

X. 北京谱仪的触发判选系统

1999.11

触发判选系统是一个快速、实时事例选择和控制系统。它的基本任务是对来自探测器的二千多路信号进行处理，提取它各自代表的事例的物理性质的特征，根据不同物理实验的需要进行组合，对事例进行快速选择，选出好事例，尽可能压缩本底，把事例率从 $10^6/\text{s}$ 压低到数据获取系统能够接受的程度。

一、触发判选系统的功能

触发判选系统是为了解决在 高能实验中，高事例率、高数据率和计算机有限的数据处理能力之间的矛盾。

(一) 好事例率

- 轻子事例 $e^+e^- \rightarrow l^+l^-$ 0.05/s
- 强子事例 $e^+e^- \rightarrow h$ 0.2/s
- 在 J/Ψ 共振峰处 $e^+e^- \rightarrow J/\Psi \rightarrow x$ 5.1/s

(二) 本底

①宇宙线 $\sim 10^3/\text{s}$

②丢失电子

- 脱轨电子打在探测器上
- 正常电子和真空中残余气体散射

丢失电子数：一个束团 1.0×10^{11} 个电子，束流寿命 6.5h，环长 L_1 为 240m，探测器长 L_2 约为 5.4m：
$$N_{le} = 2 \times dN/dt \times L_2/L_1 = 3.84 \times 10^5/\text{s}$$

③其他本底

- 同步辐射 (打在 TOF 上: $10^6/\text{s}$)
- 加速器和外界的电磁干扰等

结论： 本底 $\gg$ 好事例

（三）电子学和计算机的处理能力

1. DAQ概况

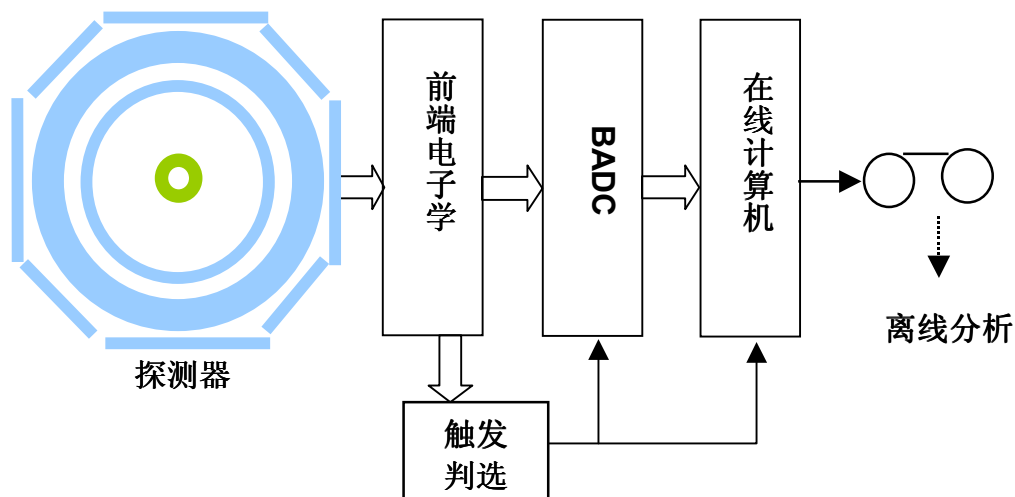


Fig 1. BES数据获取系统的数据流向

按一个 BADC 分析 1600 路信号来计算:

$$1600 \times 6 \mu s \approx 10ms$$

电子学通道：22000道，数据长度：~2Kbyte。VCBD 从 BADC 读出数据 3.9μ s/word，计算机响应中断 80μ s，在线采用 VCBD 和 MVME162 两级多事例缓冲和高速率数据传送。升级后每个事例的死时间取决于 BADC 的转换速度，为 10ms/evt。死时间期间，DAQ 系统不响应，将损失有效亮度， 10^1 /s 事例率将造成 10% 的亮度损失。

二、怎样排除本底——找差别

（1）从时间上排除

宇宙线——时间上随机分布

好事例——伴随着束团对撞而来，在束团对撞后 30ns 内几乎所有出射的粒子都已到达 TOF 计数器（如图 2 所示）。因此，触发设置 30ns 时间窗，排除宇宙线本底。

在时间窗内——可能是好事例：

在时间窗外——一定是本底。

用时间窗可以排除

$$\frac{800 - 40}{800} = 95\%$$

的宇宙线。TOF 计数器的宇宙线率（时间窗取 40ns）：

$$\text{TOF} \sim 10^3 \text{ sec}^{-1} \xrightarrow[\text{时间窗}]{40\text{ns}} \sim 50\text{sec}^{-1}$$

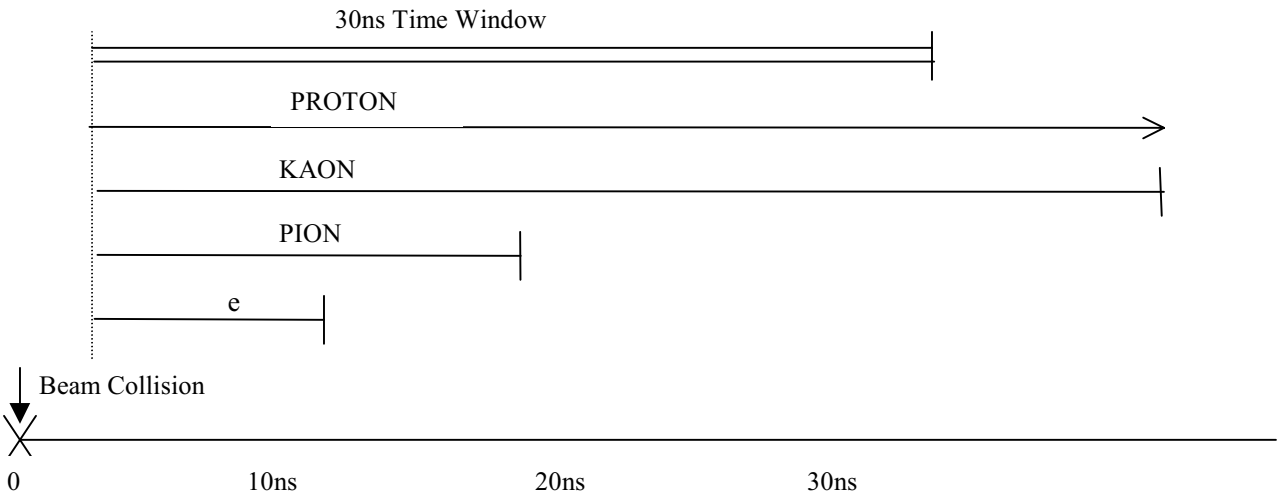


Fig 2. Range of Flight Time of Particles to TOF Barrel

（二）从空间上排除

宇宙线——空间上均匀分布

好事例——一定从对撞区来

正负电子对撞机 e^+e^- 束团的大小约：

$$2\text{ m} \times 0.2\text{mm} \times 50\text{mm} \text{ (径向} \times \text{垂直} \times \text{纵向长度)}$$

在R- ϕ 投影（沿束流方向看），粒子都是从束流管道中心一定半径内发出的。例如：如果要求MDC中的径迹通过对撞中心和要求带电粒子通过顶点室，则在Z和R上都可以排除大部分击中其它探测器上的宇宙线。

$$\begin{array}{ccccc} \sim 10^3 \text{s}^{-1} & \xrightarrow{\text{VC}} & \sim 40 \text{s}^{-1} & \xrightarrow{40 \text{ns}} & 2 \text{s}^{-1} \\ 0.017 \text{cm}^{-1} \text{s}^{-1} \times 240 \text{cm} \times 280 \text{cm} & & 0.017 \text{cm}^{-1} \text{s}^{-1} \times 26 \text{cm} \times 83.8 \text{cm} & & \end{array}$$

（三）从事例的其他物理特性上排除本底

- MDC寻迹电路使用第2, 4, 6, 8层MDC信号，以第2层单元为基础，与第4, 6, 8层相关单元形成径迹。在寻迹逻辑中要求径迹大于一定的曲率半径也就是粒子横动量 $P_t > 100 \text{MeV}/e$ 的CUT条件，可排除大量小角度的散射本底和横动量小的 beam—gas 散射本底 (见 Fig 3.)。

- MDC系统要求第二、四、六层均有击中，排除了在 $Z = \pm 2.7 \text{m}$ 外丢失的电子本底 (见 Fig 4)。

- 用径向发展的电磁簇射条件排除斜穿过谱仪的宇宙线本底。BSC的一个楔形的各层沉积能量之和大于设置值，作为触发条件RADIAL (见 Fig 5.)。

- μ 子的判选要求击中 μ 探测器。因为 μ 子穿透力强，可以穿过磁铁和簇射计数器而击中 μ 探测器。

（四）高能物理实验对触发判选系统的要求

- 效率高，不损失好事例；
- 排除比要高，尽可能地排除各种本底；
- 实时快速，判选时间短；
- 可编程，灵活可变以适应不同实验条件和要求。

在高本底和较低的数据获取能力状况下，触发判选系统要在1~4个对撞周期内，从 10^6 的事例中选出好事例，排除掉大部分本底，保证实验数据的质量和工作效率。

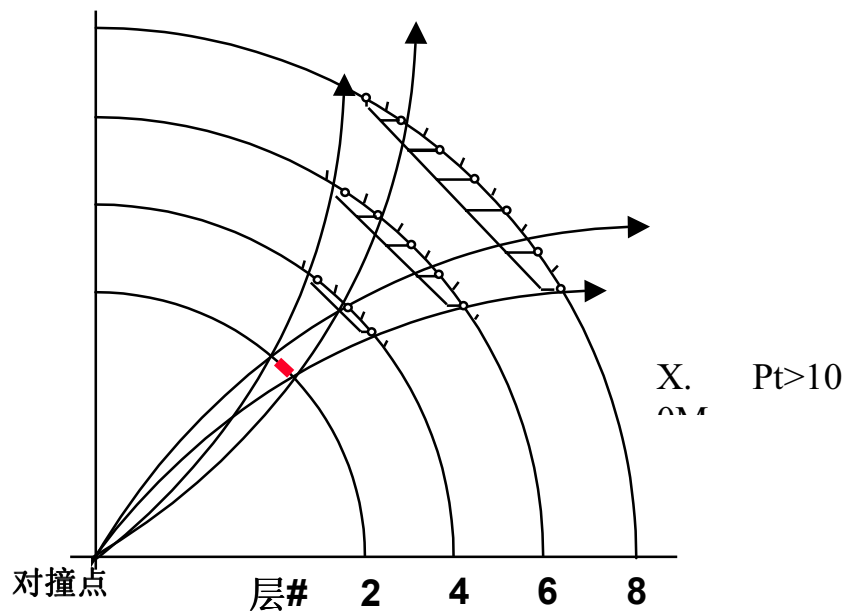


Fig 3. The Track Finding of Using MDC Layer 2,4,6,8

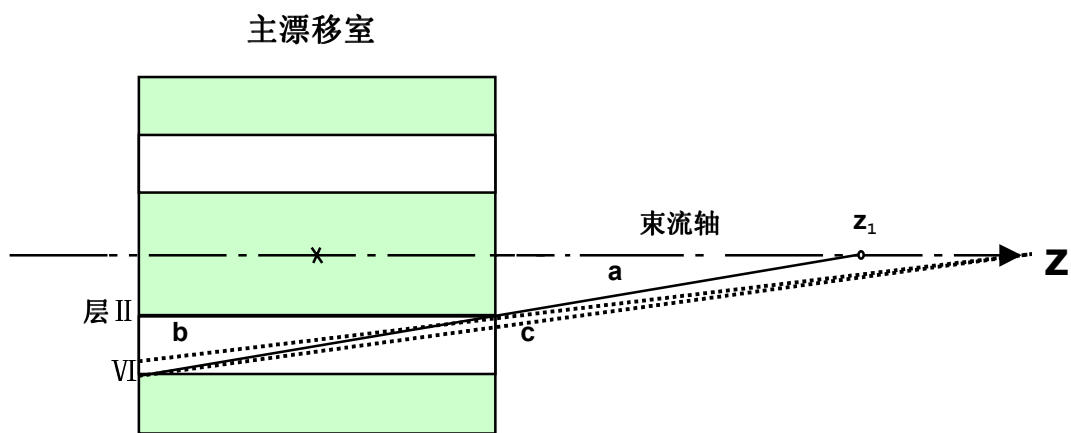


Fig 4. 主漂移室寻迹对丢失电子本底的Z向压低

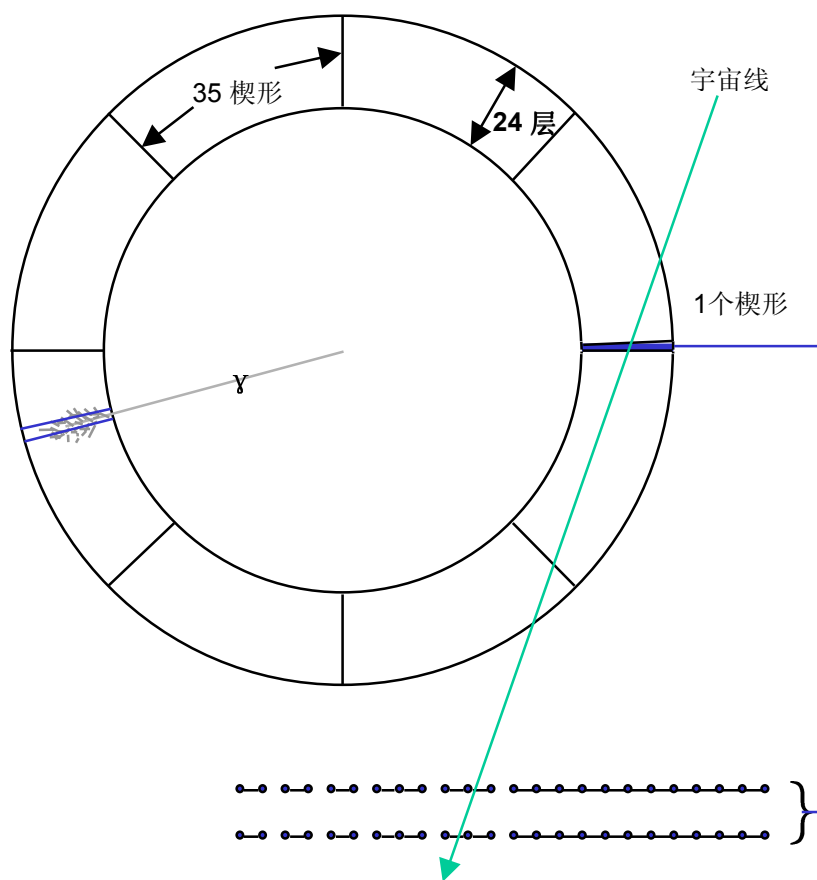


Fig5. 桶部簇射计数器的径向条件示意

三、触发判选系统的工作流程

1、多级触发判选

为实现快速实时判选，减少死时间，系统采用多级触发方案，如下图所示。在第一级用简单的触发条件作快速判选，初步使事例率降到 $1 \sim 3 \text{ KHz}$ 。然后通过第二、三级的 2~3 个周期做较细致的判选，使事例率降到数据获取系统可以接受的 $5 \sim 10 \text{ Hz}$ 。

2、第一级判选在一个周期内完成

由于第一级的判选必须在时间零点 (T_0) 以后的 420 ns 之内完成。去掉漂移时间、电缆和主触发电子学的延迟时间，留给触发系统在第一级处理信号的时间仅 100 ns 。

BEPC的 e^+e^- 束团每 800ns 完成一次对撞。第一级触发在下一次对撞以前完成，并留出足够时间还原前端电子学，不造成任何死时间。

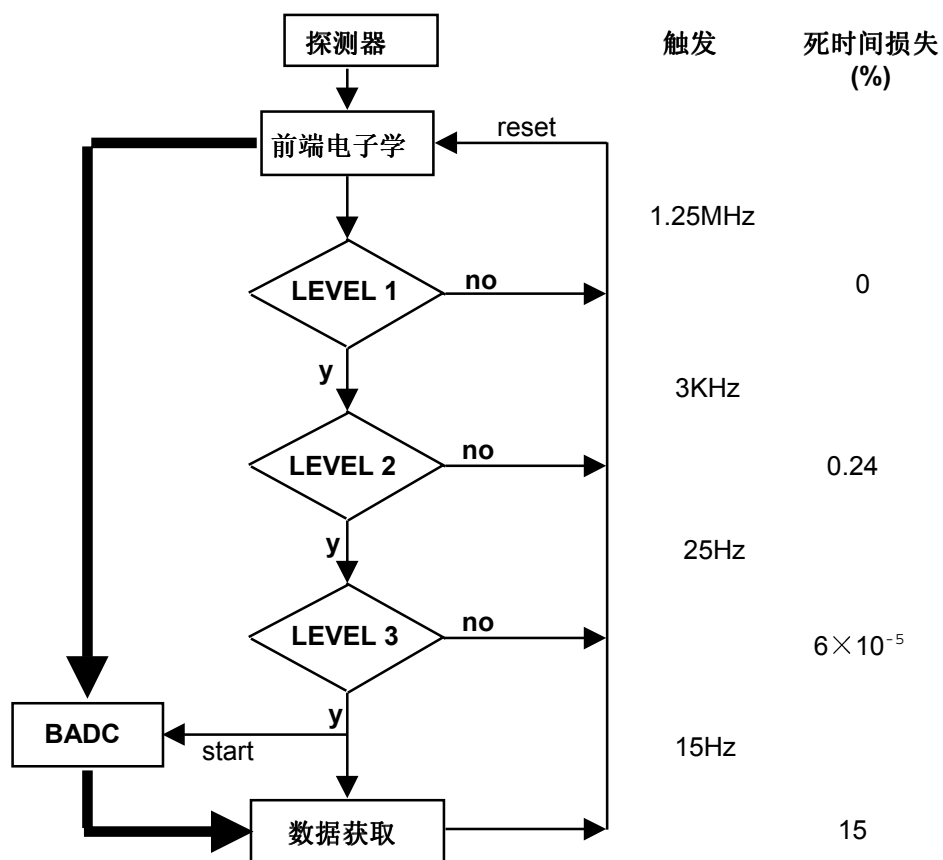


Fig6. BES 触发判选系统的三级判选模式

3、完成一个事例的触发用四个对撞周期

经过第一级触发的事例，在下三个对撞周期内根据其他触发条件，对事例进一步判选。如果不是好事例，触发系统发出 RESET 信号，还原各子探测器的电子学系统，等待下一个事例。如果是一个好事例，触发系统对计算机发出 LAM 请求，同时启动各子探测器电子学的BADC，开始事例的数据获取。在完成取数后，计算机复位触发和电子学系统, 等待下一个事例的触发。

四、北京谱仪的触发判选系统的结构和组成

1. 触发系统是一个由一个分支、七个 CAMAC 机箱、一个 NIM 机箱、近 40 多个品种 130 多块插件组成的 CAMAC 总线系统（少部分 FASTBUS 总线插件）。

它由下列几部分构成：

- 飞行时间计数器（TOF）时间判选系统
- 簇射计数器（BSC、ESC）能量判选系统
- 顶点室（VC）径迹判选系统
- μ 子鉴别器（MU）击中判选系统
- 主漂移室（MDC）寻迹系统
- 主触发控制系统
- 时标产生器系统
- 控制台和触发监测系统

2. 各子探测器触发子系统逻辑如 Fig7. 所示。各探测器触发子系统按照各自的判选方法给出的触发条件，集中到主触发可编程组合逻辑，按照触发条件表对各触发条件进行逻辑组合判选，符合触发条件表要求的事例给出LVL1, LVL2信号，由主触发控制逻辑进行状态控制。通过第一和第二级判选，发出 START 和 LAM 请求进行数据获取，不是好事例的还原系统。触发条件表的设置可根据实验需要确定。触发条件表如表1 所示，值班人员可根据实验需要修改触发表。

3. 触发判选系统在每个对撞周期的固定时刻，自动发出定时开门或复位信号给各子探测器电子学，控制谱仪数据获取系统的运行。这些时标由系统的时标产生器生成，并经过现场测量和实验而确定。时标是可编程的。

触发判选系统使用束流管上束流探测器感应信号（Pick-up）作为时间零点（T0），由锁相振荡器产生的与T0锁相的 100Mhz 时钟作为系统时钟。触发判选系统使用 BES 西端的 Pick-up 信号。

北京谱仪触发判选系统框图
1999.9.11.

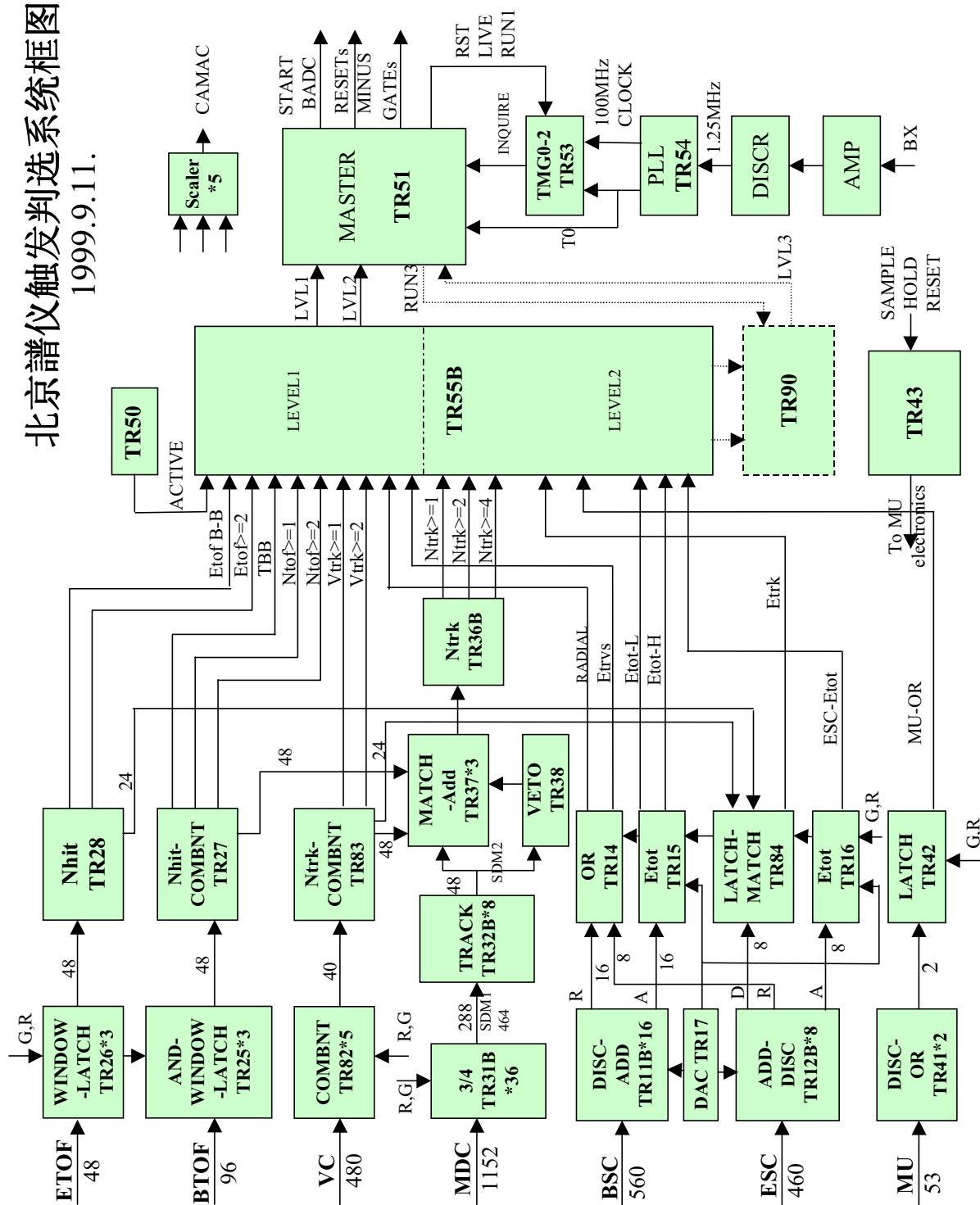


Fig7. 北京谱仪触发判选系统框图

表1 Trigger Condition Table

TYPE COND TN	BB	Char	2-MU	Char2	NEU	Cosmic	ESC	BB2
Active ?	N	Y	N	Y	Y	N	Y	N
TOF B-B	-	-	Y	-	-	-	-	Y
	-	Y	Y	-	-	-	-	-
	-	-	-	Y	-	-	-	Y
	-	-	-	-	Y	-	-	-
	-	Y	Y	-	-	Y	Y	-
	Y	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	Y	-
	-	-	-	-	-	-	-	-
Ntof>=2	-	-	-	-	-	-	-	-
Radial								
Nvc>=1								
Etrvs								
END B-B								
Etof>=2								
Nvc>=2								
Ntrk>=1	-	Y	-	-	-	-	-	Y
Ntrk>=2	-	-	-	Y	-	Y	-	-
Ntrk>=4	-	-	-	-	-	-	-	-
MU-OR	-	-	-	-	-	-	-	-
Etrk	-	-	-	-	-	-	-	-
ESC-Etot	-	-	-	-	-	-	Y	-
Etot-l	-	Y	-	-	-	-	-	Y
Etot-h	-	-	-	-	Y	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

(99' 改进后的触发条件表)

上表中各标志位的意义为：

- ‘Y’ 表示为通过判选此条件必须满足
- ‘N’ 表示为通过判选应不满足此条件
- ‘-’ 表示忽略此条件

4. 触发系统运行状况记录和监视

- ① 和事例数据同时记录每个事例的触发条件和事例类型情况，可作成直方图检查触发运行情况。
- ② 每个事例获取时同时采集触发信息，用作检查触发逻辑。
- ③ 定时记录各种信号的计数率。

系统共使用 CAMAC 定标器七块28 路，记录触发条件和事例类型的计数率，用来长期监视触发系统的运行,每分钟读一次。

5. 以下是触发系统的和运行有关文件：

- TRGTBL.CLD →触发条件表，加载 TR55B
- TMMK.DAT→时标，加载TMG逻辑
- TR17.DAT→设置 S C 能量条件阈值，加载 TR17 插件
- OVRD.DAT →设置M D C死道'1'，加载 3/4逻辑
- '1或 0'→设置对撞或宇宙线实验模式，加载时钟插件。

五、 触发判选系统的操作和运行

1. Begin run 对触发系统初始化

•将触发条件表 TRGTBL.COS 或 TRGTBL.CLD Copy 到运行表 TRGTBL.TMP，再翻译成不可读的控制 码加载到主触发的可编程逻辑阵列中。

•将 TMMK.COS， TMMK.CLD 时标文件 Copy 到 TMMK.DAT 文件。用程序读出加载到时标插件中。

•读取 BSC 阈值文件 TR17.DAT并加载到总能量阈产生插件 TR17 中。

•将实验模式码：宇宙线实验:'1'，对撞实验：'0'，写入相应插件，如TR54时钟插件。对撞时，使用与束流拾取信号T0 锁相的 100MHz 时钟，作为 BES 触发判选的系统时钟。而在宇宙线实验时，则使用系统自振荡的100 MHz 的时钟和1.25MHz 的T0 信号。

2.Begin run之前对上述几个文件的操作和设置

•在运行前必须检查 TRGTBL.TMP 和 TMMK.DAT，TR17.DAT 等文件，应符合实验要求。

SH—TRG 命令 (观看上述文件)

•修改触发条件表和阈值必须经运行负责人同意，在RUN.TRG 目录下用 EDIT 修改 TRGTBL.COS 或 TRGTBL.CLD，TRGTBL.DS 和 TR17.DAT 文件，数据格式与原来的要一样，否则要出错误。时标文件TMMK在[TRG]帐号下，由触发组修改。

●用 **SET-TRG** 命令将上述修改过的文件转换为运行文件，Begin RUN 时才能按新的文件运行。

注意！！

所有有关文件均反映了运行历史， 不得随意删除。

3. 触发判选系统运行时需要监测和检查,以保证数据获取的质量和数量

1) 触发系统的有关直方图：检查系统运行情况

◆ 触发各子系统的工作情况

- 主触发可编程逻辑组合的输入输出，检查触发条件表执行情况
- 飞行时间 TOF ‘击中’ 分布图
- 主漂移室 MDC 寻迹分布图
- 顶点室 VC 径迹分布图
- 1/8 桶部和端盖簇射计数器 ‘击中’ 分布
- 端部径迹分布图

◆ 定标器计数直方图，显示各级触发和触发条件的计数

Fig8. 是主触发可编程逻辑组合的输入输出直方图，逻辑组合的输入是各触发条件，它的输出是通过判选的事例类型。前一组为第一级的触发条件和通过第一级的事例类型，第二组是第二级的触发条件和通过第二级的事例类型。该直方图用来与触发条件表对照来检查触发表执行情况。

以下用 MDC 径迹分布图为例解释分布图的意义。Fig9. 是MDC 径迹分布图。在事例读取时，读取MDC中寻到径迹的第二层单元的位置。它的直方图表示寻到径迹的 ϕ 向分布，它应是均匀的分布。从直方图上看，在MDC的 90^0 和 270^0 位置径迹数较多，这是宇宙线的影响。其它的分布图也是同样道理。

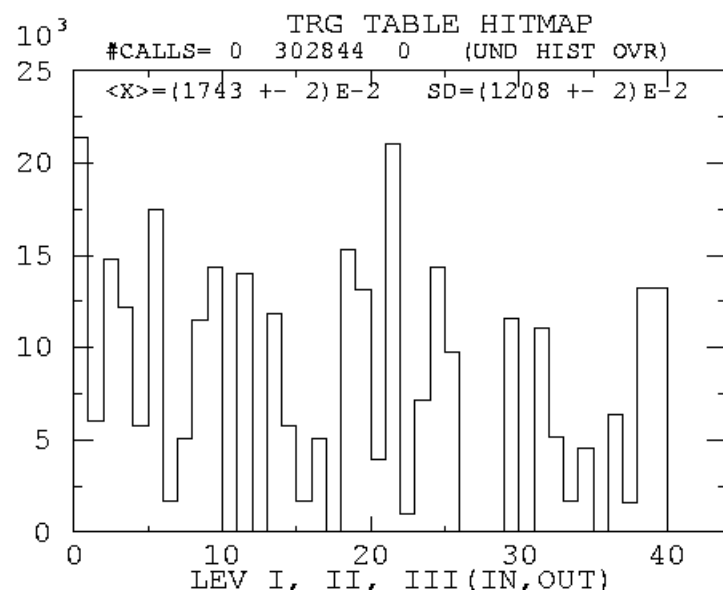


Fig8. 主触发可编程逻辑组合的输入输出直方图

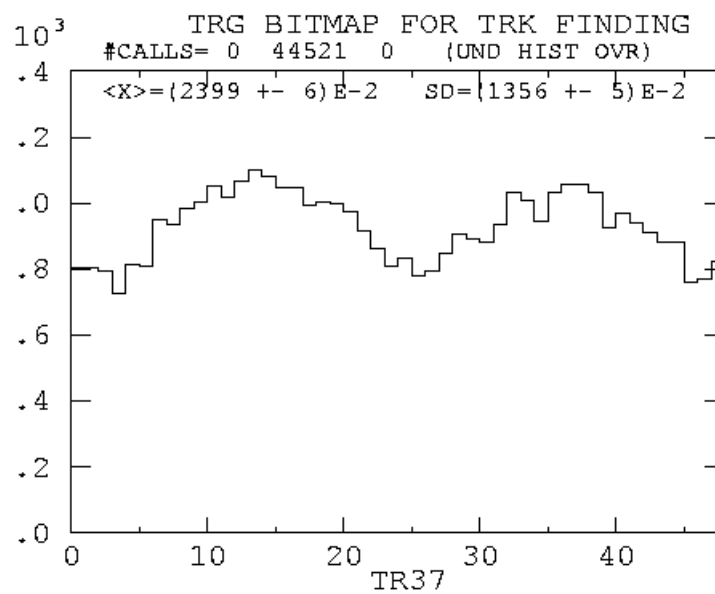


Fig9. MDC径迹分布图

2) 控制台上定标器可以直观地反映出当时运行的状态，应随时观测记录，与预期值比较。如发现异常，通知触发组检查，保证数据质量。特别要注意的是活时间和死时间的值，它们的和应为 $\sim 12480/10s(1000\text{分频})$ ，死时间应占总数的10%左右，通过 LVL1 和 $N_{\text{TOF}} \geq 1$ 的计数为 3K 左右。

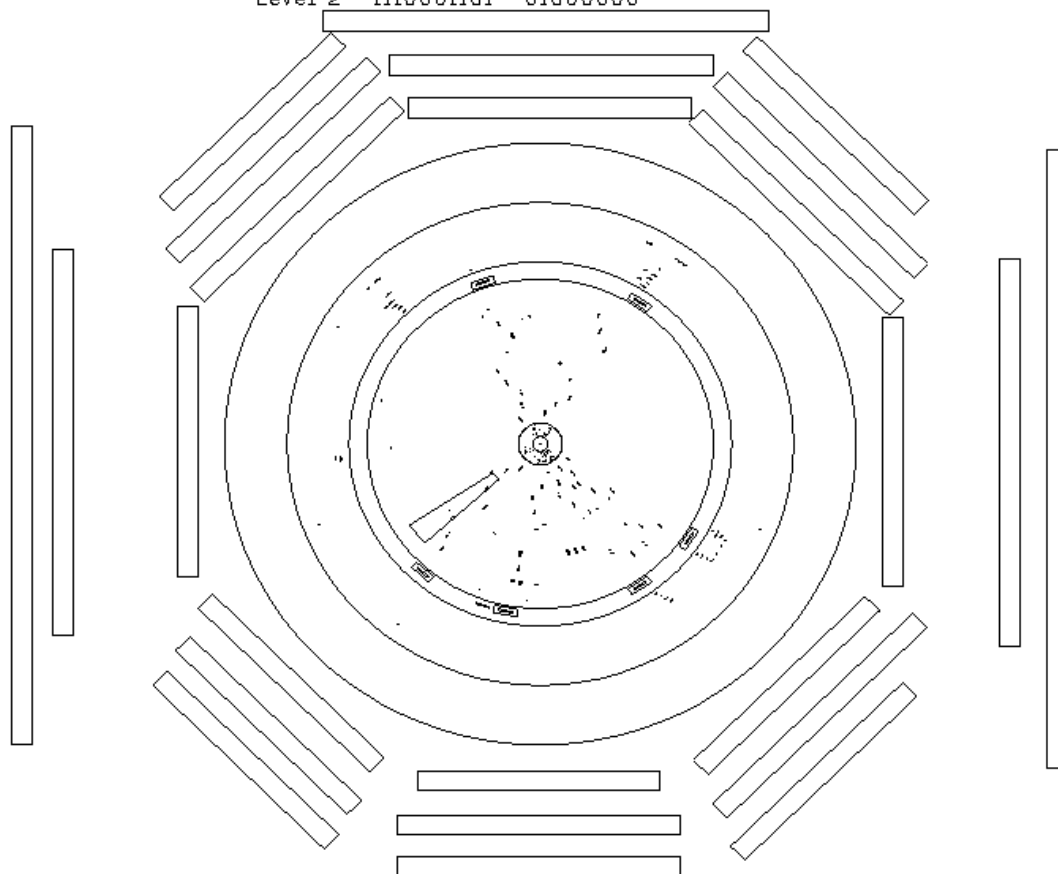
3) 单事例显示中的触发信息

LEVEL1	1111100000	11100000
LEVEL2	1100000000	11000000
	↑	↑
	触发条件	触发类型

位置：在单事例图的右上角（见Fig10.）

4) 主触发控制板 TR51红色和绿色指示灯交替闪亮，表示有事例通过触发，DAQ系统正常运行。

Event 4041 Run11972 CM Energy 1.54800 Trigger Condition Type
 Hadron Level 1 1111011000 01000000
 NBClu 10 Level 2 1110001101 01000000
 NEClu 0
 Nprng 6
 E 1.276
 A 0.477



Zoom 1.00

View Angle 0

Screen Center 0, 0

Fig10. 单事例显示