

宽范围高精度电子枪控制系统的研制

廖泳琪^{1,2} 王胜利¹ 郭洪雷¹ 李德明¹

1(中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

2(中国科学院大学 北京 100049)

摘要 本文针对“1.2 MeV/10 mA 高频高压型电子加速器及束线”项目中钨丝阴极热发射电子枪的控制需求,在了解了系统组成和工作原理的基础上,采用三极式平板热阴极发射电子枪,阴极材料使用钨丝,灯丝加热电源由发电机供电,引出电压从加速管电极分压获得。通过设计一种基于可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)的控制系统,实现了电子枪引出1 μA ~50 mA 4个数量级范围的直流电子束。该控制系统采用PLC作为设备控制器,LabVIEW软件作为用户界面,通过通信协议(Object Linking and Embedding for Process Control, OPC)接口实现控制软件与设备控制器的通讯。实验测试表明,系统具有可靠稳定、灵活高效等特点。

关键词 电子枪控制系统, 可编程逻辑控制器, 通信协议, LabVIEW

中图分类号 TL99

DOI: 10.11889/j.0253-3219.2019.hjs.42.020202

Design and implementation of wide range and high precision electron gun control system

LIAO Yongqi^{1,2} WANG Shengli¹ GUO Honglei¹ LI Deming¹

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

2(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract [Background] Tungsten wire cathode thermal emission electron gun is adopted for the high frequency and high voltage electron accelerator and beamline project, but no commercial control system is available for this kind of electronic gun. [Purpose] This study aims to design and implement the control system of the Tungsten cathode thermal radiation electron gun for "1.2 MeV/10 mA high frequency and high voltage electron accelerator and beam line" project. [Methods] Based on understanding the composition and working principle of the system, the tripole flat-plate thermal cathode was employed in the electron gun that adopted tungsten wire as the cathode material. The filament heating power was supplied by the generator, and the extraction voltage was obtained by the partial voltage of the accelerating tube electrode. Its control system was designed and implemented by using programmable logic controller (PLC) while the general software LabVIEW was used in the host computer, and communication between host computer and PLC was achieved via the Object Linking and Embedding for process control (OPC) interface. [Results] Experimental results showed that the direct current electron beam in the range of 1 μA ~50 mA was produced from this designed electron gun which could be controlled by the host computer. [Conclusion] As a device controller in the control system, the PLC together with LabVIEW programming in host computer can achieve reliable, flexible and efficient control of electron gun through OPC) interface.

Key words Electron gun control system, PLC, OPC, LabVIEW

第一作者: 廖泳琪, 女, 1994年出生, 2016年毕业于四川大学, 现为硕士研究生, 研究领域为加速器控制

通信作者: 王胜利, E-mail: wangshengli@sinap.ac.cn

收稿日期: 2018-12-10, 修回日期: 2018-12-29

First author: LIAO Yongqi, female, born in 1994, graduated from Sichuan University in 2016, master student, focusing on accelerator control

Corresponding author: WANG Shengli, E-mail: wangshengli@sinap.ac.cn

Received date: 2018-12-10, revised date: 2018-12-29

“空间环境地面模拟”装置是国家“十二五”重大科技基础设施建设项目。为了在地面模拟空间辐射环境,需要建立粒子射线源。相比于其他射线源,加速器是最安全可靠和易于操控的装置。高频高压型加速器主要包括电子枪、倍压系统、高频振荡器、加速管、真空系统和控制系统等。电子枪位于加速管高压端,功能是发射足够的电子,被引出电极引出,与加速管匹配,从而获得一定能量、足够流强和聚焦性能良好的电子束。

早期国内外的工业辐照用电子直线加速器的电子枪控制系统大多数采用以模拟电路和继电器为主的控制系统,进入20世纪90年代中期,可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)运用到了辐照电子加速器的控制系统之中,随着PLC本身性能的发展和完善,基于PLC的电子枪控制系统已经在很多加速器上实装使用^[1],通信协议(Object Linking and Embedding for Process Control, OPC)是微软公司的对象链接和嵌入技术在过程控制方面的应用,OPC以OLE(Object Linking and Embedding)/COM(Component Object Model)/DCOM(Distributed Component Object Model)技术为基础,采用客户/服务器模式,为工业自动化软件面向对象的开发提供了统一的标准,LabVIEW是虚拟仪器领域最具代表性的图形化编程软件,广泛应用于测试、过程处理和控制领域^[2]。

1 电子枪控制系统结构

电子枪为加速器的电子源,由枪体、阴极、栅极和引出电极等组成,电子枪结构如图1所示。电子枪的控制系统包括信号收集、自动开关、预热、保护等功能。

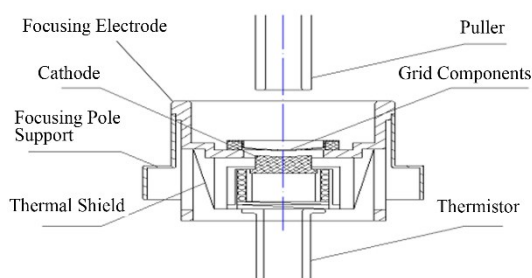


图1 电子枪系统结构
Fig.1 System structure of electronic gun

1.1 控制系统硬件设计

系统有下位机、上位机和被控对象组成(图2)。由于电子枪位于高压电位上,因此下位机采用Siemens的组成分布式控制器,其编程语言采用梯形

图。主站采用S7-300型的PLC300,PLC300的CPU型号为313-5BE00-0AB0,电源模块型号为307-1EA01-0AA0,通讯处理器(Communication Processor, CP)型号则采用343-1CX10-0XE0与上位机通过以太网通讯,采用342-5DA00-0XE0与处于高电压电位的从站通过光纤接口通讯,光纤同时起到隔离高压作用。从站采用型号为153-2BB00-0XB0的分布式I/O模块与主站通讯,使用331型模拟量输入模块和332型模拟量输出模块,采集运行数据、控制系统输出。从站硬件组态上和主站PLC300的地址相同,主从站通过DP(Data Processing)总线连接形成整个PLC组态,同时方便于后面编写PLC组态软件程序^[3-5]。

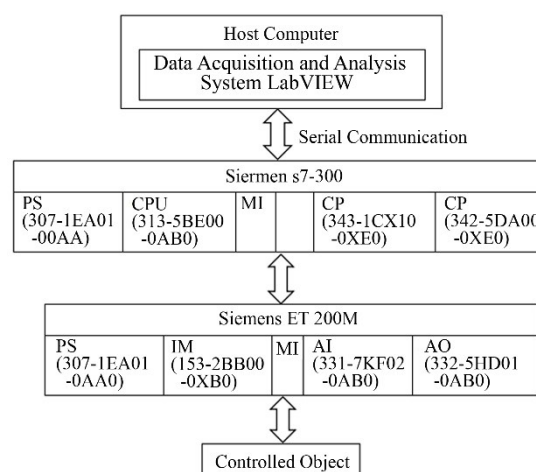


图2 PLC控制系统结构图
Fig.2 Composition of PLC control system

上位机的监控操作界面由LabVIEW编写,负责记录采集信息,控制下位机工作和处理客户端请求。PLC组态程序直接获取受控对象的所有运行数据,而监控系统需要从组态程序获取这些运行数据。通信协议(Object Linking and Embedding for Process Control, OPC)的出现为基于Windows的应用程序和现场过程控制用建立了桥梁,通过OPC实现与PLC组态程序的数据交互,从而间接对受控对象进行控制操作,可实现对设备本地实时监测、控制及故障提示等功能^[6]。

1.2 控制系统软件设计

软件系统包括数据采集程序、服务器和远程控制客户端程序。数据采集程序和远控客户端程序都是通过TCP/IP等协议实现与服务器通讯。

1.2.1 PLC程序部分设计

PLC的程序流程图如图3所示。PLC程序分为数据采集程序、PLC与上位机LabVIEW的通信程序。

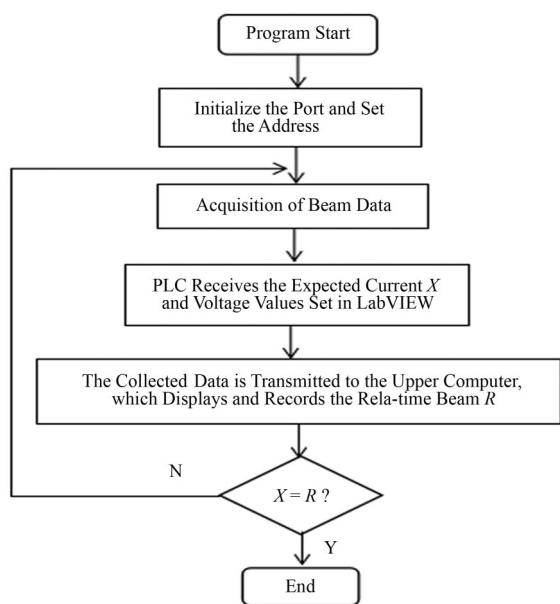


图3 PLC程序流程图

Fig.3 Flow chart of PLC program

1) PLC采集程序

在OB1主程序里面根据硬件组态的结构来一

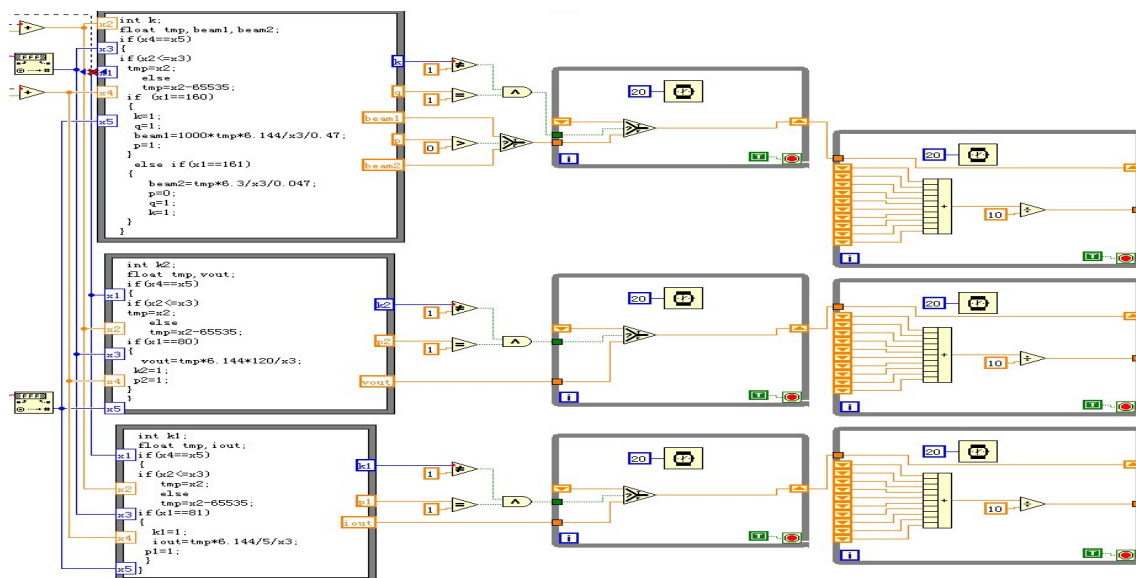


图4 LabVIEW局部程序框图

Fig.4 Part of block diagram in LabVIEW programming

2 实验结果分析

通过调节灯丝初级电压来调整灯丝电流,调整灯丝电流或调整栅极电压都影响引出束流的大小。根据对束流调整影响的具体情况,把调整灯丝电流作为调整束流的量程,即束流粗调方式,把调整栅极电压作为束流的细调方式。图5是栅压设定为

一对应插件,并且用梯形图描述对应的地址和程序流程图编程,设置对应需要的变量。程序主要是对采集的数据进行转换,把输入输出的数据分别转换成PLC可识别的和可输出的数据类型。根据PLC的数据转换原则,对于不同的数据类型,需要进行相应的类型转换,比如REAL就不能直接转换为整型,需要先转为双整型,然后双整型转为整型,跟后面的OPC Scout V10软件里设置的变量一一对应^[7-9]。

2) LabVIEW与PLC通信

Simatic Net是西门子的通信软件,由于LabVIEW软件不支持西门子的通信协议,不能直接访问S7-300/400 PLC,需要用Simatic Net的OPC功能来解决这一问题。针对于大型复杂的集散控制系统有多台计算机和多台PLC。可以用Simatic Net来组态上位机站,然后在西门子网络组态(Netpro)中分别组态各PLC和各上位机站点之间的连接^[10]。

1.2.2 LabVIEW程序设计

LabVIEW程序主要为上位机界面,局部程序框图如图4所示。LabVIEW的功能块包括数值设定区为输入参数区域,可设定束流的给定值,将采集的数据用曲线图的方式表达出来^[11-12]。

4.7 V,灯丝初级电压设置为216 V时的束流大小和曲线图显示。

当灯丝初级电压设置为150 V、175 V、195 V、232 V时,栅极电压与束流的关系分别如图6(a)~(d)所示。根据LabVIEW的显示波形和数据的统计分析,真空压强、灯丝电流、栅极电压等因素都会引起束流强度的变化,在真空压强一定的情况下,灯丝

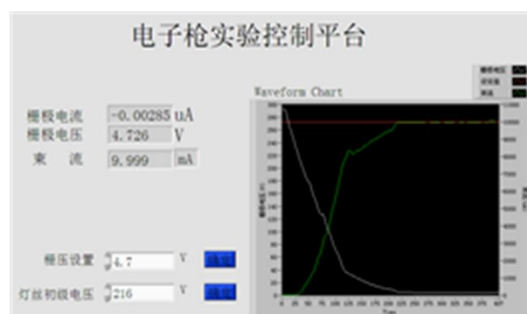


图5 栅压设定4.7 V,灯丝初级电压设置216 V时束流曲线图

Fig.5 Beam current curve when grid voltage setting at 4.7 V and the filament primary voltage setting at 216 V

电流的增大会引起束流的增大;在一定的灯丝电流的情况下,随着栅极电压的增大,束流反而减小。通

过调节灯丝电流,然后再调节栅极电压,可以得到连续可调的 $1\ \mu\text{A}\sim 50\ \text{mA}$ 的直流电子束。

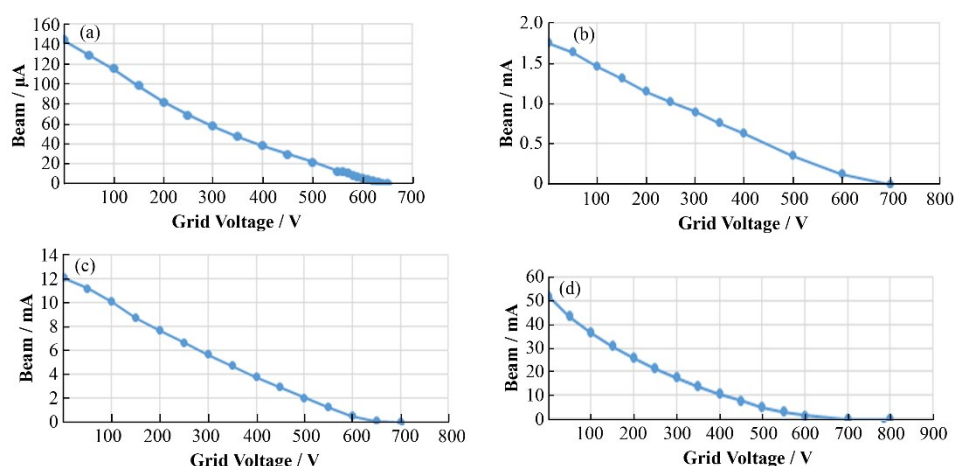


图6 灯丝初级电压 150 V (a)、175 V (b)、195 V (c)、232 V (d)时栅极电压与束流关系

Fig.6 Relation curves between grid voltage and beam current when Filament primary voltage setting at 150 V (a), 175 V (b), 195 V (c) and 232 V (d)

3 结语

结合电子加速器的特点和需求,在之前二极管电子枪的基础上,增加了对栅极的控制,优化了对束流输出的控制,从而实现了电子枪引出 $1\ \mu\text{A}\sim 50\ \text{mA}$ 4 个数量级范围的直流电子束。

结合 PLC、LabVIEW,设计了一套控制束流大小的平台。对于本系统而言,在实验室的情况下,可使系统稳定运行且满足束流的范围取值,而对于控制要求更高的适用场合,则需要更进一步缩小系统误差。下一步的工作可以引入 PID 控制和与其结合的相关算法,将有可能使得误差进一步减小,并且可以实现参数自适应的智能控制效果,例如结合模糊控制理论的研究。

参考文献

1 许奇. 基于 PLC 与 LabVIEW 的恒温控制系统设计[J].

自动化控制, 2016, **35**(9): 29–31. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8829.2016.09.014.

XU Qi. Automatic temperature regulation system based on LabVIEW and PLC[J]. Automation Control, 2016, **35** (9): 29–31. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8829.2016.09.014.

2 刘映杰. 基于 PLC 及触摸屏的发射机控制系统设计[J]. 微计算机信息, 2008, **4**(1): 47–48. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0570.2008.10.019.

LIU Yingjie. Design of RF transmitter control based PLC and touch[J]. Microcomputer Information, 2008, **4**(1): 47–48. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0570.2008.10.019.

3 张林, 王颖, 李秀娟, 等. 基于 LabVIEW7.1 的 PID 温控系统设计[J]. 自动化与仪表, 2007, **22**(1): 60–63. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9944.2007.01.017.

ZHANG Lin, WANG Ying, LI Xiujuan, *et al.* Design of PID temperature controlling system based on LabVIEW 7.1[J]. Automation and Instrument, 2007, **22**(1): 60–63.

- DOI: 10.3969/j.issn.1001-9944.2007.01.017.
- 4 鄢志丹, 孙立东, 胡春光, 等. 基于LabVIEW的温控系统[J]. 仪表技术与传感器, 2012, (9): 13-14.
YAN Zhidan, SUN Lidong, HU Chunguang, *et al.* Temperature control system based on LabVIEW[J]. Instrument Technology and Sensors, 2012, (9): 13-14.
- 5 宋东亚. 电子加速器控制中工控机与PLC通信系统研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
SONG Dongya. Research on industrial computer and PLC communication system in electronic accelerator control[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2012.
- 6 杨君, 苏海军, 郭洪雷, 等. 小型工业加速器远程监控系统[J]. 核技术, 2015, **38**(10): 100402. DOI: 10.11889/j.0253-3219.2015.hjs.38.100402.
YANG Jun, SU Haijun, GUO Honglei, *et al.* Implementing remote monitor and control system for industrial small accelerator[J]. Nuclear Techniques, 2015, **38**(10): 100402. DOI: 10.11889/j.0253-3219.2015.hjs.38.100402.
- 7 于春蕾. ADS注入器II强流质子RFQ加速器控制系统的研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.
YU Chunlei. Study of the control system of the high intensity proton RFQ for ADS injector II [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2014.
- 8 上海同步辐射装置中心. 上海同步辐射装置工程初步设计[R]. 上海: 中国科学院上海应用物理研究所, 2001.
Shanghai Synchrotron Radiation Facility. The design report of shanghai synchrotron radiation facility[R]. Shanghai: Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, 2001.
- 9 阳丹, 王湘江. 迟滞非线性系统辨识与补偿控制研究[J]. 机电工程, 2014, **31**(1): 57-61. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2014.01.012.
YANG Dan, WANG Xiangjiang. Identification method and compensation control for hysteretic nonlinear systems[J]. Mechanical and Electrical Engineering, 2014, **31**(1): 57 - 61. DOI: 10.3969 / j. issn. 1001-4551.2014.01.012.
- 10 邱琳. 基于PLC的温控系统设计与研究[J]. 江西化工, 2010, (4): 38-41. DOI: 10.3969 / j. issn. 1008-0570.2007.04.012.
QIU Lin. Design and research of temperature control system based on PLC[J]. Jiangxi Chemical Industry, 2010, (4): 38 - 41. DOI: 10.3969 / j. issn. 1008-0570.2007.04.012.
- 11 陈忠平. 西门子s7-300/400系列PLC自学手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 425-426.
CHEN Zhongping. Siemens s7-300/400 series PLC self-study handbook[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2010: 425-426
- 12 Yu H S, Wei X J, Li J, *et al.* The XAFS beamline of SSRF[J]. Nuclear Science and Techniques, 2015, **26**(5): 050102. DOI: 10.13538/j.1001-8042/nst.26.050102.