

基于虚拟仪器技术的 PDE 测控系统开发

陈超, 何立明, 罗俊

(空军工程大学工程学院, 西安 710038)

摘要: 针对脉冲爆震发动机试验模型的多通道高速采集和实时控制的要求, 基于虚拟仪器技术设计并实现了该发动机的实时测控系统, 介绍了系统的软硬件体系结构以及抗干扰、多线程编程和基于寄存器级的板卡控制技术等关键技术。实际应用表明, 该系统实时性强、可靠性高, 能满足试验模型对高速采集和控制时间的要求。

关键词: 脉冲爆震发动机; 高速数据采集; 测控系统; 虚拟仪器技术

Exploitation of Measurement and Control System of PDE Based on Virtual Instrument Technology

CHEN Chao, HE Li-ming, LUO Jun

(Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038)

【Abstract】 According to the demand of multi-channel high-speed data acquisition and real-time control of the experiment model of pulse detonation engine(PDE), this paper designs and realizes a real-time measurement and control system based on virtual instrument technology. The hardware and software architecture system is introduced. The key techniques including anti-jamming technique, multi-thread programming and card control technology based on register are mentioned. Applications in practice indicate that it owns high real-time performance and dependability and it meets the needs of high-speed data acquisition and control time.

【Key words】 pulsed detonation engine(PDE); high-speed data acquisition; measurement and control system; virtual instrument technology

脉冲爆震发动机(pulsed detonation engine, PDE)作为一种新概念发动机, 具有耗油率低、结构简单、无需压气机和涡轮部件等优点^[1]。在各国对脉冲爆震发动机进行研究的过程中, 试验是一个重要手段, 对其概念的工程应用化更是起着重要的作用。在进行PDE的各项试验和测试前, 根据其特点设计开发先进的数据采集、测试系统以及实现爆震起爆和频率调节计算机控制, 是十分紧要的任务。

虚拟仪器技术是计算机同仪器技术深层次结合产生的全新概念的测试方法, 是对传统仪器概念的重大突破。它是用户根据自己的需要在通用计算机上定义和设计仪器的测试和控制功能, 并且测试系统功能可根据软件模块的功能及其不同组合灵活配置。目前, 虚拟仪器已在超大规模集成电路测试、模拟/数字电路测试以及军事、航空航天、生物医学、电工技术领域等的现场测试中得到广泛应用^[2]。随着虚拟仪器技术应用领域的不断拓宽, 它已发展成具有GPIB、PC-DAQ、VXI和PXI 4种标准体系结构的开放技术。利用虚拟仪器技术对PDE的测试系统进行开发完全可以满足其苛刻的使用要求, 这也成为了PDE研制过程中的一个核心课题, 对于PDE的实用化、样机工程化具有十分重要的意义。

1 脉冲爆震发动机测控需求分析

PDE在工作过程中通常采用高频、高压点火系统, 这会产生很强的电磁场干扰, 并伴有强噪声和强振动, 因此, 整个测试系统须有很强的抗干扰能力, 能在如此恶劣的测试环境下正常工作; PDE单个循环的持续时间小于 7ms^[3], 工作时间极短, 这要求测试系统有极高的可靠性及时间响应特性, 能够在极短的时间内准确、实时地记录试验的全过程并存储

全部信息, 以便试验后对数据进行处理; 随着PDE的研制不断深入, 要求测试的参数会越来越多, 其中, 有的信号变化很快, 有的则很慢, 这就需要测试系统有很宽的频率响应范围和足够的存储容量以满足测试要求。因此, PDE的特殊性对其测试系统提出了很高要求, 需要多通道输入、多点测量; 快速进行动态在线实时测量; 实时进行信号分析处理, 排除噪声干扰、消除偶然误差、修正系统误差, 以实现测量结果的高准确度及对被测信号的高分辨力。本测控系统就是针对上述特点, 综合考虑可行性和高效性的要求开发而成的。

脉冲爆震发动机测控系统由供油、供气测试系统, 爆震频率测控系统, 爆震波参数(压力、振动等)测试系统, 推力测试系统, 数据采集和控制系统组成, 如图1所示。

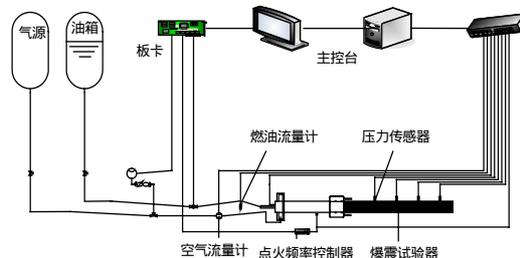


图1 脉冲爆震发动机测控系统

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50276070)

作者简介: 陈超(1978-), 男, 博士研究生, 主研方向: 脉冲爆震发动机的应用基础; 何立明, 教授、博士生导师; 罗俊, 博士研究生

收稿日期: 2006-10-27 E-mail: dabaoyuyangyang@163.com

供气系统由电磁阀控制气路开度，在管路中通过气流流量测量发动机平均供气量。供油系统同样通过电磁阀控制回路开度来调节供油量，并且在发动机进油口处通过超声波燃油流量测量发动机平均供油量。点火系统由汽车用点火模块和火花塞组成，通过给定频率信号实现点火信号的控制。当给定平均供油量、供气量及点火频率后，发动机将按给定的工作状态工作，通过测量发动机室内各处的压力特性、振动特性可以获得发动机的实际工作状态。

2 基于虚拟仪器技术的测控系统开发

基于实际的试验系统并结合虚拟仪器技术的脉冲爆震发动机测控系统由硬件和软件 2 大部分组成。

2.1 硬件设计开发

根据本文前面对 PDE 测控需求的分析，通过对比虚拟仪器几种构成系统各自的优缺点，本文采用基于 PC 的插卡型虚拟仪器作为本测试系统的硬件平台。

首先，基于 PC 的插卡型虚拟仪器充分利用了计算机提供的各种便利，能方便地使用主板作为电源并进行数据传递，DMA 技术使得 PC 插卡能直接对存储器进行高速传输而不需要 CPU 介入。其次，具有较多插槽的工业控制计算机以最简单的方式实现了多插卡方案，性价比很高。

采集卡采用研华公司的 PCL-818L 高性能数据采集卡，它可在 IBM PC/XT/AT 机或兼容机上使用，ISA 插槽是它与计算机的接口。它提供了 A/D 转换、D/A 转换、数字输入、数字输出以及 timer/counter 等 5 种通用的测控功能，最高可以同时进行 16 通道的数据高速同步采集。通过 D/A 输出通道和 counter 模块分别控制电磁阀开度和点火频率控制。在数据采集与处理前由自行开发的信号调理器、A/D、D/A 转换器前端硬件对被测信号进行预处理，基本的硬件构成如图 2 所示。

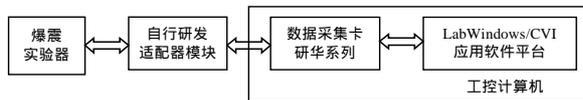


图 2 硬件构成

由于 PDE 工作时会产生很强的电磁干扰，并伴有强噪声和强振动，因此在硬件设计中采取如下措施来提高系统的抗干扰能力。

(1)信号的隔离

试验中火花塞点火会对传感器产生尖峰脉冲强干扰信号，通过采用光电耦合隔离可以有效隔离此干扰。此外，爆震室内温度和振动传感器输出的信号值比较小，可采用隔离放大器隔离此类模拟信号。隔离放大器稳定性和线性好、共模抑制比高、放大增益可变，适合对其进行隔离降噪。

计算机给出的频率量点火信号经光电隔离、缓冲驱动和嵌位电路处理后送入点火频率控制器。具体实现如下：

首先将计算机输出的 TTL 电平信号经光电隔离电路使计算机内部电路与点火频率控制器内部电路实现电气隔离，避免它们之间的相互干扰；缓冲驱动电路的作用是增加输往点火控制器的信号强度，以驱动点火控制器内部电路；由于板卡通常生成的频率信号仅为正脉冲，需要把它变成 +5V ~ -5V 之间的方波，因此在驱动电路后设置了嵌位电路，以适应点火控制器信号输入的要求。

硬件处理的原理简图如图 3 所示。

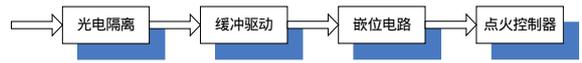


图 3 频率信号硬件处理简图

(2)温度漂移的抑制

虽然脉冲爆震发动机是间歇式工作方式，燃气充填过程可以对发动机管壁进行降温，但在高频工作时，发动机管壁温度还是非常高，为了保证压力传感器正常工作，在传感器安装座加装水冷座对传感器进行冷却，试验应用中效果非常明显。

2.2 软件设计开发

软件技术在虚拟仪器的设计中很重要，它应具有良好的交互性、可编辑仪器面板、定义仪器功能等。软件的可重用性也是很重要的，为实现软件的可重用性，采用模块化程序设计思想是一个重要途径，据此设计的软件系统工作流程如图 4 所示。

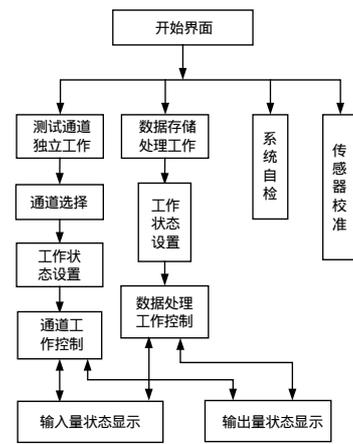


图 4 软件系统工作流程

对 PDE 试验过程的分析可知，该实验要求多种输入输出功能，包括数字量 I/O、模拟量 I/O、频率量输出，每一类型的信号均有多个，并且大多数信号都要求很高的实时性，这就要求设计的测试系统能够满足上述需求。为此，分别采用多线程编程技术和基于寄存器级的板卡控制编程予以实现。

(1)多线程技术

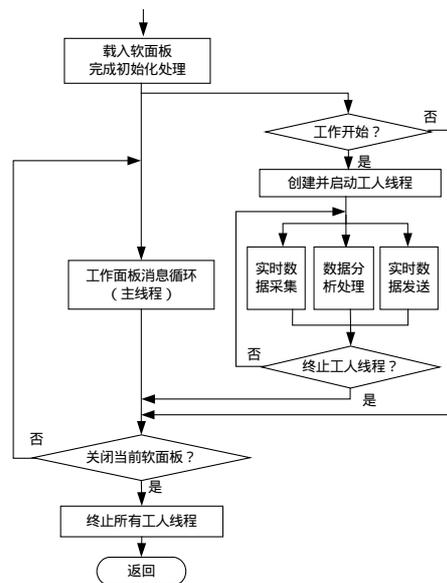


图 5 脉冲爆震发动机多线程应用程序流程

多线程技术大大增强了基于 PC 总线的插卡仪器输入输出应用的性能。多线程能力可以防止基于 PC 的测试应用软件与插入式数据采集卡或使用标准接口的独立仪器通信时产生的堵塞现象,并且可将用户界面显示与数据采集分配在不同的线程上,降低数据采集与用户界面显示间的干扰,使每个线程能独立地以最快速度运行,充分提高了系统的测试速度。利用多线程机制编写程序,是解决实时多任务软件设计问题的最好办法。PDE 测试系统的多线程应用程序流程如图 5 所示。

(2)基于寄存器级的板卡控制编程

通过寄存器编程控制板卡是属于较高层次的硬件控制技术,其过程繁琐、技术细节要求多,并需要了解采集卡硬件的工作原理。下面以访问底层寄存器控制板卡发送频率量为例来说明这种控制方式。

基于寄存器级的板卡控制技术对采集卡的寻址方式为:基地址加上偏移地址。其中,基地址并不是通过采集卡的 Switch1 跳线所设定的物理地址,而是按照此物理地址由计算机生成的该采集卡的机器码。若该块物理地址为 300H 的采集卡首先安装,则其机器码为 0,以下依次类推。

PCL-818L 型多功能数据采集卡共有 16 个地址连续的寄存器,以下是与产生频率方波有关的寄存器的数据格式:

端口基地址 + 10 定时/计数器允许寄存器(如表 1 所示)

端口基地址 + 15 定时/计数器控制寄存器(如表 2 所示)

表 1 Counter 允许寄存器

		BASE+10 定时/计数器允许寄存器							
Bit	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
Value	x	x	x	x	x	x	TC1	TC0	

表 2 Counter 控制寄存器

		BASE+15 定时/计数器控制寄存器							
Bit	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
Value	SC1	SC0	RW1	RW0	M2	M1	M0	BCD	

D1: TC1, 计数器 0 输入脉冲源方式。“0”, 脉冲来自外部时钟脉冲;“1”, 脉冲来自板内的 100KHz 时钟脉冲。由于选用外部时钟脉冲, D1 位应为 0。

D0: TC0, 定时器禁止/允许工作。“0”, 禁止定时;“1”, 由 TRIG0 控制定时, 当 TRIG0 为高电平时, 成组的触发脉冲由定时器发往 A/D 转换器。

Counter 控制寄存器控制对采集卡计数器的选择、读写操作的选择以及操作方式的选择。

818L 只将 counter0 提供给用户自行使用, 所以 D7、D6 位的值都应为 0。而 timer/counter 电路的计数寄存器是 16 位的, 要完整地将 16 位数写入计数寄存器, 应该先写低 8 位, 再写高 8 位, 所以, D5、D4 位的值都应为 1。M2, M1, M0 的组合决定寄存器的操作方式, 当 D3, D2, D1 的值取为 1, 0, 0 时软件触发选通。BCD 为 1 时计数寄存器中数的格式为 BCD 码, 为 0 时计数寄存器中数的格式为 16 进制。

读写底层寄存器的源代码如下:

(1)本头文件的功能为定义采集卡的地址:

```
.H
```

```
#define base_addr 0//仪器基地址为 000
```

(2)本函数段的功能为控制寄存器发送频率量:

```
function
```

```
void freqout(int freq, float clock) {
int send_to_c0, send1=0, send2=0;
send_to_c0= clock /freq; //计算写入寄存器的数
if(send_to_c0<=255) //数据格式的转换
send1=send_to_c0;
else {
send2=send_to_c0;
send2>>=8;
send1=send_to_c0&0xff; }
outp(base_addr+15,54); //对采集卡进行操作
outp(base_addr+10,0);
outp(base_addr+12,send1);
outp(base_addr+12,send2);
}
```

freqout 函数的 2 个形式参数 clock, freq 相除计算出应写入计数寄存器中的数。计数寄存器为 16 位, 先写入低 8 位, 再写入高 8 位。数据格式转换将应写入计数寄存器中的数分割为 2 个 8 位的二进制数, 最后根据数据采集卡寄存器的数据格式, 控制其产生方波, 由于是直接控制寄存器, 因此也就不存在打开与关闭仪器的问题, 实践证明该技术可以极大地提高程序的实时性, 完全可以满足脉冲爆震发动机的测试需求。

通过寄存器来控制板卡时, 数据的读写并不是像常规方式那样通过变量来完成, 而是直接借助于数据缓冲区。PCL-818L 为不同的操作(A/D、D/A、counter 等)提供不同的缓冲区, 针对每种操作模式可支持双缓冲区工作方式。

实际应用时经常使用 FIFO 缓冲区, 并采用 Cyclic 双缓冲区的工作模式, 见图 6。

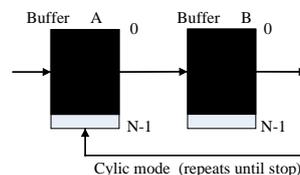


图 6 双缓冲区的 Cyclic 工作模式

3 结论

本文设计实现的 PDE 测控系统具有多通道高速数据采集和控制功能, 实时性强, 可靠性高。由于系统设计时采用了模块化设计思想, 因此具有很好的可扩展性。系统投入使用以来满足了 PDE 的测试需求, 可以对爆震发动机的动态特性进行详细的测试和研究。

参考文献

- 1 严传俊, 范 玮. 脉冲爆震发动机原理及关键技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2005-10.
- 2 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.
- 3 Cambier J L, Tenger J K. Strategies for PDE Performance Optimization[C]//Proc. of the 33rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, Seattle, Washington. 1997-07.
- 4 邱 华, 李江红. 脉冲爆震发动机试验模型测控系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(1).
- 5 LabWindows/CVI Programmer Reference Manual[Z]. National Instruments, 1998.