

姿控动力装置仿真模拟器研制

李 鹏, 梁树强

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 为研究某型号导弹飞行中段的姿态控制、验证飞行试验控制系统功能, 研制了姿控动力装置半实物实时仿真模拟器系统。与导弹控制系统进行的弹道模飞联合仿真试验表明, 该系统功能稳定、实时性高, 在仿真试验中发挥了重要作用, 实现了姿控动力装置在不同工况下的半实物仿真和数字仿真功能。

关键词: 导弹; 姿态动力装置; 导弹控制系统; 实时模拟器

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2012) 06-0005-03

Study on simulator of attitude control power device

LI Peng, LIANG Shu-qiang

(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: To research the attitude control in the mid-course flight of the missile and verify the function of the flight test control system, a semi-physical real-time simulator system for the attitude power device was developed. A co-simulation test with missile control system conducted for ballistic mode fly indicated that the system was stable with high real time accuracy. The attitude power device played an important role in the simulation experiment. The functions of semi-physical simulation and digital simulation of attitude power device were achieved under different working conditions.

Keywords: missile; attitude power device; missile control system; real-time simulator

0 引言

飞行仿真技术已经广泛应用于飞行器研制和使用的全过程, 贯穿于从方案论证、设计、试验、故障诊断等各个阶段。系统仿真分纯数字仿

真和半物理仿真。

姿控动力装置仿真模拟器是在某导弹研制阶段为验证飞控程序而设计的, 仿真模拟器采用运行于嵌入式实时操作系统的半实物仿真模拟系统, 由姿控动力装置半实物部分和测控工作台构成, 与导弹控制系统和仿真计算机构成闭环仿真

收稿日期: 2012-03-08; 修回日期: 2012-06-12

基金项目: 总装备部预研项目(2007AA705303)

作者简介: 李鹏 (1976—), 男, 工程师, 研究领域为航天发动机测控技术

试验系统, 具有数字仿真和半物理仿真功能。

1 仿真模拟器方案设计

姿控动力装置仿真模拟器用来模拟姿控动力装置在实际条件下的工作特性, 通过高压气体在模拟推力室内的流动, 模拟真实推力室在不同工况下的推力特性、推力上升下降特性以及不同工况进行切换时的推力动态特性。同时, 根据真实姿控动力装置热试车结果, 建立了姿控动力装置推力室在不同工况下的数学模型, 依据从模拟器半实物采集到的相应特征参数, 工控机进行数据处理, 将由数学模型得到的仿真数据输出给仿真计算机。仿真模拟器系统图如图1所示。

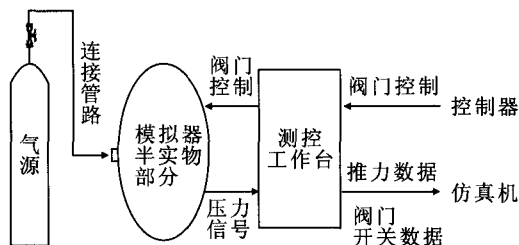


图1 仿真模拟器系统图

Fig. 1 Diagram of simulator system

姿控动力装置仿真模拟器分为三个主要组成部分: 模拟器半实物部分、气源和测控工作台, 各部分间的联系如图1所示。模拟器半实物部分的功能是: 在飞控信号的控制下模拟姿控动力装置的实际工作, 是模拟器的推力模拟部分。气源由多个气瓶和汇流排组成, 为模拟器半实物部分提供控制气和模拟气。测控工作台用于实时监测、采集模拟器半实物部分的阀门控制信号、压力信号以及阀门开关信号, 实现对被测量数据信号调理、采集处理、数值计算、结果输出和通讯, 并将仿真结果实时传输给仿真计算机。

2 仿真模拟器系统介绍

2.1 模拟器半实物部分

模拟器半实物部分采用恒压式冷气系统, 由气源接口、过滤器、减压阀、集气腔、电动气

阀、电磁阀、模拟推力室、进排气手阀、压力传感器、电缆网、管路、模拟舱体等组成。设置集气腔的目的是抑制压力波动, 减小不同工况下推力室入口压力偏差。

2.2 测控工作台

测控工作台串接在控制系统和模拟器半实物部分之间, 用来实现对半实物部分工作状态特征参数的测量, 经数据处理和数学模型计算, 将动力装置模拟器的动态特性及相应参数以数字量形式输出给仿真机。测控工作台组成如图2所示。

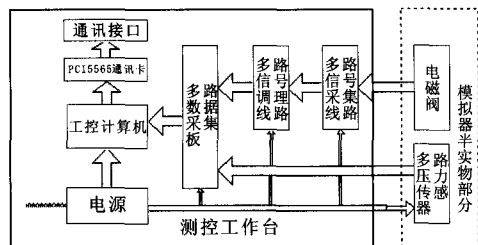


图2 测控工作台组成图

Fig. 2 Constitutional diagram of monitoring and control operation platform

1) 工控计算机系统: 实现对大量AD采集数据的实时计算处理, 通过相应算法判断出阀门的打开、关闭状态; 对测量得到的压力信号进行处理, 依据数学模型机相应算法, 实时输出推力数据。

2) 信号采样、调理线路: 用来采集多路阀门工作过程的电流信号和多路传感器信号, 实现测量信号的初级采集, 并进行隔离、放大和滤波处理, 将小信号调整到采集板所要求的范围内。

3) 电源: 为测控工作台的各线路、工控机系统以及传感器提供所需工作电压, 电源部分由隔离变压器、多路EMI交流滤波、整流线路、电源稳压线路、多路DC/DC电源线路以及滤波稳压线路等组成。

4) 工作台面: 采用柜式工作台面, 将UNO-3074工控机和RACK-610工控机箱安装固定在工作台下方, 显示器安装在工作台盖板下, 工作时可打开并掀起盖板, 键盘、鼠标放置在推拉式工作抽屉内。

3 模拟器实时性实现

模拟器作为整个仿真系统的核心设备, 要求其实时性要满足仿真系统的实时性要求。模拟器对电磁阀工作状态的检测和推力室/电磁阀入口压力检测要求优于 1 ms, 并以优于 1 ms 为周期实时给仿真机传输仿真数据。因此, 采用嵌入式实时多任务操作系统完成软件设计来达到实时性要求是模拟器研制中的关键技术。

测控工作台数据采集板在 40 个通道循采模式下, 各通道的采样率可达到 10 kHz。为确保参数的设计裕度, 软件对 AD 采样率的设置平均到每个模拟量采集通道为 5 kHz, 测控工作台的硬件资源为仿真实时性要求提供了充足保障, 使得测控工作台可以达到优于 1 ms 的实时性要求。

3.1 实时性精度测试

通过搭建试验线路, 对测控工作台的实时性检测精度进行试验验证。图 3 为时间精度确认检测线路图。

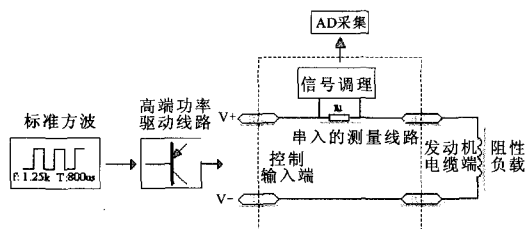


图 3 时间精度确认检测线路图

Fig. 3 Detection circuit diagram for time accuracy confirmation

通过采集软件处理得到的信号波形见图 4。图中横坐标为采集点数（200 μ s 采集一个点），纵坐标为信号电压幅值。可见，每通道 5 kHz 的采集速率，采集的数据能较完整地记录频率为 1.25 kHz（周期为 800 μ s）的标准信号，可以得出测控工作台的时间检测精度优于 1 ms。

3.2 通讯接口及协议

姿控动力装置模拟器与仿真机之间通过 PCI-5565 反射内存卡进行通讯，反射内存卡 VMIPCI-5565 通讯可达 40 M，高速率数据通讯方式完全保证了系统仿真的实时性要求。

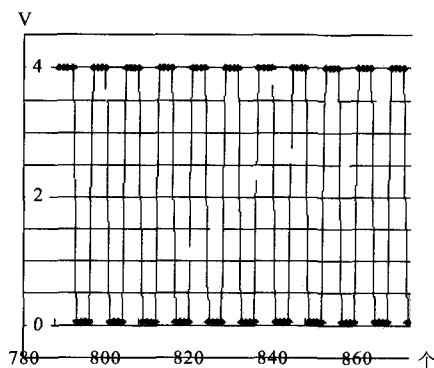


图 4 信号波形

Fig. 4 Signal waveform

PCI-5565 软件初始化中, 通讯协议的 ID 为 5 000 (十进制), VMIC 通信协议如下:

```
#define VALVENUM 24
#define PRESSRUE_NUM 16
#define VALVEOPEN 1
#define VALVECLOSE 0

typedef struct
{
    unsignedchar valvestat [VALVENUM];
    float actiontime [VALVENUM];
    double pushv [PRESSURE_NUM];
} VMIC_SEND;
```

通过对模拟器与仿真机进行通讯联试, 模拟器与仿真机间数据通讯正确, 数据传输及实时性完全满足系统仿真的实时性要求。

4 仿真结果

姿控动力装置模拟器半实物部分和测控工作台分别进行调试后进行了联合仿真测试, 图 5 为模拟器输出的推力与姿控动力装置热试车推力的比较。可以看出, 模拟器输出的推力曲线与真实推力室的推力曲线非常接近, 推力偏差和响应时间也满足要求。

姿控动力装置模拟器与控制系统仿真设备进行模飞联试 (图 6)。模拟器在各种工作模式下各项功能正确, 与仿真机间通讯正确, 推力模拟器动态、静态响应特性及推力输出均满足任务书指标要求。

(下转第 58 页)

由对比试验结果可知, FS-35d 在实际使用方面其耐磨耗性能能够满足使用要求, 且性能较 FS-35 有所提高。

4 结论

1) 采用干法混料工艺并对工艺参数进行改进, 使用干态聚四氟乙烯树脂 FR104 能够生产出满足使用需要的 FS-20d 和 FS-35d 增强氟塑料。

2) FS-20d 和 FS-35d 的配方和工艺性能稳定, 材料的耐磨性能、耐高温性能、致密性、均匀性和相分散性略优于 FS-20 和 FS-35 的性能。

参考文献:

- [1] 赵德仁, 张慰盛. 高聚物合成工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996.
- [2] 中国科学院兰州化学物理研究所. 填充聚四氟乙烯塑料的模压成型工艺[M]. 北京: 石油化学工业出版社, 1976.
- [3] 黄锐. 塑料成型工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [4] 龚云表, 石安富. 合成树脂与塑料手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994.
- [5] 陈风波, 王立峰. 运载火箭用典型低温密封材料[J]. 宇航材料工艺, 2009 (3): 15-18.
- [6] 何曼君, 陈维孝, 董西侠, 等. 高分子物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1993.
- [7] 周维祥, 吴述扬, 郑道德, 等. 塑料测试技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997.

(编辑: 陈红霞)

(上接第7页)

数据测量和传输的实时性也满足系统仿真的实时性要求。

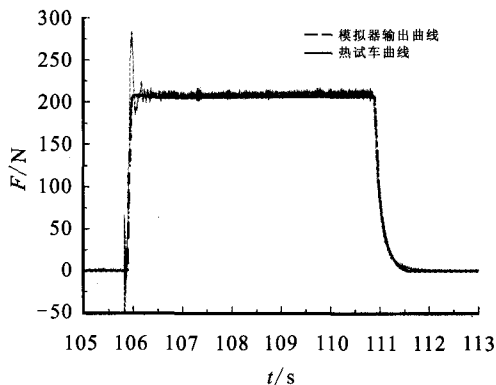


图5 推力曲线

Fig. 5 Thrust curve

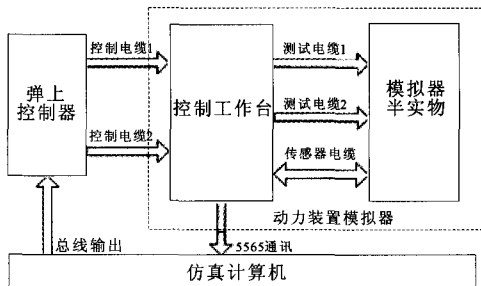


图6 模飞联试系统图

Fig. 6 Diagram of mode fly co-test system

5 结论

基于冷气模拟推力室和嵌入式实时操作系统的姿控动力装置仿真模拟器, 已成功应用到某型号导弹的研制过程中, 模拟飞行仿真试验证明, 该系统功能稳定, 实时性高。仿真数据和实际工作数据对比发现, 整个半物理仿真系统能有效模拟姿控动力装置在实际条件下的工作特性。

参考文献:

- [1] 章本立. 液体火箭发动机设计[M]. 北京: 宇航出版社, 1994.
- [2] 郭锁凤. 先进飞行控制系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [3] 刘和平, 王贵, 刘平, 等. 基于嵌入式系统的同步数据采集设计及应用[J]. 电子测量技术, 2008, 31(5): 123-125.
- [4] 姚新宇, 黄柯棣. 仿真中的时间和实时仿真[J]. 系统仿真学报, 1999, 11(6): 415-417.

(编辑: 王建喜)