

HT-7 弹丸注入远程控制系統

夏承遠, 楊 愚, 童心德, 高 翔, 程永飛, 辜學茂
(中国科学院等离子体物理研究所, 安徽 合肥 230031)

Remote Control System of Pellet Injection on the HT-7 Tokamak

XIA Cheng-yi, YANG Yu, TONG Xin-de, GAO Xiang, CHENG Yong-fei, GU Xue-mao
(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: The remote control system of the pellet injector, which is used on the HT-7 Tokamak, is described in detail such as hardware system, control interface and the software system. The hardware system includes the present controller analog input card and digit output card etc. The control interface of every unit in the present control system is introduced. The control software, which is based on PC and Windows98 operating system, is programmed with Borland Delphi4.0 development kit. And the experimental result of pellet injection into the plasma of HT-7 Tokamak is also provided.

Keywords: Remote control interface; Hardware & software system; Pellet injection experiment

摘 要: 详细介绍了 HT-7 弹丸注入远程控制系統, 包括硬件系統、控制接口和软件系統。硬件系統由現場控制器、AI 卡、DO 卡等組成。基于工控 PC 平台和 Windows 操作系統的控制软件是用 Borland Delphi4.0 开发的。最后简要介绍了 HT-7 弹丸注入实验的结果。

关键词: 远控接口; 硬件和软件系統; 弹丸注入实验

中图分类号: TB 69 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-8935(2001)03-0044-04

HT-7 弹丸注入器是 8 管原位("in-situ")冷冻式弹丸注入器^[1,2], 成冰原理比较简单, 但弹丸成冰质量难以控制, 对制造工艺、电子学、计算机远程控制的要求较高; 通过近年来的实验, 我们基本摸索到了它的成冰工艺, 基本能够满足在 HT-7 上开展先进加料技术及密度分布控制的实验研究。HT-7 弹丸注入器的控制系统主要包括两大部分: 现场控制系统和远程控制系統; 其中远程控制系統又包括远程驱动、采集电路和远程控制软件。

1 系統硬件及其接口

現場控制系統完全滿足了台面實驗的要求, 能夠很好地摸索彈丸成冰的工藝、拍攝彈丸的形狀和尺寸, 測量彈丸發射的速度^[3]。

但是, 由于托卡马克等离子体放电时, 实验现场有很强的 X 射线辐射, 辐射剂量远超过人体安全标准, 为此必须发展远程控制系統, 我们在现场控制系統上提供了远程采集和控制的標準 TTL 电平接口^[3]。为此, 本文利用現場控制系統提供的標準接

口, 使用 AI(analog input)采集卡 AC1557 和 DO(digit output)开关量驱动卡 HY-6130 组建了基于工控 PC 的硬件平台、Windows98 操作系統下的软件系統, 基本實現了彈丸注入远程控制, 并經過多輪 HT-7 实验证明是可靠安全的, 远控系統与現場控制系統、注入器之间的关系如图 1 所示。

2 AI 采集卡及其编程

基于 ISA 总线的 AI 卡 AC1557 是一款高性能 12 位 A/D 采集卡, 采样率为 20 kHz, A/D 转换精度小于 0.3%; 自带光电隔离功能, 将模拟量输入、A/D 部分与 PC 机隔离开, 保护 PC 机不受外界干扰信号的影响和损坏; AC1557 强调 A/D 采样功能, 输入程控放大(增益分别为 1, 2, 10, 100 供程序选择), 使得信号测量范围为 10 V 到 100 mV, 特别适合多路模拟信号的采集、监测(最多可提供 32 路模拟量输入, 进行 A/D 转换)。

AC1557 采集卡占用两条地址线(A0-A1), 称为“基地址(BASE)”, 如表 1 所示; 余下的 8 条 I/O

收稿日期: 2001-03-19

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(19789501)

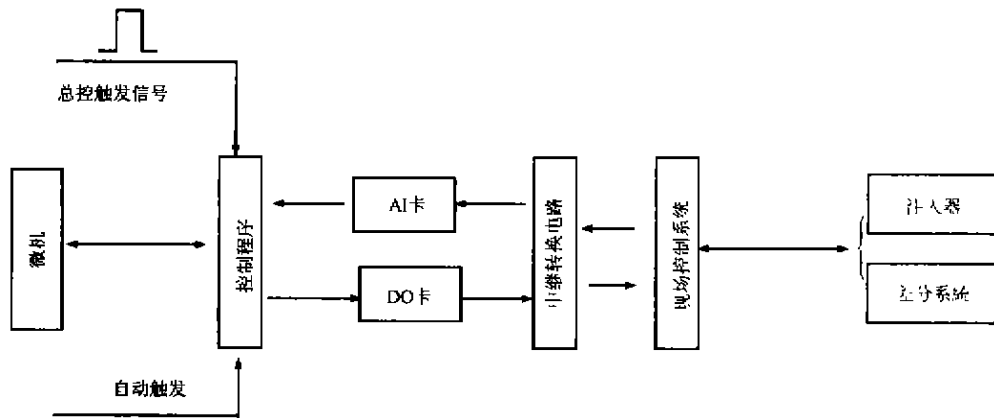


图 1 弹丸注入远控系统示意图

译码地址(A2-A9),称为“段地址(SEG)”,由 8 位跳线器开关选择,寻址空间在 100-3FFH(低于 100H 的 IO 地址空间为 PC 机主板使用)。从而,AC1557 实际操作的 I/O 地址(ADR):实际地址(ADR) = 基地址(BASE) + 段地址(SEG)。A/D 转换流程如图 2 所示。

表 1 AC1557 的基地址(BASE)分配表

| AD-AI | 读操作(RD) | 写操作(WR) |
|-------|----------------------------|-----------------|
| 0h | A/D 状态, D0 = 0 表示 A/D 转换结束 | 输入 A/D 通道号及放大增益 |
| 1h | | 启动 A/D 转换 |
| 2h | A/D 结果低 8 位 | |
| 3h | A/D 结果高 4 位 | |

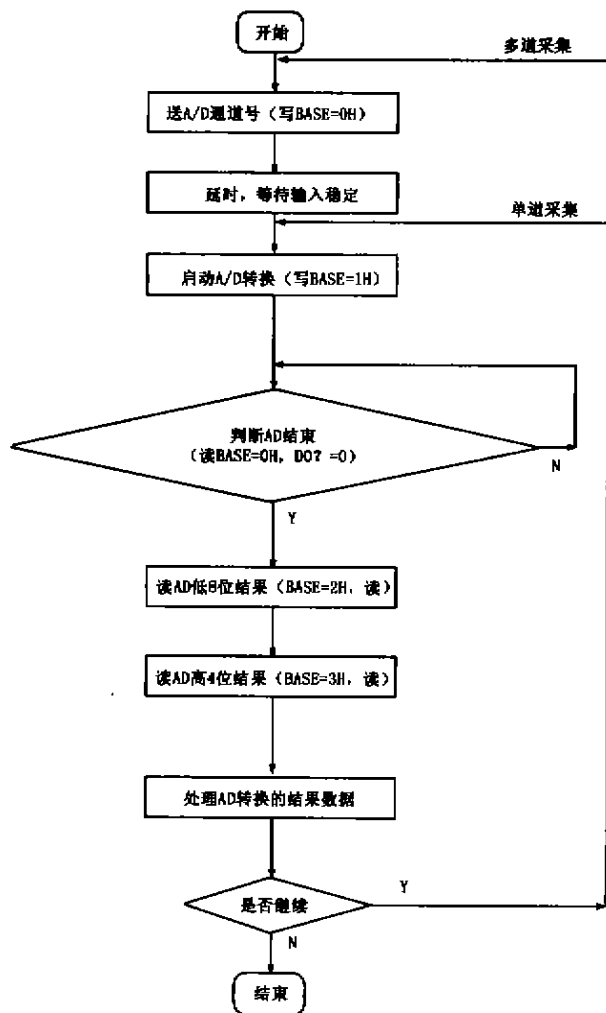


图 2 A/D 转换流程图

```

procedure Outportb ( IO Address ; Word ; Value : Byte )
begin
asm
mov dx, IOAddress;
mov al, Value;
out dx, al;
end; end;
    
```

3 控制驱动电路与程序

本文使用的 DO 板卡是 HY-6130 板,它是与 IBM-PC XT/AT 总线兼容的 32 通道隔离型数字量输出板,直接插入工控 PC 的 ISA 扩展总线插槽。HY-6130 板上每一路输出通道均与现场被控设备之间用光电耦合器件隔离开,有效阻断现场地与计算机系统地间的地环流通路,提高了控制系统的干扰能力,同时能够防止现场高压信号对计算机系统造成破坏。

32 路输出通道共分 4 组,每组 8Bits(1 个字节),占用 4 个板卡地址;由于设定基地址为 640(280H),则 640 ~ 643 即被 32 路通道占用;每一位对应一路通道。每个通道输出负载小于 2 kΩ;外加 +5 V 电压(计算机主板上的电源)时,典型输出信号低电平 $U_L < 0.5 V$,高电平 $U_H = 2.8 V$ 。

由于从 DO 卡输出的高电平信号没有驱动能力,因此必须在计算机和现场控制系统增加一级驱动电路(图 1 中的中继转换电路),其原理如图 3 所示。由于托卡马克放电时,弹丸注入器(被控设备)

所在的现场有着强烈的电磁场干扰信号、高压信号,为此再增加一级光隔离,将控制地和现场地隔开。

增加中间转换电路之后,当 DO 输出为高电平时,Out 输出为 +5 V 的标准 TTL 高电平,送到现场控制系统的 TTL 远程接口,即可驱动现场的电路,执行相应的动作;当 DO 输出为低电平时,Out 输出为 0,送到现场控制系统提供的远程接口,即禁止相应的动作。

对 DO 端口的操作,作者用汇编语言编写了子程序,供高级开发工具(如 Borland Delphi4.0)调用,同时提高了程序运行效率。

4 弹丸注入远程控制程序

弹丸注入远程控制程序是基于工控 PC 的硬件平台,操作系统为 Microsoft Windows98,编程开发工具是美国 Inprise/Borland 公司的 Borland Delphi4.0^[5],其语法是基于 Object Pascal 语言(一种面向对象的编程语言),是一种比较流行的 Windows 应用程序开发工具。由于 Delphi 是 Windows 程序开发工具,对于现场参数的采集(A/D 转换)和 DO 端口操作,本文采用了内嵌汇编代码的办法,提高程序运行效率。弹丸注入远程控制的关键在于接到总控触发信号之后,按照一定的时序打开弹丸注入系统的各个阀门,保证弹丸发射并顺利穿过传输通道进入托卡马克等离子体,以及保证系统的安全可靠。时序设置在文献中已有论述^[4],程序的主控界面如图 4 所示。

触发模块用于选择系统触发模式,自动触发是按一定的时间间隔依次发射弹丸,总控触发是在按下弹丸触发按钮后,接收总控触发脉冲,按设定参数发射弹丸,以保证弹丸在特定的时刻注入才有物理

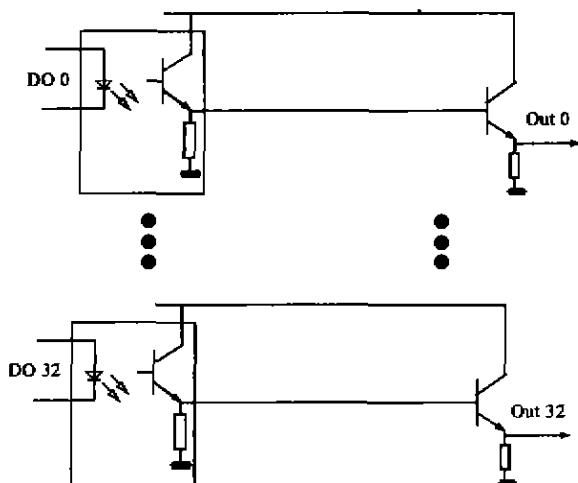


图3 控制驱动电路原理图

意义。门阀操作模块用来控制门阀的状态。

点击发射参数按钮后,弹出图 5 所示的窗体,用来设置发射的弹丸的数目和发射时刻以及保护快阀的开关时间。图 5 是 2000 年秋季实验时典型的一次多发弹丸注入(炮号 39341)时设定的发射参数情况,可以看到将有 3 发弹丸分别在 340, 390, 430 ms 被发射,从弹丸注入后等离子体实际的反应来看,弹丸经过几个毫秒的传输延时后,使等离子体的一些参数明显改变。

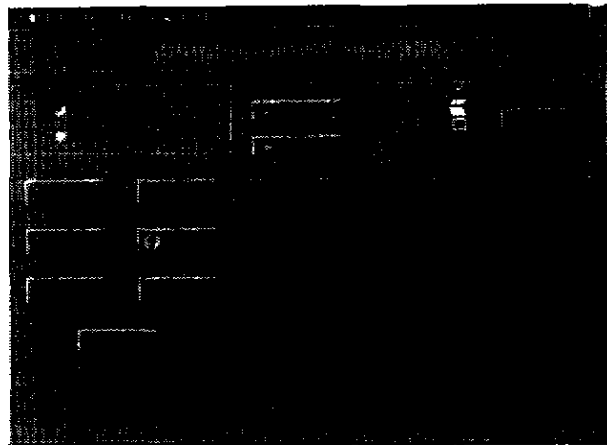


图4 HT-7 弹丸注入远程控制主程序

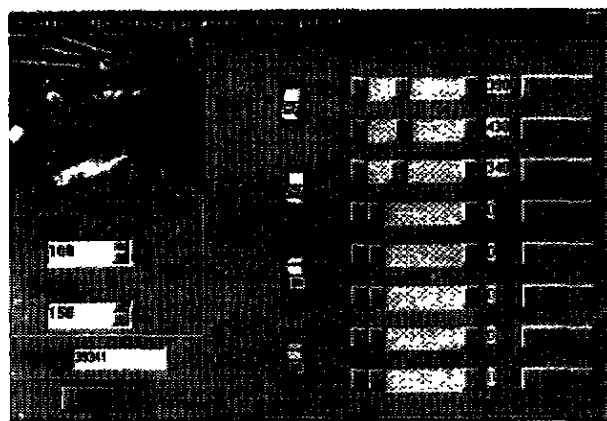


图5 弹丸发射参数的设定

点击成冰参数和差分系统按钮后,弹出图 6 所示的窗体,用来显示成冰时的温度以及相关参数,和差分系统的真空状况。由于弹丸发射是靠高压(高达 25 MPa)气体将附着在成冰枪管壁上的弹丸沿管壁弹射出去的,差分系统主要是将高压气体扩散抽走,以免进入托卡马克影响放电。

点击主窗体上其它控件用来存储相关参数、提高版本信息、退出系统和监控接收总控触发信号,以免误触发。

5 弹丸注入托卡马克等离子体物理实验

弹丸注入远程控制系统的建立为弹丸注入托卡

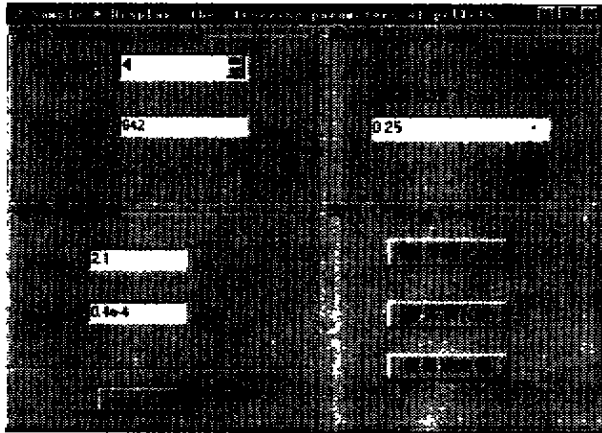


图6 弹丸成冰参数的显示和真空状况的监视

马克等离子体物理实验提供了良好的控制平台,在实验中进行了多次弹丸(氘丸)注入实验,系统长期可靠地运行,保证了实验的顺利进展。以图7所示的39341号放电为例,弹丸分别约在345,393,437 ms注入等离子体中去,3个箭头指示处即是弹丸注入时刻,可以看到等离子体芯部密度(n_e 是中心道密度诊断信号)骤然上升后又缓慢下降,粒子由芯部向两边输运;pd39和ha7的下降表示等离子体粒子约束时间在弹丸注入后得到改善。

6 结束语

我们在HT-7现场控制系统基础上,增加了现场信号采集和控制驱动电路,以工控PC为硬件平台,

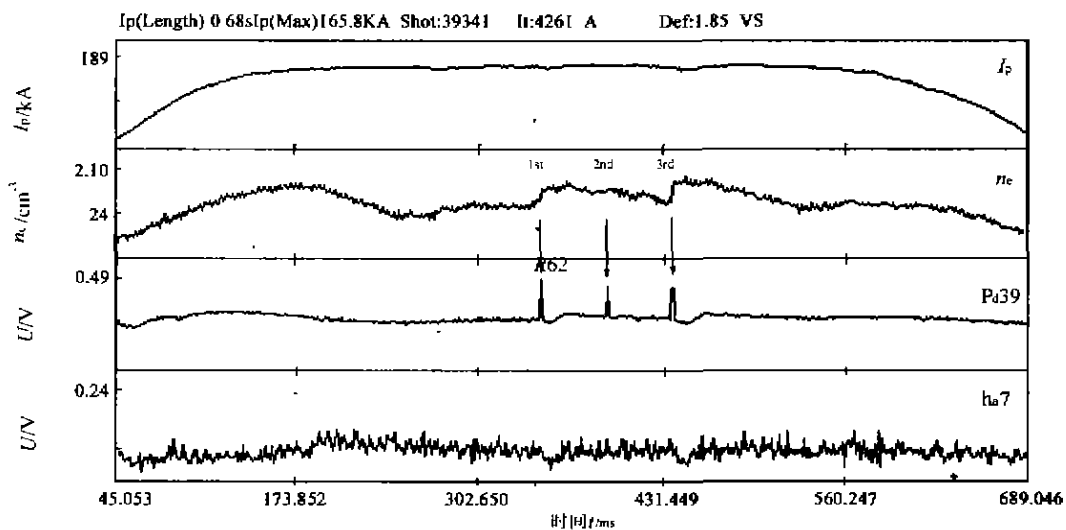


图7 典型的弹丸注入到托卡马克等离子体中的诊断信号

利用 Borland Delphi4.0 开发了基于 Windows 操作系统的应用软件,完成了远程控制系统。该系统界面友好,易于使用,具有一般 Windows 应用程序的特点。到目前为止,它已在 HT-7 实验中运行了多次,肯定了这套系统是可行的,并进行了多次弹丸注入托卡马克等离子体物理实验,取得了很好不错的结果。

本文在编程的过程中发现,毫秒量级软件延时往往存在一个很小的随机误差,但积累起来也是可观的。解决的途径一是使用硬件延时,但同时失去了软件设置的灵活性;二是在实时操作系统下开发应用程序,如 VxWorks 等,但目前支持该系统的应用软件较少,开发起来困难较大。我们将在综合各种

方案的基础上对该系统作进一步的完善。

参考文献

- [1] 夏承遗,杨 愚,高 翔等. HT-7 托卡马克氘丸注入实验研究. 真空科学与技术, 2001, 21(1): 43~46.
- [2] 杨 愚等. HT-6M 和 HT-7 托卡马克的多发靶丸注入实验研究. 真空与低温, 1999, 5(3): 139~143.
- [3] 夏承遗,董心德,杨 愚等. HT-7 弹丸注入器的现场控制系统. 真空电子技术, 2001, (4).
- [4] 杨 愚. HT-7 弹丸注入系统与实验研究. 中国科学院等离子体所博士论文, 1999.
- [5] Charlie Calvert. 潇湘工作室译. Delphi4 编程技术内幕. 北京:机械工业出版社, 1999.