

# 用于静电加速器的计算机控制系统

孙振武<sup>1,2</sup>, 霍裕平<sup>2</sup>, 李玉晓<sup>2</sup>, 李涛<sup>2</sup>

(1. 上海电机学院 文理系, 上海 200240;

2. 郑州大学 物理工程学院, 河南 郑州 450052)

**摘要:**为提高静电加速器控制系统的智能化水平,采用 PLC 以及红外和光纤传输技术,将网络通信融入其中,研制出一套静电加速器自动化控制系统。在阐述该系统结构的基础上,分析了干扰源的类型,对控制系统进行了抗干扰设计。在硬件方面,分别采取限制电晕针位置、使用浪涌电流吸收器、屏蔽、接地以及稳压措施;在软件设计方面,采取互锁保护、软限位、延时器以及诊断保护程序。这样,有效地提高了控制系统的电磁兼容性。目前,该系统工作稳定,除偶尔丢失信号外,未见其它故障发生。

**关键词:** PLC; 静电加速器; 控制系统; 电磁干扰

中图分类号: TP273; TL505

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2007)04-0394-05

## Control System With Computer for Electrostatic Accelerator

SUN Zhen-wu<sup>1,2</sup>, HUO Yu-ping<sup>2</sup>, LI Yu-xiao<sup>2</sup>, LI Tao<sup>2</sup>

(1. Department of Literature and Mathematics, Shanghai Dianji University, Shanghai 200240, China;

2. School of Physics Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** For improving the intelligence level of accelerator, an automatic control system of electrostatic accelerator was developed by adopting PLC control technique, infrared and optical-fiber transmission technique and net communication. On the basis of introducing the control system's structure, interference sources were analyzed and some measures against interference are adopted. The measures in hardware include restricting the position of corona needle, using surge arresters, shielding, connecting ground and stabilizing voltage; the measures in software include inter-blocking protection, soft-spacing, time delay and diagnosis protective program. These effectively improve the electromagnetic compatible ability of the control system. The system works steadily at present. The breakdowns don't happen again except that signals are lost occasionally.

**Key words:** PLC; electrostatic accelerator; control system; electromagnetic interference

传统静电加速器的控制系统大多采用同步电机、继电器以及电表等器件,加速器的运行和数据记录全靠人工完成,安全性不高,使用不

便。为提高系统的智能化水平,增强对参数的监控、采集和记录能力,本工作研制一套自动化程度较高的控制系统。该系统采用 PLC<sup>[1]</sup> 以

及红外和光纤传输技术<sup>[2]</sup>,将网络通信技术<sup>[3]</sup>融入其中,用计算机控制和管理加速器、监测和记录数据、动态跟踪运行过程,使加速器的控制得到显著改善。

### 1 系统结构

#### 1.1 网络组态

加速器控制系统的网络采用3级总线复合型结构(图1)。最低层为远程I/O链路,负责与现场设备通信,在此链路中,配置周期I/O通信机制。中间层为PROFIBUS-DP现场总线<sup>[4]</sup>,承担现场、控制、监控三级的通信,采用令牌式与主从轮询式相结合的控制方式。最高层为工业以太网,负责下传控制程序、传送控制指令以及对现场进行实时监控。通过光纤总线端子(OBT)和红外链路模块(ILM),由RS-485屏蔽双绞线、玻璃光纤(波长860 nm)和红外线(波长880 nm,最大传输距离15 m,传输速率1.5 MBit/s)把整个网络连接起来。

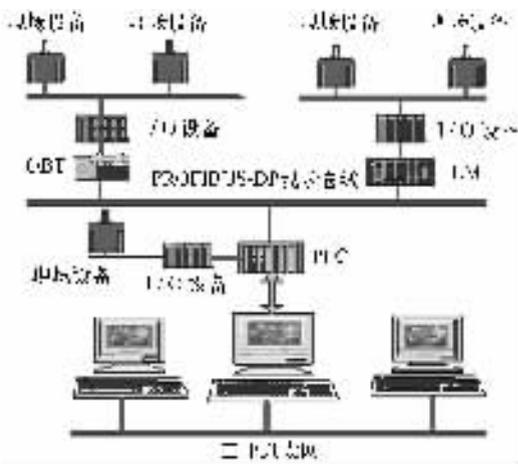


图1 控制系统网络组态图

Fig.1 Configuration of control system net

#### 1.2 硬件系统

静电加速器内存在3个电位:地电位、4 MV电位和4 MV+30 kV电位<sup>[5]</sup>。每个电位上均有需要调节的参数和记录的数据,为此,该系统将加速器的控制分成3个相对独立的子系统,每个子系统分别由1台PLC来控制(图2)。PLC1和PLC2之间有4 MV的电位差,它们之间采用红外传输;PLC2和PLC3之间的电位差为30 kV,采用光纤传输。PLC通过输出模

块控制步进电机的运转,而步进电机的转轴与被控参数的可调变压器轴相连,从而使被控参数的输入电压得到改变。对被控参数的电压信号进行分压,可得到0~10 V的低压信号,通过输入模块送入PLC。其中,离子源的气压、板压、引出电压和磁场电压的调节与采集由PLC3完成;PLC2除完成聚焦电压的调节采集外,还负责把其本身以及从光纤传输下来的有关PLC3的数据通过红外模块传输给PLC1;PLC1负责喷电电压的调节与采集,并通过以太网把各参数的数据汇总后交给微机管理。PLC选用SIEMENS公司的S7-300型可编程控制器,主控模块为CPU315-2。加速器的运行管理由3台微机完成,其中,1台负责数据的采集与记录,另2台分别负责在控制台和现场控制调节设备各参数,它们通过1台曙光服务器与下位机(PLC)实现信息的交换。服务器与上、下位机之间通过OPC标准实现连接<sup>[6]</sup>。

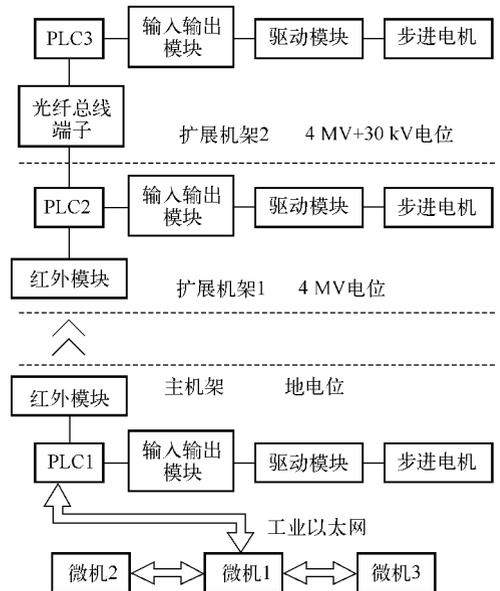


图2 控制系统结构方框图

Fig.2 Schematic diagram of control system

硬件安装完毕后,先用STEP7对硬件组态,给出每个硬件所处的位置,与控制程序中的变量表对应,通过硬件组态和变量表把硬件和软件联系起来,从而使硬件能忠实执行软件的指令,软件也可得到硬件的准确信息。然后通过故障诊断程序来判断系统组态是否正确以及

是否有通信故障等。

### 1.3 软件编制

该系统的软件分为两部分：一部分为控制程序，它在下位机(PLC)中，执行上位机(微机)的指令，并采集数据；另一部分为监控画面，它在上位机中，负责指令的发布，对加速器运行进行监控和显示，并对采集的数据归档和管理。

根据静电加速器的工作原理，制定了控制流程(图3)。在上位机中，采用 SIMATIC STEP7 软件编写控制程序，编制完成后，下载至下位机。监控界面采用 SIMATIC WinCC 组态和制作。在编制前，需先在 WinCC 的变量管理器中定义控件所对应的变量，变量的地址必须与 STEP7 的硬件组态中对应的变量地址对应，上位机的监控界面与下位机的控制程序之间通过变量地址实现通讯连接。WinCC 图形编辑器可生成可视化的操作图形，画面中的按钮、指示在变量管理器中都有明确的定义。当点击控制界面中的按钮时，WinCC 变量的状

态变化通过检索其地址上传到 PLC 中，由控制程序具体实施。PLC 采集到的数据也通过变量地址上传至监控程序画面中并显示。

## 2 抗干扰设计

### 2.1 干扰源分析

由于静电加速器内复杂的电磁环境，控制系统在调试中常出现掉步、方向信号错乱、网络通信不畅、电气设备与监控画面控件动作不一致等现象。特别是位于 4 MV 的聚焦电压的控制，常受到干扰，当加速器发生击穿放电时，曾出现受控量失去控制，I/O 端口被击穿，通信中断等现象。通过观察、分析后认为，这些现象主要由以下几种原因所造成。

1) 高频离子源辐射的持续干扰。该静电加速器使用的高频离子源采用电感耦合<sup>[7]</sup>，耦合频率为 30 MHz 左右，因此，其高频线路部分会持续向外辐射很强的电磁波。由于空间限制，高压端控制系统与离子源相距较近，从而在控制线路中产生较强的感应信号，干扰控制系统的正常运行。

2) 静电加速器高压放电引起的瞬间强电磁干扰。由于静电加速器常在绝缘气体耐压极限状态下工作，经常发生高压击穿放电。一方面，放电会造成高压端设备的电位分布发生变化，引起控制系统工作异常；另一方面，放电的瞬间会产生很强的电磁脉冲，轻者可引起控制系统短时间内工作异常，重者造成 I/O 端口击穿。静电加速器高压端放电有径向和轴向两种类型<sup>[8]</sup>，前者发生在高压电极与钢桶之间，后者沿绝缘支柱、输电带或加速管表面。高压电极为中空、无底的半球状圆柱体，对径向放电有一定的屏蔽作用，因此，相对来说，轴向放电影响较大。

3) 被控对象为感性元件，在输入或输出回路通断时，会产生一定的感应电势或浪涌电流，该电流对 I/O 接口产生冲击，引起信号错乱。输入输出器件的触点在关闭时产生电火花，在 I/O 端口会侵入电磁噪声，产生错误信号。串入输入端口的干扰信号会使 PLC 得到一虚假的限位信号，步进电机的转子在运行时出现突然停顿。当输出端口的信号受到干扰时，电机转子会左右摇摆和步数错误。

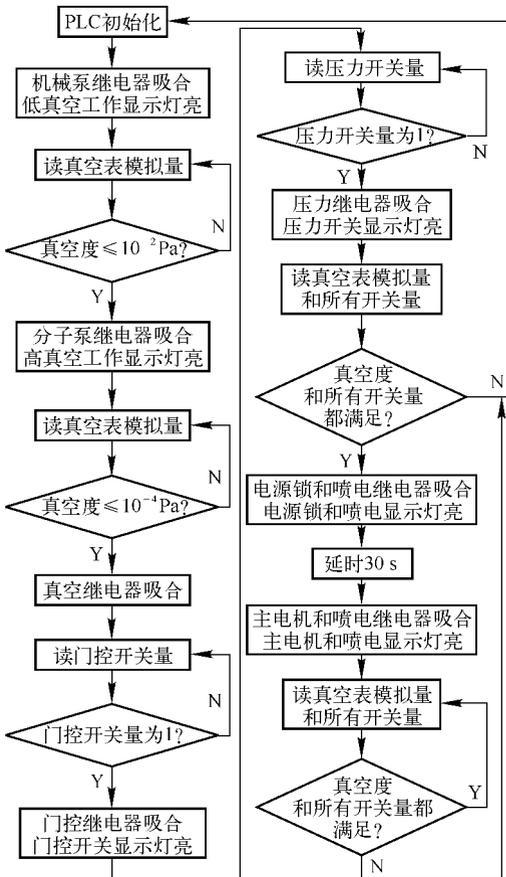


图3 控制程序方框图

Fig. 3 Block diagram of control program

4) PLC 控制系统的地线包括系统地(数字地、模拟地和信号地)、交流地、屏蔽地和保护地等。地线上有各种信号的电流,并由地线阻抗耦合产生共模电压,对输入信号线形成共模干扰,造成逻辑数据混乱、模拟信号失真等。

相对来说,前 2 种干扰较强,能造成控制系统瘫痪,甚至毁坏器件,系统不易恢复。由于聚焦调压器处于高压电极的底部,且距高频离子源最近,受轴向放电和以及离子源的电磁辐射影响最甚,因此,常出现聚焦电压控制失控的现象。后 2 种干扰强度较小,一般不会毁坏元件,且经短暂间隔后,系统会自动恢复正常。

## 2.2 硬件的抗干扰措施

针对上面几种干扰,分别从硬件和软件方面采取抗干扰措施。在硬件方面,采取的抗干扰措施如下。

1) 在钢桶内侧安装电晕针。在加速器运行时,慎重调节电晕针与高压电极间的距离,以便在轴向放电之前卸放多余的电荷,避免产生轴向放电。

2) 用细铜网把高压端的控制设备屏蔽起来,以减小高压放电和高频离子源的电磁辐射对其造成的破坏性影响。

3) 在触点之间并联 RC 浪涌吸收器,吸收触点产生的脉冲。在 I/O 端口并接 TVS 二极管<sup>[9]</sup>,它在雪崩击穿时,动态电阻小,响应速度快,器件面积大,可以吸收线路中产生的强浪涌电流。

4) 为防止电源系统的共模干扰引起 PLC 误动作,将数字信号线、模拟信号线和电源线分开,用接地的金属板将其隔开。开辟专用的走线通道,以避免信号受空间电磁波的干扰。铺设专门的信号地,将其与交流地分开。对数字信号线,将屏蔽体的两端接地,以较好地排除高频干扰。对模拟信号线,将屏蔽体的中央点接地即可。

5) 将调节聚焦电压的驱动模块改用驱动电流大、抗干扰能力强的模块,提高其耐冲击性。

6) 为避免电网的干扰通过电源线串入设备,以及突然断电对 PLC 和上位机中的程序和数据配置的破坏,用 UPS 对控制系统专门供电。

## 2.3 软件的抗干扰设计

为提高软件的抗干扰能力,对系统进行如下设计。

1) 增加互锁保护,避免继电器的误动作。调试中发现,瞬时串入的干扰可使 I/O 端口的状态发生变化,控制程序误认为条件满足,从而使设备发出错误动作。为此,采用常闭触点串联的方法使具有相反动作的设备不会同时动作,进行互锁保护,最大限度地减少错误动作的发生。

2) 采用“软限位”,提高步进电机的抗干扰能力。为了排除对输入量的干扰,除了依靠限位开关提供限位信号以外,在编程上采用“软限位”的方法,即对步进电机的步数设置上下限,在程序中采用比较器对当前步数进行判断。这样,即使 PLC 因干扰未收到限位信号,也能使电机脱机;或者,PLC 收到了虚假的限位信号,当步数不在设置的范围内,程序也不会使电机脱机。为了排除对输出量的干扰,程序中对电机的方向信号和脱机信号采用联锁保护,并在 WinCC 的电机控制表盘上设置方向锁定按钮,当电机在运行中受到干扰而突然改变方向时,程序还要依据比较器的状态(与设定的步数上下限比较的结果)、限位信号以及 WinCC 控制界面的方向状态共同来判断是否改变运行方向。

3) 运用 PLC 内部的延时器(设置 50 ms 延时),屏蔽掉可能发生的干扰信号。电机控制变量状态改变后,在进行下一步动作之前,使之经过一延时器,若是干扰信号,则短时间内状态还会跳变,定时器不接通,避免进行下一步动作;若非干扰信号,经过 50 ms 的延时状态也不会变化,则定时器接通,执行下一步动作。

4) 对控制软件进行抗干扰设计,充分发挥 WinCC 的监控报警能力。当诊断程序发现数据异常时,根据事前的约定,做出暂缓数据的输入和输出或者停机指令,最大限度地抑制干扰对控制系统的影响。

## 3 结论

通过采取以上的抗干扰措施,控制系统的抗干扰能力得到了加强,除偶尔丢失信号外,其他故障现象未再发生,不会对控制系统和加速

器运行造成大的影响。目前,该系统已在静电加速器上稳定工作,显示出比传统控制方式安全、可靠和灵活的优越性。

#### 参考文献:

- [1] 郑晟. 现代可编程序控制器原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000:15-68.
- [2] VITSAS V, BOUCOUVALAS A C. Automatic repeat request schemes for infrared wireless communications[J]. IEE Electronics Letters, 2002, 38(5): 254-246.
- [3] 邱公伟. 可编程控制器网络通信及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000:22-45.
- [4] 阳宪慧. 现场总线技术及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999:77-121.
- [5] 孙振武, 李玉晓, 姜胜南, 等. 4 MV 静电加速器调试中出现的问题及解决方案[J]. 强激光与粒子束, 2005, 17(7): 1 117-1 120.  
SUN Zhenwu, LI Yuxiao, JIANG Shengnan, et al. Debugging of 4 MV electrostatic accelerator [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2005, 17(7): 1 117-1 120(in Chinese).
- [6] 闰红漫, 英萃, 刘东, 等. OPC 技术在开放式自动化调度系统中的应用[J]. 江苏理工大学学报: 自然科学版, 2000, 21(1):69-73.
- RUN Hongman, YING Cui, LIU Dong, et al. Application of OPC technology in the open SCA-DA system[J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology: Nature Science Edition, 2000, 21(1): 69-73 (in Chinese).
- [7] 孙振武, 郑世全, 李涛, 等. 高频离子源物理参数对离子束性能的影响[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2005, 42(5):974-977.  
SUN Zhenwu, ZHENG Shiquan, LI Tao, et al. Effects of physical factors of RF ion source on quality of ion beam[J]. Journal of Sichuan University: Nature Science Edition, 2005, 42(5): 974-977(in Chinese).
- [8] 孙振武, 李玉晓, 姜胜南, 等. 影响静电加速器高压的因素[J]. 高压电器, 2005, 41(5):380-382.  
SUN Zhenwu, LI Yuxiao, JIANG Shengnan, et al. Factors affecting the high voltage of electrostatic accelerator[J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(5): 380-382(in Chinese).
- [9] 龚培荣, 刘平, 张耀. 用于地那米加速器控制的 PLC 接口电路[J]. 电子设计应用, 2003, 5(5): 34-35.  
GONG Peirong, LIU Ping, ZHANG Yao. Connective circuit of PLC in electron accelerator control [J]. Electronic Design and Application, 2003, 5(5): 34-35(in Chinese).