

串列加速器升级工程的 计算机控制系统方案设计

张天爵, 李振国, 殷治国, 侯世刚, 葛涛, 储诚节, 吴隆诚, 崔保群, 关遐龄

(中国原子能科学研究院核技术应用研究所, 北京 102413)

摘要: 描述了中国原子能科学研究院计划建设的串列加速器升级工程的特点, 各主要设备的平面布置, 以及对控制系统的基本要求, 在此基础上完成了控制系统的方案设计, 并建立软、硬件的实验平台, 对部分设备开展了预先研究工作。

关键词: 控制系统; 回旋加速器; 放射性核束装置

中图分类号: TL501.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2005)02-0188-05

Conceptual Design of Control System for Beijing Radioactive Ion-Beam Facilities

ZHANG Tian-jue, LI Zhen-guo, YIN Zhi-guo, HOU Shi-gang, GE Tao,
CHU Cheng-jie, WU Long-cheng, CUI Bao-qun, GUAN Xia-ling
(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-3, Beijing 102413, China)

Abstract: The characteristics of Beijing Radioactive Ion-Beam Facilities, a cyclotron based radioactive ion beam facility which was approved by the Chinese government in July 2003, are described briefly in this paper. The plane arrangement for various accelerators and their accessory equipment is also introduced. Then, the basic requirements of the control system for Beijing Radioactive Ion-Beam Facilities are given and the conceptual design of this control system is implemented. In order to demonstrate the feasibility of the conceptual design, a test control system was developed for the injection system of 100 MeV, H^- cyclotron.

Key words: control system; cyclotron; radioactive ion beam facility

加速器在国防工业、核物理基础研究和核技术应用的发展过程中有重要的作用。中国原子能科学研究院在五、六十年代建造了 1.2 m 回旋加速器、静电加速器和高压倍加器, 八十年

代建造了 HF13 串列加速器和 30 MeV 回旋加速器。为适应当前核技术及应用研究对加速器提出的要求, 需要对 HF13 串列加速器进行升级。

收稿日期: 2003-05-15; 修回日期: 2003-12-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10125518)

作者简介: 张天爵(1964—), 男, 广东汕头人, 研究员, 博士, 加速器物理专业

中国原子能科学研究院计划用大约 5 年的时间,完成 HF13 串行加速器升级工程,该装置在现有的 HF13 串行加速器的前端新建 100 MeV 强流回旋加速器和在线同位素分离器,在其后端新建重离子超导直线增能器,升级后的加速器系统将成为我国核科学技术领域开展基础和应用研究的重要平台之一。

该项目的关键技术主要包括:100 MeV 强流回旋加速器的强聚焦紧凑型磁铁结构,异形高频谐振腔的设计和效率的注入与引出系统;在线同位素分离器的高温、强放射性靶-源装置,弱束流的测量和鉴别技术;超导直线增能器的铜-铈溅射超导腔工艺技术和独立相位控制技术。

1 串行加速器升级工程的特点

串行加速器升级工程建设的加速器组合,具有一器多用、两器并用、多器合用的特点。

强流质子回旋加速器提供的质子束及其产生的中子束将用于核科学技术研究,也可作为产生放射性核束的驱动加速器,并可用于新型放射性同位素的研发。

强流质子回旋加速器和串行加速器(及其超导直线增能器)可同时并行使用,分别提供强流质子束和重离子束,以满足同时开展多种物理实验研究的需要。

强流质子回旋加速器产生的质子束轰击厚靶产生的放射性核素,可由在线同位素分离器分离得到 keV 级放射性核束,可用于放射性核的结构及衰变性质测量,以及材料科学和核天体物理研究等。经分离的核束注入到串行加速器中进行加速,可开展放射性核束物理及交叉学科研究等。本工程中的超导直线增能器由 4 个超导谐振腔组成,重离子的能量增益为 $2 \text{ MeV}/q$,可使质量数小于 40 的核束能量达到库仑位垒。超导直线增能器的特点是可方便地通过增加超导谐振腔加速单元的个数将能量提高,从而使能量达到库仑位垒的核束质量数进一步提高。

2 工艺设备区域布置

本升级工程在原有 HF13 串行加速器设备的基础上进行。原有主要设施为 HF13 串行加

速器以及 3 个实验大厅。这部分在本工程中的布置基本不变,只做部分改造。

新增加的设备主要有回旋加速器、在线同位素分离器和超导重离子直线增能器 3 部分。回旋加速器布置在 HF13 串行加速器的西侧,在线同位素分离器在回旋加速器大厅与串行加速器大厅之间。回旋加速器的实验厅布置在回旋加速器大厅南侧。此外,在在线同位素分离器大厅内设置了实验设施。在回旋加速器的西南侧设有同位素生产热室和工艺房间。

其余的房间为工艺间、控制室、电源室以及辅助房间。辅助房间包括通风机房、水处理等房间。本区域布置方案局部设有二层以及地下室。工艺设备区域布置图示于图 1。

3 控制系统

3.1 控制系统的基本构成与特点

本系统主要对新建的强流质子回旋加速器、在线同位素分离器及超导直线增能器 3 部分的各种参数进行监测、诊断、分析和自动控制。根据对 TRIUMF^[1]、ORNL^[2]、NAC^[3] 等单位加速器控制系统的调研,借鉴中国原子能科学研究院 30 MeV 回旋加速器控制系统的开发经验^[4],决定控制系统主要基于西门子的可编程逻辑控制器 S7 系列的 CPU S7-300/400,PLC 之间的通讯采用 PROFIBUS 现场总线。整个系统将能够为过程控制实现现代化、低成本、面向未来提供可靠而开放的操作平台,可满足对性能、可靠性、简单性、运行安全等方面的要求。控制系统规模(累计)为:模拟量输入 120 余路,模拟输出 100 余路,数字输入/输出共 1 100 余路。控制系统网络将由工业现场总线、信息网络共同组成。控制系统中节点的类型分为:操作员站、工程师站、服务器。PLC 之间通过 PROFIBUS 构成工业现场总线网络,并通过 PROFIBUS 实施信息交换。工程师站、服务器和客户端通过信息网络连接。其中,工程师站通过 PROFIBUS 直接连接 PLC 实施监视,并在必要的情况下调整 PLC 的运行状态,并通过工程师站之间的信息网络与网络中其他的工程师站之间协调控制信息。服务器集中各个工程师站的信息并向外提供 WWW 信息发布,允许授权的操作员站登陆并调整

PLC 运行状态。最后系统以闭路监视系统作为辅助监控手段。系统的拓扑图示于图 2。它具有如下特点:全集成自动化数字控制;总控与就地控制的统一协调;就地控制的高可靠性和高抗干扰能力;冗余控制提高了系统的故障安全性;通讯速率达 12 Mbit/s 的高速总线和普通现场总线的结合,有高性价比;方便的故障查找方法。

3.2 控制内容及水平

加速器全部运行参数预先设置、随时冗余

储存。基于组态软件开发的控制软件将使得监视器显示的菜单与图表曲线,即加速器的所有运行状况直观明了,使加速器运行简单可靠,并且无操作经验的人员也能很快学会操作,回旋加速器的控制争取实现无人值守。

主控制室设在现有的串列加速器控制室,回旋加速器、在线同位素分离器和超导直线增能器设有就地控制,加速器的运行可根据权限设置,由主控制室控制或就地控制,为了达到高的系统容错能力,每个操作站都有并行控制其

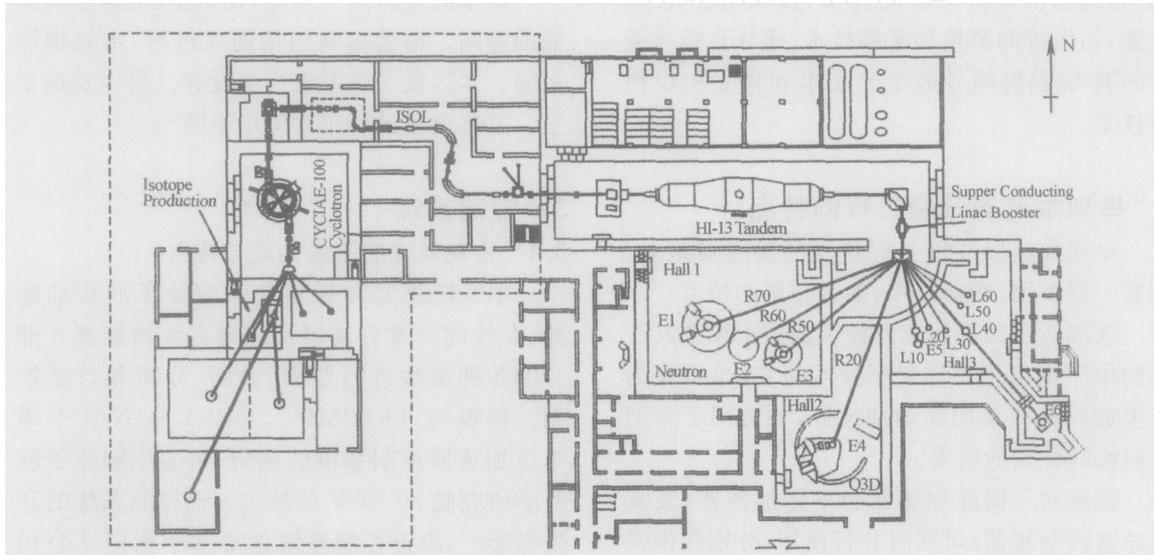


图 1 串列加速器升级工程平面布局

Fig. 1 Plane arrangement for Beijing Radioactive Ion-Beam Facilities

它控制站的能力,系统的协调工作主要由权限设置来实现。

回旋加速器、在线同位素分离器、超导直线增能器及串列加速器各部分可根据需要单独使用、同时使用或组合使用,所以各部分相对独立地完成底层控制,各子系统与主控制室通过现场总线 PROFIBUS-PA 和 PROFIBUS-DP 通讯。

计算机控制系统控制以下主要内容:各加速器的预设步骤、预设参数自动启动过程;回旋加速器高频加速系统的启动与频率微调;回旋加速器主磁铁高精度电源及其它磁铁电源;回旋加速器离子源和注入系统的高压、稳流电源运行参数的匹配与稳定控制;回旋加速器引出系统的剥离位置调节和束流监控;靶源系统高温、强放区域的设备遥控;束流输运线的运行参

数;超导增能器的独立相位控制;超导增能器的制冷系统;各加速器供电系统、真空系统、水冷系统、气动系统设备(高压、真空、水冷等)的安全连锁;人员(剂量、防护门、高压等)的安全连锁。

需特别强调的是安全问题,剂量防护系统将包括门连锁和声、光报警系统等,目的是确保人员安全。为了使诊断测量控制精确,电缆敷设应消除、减少电磁干扰。所有电缆通过电缆隧道从各设备附近通向主控室。电缆敷设的原则是:高频、高压、常压和控制回路的电缆必须分开单独敷设,切忌靠近平行敷设,间距应符合规程要求。

4 控制系统预先实验研究

目前,从强流回旋加速器轴向系统(图 3)

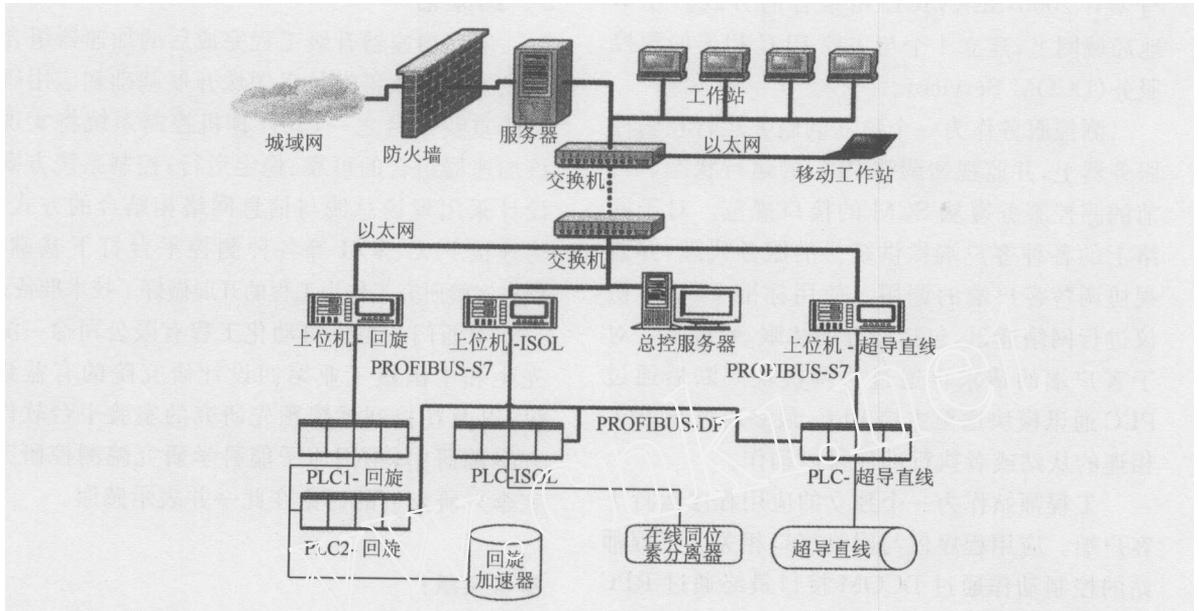


图2 控制系统的拓扑图

Fig. 2 Structure of control system

开始控制系统的预先实验研究工作。硬件平台是 PLC 与 PC 测控卡相结合的方案,测量与控制信号从类别上分为:电压、电流、温度、位置、束流等信号。从响应时间上分为缓变信号和快变信号,其中缓变信号分别通过 PLC、ADAM 实施采集和控制,而快变信号通过 PCI 插卡进入计算机。最终这两者之间通过软组件交换信息,并为上层的 WWW 服务提供注入器运行的信息。

目前试验的控制软件是基于 Web 的 B/S 结构(Browser/ Server),它是传统 C/S 模型的衍生,使主要的应用程序在服务器上,客户端只需标准的浏览器,便可通过访问相应的功能页面完成相应的任务。

4.1 可编程逻辑控制器

PLC 采用西门子 S7-300 系列,使用 Step7 进行编程。其中 PLC 间的通讯将使用 PROFIBUS 现场总线模块。各 PLC 主从站构成 S7 网络,并通过高速的 PROFIBUS 交互协调信息。

PLC 与服务器间使用 SAPF57 进行通讯。SAPI(simple application programmers interface)是西门子网络通讯的一个简单应用程序编程接口,S7 则表明这个接口位于 OSI 标准网络模型的第 7 层。SAPF57 为本工作提供了 1

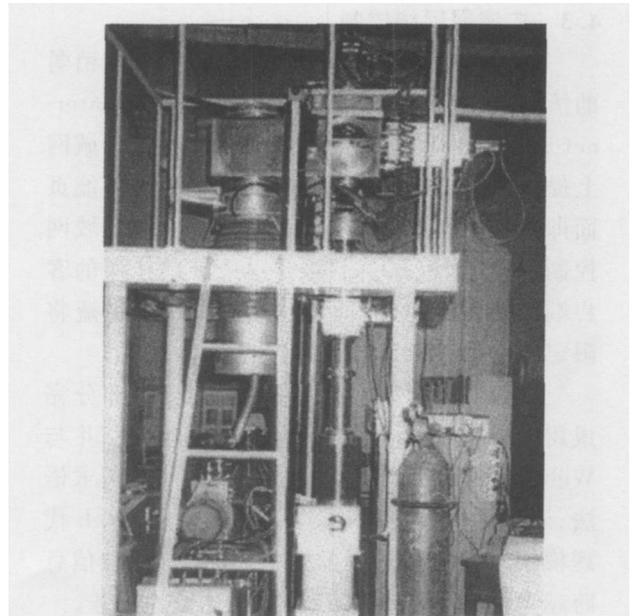


图3 强流回旋加速器轴向注入系统

Fig. 3 Axial injection system of high intensity cyclotron

套与西门子网络连接交互数据的编程接口,它通过本机的 CP-5613 接口卡与 S7 网络互连。

4.2 局域网网络控制

针对高速、可靠的网络控制,本工作在实验中采用了 Microsoft 的分布式 COM (DCOM)

与 WIN2000 SERVICE 相结合的方式。在本地局域网上,建立 1 个与主控 PLC 相连的测控服务(DCOM Service)。

测控服务作为一个独立的服务运行在测控服务器上,并监视和调整 PLC 的运行状态。目前的测控服务遵从 SCM 的接口规范。对于网络上的各种客户端提供统一的服务代理,并监视协调各客户端的调用。使用标准 DCOM 协议进行网络通讯,包括服务的休眠、唤醒等。对于客户端的请求再通过协调模块判断后通过 PLC 通讯模块送至主控 PLC,最终通过与 PLC 相连的从站或者执行部件得以动作。

工程师站作为一个独立的应用程序运行于客户端。应用程序仅与网络接口相关。工程师站的控制动作通过 DCOM 接口最终通过 RPC 调用到达测控服务器,并由服务器解析、运算和执行(通过 PLC)。工程师站的主要工作在于人机交互。

4.3 广域网网络控制

针对连通性较强、数据性较强、实时性稍弱的情况,本工作引入了 B/S 结构。基于 Internet 通用 WWW 服务的方案将有能力在广域网上提供控制功能。用户只需访问相应的功能页面即可实现与 PLC 的通讯。与以往的广域网控制相比,测控服务不需要用户下载任何的客户端 ActiveX 控件,即可独立运行。数据流将限定在标准的 HTTP 访问中。

服务器端分为两个部分:动态页面部分完成用户交互页面生成,响应用户的请求,并与 Web 代理模块通讯校验用户等级,校验请求语法、语义,并将用户请求送至测控服务;Web 代理模块主要完成进程间通讯,使用户请求信息跨越 WWW 服务的进程边界到达测控服务。

客户端有可访问测控服务器站点的浏览器即可。

5 结束语

串列加速器升级工程完成后的加速器组合将成为我国核科学技术领域开展基础和应用研究的重要平台之一,其计算机控制系统将实现该加速器组合的可靠、稳定运行;控制系统方案设计采用现场总线与信息网络相结合的方式,为连接 PLC、VXI 等各种测控平台打下基础,预先实验研究工作为工程的开展做好了技术准备。

对西门子工厂自动化工程有限公司徐一滨先生和中国核工业第四设计研究院的有益建议,以及在控制系统预先研究的实验平台软件方案调研中,中国原子能科学研究院测控研究室李兴研究员的讨论在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] Mouat MM, Davison B, Kadantsev SG, et al. Status Report on the TRIUMF Central Control System [A]. Proceeding of 1997 International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems [C]. Beijing: Science Press, 1997. 43 ~ 46.
- [2] Tatum BA, Juras RC, Meigs MJ. Control System for the Holifield Radioactive Ion Beam Facility [A]. PAC '95 [C]. USA: [s.l.], 1995. 2 202 ~ 2 204.
- [3] Theron PJ, Hogan ME, Kohler IH. The Present Status of the NAC Control System [A]. Proceeding of 1999 International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems [C]. Italy: [s.l.], 1999. 158 ~ 160.
- [4] 李振国. 30 MeV 回旋加速器控制系统 [R]. 北京: 中国原子能科学研究院, 1995.