

某型号姿控动力系统气体减压阀 性能测试系统设计

李志勋

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 围绕某型号姿控动力系统减压阀性能测试需求, 提出一种基于 PC104 总线测试架构的设计方案。详细阐述了减压阀性能测试原理、硬件设计方案和软件开发思路, 着重介绍了软件开发需求、总体架构、用户程序开发思路和软件设计关键技术等。实际应用表明, 该系统操作简单、携带方便, 测试精度优于 0.2%, 控制定时精度优于 1 ms, 满足减压阀性能测试要求。

关键词: 减压阀; Delphi; 动态链接库; 虚拟设备驱动程序

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2011) 06-0061-06

Design of performance testing system for gas relief valve of an attitude control engine

LI Zhi-xun

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

Abstract: A design scheme based on PC104 bus testing architecture is proposed to meet the needs of performance testing system for the relief valve of an attitude control engine. The performance testing principle, hardware design scheme and software developing idea of the relief valve is described in detail. The demands of Delphi software development, overall architecture, dynamic database linking and key technology of software design are elaborated. The actual application of this equipment indicates that the system can meet the requirement of the relief valve performance testing. It has simple operation, high accuracy and high reliability.

Keywords: relief valve; Delphi; dynamic linking database; virtual instrument driving program

0 引言

气体减压阀是姿控动力系统的重要组件之

一, 在姿控发动机工作过程中发挥着压力调节器的作用, 可将控制气、吹除气、贮箱挤压气等高压气体减压到所需的压力。减压阀工作特性的好坏直接影响姿控发动机的性能, 也将影响火箭发

收稿日期: 2011-07-08; 修回日期: 2011-08-23

作者简介: 李志勋 (1979—), 男, 工程师, 研究领域为发动机试验测控技术

射或卫星轨道确定及轨道保持的成败。

减压阀性能测试系统是姿控动力系统的一个便携式地面检测设备，用于完成对姿控动力系统出厂前以及发射加注前减压阀性能的测试。系统基于 PC104 总线测试架构，集测量控制功能于一体，具有检测精度高、可靠性高、操作方便等特点，能够完成对减压阀的零流量抗冲击试验和三种不同流量下的流量特性试验。

1 减压阀性能测试系统工作原理

减压阀性能测试系统如图 1 所示。采用 0~25 MPa 高压气源对 10 L 气瓶进行充气，并将待测减压阀与系统相连接，待气瓶充气压力稳定至 25 MPa 时，即可对减压阀进行性能测试。

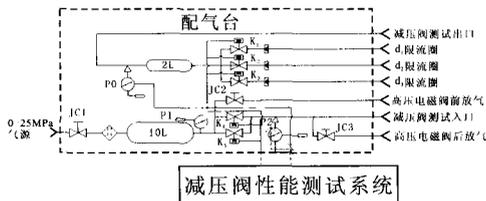


图 1 减压阀性能测试系统原理图

Fig. 1 Principle diagram of performance testing system for pressure relief valve

为模拟和检测减压阀在姿控动力系统电爆阀起爆瞬间零流量状态下的抗冲击性能和起爆后三种流量下的流量特性，设计了专门的试验控制程序（见图 2）。

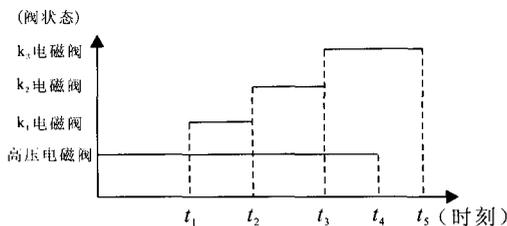


图 2 试验控制时序图

Fig. 2 Sequential diagram of test control

首先打开高压电磁阀进行零流量抗冲击试验，之后，按照时序要求依次打开 K_1 、 K_2 和 K_3 阀，分别进行三种流量特性试验。最后，关闭所

有电磁阀并终止试验过程。在测试过程中减压阀性能测试系统按照预定时序准确打开电磁阀，并实时记录减压阀入口压力及出口压力，测试完后，采用热敏打印机将减压阀性能测试曲线快速打印出来。

2 系统硬件设计

2.1 设计技术指标

- 1) 压力测量精度为 0.1 级；
- 2) 电磁阀控制通道为 8 路；
- 3) 控制定时精度优于 1 ms；
- 4) 压力测量通道为 8 路；
- 5) 采样分辨率为 16 位，采集速率为 1 000 点/每通道/每秒；
- 6) 工作温度：0~60℃。

2.2 硬件方案简介

减压阀性能测试系统作为姿控动力系统地面检测设备，为适应靶场恶劣使用环境，要求其以小型化、可靠化、程控化为设计目标，便于移动和使用维护。考虑到系统小型化、可靠化的设计需求，采用 PC104 总线技术构建测试系统。PC104 总线为嵌入式 PC 总线的一种，在体系结构、硬件与软件等方面与标准的 PC 体系完全兼容^[1]。它具有模块体积小、成本低、功耗低、可靠性高、温度范围宽及支持多种开发平台等特点，特别适合在使用条件复杂、功耗要求严格的现场测试环境中应用。

减压阀性能测试系统硬件组成如图 3 所示，由嵌入式主机、DM5416 多功能卡、电磁阀驱动电路、压力变送器、智能数显表、热敏打印机、显示器、电源等组成，集测量、控制功能于一体，主要设计功能有：1) 过程控制功能，按预定时序自动打开或关闭相应的电磁阀；2) 数据采集功能，实时记录及显示压力测量参数；3) 数据处理功能，动态曲线绘制、历史曲线绘制及报表打印。

硬件设备性能的好坏直接关系到系统稳定性、可靠性设计指标，为此，在硬件设备选型及配置方面进行了重点考虑，在满足减压阀性能测

试要求的情况下，能适应 0~60 ℃ 温度变化和长途运输中振动及冲击的考验。嵌入式计算机作为系统主控设备，选型工作尤为重要，在选择 CPU 模块时不应过高追求 CPU 主频而忽略功耗发热问题，选用了 PCM-3353 工控主板，其主频为 500 MHz，平均无故障时间为 50 000 h；在选择存储介质时，选用 Sundom 公司宽温（-25~65 ℃）、抗振型固态硬盘安装系统软件，容量为 16G；在选择显示器时，为适应野外恶劣的工作环境，选用 Plantar 公司的宽温（-25~65 ℃）、抗振、亮度自适应型 LED 屏进行人机界面设计。另外，对于系统其它设备如多功能采集卡、电磁阀驱动电路、压力变送器、电源等均选用军工级成熟技术产品。

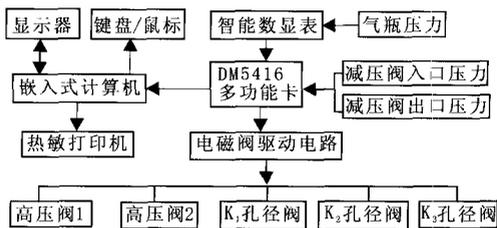


图 3 硬件系统组成框图

Fig. 3 Block diagram of hardware system

考虑到长途运输或搬运过程中的振动及冲击可能对系统造成损坏，须加固机箱结构设计，以防振动及冲击。机箱内部不采用机械转动部件，各组件均紧固安装，尽量减少信号中转环节。内部电路均设计成 PC104 板尺寸，每块电路板配置一个铝合金框架，电路板的堆叠通过铝合金框架层叠实现，此种结构坚固，可经受高强度的振动及冲击。

3 测试系统软件设计

3.1 软件需求分析

软件是系统的核心环节，应结合用户需求进行设计，要求其可靠性高、稳定性好、人机界面友好，操作简单。经需求分析，要求减压阀性能测试软件具备如下功能：1) 减压阀性能参数的实时采集、实时存储、实时显示；2) 电磁阀的

万方数据

自动控制 and 手动控制；3) 减压阀性能测试程序自动运行，可实时显示程序运行时间和电磁阀工作状态；4) 历史数据曲线回放；5) 曲线报表打印。

3.2 软件总体架构

系统软件由驱动程序和用户程序所组成，驱动程序采用 C++ 语言编程实现，用户程序采用面向对象的编程语言 Object Pascal，开发工具为 Delphi 7.0，软件运行平台为 Window 98。系统软件从实际需求出发，结合软件工程设计方法进行设计，其主要功能模块如图 4 所示。

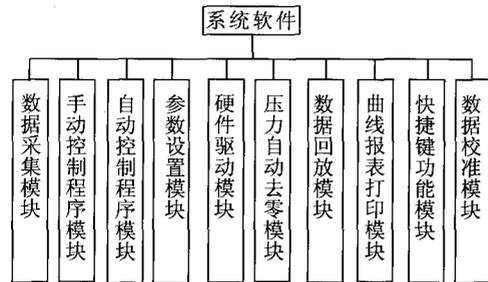


图 4 软件功能模块框图

Fig. 4 Block diagram of software function modules

测试系统主流程图如图 5 所示。测试程序启动后，录入系统参数信息，配置测量通道。当硬件板卡初始化后，启动数据采集任务，但并不执行数据存储任务，减压阀入口压力和出口压力以曲线和数字方式显示。当自动控制程序启动后，开始数据的实时存储。测试完后即可开展数据处理工作，进行历史曲线回放及报表打印等工作。

3.3 用户程序开发

3.3.1 数据采集程序

程序界面采用多文档形式，即每个主要功能模块使用一个单独的视窗。系统将数据采集视窗设为主界面，当 Windows 98 操作系统启动后，数据采集视窗就会居屏幕中央最大化显示。数据采集视窗应当是唯一的，即用户再次打开该视窗时只是恢复视窗到最大化状态，而不是生成一个新的对象。

主界面启动后，系统以 1 000 点/每通道/每秒的采集速度实时运行，采集数据采用“乒乓”方式缓存于双 Buffer 数据区中，每个 Buffer 缓存

区设置了“忙”标志位,若 Buffer 0 缓存区存满后, Buffer 0 “忙”标志位由 1 变为 0,此时, Buffer 1 开始缓存数据, Buffer 1 “忙”标志位始终处于 1 状态,表明 Buffer 0 中缓存数据可供数据显示及存储使用。为避免重复读取 Buffer 中缓存数据,每缓存满一次数据,写计数器自动计一次,每读完一次数据,读计数器自动计一次,在读取数据时先要判断读计数器是否小于写计数器,当条件满足时,方能对数据进行读取。

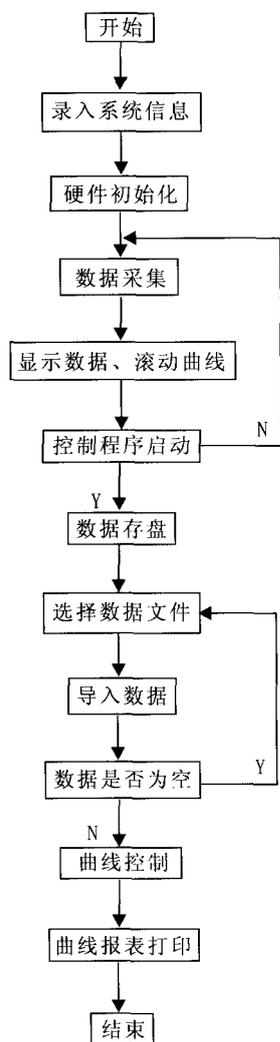


图 5 测试系统流程图

Fig. 5 Flow chart of testing system

自动程序启动前,采集数据仅供显示使用,而不执行数据存盘操作。主界面上可以动态显示减压阀入口压力和出口压力的滚动曲线以及数字测量值。滚动曲线采用 Delphi 中的 Tchart 控件进

行绘制,每隔 10 s 从双 Buffer 缓存中抽取数据供 Tchart 控件调用,每一屏缓存 10 s 曲线,10 s 后删除曲线并重新绘制,即可实现曲线滚动显示效果,自动程序运行后,减压阀性能测试任务也随之执行,按照预定时序打开关闭相应的电磁阀,采集数据以每秒 1 000 点的速率存盘,当程序运行完后,关闭电磁阀,并停止数据存盘。在程序运行过程中,若有异常情况发生时,可紧急中断程序运行。

3.3.2 数据处理程序

数据处理程序具备历史数据回放和曲线报表打印功能。历史数据回放时,将采集数据导入计算机缓存并采用 Tchart 控件绘制成曲线,共绘制了两条曲线,一条为减压阀入口压力曲线,另一条为减压阀出口压力曲线。为方便数据分析,允许用户通过按钮或快捷功能键控制曲线上或左右移动、曲线局部放大、曲线纵向或横向伸缩运动等,还可采用鼠标来获取曲线上某一点的坐标值。为方便用户操作,将控制按钮设计成快捷功能键,快捷功能键采用 F1~F12 表示,当用户按下某个快捷功能键时,随之生成一个 ASII 值,用户程序可依据该 ASII 值来执行相应的功能任务。

减压阀性能测试完后,需要对测试结果进行报表打印。曲线报表采用 TCanvas 对象中的 LineTo 和 MoveTo 方法进行绘制,设计了 A4 纸报表打印和自定义报表打印两种操作模式,两种模式应用场合不同,A4 纸报表打印模式只能采用常规打印机打印,自定义报表打印模式可在常规打印机和热敏打印机上打印,打印纸最长可以设置为 3 000 mm。考虑到减压阀性能测试时间较长,数据采集量大,绘制曲线时为了避免曲线重叠,建议采用自定义报表模式打印,可将打印纸设置成适宜长度,以获取更好的曲线打印效果。

3.4 软件设计关键技术

3.4.1 C++和 Delphi 协同编程技术

C++语言具有编程灵活、自由的特点,适宜与硬件底层驱动程序接口设计,但在软件界面开发方面则不如 Delphi 编程方式灵活。尽管 Delphi 强于图形界面、数据报表等编程设计,但在硬件

接口方面很难直接进行底层驱动程序设计。由于系统中的 DM5416 卡仅提供 C++ 底层 Demo 驱动程序, Delphi 很难直接调用, 因此, 本系统采用了 C++ 与 Delphi 协同编程方法, 主要编程思路: 采用 VC 开发工具将自动时序控制功能、数据采集功能封装成动态链接库文件 HardCtrl.dll, 设计了硬件板卡初始化函数、自动控制时序函数、控制指令发送函数、获取采集时间函数、数据采集控制函数。在 Delphi 应用程序中通过调用 DLL 文件便可对上述功能函数进行操作。

在 Delphi 下调用 DLL 文件时应注意如下问题: 1) Delphi 和 VC++ 所使用的变量类型并不完全相同, 在调用时要注意参数类型的相互转换, 而且共享 DLL 函数的参数必须是两种语言都支持的变量类型; 2) Delphi 和 VC++ 两者的调用规则即参数传递问题。若存在调用关系的几个模块是用不同语言编写的, 则在 Delphi 和 VC++ 之间共享 DLL 文件中的函数, 其接口应使用调用模式 StdCall; 3) 为保证 DLL 函数能被 Delphi 正确调用, 在用 VC++ 的 AppWizard 创建 DLL 库时, 需要用 extern "C" 修饰要输出的函数, 应采用标准 C 的链接方式链接该函数, 并指定输出函数为 decl 调用模式。例如, 原型说明:

在 C++ 中:

```
extern " C"  BYTE  _declspec ( dllexport)
__stdcall Init5416IO (); //板卡初始化
```

在 Delphi 中:

```
Function      Init5416IO:Byte;stdcall;external
'HardCtrl.dll';
```

3.4.2 1 ms 精确定时技术

在减压阀性能测试过程中, 需要按照精确的时序打开或关闭相应的电磁阀, 要求控制定时精度优于 1 ms。在 Windows 操作环境下由于受多任务分时执行的影响, 单靠软件定时方式实现 1 ms 精确控制是很难保证的, 而且时间累计误差大。为确保时序控制精度, 开发了基于虚拟设备驱动程序 VxD 的硬件定时器 CLOCK.vxd, 由于 VxD 运行在系统的 Ring 0 级, 拥有与操作系统同等的级别, 因此, 可以利用它对硬件设备进行管理。时钟中断源由 DM5416 卡的 8254 定时器产生,

每隔 1ms 产生一次中断信号, 一旦中断发生, 系统将中断控制权交给虚拟可编程中断控制器 VPICD, VPICD 再将其交给一个注册了该中断的 CLOCK.vxd 来处理。当 CLOCK.vxd 挂钩 (hook) 该中断时, 它调用 VPICD 的服务例程 VPICD_Virtualize_IRQ, 为中断设备进行中断服务。中断应用程序通过 CreateFile 函数加载 CLOCK.vxd 后, 可以通过调用 DeviceIoControl 函数与 CLOCK.vxd 进行通信。通过这一接口, 中断应用程序则按照具体时序要求向 VxD 发送控制指令数据, 控制电磁阀的打开与关闭。中断应用程序代码如下。

```
Void Clock (LPVOID pParam)
{ hDevice = CreateFile (" \\.\CLOCK.VXD" ,
0,0,0,CREATE_ALWAYS,
FILE_FLAG_DELETE_ON_CLOSE, 0) ; //加载
CLOCK.vxd
if (hDevice == INVALID_HANDLE_VALUE)
{ MessageBox (NULL," QD 加载失败 " ,"
LoadDrv" ,MB_OK) ;}
if (! DeviceIoControl (hDevice, ADDRESS-
PASS, CallbackAPC, 0, 0, 0, 0, 0)) //调用中断服
务程序
{ MessageBox (NULL," Q.D 调入失败 " ,"
LoadDrv" ,MB_OK) ;}
}
Void WINAPI CallbackAPC (PVOID param) //
中断服务程序
{ if (bStartTest)
{if ((CurrentTime-StartTime) ==60000)
DIOWrite5416 (BOARD,1,7) ;
.....
else if ( ( CurrentTime -StartTime) ==
200000)
DIOWrite5416 (BOARD,1,0x13) ;} Cur-
rentTime=CurrentTime+1;}
extern " C" void _declspec (dllexport) __stdcall
StartTest (BYTE bStart) // 启动自动控制时序
{ bStartTest=bStart;
DIOWrite5416 (BOARD,1,3) ;
```

```
StartTime=CurrentTime;}
```

4 结束语

减压阀性能测试系统研制成功后,已交付用户方使用。实际应用表明,系统工作可靠、性能稳定、抗恶劣环境能力强,具有友好的人机操作界面,操作简单,测试精度优于0.2%,控制定时精度优于1 ms,满足减压阀性能测试要求。该系统的成功研制为姿控动力系统减压阀的性能测试工作带来了极大方便,具有较好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 王浩,许化龙.基于PC104的测试系统抗干扰设计[J].弹射与制导学报,2009(2):293-302.
- [2] 陈本峰,苏琦.利用DL进行VC与Delphi配合开发[J].计算机应用研究,2002(12):158-160.
- [3] 郝文化.多线程编程技术及实例[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [4] 武安河.Windows设备驱动程序开发实务[M].北京:电子工业出版社,2001.
- [5] 余凯.Windows 98环境下实时控制系统的开发[J].计算机应用研究,2001(6):116-119.
- [6] 王忠.DELPHI5开发指南[M].北京:电子工业出版社,2000.

(编辑:王建喜)



(上接第60页)

4 结论

在对贮箱置换方法进行探讨的基础上,运用C#软件进行了理论计算程序编制。用计算流体力学(CFD)FLUENT软件对LH₂贮箱(缩比和全尺寸)置换(N₂和H₂)进行了数值计算,并将缩比贮箱数值计算结果同试验情况进行比较,结果表明数值计算具有较高的置信度,可以为贮箱置换提供理论指导。

参考文献:

- [1] 王红雨.LH₂加注系统的气体置换方法探讨[J].低温与特气,2007,6(3):23-25.
- [2] 余照,袁杰红.储氢罐泄漏扩散规律的数值仿真分析[J].

广西轻工业,2008,8(8):24-26.

- [3] 郭霄峰,李耀华,陈鸿彦,等.液体火箭发动机试验[M].北京:宇航出版社,1990.
- [4] 尼瓦费林[俄].液体的低温系统[M].低温工程编辑部译.北京,1993.
- [5] 马存栋.高压天然气管道破裂气体扩散规律模拟结果分析[J].油气田地面工程,2005,24(3):12-14.
- [6] 赵承庆,姜毅.气体射流流体力学[M].北京:北京理工大学出版社,1998.
- [7] 李又绿,姚安林,李永杰.天然气管道泄漏扩散模型研究[J].天然气工业,2004(8):123+17+143
- [8] 段卓平,吕武轩.易燃、易爆(有毒)重大危险源(罐区)泄漏物扩散模型及数值模拟[J].中国安全科学学报,1999,9(4):68-72.
- [9] 张启平,吕武轩,麻德贤.突发性危险气体泄放过程智能仿真[J].中国安全科学学报,1998,8(6):38-42.
- [10] 丁信伟,王淑兰,徐国庆.可燃及有毒气体泄漏扩散研究综述[J].化学工业与工程,1999,16(2):58-62.

(编辑:王建喜)