

超灵敏小型回旋加速器质谱计 实现交替加速的计算机控制系统和控制软件

李德明

(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

摘要 主要介绍实现 SMCAMS 交替加速运行的计算机控制系统和控制软件, 也介绍了测量系统的建立与原有的电源系统的改进。

关键词 计算机接口, 控制软件, 测量系统

中图分类号 TL 542 A

一台实用的加速器质谱计需要解决测量速度和测量精度, 就必须做到多种粒子快速自动交替加速和测量几种不同离子, 如 ^{12}C 、 ^{13}C 和 ^{14}C 。所以, 这一工作在回旋加速器上并无先例。

本工作为研制一套可靠的、高性能的小型回旋加速器质谱计上交替加速运行的计算机控制系统建立相应的硬件和软件, 以实现必须的电源控制和数据获取。其主要工作包括: ①建立 STD 总线控制系统, 包括和各控制对象(高压源、频率、D 电压、测量系统等)的接口; ②建立 ^{12}C 、 ^{13}C 和 ^{14}C 的计算机测量系统之硬件和软件; ③对现有电源进行测试和可控性改进, 改进或置换性能不够的电源; ④建立 STD 系统交替加速控制软件, 建立测量系统数据获取软件; ⑤探索多样品交替加速的最佳控制流程, 解决系统可靠性问题。

为减少无效劳动, 提高可靠性和通用性, 我们采用标准的 STD 总线控制系统作为基本的控制系统。并采用 IBM-PC 兼容的 CPU 板, 以利于在微机上进行交叉软件开发。采用 Turbo Pascal 语言作为主控制系统的编程语言, 以提高软件的易开发性和可维护性。

1 交替加速的要求

为了提高加速器质谱计测量精度, 克服加速器参数和离子源样品随时间变化所造成的分馏效应, 就必须做到自动交替加速和测量几种不同离子, 如 ^{12}C 、 ^{13}C 和 ^{14}C , 以减少 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 和 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值的测量误差。不同于串行型加速器质谱计, 在回旋加速器上实现交替加速要困难得多^[1]。由于磁场不能变化, 要加速不同质量的粒子, 就必需改变高频频率、三角波加速电压和注入能量、注入引出偏转板电压等几乎所有的高压电源。具体的要求如下: ①高频频率和主磁场电源的稳定度必须好于 5×10^{-6} 。高压电源(能量电压和各偏转板电压)的稳定度必须好于千分之一, 希望能达到 5×10^{-4} 或更高。②所有的电参数必须能快速改变 15% 左右。在规定的切换时间内(例如 5s)各高压电源输出需稳定在新的预定值之千分之

一精度上（目前的条件下）。③测量系统（包括束流积分仪和计算机多道测量系统）需作同步的切换。

2 控制系统计算机与接口

2.1 控制系统计算机组成

由于超灵敏小型回旋加速器质谱计小型化的要求以及经费的限制，我们没有采用大型加速器常用的 CAMAC 等大型计算机控制接口，而采用了 STD 总线（小型工业控制总线）控制系统。STD 系统采用标准机箱和小插卡，具有性能可靠、维护方便、价格低廉等优点，在 90 年代初期是较为流行的小型控制系统。虽然控制规模较小，但能够满足小型回旋质谱计交替加速电参数的控制要求。选用北京电子工业部 502 所生产的 STD 系统 II 机型，它具有与 IBM-PC/XT (8MHz) 兼容的优点，便于在其他 IBM-PC 微机上进行交叉软件开发。

STD 系统 II 的组成如下：（1）具有 20 个插槽的机箱；（2）两个能提供 ± 5V、± 15V 等电压的开关电源；（3）IBM-PC/XT 兼容的 CPU 插卡，主频 8MHz，具有 512K 内存，卡上提供串行口和打印机接口；（4）EGA/ 单色两用显示卡，软盘驱动卡和总线匹配卡；（5）各种可选的 I/O 卡。所有的 I/O 卡都采用光隔离，光隔两边用不同的低压电源供电。模拟量采用 12 位的 DAC 和 ADC（精度为 2.5×10^{-4} ）。配置的 I/O 卡有：12 位 4 路（D/A）模拟量输出卡 4 块（共 16 路），12 位 16 路差分（或 32 路单边）（A/D）模拟量输入卡 1 块，32 路达林顿管 OC 开关量输出卡 2 块，32 路开关量输入卡 1 块。

2.2 控制对象与要求

STD 控制系统负责对 14 路直流高压电源、高频三角波电压、高频频率、束流积分仪计算机多道测量系统及多靶离子源换样的控制。

2.2.1 14 路直流高压电源 所有高压电源均自制。每路电源均要求 0-5V 的控制电压（D/A）和 0-5V 的采样回输电压（A/D）。除了四路导向电压外，每个电源均由一路输出开关量进行封闭控制，当开关量为无效时，封闭电源输出为 0。其中，1-3 路电源为高电位浮置电源，通过控制光纤地面站对其进行控制。各路高压电源的名称和电压范围如下所示：

名 称	电压范围 /kV	名 称	电压范围 /kV
(1) 离子源溅射电压	0 - +10	(9) 垂直注入偏转板	0 - +5
(2) 注入器聚焦电压	0 - +10	(10) 水平注入偏转板	0 - +5
(3) 离子源吸出电压	0 - +30	(11) 引出偏转板电压	0 - +10
(4) 注入能量电压	0 - -30	(12) 测量偏转板电压	0 - +5
(5) - (8) 导向器电压	-0.5 - +0.5	(13)、(14) 四极透镜电压	0 - +15
X1, Y1, X2, Y2			

2.2.2 高频三角波电压 ($V_{p-p}=0 - 1kV$) 通过输出 0-5V 电压控制电子管的帘栅极电压，采样电压亦为 0-5V。由于帘栅压和输出三角波幅度的近似二次函数的非线性关系，控制程序中需对控制电压进行非线性修正。此控制对象被称为第 15 路电源。

2.2.3 高频频率 通过 20 路开关量采用 BCD 编码进行直接控制。变化范围为：0 - 9.9999MHz。

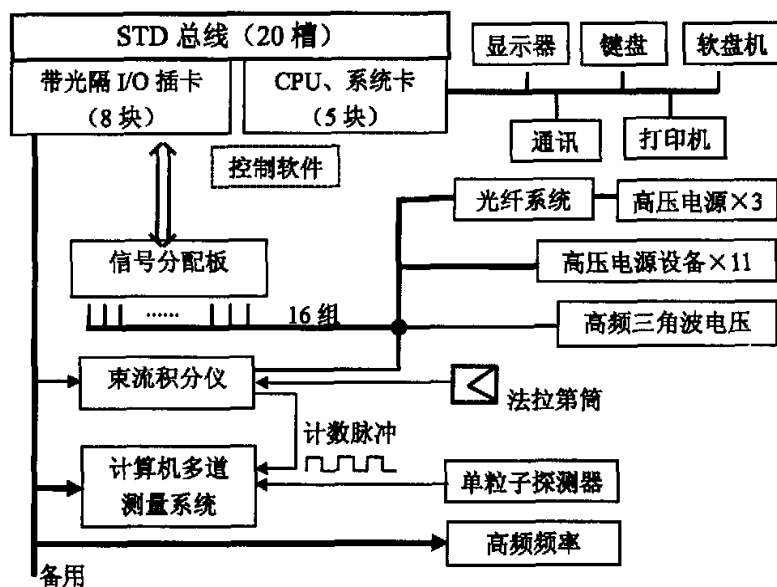
2.2.4 束流积分仪 共用 5 路开关量，控制量程（ $10^{-5} - 10^{-11}A$ ）、计数和复位。所测得束流按满量程 0 - 5V 回输给计算机。

2.2.5 计算机多道测量系统 由7路开关量进行单向遥控, 保证交替加速时实现同步测量。测量结果由本地计算机记录, 不回输给控制机。

2.2.6 多靶离子源的换样品控制系统预留了几路输入和输出开关量给将来的多靶离子源换样品控制用。

2.3 控制系统的连接

由于所有的D/A、A/D和开关量信号都集中在各自的I/O插卡上的扁平插座上, 而高压电源设备却只要每种信号各一路。为了增加连接的有序性和灵活性, 我们专门开发了一块信号分配电路板。利用板上走线的灵活性, 将由7个大插座引入的信号线分配到16个小插座上, 大插座由扁平电缆和I/O卡相连, 再把小插座和机箱上的航空插座连接起来。这样, 巧妙地解决了分配各种信号的问题。系统的信号连接如下所示:



2.4 系统的抗干扰

STD 总线系统具有良好的抗干扰性能, 但由于各种历史原因, 各被控电源设备的信号地、高压地和机壳无法分开, 而且每块 I/O 卡上的各路 I/O 信号都公用同一个公共地, 造成光隔后的信号地线的多回路问题, 一定程度上降低了系统的抗干扰性能。我们采取了如下措施: ①为减低设备对 CPU 和总线的影响, 所有的 I/O 卡均选用带光隔离的型号, 并架空总线上的信号地; ②对控制计算机采用净化电源供电; ③使计算机用的两个开关电源的外壳良好接地; ④对高频三角波发生器的电源进线与控制信号进行滤波; ⑤每个高压电源使用独立的高压地线; ⑥使用屏蔽机箱和带屏蔽的电缆与接插件。使得在绝大多数条件下, 控制系统能够稳定工作。

2.5 硬件系统的调试程序

硬件调试程序“*IOT*”专为该控制系统写成, 操作非常简便, 可直观地设置和调节

所有16路D/A输出,设置开关量输出卡的32路输出,并随时显示A/D卡和开关量输入卡的所有输入信号,是硬件调试的强有力手段。

3 电源系统的测试和改进

交替加速对电源等电子学设备要求很高。为满足交替加速的要求,我们对国产的电源设备和多道光纤参量传输系统进行了仔细的测试、维护和改进提高。

3.1 高压电源的改进^[2]

①集中解决了与计算机相连接的电源和光纤系统地面站的可控性问题。通过改动设备的部分电路,统一了各电源的控制逻辑和接插件上的信号编号,为一些没有“外控封闭”功能的设备增加外控封闭功能。

②利用已经建立的STD计算机控制硬件系统,于1993年底编制了可同时长期监视16台电源稳定性的程序MMS,该程序能够动态显示各台电源的稳定度曲线。被采集信号来自电源的输出采样信号。这项工作为测试电源的长期稳定性创造了条件。

③在STD计算机控制系统上编制了电源输入输出响应曲线测试程序XYT。该程序能够给出电源设备在外控信号突变后输出电压变化的响应曲线,最小采样时间间隔为1ms。程序的建立为考察电源的调变性能提供了手段。图1给出了典型的高压电源输入输出响应曲线(0~30kV能量电源)。

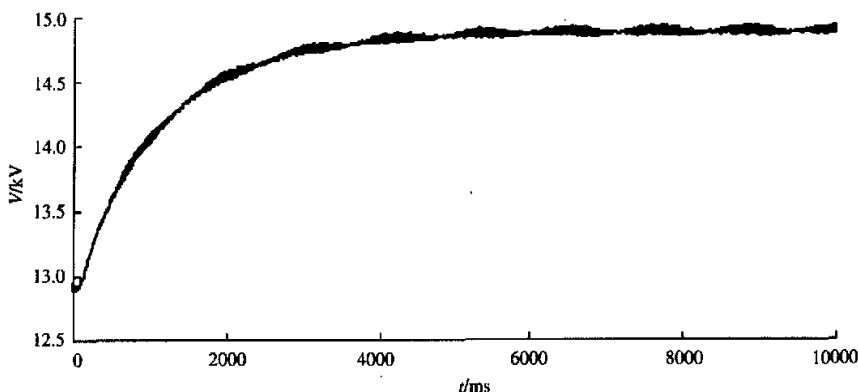


图1 能量电源输入输出响应曲线

Fig.1 The input-output response of the energy power supply

④逐一测试了各电源取样信号的稳定性,改进了个别稳定性差的电源。

⑤从实验中我们发现有些电源的输出采样信号不能完全反映输出电压的变化。例如能量电源,计算机上采集到的信号的稳定度已经进入1%,然而真正的高压输出仍可能变化千分之几,甚至达1%。我们在电源外另外设立了一个高压取样回路,并用数字面板表监视。束流调试证明这个外部的取样是正确的。通过简化电源内部的取样放大回路,采用机箱强制通风等措施,现在能达到在开机4~5h后,这台电源的取样比的变化小于1%。

3.2 主磁场电源稳定度的提高

原有的本所生产的磁场稳流电源的稳定性 (2×10^{-5}) 不能满足小回旋质谱计的要求。我们从丹麦 Danfysik 公司引进了一台稳定度可达 1×10^{-6} (1ppm) 的稳流电源。这是一台可以接受数字遥控指令的全数字化稳流电源, 为此我们重新改写了磁场励磁程序 EXC。

在使用过程中, 发现这台进口的装置受高频三角波的干扰, 三角波电压从 0 ~ 1000V_{pp} 变化时, 受干扰程度达到万分之一的水平。经反复试验, 认准主要的干扰途径是电源电流输出回路^[1]。通过采用加电源输出回路滤波和电源进线滤波等措施, 电源受干扰的问题已经降低到了可以忽略的程度^[2]。

4 测量系统的建立

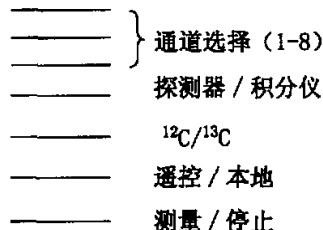
为满足交替加速和实际测量样品的需要, 利用当时我国的技术, 设计并建立了基于 IBM-PC 微机多道分析器的交替加速自动测量系统。

4.1 改进的束流积分仪^[2]

我所生产的束流积分仪可以工作在量程 $10^{-4} \sim 10^{-11}$ A 范围, 并具有很好的线性和精度。但由于没有量程遥控接口, 且满量程积分计数率只有 10counts / s, 不能满足交替加速的要求。我们对其进行了改造, 增加了量程遥控功能, 量程可从 $10^{-5} \sim 10^{-11}$ A 范围内选择; 改进了 I-f 转换系统, 满量程积分计数率为 10000counts/s, 计数脉冲采用 TTL 电平输出, 可送往微机多道进行计数; 束流强度转换为 0-5V 电平输出, 作为控制系统束流监视信号。

4.2 IBM-PC 微机多道插件

委托上海原子核研究所五室制作的 256 道微机多道插件与 IBM-PC 微机构成了微机多道测量系统。由于探测 ^{14}C 的微通道板单粒子探测器也能探测到 X 射线本底计数, 所以利用两种计数脉冲的幅度差异, 采用多道测量方法对其进行记谱处理是必然的做法。该插件还能对来自束流积分仪的脉冲进行计数, 并可接受主控计算机的遥控信号 (如右所示)。当选通探测器输入时, 具有硬件记时功能。



4.3 在线多道测量控制软件

在线多道测量 (数据采集) 控制软件 “MCA” 是微机多道测量系统的基本软件。原来由硬件开发者提供的 MCA 软件已不太适应新的要求, 于是我们于 1996 年底用 Borland C++ 语言重新开发了新版的 MCA 软件。新版软件具有以下特点: ①彩色浮雕效果的 VGA 界面; ②具有 8 组 ^{14}C 谱区和 8 组 ^{14}C 本底谱区; ③支持 ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}C 和 X 射线本底 4 种状态的遥控交替测量, ^{12}C 和 ^{13}C 的信号取自积分仪, ^{14}C 和本底的输入取自单粒子探测器; ④具有动态剥离本底和动态显示谱的功能; ⑤支持误差 1ms 的精确硬件记时; ⑥再启动时恢复上次退出时的状态。

5 交替加速控制软件 ALTER

交替加速大型控制软件 “ALTER” 是超灵敏小型回旋加速器质谱计交替加速控制系统

的核心。自1994年秋季开始调试以来,经过了长期的运行考验和不断的改进完善,已走到了实用的阶段。实际上已经超出了纯交替加速过程控制的范畴,成为质谱计日常开机、关机、调束和交替加速、测量的控制中心。

5.1 软件的特点

ALTER是一个独立完整的全中文化界面的软件,是运行在IBM-PC兼容的小型回旋加速器质谱计STD总线控制系统上的专用程序。源程序由支持面向对象的语言Turbo Pascal 7.0写成,编译后为单个EXE文件。运行环境为:MSDOS 3.1以上,EGA以上显示器。软件自带高速汉字显示和内嵌小汉字库,无需中文操作系统。人机界面采用分层菜单、多层重叠窗口和多编辑域,由键盘进行操作。由于硬件限制,不支持声音和鼠标器。重要操作都要求确认。

5.2 软件的功能

ALTER软件专为小回旋质谱计控制系统而编,实现了控制系统硬件的所有低层功能。但用户接触到的是以下的一些高级功能。

(1) 屏幕上随时显示:所有电源设备的当前采样值(转化成实际电压值)和该值与参考值的偏差;被加速粒子种类和高频频率;离子源样品号和样品已使用的时间;多道测量系统状态与通道号、法拉第筒的束流强度和积分仪量程。可选择显示电源的参考值和设置值,或误差的统计值,其交替加速控制软件屏幕显示如下所示:

(2) 对每个电源皆可进行以下操作:粗调或细调电源输出,直接设置电源输出值,自动调节输出至参考值,改变参考值,锁定电源输出(用软件反馈的方法稳定电源输出),以及对不控制的电源设置“离线”状态。

(3) 可进行改变高频频率、设置积分仪量程及改变离子源样品号等操作。

(4) 可同时快速调整所有设备的状态至一个已知的(已存过盘的)状态,称为自动加载。慢速的自动加载就是“自动开机”。还可以完成自动关机、清除误差统计等全

局操作。

(5) 任何时候可以将当前工作状态(工作参数)以某一名字存盘,作为以后的参考。以 ALTER_12 等特定名字存盘的参数将被作为交替加速过程使用的参数。已存盘的参数可以拷贝、换名和删除,最多可以存储 256 个工作参数。

(6) 可以安排一个交替加速计划并启动交替加速过程。或者启动“伪交替加速”,此时只有多道测量系统在“交替测量”。

(7) 如果改变了硬件接口参数或调换了电源,或者用户想改变某些系统参数,大部分情况下无需修改软件,只需打开“系统配置菜单”进行重新配置即可。可以对 30 多类不同的系统参数进行配置,并以文本方式存在磁盘上。

5.3 软件的一些特殊考虑

(1) 为保证微通道板探测器的安全,高频频率和测量偏转板电压之间存在严格的联锁关系。一旦频率被调节出 ^{14}C 的工作范围,测量偏转板将先降至 1kV 以下。反之,如测量偏转板电压无法降低(如放在本地),则频率无法调节出 ^{14}C 的范围。

(2) 为避免国产电源调至满量程时造成损坏或电压过高时造成打火,每台电源都设有“极限电压”保护。用户可以设置这些参数。

(3) 大部分情况下,软件能够根据电源的响应判断电源是否联机工作,对检测出脱机的电源设置“本机”状态以避免“故障”状态出现。可以关闭此项检测功能。

(4) 软件自动根据与离子源有关的电源状态决定启动或停止样品计时。

(5) 当前的工作状态随时被保护在一个特殊的“虚盘”上,只要不关掉控制计算机的电源,死机后即使热启动计算机,ALTER 也能自动恢复到先前的工作状态

(6) 为了能在别的计算机上运行调试 ALTER 软件,源程序中带有一套虚拟的硬件驱动接口代码。临时使用虚拟的接口代码,就能够在任何一台 PC 机上调试软件所有的高层次功能,然后用正确的接口代码重新编译就可得到新的运行程序。

6 交替加速测量过程

在启动交替加速前,必须先对 ^{12}C 、 ^{13}C 和 ^{14}C 分别调束,然后将工作参数存盘成交替参数。为了减少由于参数调整不佳造成的分馏效应,先调 ^{14}C 粒子(用 ^{13}CH 粒子代替),然后根据相似轨道的原则,按比例改变能量电压和各偏转板电压,由此确定 ^{12}C 和 ^{13}C 的工作参数。

由于交替加速时采用全部粒子同时注入,导致 X 射线的干扰强烈。实验表明,当交替加速 ^{14}C 时,约有 10 μA 的 ^{12}C 粒子同时注入到中心区,并有 2 μA 的 C_2 粒子注入到大半径。我们在中心区内放置了一块铝挡板,把 X 射线干扰降低了 2/3,但仍有一定强度的 X 射线干扰了 ^{14}C 的精确测量。我们采用交替加速时每个周期内增加一个测量 X 射线本底谱的过程,用以剥离消除 ^{14}C 谱中的 X 本底,使 ^{14}C 的探测效率提高到 90%。这个方法改善了 ^{14}C 计数的准确性,增加了 ^{14}C 的计数率,也提高了小回旋 AMS 的探测 ^{14}C 的丰度灵敏度。

经过反复的实验,根据现有的设备情况,我们现采用的典型的交替加速过程: ^{14}C 本底为 20s, ^{14}C 为 20s (或 100s), ^{12}C 为 5s, ^{13}C 为 5s。测量的周期数根据统计误差的要求而定。

7 结束语

在小型回旋加速器质谱计上建立多粒子交替加速过程, 对于我们这些加速器工作者来说, 不是一件容易的事, 特别是在全部国产化的控制设备和被控设备上。经过我们的努力, 目前各高压电源的控制精度已达到 1%, 基本上等于高压电源的精度。高频三角波加速电压漂移约为 1%, 采用软件“锁定”控制后稳定度也可达到 1%。为超灵敏小型回旋加速器质谱计研制项目第二期前期任务的完成起了极为重要的作用。

我们在实际工作中也发现, 现有的电源设备系统的长期稳定性和可靠性很低, 不能满足质谱计走向实际应用的要求。在经费允许的条件下, 我们打算全面更新电源设备系统和控制系统, 以实现更高的控制精度和运行可靠性。

参 考 文 献

- 1 CHEN Maobai, LU Xiangshun, LI Deming, Nucl Instr. Meth. 2000, B172:193-200
- 2 沈立功. 中国科学院特殊支持项目〈超灵敏小型回旋加速器质谱计 ^{14}C 分析方法的实验研究〉总结, 1997:100
SEN Ligong. Internal report, 1997:100

Micro-computer based control system and its soft ware for carrying out the sequential acceleration on SMCAMS

LI Deming

(Shanghai Institute of Nuclear Research, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract

Micro-computer based control system and its software for carrying out the sequential acceleration on SMCAMS is described. Also, the establishment of the ^{14}C particle measuring device and the improvement of the original power supply system are described.

Key wordes Computer interface, Software, Measurement system

CLC TL 542