

## BES 主漂移室的宇宙线测试结果

马基茂 毛慧顺 白景芝 谢佩佩 颜 洁  
王耀辉 刘荣光 宋晓非 武振东 范 群

(中国科学院高能物理研究所,北京)

### 摘 要

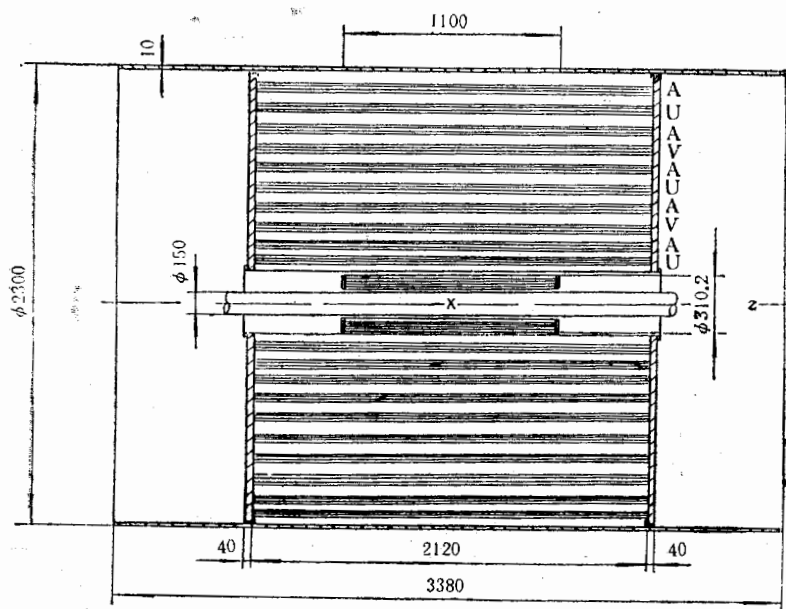
简要描述了北京谱仪 (BES) 主漂移室的结构和宇宙线实验安排,给出利用宇宙线测试主漂移室性能的主要结果.单元内具有线性的漂移距离  $S$ - 漂移时间  $T$  关系.室的单丝空间分辨率  $\sigma_r = 210 \sim 240 \mu\text{m}$ . 相当室内 40 次  $dE/dx$  取样的能量分辨率为 8.7%. 主漂移室运行稳定.

### 一、引 言

北京谱仪(BES)是一台大型通用磁探测器,它将运行在北京正负电子对撞机 (BEPC) 的第一个对撞点上.作为 BES 核心部件的主漂移室,用来测量高能  $e^+e^-$  反应终态带电粒子的径迹、动量和能量损失  $dE/dx$ ,  $dE/dx$  信息可以鉴别粒子种类.在利用宇宙线观测全部灵敏丝输出信号的基础上,配备主室部分系统的读出电子学,取样测量了各种性能:宇宙线径迹图,灵敏丝计数率分布,信号漂移时间谱,漂移距离  $S$ - 漂移时间  $T$  关系曲线,空间分辨率和能量分辨率等,获得比较满意的结果.读出电子学采用最后设计方案,将在  $e^+e^-$  对撞束实验中使用.主漂移室已经完成了在 BES 上进行安装和联合运行的全部准备.

### 二、主漂移室和实验安排

主漂移室是一个大型精密圆柱漂移室,其结构设计在静电学计算和室模型实验的基础上完成<sup>[1]</sup>.主室的总体结构表明在图 1( $R-\theta$  平面)和图 4 ( $R-\phi$  平面),内径 31cm, 外径 2.3 m, 全长 3.38m, 有效长度 2.12m. 主室的设计基于 4 灵敏丝单元(图 2),灵敏丝间距 1cm, 相对中心平面依次向两边位移  $350 \mu\text{m}$ , 从而在单元内解决径迹的左右问题.在灵敏丝之间加入电位丝,是为了减小灵敏丝间的串扰和静电偏离,并可有效地控制灵敏丝上的增益.在中心丝平面的两端分别加保护丝,是为了改善单元边缘区域的电场均匀性,使 4 根灵敏丝具有相同的增益和漂移电场环境.电场丝平面构成单元的边界,丝距 5mm. 主漂移室由 10 个同心单元丝层组成,包括 5 个轴向丝层和 5 个斜丝层.轴向

图1 主漂移室结构 ( $R-\theta$  平面)

丝层的信息测定  $R-\phi$  平面上的径迹坐标,斜丝层的信息用来计算径迹的  $z$  向坐标,二者都给出能量损失  $dE/dx$  的测量。每层有 48—108 个单元,总计 702 个单元。各种丝数总计 19380 根,内含 2808 根灵敏丝。表 1 列出主漂移室的主要参数,其中 A 代表轴向丝层, U、V 分别代表左、右两个方向的斜丝层。各层单元沿方位角  $\phi$  的相对位置安排兼

表 1 主漂移室的主要参数

层号	层中心半径 mm	单元数	总丝数	信号丝数	单元半宽 mm	层间距离 mm	丝对室中 心轴斜角	丝排相对 $x$ 轴起点
I(U)	215	48	1056	192	14.1	35(到内壁)	$-2.27^\circ$	$0^\circ$ (第一电场丝排)
II(A)	295	48	1056	192	19.3	30(到 I)	$0^\circ$	$0^\circ$ (第一电场丝排)
III(V)	375	60	1320	240	19.6	30(到 II)	$+3.17^\circ$	$0^\circ$ (第一电场丝排)
IV(A)	475	48	1440	192	31.1	40(到 III)	$0^\circ$	$0^\circ$ (第一电场丝排)
V(U)	575	58	1740	232	31.1	30(到 IV)	$-5.02^\circ$	$2^\circ$ (第一灵敏丝排)
VI(A)	675	68	2040	272	31.2	30(到 V)	$0^\circ$	$2^\circ$ (第一灵敏丝排)
VII(V)	775	78	2340	312	31.2	30(到 VI)	$+5.04^\circ$	$5^\circ$ (第二灵敏丝排)
VIII(A)	875	88	2640	352	31.2	30(到 VII)	$0^\circ$	$5^\circ$ (第二灵敏丝排)
IX(U)	975	98	2940	392	31.2	30(到 VIII)	$-5.05^\circ$	$0^\circ$ (第一灵敏丝排)
X(A)	1075	108	2808	432	31.2	30(到 IX) 40(到外壁)	$0^\circ$	$0^\circ$ (第一灵敏丝排)

顾了触发电路工作和径迹分辨两方面的要求。前 4 层参与触发,它们的第一电场丝排在  $x$  轴上取齐,由 4 层匹配的单元数控制,在  $R-\phi$  平面形成  $30^\circ$  循环的单元排列图样。这种对称性简化了触发电路的设计和制作。后 6 层不参与触发,在  $x$  轴处选择各层排列起点

有一定的错开,再由各层不同单元数形成层间单元无序交错的图样.这种无序性避免了一些大动量径迹从中心向外总是通过靠近丝的地方,近丝处的空间分辨变坏.

主漂移室各层丝的工作电压由静电学计算设计并经室模型实验修正.工作气体为  $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{CH}_4 = 89\%/10\%/1\%$ .

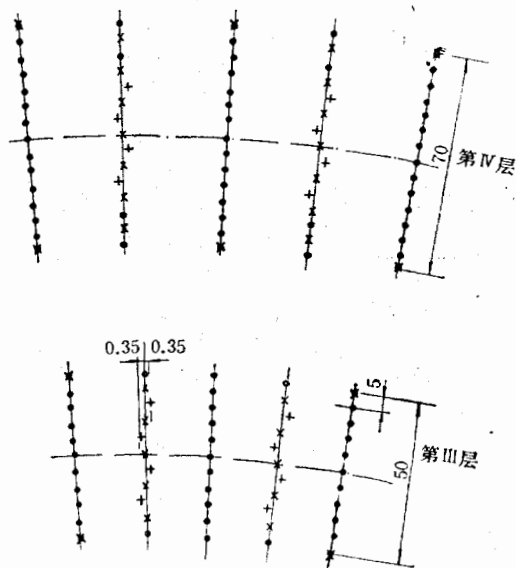


图 2 主漂移室单元结构

信号丝+  $\phi 30\mu\text{m}$  镀金钨丝 电位丝×  $\phi 100\mu\text{m}$  Inconel 600 丝  
 保护丝○  $\phi 100\mu\text{m}$  Inconel 600 丝 电场丝●  $\phi 178\mu\text{m}$  镀铜丝  
 粗场丝▲  $\phi 220\mu\text{m}$  镀铜丝

主漂移室的宇宙线实验安排示意地表明在图 4. 触发系统由位于主室上下两块长 2.8m、厚 5cm 的 NE110 长条闪烁体及相关设备组成,通过它们的符合关系给出作为时间零点的触发信号. BES 完整的桶部飞行时间计数器包括 48 块这样的闪烁体. 两块闪烁体复盖了约十分之一的主室单元,相应配备了 10 层 72 个单元 288 根灵敏丝的读出电子学. 图 3 给出读出电子学框图,包括前端电路、时间测量通道、电荷测量通道、逻辑控制电路、阈电压调节电路和校准电路 6 个组成部分,是经过多次改进的最后设计方案<sup>[2]</sup>. 五分之一系统累计近 2000 小时的测试表明,时间测量的分辨率达到  $\leq 2\text{ns}$  (等效阈  $100\mu\text{V}$ , 阶跃输入幅度范围  $0.4\text{--}4\text{mV}$ ), 电荷测量的等效输入噪声电荷  $\sigma_{\text{ENC}} < 6\text{fC}$ . 实验数据的获取由 BES 在线数据获取系统控制,它由 CAMAC 机箱系统, VCC 接口和 VAX-11/785 计算机组成. 主室信号经读出电子学处理后输入到 CAMAC 机箱 BADC 插件进行模数变换. BADC 在完成模数变换后,利用存储的校正参数自动对输出结果进行校正. 校正参数是通过对输入的标准校准信号处理后得到的. 输出结果的校正包括对零数据或阈值以下数据的删除,非零数据的一次及二次校正等<sup>[3]</sup>. BADC 也可以不对输出数据做校正,用来估价校正的效果.

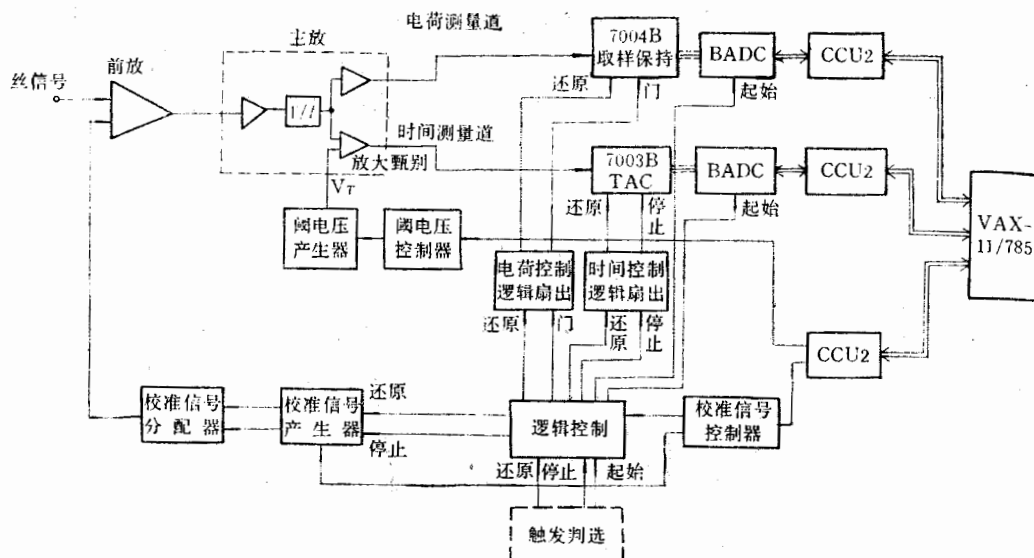


图3 主漂移室读出电子学框图

### 三、主要实验结果

#### 1. 宇宙线事例径迹图

图4给出一条典型的宇宙线径迹图,在  $R-\phi$  平面只标绘了击中丝的位置,未做漂移时间的校正。相应的斜丝单元灵敏丝均有响应,因为它们的信息用来计算  $z$  向坐标而不用于  $R-\phi$  平面的径迹重建,这里未予标出。通过设计工作电压和适当阈值的设置,可以得到完整清晰的宇宙线径迹,说明主室具有高探测效率并有效地排除了噪声的影响。

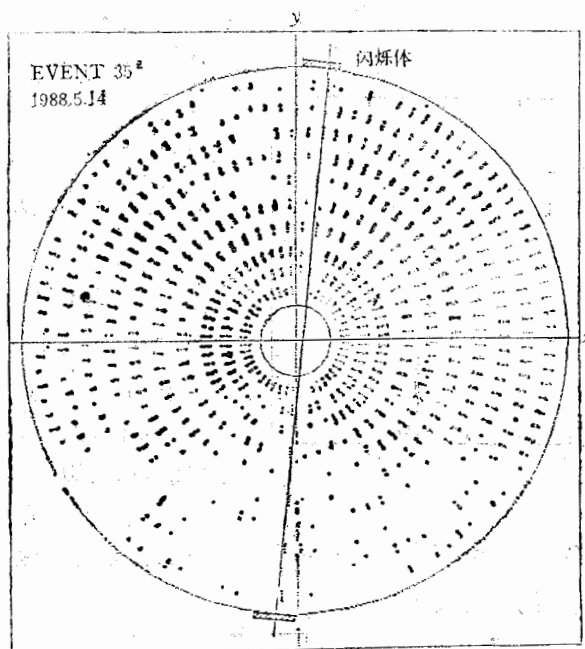
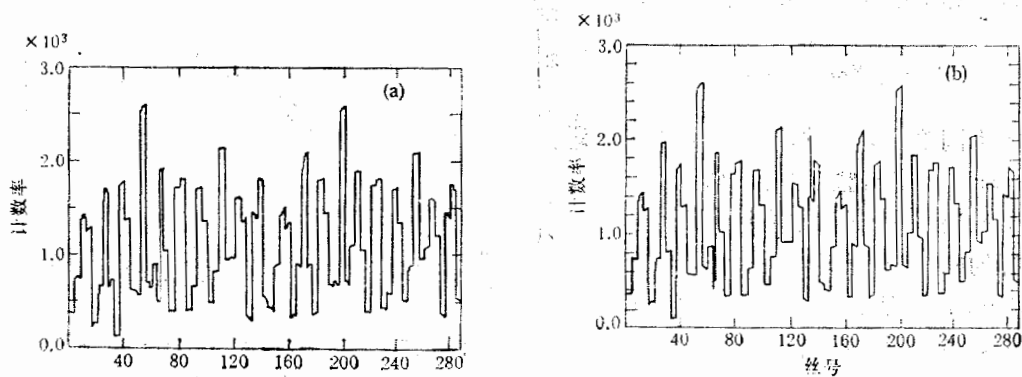
#### 2. 灵敏丝计数率分布

图5给出288根灵敏丝按层号、单元号和丝号依次编码的计数率分布,上下两半分别编码。时间测量道和电荷测量道各有一个这样的分布。测量结果表明,两个分布完全一致,并且同实验安排的几何条件相符。不同单元灵敏丝计数率的差别是由单元相对闪烁体的位置决定的,特别是斜丝单元部分丝长伸出闪烁体复盖范围,造成了计数率的下降。计数率分布的测量可以很快发现一个大室系统丝编码和电缆连接的错误,也可以直观地找到有问题的丝和电子学道,例如死道和噪声道。这一测量对及时排除故障、保证大室系统正常运行提供了有效的手段。

#### 3. 信号的漂移时间谱和 $S-T$ 关系

宇宙线实验得到的计数率随漂移时间的分布代表了单元内电子漂移速度的变化。单位漂移时间内的计数  $dN/dt$  为:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{dN}{dS} \cdot \frac{dS}{dt} = C \cdot V_{DR}, \quad (1)$$

图 4 主漂移室结构 ( $R-\phi$  平面, 只标绘灵敏丝) 和一条典型的宇宙线径迹图 5 灵敏丝计数率分布: (a) 时间  $T$ , (b) 电荷  $Q$ 

式中  $V_{DR}$  为漂移速度;  $dN/dS$  为单位漂移路程上的计数, 由于宇宙线在单元内的分布是均匀的,  $dN/dS$  等于常数  $C$ .  $C = N/D$ ,  $N$  和  $D$  分别为单元内的总计数和最大漂移距离(单元半宽). 图 6 给出一层灵敏丝信号相加得到的漂移时间谱, 它比单丝谱的统计性要好. 在设置的工作电压下, 信号的漂移时间谱非常均匀, 相应单元内漂移速度不变(我们的情况实际达到了饱和漂移速度). 经变换后(1)式可以写成:

$$S = \frac{1}{c} \int \frac{dN}{dr} dr, \quad (2)$$

它的积分处理给出漂移距离  $S$ - 漂移时间  $T$  的关系曲线, 图 7 表明由实验数据得到的这种曲线. 在单元的大部分区域内,  $S-T$  具有良好的线性关系, 其斜率为漂移速度  $V_{DR}$ .

拟合结果  $V_{DR} \approx 5.0 \text{ cm}/\mu\text{s}$ , 同所用工作气体的公认值一致。使用线性  $S-T$  关系能够减小数据分析中进行校正的工作量, 加快寻迹过程, 并为好的空间分辨率作出贡献。

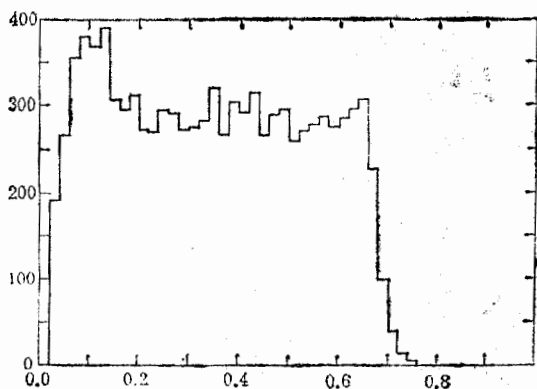


图 6 一层灵敏丝计数率对漂移时间的分布

面的位移量。两峰位置的符号表示径迹从中心面的左边或右边通过单元, 即左右分辨。通过峰的宽度  $\sigma_{\Delta t}$  可以推算出单丝空间分辨率  $\sigma_x$ :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{2}{3}} \sigma_{\Delta t} \cdot V_{DR}. \quad (4)$$

对于不同单元, 得到  $\sigma_x = 210 \sim 240 \mu\text{m}$ , 这是对整体漂移距离 (单元半宽) 和丝全长的平均结果。  $\Delta t$  双峰的间距一般约为  $31 \text{ ns}$ , 相当  $1.55 \text{ mm}$ , 比理论间距  $4\delta = 1.4 \text{ mm}$  略大, 多余的小量归因于灵敏丝位置的静电偏离。这提供了丝平均静电偏离的一种量度, 还有助于发现个别未正确加张力的灵敏丝, 并给出丝位偏离的校正量。

#### 5. 信号电荷谱和能量分辨率

图 9 给出典型的宇宙线在室气体中能量损失产生的单丝信号电荷谱。静电学计算对气体放大系数的设计值为  $5 \times 10^4$ , 实测值约为  $5.5 \times 10^4$ 。进行了改变各层电位丝电压和电场丝电压的测量, 目的是调整气体放大系数值, 使各层信号之间的差别接近 10% 的设计值和适合  $e^+e^-$  对撞束反应信号范围的要求。最终各灵敏丝电荷谱峰位的差别将用来作为相对增益校正的依据。

信号电荷谱为 Landau 分布, 它的半高宽 FWHM 同峰位  $E_{mp}$  之比约为 1, 同简单模型的估算基本一致<sup>[4]</sup>, 比室模型实验的结果有较大改进<sup>[5]</sup>, 这主要归因于新型前端电子

#### 4. 左右分辨和空间分辨率

图 8 给出利用三丝法得到的对量  $\Delta t$  典型的计数率分布,  $\Delta t$  定义为:

$$\Delta t = [(t_1 + t_3)/2] - t_2, \quad (3)$$

式中  $t_1$ 、 $t_2$  和  $t_3$  分别为 3 根相邻灵敏丝记录的漂移时间。每个单元有 4 根灵敏丝, 可以取两个三丝组。  $\Delta t$  的计数率是一个双峰分布, 峰中心分别在  $\pm 2\delta$ ,  $\delta$  为灵敏丝相对单元中心丝平

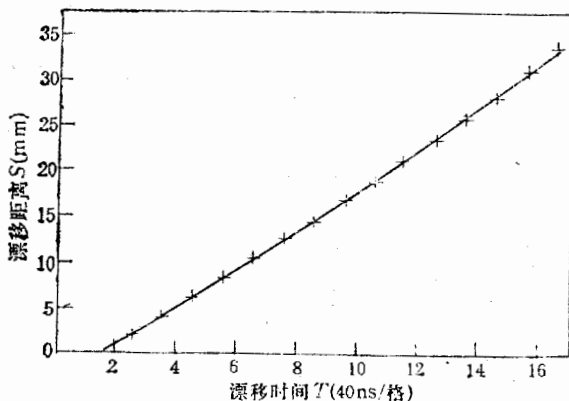


图 7 漂移距离  $S$ - 漂移时间  $T$  关系曲线 ( $S = 0$  对应的  $T$  读数为漂移时间起点)

学性能的提高(前置放大器由荷兰 NH19-6112 型混合集成电路作为核心放大部件)。如果考虑一条径迹在室内连续取样  $N$  次,并采用截断平均法处理数据,多次测量的结果给出一个  $N^{-0.43}$  的因子改进能量分辨率<sup>[6]</sup>:

$$\frac{\sigma_N}{E_{mp}} = \frac{1}{2.35} \cdot \frac{FWHM}{E_{mp}} N^{-0.43}, \quad (5)$$

主漂移室中  $N = 40$ , 得到  $\sigma_{40}/E_{mp} \approx 8.7\%$ 。这一能量分辨率可以有效地鉴别 BEPC 能区产生的电子-强子和低动量强子-强子(特别是  $\pi$ -K)。

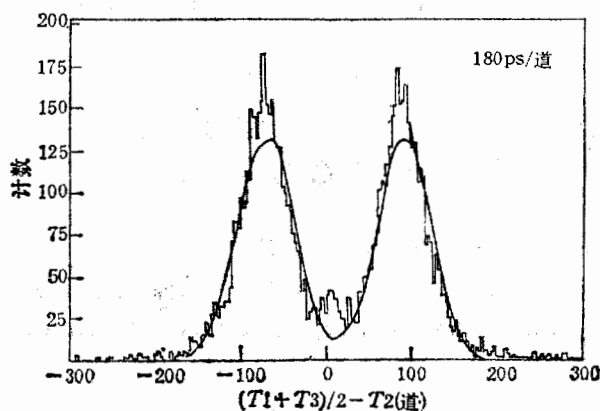


图 8 三丝法  $\Delta$  计数率分布

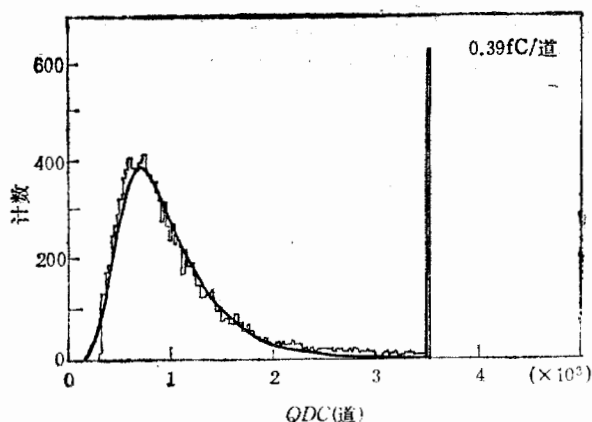


图 9 单丝信号电荷谱

#### 四、结 论

主漂移室部分系统的宇宙线测试表明,各项主要指标已经达到或接近设计指标,运行稳定。主漂移室、读出电子学系统和在线数据获取系统在测试中做了成功的配合,为将来 BES 的联合调试和运行打下了基础。

我们感谢高能所一室飞行时间组,在线组和电子学室漂移室电子学组的帮助,感谢叶

铭汉教授和室领导的关心和支持。

### 参 考 文 献

- [1] 马基茂等,“北京谱仪主漂移室”,1985年初稿,1987~88年修改.
- [2] 盛华义等,“北京谱仪漂移室读出电子学的研制”,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,1988年11月.
- [3] 吴为民等,“北京谱仪在线系统的电子学刻度”,同上.
- [4] 毛慧顺,高能物理与核物理,10(1986),752.
- [5] 马基茂、毛慧顺、白景芝、谢佩佩、颜洁等,高能物理与核物理,11(1987),441.
- [6] J. Va'vra et al.,“Energy loss measurement in a jet chamber”,NIM 203(1982),109—118.

## RESULTS OF COSMIC RAY TESTS WITH THE BES MAIN DRIFT CHAMBER

MA JIMAO MAO HUISHUN BAI JINGZHI XIE PEIPEI YAN JIE WANG YAOHUI  
LIU RONGGUANG SONG XIAOFEI WU ZHENDONG FAO QUN

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

### ABSTRACT

The structure of the BES main drift chamber and arrangement of cosmic ray tests have been described briefly. The main test results of the chamber performance have been given. There are  $S$ - $T$  relations with good linearity in the cells. The spatial resolution of 210—240 $\mu\text{m}$  has been obtained for single wire. The energy resolution corresponding to 40 samples in the chamber is 8.7%.