

北京谱仪桶部簇射计数器能量 响应特性研究

陈宏芳¹ 陈少敏 陈向阳 顾维新 吕峰 李勇 李佩琴
李卫国 阙友昆 毛泽普 童国梁 王临洲 吴义根 许明康²
叶树伟¹ 叶诗章 易凯 张羽 周月华 周莉

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1 (中国科技大学近代物理系 合肥 230036)

2 (杭州大学物理系 杭州 310028)

1995-01-18 收稿

摘 要

在北京正负电子对撞机的 J/ψ 和 D_s 能区, 选择了辐射巴巴事例, 并以此来研究北京谱仪的桶部簇射计数器能量响应特性. 在消除了由于电子和辐射光子在桶部簇射计数器中沉积能量区域重叠的影响后, 正确地得到了桶部簇射计数器在电子和光子动量小于 2GeV 以下的能量响应, 表明在所研究能区, 桶部簇射计数器的能量响应线性很好. 对桶部簇射计数器微小的非线性进行修正后, 重建的 π^0 不变质量谱得到改善.

关键词 桶部簇射计数器, 能量响应, 非线性.

1 引 言

北京谱仪^[1]是工作在北京正负电子对撞机(质心系能量为 $2.8-5.6\text{GeV}$)的一台通用性磁谱仪, 用来探测 e^+e^- 对撞产生的终态粒子. 它由中心漂移室(CDC), 主漂移室(MDC), 飞行时间计数器(TOF), 簇射计数器(包括桶部BSC和端盖ESC), μ 子计数器等多个子探测器组成. 其中CDC和MDC给出带电粒子的动量和 dE/dx 信息, TOF给出带电粒子的飞行时间, BSC给出电子和 γ 射线的沉积能量信息. μ 子计数器记录 μ 子在此探测器的击中信息. BSC用来探测对撞后产生的次级粒子中的电子和 γ 射线, 采用以自猝灭流光放电模式的气体取样型簇射计数器^[1], 对光子(电子)特别是对低能光子有较高的探测效率. 它有24个吸收层, 每两个吸收层间有 1.3cm 高的间隙为取样层, 用工字梁分割成560个单元, 每个单元用直径为 $50\mu\text{m}$ 的不锈钢丝作为自猝灭流光管的阳极丝, 采用1-2、3-4、5-6、7-9、10-12、13-24层并联读出法.

在重建北京谱仪数据时,桶部簇射计数器的能量刻度是由该能量点的巴巴事例得到的.这样的刻度是在假设桶部簇射计数器能量响应线性的前提下进行的,而北京谱仪的许多物理结果与粒子能量信息有关,因此细致研究桶部簇射计数器能量响应曲线的线性状况是一个十分重要的课题.

2 辐射巴巴样本的选取

考虑下面的过程:

$$e^+e^- \longrightarrow e^+e^-\gamma,$$

对于末态满足能量守恒的有两支带电径迹的事例,由轻子数守恒等定律可以推断出,如果末态的一支带电径迹确认为电子,则另一支也为电子.由于末态两个电子都辐射一个光子的几率很小,这样两支带电径迹中,总有一支动量较高(接近束流能量).基于这一事实,确定了辐射巴巴事例的选取原则:利用严格的电子判选条件对较高动量径迹的特征量加以选择,这样选出的电子称为标记电子,根据前述的结论,另一条较低动量带电径迹也为电子(可能辐射一个光子).由于对低动量电子未加任何限制,则可以客观全面地分析其特征量的分布,成为理想的电子样本.因此,在选择 $ee\gamma$ 事例时,加上了两种类型的选择条件.一种是对两叉事例的一般约束条件;一种是确认高动量带电径迹为电子的特征条件.这里将确认 $ee\gamma$ 的选择条件列在表1和表2.

表1 两支带电径迹事例的一般约束条件

特征量	J/ψ 能区	D_s 能区
N_c	2	2
N_q	0	0
M_{fit}	2 或 -19 (两带电径迹不同时为 -19)	2 或 -19 (同前)
$ T_1 - T_2 $	< 4 ns	< 4 ns
N_γ	≤ 1	
E_{cmx}	> (3.097 - ZZ) GeV	> (4.03 - 0.6) GeV
$ x , y $	< 0.02 m	< 0.015 m
$ z $	< 0.20 m	< 0.150 m

表2 确定高动量带电径迹为电子的特征条件

特征量	J/ψ 能区	D_s 能区
p (GeV/c)	$1.3 < p < 1.67$	$1.0 < p < 2.2$
μ_{hit}	0	0
β		$0.8 < \beta < 1.4$
E/p	> 0.6	> 0.7
SHID	≥ 3	≥ 3

表1中 N_c 为带电径迹数, N_q 为所有带电径迹的总电荷, M_{fit} 为径迹拟合的参数指标(2为好拟合,-19为可用拟合), $|T_1 - T_2|$ 为两支带电径迹的飞行时间差, N_γ 为孤立光

子数 (孤立光子定义为能量大于 30 MeV, 与每根带电径迹夹角均大于 15°), E_{cmx} 为探测器所测到的带电径迹与中性径迹的总能量, ZZ 为带电粒子的动量分辨, $|x|, |y|, |z|$ 为带电径迹的顶点坐标. 表 2 中 p 为高动量带电径迹的动量, μ_{hit} 为其在 μ 子计数器中的击中层数, β 为其速度, E/p 为桶部簇射计数器所测能量与 MDC 给出的动量的比率, $SHID$ 为桶部簇射计数器中前五层的击中数相加减去 12. 经过这些条件筛选后得到的低动量电子样本特征量的分布如图 1, 其中 XSE 为 dE/dx 的测量值与预期值之差的平方与分辨值平方的比, 可见它们与预期的分布是一致的. 图中所示为 J/ψ 能区的数据, D_s 能区特征量分布与此一致.

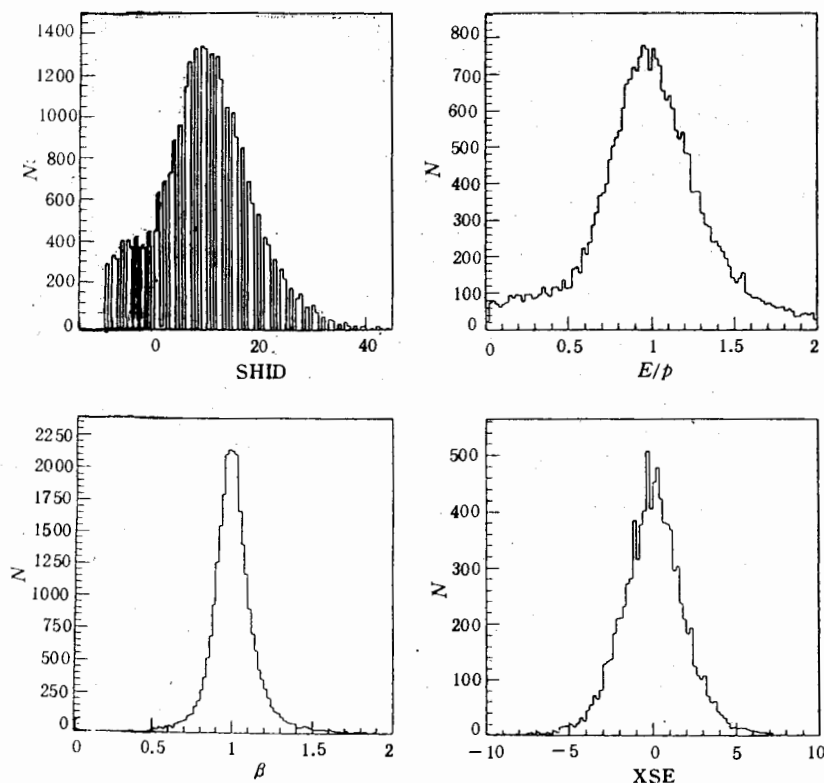


图 1 电子特征量的分布

3 桶部簇射计数器能量响应特性

用上面选出的辐射巴巴事例直接得到的电子和光子 (光子的动量由能守恒推得) 能量与动量之比 (用 E/p 表示) 的响应曲线如图 2 (J/ψ 能区, D_s 能区一样) 所示, 图示的响应曲线表明其线性似乎很差, 但是此曲线是否真正反映桶部簇射计数器的响应特性呢? 我们对此作了深入研究.

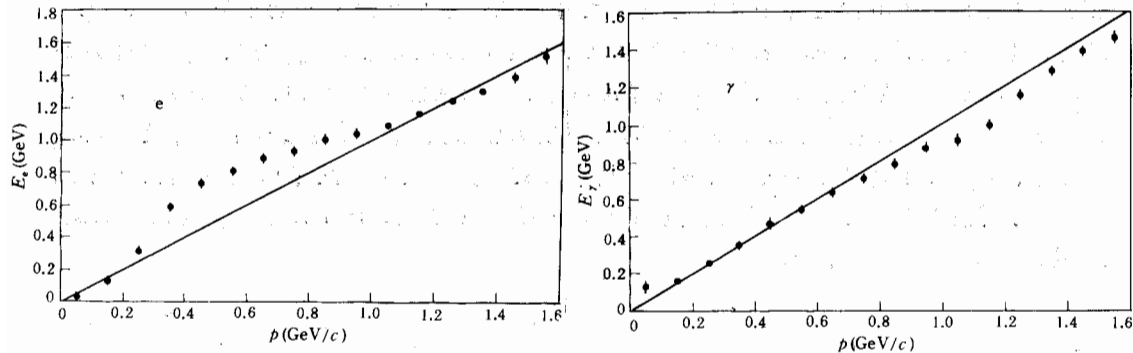
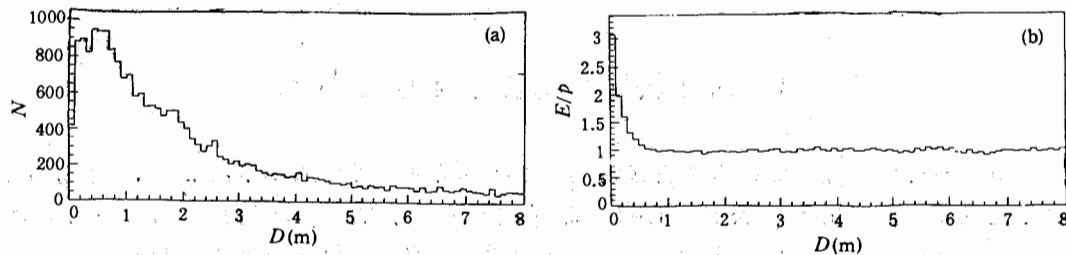


图2 能量与动量响应曲线

桶部簇射计数器给出的能量信息是根据电子(光子)在其每层上的总击中数目确定的,一支电子(或光子)在桶部簇射计数器中的簇射总有一定的空间分布,这样当两支电子(电子与光子或光子与光子)靠得太近时,它们在桶部簇射计数器中的击中就会发生重叠而难以真正分开,也就是说有一个空间分辨的问题.处理辐射巴巴事例时,由于两支电子间夹角很大,在考虑空间分辨的影响时,只需考虑低动量电子和辐射光子的空间交叠情况.对于这种不能在空间上有效分辨的事例,桶部簇射计数器对电子(或光子)的能量响应已不完全由电子(或光子)本身的能量所决定,它还会有光子(或电子)的部分影响.从图2的情况看,它可能是将光子的部分能量计算在电子的沉积能量中从而在某些动量段使得电子的 E/p 大于1,而光子的 E/p 小于1.用这样的事例来考察桶部簇射计数器的能量响应特性是不合理的,因此必须排除这些事例.为此,使用了四动量守恒约束方法,在实际操作中,只将两个电子的动量方向等信息输入程序,根据四动量守恒及误差矩阵拟合出辐射光子的出射方向,这样确定的光子出射方向及几何条件就能计算出光子在桶部簇射计数器的击中点的坐标,而电子的击中点坐标已被测出,据此可算出两击中点的空间距离 D ,对空间距离选择恰当截断值就能排除引起电子与光子沉积能量互混的事例.考虑到桶部簇射计数器在 x, y 方向与 z 方向的空间分辨不一样,还应计算两击中点在 x, y 平面内的投影距离,作与空间距离一样的处理.或者可根据电子、光子的出射方向计算出其空间夹角与在 xy 平面内的投影夹角,对夹角加上截断值将引

图3 (a) 距离的统计分布; (b) E/p 与距离的分布

起能量响应互混的事例(夹角小的事例)排除掉. 在 J/ψ 能区排除两击中点距离小于 0.5 m 或者 xy 平面投影距离小于 0.1 m 的事例; 在 D_s 能区也采用了利用空间夹角小于 20° 或 xy 平面内投影夹角小于 6° 的条件来排除有互混影响的辐射电子与辐射光子. 两者都取得了类似的结果. 图 3 (a) 为距离的统计分布, 图 3 (b) 为 E/p 与距离的分布. 在排除 e 和 γ 在空间上交叠的事例后, 桶部簇射计数器的能量响应曲线如图 4, 从图上可以看到, 其能量响应的线性状况是比较好的.

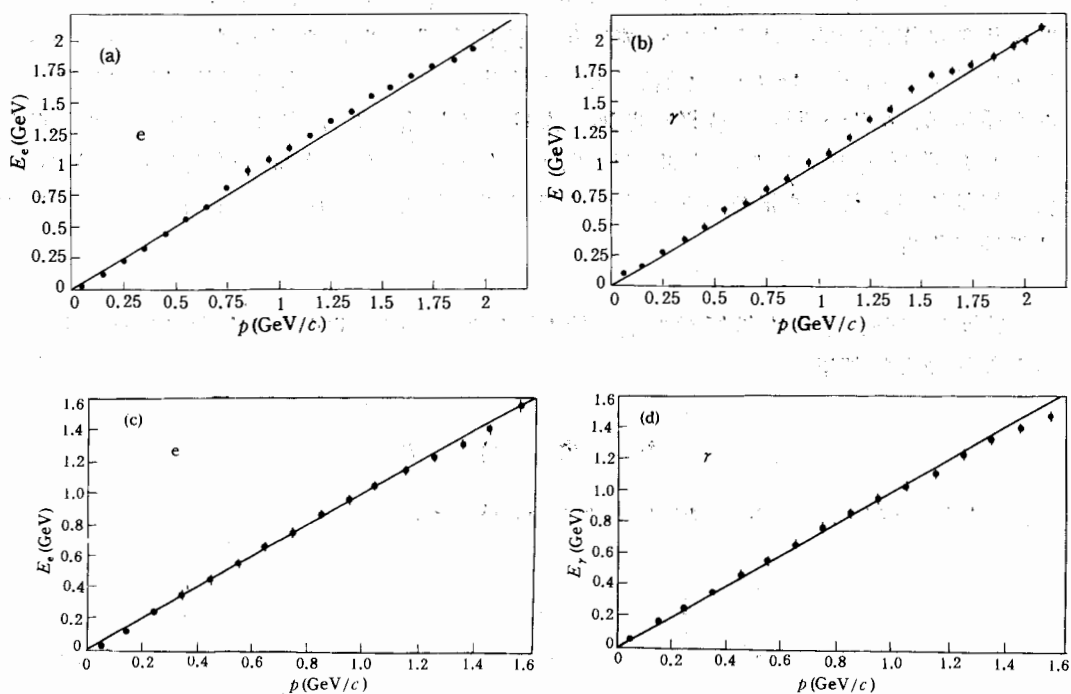


图 4 桶部簇射计数器的能量响应曲线

(a), (b) D_s 能区; (c), (d) J/ψ 能区.

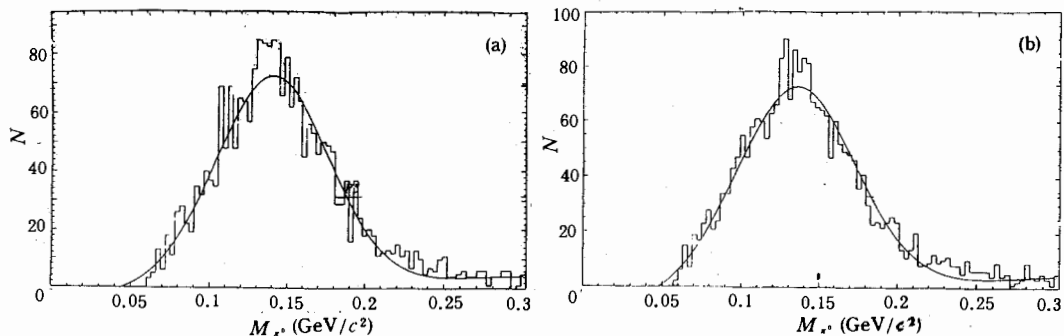


图 5 π^0 不变质量谱

(a) 修正前; (b) 修正后.

4 对桶部簇射计数器能量响应曲线的修正, 验证及结论

由图4桶部簇射计数器对光子能量的响应曲线, 可看出测得的能量 E 和动量 p 之间仍有细微的非线性. 在 J/ψ 和 D_s 能区, 分别用 $E = a_0 + a_1 p + a_2 p^2$ 和 $E = a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + a_3 p^3$ 拟合, 拟合结果为, J/ψ 能区: $a_0 = 0.002671, a_1 = 1.059, a_2 = -0.06913$; D_s 能区: $a_0 = 0.0242, a_1 = 0.8964, a_2 = 0.2864, a_3 = -0.1226$. 为了检验图4所表现的轻微的非线性对物理结果的影响, 选择在 J/ψ 能区用上述拟合式去修正光子的能量, 即取 $E = p = F(p) = \{-a_1 - [a_1^2 - 4a_2(a_0 - E)]\} / 2a_2$, 再重建 $\pi^0(\gamma\gamma)$, 比较其光子能量修正前后的 π^0 不变质量谱, 如图5所示, 选择高斯加一次项本底拟合, 对 π^0 样本, χ^2/ndf 由修正前的 125.4/74 降低为 102.3/76. 由此可以看到, 修正后 χ^2 有所降低, 谱形稍微有所改善, 总之桶部簇射计数器能量响应虽存在一点非线性, 但并不严重, 可以保证北京谱仪物理结果的可靠性.

感谢郁忠强, 王泰杰教授对本工作的支持和关心, 以及北京谱仪合作组和高能所计算中心其他同事的帮助.

参 考 文 献

- [1] 丁慧良、于传松、马东红等. 高能物理与核物理, 16(1992)769.

Study of Energy Response Nonlinearity of BSC at BES

Chen Hongfang¹ Chen Shaomin Chen Xiangyang Gu Weixin
Lü Feng Li Yong Li Peiqin Li Weiguo Que Youkun
Mao Zepu Tong Guoliang Wang Linzhou Wu Yigen
Xu Mingkang² Ye Shuwei¹ Ye Shizhang Yi Kai
Zhang Yu Zhou Yuehua Zhou Li

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

¹(*Department of Modern Physics, University of Science & Technology of China, Hefei 230027*)

²(*Department of Physics, Hangzhou University, Hangzhou 310028*)

Received 18 January 1995

Abstract

The energy response characteristics of the barrel shower counter (BSC) of BES in energy region of J/ψ and D_s has been analysed, and a good energy linearity of BSC successfully obtained after eliminating the overlapping effect of the deposited energies in BSC of electrons and radiative photons. This demonstrates that the energy linearity of BSC is credible.

Key words barrel shower counter (BSC), energy response, nonlinearity.