

北京谱仪 II 中性径迹测量误差的确定*

王君 吕峰 童国梁 张长春 洪涛 袁建明 徐晔

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 选取辐射 Bhabha 样本,研究了北京谱仪 II (BES II)桶部簇射计数器(BSC)对中性径迹的沉积能量和空间位置的测量,定出了实际数据的测量误差.并利用 Monte Carlo 产生的 $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ 事例定出 MC 数据的能量及位置测量误差.结果已用于 BES II 运动学拟合,能改善物理分析结果.

关键词 运动学拟合 簇射计数器 辐射 Bhabha

1 引言

北京谱仪(BES)是运行在北京正负电子对撞机(BEPC)上的大型通用谱仪^[1],用于 2.0—5.6GeV 能区的高能物理实验研究,如 $J/\psi, \tau, \psi', D, D_s$ 物理以及 R 值测量等.它在 1994 年至 1995 年进行了升级,升级后称为 BES II^[2].在升级中,BES II 的桶部簇射计数器 BSC 仍是 BES 的那一台,但是将其中的一些断丝换成了新丝,重建刻度方法也有了明显的改进.中性径迹的测量是由 BSC 来完成的,BSC 可以给出中性径迹的沉积能量和空间位置,从而定出中性径迹的四动量.在对含中性径迹事例进行运动学拟合时,所需要的中性径迹的 3 个输入参量 ϕ, z 和 \sqrt{E} 将影响拟合结果的可靠性^[3],这里 E 为桶部簇射计数器 BSC 测量的沉积能量, ϕ 和 z 为中性径迹的位置参量(方位角和 z 向分量, z 轴为 e^+ 束流方向).BES 升级前中性径迹测量误差已用辐射 Bhabha 和双光子过程进行了修正^[4].这里我们用 BES II 在 1999/2000 年所取的约 $24 \times 10^6 J/\psi$ 数据,选择 $e^+e^- \rightarrow \gamma e^+e^-$ 事例样本对 BSC 的能量测量进行校正,从而确定升级后中性径迹的能量和位置测量的误差.本文结果对 BES II 数据离线处理和物理结果的改善有普遍意义.

2 辐射 Bhabha 样本的选取

本文用 $J/\psi \rightarrow \gamma e^+e^-$ 样本来确定实际数据的中性径迹测量误差.其优点有:此样本很容易选择,纯度很高(接近 100%),统计大,光子能量分布宽,可以用来作整个能量范围的

2001-03-14 收稿

* 国家自然科学基金(19991480)和中国科学院重大及特别支持项目(KJ95T-03)资助

修正,而且光子动量可以根据能动量守恒从 e^+e^- 的 MDC 动量精确定出,因为 MDC 的动量分辨非常好. $J/\psi \rightarrow \gamma e^+e^-$ 事例选择:

(1) 带电径迹数 $N_{\text{chrg}} = 2$, 中性径迹数 N_{neu} 满足: $1 \leq N_{\text{neu}} \leq 6$. 总电荷 $N_{\text{totchrg}} = 0$.

(2) 两条带电径迹的一般选择条件为:有好的螺旋性拟合, $MFIT = 2$; 极角 $|\cos\theta| < 0.8$; 顶点坐标 $R_{xy} \leq 1.5\text{cm}$, $|z| \leq 15\text{cm}$; BSC 有好的重建径迹.

(3) 选动量大的一条径迹为标记电子,要求其动量范围为 $1.45\text{GeV}/c < p_{\text{higher}} < 1.75\text{GeV}/c$; μ 探测器没有击中; BSC 中沉积能量与 MDC 动量之比满足: $0.7 < E/P < 2.0$. 这样从 BESⅡ 获取的 J/ψ 数据 (Run13500—16844) 中共找到 1176620 事例.

(4) 为将光子在 BSC 中沉积能量的 Cluster 与低能电子的 Cluster 有效分离,进一步加选择条件: $p_x < -0.97 \times p_e + 1.61\text{GeV}/c$, 用来去除 MDC 分辨差的事例,其中 p_e 为低动量电子的动量, p_x 是从两电子 MDC 动量算出的光子动量; $10^\circ < \theta_{\gamma e} < 75^\circ$, $\phi_{\gamma e} > 6^\circ$, 其中 $\theta_{\gamma e}$ 是 p_x 的方向与低动量电子在 BSC 中簇射方向的夹角, $\phi_{\gamma e}$ 是 p_x 在 xy 平面的投影与低动量电子在 BSC 中簇射方向在 xy 平面的投影之间的夹角; $\delta_\theta < 1^\circ$, δ_θ 是 p_x 方向与它在 BSC 中第一层击中点和对撞点连线的方向之间的夹角.

经过上面的所有选择条件,共找到 84247 个样本事例,用这些事例作以下的 BSC 测量的修正.

3 实际数据中性径迹的 BSC 修正

3.1 光子能量及其误差的确定

在经过上面所有选择条件的 $J/\psi \rightarrow \gamma e^+e^-$ 事例中,再要求低动量电子及光子的 BSC 沉积能量和 MDC 计算动量之比 $E/p < 2.0$, 这样得到的事例中的光子用来作修正,光子动量 p_x 是从电子 MDC 动量算得,此作为标准能量,在动量范围 $0.2\text{—}1.4\text{GeV}/c$, 截取每 $\Delta p = 50\text{MeV}/c$ 小动量区间的光子样本,实验表明光子在 BSC 中的簇射沉积能量 E_x 为高斯分布,拟合 E_x 可得光子在 BSC 中沉积能量的平均值 $\langle E_x \rangle$ 和能量测量误差 σ_E . 得到每个小区间的光子能量及其误差后,就可拟合得到所有动量点的修正(图 1(a), (b)).

3.2 光子径迹定位误差 σ_ϕ 和 σ_z 的确定

BSC 用 ϕ 和 z 方向坐标来确定中性径迹的位置. 为了确定 σ_ϕ , 用本文第一节所述方法选取的 $J/\psi \rightarrow \gamma e^+e^-$ 样本,要求光子的 BSC 沉积能量与其动量之比满足 $0.5 < E/p < 1.5$, 而不用 $\delta_\theta < 1^\circ$ 这一选择条件. 这样得到的事例,计算其光子的 BSC 与 MDC 方位角的差 $\delta_\phi = \phi_{\text{BSC}} - \phi_{\text{MDC}}$, 其中 ϕ_{BSC} 为光子在 BSC 中第一层击中点与对撞中心连线的方位角, ϕ_{MDC} 为从电子 MDC 动量算得的光子动量方位角. 用高斯分布拟合得到 BSC 中 ϕ 角的测量误差 σ_ϕ (动量范围同光子能量的确定一样)(图 1(c)).

光子 z 方向分辨的确定与 σ_ϕ 类似, $\delta_z = z_{\text{BSC}} - z_{\text{MDC}}$, z_{BSC} 为光子在 BSC 中第一层击中点的 z 坐标, z_{MDC} 为由光子动量算出的其在 BSC 中的击中位置, $z_{\text{MDC}} = 1.331\text{m} \times \text{ctg}\theta_{\text{MDC}}$, 其中

1.331m 为 BSC 内半径, θ_{MDC} 为从电子 MDC 动量算得的光子动量极角. 然后高斯拟合 δ_z 得到 BSC 的 z 方向测量误差 σ_z (图 1(d)).

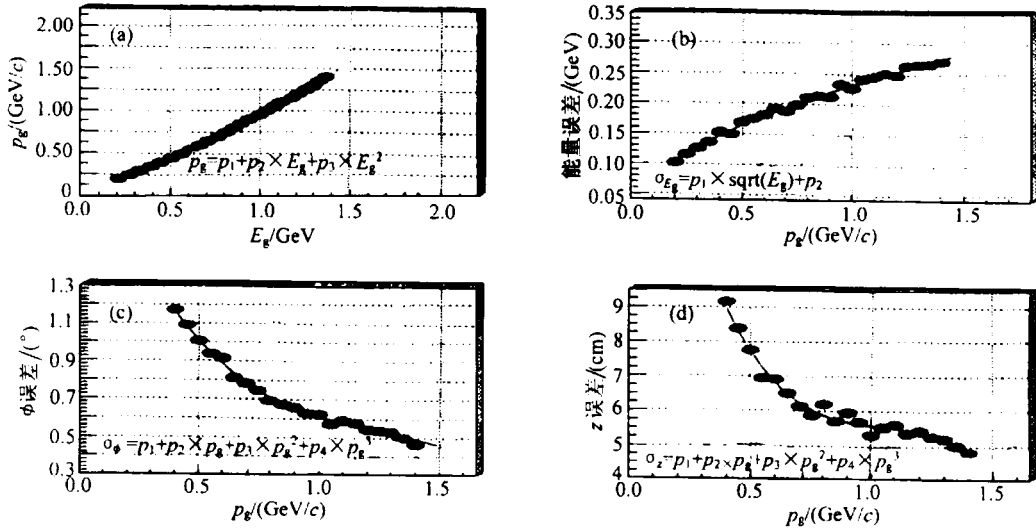


图 1 实际数据中性径迹测量的修正

以上对中性径迹空间测量误差的确定与文献[4]中通过双光子事例来确定 BES I 的误差不同, 我们可以给出径迹动量从 0.4—1.5GeV 整个区间的修正.

4 Monte Carlo 数据中性径迹的 BSC 修正

用相空间产生子产生 $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ 事例, 质心系能量范围从 0.2—3.1GeV, $\Delta E = 0.1\text{GeV}$, 共 30 个点, 故单光子的动量步长为 0.05GeV, 计算各能点沉积能量及其误差与上

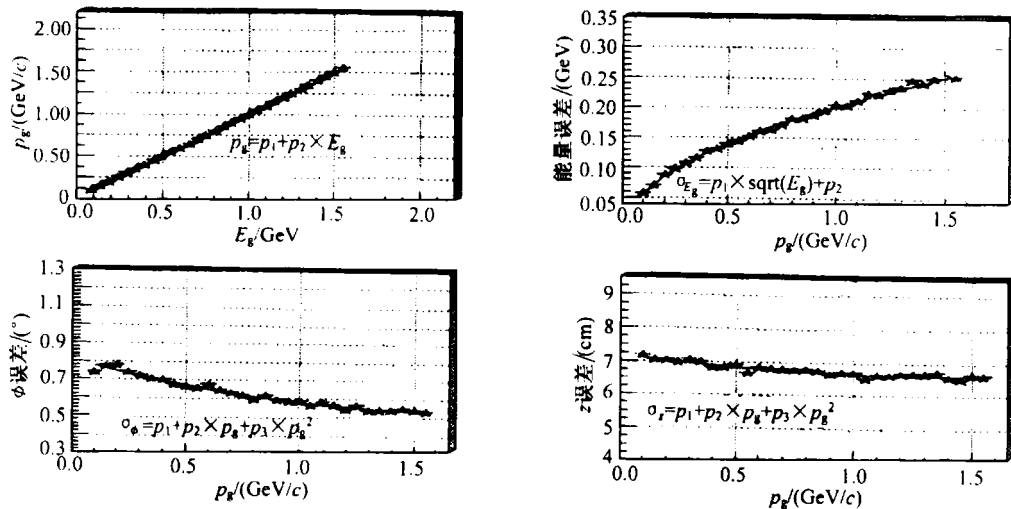


图 2 Monte Carlo 数据中性径迹测量的修正

面实际数据修正类似. 光子的位置分辨为: $\sigma_\phi = \sigma(\delta_\phi)\sqrt{2}$, 其中 $\delta_\phi = |\phi_1 - \phi_2| - 180$, ϕ_1 , ϕ_2 是最大能量的两光子的方位角; $\sigma_z = \delta(z)\sqrt{2} = \delta(z_1 + z_2)\sqrt{2}$, z_1, z_2 是最大能量的两光子的 BSC 击中的 z 坐标. 得到 $E_\pi, \delta_\phi, \delta_z$ 的分布, 高斯拟合得 σ_E, σ_ϕ 和 σ_z (图 2).

5 结果讨论与验证

利用辐射 Bhabha 事例和双光子事例分别对实际数据和 MC 数据的 BSC 能量与空间位置测量进行了校正, 得到了能量与空间位置测量误差 $\sigma_E, \sigma_\phi, \sigma_z$. 把这些误差值作为输入参数计算中性径迹的测量误差, 以确保含中性径迹末态事例的 Telesis 运动学拟合的正确性. 下面用 $J/\psi \rightarrow \rho\pi$ 事例验证其 pull 及置信度 CL 分布.

首先进行 $J/\psi \rightarrow \rho\pi$ 事例选择:

- (1) 带电径迹数 $N_{\text{chrg}} = 2$, 中性径迹数 $N_{\text{neu}} = 2$, 总电荷 $N_{\text{totchrg}} = 0$.
- (2) 两条带电径迹满足: 极角 $|\cos\theta| < 0.8$, 顶点坐标 $R_{xy} < 1.5\text{cm}$, $|z| < 15\text{cm}$, MDC 螺旋性拟合 $MFIT = 2$, 另外两径迹通过飞行时间探测器中的权重信息进行粒子识别, 要求都被判选为 π .
- (3) 好光子数 $N_\gamma = 2$, 好光子的选择条件为: BSC 中沉积能量 $E_\gamma > 50\text{MeV}$, 击中层数 $N_{\text{layer}} > 2$, 光子与带电径迹的夹角 $\theta_{\gamma c} > 8^\circ$.
- (4) 运动学拟合(4C 拟合)要求: $\chi^2_{\text{fit}} \cdot \pi^- < 50$.
- (5) 4C 拟合后, 两光子的静止质量在 π^0 质量附近: $0.05\text{GeV}/c^2 \leq M_{\gamma\gamma} \leq 0.25\text{GeV}/c^2$.

选出 $\rho\pi$ 事例后, 检验带电与中性粒子的 pull 1—3 分布, 中性径迹修正前后的结果见图 3, 可以看到修正前 pull 分布的 σ 大都偏大, 且有些中心值偏离 0, 而修正后它们都是标准正态分布. Monte Carlo 产生 $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ 事例检验 pull 分布, 结果发现经过上述的 MC 中

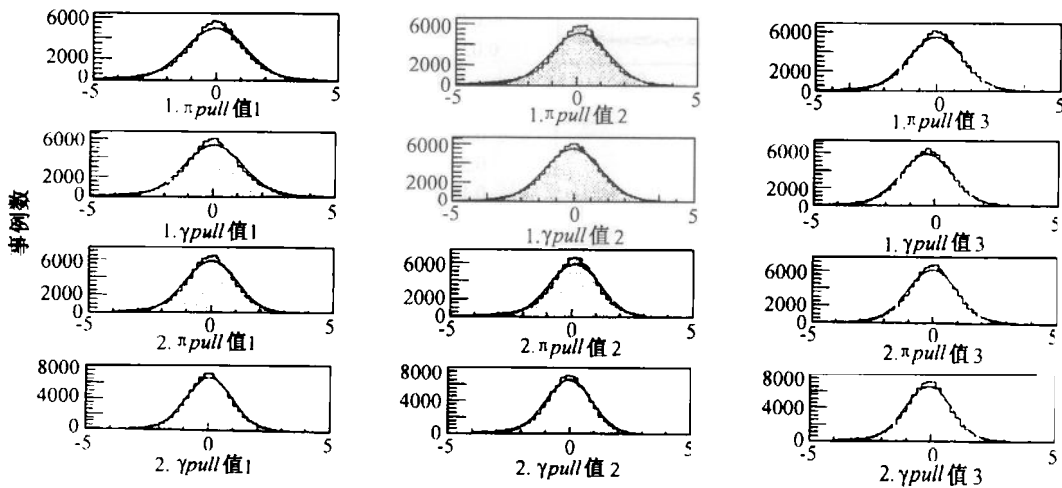


图 3 利用 $J/\psi \rightarrow \rho\pi$ 样本对实际数据中性径迹测量误差的检验

1. 修正之前的 pull 分布; 2. 修正之后的 pull 分布. π 为两带电的 π, γ 为光子.

性径迹修正后, $pull$ 1—3 均为标准正态分布(图 4).

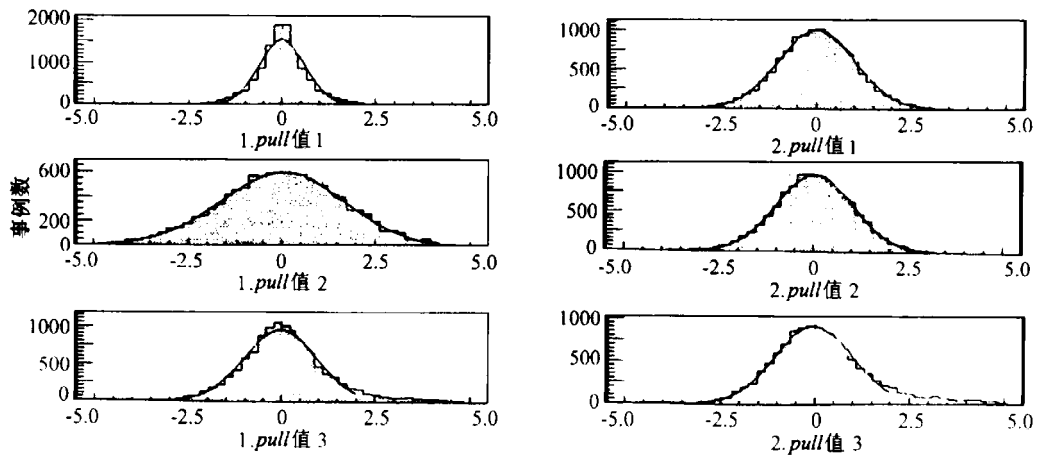


图 4 Monte Carlo 产生 $E_{cm} = 2.0\text{GeV } e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ 事例中性径迹测量误差的检验

1. 修正之前的 $pull$ 分布; 2. 修正之后的 $pull$ 分布.

另外, 经过中性径迹修正后, 在置信度 $CL > 1\%$ 条件下, 对实际数据, 运动学拟合效率比不加修正前提高约 10% , 要求置信度越高, 则效率提高越明显. Monte Carlo 产生 $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ 事例检验 CL 分布, 结果发现经过中性径迹修正后, 在上面能量范围内的各能点, $4C$ 运动学拟合的置信度都为均匀分布. (图 5(a) 为 Monte Carlo 数据的 CL 与 χ^2 的分布, (b) 为实际数据的相应分布)

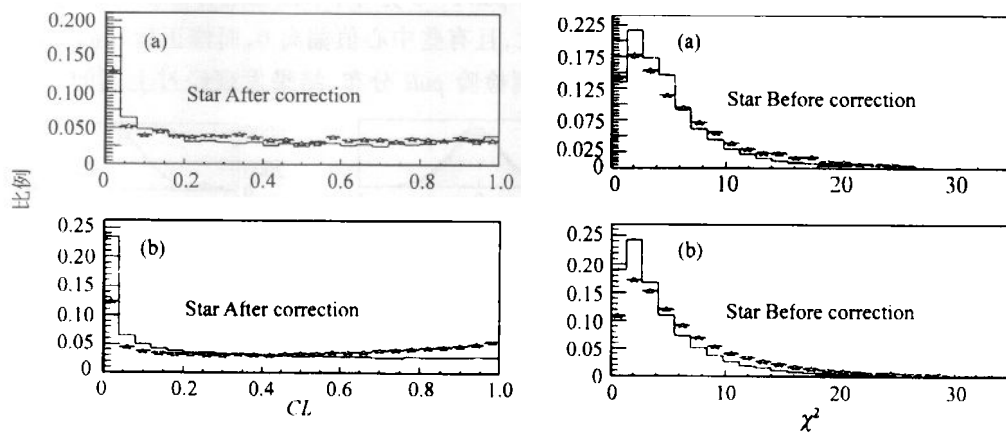


图 5 (a) Monte Carlo 产生 $E_{cm} = 2.0\text{GeV } e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ 事例的 CL 与 χ^2 的分布;

(b) 利用 $J/\psi \rightarrow \rho\pi$ 样本对实际数据中性径迹测量误差的检验的 CL 与 χ^2 的分布

用 $J/\psi \rightarrow \omega\pi^0, \omega\eta$ 对以上的中性径迹修正进行了检验^[5], 发现修正后 ω, π^0 和 η 的质量峰位更准确, 所测得的分支比也与 PDG 更一致. 其中 $J/\psi \rightarrow \omega\pi^0$ 的各个粒子拟合的质量见表 1.

表 1 $J/\psi \rightarrow \omega\pi^0$ 的各个粒子拟合的质量

粒子	质量/GeV(不用本文修正)	质量/GeV(用本文修正)
ω	0.786	0.785
高动量 π^0	0.137	0.137
低动量 π^0	0.132	0.135

参考文献 (References)

- 1 BES Collab. Nucl. Instr. Meth., 1994, **A344**:319
- 2 BES Collab. The BES Upgrade, Nucl. Instr. & Meth., 2001, **A458**:627
- 3 CHEN Hong-Fang et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1996, **20**:1—7 (in Chinese)
(陈宏芳等. 高能物理与核物理, 1996, **20**:1—7)
- 4 LI Hai-Bo et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1999, **23**:607—615 (in Chinese)
(李海波等. 高能物理与核物理, 1999, **23**:607—615)
- 5 HONG Tao. BES Monthly Meeting. Beijing. 2000 (in Chinese)
(洪涛. BES 月会报告. 北京. 2000)

Study of Neutral Track Measurement at BES II *

WANG Jun LÜ Feng TONG Guo-Liang ZHANG Chang-Chun
HONG Tao YUAN Jian-Ming XU Ye

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

Abstract The measurement errors of the deposited energy and position of neutral tracks in Barrel Shower Counter (BSC) of BES II are investigated. The errors of energy and position of real data are determined by radiative Bhabha events, while the errors of Monte Carlo Data are determined by $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ events. Then the corrections are tested by the selected $\rho\pi$ sample, which shows better *pull* and Confidence Level distribution after the correction. The results are already applied to the kinematic fitting, which can improve the physics results at BES II.

Key words kinematic fitting, shower counter, radiative Bhabha

Received 14 March 2001

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