

北京谱仪在线系统

刘悦军 朱国胜 李大仕 吴为民 林 薇 扬长友 陈元柏
赵维仁 张长春 张柄云 黄因智 董雪生 潘兆辉
(中国科学院高能物理研究所,北京)

摘 要

描述了北京谱仪在线系统的硬件设置和软件组成。这套在线系统同北京谱仪及其读出电子学联机运行,成功地获取了宇宙线数据,实现了各种图形显示与输出。

北京谱仪(BES)是在北京正负电子对撞机(BEPC)上运行的大型探测器,由中心漂移室(CDC)、主漂移室(MDC)、飞行时间计数器(TOF)、簇射计数器(桶部BC和端盖EC)、 μ 子计数器(MU)和亮度监测器(LUMI)组成。借助4.5KG大型磁场,能有效地分辨电子、光子、 μ 子和强子等正负电子对撞产生的末态粒子,并经过两万路电子学读出线路把末态粒子的信息加以变换与储存^[1,2,3]。BES在线系统的任务就是利用计算机完成粒子作用事例信息的获取、分析与记录,同时监测探测器及电子学系统的运行状况。

一、BES在线系统的结构与功能

1.1 事例率、事例长度与死时间

北京谱仪在 J/ψ 能区,亮度 $L = 4 \times 10^{29} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的条件下运行时,预计事例触发率为3Hz。事例长度接近4k字节。为了增强数据获取能力,缩短系统的死时间,采取了以下两项措施:

1) 按照探测器各子系统的数据输出量,顺次完成读取数据的操作。数据量小、电子学处理与输出快的子系统优先读取,以缩短等待时间。

2) 在VAX机上,把数据获取任务的运行优先级取为16,高于所有其他任务程序。它能对VCC-CAMAC系统的中断请求作出实时响应。CAMAC的数据读取指令在VAX程序中成组包装,VCC设备按指令组起地址逐条取出与发送。在VCC设备与VAX机之间的数据传送是以直接内存访问(DMA)方式进行的。这些措施有效地缩短了VAX程序发送CAMAC指令和传送数据的时间。

事例的获取与记录是异步完成的。实测表明,事例记带不增加系统的死时间。数据获取时间主要决定于 BADC 的数据处理时间和 CAMAC 至 VAX 的数据传送时间。由于各 BADC 并行处理,数据处理时间由路数最多的 BADC (子系统 BC, 1680 路/BADC) 决定,约为 12ms。实测给出, CAMAC 至 VAX 的数据传输率为 $3.2\mu\text{s}/\text{字节}$ 。当事例率为 3Hz 时,预计在线系统的死时间将小于 8%。

1.2 系统构成

BES 在线数据获取系统由 VAX 11/785 机、VCC (VAX—CAMAC—Channel) 接口设备和 CAMAC 多分支系统组成^[4]。

VAX 785 机配有 6 兆字节内存,容量为 456×3 兆字节的 RA 81 磁盘和两台 TU 78 磁带机。HP 2686 型激光打印机和 LXY 12 型行打机用于图形的绘制和输出。各种图形能显示在 AED 512 和 TEK 4111 两台彩色屏幕设备上(见图 1)。

VCC 是作为计算机外接在 VAX 机上的。它的起动、停止与状态测试都是在 VAX 机指令的控制下进行的。VCC 从指定的 VAX 内存地址单元取出操作指令,转入与执行相应的微码程序。它向分支驱动器发送 CAMAC 指令,控制 CAMAC 指令周期的信号同步,且完成在 VAX 机与 CAMAC 之间数据传送与格式包装。

两个 CAMAC 系统机箱借助分支接受器和差动分支通道电缆同 VCC 相连。装在系统机箱内的分支驱动器带动 7 个 CAMAC 分支,从而构成一个可扩充的 CAMAC 多分支系统。大量电子学插件^[2,3](包括取样保持、校正系统、控制插件、CCU-BS 机箱控制器与触发判选插件)分放在二十八个 CAMAC 机箱中。

1.3 数据预处理与 BADC 插件

两万路读出数据的预处理工作是由 25 台 BADC^[5] 插件担任的,它们分放在各分支的 CAMAC 机箱内。BADC 内部装有可编程序处理器,完成以下四項工作:

- 1) 模拟信号的数字化;
- 2) 数据的压缩(删去低于截断值的数据);
- 3) 对数据作二次校正;
- 4) 给每项数据配置标记字,用于探测单元的识别。

BADC 在其所在 CAMAC 机箱中构成自治 (Autonomous) 子系统。有第一个模拟信号接受至全部数据字就绪全在 BADC 控制下完成。在 BADC 操作期间,来自 CAMAC 机箱的任何指令操作都应被禁止。

1.4 中断产生和 LAM 请求

BES 在线系统采用了由系统中断插件 SIM 和远程中断插件 RIM 组成的中断系统。在 BES 实验中,存在着三个中断信号源:北京谱仪触发,亮度监测触发和激光校正,它们的信号分送入 RIM 插件的三个不同的输入端。RIM 插件一旦接收到中断请求信号,就发送一个中断数据字到 SIM 插件中。VCC 的中断请求获准后,VAX 机从 SIM 插件读取这个中断数据字,确定中断源。

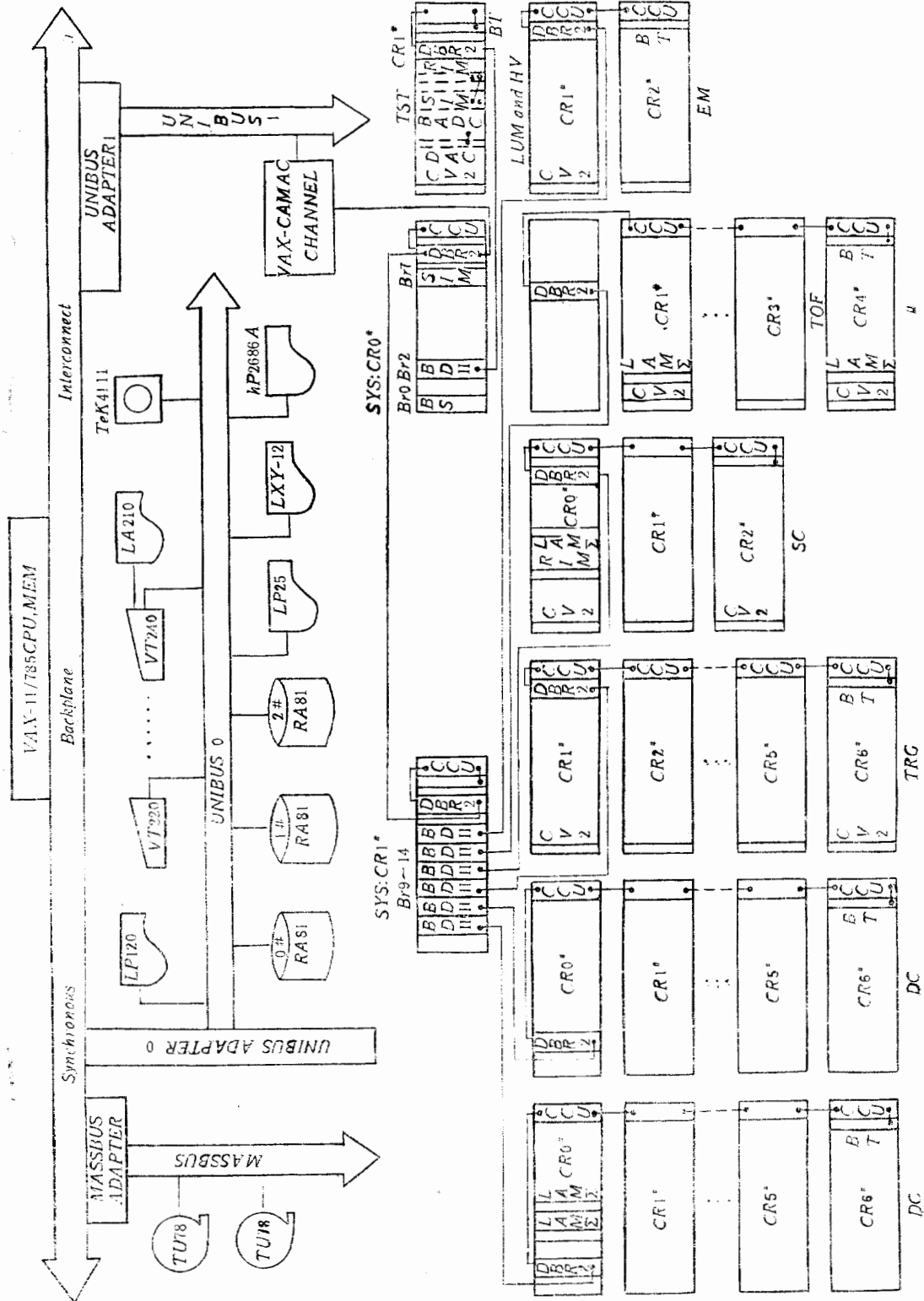


图1 北京谱仪在线系统的构成

每个 LAM 与门插件接受同一子探测器各 BADC 的 LAM 信号, VCC 等待 LAM 的时间超过 64k CAMAC 指令周期, 将发送出错信息。这样, 就能够及时发现事例读出过程中可能存在的硬件故障。

二、用于数据获取和分析的在线程序系统

在 VAX-VCC-CAMAC 硬件结构基础上, 建立了一套北京谱仪数据获取与分析程序系统。它是由多个数据获取任务和一系列数据分析任务组成的。每个任务都是一个可装卸的程序模块(见图 2)。主触发事例、亮度监测数据和激光刻度数据分别由三个数据获取任务读取, 并被存入数据缓冲区中, 直方图分析等数据取出任务从数据缓冲区取出数据, 完成规定的分析工作。这套程序系统的数据缓冲区管理程序和协调诸任务运行的调度方法是从 SLAC 实验室的 Mark 3 组引进的, 北京谱仪实验所需的数据库和各种任务程序是自行编写的。整个程序系统分成命令、报错、前台、后台和绘图等五个独立的作业进程, 它们的联合运行与调试, 是在同北京谱仪各子探测器及其读出电子学的联机实验中逐步实现的。

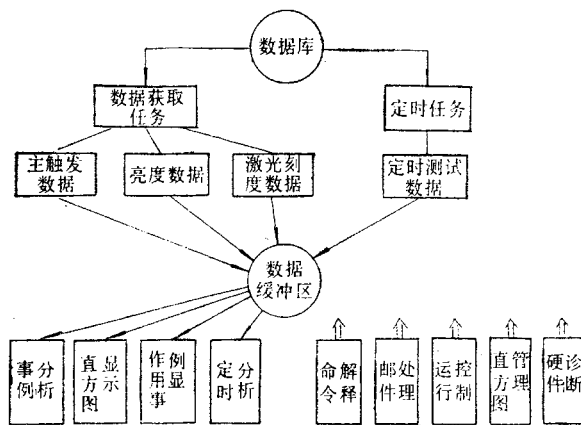


图 2 由多个数据获取任务和分析任务组成的 BES 在线程序系统

图 1 北京谱仪在线系统的构成

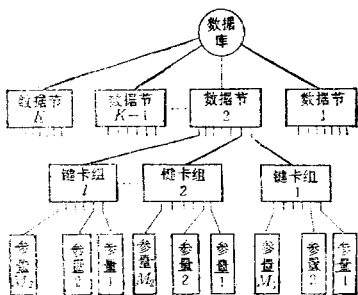


图 3 北京谱仪数据库的树形结构

2.1 数据库

北京谱仪数据库是按数据节—键卡—参量的树形结构写成的字符形文件(见图 3)。它用于描述数据获取系统 CAMAC 硬件的配置与布局。定义 CAMAC 操作指令格式和各子探测器的运行状态。VCC 通道程序(Channel Program)指令也放在数据库中。数据节名、键卡名和参量名在数据库调用程序中读入, 它们的值被放入公用区中, 供任务程序

引用。

节名为 CALIBRATION 和 CAMAC 两个数据节的编写和调试工作已经完成。前者用于读出电子学(包括 BADC 插件)的硬件刻度, 后者定义 CAMAC 系统的配置。CAMAC 数据节是以下几种键卡组的集合:

1) CAMLOC 键卡。建立 CAMAC 逻辑地址与物理地址之间的对应关系。程序中引用逻辑地址, 而在指令操作时指定物理地址。CAMAC 键卡的参量设置见表 1。在

表1 数据库中 CAMLOC 键卡的参量名与值

CAMLOC 键卡	CAMAC 逻辑地址	CAMAC 物理地址			
		BR	CR	MOD	A
参量名	LOC				
值	逻辑号	分支号	机箱号	模块号	子地址号

CAMAC 单指令操作中使用 CAMLOC 键卡比较方便。

2) BADC 键卡。定义 BADC 插件的逻辑地址和结构参数。首张键卡用于指定一个结构参数文件。BADC 全局和部件参数的设置由这个文件完全描述^[7]。

3) CAMOP 键卡。一张卡片定义一条 VCC 通道程序指令。它包含了指令逻辑地址、FCNA 操作码、X 与 Q 响应方式、传送字节数、缓冲区字节移位数以及指令所属于探测器编号等内容。BADC 及其 LAM 与门插件的读操作指令、触发判选系统的还原指令等都需用 CAMOP 键卡定义。

4) BESACQ 键卡。它由一串 CAMOP 卡的指令逻辑地址值组成,用于检索与组成一套完整的 VCC 通道程序,实现事例读出。

5) BESYS 键卡。指定各子系统的状态(接通与关闭),以及相应 BADC 的读出方式(通过、校正但不压缩、校正并压缩等方式)。

由于采用了树形结构,北京谱仪数据库能容纳一个庞大的多分支 CAMAC 系统的参数集合。数据库结构的层次清楚,描述完整。同物理设备有关的参数集已被吸收到数据库之中,因而,程序系统本身的设备依赖性减少,具有更多的灵活性。

2.2 终端模拟的触摸屏

借助软件手段,在有屏幕图形显示功能的 DEC 终端设备 (VT 240/241 等)上模拟与实现了触摸屏的功能。这一做法避免使用非标准的触摸屏设备,明显地提高了命令进程软件接口的通用性。使用鼠标(如 VT 340 终端)代替键盘控制的光标定位,将能在屏幕显示和命令传送的速度方面接近触摸屏的特性。

用程序方法模拟触摸屏的功能,就是利用 VAX/VMS 系统中 QIO 读操作的 AST 入口,使坐标的输入和中断的产生同时实现。在终端上敲入键坐标时,命令进程的执行被中断,转入 AST 服务程序地址,置事例标志——表示新操作命令的输入。命令进程接受输入的键坐标,检索屏幕键定义文件,找到相应的操作功能。接着,它将形成一个字符串命令,并发送给有关的任务程序,加以执行。DEC 终端的触摸屏还可以借助 VAX/VMS 提供的屏幕管理系统 (SMG) 加以实现。SMG 系统提供一套可调用子程序,用于实现终端屏幕的各种管理功能。在 SMG 系统基础上,同样实现了命令进程在 DEC 终端上的成功运行。操作命令以键格形式显示在 DEC 终端屏幕上,移动光标,便能选择与发送命令。

Ann Arbor 型终端专用于显示事例获取与分析的状态信息及各进程运行的错误信息,也可以用于输入新选择的运行参数。在研究与解决了这类非 DEC 终端在 VAX/VMS 系统中的识别问题之后,将它和一台终端模拟的触摸屏组成人机对话的通讯站。

命令进程控制终端模拟的触摸屏幕与 Ann Arbor 终端两台设备,实现命令的输入与语法诊断,且借助邮箱设施,将命令传送给其他任务程序,加以执行。上述软件以及大量的屏幕键定义文件,已作为命令进程的重要部分,投入了正常运行。

2.3 图形输出与 UGS 库的扩充

BES 在线程序系统采用了美国 SLAC 实验室开发与建立的 1987 年版 UGS 绘图程序库。UGS 库可在多种绘图设备上绘制图形^[6],但不支持 BES 实验使用的 TEK 4111 彩色屏幕设备。新编写的同设备有关的程序模块 SDD 4111,解决了 UGS 库在 TEK 4111 设备上的显示问题。在 SDD 4111 模块的编写中,以下三点作了专门的考虑:

1) 在 UGS 的绝大部分子程序中都包含了一张同设备有关的名字引用表。新程序模块的名字必须正确地置入这张引用表中。

2) UGS 库中大量子程序都调用这个同设备有关的程序模块,完成显示指令的发送。因此,SDD 4111 程序的工作方式必须同 UGS 库的其他子程序完全兼容。

3) 在 TEK 指令模式下,完成图元(Graphic Primitive)和图件(Graphic Segment)的指令格式的包装。按照 TEK 4111 指令手册的规定,每条 TEK 指令由颜色码,坐标码,操作码和若干参数组成。在多条指令引用同一坐标码的情况下,程序允许在后续指令中省略坐标码,以缩短指令长度。

采用类似办法,还建立了另一个设备接口程序 HP 2686,解决了 UGS 库在 Laser Jet 激光打印机上的图形输出问题。

在将探测器与作用事例显示程序^[2]移植到在线程序系统的过程中,除了需建立上述设备接口程序外,还完成了以下两项工作:

1) UGS 库的版本更新。1987 年新版 UGS 库是采用 FORTRAN 77 语言编写的。同 1981 年版 UGS 库相比,它从程序内容到调用方式都完全不同。在显示程序中使用了新版 UGS 的窗口(WINDOW)设施,建立了物理屏幕和逻辑屏幕之间坐标转换关系,从而使绘图程序不依赖于物理设备的尺寸与坐标定义。因换库引起的子程序调用方式的改变和子程序功能的修改,也在软件开发过程中加以解决了。

2) 将显示程序的控制参数放入命令程序,解决命令界面的衔接问题。

2.4 事例分类与直方图分析

在北京谱仪运行期间,对探测器及其两万路读出电子学的工作状态作出快速、准确和综合的监测是在线系统的一项重要任务。事例分类和直方图分析程序,使用探测单元击中数据和分类的事例数据,分别完成探测器的两类不同的监测。

在第一类监测中,所用事例未作分类与筛选,仅要求探测单元击中数据高于台阶值。这类简单的数据分析,给出单元击中次数、时间、脉冲高度以及由它们的简单函数算出的间接测定量的分布。MDC 位置分辨的双峰分布和单丝触发效率分布, MU 和 BC 的 x 向位置分布, TOF 的击中时间分布等等,就是其中的几个例子。这些图形分布能直观地和迅速地监视探测器运行状态的变化。

第二类监测是在事例数据在线分析基础上,按照 $ee \rightarrow ee, \mu\mu, h$ 和宇宙线粒子作

表2 在线数据分析中各类事例判别条件一览表

事例类别	径迹数目 n	$\eta = E_{事例}/E_{CM}$	能量不对称性 A	说明
$e^+e^- \rightarrow e^+e^-$	2	>0.6	<0.5	
$e^+e^- \rightarrow h$	≥ 4			
	2	$0.6 > \eta > 0.4$	≤ 0.7	可能丢失部分强子
$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$	2	<0.4	—	用 TOF 值区分它们的类别
宇宙线 μ 子	2	<0.4	—	
束流-气体作用	1 或 2		>0.95	

用等几种事例的特征,完成所获取事例的分类,然后用粗选的物理事例,对探测器的性能参数进行监测,这种监测工作是按以下步骤进行的:

1) 利用飞行时间 (TOF)、簇射 (BC 与 EC) 和 μ 计数器 (MU) 读出数据,完成探测单元两端读出的配对处理,算出击中点的 z 坐标;由击中单元的几何位置粗定该点的 x 、 y 坐标。然后,经过击中单元簇射的寻找和直线拟合,找出径迹的空间位置。

2) 计算径迹数目 n ,能量 E 和能量流分布不对称性 A 。

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{\sum E_i}$$

这里 E_i 为簇射计数器测定的第 i 根径迹的能量与方向。

3) 按照一定的判别条件,将事例分类(见表2)。

4) 利用选出的物理事例,完成探测器几种性能参数的图形分布(见表3)。应当指出,在 z 向位置,能量和飞行时间的计算中,需要使用探测器的各项刻度参数。

2.5 读出电子学的刻度

在北京谱仪读出电子学系统中,输入信号和读出数值之间存在着非线性的关系,而且仪器的工作状态随时间和环境温度在不断地发生变化。为了提高测量精度,简化离线数据分析的处理手续,需要在

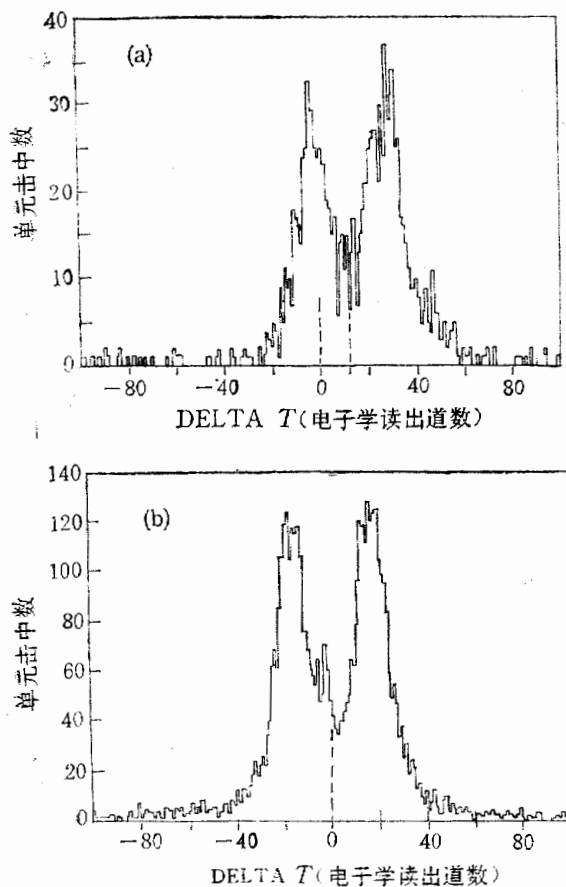


图4 主漂移室时间信息 ΔT 的双峰分布
a) 未校正数据; b) 校正后数据

表 3 在线数据分析中探测器参数的监测举例

名称	测量量	所用事例	被监测的探测器	说明
平均时间	$(T_1 + T_2)/2$	$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ h	TOF	
零时间	$\frac{T_1 + T_2}{2} - t_0$	$e^+e^- \rightarrow e^+e^-$	TOF	t_0 为粒子击中 TOF 前的飞行时间
脉冲幅度	Q	$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$	μ 计数器	测定好 z 值的 Q (单路)
事例能量	$\sum E_{hit}$	$e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ $\mu^+\mu^-$	BC, EC	—
极角余弦	$\cos \theta_{track}$	h		—
方位角	φ_{track}	cosmic μ 子 气体-束流作用		—

输入信号和读出数据之间保持稳定的线性关系。在运行期间,对读出电子学进行在线刻度,可以达到这一目的。刻度程序^[7]完成标准信号的产生与控制,BADC的启动与数据读出,数据拟合和校正参数的计算。

在刻度方式下,BADC对一组线性递增的标准信号重复进行多次数字化,并作出统计处理,BADC的数据将由VAX机按以下公式

$$y_i = \alpha(x_i - \delta) + \beta(x_i - \delta)^2, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

作最小二乘拟合。这里 y_i 是程序写入 DAC 插件的数值,用于产生一组线性递增的标准信号, x_i 是从 BADC 读出的一组数值。拟合算出的 α, β, δ 作为各道的校正参数被送回 BADC 内存的参数区。BADC 在校正方式下工作时,它在完成模数转换的同时,利用这些参数对数据进行逐道校正和压缩,从而在输入信号和读出数据之间保持各道一致并且稳定的线性关系。

在主漂移室的宇宙线事例分析中,做校正和不做校正的两种读出数据的比较表明,刻度效果是好的。在观察左右分辨的双峰分布图中,零点的系统偏差得到了很好的修正(见图 4)。

在 BES 在线系统的设计与建立过程中,叶铭汉教授给予了许多有益的指导与大力支持。在线联机调试工作得到了高能所一室其他组和电子学室同行的支持与大力合作。陆昌国、薛生田和郝伟提供了有益的经验。高能所电子学室和自控室的一些同志曾给予帮助。胡家鑫、扬大鉴和张报昌等同志先后对 VAX 机做了很好的维护工作。在此,我们一并致以诚挚的谢意。

参 考 文 献

- [1] 叶铭汉等,北京谱仪。第三届全国高能实验物理学术会议文集,1988年11月。
- [2] 北京谱仪探测器预制研究资料汇编,1987年11月。
- [3] 北京谱仪电子学预制研究工作资料集,1987年12月。
- [4] D. J. Nelson, et al., The VAX CAMAC Channel, SLAC-PUB-2633 (Oct. 1989)。
- [5] M. Breidenbach et al., Semi-Autonomous Controller for Data Acquisition (The Brilliant

- ADC), IEEE Tran. on Nucl. Sci., Vol. NS-25, (1978), 706.
[6] R. C. Beach, The Unified Graphics System for FORTRAN 77 (Nov. 1985).
[7] 吴为民等,北京谱仪在线系统的电子学刻度,见“第三届全国高能实验物理学术会议文集”,1988年11月.

THE BES ON-LINE DATA ANALYSIS SYSTEM

CHEN YUANBO DONG XUESHENG HUANG YINZHI LI DASHI LIN WEI LIU YUEJUN
PAN ZHAOHUI WU WEIMIN YANG CHANGYOU ZHANG BINYUN ZHANG CHANGCHUN
ZHAO WEIREN ZHU GUOSHENG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing)

ABSTRACT

The paper briefly describes the hardware configuration and software components of the BES (Beijing Spectrometer) on-line data acquisition system, and summarizes the development of this system we completed in the recent two years. A successful run of the on-line system has been performed in the BES'S cosmic ray test.