

上海电子束离子阱装置真空控制系统

安双利^{1,2} 蒋迪奎¹ 郭盘林¹

1 (中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

2 (中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 本文介绍了基于 RS485 总线结构和 LabVIEW 图形化软件环境的上海电子束离子阱 (EBIT) 装置真空控制系统, 详细分析了真空设备远程操作和数据采集以及真空联锁的实现方法。测试结果表明该系统达到了设计指标, 满足了实验使用要求, 目前已成功地应用在上海 EBIT 装置中。

关键词 电子束离子阱 (EBIT), 真空控制, RS485 总线, LabVIEW

中图分类号 TP274, TN107

科学研究和国防工业日益增长的对高电荷态离子的原子物理数据的需求促使科学家们探求能够获得这类数据的装置和方法。1986 年美国的劳伦兹国家实验室研制的电子束离子阱 (EBIT) 装置为研究高电荷态离子提供了一个小型的科学实验装置^[1]。目前已有许多国家的实验室建造了 EBIT 装置, 进行了多种有意义的科学研究。2002 年开始建造的上海 EBIT 装置各项技术指标都相当于国际实际达到的最高水平, 现已在复旦大学现代物理研究所成功开始试运行。

基于 RS485 总线结构和 LabVIEW 图形化软件环境建立的上海 EBIT 装置真空控制系统, 承担了真空设备的本地和远程操作、数据采集和处理以及真空联锁保护三个主要功能^[2,3], 是上海 EBIT 装置的一个重要组成部分。

1 真空系统及真空控制要求

上海 EBIT 装置要求在超高真空环境下运行, 其中注入引出段的真空度为 $1 \times 10^{-7} \text{Pa}$, 微量气体注入段真空度为 $1 \times 10^{-6} \text{Pa}$, 而 EBIT 主体中心阱区要求真空度高达 $1 \times 10^{-10} \text{Pa}$, 从而实现获得高电荷态离子并延长其捕获时间的目的。真空系统的主要设备种类和数量如表 1 所示。

为了实现真空系统的安全稳定运行, 对真空控制系统提出如下要求: 实现对真空获得和测量设备的本地和远程操作, 包括开关溅射离子泵和涡轮分子泵、激活热阴极电离规的灯丝和除气等以及开关气动阀门; 实现对 EBIT 运行过程中的真空数据的采集和分析处理; 实现真空安全联锁, 一旦真空低于正常工作范围, 停电子枪触发并关闭气动阀门。

表 1 上海 EBIT 装置主要真空设备统计
Table 1 Major components of the Shanghai EBIT vacuum system

设备名称 Denominations of components	设备数量 Amount of components
热阴极电离规 Bayard-Alpert Gauges (BAGs)	6
溅射离子泵 Sputter Ion Pumps (SIPs)	4
涡轮分子泵 Turbo Molecular Pumps (TMPs)	5
阀门 Gate Valves (GVs)	13

2 系统结构设计

2.1 RS485 总线结构

本系统采用 RS485 串行总线结构。RS485 总线是一种用于设备联网的经济型的传统工业总线方式, 具有高噪声抑制、宽共模范围和长传输距离等

优点, 理论上, 这种总线结构可以实现 1200m 的有效距离传输, 最多可连接 128 台 RS485 串口设备, 是一种常用的分布式控制结构^[4]。控制系统结构如图 1 所示, 由一台工控机 (IPC) 对各真空设备进行控制, 并连接到以太网, 实现真空控制系统与 EBIT 总控制系统的数据交换。

第一作者: 安双利, 男, 1979 年生, 2002 年于合肥工业大学获学士学位, 现为中国科学院上海应用物理研究所在读博士研究生

收稿日期: 2006-08-28, 修回日期: 2006-12-20

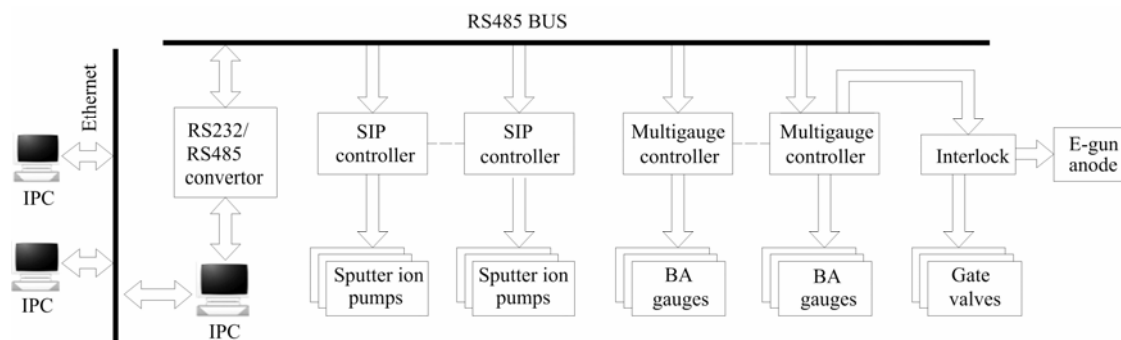


图 1 上海 EBIT 装置真空控制系统结构

Fig.1 Hardware architecture for the Shanghai EBIT vacuum control system

2.2 设备操作功能的实现

真空系统的超高真空测量主要由 6 只热阴极电离规 (BAGs) 和 2 台真空计 (Multi-Gauge controller) 来完成。真空计放置于 EBIT 装置附近, 采用真空计和 BAG 相对近距离放置方案, 两者之间用 5m 长的电缆连接。真空计通过 RS485 通讯接口连接到 RS485 总线上, 再经过一个 RS485/232 转换器与 IPC 连接, 由 IPC 对真空计发送指令, 实现远程设备操作功能。

真空获得设备主要有 4 台 SIP 和 5 台 TMP。SIP 带有独立的控制软件, 并提供 RS485 通讯接口, 分别连接到 RS485 总线上, 通过控制软件实现对 SIP 的远程设备操作功能。TMP 也带有独立控制软件, 但是只提供 RS232 通讯接口, 因此本系统通过 IPC 远程控制单台 TMP。

对于位于 EBIT 主体上的气动阀门, 根据实验情况需要分别设置于开启或关闭的状态。通常情况下均由手动完成对阀门的开关操作。由于阀门参与真空连锁, 当真空破坏时, 连锁系统会发出触点信号切断处于开启状态的阀门的供电, 使其自动关闭。

2.3 真空连锁实现方法

真空连锁是真空控制系统的一个重要功能。一旦 EBIT 装置中真空遭到破坏, 控制系统必须对某些设备和系统进行安全保护。通过真空计设定真空连锁阈值, 当真空度超过设定阈值时, 真空计 Setpoint 组件以触点形式输出报警信号, 实现真空连锁保护功能。

Setpoint 组件安装在真空计的主板上, 输出端引脚定义如表 2 所示。每块 Setpoint 板卡可输出 8 对继电器报警触点信号, 缺省状态下为常闭触点。本系统中, 取 1、2、3 号三只继电器的三对触点, 分别对应于 EBIT 的电子枪段、低温超导段和收集器段真空度, 将这三对触点串联起来, 引出一对触

点, 输出到阀门供电电路; 相似地取 4、5、6 号三只继电器的三对触点, 也同样对应于电子枪段、低温超导段和收集器段真空度, 串联后输出到电子枪的阳极。当实际真空度低于设定阈值时, 继电器触点自动断开, 从而停掉电子枪触发并切断束流, 同时所有 GV 自动关闭。

表 2 Setpoint 输出终端连接特性
Table 2 Terminal connections of Setpoints

Setpoint number	Pin number		
	C	NC	NO
1	1	2	14
2	3	15	16
3	4	17	5
4	6	18	19
5	7	9	20
6	8	21	22

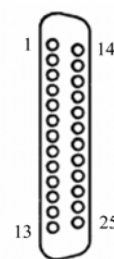


图 2 Setpoint 连接端子
Fig.2 Setpoint connector

3 系统软件设计

软件系统采用 LabVIEW 7.0 图形化开发环境。LabVIEW 是实验室虚拟仪器集成环境 (Laboratory virtual instrument engineering workbench) 的简称, 它不但是美国国家仪器公司 (National Instruments, 简称 NI) 的创新软件产品, 还是目前应用最广、发展最快、功能最强的图形化软件集成开发环境。LabVIEW 是一种图形化编程语言, 又称 G 语言。LabVIEW 不仅具有图形化开发的易用性, 而且具备

作为一种功能强大的程序语言所具有的灵活性^[5]。

3.1 软件系统工作流程

从运行程序开始，系统会提示设定保存数据文件路径，然后依次初始化真空计的 RS485 串口，写入读真空度的指令，然后再回读字符值，并生成历史趋势曲线，最后保存为数据文件。软件系统工作流程图如图 3 所示。

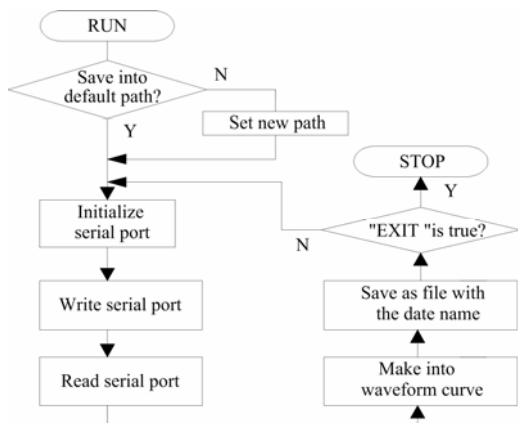


图 3 主程序模块流程图

Fig.3 Flow chart of the main program module

3.2 通信功能的实现

通常 IPC 带有的是 RS232 标准串口。RS232 引脚定义如图 4 所示，真空计的 RS485 引脚定义说明如图 5 所示。将真空计的 RS485 串口和 RS485/232 转换器对应连接，“Xcv+”对应“485+”，“Xcv-”对应“485-”，“Ground”对应“GND”^[6]。转换器的 DB9 型一端直接插到 IPC 的标准 DB9 串口

上。

软件系统采用子 Vi 程序模块实现通信功能。根据 RS485 的通信协议对串口进行初始化设置，通过控件写入指令，并分配字符串长度。

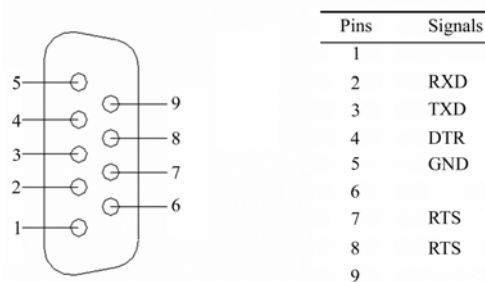


图 4 RS232 引脚定义说明
Fig.4 Definition of RS232

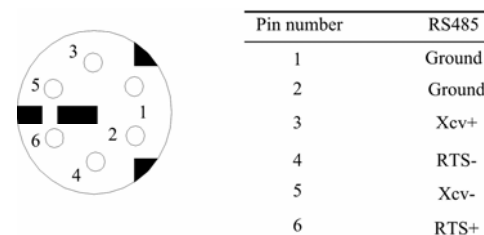


图 5 真空计 RS485 引脚说明
Fig.5 Definition of RS485

3.3 数据采集和实时显示

由于 EBIT 必须工作在超高真空环境下，对于电子枪段、低温超导段和收集器段而言，真空度直接关系到电子束密度和束流强度的大小，影响着 EBIT 的工作性能。因此，采集和实时显示各个测量点的真空度有着重要意义。数据采集和显示界面如图 6 所示，程序后面板如图 7 所示。

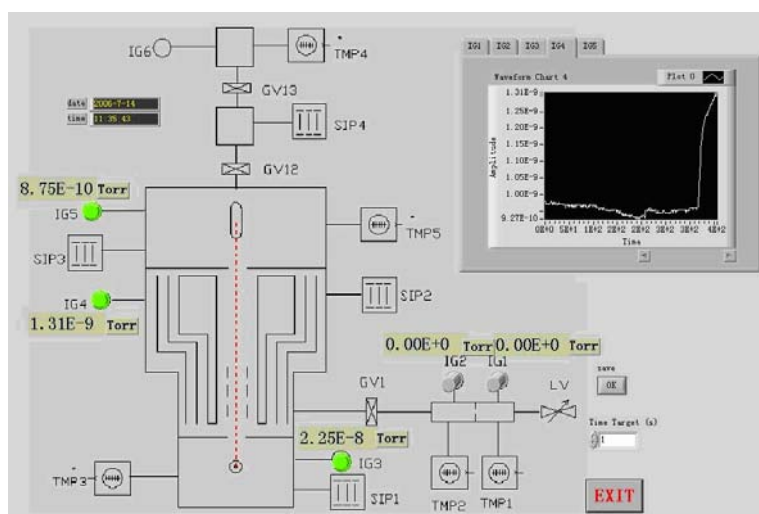


图 6 上海 EBIT 装置真空控制系统数据采集和实时显示界面

Fig.6 DAQ and display interface of the vacuum control system for the Shanghai EBIT Facility

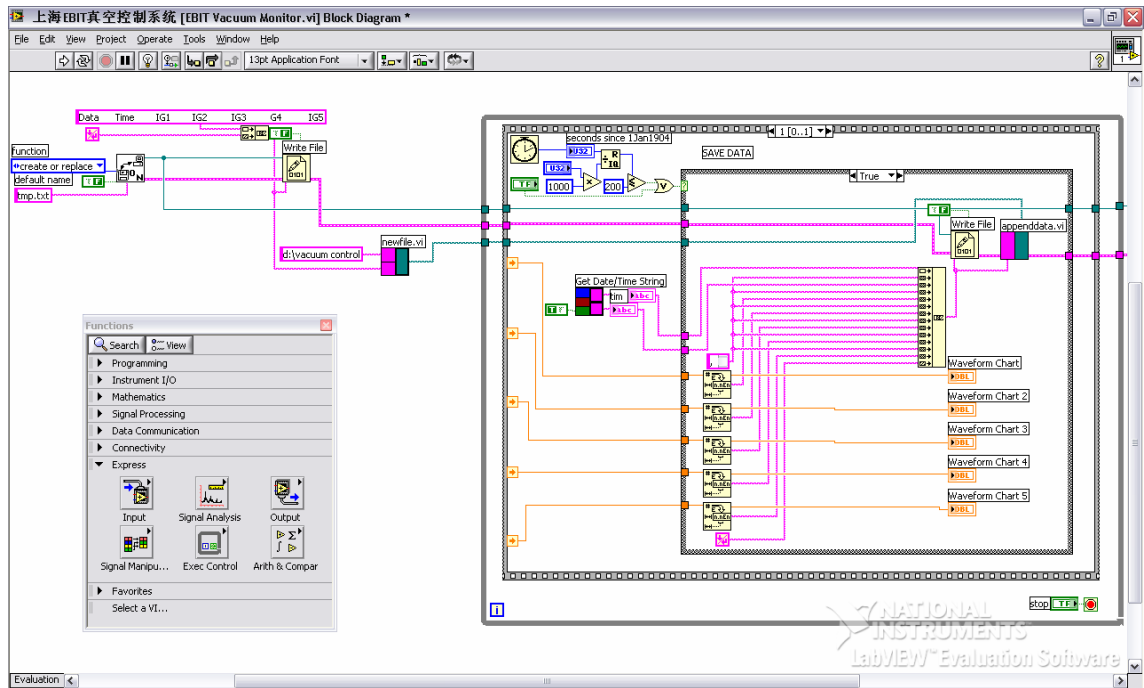


图 7 上海 EBIT 装置真空控制系统软件程序
Fig.7 Block diagram of the vacuum control system for the Shanghai EBIT facility

3.4 历史趋势曲线

对于真空系统而言,单就某一时刻的真空度无法完整地体现出系统运行的状况,而收集一段时间内的真空数据信息才显得更有实际意义。软件系统采集到所有 BAG 的真空读数,绘制出选定时间内连续的曲线,以清晰地反映出真空系统运行的历史趋势。

3.5 数据存储和调用

真空历史数据对于 EBIT 的运行有重要的参考价值,也是分析和诊断系统故障的重要依据。软件系统将所有 BAG 的真空数据信息保存为后缀为 txt 的记事本格式文件,自动以当次运行日期为文件名,存储到设定的目录下,EBIT 总控制系统可以通过以太网进行访问和调取。

4 调试与运行

上海 EBIT 装置完成总体安装后,对真空控制系统进行了调试。在中控室 IPC 的软件监控界面上,按顺序先后开启 TMP 和 SIP,当 SIP 回读显示的真空度优于 1×10^{-2} Pa 时,激活各只 BAG 的灯丝,而当真空度优于 1×10^{-3} Pa 时,分别对所有灯丝进行除气。将微量气体注入系统上的 GV 打开,设定真空连锁阈值为 1×10^{-4} Pa,当 EBIT 主体真空优于 1×10^{-5} Pa 时,向陷阱区内注入高纯 N_2 ,观察到真空逐渐变差,当真空度低于 1×10^{-4} Pa 时,电子枪触发

自动停掉,1.5s 时间后 GV 自动关闭。

现今超导磁场维持在 3 T 时可获得 120 keV、150 mA 的稳定束流,微量气体注入系统已成功地将多种稀有气体元素,如 Ar、Kr 和 Xe 等注入 EBIT 装置。当注入这些稀有气体时,实验用户可以在中控室的监控界面上实时观测真空的变化,从而估算出注入的气体量。真空数据自动存储为历史文件,便于对特殊的物理过程进行分析。运行过程中,由于实验人员的误操作,曾经引起过 EBIT 主体的真空破坏,本系统在 $10 \mu\text{s}$ 内发出报警信号给连锁系统,并在 1.5s 内关闭了所有 GV,保护了真空系统。

5 结论

目前,本系统已经应用在复旦大学现代物理研究所的上海 EBIT 装置上,并保证了已完成的多次物理实验的顺利进行。调试运行结果表明该真空控制系统功能完备,运行稳定,满足了 EBIT 装置的运行要求。

参考文献

- 1 邹亚明. 物理, 2003, (2): 98—104
ZOU Yaming. Physics, 2003, (2): 98—104
- 2 徐洪杰, 朱希恺, 蒋迪奎, 等. 上海电子束离子阱 (EBIT) 装置初步设计报告, 2002
XU Hongjie, ZHU Xikai, JIANG Dikui, *et al.* Preliminary design report for the Shanghai EBIT Facility, 2002
- 3 龚培荣, 郭盘林. 上海电子束离子阱 (EBIT) 装置电源和

- 控制系统设计, 2003
- GONG Peirong, GUO Panlin. Power supplies and control system design for the Shanghai EBIT Facility, 2003
- 4 白建波, 张小松, 李舒宏, 等. 电气传动, 2005, **35**: 44—46
- BAI Jianbo, ZHANG Xiaosong, LI Shuhong, *et al.* Electrical Driving, 2005, **35**: 44—46
- 5 乔瑞萍, 林欣译. LabVIEW 6i 实用教程. 北京: 电子工业出版社, 2003
- QIAO Ruiping, LIN Xin (tran.). Applied tutorial for LabVIEW 6i. Beijing: Electronic Industrial Publishing Company, 2003
- 6 VARIAN Vacuum Technologies. Multi-gauge controller instruction manual, 2003

Vacuum control system for the Shanghai Electron Beam Ion Trap Facility

AN Shuangli^{1,2} JIANG Dikui¹ GUO Panlin¹

1 (Shanghai Institute of Applied Physics, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

2 (Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Based on the RS485 general bus structure and the operation LabVIEW software environment, the vacuum control system for the Shanghai Electron Beam Ion Trap (EBIT) Facility was developed. The commissioning results show that this system has achieved all the design requirements. The realization methods for the tele-operation of vacuum devices, the data acquisition and the vacuum interlock are described in this paper. The system has been successfully applied to the Shanghai EBIT Facility.

Key words Electron Beam Ion Trap(EBIT), Vacuum control, RS485 general bus, LabVIEW

CLC TP274, TN107