

立比较
明,不
峰位不
由能量

线性范
1 GeV
端盖簇

行的。
立丝工

rueted
lution
paper

BES 桶部簇射计数器模型束流测试的初步结果

一室桶部簇射计数器组¹⁾³⁾ 电子学室簇射读出系统课题组²⁾³⁾

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

在日本 KEK 的 12 GeV 质子同步加速器上,用动量为 0.2 GeV/c 至 2.0 GeV/c 的电子和 π 介子束流对 BES 桶部簇射计数器模型进行了测试,本文报告数据分析的初步结果。测试了四种混合气体下模型的性能,测试结果表明,用自猝灭流光管作为取样型电磁簇射计数器的取样方式,在 BEPC 对撞机的能量范围内是可行的。文章同时还报告了基于取样保持电路和 BADC 的 120 路在线数据获取系统在连续两个月束流测试中的性能。

一、引 言

七十年代末,人们找到了自猝灭流光放电模式 (SQS) 的稳定工作条件,此后对这种放电模式的研究及探索其应用领域的工作越来越多^[1-5]。在论证北京正负电子对撞机谱仪 (BES) 簇射计数器的方案时,我们提出了采用 SQS 作为取样方式,并对这种模式应用于电磁簇射计数器将面临的有关问题进行了一系列实验研究^[6-9]。研究结果表明,这种放电模式具有信号电荷量大,可大大增强探测器系统的抗干扰能力,明显地提高电荷分配法的定位精度,降低对高压电源稳定性、计数管机械公差及混合气体稳定性的要求等优点。但实验结果显示了 SQS 放电死空间大的特点,将之用于电磁簇射计数器可能导致能量响应的非线性。

已经有不少文章报告了 SQS 取样簇射计数器的能量响应非线性问题^[10,11],但由于 BES 簇射计数器结构及读出方式不同,更主要的是北京正负电子对撞机 (BEPC) 的工作能区较低 (2.2 ~ 2.8 GeV \times 2), 根据工作在相似能区对撞机 (SPEAR) 上的 MARK-III 探测器的 Monte Carlo 研究^[12],当 $\sqrt{s} = 4$ GeV 时,90% 的 γ 光子能量小于 400 MeV,所以由 SQS 造成的能量响应非线性问题在 BES 探测器中有可能不会产生很大的影响。

为了对 SQS 取样簇射计数器的优缺点进行实验研究,我们制作了一个新的 BES 桶部

1) 参加本工作的人员: 陆昌国、阙友昆、陆伟达、周月华、顾维新、李佩琴、张羽、朱国胜。

2) 参加本工作的人员: 胡家伟、陈沈南、高翠山、梁国宁、张浩云、汤福坤、刘振安、高正为、李维衡。

3) 参加束流测试的人员: 陆昌国、阙友昆、张浩云。

本文 1986 年 11 月 21 日收到。

簇射计数器模型(基于上述的死空间考虑及为了降低造价,我们对第一个模型^[9]的设计进行了修改,单元宽度减小了一半,层数从原来的 30 层减少为 24 层),在日本 KEK 的 12GeV 质子同步加速器上,用动量为 0.2GeV/c 至 2.0GeV/c 的 e^-/π^- 不分离束进行了性能测试。

二、实验装置及在线数据获取系统

BES 桶部簇射计数器模型的机械结构如图 1 所示。模型分为 24 层,层与层之间用 0.5 辐射长度的 Al-Pb-Al 夹层板作为吸收体,第一层的人射面也为 0.5 辐射长度的夹层板。气隙厚度为 12.9mm。每层中用铝工字梁隔成互相独立的单元,单元的宽度从第一层的 14mm 逐步递增到最后一层的 18mm,每层有 10 个单元。阳极丝为 50 μ m 的国产不锈钢丝。

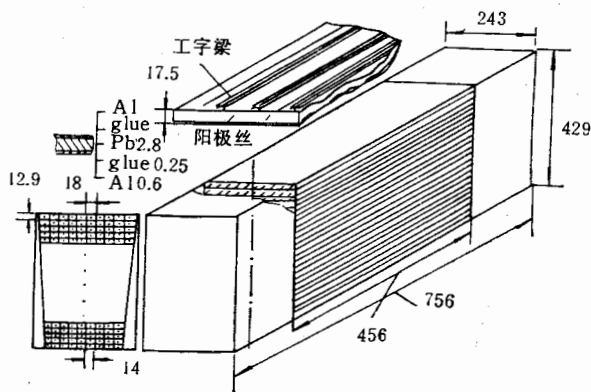


图 1 BES 桶部簇射计数器模型

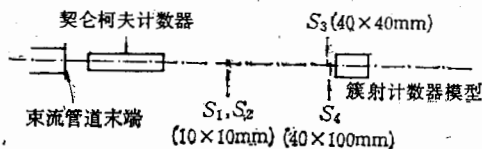


图 2 实验测试装置的安排

实验测试装置在束流线上的安排如图 2 所示。

图 3 为在线数据获取系统框图,本系统由 4 部分组成:

- (1) 120 路前端电路和取样保持电路及它们的控制器。
- (2) 标准 CAMAC 插件部分,包括 BADC, 刻度控制单元 CCM 及 DAC 等。关于 BPORT, CCS, CCM 及 SHAML 等的功能,可参阅文献[13]。该机箱通过机箱控制器 CCB-1 与微处理机 BCM-3 实现对话。
- (3) 在线 8 位微处理机 BCM-3。

SC1-
器,
单元。

大,终
以上:
集的;
比性。
计表
空间:

的设计进的
的 12GeV
能测试。

层之间用
变的夹层
从第一层
国产不锈

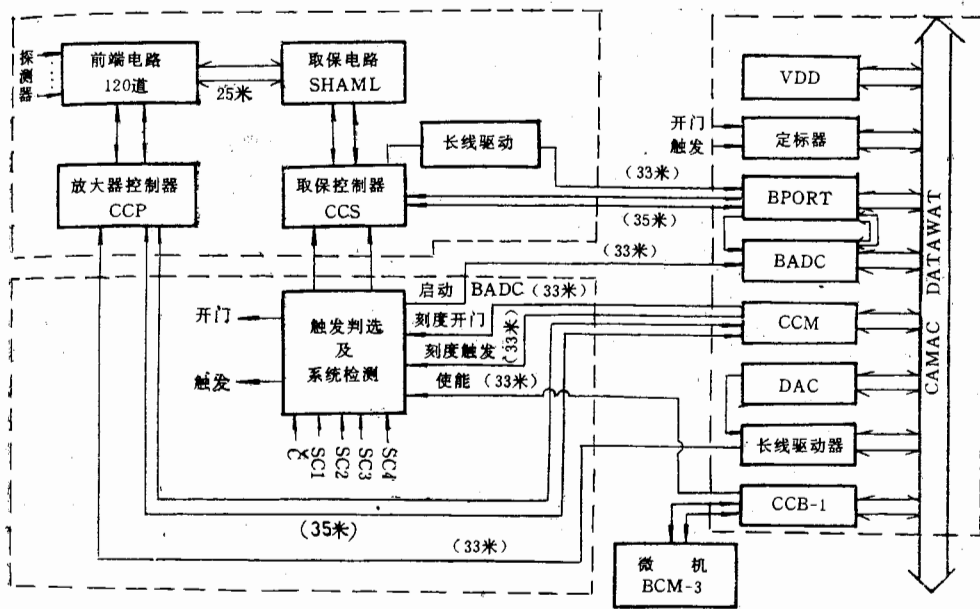


图 3 在线数据获取系统框图

(4) 触发判选及系统检测电路，用于台阶测试，系统刻度及束流测试数据的获取。SC1-SC4 为 4 个闪烁计数器，构成望远镜为入射粒子定位，它们的“或”信号触发门产生器，产生取保电路的开门脉冲。SC1-SC4 与契伦柯夫计数器信号 \check{C} 一起输入判选逻辑单元，由 $SC1 \cdot SC2 \cdot SC3 \cdot SC4 \cdot \check{C}$ 选择 e ， $SC1 \cdot SC2 \cdot SC3 \cdot SC4 \cdot \check{C}$ 选择 π 。

三、簇射计数器模型的性能

- 在束流测试中先后采用了四种不同的混合气体：
- 44.5% 氩气 + 44.5% 甲烷 + 11% 二甲氧基甲烷；
 - 47% 氩气 + 47% 甲烷 + 6% 二甲氧基甲烷；
 - 49.3% 氩气 + 49.3% 甲烷 + 1.4% 酒精；
 - 40% 氩气 + 60% 异丁烷。

(1) 能量响应的线性

在上述四种气体中最小电离粒子的 SQS 信号以第 4 种为最小，约 30pc，而第 3 种最大，约 150pc。在电磁簇射中收集到的总电荷量与电子动量的关系如图 4 所示。在 1GeV 以上，能量响应开始出现饱和效应。其原因之一是在较高能量电磁簇射的核心部分有密集的次级正负电子，由于 SQS 放电有较大的死空间，使计数管响应与人射粒子数失去正比性。我们用 EGS 程序对此进行了研究，对不同死空间假设下的簇射次级粒子数 N 的统计表明：当死空间假设为 0 时， N 与 E 呈线性关系，若死空间不为 0（即两个次级粒子在空间相距小于死空间时只统计一个粒子），则 N 与 E 偏离线性，如图 5 所示。

实验数据表明在四种混合气体下，非线性偏离值大小并不完全相同，随着混合气体中

手。关
箱控制

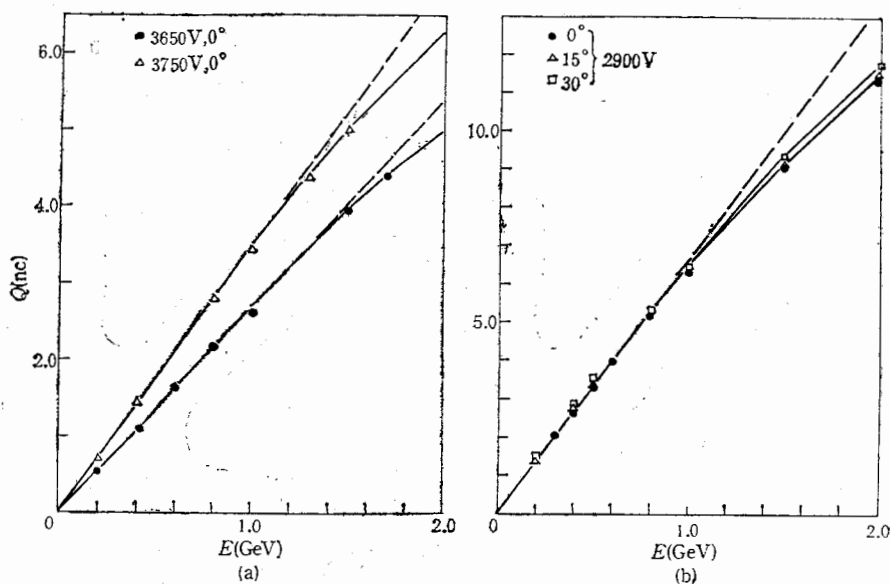


图 4 能量响应

(a) 40%Ar + 60% 异丁烷; (b) 47%Ar + 47% CH_4 + 6% 二甲氧基甲烷.

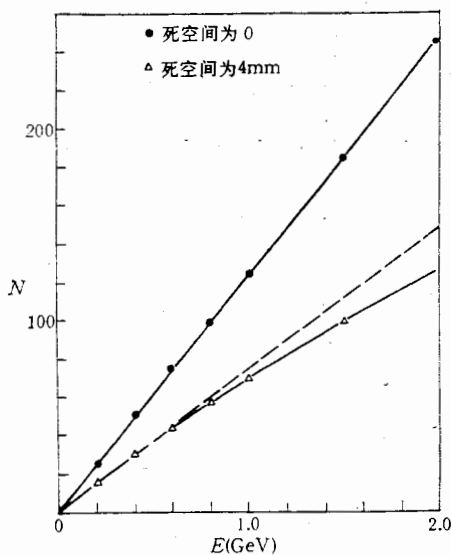


图 5 簇射次级粒子数与死空间关系的
Monte Carlo 研究

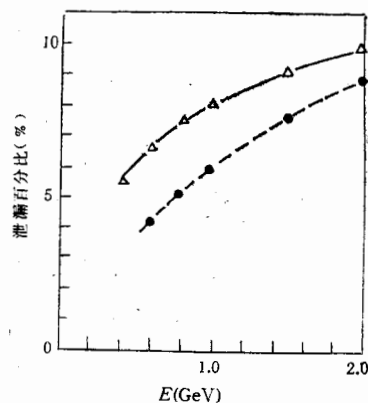


图 6 能量泄漏
 Δ M. C. 计算值 \bullet 实验值

SQS信号的增大,非线性偏离也有增大的趋势,这可能与不同混合气体中 SQS 放电有不同的死空间有关。但实验中同时发现,由于束流脉冲持续期间大量粒子射入计数器(在 1.5 GeV/c 时可达 15000/脉冲),产生很大数量的 SQS 放电,致使高压电源输出电压明显下跌,这种因素同样可能导致能量响应的非线性,需要更仔细的实验研究才能给出明确结论。

度只
前面
入射
的能
结果
趋势
一些

中给
能量
样簇
射的
的桶
的存
子N

饱和效应的另一个原因是由于簇射能量从探测器的底部及两侧的泄漏。本模型总厚度只有 12 个辐射长度,不足以全部吸收较高能量的电磁簇射。为了检验这一点,在模型前面加放 5cm 的铅砖,使总的辐射长度增加到 21 r.l.,然后用 600~2000 MeV/c 的电子入射,将 12 r.l. (5cm 铅砖+前 6 层铅板)后的信号相加,即可大致估计出从模型底部泄漏的能量。图 6 给出几种不同能量电磁簇射从模型底部泄漏的百分比的 Monte Carlo 计算结果,同时标出了实验测得的加铅砖后 12 r.l. 后簇射能量在 21 r.l. 中所占的百分比,两者趋势基本一致,都显示出能量泄漏百分比随入射能量的增加而变大,所以会对非线性产生一些贡献(2 GeV 时估计为 3~4%)。

(2) 能量分辨率

典型的能量分辨率 σ/E 与 $1/\sqrt{E}$ 的实验关系示于图 7 (对 1 GeV 以上的电子,图中给出的能量分辨率未作非线性校正)。从图 7(a) 可以看到 SQS 取样簇射计数器能量分辨率的一个规律,即 σ/E 与 $1/\sqrt{E}$ 的线性关系并不通过坐标原点。正比型取样簇射计数器的能量分辨率一般服从 $\sigma/E = C/\sqrt{E}$ 的规律,其中 C 的大小取决于簇射的统计涨落、正比信号的 Landau 分布及次级粒子径迹长度的涨落^[14], MARK-III 的桶部簇射计数器 $C = 17.5\%$ ^[15],并通过坐标原点。Monte Carlo 计算表明,死空间的存在,可以造成这种偏离。图 7(b) 比较了死空间为 0 和 4mm 两种情况下,簇射次级粒子数 N 的相对统计涨落 $1/\sqrt{N}$ 与 $1/\sqrt{E}$ 的线性关系,显然前者通过坐标原点,后者不通

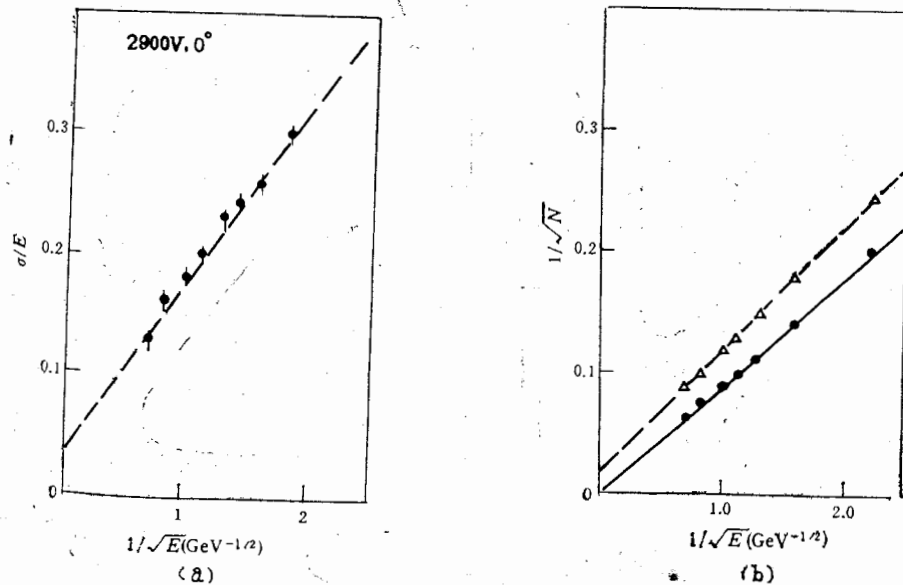


图 7

(a) 能量分辨率的实验曲线, 47% Ar + 47%CH₄ + 6% 二甲氧基甲烷。

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{0.146}{\sqrt{E}} + 0.0356$$

(b) 簇射次级粒子数统计涨落 $1/\sqrt{N}$ 与 $1/\sqrt{E}$ 的 Monte Carlo 研究。

● 死空间为 0, $1/\sqrt{N} = 0.0894/\sqrt{E}$, -△-死空间为 4mm,

$$1/\sqrt{N} = 0.103/\sqrt{E} + 0.0161$$

各有不同
器(在
压明显
明确结

过。

表 1

气 体	高压 (V)	入射角度	A	B
44.5%Ar+44.5%CH ₄ +11%二甲氧基甲烷	2900	0°	0.171	0.026
	2900	15°	0.155	0.034
	2900	30°	0.149	0.038
40%Ar+60% 异丁烷	3650	0°	0.163	0.022
	3700	0°	0.162	0.028
	3750	0°	0.17	0.020
47%Ar+47%CH ₄ +6% 二甲氧基甲烷	2900	0°	0.146	0.036
	2900	15°	0.158	0.021
	2900	30°	0.141	0.039

用 $\sigma/E = A/\sqrt{E} + B$ 对几种不同混合气体,不同高压及不同入射角度的实验数据进行拟合,归纳于表 1。

从表中数据可见,在我们测试的范围内,能量分辨率与入射角度及高压没有明显的依赖关系。在实验中我们发现,如果高压变化超出一定范围,能量分辨率将会明显变差,其原因是高压过低, SQS 计数管的效率降低,高压过高,则二次流光的影响严重。实际使用时,应在保证计数管效率高的前提下,采用尽可能低的高压。

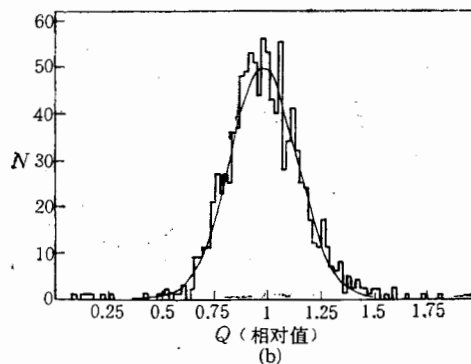
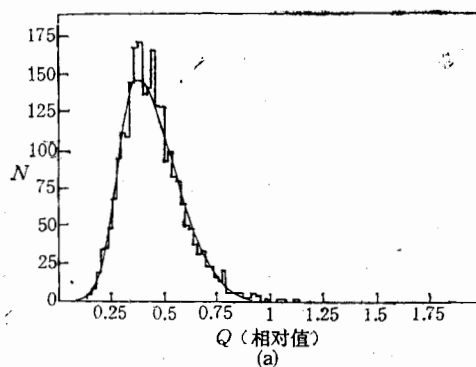


图 8 电荷量分布直方图及拟合曲线
(a) 300MeV e (b) 1.5GeV e

对几种不同能量的电磁簇射,收集到的总电荷量分布的典型直方图及其拟合曲线示于图 8。低能量电磁簇射(如 300 MeV)分布呈不对称型,这是由于最小电离粒子的 SQS 信号谱在高端有多重流光的长尾巴造成的,用对称的高斯分布显然不能得到满意的拟合,我

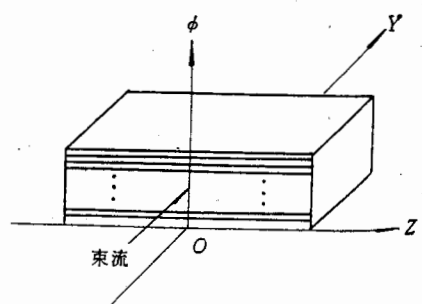


图 9

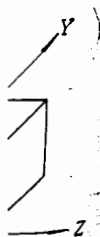
位。
方向
的分
布,而
中单
峰之
的 r.r
将为
值的
(
利用
量沿
向上
量)这
可见,
较低

们用两边不对称的高斯曲线进行拟合, 并由此计算得分布的平均值及均方根偏差. 能量越高, 不对称性越不明显, 分布也就越接近于高斯型, 如图 8(b) 所示.

B
0.026
0.034
0.038
0.022
0.028
0.020
0.036
0.021
0.039

向实验数据

门测试的范围及高压设备中我们发现, 能量是高压过高, 实际使用时, 提示, 采用



合曲线示的 SQS 信号拟合, 我

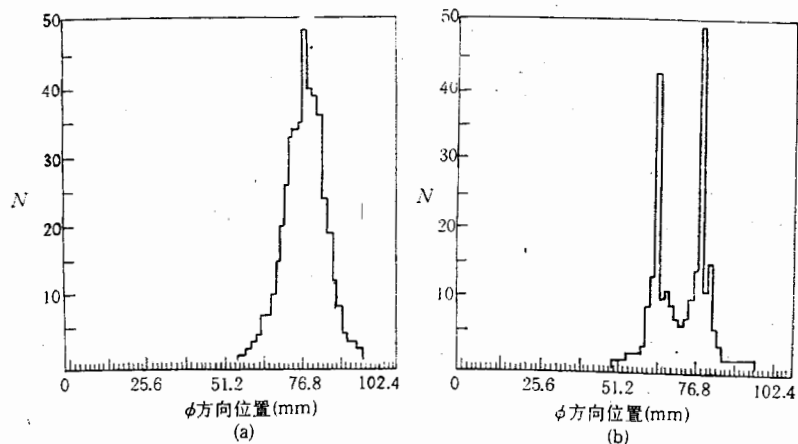


图 10

(a) 电子入射位置分布直方图 (b) π 入射位置分布直方图
(47% Ar + 47% CH₄ + 6% 二甲氧基甲烷)

(3) ϕ 方向的位置分辨率

我们所采用的坐标系统如图 9 所示. 粒子沿 Y 方向入射, ϕ 方向靠击中的单元来定位. 测试中, 我们用闪烁计数器望远镜来确定入射粒子的位置, 靠近模型的 S₃ 和 S₄ 沿 ϕ 方向搭接 14mm. 在前十五层上用重心法求出入射位置沿 ϕ 方向的分布, 典型的 e 和 π 的分布直方图见图 10. 对电子来说, 分布呈高斯型, 这是由于电磁簇射有较宽的横向分布, 而对 π 的情况, 由于大量的事例是贯穿的, 用重心法定位时, 它们的入射位置将落在击中单元的中心, 从图 10(b) 的分布可见入射 π 介子随机地落在相邻的两个单元上, 两个尖峰之间的距离正好为 14mm. 典型的电磁簇射位置分辨为 7mm, 扣除入射粒子本身位置的 r.m.s. 偏差 4mm, 则探测器沿 ϕ 方向的位置分辨为 5.7mm, BES 簇射计数器的内半径将为 1266mm, 所以 ϕ 方向的分辨可达 4.5mr.

沿 ϕ 方向移动闪烁望远镜, 选择入射粒子的不同位置, 可以得到位置的拟合值与预期值的关系, 如图 11. 考虑到闪烁望远镜位置的不确定性, 图 11 所显示的线性是满意的.

(4) e/ π 排斥比

BES 必须有效地对 e/ π 进行鉴别. 由于 BES 簇射计数器具有很细的粒度, 所以可以利用它作为 e/ π 鉴别的有力手段. 我们着重研究了总电荷量 Q 和在计数器各单元中电荷量沿 ϕ 方向分布的二次矩 S ($S = \frac{\sum_i Q_i (\phi_i - \bar{\phi})^2}{\sum_i Q_i}$, 其中 $\bar{\phi}$ 为电荷分布在 ϕ 方向上的重心, i 为着火的单元, ϕ_i 为着火单元 i 的 ϕ 方向位置, Q_i 为着火单元 i 的电荷量) 这两个切割条件. 图 12 显示 1.0GeV/c 的 e, π 事例相应物理量的分布直方图. 由此可见, 在动量较高时 (1GeV/c) 这两个物理量都可以用来对 e/ π 进行有效的鉴别. 在动量较低时 (300 MeV/c), 则 e 和 π 的分布重叠很严重, 我们只能根据实验的需要, 在效率和

排斥比之间进行适当的选择。利用这两个切割条件,对 $300\text{MeV}/c$, $600\text{MeV}/c$ 和 $1.0\text{GeV}/c$ 的 e, π 事例计算了它们对 e 的效率及对 π 的排斥比,结果归纳于图 13。

在本实验中,由于只用了一个气体阈式契伦柯夫计数器来选择 e 或 π , 对 π 的排斥比并不太高,在选择出来的 e 事例中混杂有少量 π 事例,在 π 事例中也混杂有少量电子事例。为了对 π 事例中的 e 污染作出估计,我

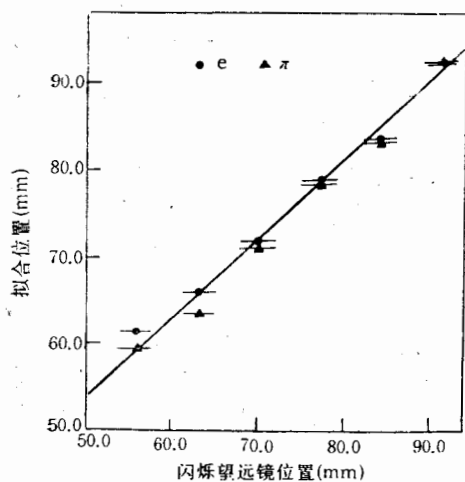


图 11 ϕ 方向位置测量 (49.3%Ar + 49.3%CH₄ + 1.4% 酒精, $600\text{MeV}/c$ e 和 π)

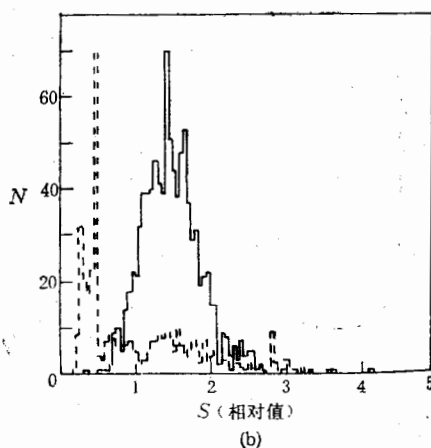
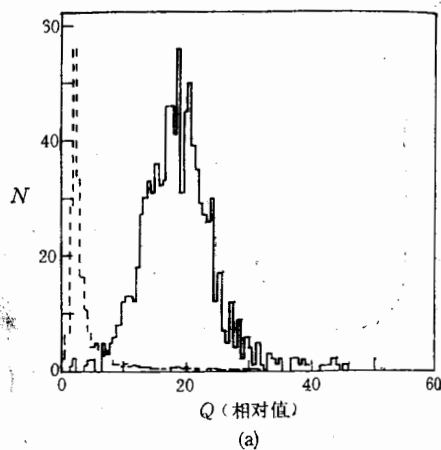


图 12 $1.0\text{GeV}/c$ e, π 鉴别
(a) 总电荷量分布; (b) 电荷量沿 ϕ 方向二次矩的分布; —— e , ---- π 。

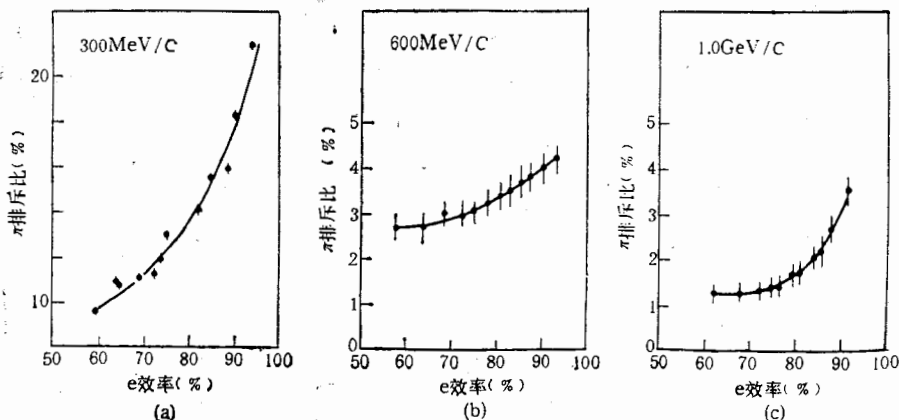


图 13 e 效率和 π 排斥比的关系
(a) $300\text{MeV}/c$, (b) $600\text{MeV}/c$, (c) $1.0\text{GeV}/c$

们把 π 事例的总电荷量分布直方图的纵坐标作成对数坐标, 如图 14. 假设图中虚线所示为真正 π 事例的分布, 则高于虚线的部分就认为是 e 的污染. 计算 e 污染的数目,

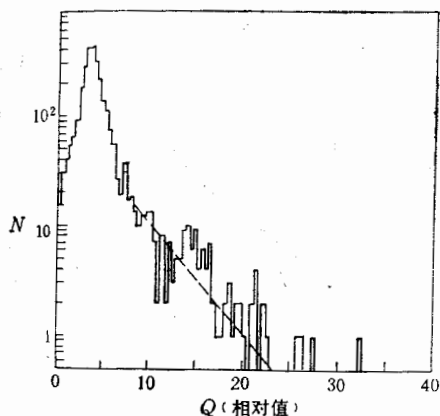


图 14 π 事例中电子污染的估计, 600 MeV/c.

---- 假设的真正 π 事例的分布.

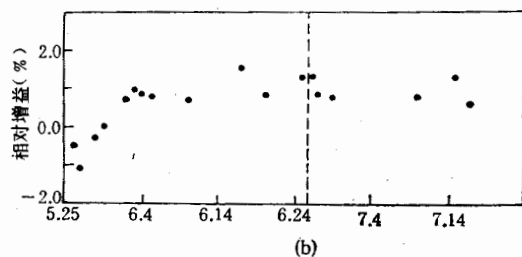
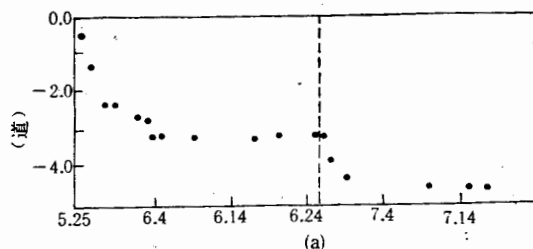


图 15 电子学的长期稳定性

(a) 台阶的漂移, (b) 相对增益的漂移.

300 MeV/c 时为 $4.0 \pm 0.4\%$, 600 MeV/c 时为 $1.6 \pm 0.3\%$, 1.0 GeV/c 时为 $1.4 \pm 0.3\%$. 所以实际的 π 排斥比将比图 13 所示的要好.

四、在线数据获取系统的长期稳定性

以取样保持电路 SHAML 和 BADC 为主组成的在线数据获取系统, 在本次束流测试中连续工作了 1350 小时, 最高室温达 33°C , 湿度在 $60\% \sim 90\%$ 之间变动. 120 路电子学台阶漂移的平均值和相对增益漂移的平均值在近两个月时间内的变化示于图 15. 6 月 25 日的虚线表示换了一个 BPORT 插件, 使台阶与增益的绝对值有所变动, 我们将 6 月 25 日的值与 6 月 24 日作了衔接. 由图可见台阶与增益在 6 月 4 日后趋于较为稳定的值 (6 月 25 日换了 BPORT 后台阶和相对增益有些漂移, 但很快趋于稳定).

五、结 论

在一定的电磁簇射能量之下, 利用 SQS 模式作为簇射计数器的取样方式是一种较为容易和优越的方法, 目前的设计在 BEPC 能量范围内能够提供较好的能量分辨率和位置分辨率, 能量响应的饱和效应并不成为严重的问题. 对四种混合气体的测试结果表明, 在较低的能量范围内, 它们均可使用, 对电磁簇射计数器的性能没有太明显的影响, 我们可根据工作寿命、安全性及电子学动态范围等要求来具体地选择工作气体, 作者将另有专文加以讨论.

作者感谢日本国立高能物理研究所对本次束流测试的支持, 感谢叶铭汉教授和尾崎

方向二次

教授的关心。

我们特别要向平林洋美教授和吉村喜男教授致谢,感谢他们为我们安排了充足的束流时间,并准备了实验上许多仪器和设备。感谢 KEK PS 加速器工作人员提供稳定的束流,电子学组提供各种插件,感谢铃木善寻、高崎稔和小林正明博士的帮助。与 AMY 组簇射计数器同行讨论十分有益。在设计模型时,与王淑琴、郎鹏飞作过讨论。

周莉、朱青也参加部分工作。

参 考 文 献

- [1] G. Battistoni et al., NIM, 164(1979), 57.
- [2] G. D. Alekseev et al., NIM, 177(1980), 385.
- [3] M. Atac et al., FN-399, 2562.00(1981).
- [4] H. Kametani et al., *Jap. Jour. of Appl. Phys.*, 23(1984), L922.
- [5] 陆昌国,高能物理与核物理, 7(1983), 643.
- [6] 马金源等,高能物理与核物理, 7(1983), 681.
- [7] 马金源等,高能物理与核物理, 8(1984), 142.
- [8] Ma Jinyuan et al., *Chinese Physics*, 4(1984), 850.
- [9] 陆昌国等,高能物理与核物理, 9(1985), 397.
- [10] Proceedings of Gas Calorimeter Workshop, Fermilab, 1982.
- [11] M. Basile et al., CERN-EP/83-201.
- [12] R. M. Baltrusaitis et al., SLAC Proposal, SP-31 (1980).
- [13] «北京谱仪簇射计数器读出电子学系统»,高能所电子学室簇射读出系统课题组, 1985, 2.
- [14] V. Amaldi, *Physica Scripta*, 23(1981), 409.
- [15] W. Toki et al., NIM, 219(1984), 479.

TEST BEAM STUDIES OF BES BARREL SHOWER COUNTER PROTOTYPE

BARREL SHOWER COUNTER GROUP¹⁾ SHOWER COUNTER READOUT SYSTEM GROUP²⁾
(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The BES barrel shower counter prototype was tested with electron and pion beam in the momentum range from 0.2 to 2.0 GeV/c at 12 GeV PS test beam line of KEK, the preliminary results were reported. Four types of gas mixtures which were used in prototype have been tested: 40%Ar/60% Isobutane, 44.5%Ar/44.5%CH₄/11% Methylal, 47%Ar/47%CH₄/6% Methylal, 49.3%Ar/49.3%CH₄/1.4% Ethyl alcohol. The results show that using SQS tube as sampling means in BES shower counter is feasible way for BEPC energy region.

1) Lu Chang-guo, Que You-kuen, Lu Wei-da, Chou Yue-hua, Gu Weixin, Li Pei-qin, Zhang Yu, Zhu Guo-sheng.

2) Hu Jia-wei, Chen Sheng-nan, Gao Cui-shan, Liang Guo-ning, Zhang Hao-yun, Tang Fu-kun, Liu Zhen-an, Gao Zheng-wei, Li Wei-heng.