

BES II 顶点探测器*

郑建平 白景芝 赵 萌 杨春敏 孙汉生 李 金
李小南 毛泽普 陈光培 杨宏勋 刘 延 袁 野
沈 红 刘钟秀 万宗如 杨 杰

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

W. Toki R. Malchow J. Chen

(Colorado state University, Fort Collins, Colorado 80523, U. S. A)

摘要 介绍了 BES II 上正在运行的顶点探测器基本结构、特点和性能(覆盖 $95\% \times 4\pi$ 立体角,空间分辨 $\sigma_r \approx 100\mu\text{m}, \sigma_z \approx 2\text{mm}$),及工作方式和电子学读出,并进一步介绍它在北京谱仪上的作用。

关键词 北京谱仪 顶点室 北京正负电子对撞机 空间分辨

1 引言

北京谱仪(BES)^[1]是工作在北京正负电子对撞机(BEPC)上的一大型探测器,并于 1994—1995 年进行了升级,本文将升级后的北京谱仪称为北京谱仪 II (BES II)。顶点室是北京谱仪升级改进重要内容之一,它是在原 SLAC Mark III 的顶点室^[2]基础上经重建而成,用以替代原 BES 上的中心漂移室(CDC)。它是一种稻草管型顶点探测器,与多丝室相比,具有价格便宜、结构牢固,制作容易等优点,其在 BES II 上的位置见图 1。

升级后的顶点探测器较原 BES 的 CDC 物质质量减少了,原 CDC 总物质厚度为 2.5% 辐射长度,升级后的顶点室总物质厚度为 1.08% 辐射长度^[3],因而降低了粒子通过时的能损和多次库仑散射的影响;其结构尺寸变小,径向尺寸向内缩小了 15.6mm;取样次数增多,由 4 层增加至 12 层,而且顶点室与主漂移室 II (MDC II) 配合使用,增加了带电粒子径迹测量

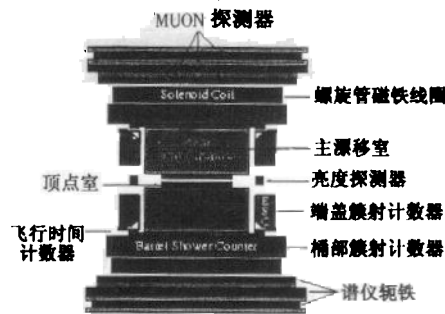


图 1 北京谱仪剖面图

2000-04-11 收稿

* 国家自然科学基金(19991480)和中国科学院基金(KJ95T-03)资助

长度,改善了带电粒子的动量分辨率和空间分辨率;升级后的顶点室与原中心漂移室立体覆盖角基本一致,约为 $95\% \times 4\pi$. 采用稻草管型顶点探测器能获得 $45\text{--}100\mu\text{m}$ 的较高空间分辨率^[4],这使得其对次级顶点的寻找更为清晰;稻草管型结构使得对断丝的处理更加容易,并避免了断丝对相邻丝的危害及影响,同时消除了光反馈,减少了邻道间信号的串扰.

顶点探测器在 1995 年底安装到 BES II 上,位于 BES II 的最内层,其轴向与 BEPC 束流方向平行,现已投入 BES II 的实验物理中.

2 顶点室在 BES II 中的作用、结构特点

2.1 顶点室在 BES II 中的作用

顶点室一方面参与 BES II 的一级触发系统,可以压低因 BEPC 升级后亮度提高所带来的高本底及宇宙线本底;另一方面,参加 BES II 的径迹重建,与 MDC II 配合改进带电粒子的动量分辨率和空间分辨,提高重建效率;与端盖簇射计数器配合有助于改善探测器立体角的覆盖和对电子、 γ 的识别;同时,它还用于测量对撞束团中粒子相互作用的顶点;由于它有较好的空间分辨,且紧贴束流管,因此可用来研究短寿命粒子,建立次级顶点.

2.2 结构特点

BES II 上的顶点探测器由三部分组成,即内、外筒,内、外端板,及 640 根漂移管单元组成,其外型结构见图 2.

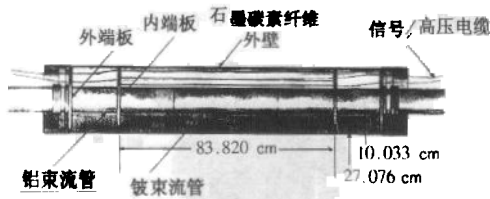


图 2 BES II 顶点室

漂移管由厚 0.1mm 、半径 4mm 兼作阴极的镀铝 Mylar 管和直径为 $50\mu\text{m}$ 的镀金钨丝为中心的阳极丝组成,漂移管和钨丝的两端通过定位子固定在 2.54cm 厚的铝制内端板上,漂移管长度为 84cm . BES II 上的顶点室共有 640 根漂移管,其围绕 BEPC 束流管沿径向分成 12 层,其中内 4 层(1—4 层)每

层各有 40 个漂移单元,外四层(9—12),每层各有 80 个漂移单元,其内、外 4 层均为轴丝层(z 向),信号丝平行于 BEPC 束流,且共有 480 个单元;中间 4 层(5—8 层)为斜丝层,5—6 层与 7—8 层分别向相反的方向倾斜 3 度左右,共计 160 路斜丝单元;所有相邻丝层左右错开 $1/2$ 单元的距离,以保证穿过顶点室的每一条径迹都能穿过其中的某些单元.轴丝层用于带电粒子在 $r\text{--}\phi$ 方向的寻迹,斜丝层用于 z 向寻迹,这样就能重建出三维立体的粒子径迹. 顶点室漂移管分布见图 3,其排列情况列于表 1 中.

640 根漂移管单元封装在一个圆柱形室内,室体包含内、外筒,且为两种不同材料构成. 为了减少物质量,顶点室内筒是 BEPC 储存环对撞区真空束流管的管壁,其中间段由 41cm 长,直径为 9.78cm , 1.27mm 厚的铍管组成,其质量厚度为 0.5×10^{-2} 辐射长度,两端为直径 10.033cm ,厚为 0.32cm 的铝管组成;室体外筒直径为 27.076cm ,由强度大密

度低的石墨纤维和环氧树脂叠层构成, 既有效地减少了物质量, 又承受了 304kPa 的工作气压, 在外桶内壁上贴有 50 μ m 厚 Kapton 衬套密封, 防止 304kPa 的混合工作气体漏出.

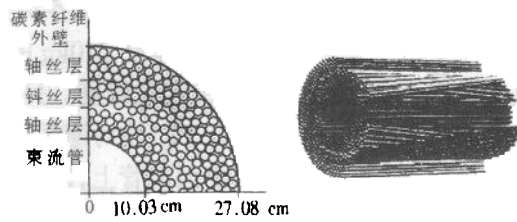


图 3 BES II 顶点室稻草管空间排列图

室体两端分别装有内、外端板, 共有 4 块, 均为 2.54cm 厚圆环状铝板, 内端面板用环氧树脂、外端面板用机械方法固定在束流管上. 其中两个内端板承受着漂移管及阳极丝的拉力, 并对漂移管起着准直定位的作用, 定位子固定在顶点室内端板上, 并通过其上 Pin 为阳极丝精确定位、提供工作高压及信号引出, 同时利用定位子中间小孔与各层漂移管单元进行顶点室工作气体的交换. 外端面板与内外筒构成气密室, 起密封作用, 同时用于联接室体漂移单元工作高压的输入及丝信号的引出.

表 1 北京谱仪 II 顶点探测器的几何结构常数

层号	丝数	第一根丝角位移(rad)	丝的层半径(cm)	斜角(°)
2		$\pi/40$	5.4200	0
		$\pi/20$	6.0880	0
		$\pi/80$	6.8530	0
		$\pi/80$	7.4300	0
		$\pi/80$	8.2339	2.9996
		$\pi/80$	8.6987	3.1685
		$\pi/80$	9.5031	-3.4608
7		$\pi/80$	9.7793	-3.5612
		$\pi/40$	10.9220	0
			11.5950	0
			12.3650	0
			12.9970	0

第一根丝角位移及丝的层半径是 $z=0$ 处

的值.

2.3 顶点室制作与安装

现 BES II 上正在运行的顶点探测器, 是 1995 年 6 月由美国科罗拉多大学负责在原 SLAC MARK III 顶点室基础上经重建而成的. 它保持了原 MARK III 顶点室的基本结构、尺寸的同时, 也做了一些必要的改进, 为了减少新建室体的物质厚度, 将原 MARK III 顶点室内筒中段束流管由 2mm 厚铝(2.2%rl)改进为 1.27mm(0.5%rl)铍; 重新设计、加工了定位子, 重新定做了更薄的稻草管, 重新加工了信号引出及高压引入端子, 重新进行了室本体的拉丝和准直组装工作, 改善了外端板的密封性能, 丝的张力现为 275 克, 使用的是 50 μ m 镀金钨丝, 1995 年 10 月经重建后的顶点室从美国运抵高能物理研究所.

顶点室室体长度为 1473mm, 主漂移室有效长度为 2120mm, 为了使顶点室与主漂移

室 II 拼装在一起,需要在顶点室的两端各加一个延伸套桶和法兰盘,全长为 2224mm,延伸套桶要求有足够的强度以便承受 210kg 的室本体和束流管及电缆的重量,同时又要有良好的刚性,以便保持足够的定位精度。另外,原 MARK III 顶点室与束流管间共为一体,为了使改装后的顶点室适应 BEPC 对撞区束流管设计要求,把原顶点室上的圆形截面束流管改接到新的跑道型截面束流管上,以减少 BES II 的噪声本底,使其适应 BES II 运行需要。在顶点室安装就位前,还对其进行了包括高压、信号、密封等方面的性能检测;同时,还准备好了顶点室工作的高压供给、气体供给、读出电子学及在线读出。1995 年底,顶点室顺利安装到 BES II 上。

3 顶点室气体 高压及信号读出系统

3.1 顶点室工作气体和工作高压

为了保证顶点探测器的性能,在工作模式上有如下考虑:加大气体压力,目前顶点探测器的工作气体压力加至 3 个大气压。气体的选用:基于 Ar 有好的饱和性,但扩散较大,CO₂ 和乙烷可以抑制扩散,但不易达到饱和,考虑并兼顾到顶点室寿命和分辨率,目前顶点室采用的工作气体是 50% Ar + 50% C₂H₆ 的混合气,室体工作在 3 个大气压下,并采用充放气工作方式,每运行 48 小时更换一次新鲜气体,充放气时严格控制充、放气速率,以免损坏漂移管。另外,为了延长顶点室的使用寿命,在工作气体中加入了少量水蒸气,水中的氢元素具有较好的还原性,可对信号丝起到一定保护作用。

顶点室高压现工作在 3.7kV 的正电压上,其工作模式在正比区上,饱和漂移速度约为 50 μ m/ns。室本体共有 640 根丝,且丝信号的读出端即为丝高压的输入端,采用单端读出方式,两端各有 320 路读出道,工作高压经顶点室东、西端高压扇出盒,各为 40 路,提供给每一块高压板,一个高压路对应一块高压板,每块高压板上联接着 8 个漂移管单元。

3.2 顶点室信号读出

顶点室电子学读出系统主要包括丝信号的获取、数字化、控制逻辑和总线接口与管理,阈电压控制与产生校准等几部分。顶点室共有 640 路电子学读出道,丝信号的获取及数字化主要由前放电路、主放和甄别成形电路(A/D)以及 TDC 电路组成;通过谱仪数据获取系统(即 VME162)将所测量的时间信息记录下来,对电子漂移时间的测量是由快总线标准的 1879TDC 完成,其精度为 1ns,但目前因其 Stop phase 没有使用,TDC 现可达到的精度为 2ns,因此空间最大偏移量约为 100 μ m,这是目前 BES II 上顶点室空间分辨的主要来源。

4 顶点室运行现状

顶点室用于带电粒子在径迹室漂移时间和径迹的测量。1995 年底安装到 BES II 上,96 年开始投入运行,并参与了 2—5GeV 不同能区点上的取数,如:J/ ψ 物理、R 值测量等,

其运行状态稳定可靠. 从近几年 BES II 的运行数据结果, 我们可以分析得到: (1) 顶点室单丝空间分辨率现为 $\sigma_x \approx 100\mu\text{m}$, $\sigma_z \approx 2\text{mm}^{[5]}$ (含读出电子学的贡献), 这一结果较原 BES 上的 CDC ($\sigma_x \approx 220\mu\text{m}$, $\sigma_z \approx 10\text{mm}$) 有了很大改善和提高, 进一步修正电子学影响, 还会得到更好的空间分辨; (2) 顶点室与 MDC II 联合寻迹后, 改善了带电粒子的动量分辨, 在 J/ψ 能量点上, 正负电子动量分辨率可提高约 $8\text{MeV}^{[6]}$; (3) 8 个轴层丝效率达到 95% 以上, 其立体角覆盖为 $95\% \times 4\pi$. 顶点探测器的使用, 为 BES II 数据质量的改善与提高起到了很大作用. 其探测效率见表 2, 事例径迹、TDC 时间分布及空间拟合的残差分布分别见图 4—6.

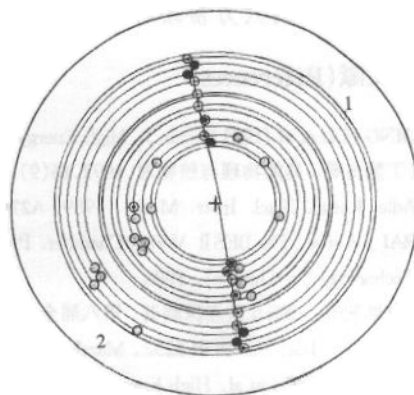


图 4 顶点室 Bhabha 事例径迹图

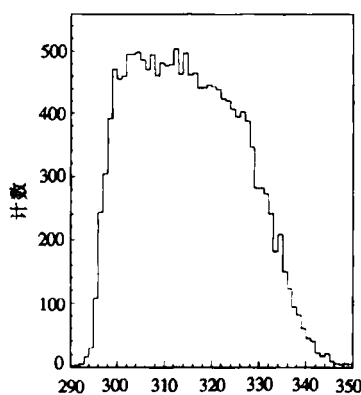


图 5 顶点室 TDC 分布图

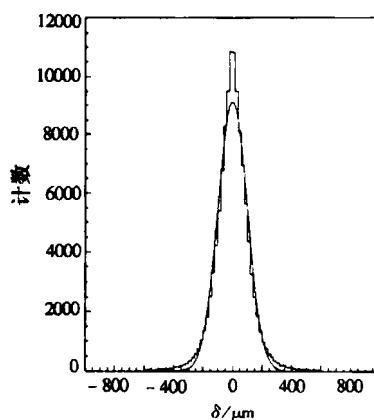


图 6 顶点室空间螺旋线拟合的参差分布

表 2 顶点探测器各层丝的效率

层号	击中丝数	完全失效的丝数	丝效率
1	3157	3	99.5%
2	2913	1	97.5%
3	2538	2	98.8%
4	2345	1	96.4%
9	3202	1	95.5%
10	3031	1	95.8%
11	2760	4	96.9%
12	2645	4	97.8%

* 用 MDC II 重建得到的好 Bhabha 事例来进行 VC 寻迹, 得到以上各层丝效率.

BES II 上的顶点探测器能得以正常运行, 得到了高能物理研究所六室、九室及通用运

行室、所工厂的大力协助与配合,作者在此一并致谢.

参考文献(References)

- 1 DING H L et al (BES Collab.). High Energy Phys. and Nucl. Phys. ,1992, **16**(9):769(in Chinese)
(丁慧良等. 高能物理与核物理,1992,**16**(9):769)
- 2 Adler J et al. Nucl. Instr. Meth. , 1989, **A276**:42
- 3 BAI J Z et al. The BES II Vertex Chamber. Proceedings of the 8th National Conference Nuclear Electronics & Detection Technology (in Chinese), 1996
(白景芝等. BES II 顶点探测器. 第八届全国核电子学与核探测技术学术年会论文集,1996)
- 4 Walter H. Toki Slac PUB 5232, March, 1990
- 5 CHEN GuangPei et al. High Energy. Phys. and Nucl. Phys. 1998, **22**:11(in Chinese)
(陈光培等. 高能物理与核物理,1998,**22**:11)
- 6 MAO Ze-Pu et al. The Data Quality Study and the Calibration for Run10198—10578. BES Annual Meeting, 1997(in Chinese)
(毛泽普等. 数据刻度及质量研究. 第六届北京谱仪年会,1997)

Vertex Chamber of BES II *

ZHENG Jian-Ping BAI Jing-Zhi ZHAO Meng YANG Chun-Min SUN Han-Sheng
LI Jin LI Xiao-Nan MAO Ze-Pu CHEN Guang-Pei YANG Hong-Xun LIU Yan
YUAN Ye SHEN Hong LIU Zhong-Xiu WAN Zong-Ru YANG Jie

(*Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China*)

W. Toki R. Malchow J. Chen

(*Colorado State University, Fort Collins, Colorado 80523, U. S. A*)

Abstract The structure and performance of vertex chamber of BES II are described. It covers $95\% \times 4\pi$ of solid angle with the spatial resolution of $\sigma_{\phi} \approx 100\mu\text{m}$ and $\sigma_z \approx 2\text{mm}$ respectively.

Key words Beijing spectrometer, vertex chamber, Beijing electron positron collider, spatial resolution.

Received 11 April 2000

* Supported by NSFC (19991480) and The Chinese Academy of Sciences (KJ95T-03)