

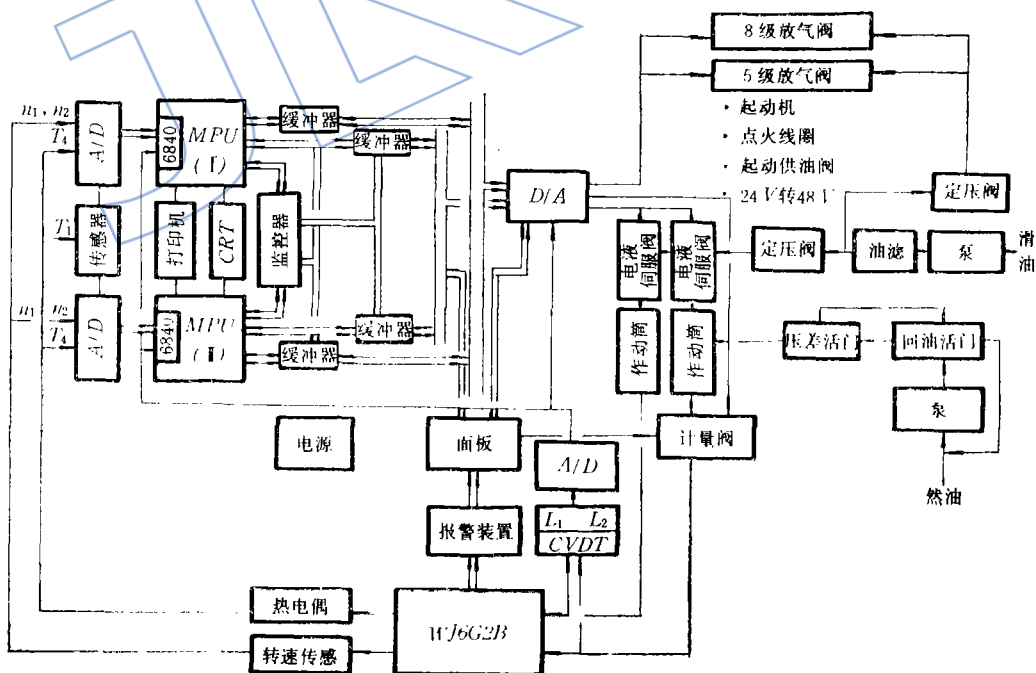
WJ6G2B发动机的全功能数字式 电子控制器

沈阳航空发动机研究所 高云鹤 张绍基 邢家瑞

WJ6G2B发动机是航空发动机WJ6用作地面动力时的改型,发动机输出功率约3000~3600马力,双轴,以动力涡轮驱动负荷,带发动机或水泵。控制该发动机的全功能数字式电子控制器QSK-06完成了约2500小时的部件和系统试验,于1986年1月在发动机上完成了主要性能试验,证明QSK-06达到了预期的设计要求。

1. 控制功能 控制器的基本功能有:(1)按负载转速闭环调节发动机的供油量(或供气量)。(2)按燃气发生器的换算转速调节可调导向叶片的角度。(3)完成发动机起动程序,按大气温度自动修正起动供油曲线。(4)加减速控制。(5)监视发动机和控制系统是否正常,自动修正工作状态或做报警和停车处理。(6)运行中实时修改控制系统的有关参数。(7)CRT提供六幅屏幕显示,供操作者了解系统运行状态。(8)打印机分七页打印各运行状态的数据。

2. 系统构成 图1是系统构成简图,为了保证系统工作的可靠性,采用了双余度的结



构, 两台MC68000微处理机并行工作。MC68000微机系统中有EPROM64K、RAM32K, 另带4KRAM作为公共数据区, 供两机交换数据用, 使两机在故障情况下能平稳转换。

输入信号主要有燃气发生器转速 n_1 , 动力涡轮转速 n_2 , 动力涡轮后温度 T_4 和发动机进口温度 T_1 , 转速采用磁头和脉冲测速发动机传感, 发动机每转发60个脉冲, 温度信号均通过VFC转换成频率信号, 通过微机在采样周期中计数, 输入这些信号。由于输入都是频率信号, 给输入电路与微机之间的隔离带来了方便。为提高可靠性, 输入接口都是双路式的, 微机另带32路的I/O开关量通路, 测取操作信号和保护信号, 输出程序性执行信号和一系列显示信号。

微机计算的输出量经D/A, 采用变占空比的方波转换为模拟量, 通过功率放大控制两个电液伺服阀, 确定发动机的供油量和可调叶片的角度。电液伺服阀的油源取自发动机的润滑系统。控油活门位置和可调叶片位置用LVDT传感器测量并作为反馈信号加到输出接口电路中。

3. 变参数的PI控制

系统的主要控制功能是按闭环调节负载的转速, 要求燃气发生器能在慢车以上至额定状态的全部范围内稳定输出功率。考虑了两种控制方案, 一种是按 n_2 进行闭环调节, 用转速 n_2 的误差信号直接调供油量, 保持 $n_2 = C$, 而让 n_1 自由浮动; 另一种是采用负载转速 n_2 的误差信号, 改变燃气发生器转速 n_1 的给定值, 间接控制供油量的所谓串级控制方案。经过分析和系统物理模拟试验证实, 串级控制方式的稳定性好得多, 故最后选用串级控制方案(图2)。

使用“带或不带调节系统的燃气涡轮发动机性能模拟程序TURBOTRANS”算出不同功率状态下阶跃响应曲线, 经过拟合, 得出调节对象的数学模型:

燃气发生器: $n_1(s)/G_T(s) = K_1/(T_1s + 1)$

动力涡轮及负载: $n_2(s)/G_T(s) = (T_d s + K_2)/(T_1 s + 1)(T_{22} s + 1)$ 伺服机构的传递函数系用阶跃试验得出, 由于不同状态下伺服阀的负载变化极小, K_s , T_s 和 G_1 等参数均视为常数。

PI控制器1和2的传递函数形式均为: $K_p(1 + \beta/s)$

在对系统离散化数字仿真初定参数的基础上, 用模拟机代替控制对象, 进行了全系统的数学模拟和物理模拟试验验证, 计算和验证试验中, 研究了燃烧时滞(0.02~0.1秒)和采样周期(0.02~0.1秒)对系统的影响。由于控制对象参数 T_1 、 K_1 、 K_2 、 T_{22} 和 T_d 等随状态变化较大, 如 K_1 、 T_1 、 T_{22} 变化达0.9~1.2倍, 计算和模拟试验导致我们采用一个可变增益的比例积分控制器(图3), 以期补偿控制对象的动态参数随发动机状态变化给系统造成的影响。经过优选取 $K_{p1} = 20$, $\beta_1 = \beta_2 = 2$ 。

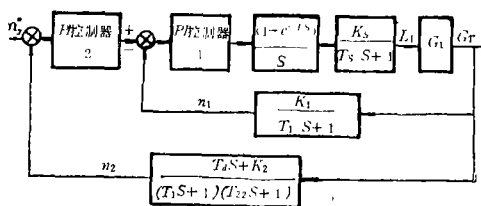


图2 选用的控制方案

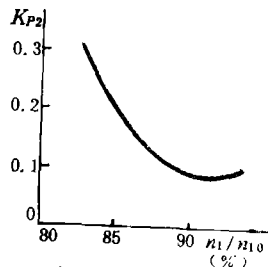


图3 可变增益 K_{p2} 与 n_1 的关系

4. 保证系统高可靠性的措施

发动机作为地面用的动力装置,需要有长年连续运转的能力。机组的故障停车,有时会造成重大的经济损失,高可靠性成为航空发动机能否在其它工业领域开发应用的首要问题^[1]。

系统采用了双余度控制方式,两台微机并行工作,正常状态下,主机实现对发动机控制,辅机完成人机对话和显示打印功能,两机之间的通讯和转换由监控器实现,当主机自检出错或不能给出自检信号时,监控器就连续多次测得出错信号,则指令辅机接替主机控制发动机,两机运行中的数据和变量通过公共数据区交换。主机故障排除后可通过“再试”,使其重新投入工作。因此,双机工作能在一台微机万一发生故障时,确保动力装置正常运行。

感受的发动机主要参数 n_1 、 n_2 、 T_4 都采用双通道,每个微机都经MC6840接受这些输入信号,在软件中设置了输入通道检查,当某参数的一个通道出故障时,自动将其舍去,若其双通道均出故障则作报警及紧急停车处理。输入接口的插件板上亦设有故障指示,此外,系统还设有许多参数保护,如超转、超温、滑油压力和温度及发动机振动等等。对涡轮后温度 T_4 的限制作了特殊处理,起动过程中 T_4 超过一定温度时,自动按一定比例减少供油量,在加减速及稳定工作状态下 T_4 超过一定值后自动降低发动机转速,以减小发动机的输出功率,只在 T_4 达到不允许的极限值时才作紧急停车处理。系统在电方面采取了有效的隔离措施,在交流电源的线路上加超级隔离变压器,所有开关量及数字量的输入输出均带光电隔离,在处理器与外设的接口上也采用了光电隔离。抗电磁干扰试验表明,这些措施有效地保证了系统在外界干扰下的工作可靠性。

5. 试验验证

系统在充分进行物理模拟试验之后,在WJ6G2B发动机上作了运转试验,该发动机以动力涡轮带动负载压气机,进行了起动过程、加减速过程、正常停车及超转、滑油压力超限等应急保护功能的试验,试验证明,QSK-06在使用环境下有较好的可靠性,性能上亦达到了设计要求。图4是发动机起动的典型过程,图5是发动机加减速和停车过程的试车记录。在试验过程中,数字控制器还表现出了对发动机控制要求临时改变的极强适应能力,因此,无论性能上还是易更改性方面,数字控制器较之机械液压式调节器优越得多。今后如将I/O接口通用化和软件模块化,QSK-06可以满足不同型别的燃气轮机的使用要求。

试车台验证工作是在无锡航空发动机研究所李锡平和张铸材等同志协助下完成的,在此一并致谢。

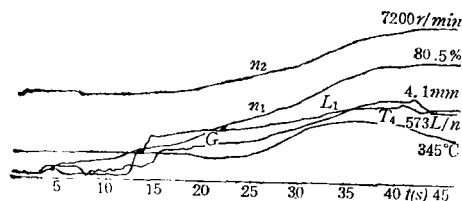


图4 发动机起动的试车结果

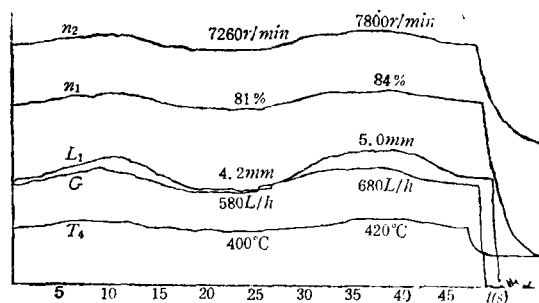


图5 发动机加减速和停车的试车结果

参 考 文 献

- [1] Bluish, J.A., Thomas, R.C., "Reliability with Electronic Controls", ASME 82-GT-186, 1982.

(责任编辑 王庆康)

A split-shaft gas turbine adapted from WZ5G aeroengine is quite suitable for driving a booster compressor station in a long gas pipeline. A mathematical model is established for a booster station with two series centrifugal compressors driven separately by the split-shaft gas turbine of WZ5G aeroengine. The model is simplified by a static state optimization. Its transfer functions are obtained through a nonsingular transformation. The model is applied to analysing the stability and dynamic responses of the system. Some conclusions are drawn which are helpful to controlling of the long gas pipeline.

A DIGITAL ELECTRONIC CONTROL SYSTEM

RST-6 FOR WZ6G ENGINE

Zhu Zhihua and Chen Shengyu

(Far East Machinery Company)

Abstract

A digital electronic control system RST-6 for WZ6G engine, in which a CMC-80 microcomputer and a step-motor driven by a needle metering valve are used. In order to enhance the accuracy of control and the speed of system response, variable coefficient dual-speed control with PID feedback is adopted. A large number of integrated elements and anti-interference measures are employed to increase the reliability of the system.

The present system has run on trial 4200 hours in the Zhongyuan oil field.

A FULL-AUTHORITY DIGITAL ELECTRONIC CONTROL

UNIT QSK-06 FOR AEROENGINE WJ6G2B

Gao Yunhe, Zhang Shaoji, Xing Jiarui

(Shenyang Aeroengine Research Institute)

Abstract

A full-authority digital electronic control unit QSK-06 has been designed for industrial application of turboshaft aeroengine WJ6G2B. By adopting the dual channel structure and some effective measures in both hardware and software, high reliability is achieved. A gain-variable PI control is considered to offset the influence of system performance caused by engine conditions. The design ensures meeting the special requirements for long-time operation of industrial gas turbine. The QSK-06 has undergone a verification test on the WJ6G2B rig with a compressor as a load. This paper covers the design of QSK-06, the approaches to enhance the operating reliability and the engine test results.