

II. BESII 顶点探测器

- 一. 历史背景
- 二. 顶点探测器的作用
- 三. 顶点探测器的工作原理
- 四. 顶点探测器的设计特点
- 五. 顶点探测器的结构
- 六. 顶点探测器的运行
- 七. 顶点探测器的性能（初步）

顾名思义，顶点探测器是用来探测对撞束团中粒子相互作用顶点以及次级粒子衰变的二次顶点的探测器。北京谱仪顶点探测器是怎么完成这个任务的？它有什么特点？从物理上对它提出什么要求？除完成上述任务外，它还有什么作用？下面我们就讨论一下这些问题，首先从回顾它的历史开始。

一. 历史背景

1988 年装在 MARKIII 上，一个月后退役

1993 年从 MARKIII 上拆下，运到 CUS

1995 年 6 月重建（CUS）

1. 重新设计、加工定位子
2. 重新定做更薄的 Straw tube
3. 重新加工信号引出（HV 引入）端子
4. 重新拉丝及准直组装

1995 年 10 月运抵 IHEP

1995 年 12 月底完成改装（IHEP）

1. 加装延伸套筒以便与 MDC 组装
2. 改装对撞区束流管
3. 完成安装到 BESII 之前的一切检查、高压检查、信号检查、密封检查
4. 同时准备好顶点室工作的高压供给、气体供给、读出电子学、在线系统等

1996 年 1 月初安装到 BESII 上，1996 年 3 月第一次运行，夏季检修后又投入运行。

一. 历史背景

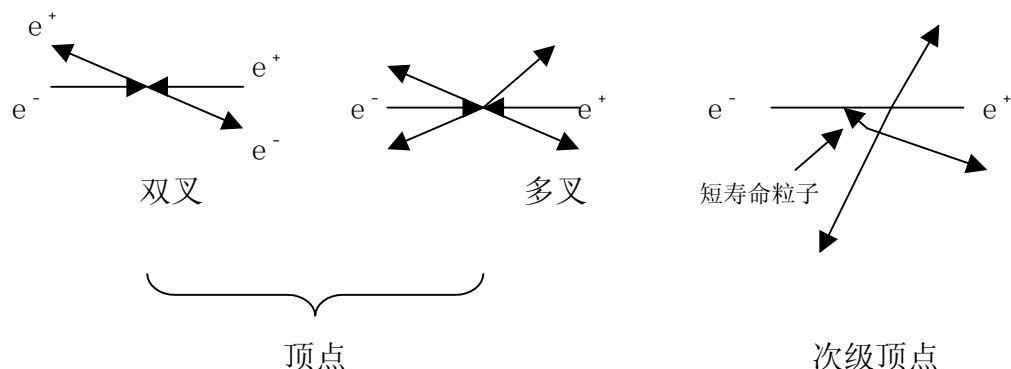
北京谱仪顶点室是原来用在 MARKIII 上的，88 年安装在 MARKIII 上以后，取了一个月的数据，由宇宙线测试得到的空间分辨是 $50\text{ }\mu\text{m}$ ，用 Ψ' 数据得到的空间分辨是 $60\text{ }\mu\text{m}$ 。

95 年把它改进以后，用在北京谱仪上，改进有以下几点：重新设计定位子，重新拉丝，改善外端板密封性能；加装延伸套筒和续接对撞区束流管，以适应北京谱仪的需要。

室体制做和读出电子学的配置由美国完成。美方提供部分气体设备和工作气体，我方完成气体和高压的供给，束流管的改造，安装套筒的加工，安装定位，最后完成调试运行。

二. 顶点探测器的作用

探测粒子相互作用顶点和次级粒子衰变的二次顶点，要求它有好的空间分辨能力，目前它的单丝空间分辨能力达到 $79\text{ }\mu\text{m}$ (可以达到 $50\text{ }\mu\text{m}$)，可用来寻找短寿命粒子。



- 测量粒子径迹，配合主漂移室可使径迹沿径向向内延伸至少 40mm (与原中心室相比 $94.5\text{mm} - 54.2\text{mm}$)
- 测量粒子动量。与原中心室相比，物质量大大减少，从而多次库仑散射减少，又加之径迹的延伸，配合主漂移室的应用，可以使粒子动量测量更好，见下式：

$$(\sigma_{PT}/P_T) \approx (5.7 \times 10^{-1}) / (B(\text{KG})L(\text{M})) \times (P_T/P_\beta \times (L/X_0)^{1/2})$$
- 提供触发信号，用它的信号参与触发（一级判选）可以进一步排除宇宙线本底。

三. 顶点探测器的工作原理

1. 原理

BESII 顶点探测器由 640 个薄壁漂移管组成，每个漂移管的工作原理是基于正比计数管。

快速带电粒子穿过漂移管时，与管内的气体分子相互碰撞，损失部分能量，使气体分子激发或电离，在其穿过的路迹上留下“痕迹”——电离电子，这电离电子在漂移场作用下向确定位置的加有正电压的阳极丝漂移，在距离阳极丝几十到几百 μm 的距离时，由于阳极丝附近强电磁场的加速作用，漂移电子的动量迅速增大，以至发生漂移电子与气体分子的碰撞电离，这样就产生了“雪崩”过程，也就是所谓的气体放大。

整个过程分为三个阶段：电离——漂移——雪崩。正比计数器主要关心的是雪崩过程——从而得到正比于粒子能量损失的电信号，而漂移管关心的除雪崩信号外，更关心漂移过程所代表的时间信息，选择适当工作气体、工作高压、和气体高压即得到足够大的气体放大系数又使电子在漂移管中的漂移速度近似

为常数, 使关系 $S=VT$ 成立, 只要测出漂移时间 T , 就可知道距离, 从而确定带电粒子穿越漂移管的位置。

2. 影响位置测量精度的因素

1) 电离电子的空间分布

电离过程总的说来可分为初级电离和次级电离两个过程, 次级电离电子的数目和空间分布取决于初始电离电子的能量和空间分布, 这样从阳极丝的角度来看, 带电粒子的径迹就有了一定的宽度, 在漂移时间上就出现了一些误差(从而空间定位有误差)

加大气体压力可使高能 δ 电子的行程缩短, 以减少电离电子的空间分布, 但加大气压, 增加气体密度又使产生 δ 电子的几率提高, 所以要取折衷。

2) 电离电子在电场和磁场下的漂移和扩散

在没有外电场和磁场的作用下, 电离电子按平均动能($\varepsilon_0=3/2KT(18^\circ\text{C下}, \sim 3.7 \times 10^{-2}\text{eV})$)作随机运动, 一直至复合掉, 或跑到壁管, 在有电场和磁场的作用下, 它也与气体分子碰撞, 作非定向运动——扩散, 一边在电、磁场作用下作定向运动——漂移。

电子漂移了 X 距离以后, 由于扩散而引起的扩散误差的均方差根为 $\sigma = (2dx/W)^{1/2}$, 或为 $\sigma = ((2\varepsilon K/eE) \times X)^{1/2}$, 即扩散误差与漂移距离的平方根成正比, 与电子的特征能量平方根成正比。

加大气体压力, 保持 E/ρ 不便, 则基本保持漂移速度不便, 由于单位体积分子数增大, 与电子的碰撞率增大, 降低了电子的特征能量, 则使 δ 扩散降低, 有利于减少扩散误差对空间分辨率的影响。用小半径漂移管使 X 减少。

当然, 加大压力就需要加大壁厚, 从而又导致增加了多次库仑散射, 所以这又必须取折衷。

一般 Ar 越多, 扩散越大, 分辨变坏, 二氧化碳占一定比例可以抑制扩散, 但又不易达到饱和漂移速度, 从空间分辨看乙烷, 最好, 但寿命稍差。

3) 阳极丝位置的精度

端面板上的孔(定位孔): $\Phi 4.22\text{mm} \pm 10\mu\text{m}$

轴向孔位置差在 $50\mu\text{m}$ 内

斜丝层位置差在 $125\mu\text{m}$ 内

丝位置差: $\pm 25\mu\text{m}$

4) 读出电子学精度: 1ns

四. 顶点探测器的设计特点

1. 减少了物质量

用 1.27mm 薄管代替原 2mm 厚的吕束管和原中心室的 2mm 厚的碳素纤维壁; 每根 Straw tube 壁厚由原 MARKIII 的 $75\mu\text{m}$ Mylar 膜改为 $50\mu\text{m}$, 从而 12 层总厚度减少 $600\mu\text{m}$; 用 $0.75\mu\text{m}$ 厚的碳素纤维外壁, 因此总物质厚度仅为 1.5% 辐射长度 RL (原中心室为 $2.5\%\text{RL}$, 原 MARKIII 为 $1.8\%\text{RL}$), 这样就大大减少了粒子通过时的多次库仑散射效应的影响。

2. 径向尺寸减少, 而取样次数增多

原中心室最内层丝位内半径为 94.5mm , 而顶点室最内层丝位内半径才 54.2mm , 径向尺寸向内缩小 40.3mm , 取样次数反而由原来的 4 次增加至 12 次取样, 这使得顶点室可以与主漂移室配合应用, 增加径迹测量长度, 提高动量

分辨能力。

在 76mm 这样小的径迹范围内，既包含了径向（ r 、 ϕ ）又包含了纵向（ Z 向）空间信息，使带电粒子径迹的立体角接收度达到 $95\% \times 4\pi$ ，配合主漂移室增强粒子辨认能力。

3. 封闭式单元设计

每个漂移单元都是独立的，这就消除了光反馈及近邻近道之间的串扰问题，另外，这种封闭式设计使得一旦某单元出现故障，可以把影响限制在最小范围内，不至于影响整个室的安全运行。

4. 用斜丝层做 Z 向定位

一般 Z 向定位可以采用不同的方法，主要有电荷分配法，延迟线法，阴极条读出法，小立体角斜丝法等。

我们采用的是小立体角斜丝法，与原 CDC 用的电荷分配法相比，一方面可以节省一半读出电子学，另一方面定位精度也大大提高，即 $\sigma_x=2\text{mm}$ (CDC 为 $\sigma_x=10\text{mm}$)

表一

原中心漂移室	新顶点室
四层单灵敏丝单元圆柱室	十二层单漂移管型圆柱室
径迹沿径向作四次取样	径迹沿径向作十二次取样
利用电荷分配法测量 Z 向坐标	利用斜丝法测量 Z 向坐标
灵敏丝为直径 $37\mu\text{m}$ 的不锈钢丝	信号丝为 $50\mu\text{m}$ 的镀金钨丝
信号丝的张力 70 克	信号丝的张力 275 克
束流管与中心室的总质量厚度为 $2.5 \times 10^{-2}\text{r. l.}$	总质量厚度为 $10.8 \times 10^{-3}\text{r. l.}$
立体角覆盖为 $96\% \times 4\pi$	立体角覆盖为 $95\% \times 4\pi$
工作气体为 1AtmHRS 气体即 $89\%\text{Ar}+10\%\text{CO}_2+1\%\text{CH}_4$	工作气体为 3Atm 混合气 $50\%\text{Ar}+50\%\text{C}_2\text{H}_6$
单丝空间分辨 $\sigma=160\mu\text{m}$ $\sigma=10\text{mm}$	单丝空间分辨 $\sigma=50\mu\text{m}$ $\sigma=2\text{mm}$
最内层丝位内半径 94.5mm	最内层丝位内半径 54.2mm
最外层丝位内半径 136.5mm	最外层丝位内半径 130.0mm
室体外径 302 mm	室体外径 270.8 mm

五. 顶点探测器的结构与安装

顶点探测器由 640 个漂移管（单元）组成，围绕束流管沿径向分成 12 层，第 1—8 层，每层有 40 个单元，第 9—12 层，每层有 80 个单元，，1—4 层及 9—12 层为轴向层，信号丝平行于束流，共 480 道，5—8 层为斜丝层，5—6 层及 7—8 层分别向相反的方向倾斜 3° 左右，共计 160 道斜丝信号。

640 个漂移管封装在一个圆柱型室体中，室体内壁就是作为储存环真空管道的一部分的对撞区束流管的管壁，室体外桶半径为 142mm，由强度大密度低的石墨纤维/环氧树脂迭层构成，它能承受 3 个大气压,在外桶内壁上粘上 $50\mu\text{m}$ 的 kapton 衬套密封，以防 3 个大气压的 $50\%\text{Ar}+50\%\text{C}_2\text{H}_6$ 混合工作气体漏出，室

体两端分别装有内外端板，两个内端板的作用是承受漂移管的拉力并将整个漂移管准确定位，外端板除了起密封的作用外，640 道丝信号也通过外端板上的接线端子引出。

每个漂移管由镀铝的 Mylar 膜卷成的直径为 8mm 的圆桶及其中心位置的一根直径为 $50\mu\text{m}$ 的镀金钨丝组成，圆管和钨丝的两端经过定位子固定在 25.4mm 厚的铝制内端板上，板间距为 840mm，即漂移管长 840mm，定位子的作用除了给丝精确定位并加高压以外，漂移管可以通过定位子中间的小孔更换混合工作气体。

六. 顶点室的运行

1. 高压

顶点室用两道高压电源供电，分路通向谱仪东、西两端，分别由各自的扇出盒扇出 40 道，每道供给一块高压分配板，再分配到各自对应的八个漂移管的信号丝上。

2. 气体

顶点室的气体用的是 50%Ar+50%C₂H₆ 混合气，工作在 3 个大气压，是充气工作方式（非流气式），每 24 小时换一次气（70l）。要求严格控制充放气速率，冲放气要均匀，时间控制在 25 ± 5 分钟之内，以免损坏漂移管。

3. 读出

谱仪东西两端各读出 320 道，由东、西各 20 捆（共计 40 捆）7 米长的同轴电缆引出，见图 8。高压引出及刻度引入见图 9。经高压分配板连到前置放大器机箱上，再经 14 米双绞电缆连到电子学经高压分配板连到前置放大器上，谱仪东、西两端各有两个放大器机箱，经 7.8 米扁平电缆连到谱仪顶部的两个放大/甄别机箱上，再经 14 米双绞电缆双绞电缆连到电子学间的 TDC 上读出。

每块高压分配板对应 8 路，两块高压板对应一块前放板的 16 路，两块前放板对应一块放大/甄别板的 32 路，3 个放大/甄别板对应一个快总线 TDC96 路，因此一共 80 块高压分配器，40 块前放板，20 块放大/甄别插件，7 个快总线 TDC1879。

顶点室的在线显示直方图共有 28 幅，分为三类。一类是对应每层丝的击中图，横轴是每层的丝号，纵轴是计数（击中数）每层一张，共 12 张。

第二类是对应每层丝的时间分布谱，横轴为 TDC 的变换道号，纵轴也是击中数，也是每层一张，共 12 张，第三类是双峰分布图，仅 8 层，轴向丝有双峰分布图共 4 张

七. 顶点探测器的性能

经过 4—5 月份试运行的数据分析，得到工作在高压为 3.7KV 时的空间分辨 $\sigma_x=80\mu\text{m}$

各层丝效率见表三

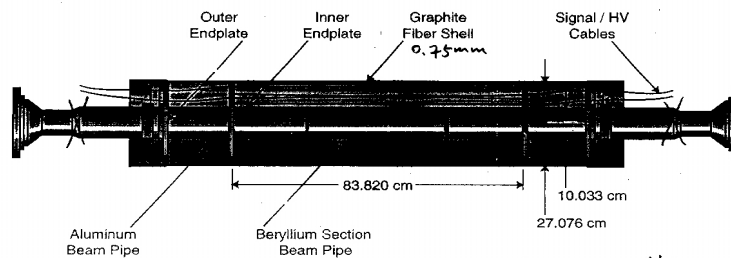
今后工作高压提高到 3.9KV，阈值电压相应提高后，本底噪声可进一步压低，单丝空间分辨及效率进一步提高。

Table 顶点探测器各层的丝效率。总径迹数为 3636。

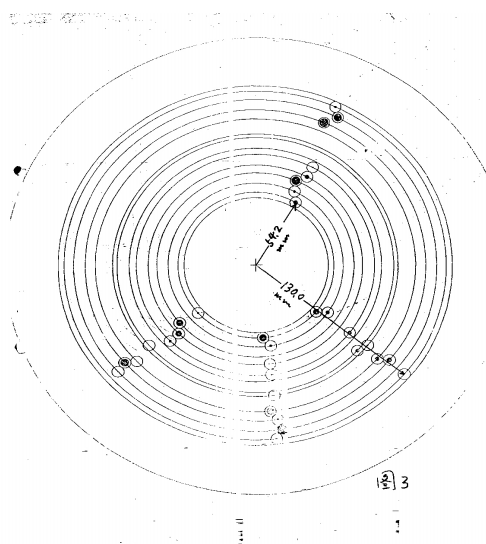
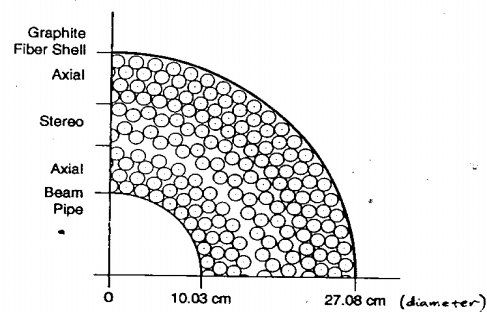
层号	击中丝数	完全失效的丝数	接受度	丝效率
----	------	---------	-----	-----

1	3157	3	94.3%	99.5%
2	2913	1	84.3%	97.5%
3	2538	2	74.4%	98.8%
4	2345	1	68.6%	96.4%
9	3202	1	93.4%	95.5%
10	3031	1	88.1%	95.8%
11	2760	4	82.5%	96.9%
12	2645	4	78.3%	97.8%

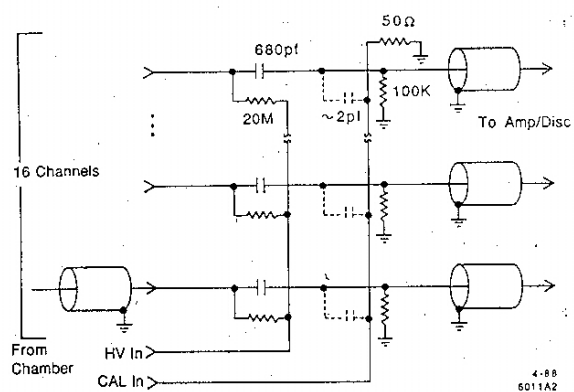
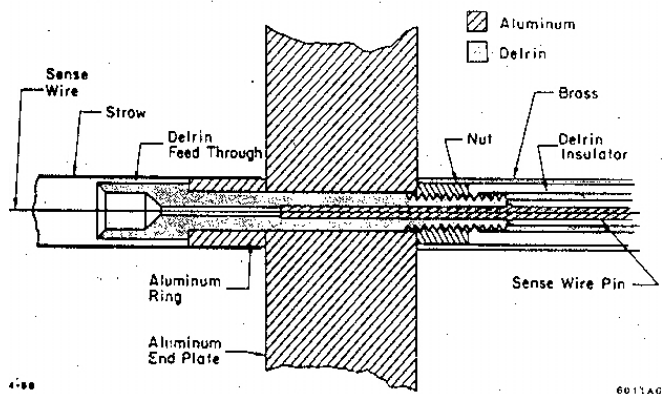
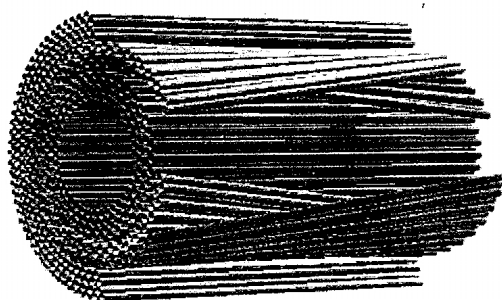
Mark III / BES Vertex Chamber



BESII Vertex Chamber



Mark III Vertex Chamber Tube Layout



BES Vertex Chamber Preamp Layout

