

# 发动机内部压力传感器自动校准技术

李正兵, 王小丽, 蒋兴佳

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 通过分析压力测量系统的工作原理, 结合硬件设备特点, 设计完成了内部压力传感器自动校准系统。在 Windows XP 操作系统下, 采用 VB6.0 语言, 设计了传感器通道配置与自动校准程序, 通过 GPIB 总线, 完成对程控电压源 EDC522 及 PACIFIC 6000 采集装置接口操作, 实现传感器自动校准。

**关键词:** 压力传感器; 自动校准; 通道配置; 测量系统

**中图分类号:** V434-34    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-9374 (2011) 06-0067-03

## Automatic calibration technology of pressure sensor in rocket engine

LI Zheng-bing, WANG Xiao-li, JIANG Xing-jia

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

**Abstract:** In combination with the characteristics of the hardware equipments, the automatic calibration system of build-in pressure sensors was designed on the basis of the principle analysis of the pressure measurement system. The channel configuration module and the automatic calibration program of build-in sensors was designed under the Windows XP operation system with the VB6.0 language. The interface operation of programmable power supply EDC522 and PACIFIC 6000 type acquisition device was achieved through the GPIB bus. The automatic calibration of the pressure sensors was realized.

**Keywords:** pressure sensor; automatic calibration; channel configuration; measurement system

## 0 引言

在发动机试车过程中, 发动机内部压力传感器较多, 按照传统电校方法, 操作员根据校验证

书中三遍六档原始数据, 在前端使用电压源给对应通道施加额定的电压值, 后端计算机软件操作人员依次记录系统放大后的电压, 校验完成后, 程序计算对应通道的斜率、截距, 供试车实时显示、数据处理程序使用。采用传统电校方法需要

收稿日期: 2011-07-07; 修回日期: 2011-09-26

作者简介: 李正兵 (1968—), 男, 高级工程师, 研究领域为液体火箭发动机试车测量与控制技术

人员多、时间长,且读数和加载标准值易出错,校准系数不准确。研制内部传感器自动校准系统,可以有效减少人为操作,缩短测量系统试车准备时间,提高测量的准确性及系统可靠性。

## 1 内部压力传感器自动校准系统硬件设计

发动机内部压力传感器输出信号通过活动电缆、接线箱、主电缆、转换柜和信号转接器输入到采集装置进行放大、滤波和 A/D 转换,变换后的数字电压信号由 GPIB 总线提供给计算机记录处理。系统硬件设计如图 1 所示。

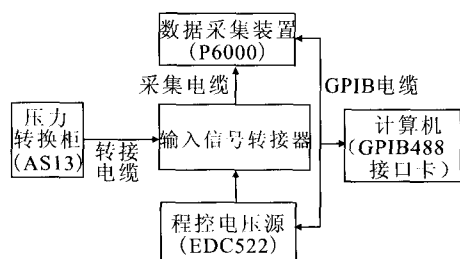


Fig. 1 Hardware composition of automatic calibration system for internal pressure sensors

主要硬件由 P6000 采集装置、程控电压源 EDC522、压力信号输入转接器、转换柜及计算机组成。P6000 采集装置主要由 6094、6035 和 6040 板组成,6035 板实现传感器信号调理、A/D 转换和传感器激励电压输出;6040 数字量输入输出板完成试车开关车信号测量,为采集数据提供零秒信号;6094 数据接口板实现采集板卡中通道信息存储、设置,及板卡信息、采集数据与计算机之间的通信。EDC522 程控电源具有精密电压源、电流源输出功能,可手动设置预定电压或电流数值,也可通过其 GPIB 接口电路,由计算机通过程序实现预定电压或电流输出。信号转接器主要完成输入信号远地、本地校验或输入短路状态切换。计算机通过程序完成 EDC522 输出电压控制与数据采集、分析处理。当进行内部传感器电校时,通过信号转接器组合开关,选择采集装置输入信号为程控电压源,计算机通过 GPIB 总

线,分档控制程控电压源输出,记录采集装置输出数据,处理保存校验结果。

## 2 内部传感器自动校准程序的设计

### 2.1 自动校准程序配置界面设计

在 Windows XP 操作系统下,应用程序采用 Visual Basic 6.0 语言设计完成。为了工作方便与简化操作,自动校准程序设计以采集程序和处理程序使用的 Access 数据库为基础,每次运行校验程序时,系统自动加载上次使用的路径与数据库,校验结束后,程序一方面将校验数据自动写入该数据库,另一方面根据试车代号自动创建对应“校验”目录,将校验三遍六档数据及计算结果以文本文件形式保存在该目录下,便于复查、打印存档。程序同时按照最小二乘法设计有输入数据计算公式,可显示或打印斜率、截距、偏差与相关系数等计算结果。

在校验程序的通道配置界面中,校验参数列表框中所显示的参数为本次试车采集程序所配置的总通道,通过单击参数名前复选框,选中通道。打开采集通道数据文件按钮打开的文件为参数自动校准结果与零位数据保存的数据库;读自动校准数据文件按钮打开的文件为内部传感器实验室校验数据文件,读入时自动将输出数据放在通道校验标准值下的表格中,并将本次试车自动校准参数选中;记传感器零位按钮实现程序进入零位记录模块;打印记录零位按钮将最近记录的零位数据从默认打印机中打印输出;记传感器桥臂并电阻按钮完成进入记录施加标准信号模块界面;确认按钮实现选择的通道按照校验遍数及档位数自动校准。校验程序不仅可直接读取内部传感器 EXCEL 原始表格文件,自动根据参数顺序完成对应传感器通道的校验,且将校验结果直接写入数据库,并保存到文本文件,便于处理程序读取及存档查阅。

### 2.2 自动校准程序设计

传感器自动校准程序通过多媒体定时器中断方式实现,在采集数据过程中,程序通过计算采集 30 个数据的标准偏差,自动判断数据是否稳

定,数据稳定后,执行下一步操作,增加了校验数据准确性。自动校准程序流程如图2所示。

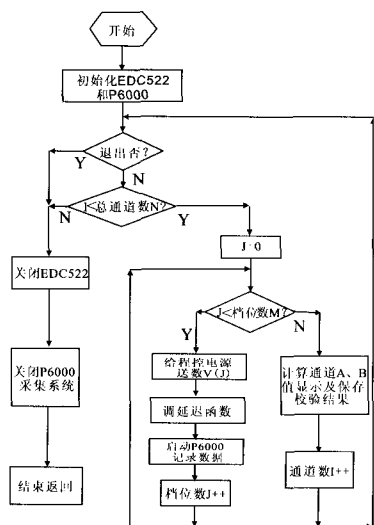


图2 自动校准程序流程图

Fig. 2 Flow chart of automatic calibration program

进入程序界面前应先选择需校验参数,设置校验遍数及档位数,单击确认按钮进入自动校准模块界面。系统首先打开内部传感器实验室校验数据文件,将物理量和输出毫伏数读入到内存变量,并设置多媒体定时器参数,根据所选通道及采样速率,下载扫描表,启动采集装置进行采集。通过定时器中断服务程序及 GPIB 总线,将传感器实验室校验时标准压强对应输出的毫伏数送给程控电源 EDC522,待采集到的数据稳定后,将采集缓冲区数据读到计算机内存,记录保存。通道校验完成后,使用最小二乘法根据算式(1)到算式(4)计算通道斜率、截距、标准偏差、相关系数,并显示校验结果,将校验数据写入采集数据库,保存至自校文件中,当保存文件名在当前目录中存在时,程序将原文件备份后保存文件。校验过程中程序动态更新校验结果数据,并在窗口下面状态栏中显示校验日期、时间、校验进程等信息。校验完成后,程序自动关闭采集装置与程控电压源,退出自动校准模块。

$$B = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} y_{ij} - mn \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - mn \bar{x}^2} \quad (1)$$

$$A = \bar{y} - B \bar{x} \quad (2)$$

$$S_2 = \frac{\sqrt{\frac{1}{mn-2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\hat{x}_{ij} - x_{ij})^2}}{|x_{ij}|_{\max}} \quad (3)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} y_{ij} - mn \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - mn \bar{x}^2 \right) * \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - mn \bar{y}^2 \right)}} \quad (4)$$

$$\hat{x}_{ij} = \frac{y_{ij} - A}{B} \quad (5)$$

式中:  $B$  为校准斜率;  $A$  为校准截距;  $S_2$  为校准误差;  $R$  为相关系数;  $m$  为校准遍数;  $n$  为校准档数;  $x_{ij}$  为采集电压值;  $y_{ij}$  为标准压强值;  $\bar{x}$  为采集电压算术均值;  $\hat{x}_{ij}$  为将  $y_{ij}$  带入公式中反算的值;  $\bar{y}$  为标准压强算术均值;  $|x_{ij}|_{\max}$  为采集电压的绝对值的最大值。

### 3 结论

内部传感器自动校准系统经发动机热试车应用表明,系统硬件设计合理,设备连接方便可靠。内部传感器自动校准系统操作简单、运行可靠、使用方便,其研制缩短了压力测量系统试车准备时间,减少了试车操作人员及试车准备工作量,提高了压力测量数据准确性与可靠性。

#### 参考文献:

- [1] Pacific. Pacific 6000 DAS manual book[M]. [S. l.]: Pacific, 2003.
- [2] 宋伟. Visual Basic 6.0 高级编程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [3] 李正兵, 吴锦凤. 液体火箭发动机试验测量系统状态检测程序的设计[J]. 火箭推进, 2007, 33(5): 63-66.

(编辑: 陈红霞)