

大云室组动量选择器

赵经伦 毛素银 马纪虎 韩中来

(中国科学院沈阳自动化研究所)

顾逸东 代义方 董玉琚

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

采用“预选—寄存—运算再选”的方案，设计并完成了云南站大云室组的宇宙线事例选择系统。其中动量选择器应用了数字在线计算技术，设计了小型专用计算单元，根据荷电粒子在磁场中的偏转角与动量的对应关系，对寄存下来的描述信号进行快速运算和逻辑判断，从而实现单个荷电粒子的动量选择。

云南高山站大云室组配置了一套新的选择系统。这套系统包括单个荷电粒子动量选择器，核作用选择器和广延空气簇射密度选择器。三套选择器可以单独或同时使用。本文重点介绍其中动量选择部分。实际运行情况表明系统方案合理，装置稳定可靠，提高了选择效率，增加了选择事例的手段，对发挥大云室在宇宙线高能物理实验方面的作用有积极意义。

一、选择系统简介和动量选择原理

云南站云室组原有选择系统和工作情况见[1]。新的选择系统仍用G-M计数管阵列作选择探测器，但是改变了传统的将放电脉冲幅度瞬时叠加再鉴幅的作法，采用“预选—寄存—运算再选择”的方案。将满足预选条件的事例在计数管阵列上的放电信号点阵画面寄存下来，在事例产生到云室动作允许的时延内，用数字线路进行运算和逻辑判断，完成再选择。系统具有描述显示和打印记录等功能。在云室死时间内，可以自动插入运行，与磁场配合作动量谱仪使用。

动量选择器是用粒子在磁场中的偏转角 α 值来计算动量的：

$$P = 300H\rho = 300H \frac{d\hat{l}}{d\alpha}$$

积分得

$$P = \frac{300 \int_0^{\hat{l}} H d\hat{l}}{\alpha} \quad (1)$$

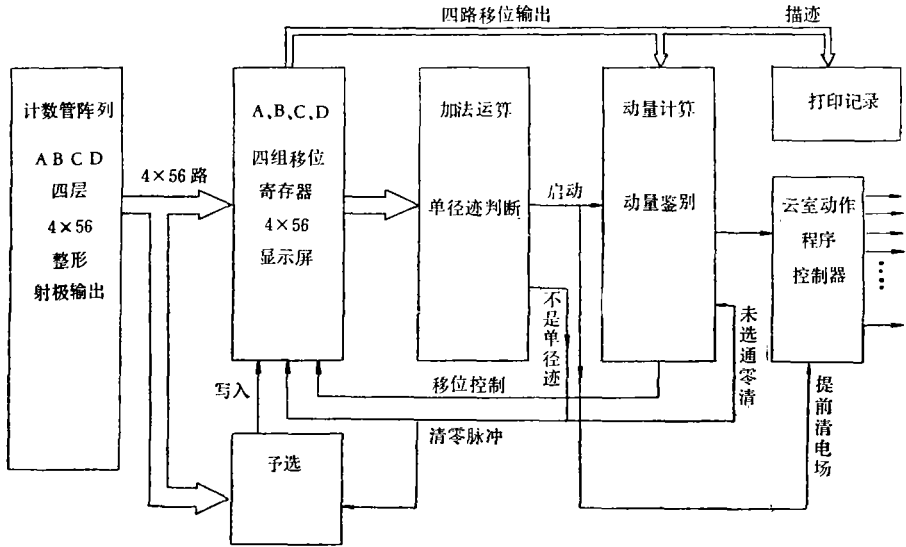


图 1 选择系统框图(核作用选择、密度选择未画)

如图 2 所示, $\alpha, \theta_1, \theta_2$ 均取 $0 \sim \frac{\pi}{2}$ 值. α 值可以由 θ_1 和 θ_2 确定. θ_1 在第一象限时有两种情况: 当 θ_2 在第四象限时, $\alpha = \theta_1 + \theta_2$. θ_2 在第三象限时, $\alpha = |\theta_1 - \theta_2|$. 同样, θ_1 在第二象限时也有上述情况. 统一可写成: $\alpha = |\theta_1 \pm \theta_2|$.

将 A、B、C、D 四排计数管分别编号, 如图 2. 若单径迹事例在阵列上触发放电的计数管序号分别为 A_n, B_n, C_n, D_n , 则入射角 α 就可以由序号差值 $n_1 = A_n - B_n$ 来确定, 出射角 θ_2 值可由 $n_2 = C_n - D_n$ 来确定. 这就是:

$$\theta_1 = \text{tg}^{-1} \frac{(n_1 \pm 1)d}{l_1}$$

$$\theta_2 = \text{tg}^{-1} \frac{(n_2 \pm 1)d}{l_2}$$

由于计数管阵列纵向线度很大, 实际上 θ_1, θ_2 值很小, 可以用其正切值近似. 如果再忽略由管径引入的误差项, 则有

$$\theta_1 \approx \frac{n_1 d}{l_1} \quad \theta_2 \approx \frac{n_2 d}{l_2}$$

θ_1, θ_2 所属象限由 n_1, n_2 的符号确定. 总之, α 可写成:

$$\alpha = \left| \frac{n_1}{l_1} \pm \frac{n_2}{l_2} \right| d \quad (2)$$

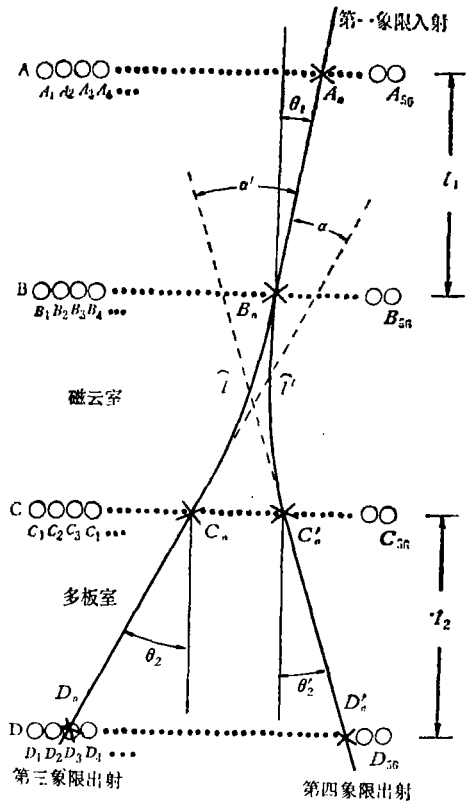


图 2 动量计算原理示意图

式中取+,一由 n_1 和 n_2 的符号决定。

综合公式(1)、(2),可以知道,在 l_1 、 l_2 选定后,如果动量选择器能计算出单径迹事例在计数管列上触发的放电管序号差,选择系统就可以判别这个事例的动量范围。

$$\text{如 } l_1 = l_2 \text{ 则: } \bar{h} = |n_1 \pm n_2| = \frac{\alpha \cdot l_2}{d} \quad (3)$$

$$\text{如 } l_1 = 2l_2 \text{ 则: } \bar{h} = |2n_1 \pm n_2| = \frac{2\alpha \cdot l_2}{d} \quad (4)$$

$$\text{如 } l_2 = 2l_1 \text{ 则: } \bar{h} = |2n_2 \pm n_1| = \frac{\alpha \cdot l_2}{2d} \quad (5)$$

以上公式左侧绝对值的计算就是动量选择器要完成的运算。运算结果是一自然数。运算结果对应的动量最可几值如下:

| 运算公式 | $P_{\text{最可几}} \text{ GeV}/c$ | | | | | | | | | |
|------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| | \bar{h} | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $ 2n_1 \pm n_2 $ | | 75.0 | 44.8 | 28.2 | 18.8 | 14.0 | 11.2 | 9.2 | 8.0 | 7.0 |
| $ n_1 \pm n_2 $ | | 37.5 | 22.4 | 14.1 | 9.4 | 7.0 | 5.6 | 4.6 | 4.0 | 3.5 |
| $ 2n_2 \pm n_1 $ | | 18.8 | 11.2 | 7.1 | 4.7 | 3.5 | 3.5 | 2.3 | 2.0 | 1.8 |

$$\left\{ \begin{array}{l} Bdl = 1.46 \times 10^6 \text{ gauss} \cdot \text{cm}, d = 3.3\text{cm}, l = 2M \cdot l_2 = 2.3M \end{array} \right.$$

管径引起的动量分布和最可几值计算见[3]。

为了进行上列公式的计算,用寄存器将计数管阵列的放电信息一一对应寄存下来,再计算寄存器中置“1”位的序号差。为不使选择系统有太多的时间处于封门运算状态,减少有效等待时间,事例要经过预选。预选条件可设置成: $A \geq 1$ 、 $B \geq 1$ 、 $C \geq 1$ 、 $D \geq 1$ 。三层或四层符合。满足预选条件的事例才被存入寄存器,并由加法器进行电平相加,判断是单径迹事例后,即启动动量计算,同时发出提前清除云室电场指令。动量计算结果满足动量选择条件,就启动云室动作程序控制器。否则给出清零脉冲,将寄存器清零,打开子选门,使系统重新进入等待状态。判断运算结果是否满足动量选择条件,在线路中就是鉴别运算结果是否小于预置数。动量选择预置数可以依据上面给出的运算结果与动量值对应表。例如要求选择动量大于10 GeV的事例,如果 $l_1 = l_2$, 运算式是 $|n_1 \pm n_2|$, 设置数就取2。

二、描迹仪和径迹图象的获取

上述四层单层密排的G-M计数管(J109 γ , 每管有效面积 $28 \times 3.3 \text{ cm}^2$, 每层56支)和对应的寄存器组成了一描迹仪。寄存器连成循环移位方式,并行输出至发光二极管显示屏,串行输出至计算单元线路并至打印机。

计数管的放电脉冲整形后宽度为3—5 μs ,宽度的设计是考虑到减小宽度会增加漏记概率。漏记的原因是计数管从粒子入射到输出放电脉冲的时间涨落。增加宽度则会增加

偶然符合的概率。漏记概率用下列试验作了检验：四层计数管盒不留间隔地重叠在一起，统计描述结果。当上下两层计数管同时有放电脉冲输出，而中间有一层没有放电，则认为是漏记，统计结果漏记率为 1%。其中当然包括了粒子穿过两管缝隙造成的漏记。偶然符合会造成错误的信息寄存，即错误的描述。偶然符合概率 $P_{\text{偶}} = \tau \cdot m \cdot e^{-\tau m} \approx m\tau$ 。（ τ 为整形后脉宽， m 为各层计数管平均计数率）本描述仪这个概率小于 1%。

计数管阵列的位置要求准确，用铅垂线校准之后，用一定能量的无磁场 μ 子进行校准（减少多次散射影响），此时 \bar{h} 应为 0，如不符，在发光二极管屏和打印机上即可找出偏差。用百余根无场 μ 反复校准后，计数管列位置偏差可小于 2mm。[4] 中测云室最大可测动量的 71 根无场 μ 的 \bar{h} 均为 0。

三、动量计算单元

如图 1 和图 3 所示。它包括控制门 1、2，节拍控制器，计算控制器，计算器，动量鉴别别等五部分。它完成动量计算公式的计算并鉴别计算结果。

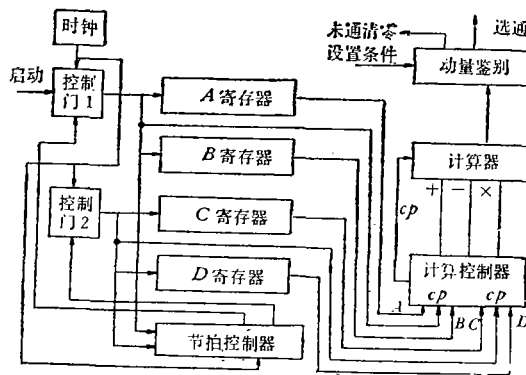
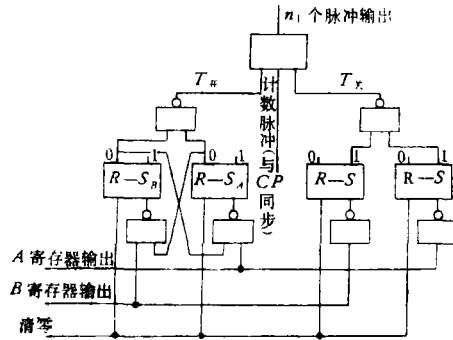


图 3 动量计算单元框图

事例满足预选条件并被判为单径迹后，系统发生启动动量计算的启动脉冲。此时四组寄存器中每组必有一位且只有一位置“1”。启动脉冲先打开控制门 1，AB 寄存器的信息同时移向计控器，同时节拍控制器计数，记满 56 拍后关控制门 1，开门 2，同样将 CD 寄存的信息移至计控器。

计控器计算 AB 和 CD 寄存器中置“1”位的序号差 n_1, n_2 。并向计算器提供加、减、乘控制电平，使其完成 $|2n_1 \pm n_2|$ 等公式的计算。图 4 是计算 n_1 的线路。初始状态 $T_{\text{并}} = 0, T_{\text{关}} = 1$ 。A、B 寄存器中任一组的置“1”位移至时， $T_{\text{并}} = 1$ ，计数脉冲从与门输出至计算器。另一个置“1”信号移至时， $T_{\text{关}} = 0$ ，计数脉冲停止输出。输出的脉冲个数就是 $n_1 = |A_n - B_n|$ 。 n_1 的符号是用特征触发器 $(R - S)_A$ 和 $(R - S)_B$ 哪个被置“1”来判断的。这两个触发器互封“1”端，AB 两组寄存器中哪个置“1”位序号大，先移到，那个触发器就置“1”。故知 $(R - S)_A$ 置“1”，表明 $A_n > B_n$ ， n_1 为正。余类推。同样，有计算 n_2 的线路。

运算器是一个同步二进制可逆计数器，并具有右移（作乘）功能。在第一个 56 拍结束后，先将运算器存数右移一位再开始第二个 56 拍，这样就实现了 $2n_1 \pm n_2$ 。结合前面关

图 4 n_1 计算逻辑图

于 θ_1 和 θ_2 角所属象限的讨论,可以判断式中作加还是减运算: 当 $(R-S)_A$ 置“1”时, 如果 $(R-S)_C$ 置“1”, 做减法, 如果 $(R-S)_D$ 置“1”, 则做加法. 当 $(R-S)_B$ 置“1”时则相反. 如果运算结果是负数,用负数读反码加 1 取绝对值. 进行 $|n_1 \pm n_2|$ 的运算时计算器不右移作乘. 进行 $|2n_2 \pm n_1|$ 时, 先移 CD (即先开控制门 2).

运算结果通过译码线路与经过设置开关输入的预置数比较, 进行判断. 以决定是否选通. 附加的逻辑系统使动量选择器具有判别和选择正负粒子和用三排计数管 (A. B. C) 选择动量的功能.

整个选择控制装置具体线路见 [2].

四、工作结果

不开动云室拍片, 单独使用动量选择器和磁场组成的动量谱仪, 对海拔 3220 米大于 $4\text{GeV}/c$ 的 μ 子进行动量分析, 得到垂直积分动量谱为 $I(> p) = Q(p + 4)^{-1.86 \pm 0.06} (\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$, 这个结果在误差范围内与其他组结果一致^[3].

使用三排计数管选择动量大于 $10\text{GeV}/c$ 的强子 (用多板室作核作用选择器, D 判断多重数), 进行了高山宇宙线反质子成份测量和荷电强子负正比测量, 得到了结果 [4]、[5].

本系统把计数管阵列的全部信息转换成一个二进制数字矩阵寄存下来, 为进一步按照径迹图画准确选择事例提供了条件. 目前判别单径迹曲率, 运算简单, 寄存器信息移出一次即完成运算, 采用 0.5MC 时钟, 运算速度 $300\mu\text{s}$. 对中速 TTL 组件, 20MC 时钟是容易达到的, 这样, $300\mu\text{s}$ 内可将寄存信息循环移出 40 次以上, 有可能对更复杂的径迹画面进行判别和选择.

采用管径更小的计数管每层双排相错半个管径, 或进而采用多丝室定位, 可以减小管径引入的动量误差, 提高动量分辨率, 提高云室的最大可测动量.

参 考 文 献

- [1] 中国科学院高能物理研究所云南站, 大云室组选择系统(未发表).
- [2] 中国科学院高能物理研究所, 沈阳自动化研究所, 云室自动化资料(未发表).

- [3] 荆贵茹等, 海拔 3220 米动量大于 $4\text{GeV}/c$ 的 μ 子垂直积分动量谱, 高能物理与核物理, **2** (1978), 417.
[4] 袁余奎等, 在海拔 3220 米宇宙线中反质子成份的初步测量, 高能物理与核物理, **2** (1978), 478.
[5] 徐春娴等, 高山宇宙线电荷强子流强的负正比, 高能物理与核物理 **2** (1978), 423.

THE MOMENTUM SELECTOR OF BIG CLOUD CHAMBER SET

ZHAO JING-LUN MAO SU-YIN MA JI-HU HAN ZONG-LAI

(Institute of Shen Yang Automation, Academia Sinica)

GU YI-DONG DONG YU-JU DAI YI-FANG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Using a "preselection-register-operation for reselection" program, a selection system of the Yunan big cloud chamber set used for cosmic ray research is projected and constructed. A small on-line digital computation technique is applied to the momentum selector of the system, and a special computation element is designed. According to the deflection angle and momentum of a charged particle passing through the magnetic field, computation and logical judgment can be done immediately for the track signal registered before.