

# 北京谱仪触发效率的测量

郁忠强 赵棣新 顾建辉 过雅南  
张炳云 丁慧良 李卫东

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1994-10-20 收稿

## 摘 要

介绍了用实验测量北京谱仪触发判选系统触发效率的方法。着重介绍触发条件表的设置,事例选择和触发效率的计算,给出各触发条件和不同类型事例的触发效率。

**关键词** 触发判选,效率测量,寻迹,好事例。

## 1 引 言

在 高 能 物 理 实 验 中,触 发 判 选 系 统 是 谱 仪 和 数 据 获 取 的 实 时 控 制 系 统。触 发 判 选 系 统 对 事 例 进 行 快 速 选 择,尽 可 能 多 地 排 除 本 底,保 留 真 正 的 物 理 事 例,将 高 达 1.25MHz 的 对 撞 事 例 率 压 缩 到 数 据 获 取 系 统 能 正 常 工 作 的 每 秒 10 次 左 右 的 触 发 事 例 率<sup>[1]</sup>。可 见,触 发 判 选 系 统 的 工 作 状 态 直 接 影 响 谱 仪 获 取 数 据 的 数 量 和 质 量。

触 发 效 率 和 本 底 排 斥 比 是 触 发 判 选 系 统 的 两 个 重 要 指 标,它 们 决 定 系 统 的 触 发 率 和 数 据 的 信 噪 比,其 中 触 发 效 率 还 和 物 理 分 析 密 切 相 关。离 线 分 析 中 过 滤 过 程 将 记 录 在 磁 带 上 的 原 始 数 据 过 滤,选 出 好 事 例 以 进 行 事 例 重 建。如 果 因 过 滤 条 件 发 生 错 误,可 以 改 正 后 重 新 过 滤。但 触 发 判 选 是 实 时 的 选 择,一 个 事 例 只 有 通 过 触 发 判 选 后,在 线 系 统 才 开 始 动 作,把 该 事 例 的 数 据 读 入,记 录 在 磁 带 上。如 果 一 个 好 事 例 没 有 通 过 触 发 判 选,它 就 不 能 记 在 磁 带 上 而 丢 失。因 此,触 发 效 率 的 研 究 对 谱 仪 的 运 行 是 非 常 必 要 的。在 物 理 分 析 中,求 好 事 例 总 数、产 生 截 面、分 支 比 或 Monte-Carlo 模 拟 等 都 要 求 知 道 触 发 效 率。

在 国 外 其 他 高 能 物 理 实 验 中,用 不 同 方 法 研 究 触 发 效 率,如 Monte-Carlo 模 拟 和 离 线 处 理 等。北 京 谱 仪 在 多 年 的 运 行 实 验 中,非 常 注 意 触 发 效 率 的 测 量,经 过 多 次 尝 试 和 研 究,逐 步 充 实 和 完 善 了 用 实 验 测 量 的 方 法 确 定 触 发 系 统 的 效 率。这 种 方 法 用 较 少 的 专 用 实 验 数 据 经 过 分 析,可 得 出 各 种 不 同 类 型 的 事 例 的 触 发 效 率,方 法 简 单 而 直 观,同 时 也 可 直 接 反 映 谱 仪 各 子 探 测 器 的 工 作 效 率。

## 2 测量方法

测量触发效率的基本思想是选择一组事例样本, 其选择的条件和某一探测器(如主漂移室)无关. 在这些事例样本中, 通过与该探测器有关的触发条件(如径迹数  $N_{\text{trk}} \geq 1, 2, 4$ )的事例数与样本总数之比即为该触发条件的效率. 所以, 触发效率测量实验的关键是设计触发条件表. 表 1 是为了测量触发效率专门设计的触发条件表. 表的第一列为平时运行取数时使用的各触发条件的名称<sup>[1]</sup>. 表的第一行列出了一些探测器的名称, 以后将用该类事例样本求出与该探测器有关的各触发条件的效率. 当一个事例的各触发条件值全都满足某一道触发事例类型的要求, 则这个事例通过这一道, 它的触发条件和触发事例类型均可用 CAMAC 命令读出, 并和事例的其它数据一起记录下来. 触发条件表的设置采用这样的原则, 即欲测量与某一探测器有关的各触发条件的效率时, 在触发条件表中相应的事例类型中不用这些触发条件, 使不带欲测触发条件特征的事例从这道全部采集进来. 同时在使各事例类型的触发率基本一致和总触发率不致过高的前提下, 尽量放松其它条件. 这样, 计算该触发条件的效率将没有任何倾向性. 例如, 表 1 中第一道是为了测量  $N_{\text{trk}} \geq 1$  和  $N_{\text{trk}} \geq 2$  的判选效率. 该类型没有采用 MDC 的任何寻迹条件.  $N_{\text{trk}} \geq 1$  和  $N_{\text{trk}} \geq 2$  的条件均设置为‘—’, 即判选时不考虑这两个条件.

表 1 触发条件表(专用于测量触发效率)

触发条件 \ 类型	MDC	CDC	BSC	TOF	MUON	MU-BSC	END	—
Active?	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N
TOF B-B	—	—	—	—	Y	Y	—	—
$N_{\text{TOF}} \geq 1$	—	—	—	—	—	—	—	Y
$N_{\text{TOF}} \geq 2$	Y	Y	Y	—	—	—	—	—
RADIAL	Y	—	—	Y	—	—	—	—
N-VETO	—	—	—	—	—	—	—	—
ETOF $N \geq 1$	—	—	—	—	—	—	—	—
ETOF B-B	—	—	—	—	—	—	Y	—
$N_{\text{trk}} \geq 1$	—	—	—	—	Y	Y	—	Y
$N_{\text{trk}} \geq 2$	—	Y	Y	Y	—	—	—	—
$N_{\text{trk}} \geq 4$	—	—	—	—	—	—	—	—
MU-OR	—	—	—	—	—	Y	—	—
CDC-OR	Y	—	Y	Y	Y	Y	Y	Y
ESC- $E_{\text{tot}}$	—	—	—	—	—	—	Y	—
$E_{\text{tot-l}}$	Y	Y	—	Y	—	—	—	Y
$E_{\text{tot-h}}$	—	—	—	—	—	—	—	—

注: 表中‘Y’表示这个条件必须成立, ‘N’表示这个条件必须不成立, ‘—’表示不考虑这个条件.

触发系统一共使用十五种触发条件(第一个输入 Active 表示每一个触发事例类型是否工作), 其中主要的几个分别是:  $N_{\text{TOF}} \geq 1$  和  $N_{\text{TOF}} \geq 2$ , 即在桶部飞行时间计数器

(BTOF)有一个或两个以上击中; TOF B-B, 即在 TOF 上有两个击中, 且它们的夹角的绝对值大于  $170^\circ$ ;  $N_{\text{trk}} \geq 1$ ,  $N_{\text{trk}} \geq 2$ , 即在主漂移室(MDC)中找到 1 或 2 条以上径迹; CDC-OR, 即在中心漂移室(CDC)第三或第四层中有一个以上击中;  $E_{\text{tot-1}}$  和  $E_{\text{tot-h}}$  是簇射计数器(BSC)的触发条件, 表示粒子沉积在 BSC 各部分的能量信号之和超过两个预先设置的触发阈值<sup>[2]</sup>.

1994 年 1 月在  $\psi'$  取数结束, 开始新一轮  $D_s$  取数前, 作了一次触发效率的测量. 采用表 1 所给出的触发条件表, 采集了 4 个 RUN 的数据(RUN6122-6125). 北京正负电子对撞机(BEPC)的对撞能量选择在  $J/\psi$  峰值  $E_{\text{cm}} = 3097\text{MeV}$ . BSC 的总能量低阈  $E_{\text{tot-1}}$  和总能量高阈  $E_{\text{tot-h}}$  的值, 在 RUN6122 和 6123 时, 分别选择为 6 和 40, 在 RUN6124 和 6125 时分别是 8 和 35.

### 3 事例的离线选择

用上述触发条件表获取的事例中必然包含很多本底, 而我们感兴趣的是对好事例的触发效率, 所以必须再经过事例重建, 从某种触发类型(如 MDC)的事例中用离线筛选出各种好事例样本, 并分别求得它们的事例总数, 如 Bhabha 事例数  $N_{\text{BB}}$ , 双  $\mu$  事例数  $N_{\mu\mu}$ , 和强子事例数  $N_{\text{h}}$ , 然后在记录中查阅这些好事例是否满足  $N_{\text{trk}} \geq 1$  和  $N_{\text{trk}} \geq 2$  的条件. 设满足  $N_{\text{trk}} \geq 1$  条件的事例数为  $N_1$ , 满足  $N_{\text{trk}} \geq 2$  条件的事例数为  $N_2$ , 则 MDC 寻迹条件  $N_{\text{trk}} \geq 1$  和  $N_{\text{trk}} \geq 2$  对 Bhabha 事例的判选效率分别为:

$$\varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 1}^{\text{BB}} = N_1/N_{\text{BB}}, \quad \varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 2}^{\text{BB}} = N_2/N_{\text{BB}}.$$

同样, 对双  $\mu$  和强子事例的判选效率分别为:

$$\varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 1}^{\mu\mu} = N_1^{\mu\mu}/N_{\mu\mu}, \quad \varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 2}^{\mu\mu} = N_2^{\mu\mu}/N_{\mu\mu};$$

$$\varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 1}^{\text{h}} = N_1^{\text{h}}/N_{\text{h}}, \quad \varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 2}^{\text{h}} = N_2^{\text{h}}/N_{\text{h}}.$$

用上述方法, 通过第二道触发类型可以测量出 CDC-OR 的判选效率, 第三道可以测量出 BSC 径向条件, 总能量低阈和总能量高阈条件的判选效率, 第四道可以测量出 TOF 的  $N_{\text{TOF}} \geq 1$  和  $N_{\text{TOF}} \geq 2$  的判选效率, 第五道则可以测量出  $\mu$  子鉴别器(MUON)的 MU-OR 条件的判选效率, 等等.

以下列出这几种事例的离线选择条件.

首先选择背对背的两叉事例, 要求:

- (1) 带电粒子径迹数  $N_{\text{ch}} = 2$ , 总电荷  $Q_1 + Q_2 = 0$ ;
- (2) 每根径迹与束流轴  $z$  的夹角  $|\cos\theta| \leq 0.7$  (在桶部计数器的立体角范围内);
- (3) 两根径迹夹角  $|\Delta\theta| > 170^\circ$  (两条径迹背对背);
- (4) 在  $R-\phi$  平面内径迹离  $z$  轴的最小距离  $r_{\perp} \leq 1\text{cm}$ , 径迹与对撞中心的  $z$  向距离  $|V_z| \leq 20\text{cm}$ ;

对下列不同类型事例或情况, 事例选择有不同要求.

对于 Bhabha 事例, 在研究 CDC, MDC, MUON, TOF 的判选效率时, 进一步要求中性粒子数  $N_{\text{neu}} \leq 2$ , 总沉积能量  $E_{\text{BSC}} \geq 1.8\text{GeV}$ . 在研究 BSC 的判选效率时, 要求  $\mu$  计数器无发火,  $N_{\text{neu}} \leq 2$ ;

对于双  $\mu$  事例, 在研究 CDC, MDC, MUON, TOF 判选效率时, 做如下选择:  $N_{\text{neu}} \leq 1$ ,  $E_{\text{BSC}} \leq 1.2\text{GeV}$ . 在研究 BSC 的判选效率时, 要求  $N_{\text{neu}} \leq 1$ , 有  $\mu$  计数器发火;

对于强子事例, 这里不考虑纯中性强子事例, 也不考虑单根带电径迹的事例, 要求:  $N_{\text{trk}} \geq 2$ , 可见总动量  $\Sigma |\vec{p}_i| > 1.54\text{GeV}/c$ , 丢失动量  $|\Sigma \vec{p}| \leq 2\text{GeV}/c$ . 在研究 TOF 时, 进一步要求  $v_r \leq 1\text{cm}$ ,  $|V_z| \leq 1.5\text{cm}$ ,  $\mu$  子鉴别器击中数  $\leq 3$ .

对于选出的好事例, 特别是那些不满足判选条件的事例进行了逐个人工扫描, 排除了个别软件不易判别的宇宙线事例的混入, 提高了计算的准确性和可靠性.

## 4 测量结果

### 4.1 各触发条件的效率

表 2 给出了用 Bhabha, 双  $\mu$  和强子事例求出的各触发条件的效率.

表 2 各种判选条件的效率

触发条件	BB 事例		双 $\mu$ 事例		强子事例	
	事例数	效率	事例数	效率	事例数	效率
$N_{\text{TOF}} \geq 1$	424/424	1.000	98/100	0.980	2102/2104	0.999
$N_{\text{TOF}} \geq 2$	406/424	0.957	94/100	0.940	2046/2104	0.972
TOF BB	402/424	0.948	94/100	0.940		
Radial	189/191	0.990	1116/1680	0.664		
$N_{\text{trk}} \geq 1$	1427/1427 <sup>(*)</sup>	1.000	(*)	1.000	11208/11253	0.996
$N_{\text{trk}} \geq 2$	1402/1427 <sup>(*)</sup>	0.982	(*)	0.982	10550/11253	0.937
$E_{\text{tot-l}}(6)^{(**)}$	80/80	1.000	602/605	0.995	9432/9459	0.997
$E_{\text{tot-l}}(8)^{(**)}$	104/104	1.000	688/699	0.984	11182/11228	0.996
$E_{\text{tot-h}}(35)^{(**)}$	104/104	1.000	316/699	0.452	8410/11228	0.749
$E_{\text{tot-h}}(40)^{(**)}$	78/80	0.987	264/605	0.436	5355/9459	0.566
CDC-OR	410/410	1.000	284/285	0.996	16959/16979	0.999
MU-OR			725/732	0.990		

(\*) 对于  $N_{\text{trk}} \geq 1$  和  $N_{\text{trk}} \geq 2$  的判选效率, Bhabha 事例和双  $\mu$  事例放在一起计算, 没有分别计算.

(\*\*) 括号中为计算机设置的总能量  $E_{\text{tot}}$  的阈值, 测量结果给出:

$$E_{\text{tot-l}}(8) \approx 180\text{MeV}, E_{\text{tot-h}}(35) \approx 950\text{MeV}.$$

由表 2 可知, 各基本的判选条件  $N_{\text{TOF}} \geq 1$ ,  $N_{\text{trk}} \geq 1$ ,  $E_{\text{tot-l}}$  和 CDC-OR 的触发效率均大于 99.5%.

### 4.2 各种事例类型的触发效率

在  $\psi'$  和  $D_s$  运行时, 带电道设置的触发判选条件为:

$$N_{\text{TOF}} \geq 1, N_{\text{trk}} \geq 1, \text{CDC-OR}, E_{\text{tot}-1}.$$

用表2给出的各触发条件效率可以计算出上述带电道的触发判选效率, 计算公式如下:

$$\varepsilon = \varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 1} \cdot \varepsilon_{N_{\text{TOF}} \geq 1} \cdot \varepsilon_{\text{CDC}} \cdot \varepsilon_{E_{\text{tot}-1}}.$$

而 Bhabha, 双  $\mu$  和强子事例均是从带电道获取的事例. 因此用上式可算出 Bhabha, 双  $\mu$  和强子事例触发效率分别为:

$$\varepsilon_{\text{BB}} = 100\%, \varepsilon_{\mu\mu} = 99.05\%, \varepsilon_{\text{h}} = 99.08\%.$$

### 4.3 子探测器效率的计算

用实验的方法测定的触发效率是探测器和触发系统整体的效率, 它包含了各子探测器的效率. 对于信号来说, 触发逻辑的效率近似为 100%, 由此可以用测到的触发效率推算出各子探测器的效率. 例如, MDC 寻迹触发子系统由‘四选三’、寻迹和相加甄别逻辑构成<sup>[3]</sup>. 首先系统对来自 MDC 第 2, 4, 6 层共 144 个单元信号进行单元选择, 每个单元四根丝中有三根‘着火’, 即认为这个单元被击中. 这种单元选择被称为‘四选三’. 第 2, 4, 6 层被击中的单元经寻迹逻辑判定是否构成从束流轴出发的好径迹, 再经相加甄别, 就得到 MDC 的触发条件  $N_{\text{trk}} \geq 1$  和  $N_{\text{trk}} \geq 2$ . 对 MDC 的平均丝效率可按如下步骤计算. 设 MDC 的单丝效率为  $\varepsilon$ , ‘四选三’的效率为  $\varepsilon_{3/4}$ , 第 2, 4, 6 层的寻迹效率为  $\varepsilon_t$ , 失效率为  $\xi_t$ . 这几个参数的关系式分别如下:

$$\varepsilon_{3/4} = \varepsilon^4 + 4\varepsilon^3(1 - \varepsilon),$$

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{3/4}^3,$$

$$\xi_t = 1 - \varepsilon_{3/4}^3.$$

对于 Bhabha 和双  $\mu$  事例, 有两根带电径迹, 所以  $N_{\text{trk}} \geq 1$  和  $N_{\text{trk}} \geq 2$  的效率分别为:

$$\varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 1} = 1 - \xi_t^2, \varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 2} = \varepsilon_t^2.$$

可以从测量得到的  $\varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 2}$ , 先求出  $\varepsilon_t$  值, 然后再推算出 MDC 的单丝效率  $\varepsilon$ . 由表 2 可知:  $\varepsilon_{N_{\text{trk}} \geq 2} = 0.982$ , 即可得出:  $\varepsilon_t = 0.99096, \varepsilon_{3/4} = 0.99698$ , 从而推算出 MDC 的单丝效率  $\varepsilon = 0.977$ .

用同样的方法, 计算出其它探测器的效率, 结果在表 3 中给出.

表 3 子探测器效率

探测器	触发条件	事例	判选效率	单径迹效率	探测器效率
TOF	$N_{\text{TOF}} \geq 2$	对 ee 事例	0.957		0.974
TOF	$N_{\text{TOF}} \geq 2$	对 $\mu\mu$ 事例	0.940		0.970
MDC	$N_{\text{trk}} \geq 2$	对 ee 和 $\mu\mu$	0.982	0.991	0.977
Muon	OR	对 $\mu\mu$ 事例	0.990		0.902

根据触发效率推算出的各子探测器效率与离线分析对各子探测器刻度计算给出的探测器效率基本一致<sup>[4]</sup>. 因此, 用实验测量的方法得到的触发效率可以作为判定北京谱仪探测器触发判选系统工作情况的依据, 也可作为物理分析工作的参考数据.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 过雅南等, 高能物理与核物理, **14** (1990) 1057.
- [ 2 ] 丁慧良等, 高能物理与核物理, **16** (1992) 769; J. Z. Bai, Q. Bian, G. M. Chen et al., *Nucl. Instr. Methods*, **A344** (1994) 319.
- [ 3 ] 丁慧良、过雅南、杨熙荣等, 一台简单的四选三逻辑电路, 第三届全国核电子学和探测技术学术会议文集, 1986.10. 安徽.
- [ 4 ] Zepu Mao et al., Offline Calibration of BES Data, BES Annual Meeting 94/6/30.

## Trigger Efficiency Measurement of BES

Yu Zhongqiang   Zhao Dixin   Gu Jianhui   Guo Yanan  
Zhang Bingyun   Ding Huiliang   Li Weidong

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

Received 20 October 1994

### Abstract

An experimental method to measure the efficiency of the trigger for the BES is introduced. The design of trigger table, event selection and calculation of efficiency are described. The efficiencies of various trigger conditions and event types are given.

**Key word** trigger selection, efficiency measurement, track finding, good event.