

北京谱仪中心漂移室 45° 模型性能的束流测试结果

王耀辉 刘荣光 史焕章 后晓江

李如柏 陈朝清 吴坚武

(中国科学院高能物理研究所, 北京)

摘 要

本文描述利用日本 KEK 12GeV 质子同步加速器 K2 试验束测量北京谱仪 (BES) 中心漂移室 45° 模型性能的主要结果。单丝空间分辨率 σ_x 可达 $160 \mu\text{m}$ 。电荷分配定位积分非线性小于 0.5% ，当输出电荷量为 $1.4 \pm 0.2\text{pC}$ 时， z 向分辨率可达 2.3% 。

一、引 言

北京谱仪中心漂移室是一个放在主漂移室内的围绕着束流管的小型圆柱漂移室，它和主漂移室相配合，用来测量带电粒子的径迹和动量。径迹的 x 和 y 坐标由命中丝的位置和漂移时间决定；沿丝方向的 z 坐标则由电荷分配法求出。中心漂移室 45° 模型的结构、幅度特性和宇宙线测试结果已经发表^[1]，本文给出在日本 KEK 12GeV 质子同步加速器 K2 试验束上利用动量 0.5 和 $1.0\text{GeV}/c$ 的 e^+ 、 π^+ 和 p 束流测量该模型性能的主要结果。

二、实验安排

图 1 表示在 K2 试验束上的实验安排。通过调整磁铁和 DC 分离器参数可以从 K2 束中选择出 p 束或 e^+/π^+ 混合束并改变它们的动量。中心室模型放在主室模型后面，在它们的上下游分别放置闪烁计数器 SC_1 、 SC_2 和 SC_3 。 SC_3 很薄，厚度 1mm ，可相对于束流水平或垂直放置。它们被用来选取宽度约为 1mm 的实用束并定义其位置。在 K2 试验束上配备有气体契伦柯夫计数器 $G\check{C}$ 和铅玻璃计数器 LG 。它们与三个闪烁计数器一起，通过符合反符合关系 $SC_1 \cdot SC_2 \cdot SC_3 \cdot G\check{C} \cdot LG$ 和 $SC_1 \cdot SC_2 \cdot SC_3 \cdot \overline{G\check{C}} \cdot \overline{LG}$ ，可以从 e^+/π^+ 混合束中选择出高纯度的 e^+ 束或 π^+ 束。

本文 1987 年 4 月 22 日收到。

D

sted.
gnoli

模型室固定在一个活动平台上,该平台相对于束流上下平移,可改变束流与讯号丝的 x 向距离,精度好于 $10\mu\text{m}$;平台沿 z 向移动,可改变束流打在讯号丝上的位置,精度好于 1mm . 取时间数据时,使 SC_3 相对于束流水平放置,选取 x 向宽度 $\sim 1\text{mm}$ 的扁平束;进行电荷分配测量时,使 SC_3 处于垂直位置,选取 z 向宽度 $\sim 1\text{mm}$ 的窄束.

本实验工作气体为 $89\% \text{Ar} + 10\% \text{CO}_2 + 1\% \text{CH}_4$, 流量 $100\text{ml}/\text{min}$.

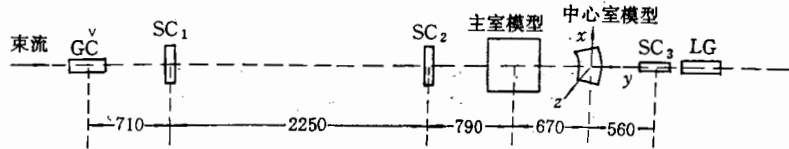


图 1 实验安排

GC: 气体契伦柯夫计数器 LG: 铅玻璃计数器 $\text{SC}_1, \text{SC}_2, \text{SC}_3$: 小型闪烁计数器

三、读出电子学和刻度线路

图 2 是读出电子学、刻度线路和在线计算机系统框图. 由讯号丝两端引出的讯号经分路器 SPL 线性地分成两路. 一路经放大甄别器 DAD 送到 TDC, 测量漂移时间; 另一路经电流放大器 ZCA 送到 ADC, 测量讯号电荷量. TDC 的起始讯号和 ADC 的开门讯号来自触发系统. 在选取或排斥电子时, 分别使 GC 和 LG 符合讯号与三个闪烁计

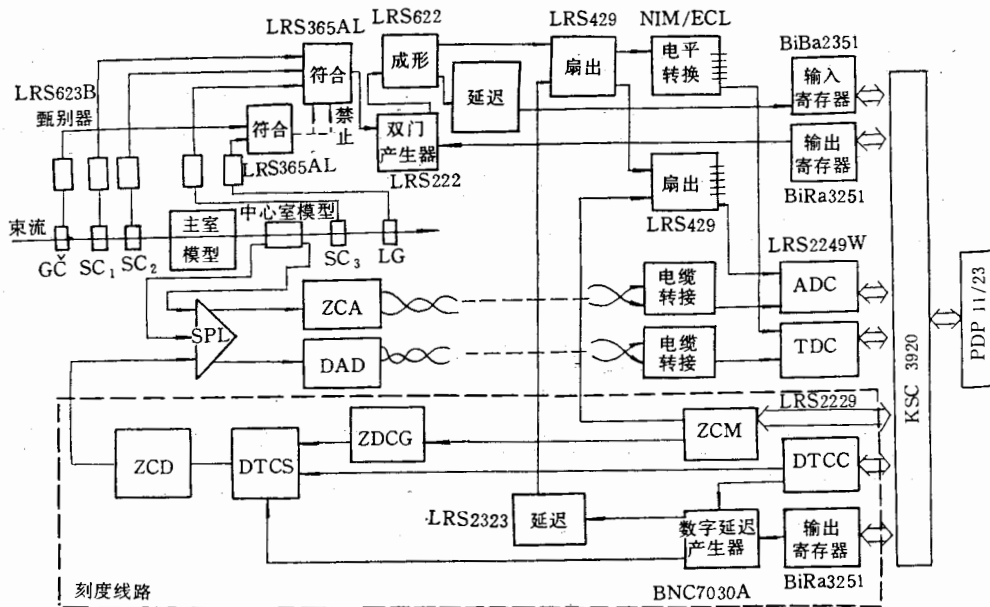


图 2 读出电子学、刻度线路和在线计算机系统框图

数器的讯号进行符合或反符合, 其输出送到双门产生器 LRS222, 再经过成形和扇出分别加到 TDC 和 ADC. 逻辑电路 LRS622 的一个输出讯号经 1ms 延迟后送到输入寄存器

Bi R
器 K
3251

产生
的相
在时
前后
各个
讯号

度曲
倒数
偏离

E
控制
寄存器,
的总
道都
个触
程为
机写

号丝的
度好于
束; 进

Bi Ra2351, 为计算机提供中断请求. TDC 和 ADC 输出的数据经 CAMAC 机箱控制器 KSC3920 和计算机 Micro PDP11/23 相连. 在计算机控制下, 通过输出寄存器 BiRa 3251 使 LRS222 门翻转, 为接受下一次触发做好准备.

刻度系统包括时间刻度和电荷刻度, 它们在逻辑上与读出系统相同, 不同的只是讯号产生源. 图 2 中的 BNC7030A 是可编程双脉冲产生器. 通过软件设置可改变两个脉冲的相对延迟时间. 在计算机控制下, 把特定的 BCD 码经由输出寄存器送至 BNC7030A, 在时间/电荷控制插件 DTCC 给出触发脉冲后, 开始输出脉冲间隔正比于该 BCD 码的前后两个脉冲. 前脉冲作为 TDC 的起始讯号, 后脉冲被 ZCD 分成 24 路送到 SPL 的各个奇偶校准输入端. 图 2 中的 DTCS 是时间/电荷开关插件, 用来选通刻度用的时间讯号或电荷讯号.

TDC 刻度结果如图 3(a) 所示. 这是第 11 路 TDC (相应的丝号为 A04^[1]) 的刻度曲线, 线性很好. 用最小二乘法拟合, 在 0—700ns 范围内积分非线性小于 0.08%, 斜率倒数为 0.3942ns/count. 其它各路基本相同, 平均值为 0.3939ns/count, 各路与平均值的偏离小于 ±2%.

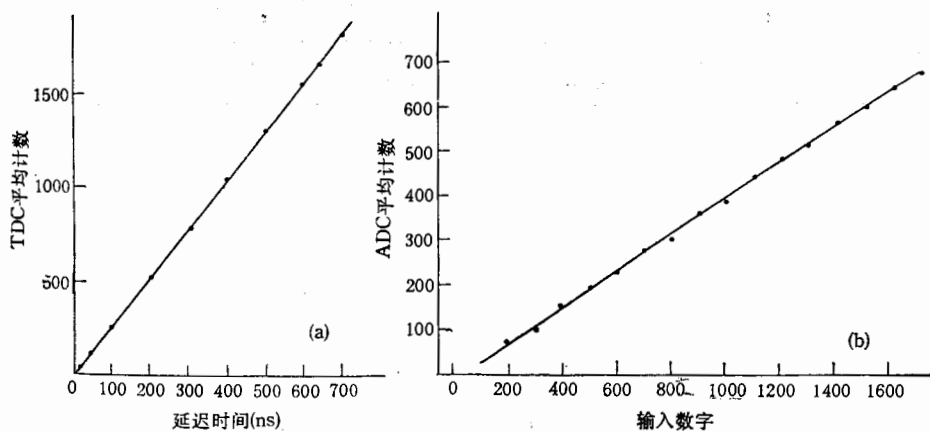


图 3 刻度曲线

(a) TDC 刻度曲线
Channel#11 (wire#A04)
 $Y = 20.17 + 2.5366X$

(b) ADC 刻度曲线
Channel#11 (wire#A04L)
 $Y_1 = -7.9 + 0.3934X_1$
 $Y_2 = -17.9 + 0.4133X_2$

电荷刻度电路^[2]由可编程电荷控制器 ZCM、电荷产生器 ZDCG、分配器 ZCD 和触发控制插件 DTCC 等组成. 在计算机控制下, 把特定的 BCD 码写入 ZCM 内的 12 位寄存器, 然后送到 ZDCG. 经过 ZDCG 内部的 12 位 DAC 变换, 产生一个正比于该数码的总电荷量. 分配器把总电荷量平均分配给所有 SPL 的奇偶校准输入端, 这样每个通道都可获得等量的输入电荷. 在数码被送到 ZDCG 之前 300—400ns, ZCM 送出一个触发讯号, 经扇出之后作为各个 ADC 的开门讯号.

ADC 刻度结果如图 3(b) 所示. 由于线性不很好, 用最小二乘法分段拟合. 拟合方程为 $Y = a_i + b_i X$, 即 $X = A_i + B_i Y$, $i = 1, 2$. 式中 Y 是 ADC 计数, X 是由计算机写到刻度系统的刻度数字. 根据实际电路参数计算, 每个刻度数字相当于向 SPL 输

讯号经
间; 另
的
的开
闪烁计

PDP 11/23

出分别
寄存器

入 $1.0 \times 10^{-3} \text{pC}$ 电荷. 对于第 11 路 ADC (与丝 A04 的左端相连), 当 ADC 计数小于 250 时, $A_1 = 20.17$, $B_1 = 2.54$; 当 ADC 计数大于 250 时, $A_2 = 43.34$, $B_2 = 2.42$. 各路一致性较好. 实际测量时, 讯号丝输出电荷量 Q 与相应 ADC 计数 Y 的关系为 $Q = 1.0 \times 10^{-3} \times (A_i + B_i Y) D_0 / D$, 这里 D_0 和 D 分别是刻度和测量时在 ADC 输入端所加的衰减倍数.

四、实验结果

1. 漂移速度

确定电子漂移速度的方法有多种, 我们采用移动法和径迹重建法^[4]. 移动法就是使室相对于窄束移动, 测出不同漂移距离下的漂移时间. 图 4 表示利用 $1 \text{GeV}/c \pi^+$ 测量的平均漂移时间和漂移距离的关系. 横坐标是活动平台的位置, 等效于相对漂移距离. 纵坐标是由电子漂移时间谱峰值位置决定的平均漂移时间. 由图 4 可以看到, 用这种方法确定的漂移时间, 在讯号丝附近偏大, 在电场丝附近则偏小. 原因是束流太宽. 当束流照射在讯号丝附近时, 同时向丝的左右两边入射, 由于左右不分, 所记录的时间谱峰值位置自然偏大; 而在电场丝附近, 因部分束流跨过电场丝入射到相邻单元, 使时间谱峰值位置向小的方向移动. 由最小二乘法拟合得到的漂移速度列于表 1. 显然 A、B、C 三层的

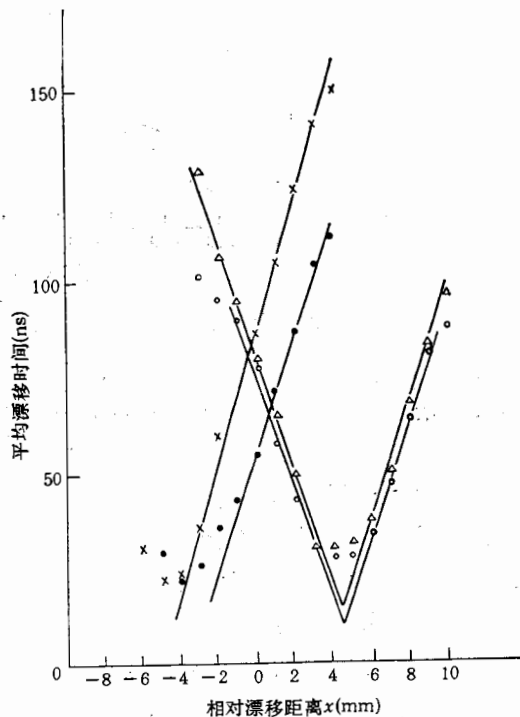


图 4 平均漂移时间和漂移距离的关系

束流: $1 \text{GeV}/c \pi^+$ —○— 单元 A04 —△— 单元 B03
—△— 单元 C04 —×— 单元 D03

漂移速度比较一致, D 层的要慢一些, 与径迹重建法求出的结果符合。

表 1 由移动法求出的各单元的漂移速度

漂移单元	AO4 左	AO4 右	BO3 右	CO4 左	CO4 右	DO3 右
漂移速度 (cm/ μ s)	6.456	6.377	6.468	6.415	6.626	5.913

2. 空间分辨率

图 5 是 1GeV/c π^+ 通过 D03 左单元中间的径迹残差分布, $\sigma_x = 160\mu\text{m}$ 。实验表明, 空间分辨率与漂移距离有关, 在讯号丝附近很差, 随着漂移距离的增加而变好, 在 4 mm 左右达最佳值, 然后又慢慢变差。在这种小漂移单元的漂移室中, 原初电离的统计涨落和电子学测量误差是影响空间分辨率的两个重要因素。

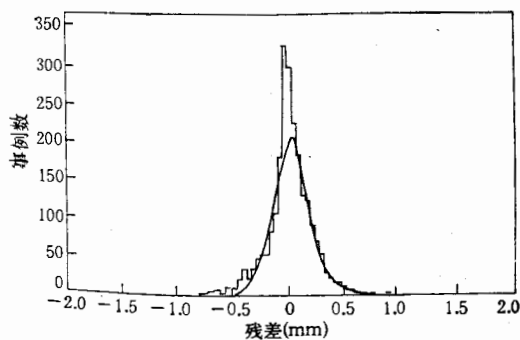


图 5 径迹残差分布直方图及其拟合曲线

束流: 1GeV/c π^+ ; 漂移单元: D03

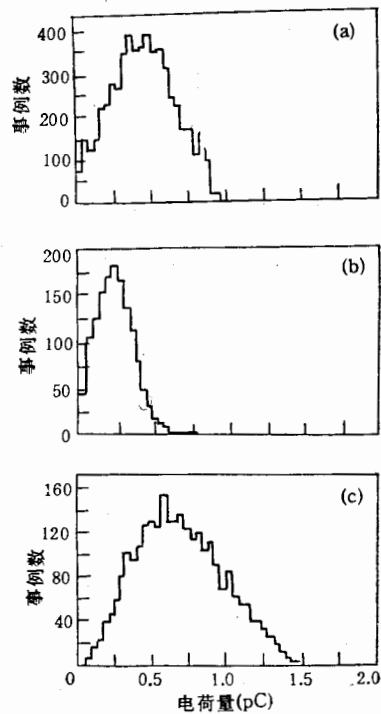


图 6 电荷谱

束流: 0.5GeV/c π^+
入射位置: $z = 35\text{cm}$ (a) 近端 Q_a
(b) 远端 Q_b (c) 总电荷谱 $Q_t = Q_a + Q_b$

3. 电荷谱

图 6 是 0.5GeV/c π^+ 照射在 $z = 35\text{cm}$ (以丝中点为坐标原点) 处测得的近端 Q_a 、远端 Q_b 和总电荷 Q_t 谱, 电荷量分别为 $Q_a = 0.445 \pm 0.233\text{pC}$, $Q_b = 0.216 \pm 0.133\text{pC}$,

$Q_i = 0.675 \pm 0.306 \text{ pC}$. 沿丝不同位置总电荷量略有不同. 平均值为 $\bar{Q}_i = 0.644 \pm 0.328 \text{ pC}$, 最大偏差为平均值的 $\pm 5\%$. $0.5 \text{ GeV}/c \pi^+$ 属最小电离粒子, 产生的电荷量最少. 各种不同动量粒子产生的平均总电荷量 \bar{Q}_i 列于表 2. 表中 V_a 、 V_b 、 V_c 和 V_d 分别表示加在 A、B、C 和 D 各层讯号丝上的高压, 电场丝电压均为 -500 V . 在测量质子产生的电荷时, 由于讯号太大造成超道, 无法记录, 不得不把各层讯号丝高压都降低 100 V . 根据文献 [1] 测定的输出电荷量与高压关系曲线可知, 在正比区输出平均电荷量随高压增加的变化率为 $0.313 \text{ pC}/100 \text{ V}$. 如果工作电压不降低, $0.5 \text{ GeV}/c \text{ p}$ 产生的平均电荷量应为 1.31 pC , 而 $1.0 \text{ GeV}/c \text{ p}$ 则为 1.14 pC .

表 2 各种粒子产生的平均总电荷量

粒子类型	动量 (GeV/c)	平均总电荷量 \bar{Q}_i (pC)	室高压 (V)
π^+	0.5	0.644 ± 0.328	$V_a = V_c = V_d = 1900, V_b = 1920$
π^+	1.0	0.677 ± 0.322	$V_a = 1890, V_b = 1925, V_c = V_d = 1900$
e^+	1.0	1.013 ± 0.375	$V_a = V_c = V_d = 1900, V_b = 1920$
p	0.5	0.997 ± 0.245	$V_a = V_c = V_d = 1800, V_b = 1820$
p	1.0	0.826 ± 0.313	$V_a = V_c = V_d = 1800, V_b = 1820$

4. z 向位置分辨率

z 向位置分辨率用电荷分配法测定. 以讯号丝 A04 为例, 设其电阻率为 R_w , 丝长 L , 从丝端点向测量系统看进去的阻抗为 R_s , 束流入射点离丝中点的距离为 z , 从 A 端输出的电荷量为 Q_a , B 端为 Q_b , 不考虑隔直电容的影响, 理论上可证明^[3]下式成立:

$$Q_a \cdot \left[\left(\frac{L}{2} - z \right) R_w + R_s \right] = Q_b \cdot \left[\left(\frac{L}{2} + z \right) R_w + R_s \right],$$

由此得

$$f \equiv \frac{Q_a - Q_b}{Q_a + Q_b} \equiv \frac{Q_a - Q_b}{Q_i} = cz, \quad c = \frac{2}{L} \left/ \left(1 + \frac{2R_s}{LR_w} \right) \right.$$

对于本模型室, $L = 86.7 \text{ cm}$, $LR_w = 601 \Omega$, $R_s = 50 \Omega$, 所以 $c \approx 0.02 \text{ cm}^{-1}$. 电荷分配比 f 的标准偏差表征 z 向位置分辨率的好坏, f 的平均值和偏差都与事例的总电荷量有关. 对于 $1 \text{ GeV}/c \text{ e}^+$, 在计算 f 时或者把整个电荷谱事例都包括在内, 或者只选取总电荷量分别为 $1.0 \pm 0.2 \text{ pC}$ 和 $1.4 \pm 0.2 \text{ pC}$ 的事例. 表 3 给出这三种情况的 f 平均值与束流照射位置 z 的双参数最小二乘法拟合方程、积分非线性和 z 向分辨率. 积分非线性好于 0.5% . 图 7 表示包括整个电荷谱事例的电荷分配比 f 的平均值与 $1 \text{ GeV}/c \text{ e}^+$ 束流入射位置 z 的关系.

图 8 是 $1 \text{ GeV}/c \text{ e}^+$ 入射在 $z = 5 \text{ cm}$ 处测得的 f 的直方图及其拟合曲线. 8(a) 是包括全部电荷谱事例的结果, 8(b) 只选取总电荷量 $Q_0 = 1.4 \pm 0.2 \text{ pC}$ 的事例. 前者 f 平均值为 0.094 , 后者为 0.091 . f 的标准偏差 σ_f 分别为 0.0293 和 0.0178 . $\sigma_z = \sigma_f/b$, 其结果列于表 3.

中心漂移室是北京谱仪最内部的探测器, 很难把前置放大器直接安装在室本体上. 由

图

于电

平提同

[1]

表 3 f 平均值与束流照射位置 z 的拟合方程、积分非线性和 z 向分辨率

被选择事例的总电荷量范围 (pC)	拟合方程 $f = a + bx$			在丝中点附近的 z 向分辨率	
	a	$b(\text{cm}^{-1})$	积分非线性	$\sigma_z(\text{cm})$	σ_z/L
全部	0.04784	0.00904	0.32%	3.24	3.74%
1.0 ± 0.2	0.04831	0.00910	0.50%	2.93	3.38%
1.4 ± 0.2	0.04581	0.00903	0.44%	1.97	2.27%

±0.328
少, 各
表示加
的电荷
据文献
的变化
31pC,

20
= 1900
20
20
20

丝长
A 端输

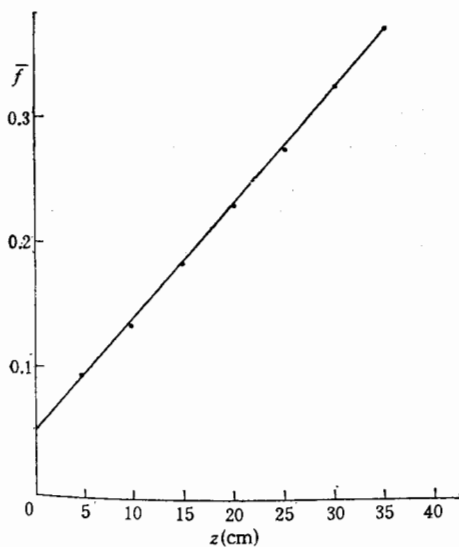


图 7 电荷分配比 \bar{f} 与束流入射位置 z 的关系
束流: 1 GeV/c e^+ , 对事例未加挑选

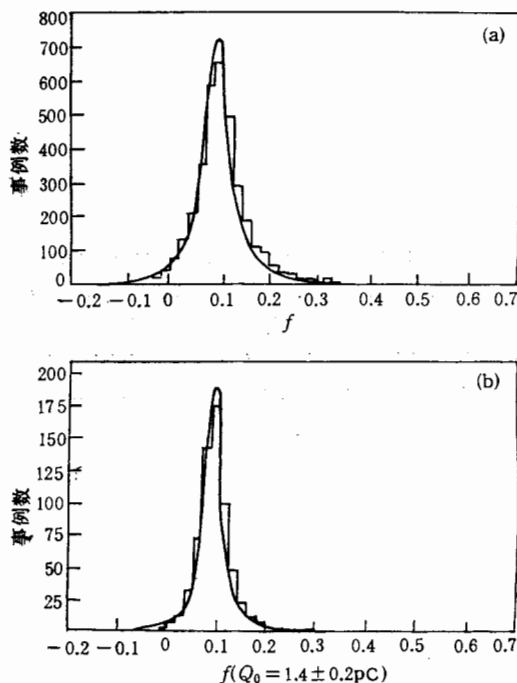


图 8 电荷分配比 f 的直方图及其拟合曲线
束流: 1 GeV/c e^+ 束流入射位置: $z = 5 \text{ cm}$
(a) 对事例未加挑选 (b) 只选取总电荷 $Q_0 = 1.4 \pm 0.2 \text{ pC}$ 的事例

荷分配
荷量有
又总电
与束流
生好于
入射

于前放离室本体远达 5m, 对室性能的影响比较大, 致使 σ_z 的测量结果比较差. 为了提高电荷分配定位精度, 应当设法使前放尽量靠近室本体.

作者感谢叶铭汉所长和日本 KEK 尾崎敏先生对本工作的关心和支持. 感谢 KEK 平林洋美、吉村喜男、稻叶进先生和京都大学笹尾登先生在测量中的帮助. 本所电子学室提供部分电子学插件, 白景芝、毛慧顺和颜洁同志在数据获取中提供帮助, 谢佩佩和冯莉同志参加部分工作, 在此一并表示感谢.

参 考 文 献

[1] 邓亦卫、刘荣光、史焕章、李如柏、陈朝清、吴坚武, 北京谱仪中心漂移室 45° 模型及其宇宙线测试结果, 高能物理

)是包
f 平均
结果
上. 由

- 与核物理, 11(1987)577
- [2] 席德明, 盛华义, 后晓江, 沈定力, 迟延昆, 李蔚, 漂移室沿丝方向位置读出系统, 第二次全国核电子学与核探测器学术会议, 1984年10月, 昆明
- [3] 迟延昆, 电荷分配法用于丝室的若干问题, 核电子学与核探测技术, 4(1984), 271.

THE RESULTS OF BEAM TEST OF 45 DEGREE PROTOTYPE OF THE CENTRAL DRIFT CHAMBER FOR BES

CHEN CHAOQING HOU XIAOJIANG LI RUBAI LIU RONGGANG

SHI HUANGZHANG WANG YAOHUI WU JIANWU

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

ABSTRACT

Beam test results of the 45 degree prototype of the central drift chamber for BES using 0.5 and 1.0 GeV/c e^+ , π^+ and p provided by beam K2 at the KEK 12 GeV proton synchrotron in Japan are described. The spatial resolution is about 160 μm . The integrating nonlinearity of position sensing of charge division is better than 0.5%. The resolution in z direction is 2.3% at the middle of sense wire when the output charge is 1.4 ± 0.2 pC.