

# 核反应实验数据获取的变换网络

戴光暎

(中国科学院近代物理研究所)

**摘要:**近代核反应实验使用多参量获取法。从探测器组到计算机中间有一变换网络,它保证了数据获取的正确性与完整性,是不可缺少的重要环节。本文根据国内外现状,提出按变换功能将中间变换网络分划成三种网络,即主信息网络、事件触发网络和事件格式网络,这样可清晰而完整地进行中间变换设计,有一定适用性。作为一个例子,本文就兰州重离子国家实验室的大型通用筒形散射室终端的中间变换网络进行介绍,以此来具体阐明三种网络的功能和实际内容,这就为我国核物理同行们提供具体信息,来使用该国家实验室设备进行实验。

## 一、前言

现代核反应,尤其重离子引起的核反应实验,由于束流种类和能量增加,使一次核反应事件相关的信息量大增。为了节约宝贵束流时间,最大可能地提高束流利用效率,各先进实验室均努力发展各型探测系统,以多元探测器来覆盖更大的探测空间,例如达到近于 $4\pi$ 空间角,这样探测器数量就增加了,同时探测器功能也增加了。如对核粒子(包括 $\gamma$ 射线)的速度、能量、能损率、质量、电荷以及多重度等多参量作关联数据获取。这时,对于计算机来说是要求其功能具有快速、大信息量的存贮、监测与记录。主要使计算机能有效和节约内存的情况下获取数据,如压缩记录格式,将事件中无记录的参数排除,即排零操作。这样使记录长度视非零参数多少而变化,节省了无功CPU时间和内存以及磁带用量。在探测器组与计算机之间起着桥梁作用的中间变换网络,也因两端发展而趋于复杂化。这变换网络是多参量数据获取的重要环节,它不仅依赖探测器的性能与功能,也要考虑加速器束流条件,散射室结构和计算机硬件与获取软件的特点。但

变换网络自身仍有其通用的规律,可按照变换功能分划成主信息网络、事件触发网络和事件格式网络等三类。事件触发网络将提供一个事件触发讯号,由它来起动计算机接受主信息网络提供的讯号进行数字变换并存贮记录下来。事件格式网络给出事件类型的标记,并以格式字形式记录下来。它方便地供给实验人员宏观地监测信息,并为以后数据再构中对各种类型数据的排选提供可靠而方便的依据,从而大大节约计算机CPU时间。

## 二、信息源——探测器综述

探测器受核粒子的励激给出由电子产生的负脉冲讯号,它含有该粒子的能谱、能损谱、飞时速度谱、位置谱、磁刚度谱以及多重性谱等信息。近年来由于毫微秒脉冲技术的发展,使脉冲讯号在时间上给出了更大的容量,以容纳更多的信息。例如双栅大面积雪崩室(PAC)、塑料闪烁计数器和电子多道微孔倍增板等,其讯号上升时间均在毫微秒量级,这些都是快探测器。由它们的脉冲前沿可以给出被测对象的飞时,从而确定粒子速度。不仅如此,这些探测器的位置也可

以用时差来定。如PAC用毫微秒延时线读出两维位置，从栅丝两端讯号时差来定位置，分辨可达到4mm；又如用萤光在塑闪条中的光行差的时间，也可定出单维位置，分辨可达到5cm。用许多塑闪条平行排列则可以组成双维位置灵敏的塑闪墙（PW）；例如该大型筒形散射室的塑闪墙是由宽5或10cm厚1cm长1米的14条塑闪条组成。

探测器另一发展是复合式结构。熟知的是 $\Sigma\Delta E_i + E_R$ 的半导体望远镜（ST）和层状塑闪计数器（DPS），后者用快萤光衰减的薄塑闪片粘在大块慢塑闪体前做成的。这样就可以对核粒子的能损与能量讯号作同时测定。如层状塑闪计数器出来的讯号，用毫微秒延时开门，可将脉冲中的快速上升成分与较慢成分分开来，达到 $\Delta E$ 与 $E_R$ 的同时测量。具有纵向电场的布喇格曲线电室（BCS），其输出脉冲的峰值与核粒子电荷对应，而脉冲下的面积（电量）又和能量成比例。所以对脉冲作幅度分析（通过ADC）和电量分析（通过QDC），可以给出核粒子的“电荷—能量”双维谱。此外，多种单元探测器串接可以形成大动态范围的复合型结构。如平行板雪崩室（提供飞时讯号）后面串接BCS（给出复杂碎片电荷能量），最后再接上层状闪烁体（测量长射程轻带电粒子的 $\Delta E$ 和 $E_R$ ），组成了对各种核粒子均可响应的复合式结构。

引言中谈到以多元探测器来覆盖大的探测张角，这是由于防止对单个探测器有“双击”事件出现。特别在中能重离子反应，一次反应发射的各型核粒子很多，更要避免“双击”事件。对于单元探测器其本身占据的立体角和探测灵敏立体角之比最好接近于1，这样以减小探测死区。此外由于入射离子重而且速度快，使复合系统的质心有很大的朝前速度。所以中能重离子反应使用的靶室不再是对靶心对称的球形结构，而是偏心的。例如用顺束流方向的筒形结构，靶心在筒的一侧，朝前有很大的探测空间和飞行距离。

可见，由于探测器的多元化、多样化而使数据获取变得复杂起来。中间变换网络是联系探测器系统（信息源）和计算机的桥梁，也变得复杂起来。下面对中间变换网络作一些讨论。

### 三、中间变换网络

在图1中显示了核反应实验获取计算机（如用 $\mu$ -Vax II机）前的信息变换网络。在此从左到右共三段，第一段是探测器组，第二段是中间变换网络，第三段是计算机接口的“信息—数字”变换插件。探测器组在图上以从上到下排列各型探测器，它们的响应时间从快到慢。探测器组输出 $N_D$ 个讯号到中间变换网络，而后者变换后输出 $N_C$ 个讯号到CAMAC组件，一般 $N_C > N_D$ ， $N_C$ 作为数据获取的总参量。图中可见射频源RF讯号直接送到CAMAC，作为绝对时间“起点”。中间变换网络一般由NIM系统的电子组件，以及ORTEC公司一些产品所构成。

#### 1. 事件（的时间）触发网络

一次核反应事例发生产生许多核粒子被探测器所探测，首先要确定这些核粒子是从同一反应事例中出来的。为此，多数情况利用脉冲束流的特点。回旋加速器，如兰州的分离扇重离子回旋加速器，束流是一团接着一团来到靶子上的。两团束流的时差 $t_r$ 由加速器射频频率 $f_r$ 和谐波数 $H_r$ 所决定：

$$t_r(ns) = 10^3 \cdot H_r / f_r(MHz) \quad (1)$$

如该加速器所加速的 $^{12}C$ 束，可达单核能量50MeV/A，这时用二次谐波加速， $t_r = 213ns$ （毫微秒）。一般地说，一团束流只可引发一次反应事例，引发二次反应事例是极罕见的，大多数束流团一次反应事件事例都没有。对于探测器来说，这时若要参与此事例的符合，必须有一个时间起头脉冲。这脉冲对于快探测器，可由其本身飞时脉冲来充当；对于微秒级的慢探测器则通过前沿甄别器来产生一个快前沿的脉冲，作为这时头脉

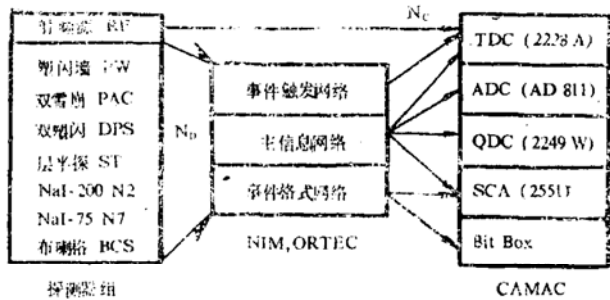


图1. 核反应实验计算机前部信息变换网络

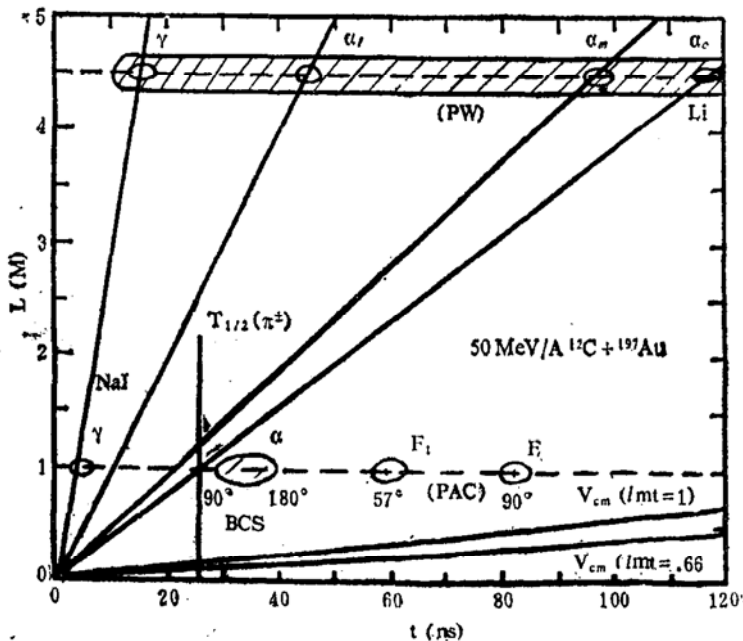


图2. 大型通用散射室 ( $\phi 2.4\text{M}/\text{M} \times 6\text{M}$ ) 中, 各型核粒子从靶心到探测点距离  $L$  的飞行时间  $t$ 。

冲。时间起头脉冲是该探测器发生输出的所有脉冲中时间最早的脉冲。

对同一反应事例, 由于探测器离开靶心的距离不同, 各型能量不同的核粒子的飞速不同而到达探测器的时间将不同。在图2中显示了在  $50\text{MeV}/\text{A}$   $^{12}\text{C}$  引起反应中, 各型核粒子飞到安置在大型通用散射室的各种探测器的飞行时间。从图可见, 飞行时差在  $100\text{ns}$  以内。如上所述, 时间起头脉冲除了这飞行时差外, 尚与探测器快慢有关; 令实际上第  $i$  个探测器给出的时头脉冲为  $T_{0i}$ 。测量要求所有参与符合的探测器的时头脉冲最大时差  $\Delta T_{\text{max}}$  应该小于  $t_r$ ;

$$\Delta T_{\text{max}} = \text{Max}(T_{0i} - T_{0j}) < t_r \quad (2)$$

如果 (2) 式条件不能保证, 必须对各时头脉冲时间作延时调整; 调整后的时头脉冲  $\{T_i\}$  应满足 (2) 式条件。

在图3中显示了一个束流团周期  $t_r$  内的时头脉冲的关系。在此将  $\{T_i\}$  中最早的脉冲作为事件触发脉冲;

$$T_i = \text{Min}(T_i) \quad (3)$$

但是为了测量记录事件触发脉冲时间, 应将  $\{T_i\}$  共同延时  $t_{cd}$ 。这样在  $\{T_i\}$  中各时头均有一公共时间截距。在图3中也画出射频尖头脉冲; 由于一个束流周期中有两个射频周期 (二次谐波), 所以有两个时间。其中一个对应记录时差为  $t_{rd}$ 。由于  $t_{rd}$  也同时记录下来, 所以  $\{T_i\}$  的记录就有了绝对时间差的意义。在图4中显示了事件触发网络。

综以上述, 事件的时间触发网络包括: 产生时头讯号、时头脉冲的延时调整、公共时延和最后给出一个事件触发脉冲。一旦事件触发脉冲进入 CAMAC 系

统, 计算机开始获取工作, 以记录来自主信息网络的讯号。

2. 主信息网络

## 2. 主信息网络

主信息网络主要处理时间和幅度两类脉冲讯号。对于时间讯号, 包括飞行时、位置时间等。对幅度则包括峰值与峰下面积 (电量) 等。

时间测量主要将探测器时间脉冲送入快速恒分甄别器, 而输出一个标准 NIM 时间脉冲。对于快探测器一般飞行时讯号用作时头脉冲, 可以直接作 TDC 记录, 正如图4显示那样。由于位置时间讯号是落后于时头脉冲的, 也可以用 TDC 记录; 这时 TDC 的起始脉冲可以用事件触发脉冲。对于位置时间讯号, 一般用左右时差来确定位置。例如考虑一个单维情况: 讯号从射入点朝左与朝右传播到

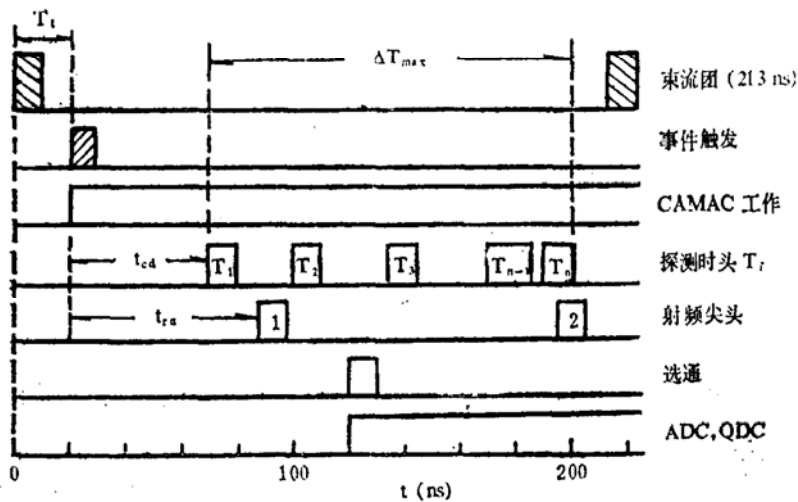


图3. 兰州重离子加速器的 50McV/A  $^{12}\text{C}$ 束流下, 联机数据获取时间图(部分)。

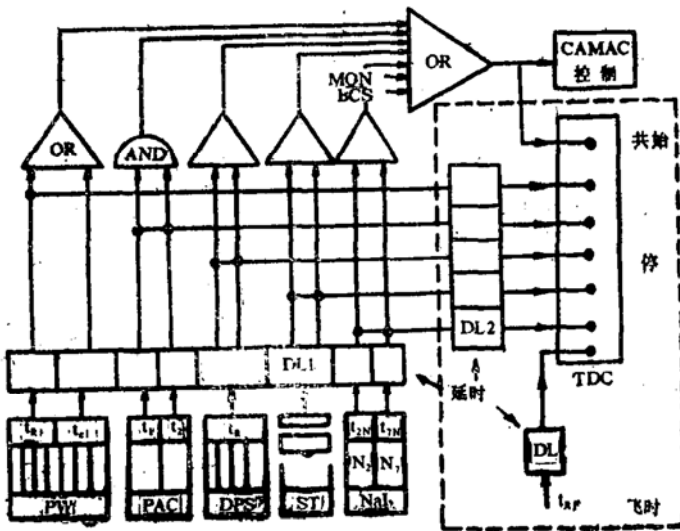


图4. 事件触发网络和主信息飞时部分网络的示意图

末端的时间分别为  $t_L$  与  $t_R$ , 单位距离传播延时为  $a$ , 总长为  $L$ , 则从左端量起的位置为:

$$x_L = \frac{1}{2} \left[ L - \frac{1}{a} (t_L - t_R) \right] \quad (4)$$

对于双维位置灵敏,  $y$ 方向与 $x$ 方向是独立的也有与(4)式相同的式子。对于塑料闪烁条, 以  $C/n$ 来代替  $1/a$ , 则也可以采用(4)式。因此以延时来作位置读出, 关心时差  $(t_L - t_R)$ 。在网络中尽可能使  $t_L$  与  $t_R$  讯号延时大致相同, 若稍有不同, 在数据再构处理中以可调参数来补救。顺便提到, 在毫微秒级延时读出位置, 从  $t_L + t_R$  可以给出飞时, 这时因飞时与位置时延在相同数量级范围。

如果探测器本身已有飞时讯号, 则  $t_L + t_R$  得到的飞时讯号是探测余量, 用它可以判断原飞时讯号的正确性, 有时还可代替它作为飞时量。

幅度测量即熟知的幅度分析器。在此网络中应采用线性放大系统和线性延时系统, 以使幅度信息不发生畸变。幅度与时间的分离, 在有的前置放大器(如 142A), 是分两路给出的; 在恒分甄别器(如 FTA810) 则后版有输出幅度的(跟随器输出)端子, 而面板则有恒分甄别时间讯号输出。

幅度—数字变换用 ADC 插件。这有一个选通讯号问题(见图3)。如 AD811, 在选通信号启动后, 内部等待时间最大为 350ns。因此在 350ns 之内若脉冲未达到最高值, 则记录错误。所以要考虑具体脉冲情况, 来确定用内选通和自选通讯号。自选通一般用本身脉冲经过甄别器产生一个选通讯号, 它

比脉冲振幅达到峰值的时间提前一些, 但小于 350ns。AD811 输入要求是正极性脉冲, 这与 NIM 讯号相反, 所以尚应作倒相。但是, 对于 QDC 如 2249W, 测量峰值下的电量, 则无此问题。这时输入极性为负, 等待时间从 30ns 到 10 $\mu$ s, 可调范围宽到微秒级, 一般用内选通不易产生记录偏差。

用时间切割法可以将夹层塑料闪烁探测器的脉冲快成份(对应于  $\Delta E$ ) 和脉冲慢成份(对应于  $E_R$ ) 有效分开。这时将原始脉冲触发一个可变延时的门讯号, 穿过此门的是慢成份, 而与门反符合给出快成分。将这两种成份脉冲分别送到 ADC, 可以同时记录  $\Delta E$

与 $E_R$ 的信息。

在图4中,束流检验器(Mon)用作事件触发的讯号的角逐。但是束流检验器一般测量弹性散射粒子,给出束流相对强度。这时Mon信号也做ADC测量,以使从能谱中将弹散事件挑出来。Mon信号与反应事例的核粒子总是不相符合的。但是要同时记录它,所以参加到事件触发中去。为了减小Mon的计数率,少占死时间,常常用脉冲分除器来缩减。同理,如果在测量中发现某种不大重要的探测器,计数率偏高,也采用分除法,来缩减其计数率。

### 3. 事件格式网络

该网络由逻辑电子单元插件如与门、或门等构成,其变换后的信息一般送到CAM-AC的定标器或特制的Bit Box中去,进行计数。事件格式网络的目的是对事件类型进行分类,分类后以格式字对事件作出标记。事件格式分两类,一是主格式,一是符合格式。例如在一次重离子反应实验中,测量带电轻粒子(P)、复杂粒子(CP)、裂片(F)和 $\gamma$ 射线(G);则可用格式字1、2、3、4来分别表示探测到这4种粒子。当显示主格式时,给出格式谱,从这1、2、3、4各道的计数,立即可知事件中四种类型粒子各有多少计数。又例如在测重离子裂变反应,用4个位敏裂片探测器,则这4个探测器的计数也分别可用主格式记录。

符合格式又称付格式,在上述情况下的

两重符合有 $G \times F$ 、 $G \times P$ 、 $G \times CP$ 、 $F \times P$ 、 $P \times CP$ 和 $F \times CP$ 等六种方式;尚有三重符合 $G \times F \times P$ 、 $G \times F \times CP$ 、 $G \times P \times CP$ 和 $F \times P \times CP$ 等四种方式。这10种符合用格式字可以分别进行区分。符合格式谱可以立即看出总的符合情况,以判断实验的进程是否正常,是否还须作改进等。

事件格式网络,是以硬件产生格式标记输入到计算机去。这种作法,不仅可以在数据获取过程中监测实验作宏观调整,而且在离束后的数据再构中,可以很快根据格式字来挑选所感兴趣的事件。由于格式字都记录在每一个事件的前端,这种挑选可以节省处理计算机的CPU时间。格式字一般用原始的二进制字,所以挑选时用相应二进制字进行比较,免去了数字变换时间,加快了挑选速度。

## 四、结束语

中间变换网络是探测器组与计算机的接合部位,成为物理与计算机人员都不大去“管”的部位。本文根据国内外现状,提出按其功能用三个网络来具体描述中间变换网络,以期得到同行们对此问题的研究与讨论。中间变换网络的设计要求是完整、有效、节省。用最少的电子学插件或自制的插件来完整地、高效率地将探测信息传播到获取机上去。