

一种精密触发定时系统*

黄胜利 许咨宗 汪兆民 汪晓莲 李澄 陈宏芳 伍健 曾辉

(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230027)

摘要 提出并研制了一种精密触发定时系统. 它主要利用多个光电倍增管和闪烁体组成的探测系统, 对同一事件的时间信息进行多次测量. 通过对多个时间信息的离线处理, 来获得时间分辨为 57ps 的精密触发定时系统. 该系统可以用于快时间探测器性能的研究.

关键词 触发定时 望远镜系统 CAMAC 系统 最小二乘法

1 引言

在核科学和核技术领域, 经常会出现一些新的时间探测器, 它们的时间性能非常优越. 如多层电阻板室(MRPC), 它的时间分辨一般小于 100ps^[1]. 为了能对这些时间性能非常卓越的探测器进行时间性能的研究, 我们需要一个触发定时系统来提供精确的参考时间. 传统的触发定时系统由单个塑料闪烁体加光电倍增管组成, 它的时间分辨只有 100—200ps, 不能满足研究高时间分辨探测器的需要. 本文研制了一套性能稳定、时间分辨好的触发定时系统, 并提出了一种获得高时间分辨触发定时的数据处理方法, 满足了对新型时间探测器研究的需要.

2 快触发定时系统的原理

快触发定时系统由快塑料闪烁体(BICRON 公司的 BC-408)、光电倍增管、延迟线, TDC, CAMAC 机箱和计算机构成. 图 1 为整个系统的示意图^[2]. 闪烁体 2, 3 为 4cm × 4cm × 3cm 的小塑料闪烁体, 均通过一个短的光导接到 XP2020 光电倍增管(PMT3, PMT4)上. 闪烁体 1 为 21cm × 5cm × 3cm 的长塑料闪烁体, 两端分别连接着 2 个 H2431 光电倍增管(PMT1, PMT2). 闪烁体 3, 4 构成一个望远镜系统. 当带电粒子穿过闪烁体 2, 3 时, 也必然穿过塑料闪烁体 1 和待测的新探测器. 带电粒子在闪烁体 2, 3 产生的信号首先经过甄别器 1, 2 甄别成型, 然后送入符合电路符合. 甄别器 1 的输出信号送入符合电路前经过

2001-10-16 收稿

* 国家自然科学基金(10045004, 1005002)资助

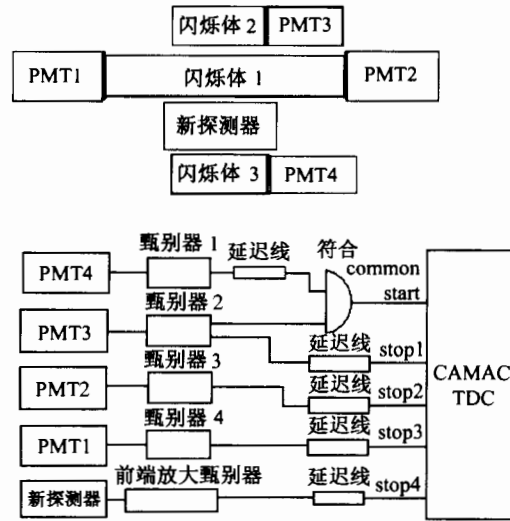


图 1 快触发定时系统示意图

适当延迟,使甄别器 1 的信号前沿被甄别器 2 的信号所包括,这样符合输出信号的前沿晃动为甄别器 1 输出信号的前沿所决定,即为 PMT4 信号的时间晃动所决定. 符合信号送入 TDC 的公共起始端,作为整个系统的时间起始. 甄别器 2 的另一路甄别输出经过延迟后送入 TDC 的终止端 1. PMT1, PMT2 和新探测器的输出信号经过甄别器 3, 4 和前置放大甄别器甄别后,信号经适当延迟送入 TDC 的终止端 2, 3, 4. TDC 通过 CAMAC 机箱的 3989 控制器,将数据送入计算机储存. 假设 PMT4 产生的信号到达 TDC 的起始端的时间为 T_4 , PMT1, PMT2, PMT3 和新探测器产生的信号到达 TDC 的终止端时间分别为 T_1, T_2, T_3 和 T_m ,则在 TDC 的 4 个通道上分别测到 4 个时间量 T_{14}, T_{24}, T_{34} 和 T_{m4} :

$$T_{14} = T_1 - T_4 \quad T_{24} = T_2 - T_4, \quad T_{34} = T_3 - T_4 \quad T_{m4} = T_m - T_4.$$

离线分析时,把 T_{m4} 减去 T_{14}, T_{24}, T_{34} 的时间平均,则可得到新探测器相对 PMT1, PMT2, PMT3 的时间平均的时间量 T_{mm} :

$$T_{mm} = T_{m4} - (T_{14} + T_{24} + T_{34})/3 = T_m - (T_1 + T_2 + T_3)/3.$$

多次测量后,把 TDC 得到的数据均做相应的离线处理,得到的多个 T_{mm} 做统计分布,则可得到它的时间分辨,由误差公式可知

$$\sigma_{T_{mm}}^2 = \sigma_{T_m}^2 + (\sigma_{T_1}^2 + \sigma_{T_2}^2 + \sigma_{T_3}^2)/9, \quad (1)$$

其中 $\sigma_{T_1}, \sigma_{T_2}, \sigma_{T_3}$ 为 PMT1, PMT2, PMT3 的时间分辨. σ_{T_m} 为新探测器的时间分辨(包括前置放大甄别器的时间晃动). 由(1)式可见,利用 3 个光电倍增管的时间平均做为新探测器的触发定时,它的时间分辨约为用单个光电倍增管触发定时的 $1/\sqrt{3}$,因此可以准确地测量新探测器的时间分辨.

3 触发定时的时间分辨

由于我们用光电倍增管 PMT1, PMT2, PMT3 的时间平均作为 MRPC 的触发定时,因

此,必须分别知道这3个光电倍增管的时间分辨,这样才能推出触发定时的时间分辨.利用TDC测得时间量 T_{14} , T_{24} 和 T_{34} 可以推出

$$\begin{aligned} T_{12} &= T_{14} - T_{24} = T_1 - T_2, & T_{13} &= T_{14} - T_{34} = T_1 - T_3, \\ T_{23} &= T_{24} - T_{34} = T_2 - T_3. \end{aligned}$$

结合

$$T_{14} = T_1 - T_4, \quad T_{24} = T_2 - T_4, \quad T_{34} = T_3 - T_4,$$

可以得到6个时间量,我们将多次测量得到的 T_{14} , T_{24} 和 T_{34} 和离线处理得到的 T_{12} , T_{13} , T_{23} 做统计,可以得到如图2所示的6个时间谱.通过gauss拟合这6个时间谱,可以得到每个时间谱的 σ 的平方分别为 K_{12} , K_{13} , K_{14} , K_{23} , K_{24} 和 K_{34} ,见表1.

表1 6个时间谱的 σ 的平方

	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{23}	K_{24}	K_{34}
σ^2/ps^2	49230	55121	50382	16641	21626	22392

图2即为 T_{12} , T_{13} , T_{14} , T_{23} , T_{24} , T_{34} 的时间分布谱,图中TDC的道数经标定每道为25.8ps.

由误差传递公式,可知

$$\begin{aligned} K_{12} &= \sigma_{T_1}^2 + \sigma_{T_2}^2, & K_{13} &= \sigma_{T_1}^2 + \sigma_{T_3}^2, & K_{14} &= \sigma_{T_1}^2 + \sigma_{T_4}^2, \\ K_{23} &= \sigma_{T_2}^2 + \sigma_{T_3}^2, & K_{24} &= \sigma_{T_2}^2 + \sigma_{T_4}^2, & K_{34} &= \sigma_{T_3}^2 + \sigma_{T_4}^2. \end{aligned}$$

这6个方程有4个未知数,为此,采用最小二乘法来获得最优解.假设 $\sigma_{T_i}^2 = \chi_i$, $K_{ij} = K_{ji}$,并令

$$T = \sum_{i \neq j} (\chi_i + \chi_j - K_{ij})^2, \quad (i, j = 1, 2, 3, 4),$$

则由 $\frac{\partial T}{\partial \chi_i} = 0$,可得一个四元一次方程组.

由这个四元一次方程组,即可以解得4个光电倍增管的时间分辨

$$\begin{aligned} \chi_1 &= 1/3(K_{12} + K_{13} + K_{14}) - 1/6(K_{24} + K_{34} + K_{23}), \\ \chi_2 &= 1/3(K_{24} + K_{12} + K_{23}) - 1/6(K_{14} + K_{34} + K_{13}), \\ \chi_3 &= 1/3(K_{34} + K_{13} + K_{23}) - 1/6(K_{14} + K_{24} + K_{12}), \\ \chi_4 &= 1/3(K_{14} + K_{24} + K_{34}) - 1/6(K_{12} + K_{13} + K_{23}). \end{aligned} \quad (2)$$

通过(2)式可以获得光电倍增管PMT1,PMT2,PMT3的时间分辨,见表2.

表2 光电倍增管PMT1,PMT2,PMT3的时间分辨

光电倍增管	PMT1	PMT2	PMT3
时间分辨/ps	105.5	87.4	102.4

这样用3个光电倍增管的平均时间作为触发定时,其时间分辨可以达到:

$$\sigma = \text{sqrt} \{ (105.5^2 + 87.4^2 + 102.4^2) / 9 \} = 57.0\text{ps}.$$

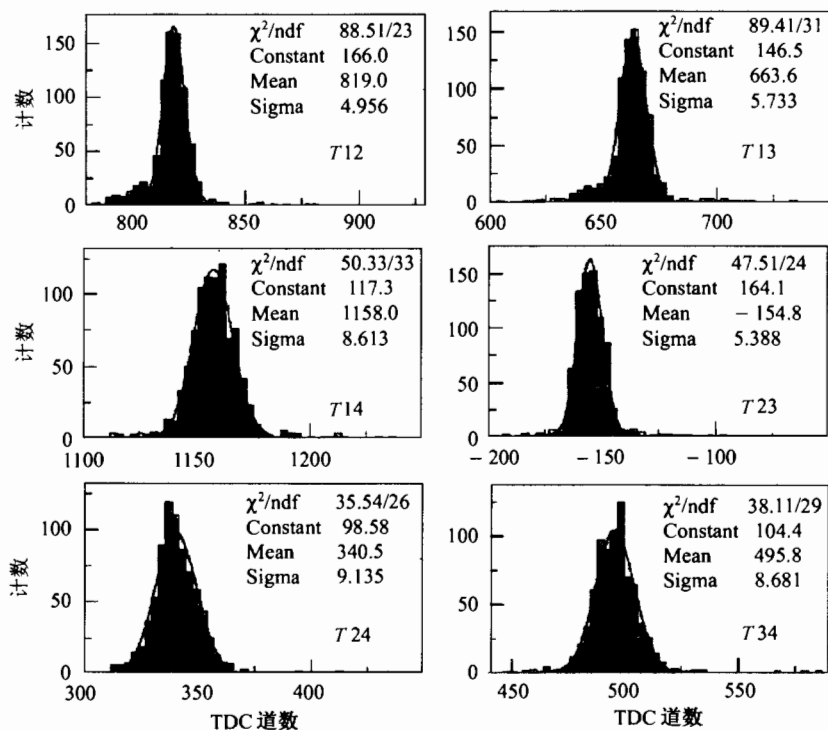


图 2 T12, T13, T14, T23, T24, T34 的时间分布谱

4 利用宇宙线对单 CELL 的 MRPC 测量结果

利用这套精密触发定时系统,对单 CELL 的 MRPC 进行了测量. 图 3 为单 CELL 的 MRPC 相对 PMT1, PMT2, PMT3 的时间平均作为触发定时的时间分布. 它的时间分辨为

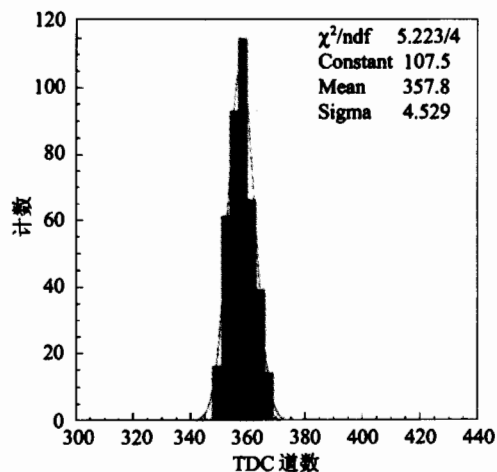


图 3 单 CELL 的 MRPC 时间谱

$4.5 \times 25.8\text{ps} = 116\text{ps}$. 扣除了触发定时的晃动, 可得单 CELL 的 MRPC 的时间晃动为 101ps . 这一时间晃动还包括 MRPC 前端放大甄别器的时间晃动(为 37ps). 因此可知, 利用宇宙线测到的单 CELL 的 MRPC 的时间分辨为 83ps .

5 结论

利用多个闪烁体和光电倍增管组成的探测装置对一次事件进行多重独立测量, 通过适当的离线处理, 可以得到一个时间分辨非常好(为 57ps)的触发定时. 通过对单 CELL 的 MRPC 的测量验证可以知道, 这套触发定时系统可以用于新时间探测器的研究.

作者感谢北京高能物理研究所吕军光研究员在整个系统研制中的帮助和支持.

参考文献 (References)

- 1 Cerron Zeballos E et al. Nucl. Inst&Meth. In Physics Research, 1996, **A374**
- 2 HUANG Sheng-Li. Research on the Test System & STAR-TOF's MRPC. Dept. of Modern Physics of USTC Master Thesis, 2001 (in Chinese)
(黄胜利. STAR-TOF 的 MRPC 及其测量系统时间性能的研究. 中国科学技术大学近代物理系硕士论文, 2001)

A Precise Trigger Timing System *

HUANG Sheng-Li XU Zi-Zong WANG Zhao-Min WANG Xiao-Lian
LI Cheng CHEN Hong-Fang WU Jian ZENG Hui

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

Abstract Four plastic scintillators coupled with three photo-multiplier tubes (PMTs) were used to construct a precise trigger timing system. When one charged particle passes through the system, the PMTs can measure its time information independently. By off-line data analyzing, a precise trigger timing with resolution about 57ps has been gotten. This system can be used to research the time resolution of detectors.

Key words precise trigger timing, telescope, CAMAC system, least square fit

Received 16 October 2001

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10045004, 1005002)