

基于虚拟仪器的发动机多参数实时测量系统^①

Multi - Parameter Real - time Measurement System for Engine Based on Virtual Instrument Technology

孙红兵 (淮阴师范学院电子与电气工程系 江苏淮安 223001)

王 瑜 (南京审计学院信息科学学院 江苏南京 210017)

王 珏 (淮阴师范学院电子与电气工程系 江苏淮安 223001)

摘要:利用计算机及相关外围设备为主要硬件平台,结合虚拟仪器技术与激光诊断技术,研制了脉冲爆震发动机多参数实时测量系统。该系统可以实时监测发动机工作过程中的温度及燃烧产物的组分浓度。文中分析了系统的工作原理,阐述了系统的硬件和软件的设计方法,分析了 LabWindows/CVI 与 MATLAB 之间的接口及编程的方法。

关键词:LabWindows/CVI 虚拟仪器 MATLAB 数据采集

1 引言

脉冲爆震发动机(简称 PDE)是一种利用间歇式或脉冲式爆震波产生的高温高压燃气来产生推力的全新概念的动力装置^[1-3],结构简单、重量轻、推重比高、比冲大、工作范围广,且推力可调,这些特点使得 PDE 作为新一代航空航天飞行器的动力装置具有很大的应用范围和应用前景,成为当今发动机领域一大研究热点。但由于脉冲爆震燃烧是一种非稳态燃烧,燃烧室中的压力、温度、燃烧产物及组分浓度等参数高频变化,而且变化梯度非常大,快速、准确地获取燃烧室内参数的变化规律对掌握脉冲爆震波的微观作用机理非常重要。激光诊断技术(光吸收/高温辐射组合法)是一种快速、非接触测量方法,对测量对象的扰动小,特别适合脉冲爆震发动机各参数的测量。

虚拟仪器技术是 20 世纪 80 年代美国的 NI 公司首先提出的一项测控领域新技术,它以计算机作为仪器统一的硬件平台,充分利用计算机独具的运算、存储、调用、显示以及文件管理等智能化功能,将传统仪器的专业化功能与计算机结合起来融为一体,构成了一台从外观到功能与传统硬件仪器相同,同时又充分享用了计算机智能资源的全新的仪器系统。虚拟仪器技术打破了传统的仪器难以改动的模式,可根据需要编制各种不同的软件以实现不同的功能,且具有仪器功能强、开放性好、自动化程度高、测试速度快、开发和

维护费用低、具有良好人机界面等优点,在各领域得到广泛应用。

本文介绍了一种以 PC 机和数据采集卡为硬件平台,利用 LabWindows/CVI 和 MATLAB 软件为开发平台,基于虚拟仪器技术和激光诊断技术的脉冲爆震发动机多参数测量系统。该系统可以实时监测脉冲爆震发动机的温度以及各种燃烧产物组分的浓度,有效解决了传统测量方法的不足。

2 系统工作原理

如图 1 所示,激光二极管与光敏二极管对称地放置于火焰两侧,当无激光束进入探测器时,探测器接收到的是高温火焰的辐射能:

$$L_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} L_{\lambda}^{bb} \quad (1)$$

式中, ϵ_{λ} 是温度为 T 的火焰在波长 λ 处的比辐射率; L_{λ}^{bb} 是温度为 T 的黑体在波长 λ 处的单色辐射能。

当有激光束进入探测器时,探测器接收到的能量由透射的激光能量和高温火焰辐射的红外能量这两部分叠加组成:

$$I'_{\lambda} = \rho I_0 + \beta L_{\lambda} \quad (2)$$

式中, ρ 为高温燃气的透射率,记 $\lambda = \rho I_0$, β 为光学校正系数, I_0 为入射的激光能量。

① 基金项目:江苏省高校自然科学基金基础研究项目(06KJD510034)

由基尔霍夫 (Kirchhoff) 定律, 显然有:

$$\epsilon_{\lambda} = 1 - \frac{I'_{\lambda} - \beta L_{\lambda}}{I_0} \quad (3)$$

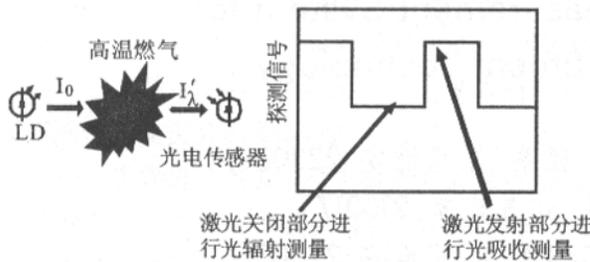


图 1 光吸收/光辐射组合测量示意图

由普朗克 (Planck) 黑体辐射公式:

$$L_{\lambda}^{bb} = \frac{2hc^2}{\lambda^5 [\exp(\frac{hc}{\lambda KT}) - 1]} \quad (4)$$

式中 $K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$

结合 (3) 式可得到火焰的温度:

$$T = \frac{hc}{\lambda \ln(1 + \frac{2hc^2 \epsilon_{\lambda}}{\lambda^5 L_{\lambda}})} \quad (5)$$

将入射激光束调制成按一定频率开关, 从而将光辐射和光吸收方式组合在一起。另外由于激光具有强度高、准直性好、带宽窄等优点, 能进行分辨率非常高的吸收光谱的测量, 结合 Beer - Lambert 定律, 根据窄带光通过长度为 L 的均匀介质后的透射量与入射量的关系, 由测得的吸收谱, 可得两路光谱吸收系数之比, 也可求得相应的温度, 再由温度和光谱吸收系数可求得组分浓度^[4-5]。

3 系统硬件设计

3.1 系统硬件组成

基于上述原理, 为 PDE 模型机所研制的多参数测量系统主要由半导体激光器 (脉冲调制输出)、光学传感器、压电传感器、信号调理电路、数据采集卡、计算机以及相关软件组成, 其系统硬件组成如图 2 所示。采用自制的多功能数据采集卡, 其模拟输入信号的动态范围为 $\pm 5\text{V}$, 采样通过率可达到 10MHz , A/D 转换分辨率为 12bit , 提供多种触发方式, 可以满足信号波形分析的需要。测量系统硬件组成如图 2 所示。

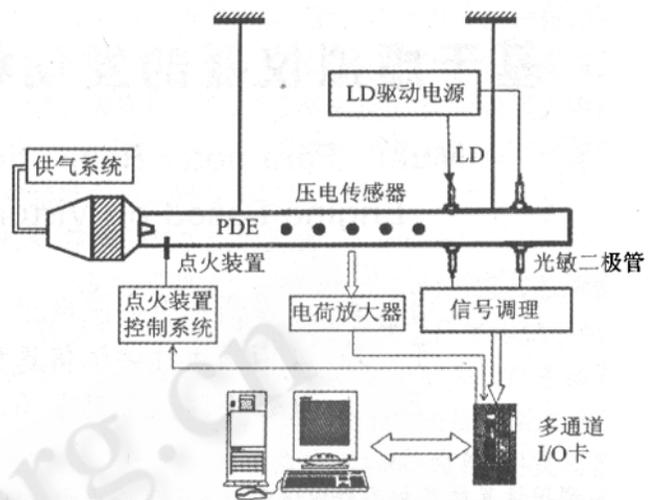


图 2 测量系统硬件组成示意图

3.2 光路的布置

图 3 为光路布置图。在 PDE 对称两侧开有两石英窗, 激光从一侧进入 PDE, 从另一侧出来, 用光敏二极管探测。用 1MHz 方波脉冲电流驱动激光二极管以得到调制光, 在设计驱动电路时要采用过流保护、软启动及抗浪涌等措施以保护激光二极管。

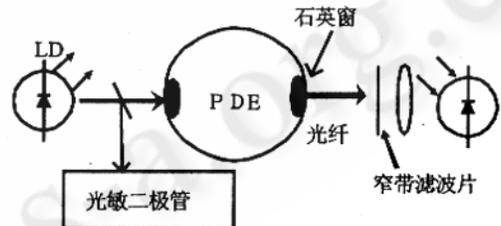


图 3 光路布置图

4 系统软件设计

“软件就是仪器”, 可见软件开发平台在虚拟仪器技术中的重要性。通过对常用虚拟仪器开发平台的比较, 结合本系统中采用的是自制板卡, 特选用 LabWindows/CVI 为主开发平台。LabWindows/CVI 是 NI 公司开发的基于标准 C 语言的软件可视化、交互式的开发环境, 具有良好的用户界面, 可方便地对非 NI 的板卡进行底层操作, 同时通过与 MATLAB 的接口, 极大提高编程的效率。系统软件采用模块化设计, 主要包括用户界面设计 (仪器软面板)、数据采集卡的驱动、数据采集与处理、结果输出与显示等。其流程图如图 4 所示。

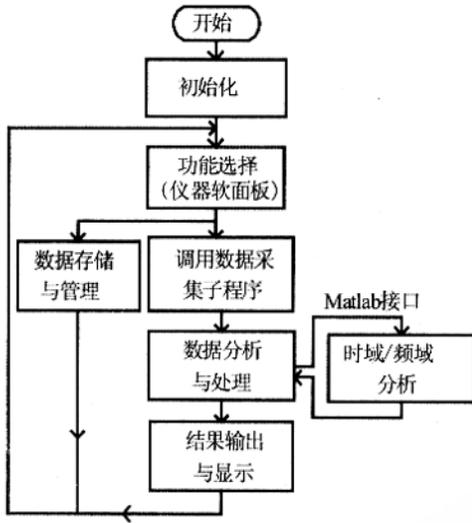


图 4 系统软件流程图

号进行采集,并将采集的数据读入内存或存入硬盘。在刚开始采集的时候,由于采集板有关器件的原因,在采集到的前面几个数据质量不太好,因此在编程时剔除了前面的 8 个数据。

为进一步去除外界干扰而引起的异常数据,对数据进行数据平滑、滤波等前期处理。LabWindows/CVI 内附了许多信号处理类函数,可直接调用,图 6 给出了预处理前后的波形。

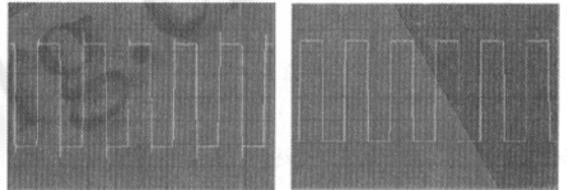


图 6 处理前后的信号

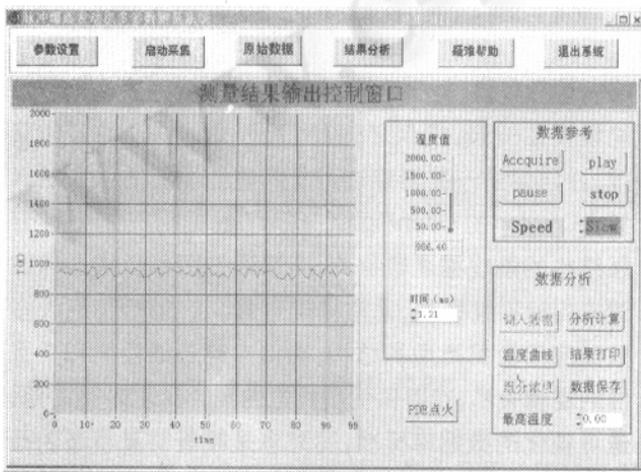


图 5 系统前面板

4.1 软件用户界面

通过 LabWindows/CVI 提供的用户界面编辑器,设计系统操作界面(仪器软面板)。用户界面包括数据采集卡参数设置;数据采集与控制;测量数据的分析、处理及保存;结果的动态显示及打印等。

图 5 为本测量系统的前面板界面。

4.2 数据采集与预处理

数据采集与处理是测量系统的核心。它根据用户设置的参数进行数据采集,并对所采集的数据进行各种运算、分析、处理。当用户启动数据采集卡后,数据采集卡将按事先设置的参数对光电转换电路送来的信

4.3 LabWindows/CVI 与 MATLAB 的接口实现

为得到 PDE 的温度、组分浓度等参数值,需要对采集的数据进行各种运算处理。LabWindows/CVI 提供的各种库函数可满足大部分计算要求,但对一些复杂的时域、频域分析,如小波分析等,编程工作量很大。MATLAB 是以矩阵为基本编程单元的高效数值计算语言,集科学计算、图形处理、自动控制、信号处理等于一体,受到许多学科的青睐,是目前应用最广泛的工程计算软件。许多信号分析与处理技术如神经网络、模糊理论、小波变换等均可通过调用 MATLAB 中的功能函数加以实现,方便快捷,提高了编程效率。但是作为一种以解释方式运行的高级语言 MATLAB 的执行效率较低。

考虑到 MATLAB 和 LabWindows/CVI 两种编程语言都具有良好的开放性,本系统在 LabWindows/CVI 中共享 MATLAB 的软件工具包,以便实现基于最新的信号分析处理技术的虚拟仪器,从而实现编程环境既有强大的数值计算能力又有高的执行效率的目的。实现方法是通过 LabWindows/CVI 和 MATLAB 之间的接口函数实现 LabWindows/CVI 环境下调用 MATLAB 的功能函数,运行 MATLAB 环境下的程序。上述过程的实质就是要在 LabWindows/CVI 环境下建立一个数据交换的 ActiveX 服务控件,将 LabWindows/CVI 平台的数据信息传输到 MATLAB 环境,达到调用 MATLAB 功能函数、执行 MATLAB 程序的目的,并将 MATLAB 的结果返回。由于 DLL 文件执行速度快,而且可移植性好,方便

(下转第 95 页)

(上接第 91 页)

用户调用,因而在具体实施时将 ActiveX 服务函数重新封装成易于调用的高层函数,然后建立这些函数的 DLL 文件。系统中较复杂的信号处理如小波分析就是用这种方法实现的,实验证明这些方法是可行的,而且可以有效缩短系统开发时间,降低成本。

5 结束语

本文介绍了利用虚拟仪器技术和激光诊断技术开发了脉冲爆震发动机多参数实时监测系统,能够适应 PDE 特定环境的测试需要,测试结果可靠。并且整套测试系统成本低、体积小、使用方便、易于修改及升级,体现了虚拟仪器的优点。

参考资料

- 1 Scott T. Diode Laser Sensor System for Multi - Parameter measurements in Pulse Detonation Engine Flows [J], 36th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion conference and Exhibit Huntsville July 16 ,2000.
- 2 何立明、徐通模、严传俊、范玮,脉冲爆震发动机的推力测试与分析[J],西安交通大学学报,1998,32(10).
- 3 张义宁、王家骅、张靖周,多循环吸气式脉冲爆震发动机推力直接测量[J],推进技术,2006 27(5).
- 4 陈希林、肖明清,一种 LabWindows/CVI 与 MATLAB 混合编程的实现方法[J],微计算机信息,2005,21(1).