

基于虚拟仪器下的温度测量

于 玲, 胡纯栋, 刘 胜

(中科院等离子体物理研究所, 安徽合肥 230031)

摘要: 在中性束注入装置中, 基于 LabVIEW 和 PXI 搭建了水流热量计系统。该系统实现串口通信与网络接口的转化, 有限点多通道并行采集, 实时显示及数据保存功能。经测试, 系统工作稳定, 采集准确, 使用灵活, 充分满足实验的需要。

关键词: 中性束注入; 虚拟仪器; PXI 数据采集

中图分类号: TP 274 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-0934(2010)08-1050-05

中性束注入器 (Neutral Beam Injector 简称 NBI) 是能产生高能带电离子束并对其进行中性化形成高能中性粒子束用以加热托卡马克等离子体的装置。束流注入传输过程中会给装置各部件带来不同程度的热负荷, 通过各部件上布置冷却水管道, 及时有效地把热量带走, 一方面为计算热沉分布提供科学依据, 另一方面避免各部件因温差过高而造成损坏。在实验期间需要对各冷却水管道的流量、温差进行数据采集, 并存档。利用 PXI 总线技术实现测控系统是在仪器平台上实现精确的仪器仪表功能, 完成常规仪表系统 (如 DCS、PLC 等) 不易达到的功能。基于 PXI 总线系统和利用虚拟仪器开发平台软件 LabVIEW 编写水流热量计系统界面, 该软件结合了图形化编程方式的高性能与灵活性, 以及专为测试测量与自动化控制应用设计的高端性能与配置功能, 在本系统应用中实现了数据采集、仪器控制、测量分析与数据显示等各种功能。

1 系统的结构与组成

1.1 虚拟仪器简介^[1]

PXI 是以 PCI (Peripheral Component Interconnect) 及 CompactPCI 为基础再加上一些 PXI 特有的信号组合而成的一个架构。PXI 继承了 PCI 的电气信号, 使得 PXI 拥有如 PCI bus 的极高传输数据的能力, 因此能够有高达 132~528 MByte/s 的传输性能, 在软件上是完全兼容的。另一方面, PXI 采用和 CompactPCI 一样的机械外型结构, 因此也能同样享有高密度、坚固外壳及高性能连接器的特性。

LabVIEW 是一种程序开发环境, 由美国国家仪器 (NI) 公司研制开发的, 类似于 C 和 BASIC 开发环境, 但是 LabVIEW 与其他计算机语言的显著区别是: 其他计算机语言都是采用基于文本的语言产生代码, 而 LabVIEW 使用的是图形化编辑语言 G 编写程序, 产生的程序是框图的形式。

1.2 系统组成

由于束流自离子源引出时存在一定的发散角, 同时束流传输中存在空间电荷效应, 这两个作用使得束流在传输过程中不断发散, 发散的束流打到装置上, 给装置部分部件带来不同程度的热负荷。热负荷的测量可以估算出束流在

收稿日期: 2010-03-02

基金项目: 国家自然科学基金项目 (10875146)。

作者简介: 于玲 (1981-), 女, 河南南阳人, 硕士学位, 主要从事大功率中性束注入器温度测量系统及其控制方面的研究。

传输过程中在装置各部分的功率沉积情况^[2]。热负荷通常利用水流热量计测量 (Water flow Calrimetry)。

水流热量计测量的原理是通过测量并计算出中性束注入的冷却系统在每次放电引出束后所带出的热量来计算系统的热负荷,进而计算出功率的大小,即:

$$P_{water} = \frac{m c_p}{\Delta T} \int_0^{\infty} \Delta T d\tau \quad (1)$$

P_{water} 为水路法计算得出的束线总功率, c_p 为水的比热, m 为冷却水质量流量, ΔT 为进出水温差, $\Delta\tau$ 为束线脉宽。

水流热量计系统对离子源弧室、等离子电

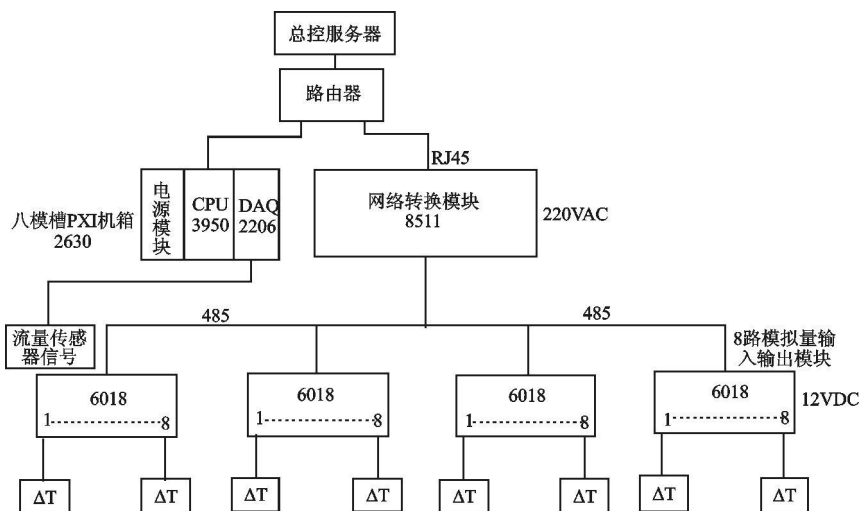


图 1 水流热量计系统硬件架构图

水流热量计系统待测温差部件其中离子源部分为 9 路,束线部分为 11 路,共 20 路。温差传感器 ΔT 安置在待测温差部件的冷却水进出口,束流注入时,8 路模拟量输入输出模块 ND-6018 通过温差传感器迅速采集流经各部件冷却水的温差值,并将该值通过 485 总线传送给网络转换器 ND-8511(D),ND-8511(D) 经过内部处理,把该数据以 RJ45 口接入网络中,然后经光纤收发器进行隔离,再经网线传入控制区计算机,为实验数据远距离无干扰传输提供了保障。

涡轮流量计安装在各冷却水的进口,32 路差分模拟输入模块 DAQ-2206 实时采集管道内的流量,利用 NI 软件 LabVIEW 显示并保存各冷却水路的流量值。

极、梯度电极、抑制电极、地电极等冷却水路进行温差采集、流量采集、实时显示、数据保存、计算分析,为中性束注入系统的热沉分析提供可靠依据。

水流热量计系统对物理实验信号的数据采集监视系统采用 adlink 的 PXI 系统设备,包括 PXI-2630 机箱、PXI-3950 DAQ-2206 数据采集卡、网络转换器 ND-8511(D)、数据采集模块 ND-6018 DELTA 公司的温差传感器 ΔT 、涡轮流量计构建系统硬件结构。水流热量计系统硬件架构如图 1 所示。

2 测控技术^[3]

基于 PXI 总线利用虚拟仪器开发平台软件 LabVIEW 编写水流热量计系统界面,该软件结合了图形化编程方式的高性能与灵活性,以及专为测试测量与自动化控制应用设计的高端性能与配置功能,在本系统应用中实现了数据采集、仪器控制、测量分析与数据显示等各种功能^[4]。

2.1 串口通信与网络接口转化

水流热量计系统中采用的温差传感器灵敏度为 $0.059 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$,精确度为 $\pm 0.185 / ^\circ\text{C}$,管径尺寸 $\geq 3/4$ " 时响应时间为 $\leq 0.05 \text{ s}$,管径尺寸 $\leq 3/4$ " 时响应时间为 $\leq 0.25 \text{ s}$ 考虑以上因素,故选用 adlink 公司的 8 通道 ND-6018 模拟量采集模块。ND-6018 模块采样率为 $10 \text{ Hz} / \text{通道}$,6 路差分,2 路单端,为了提高实验

数据的准确性及抗干扰能力,故只选用 ND-6018模块的前6路差分模拟输入通道。由于 ND-6018模块的数据传输为串口485通信,随着系统的扩建,对 ND-6018模块需求量会越来越多,大容量高速数据传输与串口通信之间不可避免将有尖锐冲突,因此引用 adlink公司的网络转换器 ND-8511(D)。

adlink ND-8511(D)为将 RS-232/422/485端口转换为网络端口的转换器,它是一个紧凑的通讯模块,允许用户在网络 TCP/IP 协议上控制串行设备。用户可以通过 TCP/IP 协议利用以太网将本地的串行端口连接到主机。在 10/100 Mbps 的网络上,串行设备连接是异

步的,一个接一个的,ND-8511(D)支持异步通信协议,它的优点在于可利用 TCP/IP 协议,通过 ND-8511(D),用户可以控制现实中任何场所的异步串行设备。

实验中,采集模块 ND-6018 通过插接件(串口线)与 8511 相连,网络转换器 ND-8511(D)经过路由器与 PXI 及总控服务器相连。图 2 为 ND-8511(D)与 PXI 通讯状态界面,可确定网络转换器 ND-8511(D)是否与 PXI 相连,确定 ND-8511(D)是否与采集模块 ND-6018 相连,确定 ND-8511(D)和 ND-6018 的连接数目及 ND-6018 工作通道。

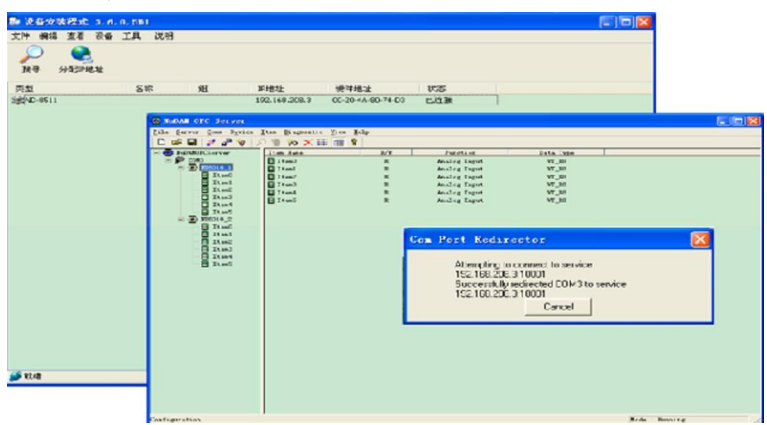


图 2 ND-8511(D)与 PXI 通讯状态界面

2.2 多方软硬件兼容

水流热量计系统是采用 adlink 公司不同采集模块,在 NI 公司的 LabVIEW 软件开发平台上搭建完成的。因此需借助第三方软件确保不同厂家的软硬件稳定兼容。

利用 adlink 公司的 Lantronic Device Installer 软件查找 ND-8511(D)的连接状态,利用 Redirector OPC Server 及 NDS-OCX 软件对不同端口和 IP 下的 ND-8511(D)所配带的输入模块 ND-6018 进行采集信号类型、采用通道等配置。将所有配置文件保存,并以 ActiveX 形式导入 LabVIEW 工具控制选项板中,即可在 LabVIEW 内操纵 adlink 模块 ND-6018 采集模拟信号。

对于 adlink 公司的 PXI 系列模块,引入软件 DAQMaster 对所有 adlink 模块进行管理、命名、分配相应设备号。图 3 为硬件管理软件 DAQMaster 界面。利用 DAQPilot 及 DAQ-LVIEW PnP 内部函数在 LabVIEW 软件内对

adlink 各模块进行编程控制。



图 3 硬件管理软件 DAQMaster 界面

2.3 采集模式

水流热量计系统可选用的采集方式共有三种:单点采集、有限点采集和连续采集。连续采集模式,控制采集时间较为灵活,但对于 adlink 的 DAQ-2206 模块,在连续采集方式下,每通道的采样率仅为原采样率的 1/10,无法满足实

验要求,故在本系统中采用有限点多通道采集模式。图4为DAQ-2206有限点多通道采集

程序图。在有限点采集模式下,通过设置每通道的采样点数和采样率,来控制采集时间。

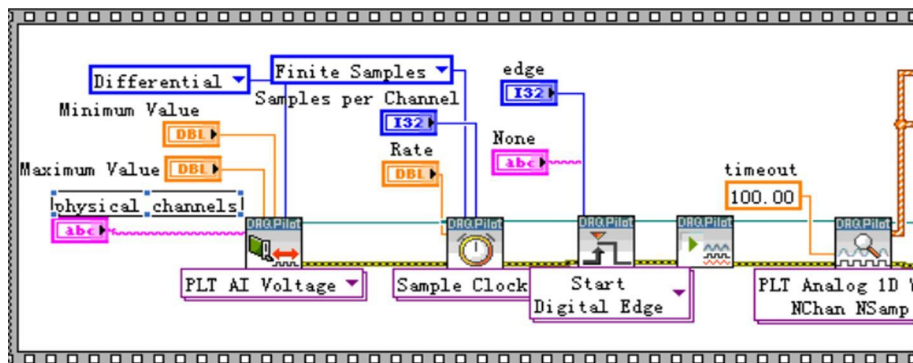


图4 DAQ-2206有限点多通道采集程序图

2.4 触发方式

ad link的DAQ-2206模块提供了外部触发和内部触发两种方式,外部触发又分为外部模拟触发和外部数字触发。因为总控制系统以脉冲启动放电,可采用外部数字脉冲触发,但采用外部数字触发,如果有干扰信号,容易造成假触发。因此采用外部模拟触发,可设置电平的上下限。外部模拟触发设置利用软件DAQMaster中的Task Manager来完成。图5为DAQ-2206外部模拟触发设置程序。

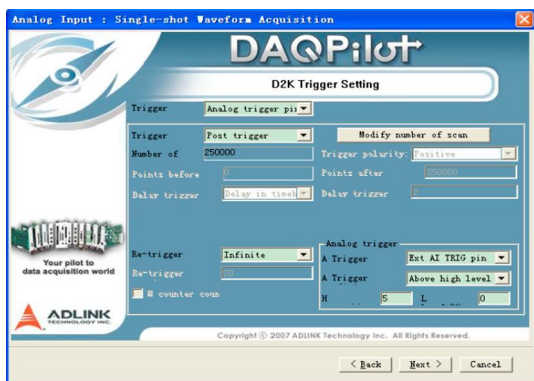


图5 DAQ-2206外部模拟触发设置程序

2.5 采集程序^[5]

水流热量计系统程序在可视化软件LabVIEW的基础上,借助ad link公司的数据采集软件DAQPilot、DAQBench及DAQ-LVIEW Pn等编写完成,具体程序流程如图6所示。

2.6 实验

冷却水温差的测量主要是测量被冷却部件的出水和进水的温度差,具体可以在水路的进水和出水端口安置热偶或热敏电阻,然后测量进出口的热电偶或热敏电阻的信号差值,就得到冷却水的温差。与热敏电阻相比,热电偶的

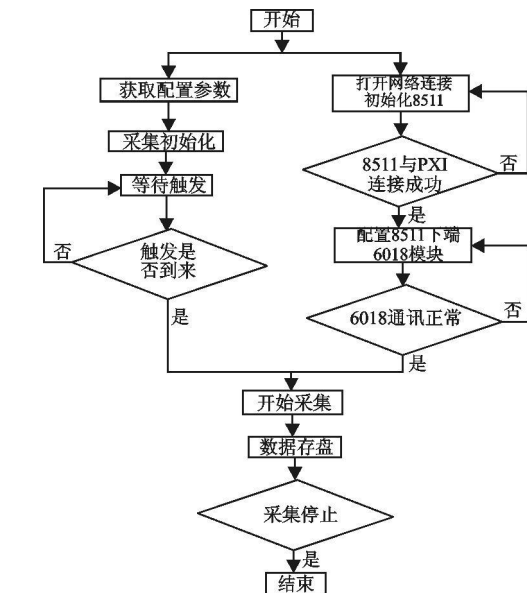


图6 水流热量计系统程序流程图

测量范围大,但灵敏度低,直接用来测量温差,一方面受灵敏度限制,要求测量的温差 $\geq 0.1^{\circ}\text{C}$,另一方面受温度补偿线以及连接头的影响,两路信号的本底差异大,很难精确测量少量的温差。热敏电阻非线性的限制,利用热敏电阻测量范围小,在测量路数很少的情况下,是一种可行的测量方案。但对于NBI束线,需要测量冷却水温差的水路较多,测量电路的标定比较麻烦。

本系统采用DELTA公司的温差传感器,该温差传感器可以在强磁场环境下测量流体的温差,该传感器基于20个结点T型温差电堆(thermopile),每一个结点都被封闭在各自的热电偶管套中,每个结点是电隔离屏蔽的,因此都有很好的抗电磁干扰能力。

将温差传感器的一个管道内连续接入

56℃的热水, 另一个管道内持续注入 5℃的冷水, 得到电压随时间变化曲线图, 如图 7所示。

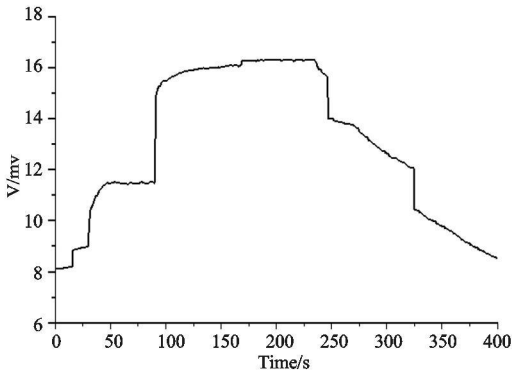


图 7 温差传感器电压随时间变化曲线图

利用 DAQ-2206 采集到的冷却水流量 q 和采集时间 t , 结合公式 $m = \rho \cdot t \cdot q$ (m 为质量, ρ 为水的比热, t 为时间, q 为流量) 可得到冷却水的质量 m 。已知质量 m 和温差 Δt , 代入公式 (1), 可得到束线总功率 P_{wake} 。

3 结束语

该系统为通过冷却水温升、流量计算束线总功率提供了有效解决办法。利用 ND-6018 模块配合温差传感器测得冷却水温升值, 利用 DAQ-2206 板卡配合涡轮流量计测得冷却水

的流量, 根据流量计算出冷却水的质量, 从而得到束线总功率。

基于 PXI 总线和虚拟仪器 LabVIEW 搭建的水流热量计系统, 解决了第三方硬件与 NI 公司 LabVIEW 软件的兼容问题, 实现了多通道、大容量数据实时采集, 串口数据到网络接口的转化等必须面临的技术问题, 具有很强的实用性。软件采用 LabVIEW 图形化编程语言使程序具有高性能与灵活性, 为以后软硬件的升级、优化、更新提供了极大的方便。

参考文献:

- [1] 张毅, 周绍磊. 虚拟仪器技术分析与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004
- [2] 刘胜, 胡纯栋, 陈开云, 等. 基于静电探针诊断下离子源调制放电 [J]. 核电子学与探测技术, 2006, 26 (4): 478-480
- [3] 赵丽, 陈燎原, 罗萃文, 等. HL—2A 装置中基于 PXI 的高速并行数据采集系统 [J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(10): 1146-1148
- [4] 宋士花, 刘智民, 刘胜, 等. 大功率 NBI 系统的 PLC 时序控制应用 [J]. 核电子学与探测技术, 2006, 26 (1): 122-125
- [5] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW 8.20 程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008

Temperature Measurement Based on the Virtual Equipment

YU Ling HU Chun-dong LU Sheng

(Institute of plasma physics Chinese Academy of Sciences Hefei 230031)

Abstract The water flow Calorimetry was founded based on LabVIEW and PXI in the Neutral Beam Injection system. The system can insure the conversion between the Serial Communication and network interface, and finite samples multi-channel parallel collection and real-time display and data conservation function. It was testified that the system can meet the requirements of experiment which is works stable, data acquisition and convenient to use.

Key words Neutral Beam Injection, virtual equipment, PXI data acquisition