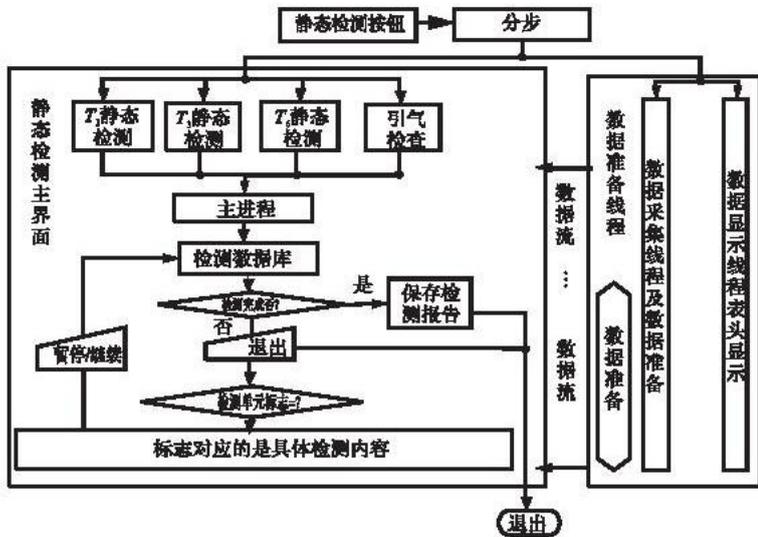


图4 静态检测流程框图

Fig.4 Flow chart of the static state test

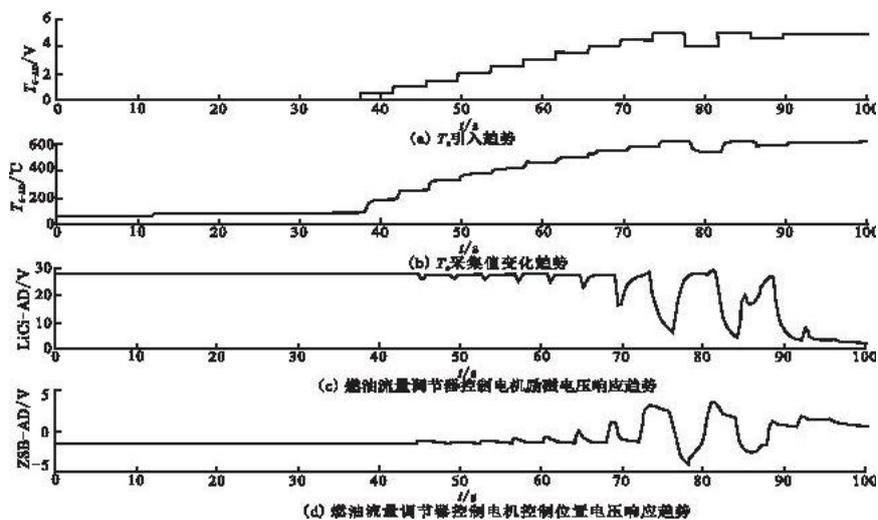
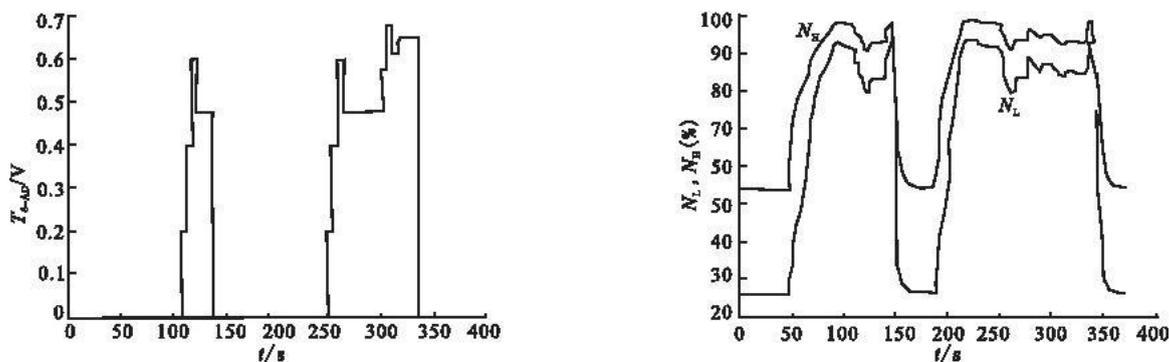


图5 搜索过程变化趋势

Fig. 5 Change curve of the self-searching process

图6 T_0 调整引入降转过程检查Fig. 6 Examine of slowdown process by importing T_0

4 结束语

针对某型航空发动机设计了自动测试系统,实现了自动化测试。整体结构和关键信号设计合理,实现了远距离小信号的测量等。测试软件流程正确,结合0.618法成功模拟了手工调整过程,实现了检测点的快速确定。试验结果表明:所设计的测试系统满足实际工程需求,并且检测速度提高了约一倍。

参考文献:

- [1] 吴勇, 谢寿生, 彭靖波, 等. 某型涡扇发动机数字式综合电子调节器研制[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2009, 10(2): 5-9.
WU Yong, XIE Shousheng, PENG Jingbo, et al. A Digital Electronic Controller of A Certain Turbofan Engine[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2009, 10(2): 5-9. (in Chinese)
- [2] 谢寿生. 某型加力涡扇发动机[M]. 西安: 空军工程大学工程学院, 2002.
XIE Shousheng. A Certain Turbofan Engine[M]. Xi'an: Engineering Institute of Air Force Engineering University, 2002. (in Chinese)
- [3] 周宗才. 飞机推进系统控制[M]. 西安: 空军工程大学工程学院, 2003.
ZHOU Zongcai. The Control of Aircraft Propulsion System[M]. Xi'an: Engineering Institute of Air Force Engineering University, 2003. (in Chinese)
- [4] Urban L A. Parameter Selection for Multiple Fault Diagnostics of Gas Turbine Engines[R]. ASME 74-GT-82.
- [5] Spina P R, Torella G. The Use of Expert Systems for Gas Turbine Diagnostics and Maintenance[C]//Proceeding of ASME Turbo EXPO. Amsterdam: ASME Press, 2002: 215-221.

- [6] 张伟, 谢寿生, 钱坤. 基于 APCI 总线的电子调节器检测仪研制[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(18): 109 - 111.
ZHANG Wei, XIE Shousheng, QIAN Kun. A Digital Electronic Controller Based on APCI Bus[J]. Computer Engineering and Application, 2005, 41(18): 109 - 111. (in Chinese)
- [7] 钱坤, 董新民, 谢寿生, 等. 基于分布式控制的某型飞机综合调节器测试系统[J]. 机电工程技术, 2004, 33(6): 75 - 77.
QIAN Kun, DONG Xinmin, XIE Shousheng, et al. A Test System of An Airplane Integrated Controller Based on Distributed Control[J]. Mechanical and Electrical Engineering Technology, 2004, 33(6): 75 - 77. (in Chinese)
- [8] Roemer M J, Kacprzyński G J. Advanced Diagnostics and Prognostics for Gas Turbine Engine Risk Assessment[R]. ASME 2000 - GT - 30.
- [9] 刘君华. 现代检测技术与测试系统设计[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1999.
LIU Junhua. The Modern Detecting Technology and Design of Test System[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1999. (in Chinese)
- [10] 何光渝, 雷群. Delphi 常用数值算法集[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
HE Guangyu, LEI Qun. The Common Numerical Value Arithmetic Set of Delphi[M]. Beijing: Science Press, 2001. (in Chinese)

(编辑: 徐敏)

Design of Automatic Test System on An Aeroengine

MIAO Zhuo - guang¹, YANG Kun², WANG Hai - tao¹, XIE Shou - sheng¹, ZHAI Xu - sheng¹, JIANG Ai - wu¹
(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Unit 95896, Cangzhou 061036, Hebei, China)

Abstract: To solve the problems that subjective factor is major in test result of test system of aeroengine and the life of aeroengine is wasted because of the slow test seed, an automatic test system is designed. Firstly, the whole project is introduced, the hardware structure of automatic test system is analyzed and the measure circuits such as the high and low pressure rotating speed signals, weak signals T_1 , T_3 , T_6 , etc. are designed. Next, the software flow is analyzed. For the purpose of realizing the determination of test points in the search process, a seek - self searching algorithm in time order is put forward in combination with single factor test method 0.618, the structure and flow of the algorithm are analyzed and the fundamental of the algorithm is illuminated. Finally, the test system is tested using an aeroengine. The test result shows that the design of the hardware structure of the test system is reasonable and logical, the signal collected is accurate, the error is content with the requirement, the design of the software flow is logical, the searching algorithm is fast, accurate and the measure speed is doubled which will save the service life of aeroengine.

Key words: aeroengine; automatic test; single factor test method 0.618