

水击压力高速采集系统研制

混 平, 赵政社, 刘 军

(西安航天动力实验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 水击压力数据采集系统是为液体火箭发动机地面试验设计的。阐述了系统设计指标、功能、原理、应用软件开发及系统集成后的调试方法。该系统具有数据采集、信号转换、瞬态参数信号调节、高速采集、数据实时显示及数据分析处理功能。实现了多路参数高速、数据实时显示及数据分析处理, 测量精度高, 性能稳定可靠, 操作简便, 能快速响应控制信号, 各项性能指标达到了设计要求。

关键词: 高速采集; 信号调节; 软件设计

中图分类号: V434.3

文献标识码: A

文章编号: (2008) 04-0055-05

Development of high speed acquisition system for water impingement of pressure

Hun Ping, Zhao Zhengshe, Liu Jun

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

Abstract: The water impingement pressure acquisition system was designed for the liquid rocket engine ground testing. The system could perform following functions: the data acquisition, signal conversion, transient parameter signal regulation, high speed acquisition, realtime data display and data analyzing and processing. The paper presents the details of the system specifications, function and principle of the data acquisition, signal conversion, the development of application software and the debugging method of integrated system. The functions implemented, accuracy, stabilities and design of human-machine interface meet the system design requirements.

Key words: high speed acquisition; signal regulate; software design

收稿日期: 2008-03-26; 修回日期: 2008-05-09。

作者简介: 混平 (1977—), 女, 工程师, 研究领域为发动机测量与控制。

1 引言

液体火箭发动机试车中的瞬态参数测量是非常重要的, 发动机设计人员需要了解发动机在启动或关机瞬间阀门动作的压力值及动作的准确时刻, 以此作为发动机工作正常与否的一个判断依据。而瞬态信号测量, 要求测量系统采样速率高, 测量准确、可靠。

以前用 Odyssey 采集系统记录水击压力参数, 应用中存在以下不足: 首先, Odyssey 是通用的高速数据采集系统, 在对水击压力参数进行校验时, 要满足现场使用的要求, 必须对系统进行二次开发, 即将 Odyssey 采集系统记录的信号传输到 PC 机上进行处理计算, 多了一个传输转换环节, 大大影响了校验速度, 而且操作繁琐; 其次, 由于 Odyssey 采集系统使用时间长, 部分电子元件性能下降, 偶有记录信号不保存的现象, 使用可靠性下降。因此需研发一套高速率数据采集系统, 用于水击压力参数的测量、实时显示及数据处理。为了获得高可靠性的数据采集系统, 经过对比国内外数据采集部件性能、指标及价格, 系统采集部件选择 NI 公司的 6220 数据采集卡, 系统的信号调理器和激励源、实时采集程序及数据处理程序等自行研发。主要阐述该系统构成、功能、工作原理、设计指标及调试验证方法。

2 设计能力与指标

- (1) 通道容量: 模拟量 8 路, 开关量 3 路;
- (2) 模拟量激励电源: 0~10V 恒压源、可调(8 路);
- (3) 模拟量低通滤波器带宽: 10kHz;
- (4) 模拟量输入电压: -10~10V;
- (5) 采样速率: 500 点/秒、1000 点/秒、2000 点/秒、5000 点/秒、10000 点/秒、20000 点/秒, 通道可选;
- (6) 开关量: 标准 TTL 电平, 响应时间 $<0.1\text{ms}$ 。

3 硬件设计

水击压力数据采集系统应满足试验参数测量的要求: 采样速率高、系统稳定、可靠等。应主要完成以下几方面的设计:

- (1) 测量通道接口: 能直接与现用的水击压力传感器连接, 并具有自校、自检功能;
- (2) 控制开关量检测功能: 能够检测启动、点火、关机控制信号, 响应时间小于 0.2ms;
- (3) 试车数据高速实时采集、实时存盘, 并以数值和曲线方式实时显示;
- (4) 系统具有数据实时采集、实时显示现场校验功能;
- (5) 获得数据能快速以图形或文本形式处理;
- (6) 通道间选用独立放大器, 系统正确接地以防止信号干扰。

根据水击压力测量选用的传感器类型, 设计相应的信号调理器, 由于购买新的信号调理器和研制新的信号调理器成本高, 周期长, 故对原有的 CRTP 采集系统的信调器进行改进, 对信调器的频带、增益和激励源电压电路及机箱重新进行了改进设计。

信调器更改完后对其进行频率响应、非线性度、稳定性和激励源带载能力等方面的调试, 证明满足水击压力测量信号的要求。

系统的采集部件选用 NI 公司 6220 采集卡, 采集卡的主要性能指标: 模拟量通道有 8 路差分或 16 路单端通道; 数字量有 3 个端口 (低电压 0~0.8V, 高电压 2.2~5.25 V); 采样速率 0~250 Ks/s。采集卡带有 PCI 总线, 直接插在计算机内, 与信调器通过电缆连接。

4 软件设计

本数据采集系统应用软件由校验程序、采集程序、数据处理程序三部分组成, 程序总体见图 1。系统软件全部基于 Windows 操作系统自行开发, 采用全中文操作界面, 简单方便。

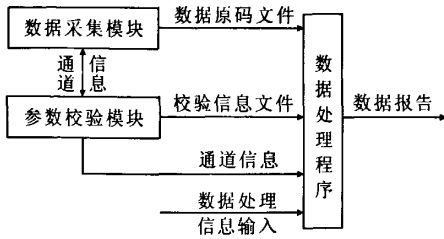


图 1 软件程序总体框图

Fig.1 Program flow chart

4.1 通道配置

根据试验参数通道选用情况生成通道配置文件, 包括参数名称、采样速率和通道号等信息。

4.2 采集程序

采集程序是采集系统的关键程序, 用于试验过程中对试验参数的实时数据采集, 其程序流程受控于控制开关量信号。其功能是:

- (1) 对测量参数进行实时采集、实时存盘、实时显示数据和曲线;
- (2) 采集程序在硬盘容量允许的条件下连续运行, 不死机;
- (3) 由于要对记录的阶段信号进行及时处理与台上比对, 采集程序中增加了阶段信号处理功能, 以方便测试或试车结束后, 及时提供阶段信号;
- (4) 程序增加了物理量显示的功能, 能对记录的参数进行物理量或 mv 数的显示切换;
- (5) 根据特殊信号 (如 tp 信号、流量调节器脉冲数等) 的测量特点, 增加了对此类参数的采集和处理功能, 并能方便快速地提供测量结果。

为了保证数据采集过程的实时性和稳定性, 程序采用了 COM 组件、高性能 Timer 对象等多项技术, 充分发挥硬件高速采样能力, 提高了系统性能。

4.3 校验程序

校验程序用于对测量参数进行现场标定或电校准, 以获得测量参数斜率、截距等计算系数, 除用于对水击压力参数的校验, 还可对其他压力参数进行校验。本程序灵活可靠, 系统的容错能力强。此外, 程序设计采用了模块化程序设计结构, 各模块间相互独立, 提高了程序的可扩展性和可维护性。其主要功能是:

(1) 同时对多通道 (8 通道) 进行校准;

(2) 校准输入的档数、校准次数, 用最小二乘法拟合直线, 校准完毕后计算出斜率、截距、相关系数等校准数据, 并将校准结果自动保存在数据库中, 以备处理时自动调用参数系数;

(3) 可删除错误档校准数据。

4.4 处理程序

数据处理程序可根据试车大纲要求, 对采集到的数据处理成采集毫伏数, 或绘出物理量值曲线图, 或毫伏数值曲线图。

处理结果文件格式与 EXCEL 软件全面兼容, 可直接调入该软件作进一步数据分析。其主要功能是:

- (1) 任意选取处理参数, 多路同时处理, 任意选取时间段快速绘制曲线;
- (2) 自动从数据库中调用系统参数;
- (3) 自动寻找曲线最大值、最小值, 及其他峰值、谷值, 并自动进行标注;
- (4) 自动或手动修改曲线坐标轴范围, 删除标注或移动标注到适当位置;
- (5) 自动保存或打印图形。

5 系统调试

5.1 单机精度试验

5.1.1 试验方法

(1) 线性度。对水击压力采集系统的 8 个模拟量通道, 在量程范围内由标准直流信号源 UJ-33 分多档加电标准信号, 通过输入信号转接装置接入, 由采集系统分档记录数据采集, 对各档采集的毫伏数散布作百分数计算。

(2) 稳定度。用 UJ-33 输入 16mV 标准直流信号 (通道放大倍数 500), 间隔 10 分钟采集一次数据, 每通道采集 10 次, 对采集的毫伏数进行稳定度计算。

5.1.2 试验数据处理

对 8 个通道的试验数据进行处理, 计算方法采用参考文献[1]中的公式, 计算结果说明单机线性度优于 0.01% (S_2 值)。线性度试验数据及处理结果见表 1。

稳定度优于 0.07% (δ 值)。稳定度试验数据及处理结果见表 2。

5.2 整机试验

(1) 整机试验方法。整机试验是指系统带传感器进行的全系统精度试验 (选取通道 Ch1、Ch8), 模拟量以压强为例进行精度试验。通道校验结果如下:

通道 Ch1: $b=1.044285E-03$;
 $a=-1.211574E-03$;
 $S_2=2.779692E-03$;
通道 Ch8: $b=9.482728E-04$;
 $a=-4.574338E-03$;
 $S_2=1.066762E-03$ 。

(2) 定点试验。定点试验选两路 (1、2) 进行, 由于这两个通道是任选的, 所以它们的精度可以代表所有模拟量通道。试验时系统供激励源, 控制台手动发点火信号后, 标准压力计同时为两个通道加压, Odyssey 采集系统和新水

击压力采集系统同时记录, 对采集数据绘制曲线。

(3) 采集阶段时间的对比。数据采集系统与 Odyssey 采集系统进行采集时间阶段信号比较, 结果如表 3 所示。

表 1 8 通道数据
Tab.1 Eight channel data

通道号	斜率 b	截距 a	散布百分数 S_2
Ch1	2.032823E-03	-19.00324	1.687980E-05
Ch2	2.040209E-03	-19.00156	2.170317E-05
Ch3	2.03965E-03	-19.00766	2.350864E-05
Ch4	2.083379E-03	-19.00525	1.553203E-05
Ch5	1.997722E-03	-19.00063	1.88672E-05
Ch6	2.042505E-03	-18.99938	1.135658E-05
Ch7	2.017693E-03	-19.00257	1.347028E-05
Ch8	2.053321E-03	-18.99644	1.316696E-05

表 2 模拟量通道稳定度试验数据
Tab.2 Experiment data of analogue channel stability

遍 数	通 道 号							
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8
第一遍	7881.152	7843.213	7861.886	7678.344	8014.395	7826.453	7938.575	7790.361
第二遍	7881.748	7842.361	7862.262	7677.923	8014.680	7825.871	7937.350	7790.473
第三遍	7881.863	7842.651	7862.382	7678.293	8014.697	7826.163	7937.389	7790.647
第四遍	7881.929	7842.765	7862.526	7678.666	8014.685	7826.286	7937.240	7790.726
第五遍	7882.060	7842.770	7862.674	7678.953	8014.793	7826.402	7937.166	7790.778
第六遍	7891.295	7849.344	7871.647	7687.455	8024.560	7834.386	7946.263	7799.402
第七遍	7892.036	7848.533	7872.445	7686.978	8025.738	7834.496	7945.612	7799.194
第八遍	7892.231	7848.800	7872.567	7687.191	8025.774	7834.760	7945.687	7799.421
第九遍	7892.169	7848.810	7872.547	7687.308	8025.702	7834.846	7945.666	7799.512
第十遍	7892.132	7848.884	7872.561	7687.603	8026.008	7835.177	7945.912	7799.840
平均值	7881.862	7843.113	7862.350	7677.971	8015.103	7826.284	7936.686	7790.773
稳定度	0.000140	0.000287	0.000126	0.000476	0.000235	0.000182	0.000381	0.000324

表 3 系统试验时间阶段信号对比

Tab.3 The time acquisition result comparison between different systems for same time series signal source

试验代号	采集系统	阶段处理时间比/s									
综合测试	Odyssey	5.002	2.999	2.001	0.599	0.401	0.079	0.121	0.398	1.302	7.157
	新系统	5.002	2.998	2.001	0.599	0.401	0.079	0.121	0.398	1.302	7.157
综合测试	Odyssey	5.002	3.000	1.999	0.601	0.400	0.079	0.121	0.400	1.300	297.101
	新系统	5.001	3.000	1.999	0.600	0.400	0.079	0.121	0.399	1.300	297.101
综合测试	Odyssey	5.001	3.001	1.999	0.601	0.400	0.079	0.121	0.399	1.300	2.656
	新系统	5.002	3.000	2.000	0.600	0.401	0.079	0.121	0.399	1.300	2.656
100F-031	Odyssey	5.002	3.000	2.000	0.600	0.401	0.078	0.122	0.399	1.300	297.100
	新系统	5.002	3.000	2.000	0.600	0.401	0.078	0.122	0.399	1.301	297.100

6 结束语

研制开发的水击压力数据采集系统功能完善, 测量精度高, 性能稳定可靠, 操作简便, 能快速响应控制信号, 实现了多路参数高速采集、数据实时显示、数据分析处理等功能。各项性能指标达到了设计要求。

系统中的应用软件与国内外测量系统软件如 NI 公司的自测软件、以前 Odyssey 采集系统应用软件相比, 由于是专门针对液体火箭发动机试验过程设计的, 更加符合发动机试车瞬态参数测量

要求。采用 PCI 传输技术与 NI6220 采集卡接口技术相结合的方式实现了高速采集和校准, 满足了水击压力高速采集系统的自动化测量要求。

参考文献:

[1] 肖明耀. 实验误差估计与数据处理[M]. 北京: 北京科学出版社, 1978.
[2] 张淑涵. 测量误差理论[M]. 北京: 北京中国工业出版社, 1960.
[3] 朱明策. 火箭发动机地面试验软件质量管理和控制[J]. 火箭推进, 2005, 31(2): 55-58.

(编辑: 马 杰)

(上接第 36 页)

[3] Sullivan D J, Micci M M. Performance Testing and Exhaust Plume Characterization of the Microwave Arcjet Thruster[R]. AIAA 1994-3127.
[4] Sullivan D J, Kline J, Philippe C, et al. Current Status of the Microwave Arcjet Thruster[R]. AIAA 1995-3065.
[5] John E. The Microwave Electro-Thermal (MET) Thruster Using Water Vapor Propellant [J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2005, 33(2):776-782.
[6] Chianese S G. Microwave Electrothermal Thruster Chamber Temperature Measurements and Performance Calculations [J]. Journal of Propulsion and Power, 2006, 22(1):31-37.
[7] Clemens D, Micci M, Bilén S. Microwave Electrothermal Thruster Using Simulated Hydrazine[R]. AIAA 2006-5156.
[8] Balaam P, Micci M M. Investigation of Stabilized Resonant Cavity Microwave Plasmas for Propulsion [J]. Journal of Propulsion and Power, 1995, 11(5):1021-1027.
[9] Souliez F J, Chianese S G, Dizac G H, et al. Low-Power Microwave Arcjet Testing: Plasma and Plume Diagnostics and Performance Evaluation, Micropropulsion for Small Spacecraft [M]. Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA, Reston, VA, 2000.
[10] Micci M M. History and Current Status of the Microwave Electrothermal Thruster [C]. 2nd European Conference for Aerospace Sciences (EUCASS). 2007.

(编辑: 马 杰)