

## TOFr 在 STAR 实验中的标定<sup>\*</sup>

阮丽娟 伍健<sup>1)</sup> 董昕 邵明 陈宏芳 汪晓莲 李澄 黄胜利

(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230026)

**摘要** 基于多气隙电阻板室(MRPC)的 STAR 飞行时间探测器的一个板条的原型(TOFr)参加了 2003 年 STAR 实验的质子-质子对撞和氩-金对撞的物理运行. 利用 STAR 实验中原有的赝顶点位置探测器(pVPD)和时间投影室(TPC), 结合 TOFr 的时间及幅度信号, 并考虑 TOFr 每个探测单元的尺寸, 对影响时间分辨的各种因素进行了修正, 实现了对 TOFr 的标定. 实验数据给出的 TOFr 的本征时间分辨为 85ps, 在两倍标准方差下, 其对  $\pi/K$  及  $K/p$  分辨的动量分别达到了 1.6GeV/c 和 3.0GeV/c, 大大提高了 STAR 探测器的粒子鉴别能力.

**关键词** TOFr 时间分辨 探测效率 标定

### 1 引言

STAR 是美国布鲁克海文国家实验室相对论重离子对撞机(RHIC)上的 4 个实验之一. 为了加强实验对末态粒子的鉴别能力, 实验组计划增加飞行时间探测器作为其粒子鉴别的重要手段, 以扩展其仅有的时间投影室(TPC)对粒子鉴别的动量范围. 中国科学技术大学近代物理系高能组通过合作承担了基于多气隙电阻板室(MRPC)的飞行时间探测器的预研及建造工作, 并取得了一系列的结果<sup>[1-4]</sup>. 2002 年秋, 我们与美国 RICE 大学共同建造的一个飞行时间探测器板条原型(TOFr)在 AGS 的测试束测试后<sup>[5]</sup>安装在 STAR 上, 被置于 TPC 的外围, 取代了一个中央触发探测器(CTB)单元, 在方位角  $\Phi$  上只占  $\pi/30$ , 覆盖的赝快度范围是 0 至 -1 之间. 该原型是将来整个飞行时间探测器的 1/120 大小, 接收度则是 TPC 的 0.3%. 该原型参加了随后的质子-质子对撞和氩-金对撞的物理运行. 本文着重介绍对整个 TOFr 的标定方法及结果.

### 2 相关实验装置

与 TOFr 进行标定相关的 STAR 的子探测器主要有 TPC<sup>[6]</sup>和赝顶点位置探测器(pVPD)<sup>[7]</sup>. TPC 呈长 4m、半径 2m 的圆桶状, 是 STAR 的最主要探测器, 磁场在中间分布均匀, 可以提供带电粒子的动量和  $dE/dx$  信息, 另外, 通过对所有带电粒子的径迹的拟合, 可以得到对撞顶点的坐标以及每条径迹在磁场中的长度. 由于整个 STAR 的触发信号时间晃动较大, 这就要求对 TOFr 进行标定时要有一个较为精确的参考起始时间, 这个参考时间是由 pVPD 提供的. pVPD 分为东、西两个部分, 距离对撞中心 5.4m, 每端很靠近束流放置 3 个塑料闪烁体和 1cm 厚的铅层及匹配的 3 个光电倍增管, 以探测重离子对撞时前向的光子, 用以确定对撞点沿束流线方向的位置. pVPD 可以覆盖赝快度 4.43—4.94 之间的 19% 的立体角, 由于不同类型的核核碰撞的末态多重数有很大差别, pVPD 两端的计数并不总是 3 个, 比如, 对于质子-质子对撞, 基本上每边只有一个计数. TOFr 标定的终止(STOP)时间信号自然是由其中的 MRPC 的读出单元提供. 结合上述信息,

2004-04-27 收稿, 2004-08-26 收修改稿

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(10275060)资助

1) E-mail: wujian@ustc.edu.cn

就可以获取 MRPC 的本征时间分辨并对不同粒子进行鉴别. 由于 TOFr 的接收度很小, 正常的 STAR 触发下其有计数的可能极小, 因此, 特别为 TOFr 确定了一套特殊的触发条件, 即: 当 pVPD 每边至少各有一个计数的同时, TOFr 至少有一个计数时就进行触发取数, 通过这样的触发条件最后得到的 p + p 和 d + Au 的事例数分别为 300 万和 620 万.

### 3 标定方法

为了获得比较纯的粒子样本对 TOFr 进行标定, 利用 TPC 对低动量  $\pi$  的优越的鉴别性能, 首先在上述触发事例中选取了动量介于 0.3—0.6 GeV/c 的  $\pi$  介子, 然后利用此样本对 TOFr 进行相关的标定工作.

#### 3.1 参考起始时间 $T_0$ 的计算

利用下式对  $T_0$  进行计算:

$$T_0 = \frac{\sum_E \Delta T_E + \sum_W \Delta T_W - (N_E - N_W) V_Z / c}{N_E + N_W},$$

其中 E 和 W 分别代表 pVPD 的东端和西端;  $\Delta T$  为由 pVPD 记录下来的相对于整个 STAR 触发的时间信号;  $N_E$  和  $N_W$  分别是西端和东端着火的闪烁体的总计数;  $V_Z$  是重建出的事例对撞顶点的 Z 坐标值. 如前所述, 由于 p + p 和 d + Au 对撞的末态多重数都很低, 平均而言, d + Au 实验中, 金核出射方向 (即东端) 上的 pVPD 的 3 个 PMT 都有信号输出, 而氩核出射的方向上只有一个 PMT 能给出信号; 在 p + p 实验中, 则每边只能给出一个信号. 这样, 两种不同的对撞给出的 pVPD 的总时间分辨是不同的, 其中 d + Au 是 85ps, 而 p + p 为 140ps. 图 1 中给出了 p + p 的情况.

#### 3.2 飞行时间的计算

此处带电粒子的飞行时间是指粒子从对撞点到达 TOFr 中 MRPC 的某个读出单元的击中点之间的时间. 它实际上就是 MRPC 的击中单元的 STOP 信号与上述  $T_0$  之间的时间差. 这里面要考虑读出电缆的延时, 同时要考虑时幅修正. 图 2 给出了一个读出单元的时幅修正的关系, 修正方法与文献[1]中是一致的, 都是采用多项式拟合的方法.

由于要求的时间测量精度较高, 这样粒子击中读出条的位置造成的时间晃动也需要加以考虑. TOFr 的每个 MRPC 是 1 × 6 型的读出条结构, 条间相

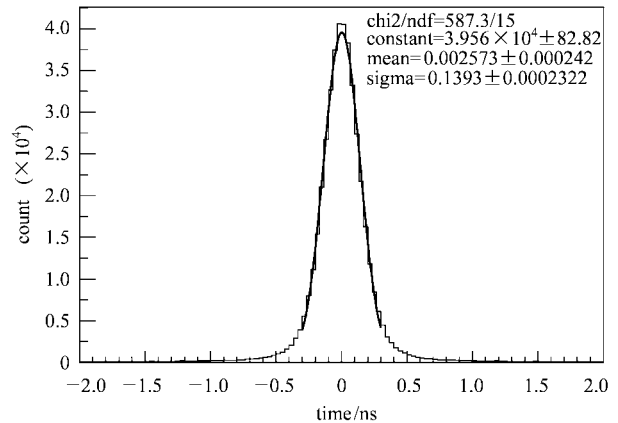


图 1 质子-质子对撞中 pVPD 的参考起始时间分辨

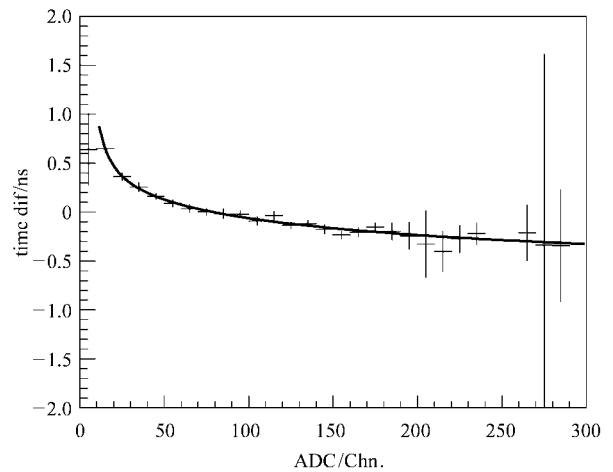


图 2 第三个 MRPC 模块的第三个读出条的时幅关系

距 3mm, 每个读出条的尺寸是 30mm × 60mm. 在 TOFr 中排列时, 读出条的长端是沿着整个 STAR 探测器的 z 轴方向的, 信号的读出端在 +z 方向, 这样, 带电粒子在读出条上不同的击中位置给出的时间信号就有先有后, 需要加以修正. 图 3 给出了沿

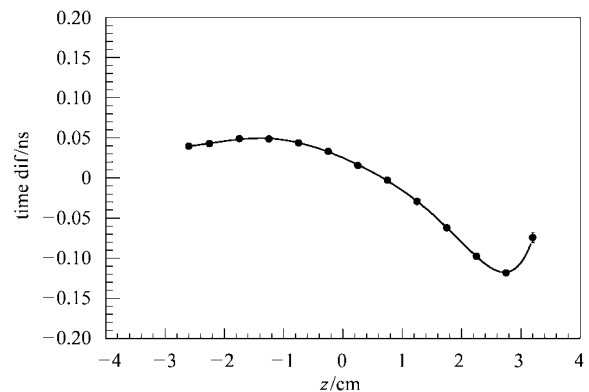


图 3 MRPC 的读出条上 z 方向不同位置的时间修正

着读出条不同位置的击中中所对应的时间修正值. 从图中可以看出, 在离读出端较远的地方, 相对于读出端的时间修正基本是不断增加的, 但在离端部 15mm 范围内由于读出条宽度的影响使时间修正的变化很小. 而在读出端附近, 由于宽度的尺度已大于长度方向的尺度, 宽度方向的影响已大于长度方向的影响, 而使修正值有上翘.

经过上述修正后, 就可以得到 MRPC 的整体的时间分辨的分布情况. 图 4 和图 5 分别给出了 p+p 和 d+Au 对撞中 MRPC 的时间分辨情况, 其中包含了参考起始时间的晃动. 由于 p+p 实验的起始时间晃动较大, 使得其总的时间晃动差于 d+Au 实验的值.

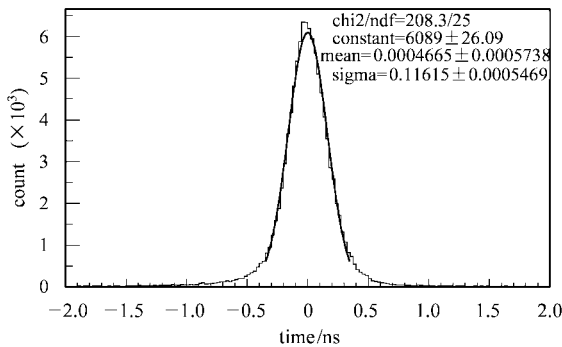


图 4 质子-质子对撞中 MRPC 的总时间分辨

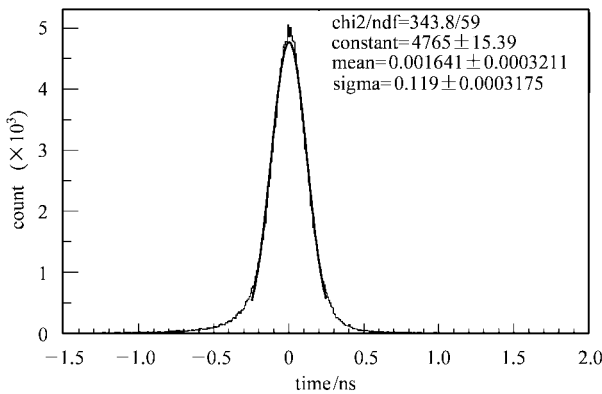


图 5 氩-金对撞中 MRPC 的总的时间分辨

### 3.3 探测效率

为了了解整个 TOFr 在 STAR 运行中的探测效率, 首先利用 TPC 挑选出一个事例样本, 要求其中的每个粒子的径迹都必须击中数大于 15 的所谓的主径迹(primary track), 径迹重建的顶点的 z 方向的范围必须在正负 50cm 之间. 而且每条径迹在磁

场中向外延拓后都必须进入 TOFr 探测器的覆盖范围. 这时再考察 TOFr 上 MRPC 的读出条的信号情况, 凡是在离上述延拓点一个读出条的范围内存在超过给定阈值的信号, 都认为 TOFr 与 TPC 存在匹配信号, 由此可以定义出 TOFr 的探测效率为匹配信号数与总样本数之比. 不同动量范围的探测效率如图 6 所示. 需要指出的是, 由于在事例顶点和延拓点之间存在着气体及相关的支撑材料, 上述效率实际上包含了材料吸收等因素, 特别是对低动量端, 由于吸收系数大, TOFr 的实际效率比图中显示的要高, 扣除吸收因素后, 探测效率高于 95%.

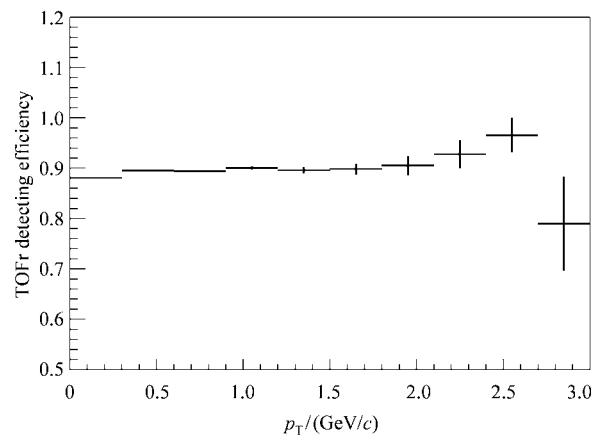


图 6 未扣除粒子吸收效应的不同横动量的 TOFr 的探测效率

### 3.4 噪声水平及漏电流

在 RHIC 运行间隙, 还对 TOFr 的 72 路读出进行

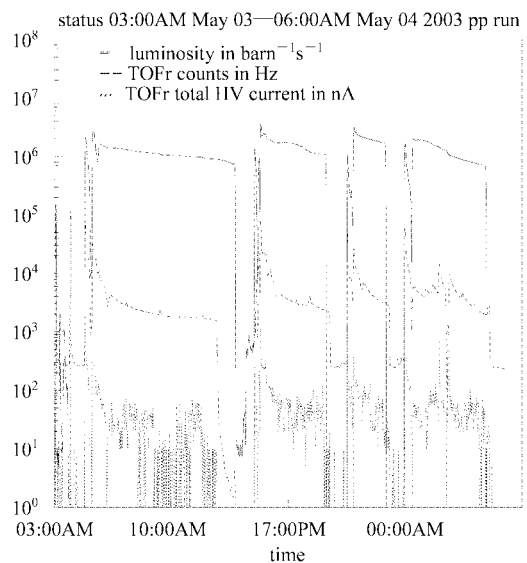


图 7 TOFr 的电流与其计数和对撞机亮度的关系

了噪声测量,结果表明,最高的噪声率为 12Hz,而绝大多数读出道的噪声率在 8Hz 左右. 而整个 TOFr (共 28 个 MRPC 模块)的高压被分为 4 个高压总线,即 A+, A-, B+, B-. 图 7 显示了这 4 路高压的总的电流与 TOFr 计数及 RHIC 亮度的关系. 从图中可以看出,在每次对撞机发生对撞并维持亮度的初期,由于亮度较高以及相对的不稳定,使得 TOFr 的工作电流较大,随后随着系统的趋于稳定,TOFr 的总电流也趋于稳定并维持在几十 nA 的较小值,每个 MRPC 模块所对应的电流基本上在 1—2nA 之间. 而在没有对撞束情况下的测试结果则是 0—1nA 之间.

#### 4 粒子鉴别

通过对上面  $\pi$  粒子样本的修正过程,相关的修正参数被记录下来并建立了数据库. 这样就可以对其他未知的粒子进行对应的飞行时间的修正,进一步结合 TPC 给出的动量信息和径迹长度信息,可以计算对应的粒子的质量的平方,从而最终确定粒子类型而完成对粒子的鉴别. 图 8 给出了动量范围在 1.2—1.4GeV/c 的所有粒子的质量平方的分布. 图中可以清晰的分辨出  $\pi$ , K 和质子所对应的峰值. 结果表明,在粒子质量平方分布图上,保证被鉴别的两种粒子的峰位分开两倍标准偏差(粒子质量平方的分布宽度)的情况下, $\pi$ /K 的分辨可以达到 1.6GeV/c,而 K/p 的分辨则可以达到 3GeV/c 的水平,较原先仅靠依赖 TPC 进行分辨的 0.8GeV/c 和 1.6GeV/c 的

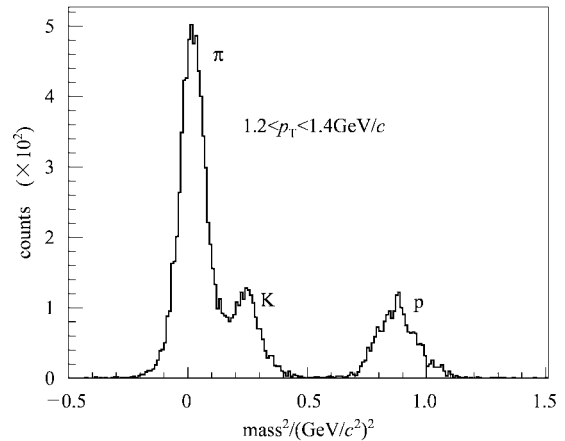


图 8 1.2—1.4GeV/c 之间的粒子的质量平方分布

值有了显著的提高.

#### 5 结论

由中国科学技术大学参与合作研制的 TOFr 参加了 STAR 的物理运行,结果表明该飞行时间探测器的运行是稳定可靠的. 扣除材料吸收效应的探测效率高于 95%. 扣除起始时间晃动后的探测器本征时间分辨要好于 85ps. 该探测器极大的扩展了 STAR 实验的粒子鉴别的动量范围.

在工作中,STAR-TOF 组的同事给予许多的帮助. 本运行工作是和 RICE 大学的同事一起进行的,在此一并表示感谢.

#### 参考文献 (References)

1. Li Cheng, WU Jian, CHEN Hong-Fang et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2001, **25**(9):933—936 (in Chinese)  
(李澄, 伍健, 陈宏芳等. 高能物理与核物理, 2001, **25**(9):933—936)
2. Li Cheng, WU Jian, WANG Xiao-Lian et al. Nuclear Science and Techniques, 2002, **13**(1):6—10
3. CHEN Hong-Fang, Li Cheng, WANG Xiao-Lian et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2002, **26**(3):201—206(in Chinese)  
(陈宏芳, 李澄, 汪晓莲等. 高能物理与核物理, 2002, **26**(3):201—206)
4. SHAO Ming, RUAN Li-Juan, CHEN Hong-Fang et al. Nucl. Instrum. Methods., 2002, **A492**:344—350
5. SHAO Ming, CHEN Hong-Fang, Li Cheng et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2004, **28**(7):733(in Chinese)  
(邵明, 陈宏芳, 李澄等. 高能物理与核物理, 2004, **28**(7):733)
6. Anderson M et al. Nucl. Instrum. Methods., 2003, **A499**:659
7. Llope W J et al. Nucl. Instrum. Methods., 2004, **A522**:252—273

## Calibration of TOFr in the STAR Experiment<sup>\*</sup>

RUAN Li-Juan WU Jian<sup>1)</sup> DONG Xin SHAO Ming CHEN Hong-Fang

WANG Xiao-Lian LI Cheng HUANG Sheng-Li

(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract** A tray of Time of Flight detector based on MRPC technology took part in the physics run of STAR both in p + p and d + Au collisions in 2003. Together with the information from the Time Projection Chamber(TPC) and the pseudo-Vertex Position Detector (pVPD) of the STAR experiment, corrections are done to calibrate the new prototype TOF. The intrinsic time resolution of TOFr reaches 85ps and it extends the  $\pi/K$  and  $K/p$  separation up to  $1.6\text{GeV}/c$  and  $3.0\text{GeV}/c$  respectively.

**Key words** TOFr, time resolution, detection efficiency, calibration

---

Received 27 April 2004, Revised 26 August 2004

<sup>\*</sup> Supported by National Natural Science Foundation of China(10275060)

1)E-mail: wujian@ustc.edu.cn