

256 通道高速数据采集系统

谢 旭, 谷笏华

(中国科学院力学研究所高温气体动力学国家重点实验室(筹), 北京海淀区 100190)

摘要 本文描述用于 JF8A 激波风洞-炮风洞的 256 通道巡检+并行高速数据采集系统, 给出了系统组成与工作原理, 采用 TCP/IP 网络通信方式, 系统可靠性、扩展能力大为提高; 开发了控制软件, 并对实测结果进行了讨论, 结果表明该系统能够很好地满足大面积测热(测压)需要。

关键词 脉冲风洞, 测热, 测压, 数据采集, TCP/IP 网络通信;

引 言

大面积气动力/热的测量是飞行器地面风洞实验的重要组成部分, 目前比较成熟的测量方法依然是传感器-放大器-高速数据采集系统。

高速数据采集系统分为并行和巡检两种方式, 并行方式每个通道对应 1 个 AD 芯片和 1 组存储器, 各通道在同一时刻获取数据, 相位完全相同, 便于对数据进行深入的频谱、相关等分析, 但这种配置价格昂贵。而巡检方式几个通道对应 1 个 AD 芯片和 1 组存储器, 当要求高的采样速率时, 可减少通道数的使用, 增加采样字长, 以满足诸如脉动量的测量要求; 采样速率降低时, 可选择更多的通道数, 满足平均量测量的要求。LHD 的脉冲风洞高速数据采集多采用巡检+并行方式, 其价格不足并行采集系统的 1/4。

上世纪九十年代, JF8A 激波风洞-炮风洞相继配置了总数 128 通道的巡检+并行高速数据采集系统 SC-500^{[1][2]}, 该系统使用的采集卡最高采样速率 1.25MHz, 分辨率 12bit, 每块卡上的缓冲存储器 256KB, 由卡上各通道共享, 即单卡单通道最大采样字长 128K 字, 8 通道最大采样字长 16K 字。为满足小信号以及强信号的测量, 在采集卡前设置了信号调理卡, 两者通过排线连接, 以满足 $\pm 20\text{mV} \sim \pm 80\text{V}$ 的需要。由于采集卡和信号调理卡都基于 ISA 总线, 工作环境基于 Win32 平台, 且采样数据通过计算机显存映射到采集卡缓存的方式进行交换, 致使采集通道无法再扩展, 且计算机和操

作系统都难以升级换代, 给实验人员造成了很大不便。

随着实验任务要求的不断提高, 模型测点越来越多, 有的甚至达到数百个点, 完成一个项目, 往往要通过几轮实验才能完成, 耗费了大量人力、物力, 延长了风洞占用时间, 测量精度亦受影响。为提高整体测量精度, 应在每一炮获得尽可能多的测点信号, 以减少重复性误差, 为此, 建立 256 通道高速数据采集系统势在必行。

1 系统组成

1.1 系统硬件

新的数据采集系统型号为 UA510, 采用巡检+并行的方式, 最高采样速率、分辨率不变, 仍为 1.25MHz、12bit, 为克服原采集卡的不足, 对新采集卡进行了重新设计。主要体现在如下几方面:

① 新型数据采集卡缓存达 10MB, 为原来的 40 倍, 采样字长可大为增加;

② 信号调理卡与采集卡合二为一, 使系统可靠性大为提高;

③ 每个采集箱集成了 4 块采集卡, 共 32 个通道, 256 个通道仅占用一个立式机柜, 系统集成度提高;

④ 利用通用网络技术和 TCP/IP 协议进行通信, 实现远距离控制和采集;

⑤ 缩短了放大器输出端到采集输入端的信号电缆, 系统抗干扰能力增强;

⑥ 控制软件基于 WinXP 平台, 能够充分利用微机上的大容量物理内存、硬盘以及高性

能 CPU, 实现数据的采集、存储、绘图、读取和分析。

采集系统框图见图 1, 每个采集卡均由信号调理器、模拟开关、AD 转换器、缓冲存储器以及同步触发控制电路等组成。其中, AD 最高采样速率 1.25MHz, 采样分辨率 12 bit, 基本量程 $\pm 5.0V$, 每个 AD 对应 8 个模入通道, 共享 10MB 数据缓冲存储器, 即每通道最大数据长度为 $10MB/2ch$, 其中, ch 为使用的通道数; 信号调理器带有 8 个独立的模入通道, 每通道带有可编程控制电路, 控制增益为 1、2、4、8、16, 在此基础上再执行 $\times 8$ 和 $/32$ 的操作, 即等效增益范围为 $1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128$, 相当输入量程为 $\pm 40mV \sim \pm 160V$; 信号调理器还具有交直流输入耦合控制和通道过载保护功能, 过载保护电压范围为 $\geq 200V$ 。

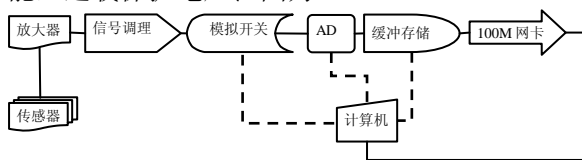


图 1. 采集系统框图

每一个采集扩展箱内置 4 块采集卡、1 块同步触发-时钟控制卡及 1 块网卡, 共同构成 32 通道采集箱, 该采集箱与微机相连可构成独立的采集系统, 箱内各采集卡可同时钟、同时刻采样。整套采集系统由 8 个独立的采集扩展箱组成, 8 个扩展箱通过路由器、网线与微机相连, 再通过同轴电缆及 Q9 接头将各机箱内的同步触发-时钟控制板联于一体, 共同组成一个 256 通道高速数据采集、控制、传输系统, 实现各采集箱同时钟、同时刻采样。

目前的采集扩展箱为 8 个, 如有必要, 还可进一步扩展到 16、32 个, 构成 512~1024 通道的高速数据采集系统。

1.2 系统软件

UA510 数据采集系统的控制软件包括采集系统参数设定、运行控制、曲线绘制、数据读取、数据存盘及打印输出功能。由于厂家仅提供了控制采集箱的 VB 样例程序, 上述功能将通过我们自行编制的软件来实现。

原 SC-500 高速数据采集系统控制软件是本实验室于上世纪九十年代自行开发的, 在 Win 32 下调试成功。该软件针对大面积测热(测压)实验特点, 增加了一些特殊功能, 对大批量实验数据的判读、处理十分方便。随着微机性能不断提高, 微软公司亦不断推出新的 Windows 操作系统, 功能大为提高。受制于原采集系统硬件的限制, SC-500 控制软件难以在新的操作系统平台上实现升级换代。

考虑到 SC-500 数据采集控制软件已使用了十余年, 界面相对友好, 基本满足了大面积测量的需要。UA510 数据采集系统控制软件利用原 SC-500 控制软件界面和代码, 在 Win XP 系统上进行了新的开发和升级, 顺利实现了数据采集、存储、分析和处理功能。数据采集控制软件由两部分组成:

其一为采集系统参数设定、数据存盘部分, 相当瞬态记录仪功能。针对该部分进行升级的地方主要有命令和数据传输方式以及数据存储方式。新型 UA510 数据采集系统改变了以往的 ISA 总线传输控制方式, 采用 TCP/IP 网络通信方式进行命令发送和数据传输。在这种方式下, 每个扩展箱具有独立的物理地址和 IP 地址, 通过同一端口与控制微机进行连接和通信, 组成一个小型局域网, 从而实现大容量和高速数据的传输。同时, 在数据存储方式上, UA510 采集系统适应新硬件的数据组织方式, 将每箱 32 通道的数据以一个文件的形式存储于微机硬盘, 其优点在于方便文件管理和对数据的后期处理。

其二为实验数据判读、处理部分, 相当信号分析仪功能。新型 UA510 采集系统为适应新的数据存储方式, 在不改变原理的基础上^[3], 重新开发了绘图功能和数据判读功能, 顺利实现了多通道数据信号的读取、绘图和处理。结合新开发的测热(测压)传感器标定系统, 实现了传感器灵敏度、物性参数与采集控制软件的无缝连接, 软件界面和操作控制更加友好, 使用更加方便。

应该说明的是, 由于采集卡缓存很大, 为保证数据及曲线完整, 在向采集箱发送命令时, 采样字长增加了 1 倍。

2 TCP/IP 网络通讯

2.1 网络组成

8个采集扩展箱和控制微机通过路由器和网线电缆连接构成一个局域网。每个扩展箱为一个独立的客户端，配备一块网卡和RS-232串行端口，网卡拥有独立的物理地址和IP地址，并且已嵌入相应的接口程序。通过WinXP系统自带的超级终端和RS-232串行端口可与扩展箱进行连接并修改相应的物理地址、IP地址以及通信端口。微机则为服务器端，配备了网口并安装了网络驱动程序。局域网通过路由器实现8个客户端与服务器端之间的连接和通信，路由器成为整个网络的数据交换中心。

2.2 通讯原理

服务器端的采集控制程序用VisualBasic 6.0开发，其要点是对每个客户端分别建立一个TCPSever控件^[4]，以对应8个不同的连接，主要步骤如下：

第1步，服务器端对3333端口进行监听，客户端则在初始化完成后自动请求与服务器通过3333端口进行连接；

第2步，服务器端在监听到连接请求后，对请求客户端的IP地址进行认定，并通过对应的TCPSever控件进行连接；

第3步，连接建立后，服务器端即可通过TCPSever.SendData命令发送控制字节到客户端，设定采样速率、字长、量程、触发电平，以及是否开始等待触发等参数；

第4步，客户端在触发采集完成后，自动将采集到的数据回传给服务器端，服务器端通过TCPSever.GetData命令对数据进行接收和保存。

2.3 网络优点

由于整套采集系统构成的局域网通过网线作为信号传输媒介，并通过路由器实现微机对8个扩展箱的控制，因而与ISA总线通信方式相比，在布线方式上更具优势，更加符合脉冲风洞的需要。在脉冲风洞实验室布局中，数据采集是一个独立的功能模块，为确保运行安全，控制微机一般位于数据采集机房，远离试

验段。采用ISA总线通信方式时，由于总线电缆长度很短，数据采集箱也必须置于采集机房，在试验段和采集机房之间，每个通道都将对应1根数十米长的同轴电缆将放大器输出端与采集输入端相连。其缺点是不仅布线繁琐，且受分布电容和电缆长度的影响，模拟信号损失增大，信噪比减小，曲线容易产生畸变，而且系统可靠性降低。而采用TCP/IP网络通信方式，由于信号在网线中以数字形式进行传输，控制微机到路由器之间的网线可以很长，达30~50m，因而可将数据采集箱置于风洞试验段旁，与放大器紧邻，其优点是布线非常简洁，大大减小模拟信号的损失，提高了测试精度与可靠性。

3 系统工作流程

系统工作流程是，打开微机及采集箱电源，运行采集控制软件，系统通过网线和路由器自动建立连接；逐箱手动设置采样速率、采样字长，以及通道量程、触发电平、触发延迟等参数，并将设置命令发送到采集箱；点击开始采集命令后，等待采集箱触发，触发后的采集数据自动回传给控制微机，微机自动保存数据并绘制各通道全程数据曲线；在曲线上通过手动设定第1、第2光标，确定准定常时间即试验时间范围，程序自动计算出各通道光标间采样点的电压平均值，继而乘以灵敏度等参数，得到该通道对应的测点数据，并进一步保存和打印结果。

4 实验验证与讨论

4.1 实验内容

上述软件初步编制完成后，对UA510数据采集系统分步进行了系列考核，以考察数据准确性和系统稳定性。

随后，将该采集系统用于标模测热(测压)风洞实验，在脉冲风洞上实现了标模全机测点一次测热或测压的目的，测点最多时，达到252个。

试验在激波风洞和炮风洞状态下进行，以被驱动段反射压力 P_5 的压电传感器信号为触发信号，决定系统开始采样记录的时刻。

4.2 实验结果

取一次典型实验结果, 相关参数如下, 来流马赫数 $M_\infty=8$, 单位雷诺数 $R_e=3 \times 10^7/m$, 模型攻角 $\alpha=0^\circ$, P_5 触发通道和典型薄膜电阻温度计热流信号的数据曲线见图 2。其中通道输入量程为 $\pm 2.5V$, 采样字长 8K, 采样速率 $12.8 \mu s/\text{字}$, 全程采样时间为 104ms, 图中两个光标的时间间隔为 7.6ms。

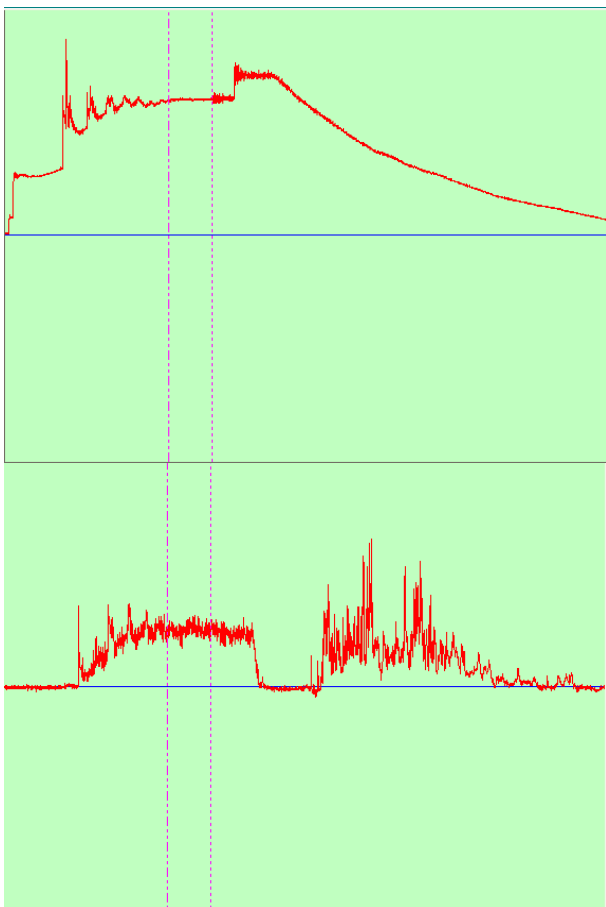


图 2. 典型实验结果

4.1 实验讨论

(1) 该采集系统由 8 个采集扩展箱组成, 每箱包含 4 块采集板, 每块采集卡的首通道均可作为触发通道, 因而可以确保 2 个 P_5 压力传感器实现双触发控制, 提高了系统的可靠性。

(2) 从图中可以看出, P_5 压力传感器感受的准定常气流运动到模型测热传感器所需的时间约为 2ms, 触发通道信号曲线的准定常段正好对应热流信号曲线的准定常段, 因而可以初步判断该数据采集的正确性。

(3) 用 UA510 采集系统进行了大量的数据采集工作, 完成了标模测热(测压)实验, 经过不断完善, 目前在误触发等情况下均能完整无误的采集到数据, 证明了该系统的稳定性和可靠性较高。

5 结 论

综上可得出如下结论:

(1) UA510 数据采集系统造价低廉, 全套 256 通道仅 20 余万元; 采样速率、采样字长、输入量程等参数设置合理, 与测热(测压)放大器有机结合, 能够很好地承担脉冲风洞大面积测热(测压)实验任务;

(2) UA510 数据采集系统通过巡检+并行的方式实现了 256 通道同时采集, 测点密度提高一倍, 减小了实验重复性误差, 使测得的热流(压力)信号更加准确、可靠;

(3) UA510 数据采集系统采用 TCP/IP 网络通信方式, 使实验布线变得合理简便, 能够进行远距离控制和数据采集, 同时也减少信号在数据线中的衰减、畸变, 提高了测试精度;

(4) UA510 采集系统通过路由器组建局域网实现微机与 8 个采集扩展箱的通信, 每箱 32 通道, 不仅可单独使用任意一箱, 而且可非常方便地增加采集箱, 扩展到 512 甚至更多通道;

(5) 目前, UA510 的采集控制软件虽然基于 WinXP 平台开发, 但向后兼容, 完全适用于 Vista 和 Win7 及今后的操作系统;

(6) 进一步的改进是将测热(测压)放大器与数据采集合为一体, 并将测热(测压)放大器的前置放大部分置于风洞内, 以最大程度减小传感器输出的弱信号受到的干扰。可喜的是, 国内公司已经对产品进行了改进并获得成功, JF12 激波风洞就选择了这种数据采集方案。

参考文献

- 谷笛华 李仲发 俞鸿儒. 为爆裂驱动激波管配置的巡检数据采集系统. 气动实验与测量控制, 1994
- 谷笛华 李仲发 翟曼玲. 脉冲型实验设备的巡检数据采集系统. 脉冲风洞改造文集, 1995
- 赵庆国. 热能与动力工程测试技术, 2006, 化学工业出版社
- Microsoft 公司. Microsoft Visual Basic 6.0 Controls Reference 控件参考手册, 1999, 北京希望电子出版社

256-CHANNEL HIGH-SPEED DATA ACQUISITION SYSTEM

XIE Xu GU Jiahua

(State Key Laboratory of High Temperature Gas Dynamics, Institute of Mechanics, C A S, No.15 Beisihuanxi Rd, Beijing 100190, China)

Abstract This article describes a 256-channel inspection -parallel data acquisition system used in JF8A shock tunnel and shows the composition and working principle of this system.Using TCP/IP network communication, the system reliability and scalability have been greatly improved.Controlling software was also developed and the measured results were discussed at last.The results show that this system can satisfy the requirement of heat flux or pressure testing of large area.

Key words shock tunnel, heat flux testing, pressure testing, data acquisition, TCP/IP network communication