

文章编号: 1000-8055 (2001) 01-0093-04

微型涡喷发动机数字控制 实时半物理模拟试验系统

苏三买¹, 马 瑞¹, 冷文彬²

- 1 西北工业大学 航空动力与热力工程系, 陕西 西安 710072;
2 浙江航空公司, 浙江 杭州 310016

摘要: 本文以某微型涡喷发动机为工作对象, 采用 8098 单片机作数字控制器, 计算机当作模型发动机, 具体介绍了数控半物理模拟试验系统概述、发动机数学模型建立、系统硬件总体设计、自适应模型跟随控制器及其软件设计; 在此基础上建立了发动机数控实时半物理模拟试验系统并进行试验, 结果证明: 所设计的系统能实时地反映控制系统作用下的真实试车过程。

关键词: 微型涡喷发动机; 数控系统; 半物理模拟试验

中图分类号: V 235. 13

文献标识码: A

1 引言

航空发动机数字控制系统由实际的传感器、电路接口、执行机构、控制器及被控对象(航空发动机)等组成, 它们中任一环节工作不协调均会造成发动机运转不正常, 严重时还会毁坏发动机, 因此, 进行半物理模拟试验是研制发动机数控系统的一个重要环节。

微型涡喷发动机常作为导弹、无人机的动力装置。为使发动机在各种环境条件下保证安全飞行且最大限度发挥其性能, 对发动机控制成为必不可少的环节。微涡喷的结构特点、工作环境、使用要求等方面有别于大型发动机, 因此控制系统不可能照搬大发动机的方案。

FADEC(全权限数字电子控制)依靠数字电子技术对发动机进行必需的全部运算和控制, 不仅控制精度高, 能充分发挥发动机的性能潜力, 而且具有故障诊断和状态监控功能与程序易于修改、维护等特点。设计数控实时半物理模拟系统, 以计算机模拟真实发动机进行试验, 既可验证控制系统的可行性, 又可对系统进一步设计提供参

考, 在周期短, 费用少的情况下, 大大降低实际试车时的风险, 因此在数控系统研制过程中具有极其重要的意义。

本文主要介绍某微型涡喷发动机实时半物理数控系统设计及试验。

2 数控半物理模拟试验系统概述

系统为以 8098 单片机作为发动机控制器, 计算机作为模型发动机, 发动机所需的燃油流量为调节参数, 转速为被调节参数的单变量控制系统。

单片机控制器采集给定转速 N_g 和发动机工作参数(转速 N , 涡轮出口温度 T_4^*), 经一定的控制算法计算发动机所需供油量 m_f , m_f 数字量通过接口电路, 驱动步进电机带动油门开关旋转, 从而改变供给发动机的燃油量。计算机运行发动机各工况实时数学模型以替代发动机作为被控对象, 根据所采集燃油流量 m_f , 计算发动机的转速 N 和 T_4^* , 并转换为实际的传感器输出, 在给定转速信号 N_g 的情况下, 形成完整的闭环控制系统。系统控制回路框图如图 1。

收稿日期: 2000- 01- 25; 修订日期: 2000- 04- 13

作者简介: 苏三买(1968-), 男, 西北工业大学七系微型航空发动机研究所工程师, 博士

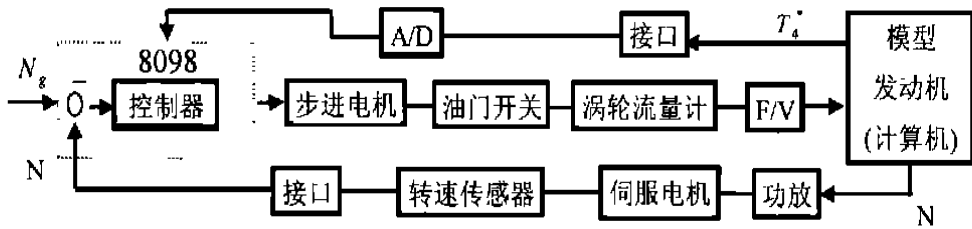


图 1 控制回路框图

3 发动机数学模型建立

微型涡喷发动机为单转子、几何不可调结构，发动机工作时被调参数是转速 N ，控制量为燃油流量 mf ，通过采集发动机实际试车过程的动态工作转速 N 、涡轮出口温度 T_4^* 、燃油流量 mf ，利用系统辨识原理，通过分段线性化建立的发动机数学模型可简化为如下形式：

$$N(s) = \frac{K_t}{T_t + 1} mf(s) \tag{1}$$

式中： K_t 为发动机转速放大系数； T_t 为发动机转速时间常数。

$$T(s) = \frac{K_m}{T_d + 1} N(s) + \frac{K_m}{T_d + 1} mf(s) \tag{2}$$

式中： K_m 为温度对转速的放大系数； K_m 为温度对燃油流量的放大系数； T_d 为温度的时间常数。

4 系统硬件总体设计

硬件系统主要由 8098 系统板、步进电机控制信号与驱动、信号输入，输出接口及计算机与 A/D 和 D/A 等组成。硬件总体原理框图如图 2 所示。

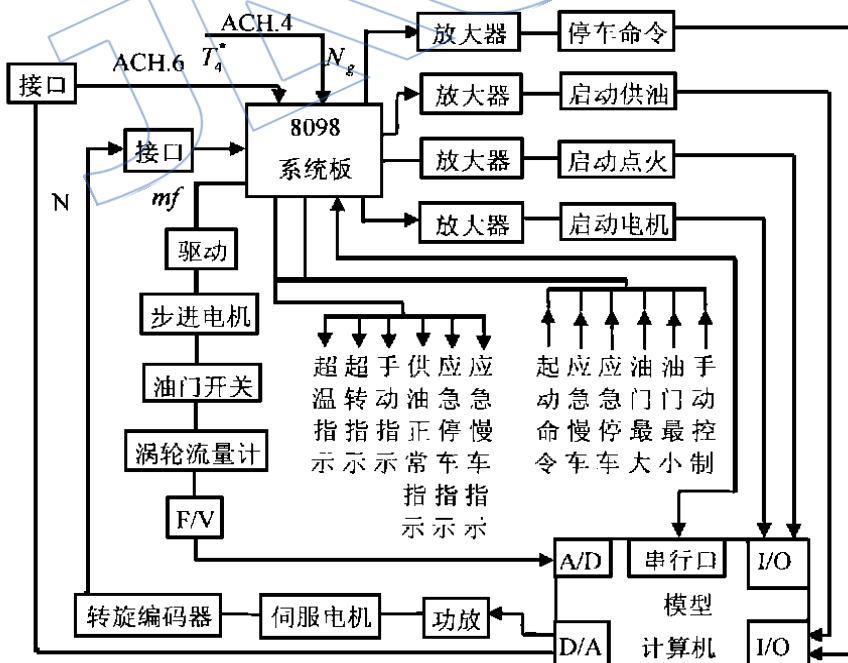


图 2 数控半物理模拟系统硬件总体设计框图

4 1 8098 系统板

8098 单片机含 8 路高速 I/O，4 路十位 A/D，全双工串口。设计主板扩展各为 32 K 的程序及数

据存储器。8255 将 I/O 扩展到 24 位，用于步进电机控制信号输出和状态量指示。

4.2 步进电机控制信号与驱动

步进电机控制由信号解码与驱动两部分组成。解码电路把系统板 8255 输出的一个控制周期内步进电机所须走的步数数字量锁存, 然后在不占用 CPU 时间的情况下自动转换为步进电机的控制脉冲, 经恒流斩波驱动电机动作, 实现数控器与步进电机并行工作。

4.3 信号输入、输出接口

主要解决传感器输出信号转换及系统信号相互传输。测速传感器采用光电旋转编码器, 输出经光电隔离接 8098 高速输入 HSI 1 实现测速; 通过带有冷端自动补偿的热电偶信号放大集成芯片 AD595 实现对温度测量。

5 控制器软件总体设计

整个控制过程分稳态和过渡态控制。过渡态

控制又包含启动、加速、减速控制。

5.1 发动机过渡态控制

由发动机工况, 过渡态控制采用时序供油与函数供油控制两种方式, 具体为: 起动控制: $N < 18900 \text{ r/m in}$, 时序供油; $18900 \text{ r/m in} < N < 32000 \text{ r/m in}$ 时, 函数供油。加速控制: $N > 32000 \text{ r/m in}$ 时, 加速按函数供油控制。减速控制: 在整个发动机工作范围内, 减速按函数供油控制。

5.2 发动机稳态控制

发动机稳态采用小偏离线性模型自适应模型跟随控制, 控制器结构框图如图 3。

参考模型的状态方程为:

$$\overset{\circ}{X}_m = A_m X_m + B_m U_m$$

被控对象的状态方程为:

$$\overset{\circ}{X}_p = A_p X_p + B_p U_p$$

广义误差向量为:

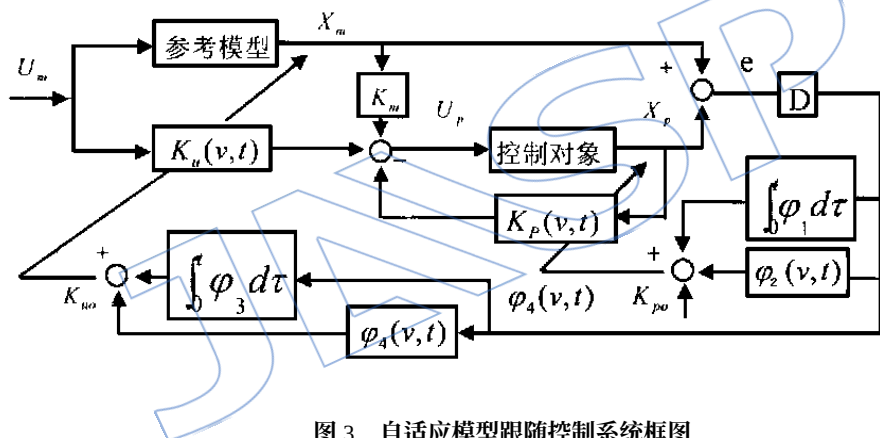


图 3 自适应模型跟随控制系统框图

$$e = X_m - X_p$$

线性控制信号为:

$$U_p = -K_p(v, t)X_p + K_u(v, t)U_m + K_m U_m$$

其中:

$$K_u(v, t) = K_{u0} + \Delta K_u(v, t)$$

$$K_p(v, t) = K_{p0} + \Delta K_p(v, t)$$

式中 K_{uo} 和 K_{po} 不可调, 是线性模型跟随控制的 K_u 和 K_p ; 设计控制器的主要工作是确定调参规律 $\Delta K_u(v, t)$ 和 $\Delta K_p(v, t)$, 由波波夫超稳定理论设计控制器, 调参规律设计为比例加积分:

$$\Delta K_p(v, t) = \int \mathcal{Q}_3(v, t, \tau) d\tau + \mathcal{Q}_4(v, t)$$

$$\Delta K_u(v, t) = \int \mathcal{Q}(v, t, \tau) d\tau + \mathcal{Q}(v, t)$$

5.3 发动机稳态与过渡态控制的切换

经多次试验, 在稳态控制周期内, 如果转速变化大于 1000 r/min , 则转入相应过渡态控制, 则既能保证稳态控制不超调、不振荡又能实现到过

渡态的平稳切换。

6 半物理模拟试验结果

在上述工作的基础上, 各部分连接调试, 建

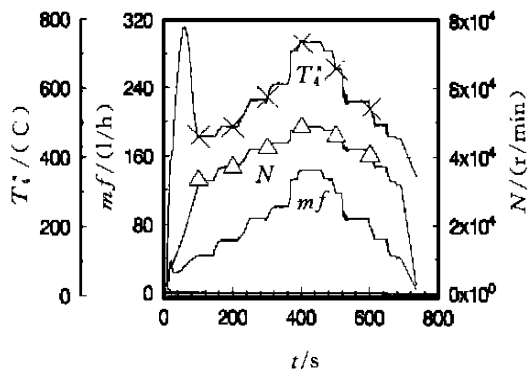


图 4 全工作范围仿真结果

立微型涡喷发动机控制系统实时半物理模拟试验系统, 通过手动改变给定转速信号 N_q , 实时地模

拟发动机的真实试车过程。鉴于篇幅, 本文只给出稳态为自适应控制的全工作范围试验曲线(图4)。试验表明: 建立的发动机数学模型具有一定的精度; 自适应控制器响应快, 非线性抑制能力强; 设计的半物理模拟试验系统能实时反映控制系统作用下的真实试车过程, 为微型涡喷发动机FADEC 系统研制提供了很好的试验手段。

参考文献

(责任编辑 王震华)

[1] 冷文彬 微型发动机自适应数控半物理模拟试验研究

[D], 西北工业大学, 1997.
[2] 苏三买等 微型涡喷发动机数控系统实时半物理模拟试验研究 [R] CSAA- 98- PH: 207- 211.
[3] Monopli R V. Model Follow ing Control of Turbine Engine [J] J. of Dyn Sys Measurement and Control, sept 1981, 138
[4] Kenji Nishio. Real-Time Simulation of Jet Engines with Digital Computer [R] NASA TM - 77081.

Sem i-Physical Real Time Simulation
of D igital Control System for M icroturbo-Engine

SU San-mai¹, MA Rui¹, LEN Wen-bin²

1. 7th Dept , Northwest Polytechnic U niversity, Xi'an 710072, China;

2. Zhejiang Aviation Company, Hangzhou 310016, China

Abstract: A microcomputer MCS-8098 digital control-based on adaptive model with follow ing speed control was built for microturbo-engine sem i-physical-simulation system. The system outline, computer engine model, hardware and software were discussed in detail. The results of the simulation show that the system not only completes real time control of the microturbo-engine but also provides a convenient means for FADEC system tests.

Key words: microturbo engine; digital control system; sem i-physical simulation