

## BES - II TOF 数据的离线刻度\*

荣刚 赵家伟<sup>1</sup> 刘琦 薛生田 陈光培 李佩琴 刘靖  
毛泽普 李卫国 邱进发 徐春成 谢跃红 袁野 赵海文

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

<sup>1</sup>(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230026)

**摘要** 简要地讨论了北京谱仪 - II (BES - II) 飞行时间计数器 (TOF) 数据的离线刻度. 利用  $J/\psi$  能区的电子对事例仔细完成的离线刻度与校正结果表明, 新的 TOF 时间分辨达到  $\sigma_{\text{TOF}} = 180\text{ps}$ . 由此大大增强了对带电粒子的识别能力. 对于  $3\sigma$  的  $\pi/K$  分离其动量可以达到  $0.93\text{GeV}/c$ .

**关键词** 北京谱仪 飞行时间计数器 数据离线刻度 时间分辨本领 粒子识别

### 1 引言

改进的北京谱仪由新建造的顶点探测器 (VC)、主漂移室 (MDC)、桶部飞行时间计数器 (TOF)、亮度监测器、改进的事例触发判选系统、改进的在线数据获取系统和原北京谱仪的电磁量能器 (SC)、 $\mu$  子探测器、螺线管磁铁及电子学系统组成<sup>[1]</sup>. 新的桶部 TOF 系统由 48 个闪烁计数器组成, 它可以通过测量由  $e^+e^-$  对撞而产生的带电粒子到达闪烁计数器的飞行时间来鉴别带电粒子的种类. 为了充分地挖掘出 TOF 硬件系统的固有潜力, 提高对带电粒子  $e/\pi/(\mu)/K/p$  的鉴别能力, 我们在 BES 数据离线处理软件的基础上<sup>[2]</sup>, 发展了 BES - II TOF 数据的离线刻度和重建软件. 从 BES - II 探测器在北京正负电子对撞机质心系能量  $3.097\text{GeV}$  处收集的数据中, 筛选出  $e^+e^-$  电子对 (包含巴巴散射和来自  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$  过程的电子) 事例. 用这些电子对事例作为标准数据样本, 经过重建后被用于 BES - II TOF 数据的离线刻度. 基于这些电子对事例样本, 利用改进后的刻度软件对 TOF 系统作了离线刻度和校正, 极大地改善了新的 TOF 系统的时间分辨<sup>[3]</sup>.

### 2 原始数据的分布

TOF 计数器中每一个计数器都同时测量带电粒子在闪烁体中的电离能量损失和从

2000 - 02 - 12 收稿

\* 国家自然科学基金 (19991480, 19825116) 和中国科学院九五重大及特别支持项目 (KJ95T - 03) 资助

粒子产生的顶点到 TOF 计数器的飞行时间. 本文定义  $Q_1$  和  $T_1$  分别表示计数器一侧测量到的电荷量和飞行时间,  $Q_2$  和  $T_2$  相应表示计数器另一侧测量到的电荷量和飞行时间. 为了找出测量的飞行时间和电荷与  $z$  向空间位置一般的依赖关系, 我们将首先研究原始数据的各种分布.

图 1(a)和(b)分别显示了原始测量时间  $T_1$  和相应的电荷量  $Q_1$  的分布. 图 1(c)是将  $T_1$  作为电子在  $z$  方向击中位置的函数所作的散点图. 从散点图可大致估算出光在闪烁体中传播的速度大约是  $14.5\text{cm/ns}$ . 分布的宽度反映了计数器的时间分辨率. 因为光不是从带电粒子同闪烁体的作用点通过闪烁体直线传播到光电倍增管的, 因此, 测量的时间  $T_1$  和击中点  $z$  的关系并非线性. 为了得出电荷量与  $z$  向击中位置的关联, 将电荷  $Q_1$  作为  $z$  向击中位置的函数作散点图, 如图 1(d)所示. 从图中可以观察到输出电荷量同电子穿过闪烁体的有效厚度及衰减长度的依赖关系. 若将图 1(d)中的事例投影到垂直方向, 则得到电子的电离能量损失对应的电荷分布(如图 1(b)).

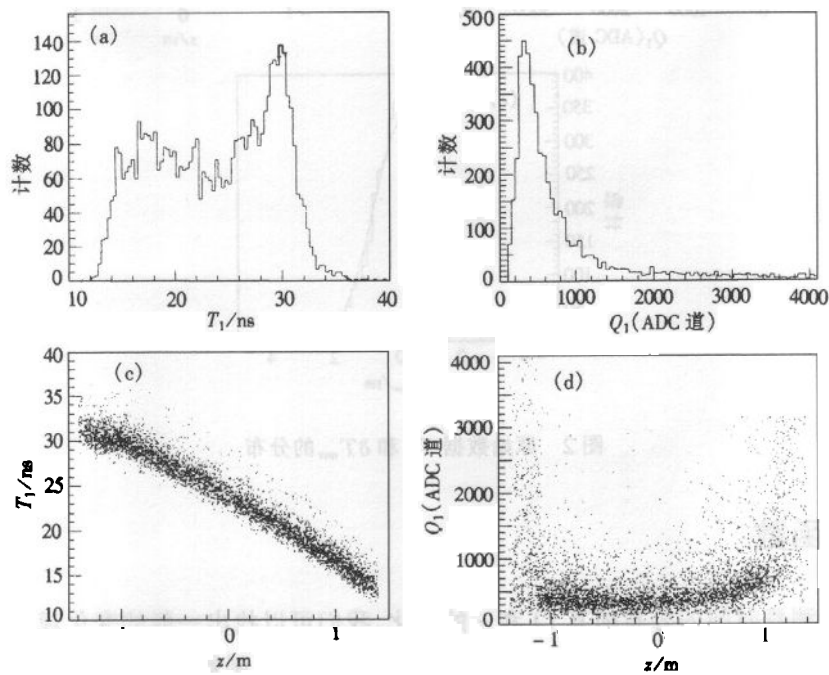


图 1 原始数据  $T_1$  和  $Q_1$  的分布

图 2(a)显示了电荷量对原始测量时间的影响. 计数器两侧测量时间的平均值反映了电子从作用点到计数器击中位置的飞行时间. 目前, 48 个计数器平均的时间延迟  $T_0$  大约为  $23.75\text{ns}$ . 如果用计数器两侧测量到的原始时间求平均并减去平均时间延迟  $T_0$ , 则可得电子平均飞行时间的原始测量值

$$T_{\text{raw}}^{\text{AV}} = \frac{T_1 + T_2}{2} - T_0,$$

这里  $T_{\text{raw}}^{\text{AV}}$  是电子飞行路径长度的函数. 为了消除由于路径长度不同造成的  $T_{\text{raw}}^{\text{AV}}$  的不一致, 我们计算平均的原始飞行时间  $T_{\text{raw}}^{\text{AV}}$  和根据电子的飞行长度和动量求出的期望时间  $T_{\text{expect}}$  的差  $\delta T_{\text{raw}} = T_{\text{raw}}^{\text{AV}} - T_{\text{expect}}$ . 图 2(b) 显示了这一差值  $\delta T_{\text{raw}}$  作为  $z$  的函数的分布. 通过将图中的事例投影到竖直方向的时间轴上, 得到电子的  $\delta T_{\text{raw}}$  分布, 如图 2(c) 所示. 用高斯函数拟合这一分布, 得到 TOF 计数器原始数据相应的时间分辨为  $\sigma_{\text{TOF}}^{\text{raw}} = 955\text{ps}$ .

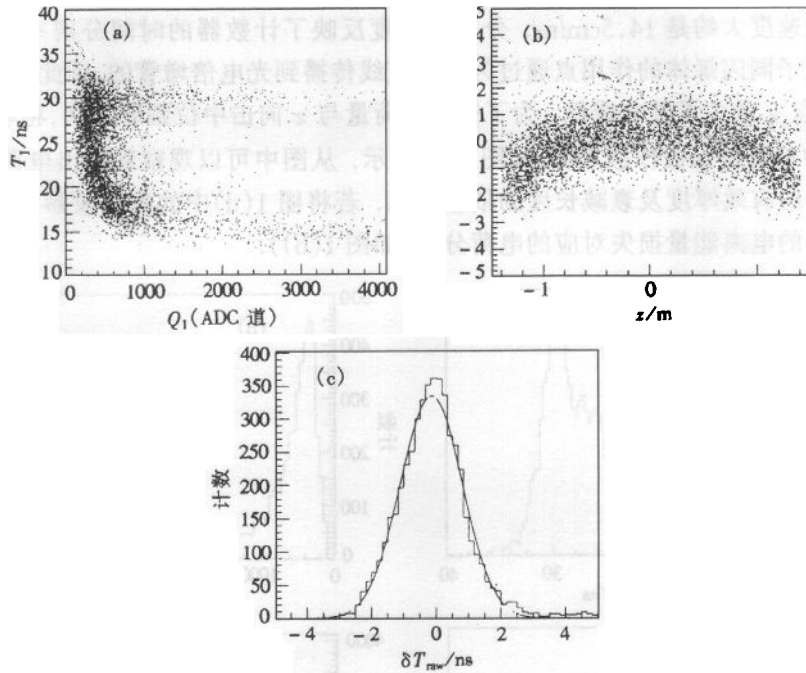


图 2 原始数据  $T_1$  和  $\delta T_{\text{raw}}$  的分布

### 3 修正函数

从原始测量时间的分布随其  $Q$  和  $z$  的变化, 我们可以找出一般的变化规律并构造一修正函数来对计数器两侧的原始测量时间进行修正. 修正函数是电荷  $Q$  和位置  $z$  的函数. 经过多年的实践, 最后选取的修正函数的形式为

$$T_{\text{offset}} = \underbrace{\frac{T_0^{\text{offset}}}{1}}_1 + \underbrace{\frac{P_1 + P_2 \times z}{\sqrt{Q}}}_2 + \underbrace{\frac{P_3 \times Q + P_4 \times Q^2 + P_5 \times Q^3}{3}}_3 + \underbrace{\frac{P_6}{1.157^2 + z^2}}_4 + \underbrace{\frac{P_7 \times z + P_8 \times z^2 + P_9 \times z^3}{5}}_5 + \underbrace{\frac{P_{10}}{6}}_6.$$

其中每一项的物理意义如下:

第 1 项是每一个 Run 数据的时间偏离; 第 2 项是与电荷  $Q$  有关的时间修正的主项; 第 3 项是与电荷  $Q$  有关的时间修正的辅助项; 第 4 项是与电子穿过闪烁体有效厚度有关

的时间修正项. 其中 1.157 是桶部飞行时间计数器的半径; 第 5 项是与光在闪烁体中传输速度有关的时间修正项; 第 6 项是与光电倍增管光电子渡越时间及电缆传输时间有关的修正项. 式中  $T_0^{\text{offset}}, P_1, P_2, \dots, P_{10}$  是从数据离线刻度得出的参数,  $z$  是径迹通过闪烁体的  $z$  向坐标位置.

对于每一个原始测量时间  $T_{\text{raw}}$ , 修正后的飞行时间是

$$T_{\text{cor}} = T_{\text{raw}} - T_{\text{offset}}.$$

为了得到修正函数, 以  $T_{\text{cor}}$  和由主漂移室重建的径迹长度计算出的期望的飞行时间  $T_{\text{expect}}$  构造目标函数

$$\chi = T_{\text{cor}} - T_{\text{expect}}.$$

对  $\chi$  求极小, 可以得到由 10 个线性方程组成的方程组. 将 1.5 GeV 的电子在飞行时间计数器中产生的电荷信息、 $z$  向坐标信息、 $T_{\text{raw}}$  及  $T_{\text{expect}}$  代入方程组中, 可以求出参数  $T_0^{\text{offset}}, P_1, P_2, \dots, P_{10}$ . 从而对每一个测量时间可以得到校准后的飞行时间, 即每个计数器的单端飞行时间

$$T_i = T_{\text{raw}} - T_{\text{offset}} \quad (i = 1, 2).$$

单端输出的飞行时间与粒子击中闪烁体的  $z$  向位置有关. 为了求出与  $z$  无关的飞行时间, 要对计数器两端的输出时间作  $z$  向的加权处理. 从图 1(c) 可以看出, 单端输出的飞行时间  $T_i$  与击中位置  $z$  具有近似二次项的依赖关系. 因此, 选取两个单端输出时间与  $z$  向位置依赖的权重函数分别为

$$f_1 = W_1 + W_2 \times z + W_3 \times z^2$$

和

$$f_2 = 1 - f_1.$$

取双端输出与预期飞行时间差的加权平均为

$$T_{\text{WA}} = f_1 \times (T_1 - T_{\text{expect}}) + f_2 \times (T_2 - T_{\text{expect}}) + W_4,$$

其中  $W_1, W_2, W_3$  和  $W_4$  是待求参数. 数据离线刻度的目标是选取一组参数, 使  $T_{\text{WA}}$  取最小值. 取

$$\frac{\partial T_{\text{WA}}}{\partial W_i} = 0 \quad (i = 1, 2, 3, 4),$$

可以得到  $4 \times 4$  的线性方程组, 将实验上测量到的电荷量  $Q$ ,  $z$  向击中位置、单端输出时间和预期飞行时间代入到方程组中, 可解出参数  $W_1, W_2, W_3$  和  $W_4$ . 从而得到每个计数器两端的输出加权平均的与预期的飞行时间的差  $T_{\text{WA}}$ . 然后利用求出的参数  $T_0^{\text{offset}}, P_1, P_2, \dots, P_{10}, W_1, W_2, W_3$  和  $W_4$  对实验上测得的飞行时间作修正, 得到修正后的飞行时间.

## 4 时间分辨和粒子识别能力

基于大约 5000 个穿过桶部 TOF 计数器的正负电子对事例, 对 TOF 计数器进行了数据的高线刻度. 对每一计数器使用刻度常数对原始测量时间进行修正, 最后得到了加权

平均后的电子的飞行时间. 图 3(a)为加权平均后的飞行时间与电子期望飞行时间的差作为  $z$  的函数的散点图. 时间差分布在一个平坦的、并且比图 2(b)中的  $\delta T_{\text{me}}$  更窄的区域中. 若将时间差投影到图 3(a)的时间轴上, 则得到时间差的分布, 如图 3(b)所示. 用高斯函数来拟合这一分布, 则得到时间分辨本领为

$$\sigma_{\text{TOF}} = 180\text{ps}.$$

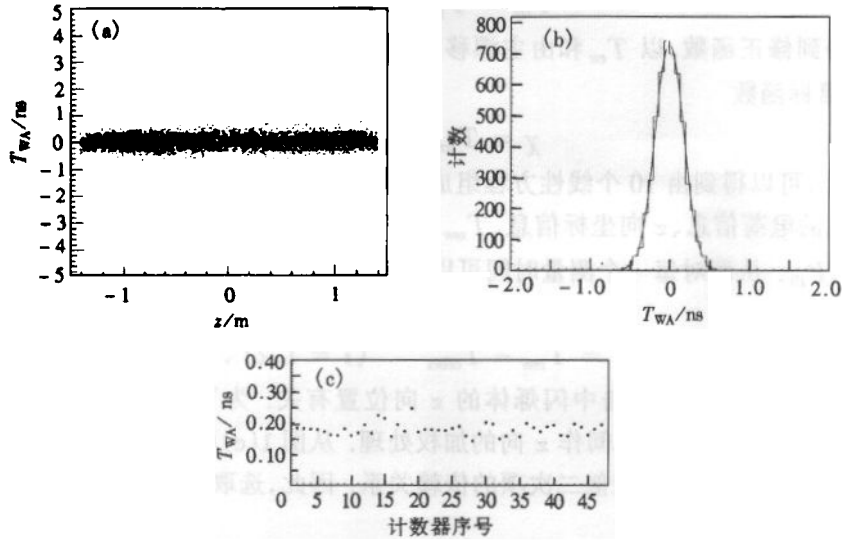


图 3  $T_{wA}$  的分布

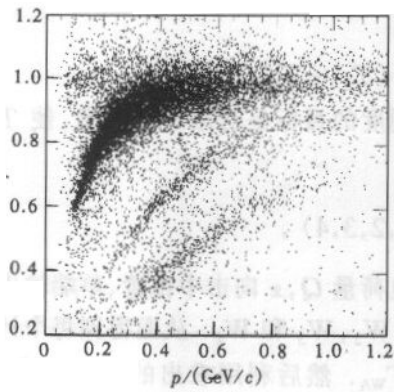


图 4 由 BES-II 的 TOF 和 MDC 重建出的带电粒子相对论速度与粒子动量的关系

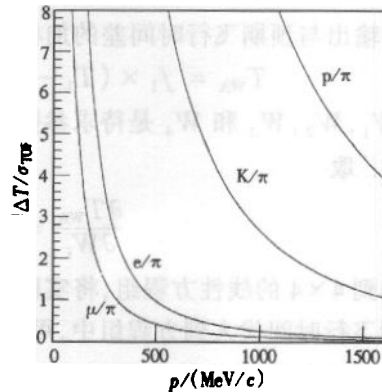


图 5 BES-II TOF 对带电粒子的识别能力与粒子动量的关系  
纵坐标给出以 TOF 计数器交流时间分辨本领  $\sigma_{\text{TOF}} = 180\text{ps}$  为单位的两种粒子飞行时间的差值.

这一时间分辨包括了由于束团长度引起的时间零点不确定性和电子学系统的时间不确定性等各种因素. 图 3(c)显示了 48 个计数器中每一个计数器的时间分辨. 原始实验数据经过刻

度与修正之后,其时间分辨本领为  $\sigma_{\text{TOF}} = 180\text{ps}$ . 大大提高了对带电粒子的识别能力.

图 4 给出经过数据的离线刻度后, BES- II 系统重建出的 5 种粒子的相对论速度  $\beta$  ( $\beta = v/c$ ,  $v$  为粒子的速度,  $c$  为光速.) 与粒子动量的关系. 图中 3 个明显可分的带分别对应  $\pi$ , K 和  $p$ . 取平均径迹长度为 135.2cm, 图 5 标绘出以时间分辨本领  $\sigma_{\text{TOF}} = 180\text{ps}$  为单位的飞行时间计数器系统, 对于两种粒子飞行时间测量的差  $\Delta T$  随粒子动量的变化. 对于  $3\sigma\pi/K$  分离其动量可以达到  $0.93\text{GeV}/c$ ,  $3\sigma\pi/e$  和  $\pi/\mu$  分离其动量分别可以达到 0.27 和  $0.17\text{GeV}/c$ .

在工作中曾与 W. Dunwoodie(SLAC)和 W. Toki(CSU)教授做过有益的讨论, 在此一并表示感谢.

### 参考文献(References)

- 1 BAI Jing-Zhi et al (BES Collaboration). BES Upgrade, N. I. M., to be submitted
- 2 MAO Ze-Pu et al. HEP & NP, 1996, 20:1073—1081(in Chinese)  
(毛泽普等. 高能物理与核物理, 1996, 20:1073—1081)
- 3 RONG Gang. Status of BES- II TOF Data (Spring 1998) Offline Calibration and Reconstruction. In: Proceedings of the 7th BES Annual Meeting. 17—19 June 1998, Datong, BES- II TOF Data Offline Calibration, BES- II Note, June, 1996

## Data Offline Calibration for the BES- II TOF System\*

RONG Gang ZHAO Jia-Wei<sup>1</sup> LIU Qi XUE Sheng-Tian  
CHEN Guang-Pei LI Pei-Qin LIU Jing MAO Ze-Pu LI Wei-Guo  
QIU Jin-Fa XU Chun-Cheng XIE Yue-Hong YUAN Ye ZHAO Hai-Wen  
(Institute of High Energy Physics, CAS, 100039 Beijing, China)

<sup>1</sup>(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract** Data offline calibration and reconstruction for the BES- II TOF system are reported in this paper. After applying calibration constants to correct the measured raw data, a time resolution of 180 ps is obtained for the new TOF system. The power of charged particle identification is improved. The momentum for the  $3\sigma\pi/K$  separation goes up to  $0.93\text{GeV}/c$ .

**Key words** Beijing Spectrometer, time-of-flight counter, data offline calibration, time resolution, particle identification

Received 12 February 2000

\* Supported by National Natural Science Foundation of China (19991480, 19825116) and The Chinese Academy of Sciences Foundation (KJ95T-03)