

# BES 桶部簇射计数器性能的 宇宙线测试结果

周月华 陆昌国 顾维新 陆伟达 网友昆  
李佩琴 郝伟 周莉 朱国胜 郑晓明 陈文君  
(中国科学院高能物理研究所,北京)

## 摘 要

本文报道了用宇宙线带电粒子对北京谱仪(BES)桶部簇射计数器多项性能测试的结果,诸如从1到24层的信号电荷量谱;各层计数管的探测效率;信号电荷量在 $\alpha$ 向(沿丝方向)的均匀性;电荷分配法的 $\alpha$ 向分辨率;宇宙线径迹重建等。同时还讨论了该计数器工作气体的选择问题。

## 一、概 述

桶部簇射计数器机械结构的详细描述见[1]。在外径为2.5m,长为4.23m的大铝桶上,安装24层气体计数管,每层气隙高为1.3cm,有560个单元,两层计数管之间有0.5r.l.的铅板作为吸收层。共计有12r.l.吸收层厚度,13440根计数管。在洁净室内组装完毕送去BES现场进行总装前,必须对该计数器的性能进行测试,以验证其是否能正常工作。

在密封堵漏期间,计数器内充以纯氩气。密封完成后,通以Ar/CO<sub>2</sub>(1:3),流流量为每昼夜5m<sup>3</sup>(约为计数器总容积的一半),等待计数器内的气体得到彻底的更新。这是个缓慢的过程,约经过了20天,1至24层的工作才基本趋于正常。最后再在Ar/CO<sub>2</sub>(1:

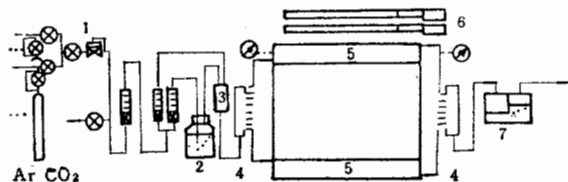


图1 实验装置框图

1. 汇流排; 2. 泡泡瓶(乙醇); 3. 混气罐; 4. 分流排; 5. 桶部簇射计数器;  
6. 闪烁计数器; 7. 泡泡瓶(硅油)

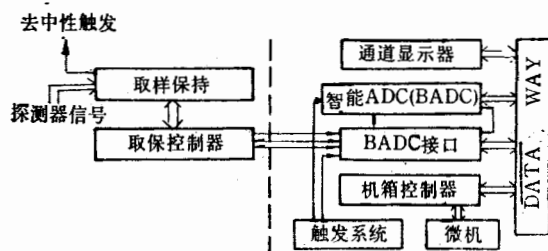


图 2 BES 簇射计数器读出电子学框图

3) 中混入 2.9% 的无水乙醇作为性能测试的工作气体, 以每昼夜  $5\text{m}^3$  的流量连续通气。共一个半月, 完成了本文的各项测试。

性能测试是用宇宙线带电粒子进行的。宇宙线事例的挑选是通过安放在计数器上方的两个长为  $320\text{cm}$ , 宽为  $18\text{cm}$ , 厚度  $5\text{cm}$  的闪烁计数器实现的。实验安排见图 1。

本实验所用的电子学系统是我所电子学室为 BES 簇射计数器设计制造的读出系统的一套 240 路样机系统<sup>[2]</sup>, 电子学框图见图 2。为宇宙线测试设计制作的触发系统参阅[3]。

## 二、各项性能测试结果

测试分两个阶段进行。第一阶段为了对 24 层计数管的性能作仔细的研究, 沿径向的 24 根计数管分别读出, 两端各引出 96 路信号, 共 192 路, 进入取保电路。第二阶段则采用 BES 桶部簇射计数器实际工作时的读出方法, 将径向各计数管组合后引出, 1-2, 3-4, 5-6, 7-9, 10-12, 13-24 层组成 6 路, 两端分别引出, 进入取保电路。

### 1. 计数管的信号电荷量谱

测量到的典型信号电荷量谱见图 3。BES 桶部簇射计数器各层沿  $\phi$  方向都是分为 560 个单元, 由于各层半径从里到外逐渐增大, 所以各层单元的宽度也由  $1.4\text{cm}$  逐渐增加到  $1.8\text{cm}$ , 经过对矩形管电场强度的计算<sup>[4]</sup>, 当高压为  $3600\text{V}$  左右时, 为了保持阳极丝(直径  $50\mu\text{m}$ )表面电场强度不变, 各层所加高压应作表 1 所示的调整。但实际上各层加的高压是一样的, 所以各层的信号大小会有明显的差别, 这必须在今后的离线分析中加以修正, 否则将会对能量响应的线性有影响。

为了观察气体在探测器内沿  $\phi$  方向分布是否均匀, 测量了同一层上沿  $\phi$  方向平均分布的 8 根计数管的电荷量谱, 其峰值电荷道数列表 2, 可以看出沿  $\phi$  方向是均匀的。

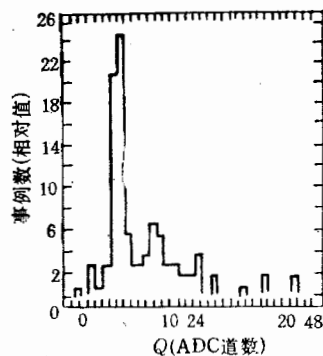


图 3 典型的 SQS 电荷谱  
(H.V. =  $3600\text{V}$ , 第一层)

表1 为了保持阳极丝表面电场强度不变,各层应加的高压值

层号	1	3	6	9	12	15	18	21	24
高压(V)	3568	3578	3591	3604	3615	3626	3634	3642	3650

表2 沿 $\phi$ 方向平均分布的8根计数管的电荷量谱峰值

角 度	72°	108°	144°	180°	216°	252°	288°	324°
峰值道数	1452	1438	1434	1444	1421	1436	1440	1402

## 2. 计数管的探测效率

在测量某一层计数管的探测效率时,挑选在其上、下两层均有着火单元的事例,然后统计该层也着火的事例数。高压为3600V,典型值列于表3。这种测量方法实际上已排除了几何学死空间的影响(因上下单元的管壁,绝缘子等死空间是互相重迭的),考虑到死空间的影响,效率将下降10%左右。

表3 各层的探测效率

层号	3	6	9	12	15	21	平均
效率(%)	100	98.6	99.4	99.0	95.9	95.2	98.4

## 3. 电荷分配法的位置分辨率

计数器沿 $z$ 向(丝方向)的位置是由电荷分配法确定的,实验原理和误差的详细讨论见[5]。利用宇宙线测量位置分辨的基本方法是:当宇宙线带电粒子贯穿触发计数器和桶部簇射计数器时,会在计数器各层的相应位置造成SQS放电,利用电荷分配法可以定出放电的 $z$ 向位置,若定位精度非常高,则各层定出的 $z$ 坐标应连成一条直线,该直线即为宇宙线径迹。但实验上电荷分配法定位存在各种误差因素,如电子学的噪声;电子学响应曲线与实际响应的拟合残差;对电子学系统进行绝对刻度时的系统误差;宇宙线带电粒子在探测器内的多重散射以及产生的 $\delta$ 粒子的影响等,所以各层的 $z$ 并不在一条直线上,而是分布在实际径迹的两侧,必须通过最小二乘法拟合,才能得到该径迹的最佳拟合,再求出实验点与拟合径迹的残差,就可得到位置分辨率。

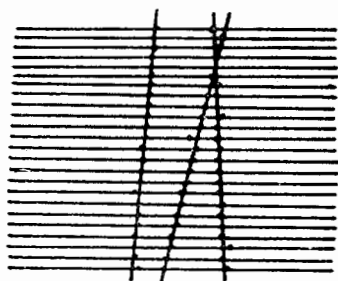


图4 24层分别读出,重建宇宙线径迹

(·实验位置;—拟合径迹)

一条重建的径迹,可以求出其拟合的 $z_0$ :

用24层分别读出的方法,重建宇宙线径迹的实例见图4。用组合丝读出的方法重建径迹时,考虑到在电磁簇射情况下,簇射的后部位置统计涨落太大,不宜用于位置的确定,后面12层的信号主要用于能量的确定,所以在宇宙线测试中也只用前5层读出层(即1至12层计数管)的 $z$ 向位置来重建宇宙线径迹。对每一

其的的

其区2:的应余的的取差

4.

寸夕系

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^N (z_{测i} - z_{拟i})^2 / \sigma^2,$$

其中  $N$  为用于拟合的实验点数,  $\sigma$  为每个实验点的测量误差。如果实验点符合直线径迹的假设, 且  $\sigma$  的选择也正确的话, 则如下定义的  $P(\chi^2)$  的分布应为  $(0, 1)$  范围内的矩形分布<sup>[6]</sup>:

$$P(\chi_0^2) = \int_{\chi_0^2}^{\infty} p(\chi^2, N-2) d\chi^2,$$

其中  $p(\chi^2, N-2)$  是自由度为  $(N-2)$  的  $\chi^2$  分布函数,  $\chi_0^2$  即为上述的实验测量值。图 5(a) 为假设  $\sigma = 25\text{mm}$  时的  $P(\chi_0^2)$  分布, 由图可见在  $P(\chi_0^2) \geq 10\%$  的区域内, 分布比较均匀。  $P(\chi_0^2) < 10\%$  的区域对应于直线拟合后残余偏差很大的事例, 这些事例的残余偏差并不完全是由电子学噪声、多重散射等所造成的, 很可能是由事例本身的非单径迹, 或某些电子学道的损坏所致, 在分析单径迹位置分辨时应将其排除。取  $P(\chi_0^2) \geq 10\%$  区域的全部事例, 求出拟合后残余偏差的分布如图 5(b)。

#### 4. 宇宙线事例沿 $z$ 向的分布

用电荷分配法可以求得各读出层上宇宙线粒子的击中位置, 从而得到它们沿  $z$  向的分布。图 6 为电荷分配比  $f \equiv Q_2 / (Q_1 + Q_2)$  的分布 ( $Q_1$  和  $Q_2$  分别代表两端收集到的电荷量)。由于触发用的闪烁计数器长度短于桶部簇射计数器, 所以收集不到两端的事例, 图中只能看到中间三条加强筋死区<sup>[1]</sup>造成的计数率下凹, 由此可以进行  $z$  向位置和电荷分配比的绝对刻度。

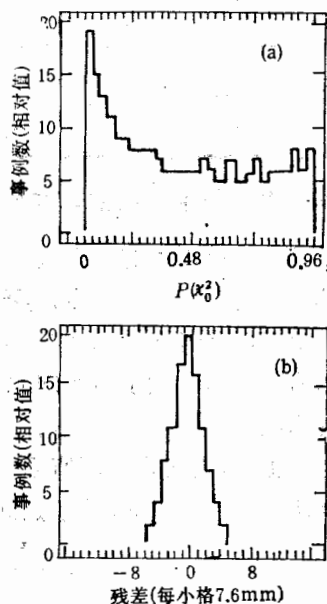


图 5(a)  $P(\chi_0^2)$  的分布 ( $\sigma = 25\text{mm}$ )

图 5(b)  $P(\chi_0^2) \geq 10\%$  事例拟合残余分布

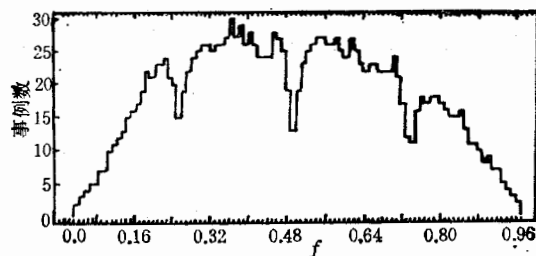


图 6 宇宙线事例沿  $z$  向的分布

如果将桶部簇射计数器  $z$  向长度  $L$  归一为 1.00, 中间三条加强筋的中心位置分别为 0.252、0.500、0.748, 表 4 列出了三种组合丝在三条加强筋处的  $f$  测量值。如果用  $z = A \cdot f + B$  对结果进行拟合, 则可从实验数据求得  $A$ 、 $B$ 。同时, 设阳极丝电阻值为  $2.1\text{k}\Omega$ , 电子学系统的输入阻抗为  $50\Omega$ , 很容易推算出三种组合方式下的  $A$ 、 $B$  值<sup>[2]</sup>, 它们也都列于

表4,理论值与实验值符合的很好.  $A$ 和 $B$ 的实验值给出了 $z$ 和 $f$ 的绝对刻度.

表4 三种组合丝在三条加强筋位置处的 $f$ 实验值及 $A$ 、 $B$ 的实验和理论值

组合丝数	位置 $z_i$	三条加强筋的位置 ( $L_i/L_{全长}$ )			$A$		$B$	
		0.252	0.500	0.748	理论	实验	理论	实验
双丝	0.278	0.501	0.729	1.097	1.100	-0.048	-0.056	
三丝	0.290	0.503	0.718	1.143	1.158	-0.072	-0.082	
12 丝	0.350	0.504	0.663	1.571	1.587	-0.286	-0.305	

### 5. 信号电荷量沿 $z$ 向的均匀性

气体从计数器的一端进,另一端出,由于是采用硅橡胶(738 RTV, Dow Corning U. S. A.)密封,从外部堵漏,不可避免会有漏气,所以内部气体纯度从进气端到出气端会逐渐变差,导致信号幅度的变化.利用电荷分配可以得到气体放电的 $z$ 向位置,从而能够得到信号电荷量大小沿 $z$ 向的分布,见图7.由图可见信号电荷量比较均匀,说明目前计数器的漏气情况不会造成信号沿 $z$ 向的严重不均匀.至于两端的上翘是由于远端收集到的电荷量小,当设定了阈值后,只有那些电荷量较大的事例才不被排除,对击中两端附近的事例,总有一边的电子学是远端,所以使得保留下的事例电荷量偏大.

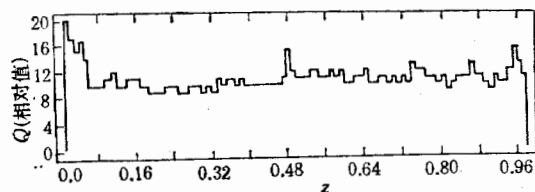


图7 信号电荷量沿 $z$ 向的均匀性

### 三、BES 桶部簇射计数器工作气体的选择

Ar/CO<sub>2</sub>/正戊烷(1:2:1)混合气体是国际上广泛使用的塑料流光管的工作气体<sup>[7]</sup>,我

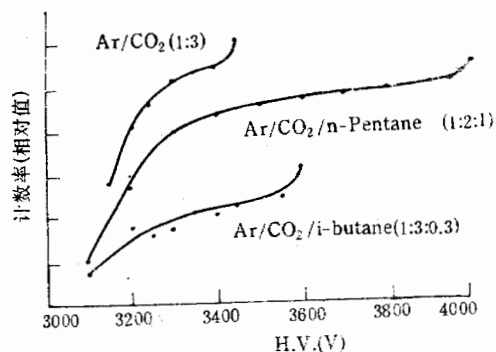


图8 几种混合气体对 $Fe^{55}$ 源的计数率坪特性曲线

们仔细测量了它的工作特性,其坪特性曲线示于图 8.同时还测量了 SQS 计数管在这种气体下的老化效应,发现累计电荷量达 $\sim 3.8\text{C/cm}$ ,计数管的性能还未变坏<sup>[8]</sup>,足以满足 BES 桶部簇射计数器的寿命要求.

这种气体的不足之处在于正戊烷是可燃的,为探索使用更为安全的气体的可能性,我们测量了  $\text{Ar}/\text{CO}_2(1:3)$  和  $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{异丁烷}(1:3:0.3)$  的工作特性.后一种混合气中尽管有一定比例的异丁烷,但在  $\text{Ar}/\text{CO}_2$  的环境中,这种比例的气体处于可燃极限之下,是安全的<sup>[9]</sup>.这两种气体的坪曲线也示于图 8,显然性能要比第一种混合气差得多,特别是  $\text{Ar}/\text{CO}_2(1:3)$ ,仅有 100V 左右的很斜的坪.由于桶部簇射计数器里层外层的宽度不同,本来就要求里、外层的工作电压有近 100V 的差别,所以  $\text{Ar}/\text{CO}_2(1:3)$  是不能满足要求的.

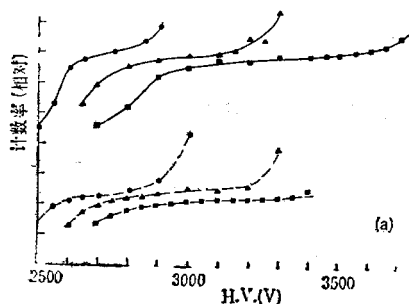


图 9(a) 几种混合气通过  $0^\circ\text{C}$  正戊烷的坪特性曲线  
 ——宇宙线测试的坪;---- $\text{Fe}^{55}$  测试的坪,  
 ● 纯  $\text{Ar}$ ; ▲  $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{CH}_4(89:10:1)$   
 ■  $\text{Ar}/\text{CO}_2(80:20)$

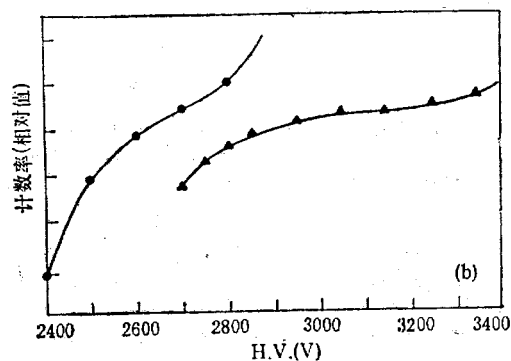


图 9(b)  $\text{Fe}^{55}$  测试的坪曲线  
 ●  $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{正戊烷}(70:17.5:12.5)$   
 ▲  $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{正戊烷}(60:15:25)$

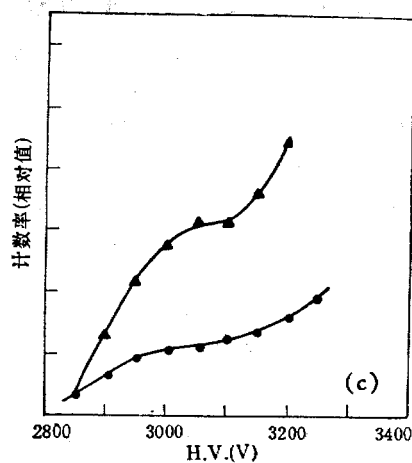


图 9(c)  $\text{Fe}^{55}$  测试的坪曲线  
 ●  $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{无水酒精}(49.3:49.3:1.4)$   
 ▲  $\text{Ar}/\text{CO}_2(50:50)$

为了使计数器在各种湿度要求下经受得住长期的考验,还希望尽可能地降低工作高压,为此测试了不同比份的混合气的坪特性曲线,将结果归纳于图9。由测量结果可知,在 Ar/CO<sub>2</sub> 混合气中,Ar 含量越高,工作电压可以越低,其代价是坪区也会变短;猝灭气体成分(如正戊烷)含量越高,坪区越宽,但危险性也越大。BES 桶部簇射计数器工作气体的最后确定将有待于各种因素的综合考虑及 BES 首次试运行的经验。

本工作所用的取样保持电路为我所电子学室簇射计数器读出系统课题组提供,在此深表谢意。在设计加工装配气体系统中,得到了徐芷清同志的大力帮助,飞行时间组借予触发用的闪烁计数器,孟祥承同志在高压电源方面给予很大帮助,物质处保证了气体的及时供应,所、室各级领导对工作十分关心,叶铭汉同志提供了国外使用 Ar/CO<sub>2</sub>/异丁烷的信息,在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 周月华等,高能物理与核物理,13(1989),973.
- [2] 朱国胜等,北京谱仪 BSC 1比1 全长模型在线测试,《第四届全国核电子学与核探测技术和第三届全国高能实验物理学术会议文集 西安 1988》
- [3] 郝伟等,高能物理与核物理,13(1989),293.
- [4] J. Kunz and P.L. Bayley, *Phys. Rev.*, 17 (1921), 147.
- [5] 马金源等,高能物理与核物理,8(1984),261.
- [6] R.J. Apsimon et. al., *IEEE NS-32* (1983) 674.
- [7] G. Bagliesi et. al., Operation of Limited Streamer Tubes with the Gas Mixture Ar + CO + n-pentane, CERN-EP/87-124.
- [8] Zhu Guo-sheng et. al., *N.I.M.*, A276 (1989), 280.
- [9] T. Uebayashi et. al., *N.I.M.*; A265 (1988), 457.

## PRELIMINARY COSMIC RAY TEST RESULTS OF BES BARREL SHOWER COUNTER

ZHOU YUEHUA   LU CHANGGUO   GU WEIXIN   LU WEIDA  
 QUE YOUKUN   LI PEIQIN   HAO WEI   ZHOU LI  
 ZHU GUOSHENG   ZHENG XIAOMING   CHUN WENJUN  
*(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing)*

### ABSTRACT

This paper presents the preliminary cosmic ray test results on the performances of BES (Beijing Spectrometer) barrel shower counter, such as the signal charge spectrum and the detection efficiency of each sensitive layer, the uniformity of signal charge along anode wire direction, the position resolution with charge division, the reconstruction of cosmic rays, etc.. The choice of gas mixture for BES barrel shower counter is also discussed.