

文章编号: 1007-4627(2016)01-0041-04

SFC引出静电偏转板运动控制系统设计实现

张建川, 张晓鹰, 周德泰, 刘欢, 杨维青, 宿建军, 王彦瑜

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

摘要: SFC(扇聚焦回旋加速器)是兰州重离子加速器(HIRFL)的重要组成部分,其束流引出效率直接关系到整个加速器的运行效率。原SFC引出静电偏转板运动控制系统由于其设备陈旧,控制方式及控制精度都已不能满足调束的需求,加之位置检测功能的缺失,给调束带来极大不方便。基于此状态,本项目在有限的检修时间内,分两期实现了偏转板的位置检测和运动控制功能。在设计过程中,使用实际位置拟合测量数据的方法,提高了位置检测的精度,特别是用了特定的软件补偿算法消除机械传动回程差,大大提高了电机控制精度,目前整体控制精度在0.2 mm左右。用户界面能够显示每个电机的相对位置、模拟动画、限位开关状态指示等信息。界面简洁直观,操作方便。系统自2014年夏季运行以来,稳定可靠,提高了供束效率,减少了故障时间,得到调束人员一致好评。

关键词: 静电偏转板; 运动控制; PLC; 补偿算法

中图分类号: TP311; TP272 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.33.01.041

1 引言

SFC(扇聚焦回旋加速器)是一台磁极直径1.7 m的扇聚焦回旋加速器,能量常数 $K=70$,由原1.5 m回旋加速器改建而成。SFC主体由圆形电磁铁、双层结构真空室和高频加速腔组成,1987年建成出束,可把C-U的重离子分别加速到 $8.5 \sim 0.08$ MeV/u的能量,相应的引出流强为 $15 \sim 1$ e μ A,运行水平进入国际前列。单独运行时,可开展低能重离子物理研究^[1]。SFC可作为SSC(冷却储存环)或者CSR(分离扇回旋加速器)的注入器,将离子加速到一定程度后引出,也可以直接引出束流到低能实验终端进行物理实验。静电偏转板作为回旋加速器引出的主要方式^[2-3],在SFC束流引出中发挥着重要的作用。图1所示为该静电偏转板的机械结构图^[4]。

SFC引出静电偏转板由两段独立的偏转板组成,每一段都由切割板和高压电极组成,这两段的切割板和高压电极都要求能够单独调节位置,因此共需要8个电机控制单元和位置回读。之前的电机控制系统由于设备陈旧,控制方式及控制精度都已不能满足调束的需求,加之位置检测功能的缺失,致使调束人员经常不知道偏转板的确切位置,处于“盲调”状态,给调束带来极大的不方便。

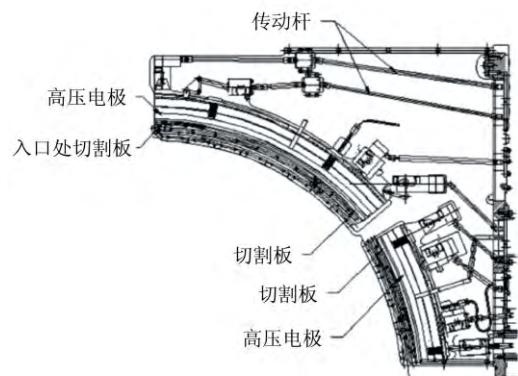


图1 SFC引出静电偏转板机械结构图

鉴于这种情况,中国科学院近代物理所研究人员首先在2014年夏季检修期间完成了该偏转板位置检测功能,给调束装上了“眼睛”,又在2015年检修期间完成了原电机控制的升级改造,并与之前的位置检测系统合并,加入了特定的软件补偿算法消除机械传动回程差,大大提高了电机控制精度,用实际位置拟合测量数据的方法,提高了去年位置检测的精度。完成后的偏转板运动控制系统,整体精度在0.2 mm左右,满足了调束人员的需求,系统界面醒目美观,操作方便,并拥有合理的权限管理、安全连锁、自动保护等功能^[5]。系统自运行以来,稳定可靠,得到调束人员一致好评。

收稿日期: 2015-09-09; 修改日期: 2015-09-18

作者简介: 张建川(1983-),男,河北高邑人,工程师,博士,从事加速器自动控制; E-mail: zhangjc@impcas.ac.cn

通信作者: 王彦瑜, E-mail: yanyu@impcas.ac.cn.

2 硬件设计

SFC 引出静电偏转板运动控制及位置检测系统整体硬件结构图如图 2 所示。控制系统硬件平台基于德国菲尼克斯公司的 ILC171 系列 PLC 控制器及相关模块，其中位置检测部分使用了电源模块给 8 个电位器提供参考电源，AI 模块用于采集 8 个电位器(相当于旋转电阻尺)的电压信号，DI 模块采集 16 路限位开关信号；电机控制部分使用 8 个独立的 PWM 模块分别控制 8 台步进电机。由于电位器和限位开关等位置采集部分和电机传动部件都在有高压、强磁场的真空环境中，需要用无磁性、耐高温高压、真空漏率低的特殊线缆在偏转板内部

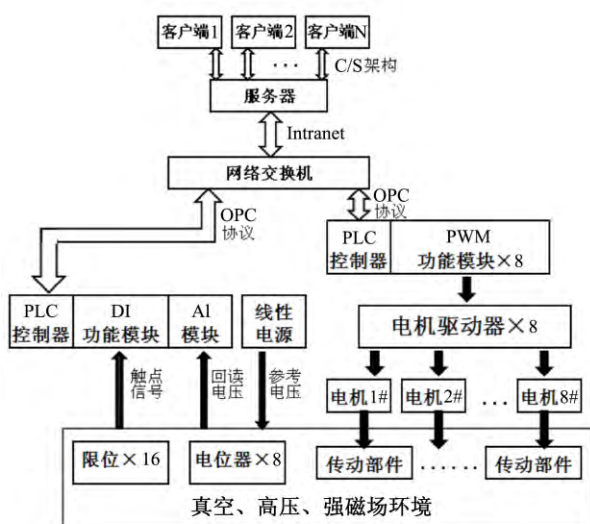


图 2 SFC 静电偏转板运动控制系统硬件结构图

做信号传输，所有这些线缆再通过两个特定的 55 针真空密闭陶瓷连接器与外部线缆连接。所有内部线缆焊接工艺要求较高，不允许毛刺出现，避免高压爬电打火。

位置采集及运动控制功能的 PLC 程序基于 Phoenix PC WORX 环境，该环境支持 T 型图、方框图编程，也支持高级语言程序。在该系统中，AI 模块功能实现使用的搭建功能框图方式编写，PWM 模块控制电机功能使用高级语言实现。程序中与上层软件交互的数据/指令字设定为 OPC 变量，程序下载完成并启动后，这些数据就能通过网线传输到上层软件中进行分析处理。

所有数据，包括下发的控制命令和采集的位置数据，全部通过 OPC 方式与服务器交互。服务器中运行服务程序，包括界面显示、动画显示、脚本程序、数据库等。服务器程序运行后，局域网内的任何一台电脑都能够通过网页形式访问服务器程序，实现 B/S 架构下的控制与检测。

3 界面设计

系统界面设计基于三维力控公司的 ForceControl 6.1 环境，程序运行在现场服务器中，用户界面以网页形式发布，局域网内其他电脑通过浏览器访问用户界面。界面中用数字显示给出当前两段切割板及高压电极的相对位置值，同时用模拟动画给出直观的位置显示；用指示灯给出 16 个限位开关的状态；用输入框和按键设置电机运动部分的命令，同时给出运动过程量参考。整体界面如图 3 所示。

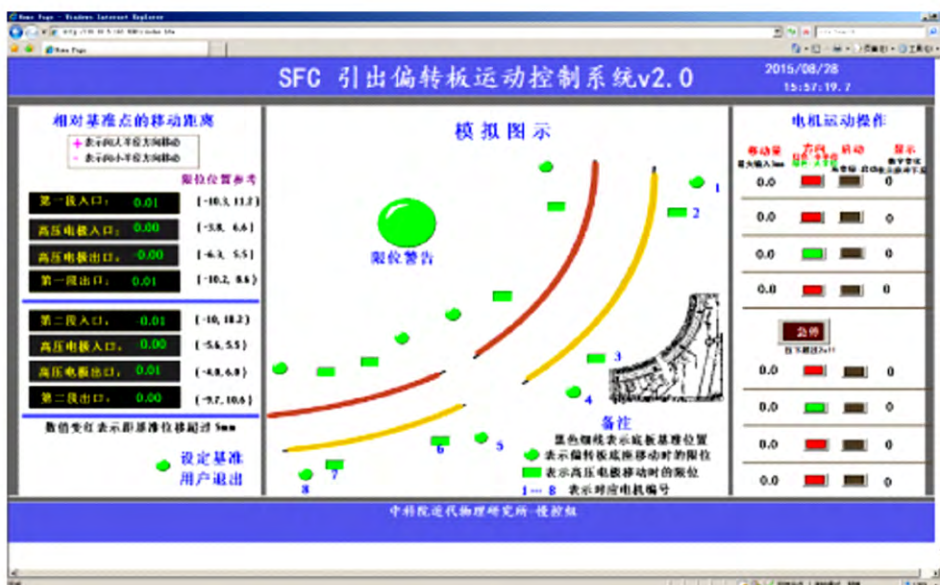


图 3 (在线彩图) SFC 引出静电偏转板运动控制系统界面

PLC 程序中和服务器程序中用大量脚本语言实现了变量之间的关联、转化、连锁、保护等功能,例如在电机运动过程中,屏蔽“方向设定”按键,防止在电机运动的过程中,再有方向改变信号下发;位置显示是通过电位器电压信号的分析及拟合以后转化的值;电机控制程序中,有限位保护功能,碰限位后,相应电机马上停止运动,并不能再向限位方向移动,只能向反方向移动,避免误操作给机械或电机造成的损坏。

由于机械结构本身不能避免的弊端,在运动过程中,尤其是在“换向”过程中,传动机构会出现较大回程差。在该系统软件设计中,利用软件补偿的方法,尽量减少回程差对系统测量误差的影响,大大提高了测量精度。

图 4 是加入软件校正前后 1 号电机给定位置(红色方格)、界面显示位置(绿色圆点)及激光测距仪测量位置(蓝色菱形)的对比。图 4(a)为了检测“换向”产生的回程差,用的是从外到内再从内到外的顺序取点,所以是一个拐点的折线;图 4(b)为了检测软件补偿的效果,行走过程中采点位置随意,因此曲折反复。从两张图的对比中,可看出用该方法消除“换向”带来的回程差效果明显,大大提高了测量精度。根据实际数据计算得出,电机给定位置与界面显示位置误差的标准差为 0.046 mm,界面显示位置和仪器测量数据的标准差为 0.107 mm,电机给定位置和仪器数据的标准差是 0.087 mm,考虑到仪器本身测量误差为 0.05 mm,电位器不均匀误差为 0.10 mm,这些误差都在设计范围内。

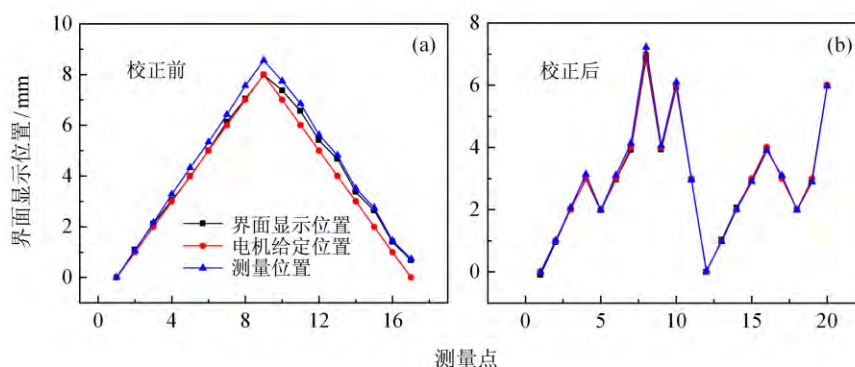


图 4 (在线彩图) 软件校正前后 1 号电机运动精度对比图

4 结论

SFC 引出静电偏转板运动控制系统由位置检测部分和运动控制部分组成,控制硬件用 PLC 模块构建,稳定可靠,软件部分实现了闭环控制和多重安全策略,用户界面简洁直观,操作方便。系统整体经现场实测,功能及控制精度都达到了预期目的。

目前系统还存在的问题是,尚未完全消除传动系统非线性给控制精度带来的影响,下一步可在非线性分析的基础上进一步提高测控精度。另外,可加入硬件连锁功能,使系统更加安全可靠。系统的运行稳定性将在使用过程中得到验证。

参考文献:

[1] 中国科学院近代物理研究所网站[EB/OL].[http://www.imp.](http://www.imp.cas.cn/kyzb/SFC/201112/t20111226_3417422.html)

[cas.cn/kyzb/SFC/201112/t20111226_3417422.html](http://www.imp.cas.cn/kyzb/SFC/201112/t20111226_3417422.html).

- [2] LI Xiaoni, MAN Kaidi, YUAN Youjin, *et al.* High Power Laser and Particle Beams, 2012, **24**(12): 2877. (in Chinese) (李小妮, 满开第, 原有进, 等. 强激光与离子束, 2012, **24**(12): 2877.)
- [3] TANG Jingyu, WEI Baowen. Theory and Design of Cyclotron [M] Hefei, University of Science & Technology of China Press, 2008: 170. (in Chinese) (唐靖宇, 魏宝文. 回旋加速器理论与设计[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008: 170.)
- [4] LI Zhaolong, MAN Kaidi, GUO Qiuxian, *et al.* Nuclear Physics Review, 2008, **25**(4): 350. (in Chinese) (李兆龙, 满开第, 郭秋衍, 等. 原子核物理评论, 2008, **25**(4): 350.)
- [5] WANG Youqing, TIAN Yongtao, WANG Zhanhang, *et al.* Machine tools and hydraulic, 2002, **3**: 28. (in Chinese) (王有庆, 田涌涛, 王占杭, 等. 机床与液压, 2002, **3**: 28.)

Design and Realization of SFC Electrostatic Deflector Motion Control System

ZHANG Jianchuan, ZHANG Xiaoying, ZHOU Detai, LIU Huan, YANG Weiqing, SU Jianjun, WANG Yanyu

(*Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: SFC (Sector Focusing Cyclotron) is an important part of the Heavy Ion Research Facility in Lanzhou. The beam extraction efficiency of SFC is directly related to the efficiency of the whole accelerator. Because of the old equipment and control mode, as well as the low control accuracy of the SFC electrostatic deflection plate motor control, the motion control system was not able to meet the demand of beam tuning staff. In addition, there were no position detection function for this deflection plate; the beam tuning staff cannot get the current position of the deflection plate when they move these motors. Based on this situation, we designed and realized SFC motor control and position detection system in the summer maintain period in 2014 and 2015. In the design, we used the actual position to fit the measured voltage signal to improve the accuracy of position detection. Meanwhile, a specific compensation algorithm was designed to eliminate the mechanical transmission return difference, which greatly improved the motor control accuracy. At present, the overall control accuracy is about 0.2 mm. The user interface has numbers to shows the relative position of each motor and related animation, indicator led to show the status of each limit switches, easy operate buttons to control the motor moving. The system has been running stably and reliably since 2014. It has improved the efficiency of the beam tuning and reduced the fault time, so it is well praised by the beam tuning staff.

Key words: electrostatic deflector; motion control; PLC; compensation algorithm

Received date: 9 Sep. 2015; **Revised date:** 18 Sep. 2015

Corresponding author: WANG Yanyu, E-mail: yanyu@impcas.ac.cn.