

# 基于 LabVIEW 与 PLC 的烧嘴 试验台测控系统设计

刘小杰, 杜永清, 张鹤平, 陆岩  
(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 针对一体化点火开工烧嘴试验台测控系统需求, 确定了由上位机、前端测量设备及 PLC 组成的双层架构, 介绍了硬件选型及软件设计方法。测控系统经调试及热试车检验, 满足试验台需求。

**关键词:** 烧嘴试验台; LabVIEW; OPC; PLC

**中图分类号:** V433-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2015) 03-0108-05

## Design of measurement and control system for burner test bench based on LabVIEW and PLC

LIU Xiao-jie, DU Yong-qing, ZHANG He-ping, LU Yan  
(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** According to the requirement of measurement and control system for integrated ignition start-up burner test bench, a double layer structure composed of upper computer, front-end measuring equipment and PLC is established in this paper. The hardware selection and software design method are also introduced. The results of system debugging and firing test met the design requirement of the test bench. The experience from the system design has a referential value for other thermal measurement and control systems.

**Keywords:** burner test bench; LabVIEW; OPC; PLC

## 0 引言

烧嘴是壳牌公司煤气化工艺 (SCGP) 气化炉的核心部件, 是气化炉点火系统中最复杂、最关键的设备, 在壳牌气化炉的整个启动过程中起着至关重要的作用, 也是气化炉开车的难点所

在。为了打破外商垄断的局面, 国内某研究所依托液体火箭发动机研制经验, 自主开发成功了国产一体化点火开工烧嘴, 同时建立了国内最先进、最完善的一体化点火开工烧嘴试验台 (以下简称试验台), 为产品的研制及出厂检验提供试验支持。

收稿日期: 2014-07-23; 修回日期: 2015-03-31

作者简介: 刘小杰 (1982—), 男, 工程师, 研究领域为液体火箭发动机试验测控技术

## 1 试验台对测控系统的要求

### 1.1 试验台组成

试验台可进行原壳牌工艺中的点火烧嘴与开工烧嘴 2 类产品的性能试验, 也可在开工烧嘴试验工位进行一体化点火开工烧嘴试验。试验台主要由液化气供应系统、空气供应系统、氧气供应系统、柴油供应系统、吹除系统、配气系统及测控系统 7 个子系统组成。试验台组成见图 1。

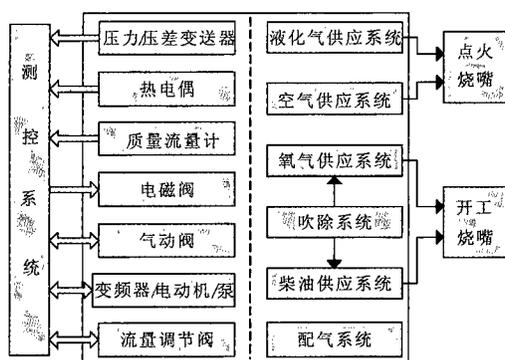


图 1 试验台组成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of test bench composition

### 1.2 测控系统功能与要求

如图 1 所示, 测控系统通过压力变送器、热电偶及流量计等测量元件进行过程参数采集及显示; 经过人工或程序判读, 通过阀门和泵等执行机构实现对介质流量或压力的实时控制, 达到模拟产品试验工况的目的。

测控系统的主要要求如下:

- 1) 测试设备 (不含传感器) 测量精度优于 0.2%F.S;
- 2) 采集速率  $\leq 500$  次/秒;
- 3) 系统具备手动与自动两种控制模式, 定时误差绝对值  $\geq 20$  ms;
- 4) 自动控制时序可以在软件界面中自定义, 界面友好、易操作;
- 5) 系统需具备长期工作的稳定性和可靠性。

## 2 测控系统设计

### 2.1 设计难点分析

通过需求分析, 归纳出测控系统设计有以下

难点:

1) 安全性要求高。试验台涉及多种危险介质, 且具有高压、易燃、易爆等特点, 因此要求测控系统具有高可靠性、安全性, 可远程控制。

2) 系统需具备抗强电磁干扰能力。热电偶输出为毫伏信号, 易受变频器、电机等强电设备的干扰, 可能导致孔板流量计测量有误。

3) 时序控制要求较高。为了避免爆燃等危险情况的发生, 确保点火成功, 相关阀门等执行机构必须严格按照顺序及时间要求工作, 同时定时参数可根据需求灵活调整。

### 2.2 测控系统硬件设计

测控系统从功能上, 可分为测量和控制 2 部分, 对于试验台 (被控对象) 来讲, 测量是“被动式”, 控制是“主动式”。因此在安全及可靠性方面, 控制部分更值得关注。

当前, 工业控制系统可以基于工业 PC 或可编程控制器 (PLC) 构建。PLC 在硬件上广泛采用了隔离、滤波及屏蔽等技术措施, 在软件中采用循环扫描工作方式, 使用户程序与系统程序相对独立, 用户程序通常很难影响系统程序的运行, 因此, PLC 一般不会出现计算机中常见的死机类故障。现阶段 PLC 在控制可靠性方面较 PC 有一定的优势, 所以测控系统的控制部分拟由 PLC 承担。

测量设备可以基于板卡、PXI 平台及各类测量模块构建。结合控制系统特点, 测量部分采用基于以太网的 NI CompactDAQ 模块化数据采集系统, 丰富的 I/O 模块赋予了其灵活性, 以太网结构赋予了其可扩展性, 从而更易于创建远程或分布式高速测量系统。

经上述分析, 测控系统的总体结构确定为由上位机、前端测量设备及 PLC 组成的双层架构, 三者之间通过以太网进行数据传输。

测控系统硬件主要由传感器、测量设备、PLC、上位机及变频器 5 部分组成。传感器将物理信号转化为电信号, 经调理模块放大、隔离及滤波后, 集成有采集模块的以太网机架, 实现数据的采集及变频器控制; 上位机将采集到的电信号反算为工程量参数进行显示及存储; PLC 接收

来自上位机的控制指令，保证各个设备准确动作。测控系统原理如图2所示。主要硬件选型如表1所示。

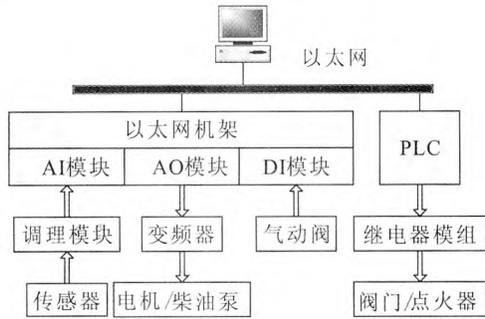


图2 测控系统原理图

Fig. 2 Functional block diagram of measurement and control system

有2个网络接口且带交换机功能，可与cDAQ-9184、计算机快速组成以太网测控系统。为解决热电偶信号易受电机、变频器干扰的问题，在现场增加一级调理模块，即在现场将热电偶输出的毫伏信号调理成4~20 mA信号后再进行传输，同时实现热电偶的现场温度补偿。经过试验检验，未出现干扰问题。

2.3 测控软件设计

测控软件由试验监控软件和实时控制软件2部分组成。试验监控软件采用LabVIEW开发，运行于上位机中，用于实现人机交互和数据采集；实时控制软件采用STEP 7开发，运行于PLC中，用于实现试验台的手动与自动控制。试验监控软件与实时控制软件之间的数据通讯通过NI OPC SERVERS实现。软件组成如图3所示。

如表1所示，PLC控制器314C-2PN/DP集成

表1 测控硬件选型表

Tab. 1 Hardware selection of measurement and control system

设备	型号	用途	主要指标
机架	cDAQ-9184	数据采集	4槽 NI CompactDAQ 以太网机架
AI 模块	NI 9205	模拟量输入	32通道, ±200 mV~10 V, 16位分辨率
AO 模块	NI 9265	模拟量输出	4通道, 0~20 mA, 16位分辨率
DI 模块	NI 9426	开关量输入	32通道, 24 V, 7 μs 更新率
PLC	314C-2PN/DP	开关量控制	24路 DI, 16路 DO, 5路 AI, 2路 AO, PROFINET 接口

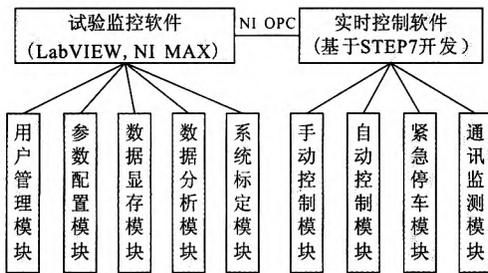


图3 测控软件组成框图

Fig. 3 Configuration block diagram of measurement and control software

成，功能模块又由子VI构成，且子VI之间存在相互调用关系。因此，当软件达到一定规模后，软件的总体架构显得尤为重要。基于LabVIEW的测控软件设计中，以下3种结构或方法有着广泛的应用。

2.3.1.1 状态机结构

状态机结构用于控制软件运行流程，实现不同状态之间的切换，状态机主体是在While循环结构内嵌套Case条件结构。其中，While循环用于维持状态机的运行，Case条件结构的每一个分支执行和状态对应的代码，并计算下一步转移到哪个状态，状态变量在循环间的传递依靠移位寄

2.3.1 试验监控软件设计

试验监控软件由图3所示的5大功能模块组

存器。

本软件的数据显存模块内设计了一个状态机结构, 用于处理数据采集时的不同状态。该状态机设置监测、开始记录、正在记录及结束记录 4 个状态。监测状态仅实现界面数据的实时显示; 开始记录状态会记录试验开始时间、创建并打开数据记录文件及禁用界面部分按钮; 正在记录状态除刷新界面显示外, 同时将数据实时写入存储文件; 结束记录状态将保存本次试验的通道配置信息、修改下次数据记录文件名及解除按钮禁用等。状态之间的切换都是使用状态变量通过移位寄存器实现的。

### 2.3.1.2 循环事件结构

循环事件结构也可以看做是一种状态机, 区别是事件结构取代了上述的 Case 条件结构, 事件结构根据发生的事件决定执行哪一个分支中的代码, 该结构非常适合于界面编程。

本软件涉及人机交互的子 VI, 例如用户管理模块、参数配置模块、数据显存模块, 其程序框图中都有一个独立的循环事件结构, 用于处理用户在界面上的各种操作。对于每隔一段时间需要执行一次的程序, 比如工艺图状态刷新、参数超限报警、时钟显示等程序, 可以放置在事件结构的超时分支内, 此时需要指定等待事件发生的时间。若多个事件拥有相近的编程代码, 可在同一事件分支中添加多个事件, 通过事件结构左边内侧的事件数据节点获得发生事件的相关信息, 辨别出具体动作的事件, 这样可以减少事件分支的数量, 提高程序的可读性。

### 2.3.1.3 VI 服务器

VI 服务器是一套函数, 可实现动态控制前面板对象、VI 和 LabVIEW 环境。这些函数位于应用程序控制选板, 其中以属性节点 (Property Node) 与调用节点 (Invoke Node) 最为常用。VI 服务器应用程序的编程模式以引用句柄为基础, 引用句柄可以看做是一个打开对象的临时指针。此处编程大致分为 3 个步骤: 首先, 打开一个 VI 或者某个对象的引用, LabVIEW 将为引用句柄指向的对象分配内存空间; 其次, 使用属性节点设置这个对象的属性, 或者使用调用节点调用这个

对象的方法; 最后, 使用“关闭引用”函数关闭被打开的节点, 释放内存空间及资源。若仅对本 VI 内的控件修改属性或使用方法, 可以直接在控件的右键菜单中选择属性或方法, 创建隐含的可链接到前面板对象的属性节点或方法。

图 4 是启动界面的程序框图, 在顺序结构的第 1 帧依据路径打开将要动态加载 VI 的引用; 第 2 帧调用方法运行子 VI; 第 3 帧调用方法打开加载 VI 的前面板; 最后一步将本 VI (启动界面) 前面板关闭, 并清除引用。至此通过调用节点, 实现了由启动界面动态调用登录界面的功能。

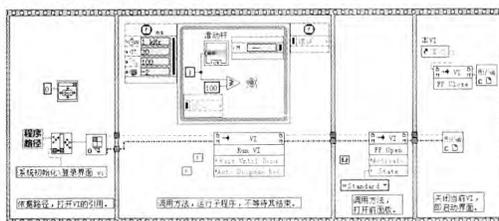


图 4 启动界面程序框图

Fig. 4 Program diagram of start interface

### 2.3.2 试验监控软件与实时控制软件之间的数据通讯

在试验过程中, 试验监控软件需要将用户定义的自动控制时序下载至实时控制软件。LabVIEW 软件与西门子 PLC 之间的实时数据交换通过 NI OPC Servers 实现。OPC 是一组标准接口, 用于确保不同制造商的设备之间可以进行实时数据传输。OPC Servers 的创建过程可分为新建通道、添加设备及添加标签 3 个步骤, 标签建立完毕后, 就可以在任一种客户端工具中浏览到这些标签了。

LabVIEW 可以通过共享变量、DataSocket 技术及 DSC 模块 3 种方法将 OPC 客户端连接至 OPC Servers。当通过共享变量方法时, 可在 LabVIEW 项目中建立一个 I/O Server 库, 在库中添加配置好的 OPC 变量作为共享变量, 将共享变量拖动至 VI 后面板, 即可像一般变量一样对它编程了; 当使用 DataSocket 技术时, 可在前面板设置控件的“数据绑定”属性, 将控件与 OPC Servers 中的标签绑定, 或使用 DataSocket 函数,

通过编程的方法实现与 OPC Servers 的数据交换；DSC（数据记录与监控模块）是 LabVIEW 的附加模块，当有大量 OPC 数据项需要访问或需要连接到一个支持 OPC3.0 版的 OPC 服务器时，需要使用 DSC 模块。

### 2.3.3 实时控制软件设计

实时控制软件运行于 PLC 控制器内，其主要功能是：在手动模式下，响应用户的按钮操作；在自动模式下，执行由上位机预先定义的自动控制时序。

实时控制软件主要由 OB（组织块）、FC（功能）及 DB（共享数据块）3 类程序块组成。软件将参数分类定义在多个 DB 中，避免程序直接引用 I/O 点，提高软件的可维护性。4 个子模块在软件中以 FC 的形式体现，最终由主循环 OB1 统一调用。OB100（暖启动组织块）用于编写初始化程序。OB80 和 OB86 等故障组织块可以不编程，但软件应包含此类组织块，这样可以避免出现对应故障时，CPU 进入 STOP 模式。

自动控制时序采用定时器实现时，其精度主要由定时器误差及程序循环扫描周期决定，且定时器误差起决定性作用。S7-300 PLC 的定时器有 10 ms，100 ms，1 s 及 10 s 4 种时基，为了实现长定时时间（大于 9.99 s）拥有较高的定时精度，可以将定时时间分割，采用 10 ms 时基定时器与计数器配合计时的方法。如图 5 所示。

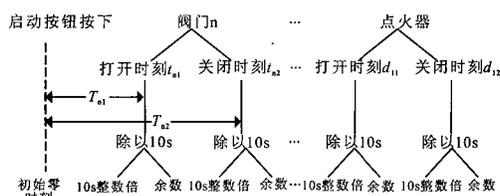


图 5 自动控制时序示意图

Fig. 5 Schematic diagram of automatic time-sequence control

时序以按下启动按钮作为参考零点，将各设备动作时间划分为 10 s（该数值不唯一）的整数倍及其余数 2 部分。整数倍部分通过 2 个定时器

配合产生周期为 10 s 的方波，然后利用计数器计数定时；余数部分通过一个定时器定时。总定时时间结束后，通过置位及复位指令实现设备的开启和关闭。由上位机下载至 PLC 的时间格式为 IEC Time，通过库函数 FC40 转化为 S5Time 格式。

## 3 性能验证与热试

该测控系统建成后，进行了充分的调试验证工作。模拟量输入信号采用标准源标定验证，标定结果优于 0.2%F.S。在现场设备不通试验介质的情况下，阀门手动工作正常，自动控制时序精度满足试验要求。单元测试通过后，对测量单元、控制单元、变频器、电机等设备进行了联合调试，各设备之间无相互干扰现象。随后，用该试验台进行了多次的一体化点火开工烧嘴性能试验，试验结果表明：测控系统满足试验台需求，运行稳定。

## 4 结束语

一体化点火开工烧嘴试验台测控系统经过近一年的试车考核，工作稳定可靠，为产品的性能试验及出厂检验提供了试验数据支撑。

### 参考资料：

- [1] 林凯. 壳牌气化炉开工烧嘴点火故障分析及预防措施[J]. 中外能源, 2010, 15(12): 84-89.
- [2] 颜昌玉, 何鹏. SHELL 气化装置一体化开工烧嘴的成功应用[J]. 广州化工, 2012, 40(24): 142-144.
- [3] 龚仲华. S7-300/400 系列 PLC 应用技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
- [4] 黄见, 胡顺星, 曹开法, 等. 基于 LabVIEW 的测污激光雷达三维扫描控制系统的设计[J]. 大气与环境光学学报, 2013, 8(2): 124-129.
- [5] 刘斌. 基于虚拟仪器的变量泵测试系统研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2006.
- [6] 徐庆坤, 王军伟, 毛建伟. 基于 NI OPC Servers 实现 PC 与 PLC 实时通讯[J]. 工业控制计算机, 2013, 26(7): 51-52.

(编辑: 马杰)