

86-90

第17卷 第2期

核电子学与探测技术

Vol. 17 No. 2

1997年3月

Nuclear Electronics &amp; Detection Technology

March 1997

# 多路望远镜系统中的电子学和粒子分辨技术<sup>\*</sup>

叶邦角 虞孝麒<sup>√</sup> 范扬眉 王忠民  
金曙光 韩荣典 杜淮江

(中国科技大学近代物理系, 合肥, 230027)

TN81

A

本文介绍了多路望远镜系统中的电子学系统和在测量 $(n, X)$ 核反应双微分截面实验中所使用的粒子分辨技术。该系统除了用能损 $\Delta E$ 谱和脉冲形状分辨 PSD 谱来鉴别粒子外, 还使用二维粒子分辨技术即用 E- $\Delta E$ 、E-PSD 和  $\Delta E$ -PSD 等谱来联合鉴别粒子, 取得了极好的分辨效果。

关键词: 粒子鉴别 二维谱 快中子 双微分截面

核反应 探测器

## 1 前言

② 测量快中子诱发的带电粒子发射微分截面在核能、国防、军工和核物理等领域中有着重要的作用。在强快中子辐照下, 结构材料的性能将产生变异, 在材料内部将产生氢气和氦气泡并产生剩余放射性, 这将直接影响结构材料的稳定性和它的使用寿命, 精确的测量结果可知道结构材料的使用寿命和更换周期, 因而在使用中产生巨大的经济效益。但是测量 $(n, X)$ 核反应微分截面在技术上有两大困难: 一是事件率低, 这是由于 $(n, X)$ 的截面都很小; 二是本底计数大, 在靶周围产生的大量的本底计数, 通常要比真计数高 3~6 个数量级。一个理想的探测器除了能克服这两个难题外还必须具有很好的粒子鉴别能力, 特别是鉴别 p 和  $\alpha$  粒子的能力。因为 $(n, p)$ 、 $(n, n'p)$ 、 $(n, \alpha)$  和  $(n, n'\alpha)$  等反应在 14 MeV 中子能区都已开道, 所以实验上就必须有一套严格的 p 和  $\alpha$  粒子鉴别技术。为此, 中国科技大学的测量小组研制了一套专门用于测量 $(n, X)$ 核反应的 30 路望远镜系统, 可同时测量 16 个反应角的反应谱和本底谱, 使用三重符合技术极好地剔除了大部分本底计数, 使用厚靶技术提高了计数率, 减少了统计误差。离线分析中采用二维粒子分辨技术即用 E- $\Delta E$ 、E-PSD (PSD 为脉冲形状鉴别) 和  $\Delta E$ -PSD 等谱来联合鉴别粒子, 取得了极好的分辨效果。本文仅限于介绍系统电子学和粒子鉴别技术。

## 2 电子学 5 参数读出系统

多路望远镜系统由圆柱形多丝正比室和电子学数据获取系统组成<sup>[1]</sup>。电子学系统包括信号读出电路和 CAMAC 数据采集电路。该电路系统能从实验中获取 5 个参数, 即粒子穿过多丝室时损失在丝室中的能量  $\Delta E$  信号, 粒子穿过丝室时的位置即地址信号, 带电粒子沉积在 CsI(Tl) 晶体上的能量 E 信号, 带电粒子的脉冲形状甄别 PSD 信号和粒子从靶发射穿过丝室到达中心探测器的飞行时间信号。从前端电路获取的 5 参数输入到峰保持电路, 保证其为同一

\* 本工作得到中国核工业总公司和中国科技大学青年基金资助

事件的 5 参数。用快慢符合信号作为主触发信号,用智能 CAMAC 机箱控制器来获取信号并在线记录在计算机上。图 1 是系统的框图。

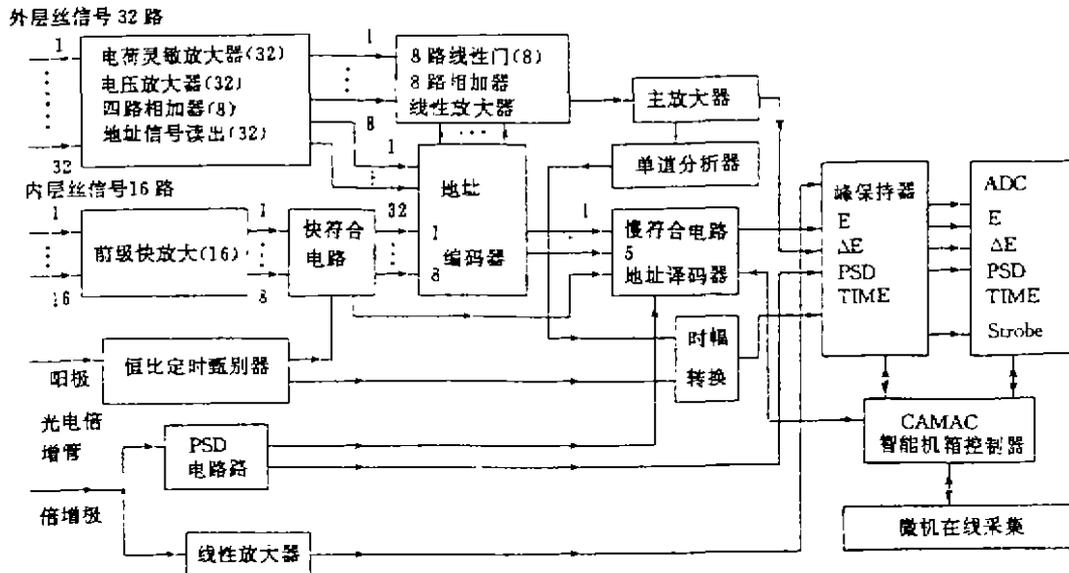


图 1 电子学 5 参数获取系统框图

圆柱形多丝室由内外两层丝构成,外层有 32 根阳极丝,内层有 16 根阳极丝。带电粒子穿过丝室时,分别在内外两层丝中产生能量损失信号。内层丝上所产生的信号与中心探测器的信号符合产生快符合信号。外层丝上产生的信号可作为  $\Delta E$  信号。前放采用电荷灵敏放大器<sup>[2]</sup>、电压放大器和 4 路相加放大器组成;从 4 路相加放大器输出的信号输入到 8 路线性门中,线性门的开门信号来自于对应的内层 8 路信号与中心探测器的符合信号,8 路线性门的目的是在 32 路信号相加后不致于产生严重的脉冲堆积。从 8 路线性门输出的信号经过 8 路相加放大器相加成 1 路输出。最后输入到峰保持器中。

带电粒子穿过丝室时,由丝信号经过编码电路记下粒子通过丝室的位置即出射粒子的反应角。32 路输入编码信号输出 32 个状态,因而有 5 位表示状态的数据线。在 32 个状态中有一个状态为零状态,为了区别于无信号输入的真正零状态,增加一个标志位,表示编码状态与非编码状态。除此之外,还有一复位信号。故编码电路输出信号共有 7 条。为了保证编码信号与输入信号的一一对应,输出信号应与快符合信号同步,只有当符合有输出时编码信号才被当作信号进行锁存。

为了区分真事件与偶然符合本底,就必须记录真事件所固有的从靶飞行到中心探测器的飞行时间信号。外层 32 路  $\Delta E$  信号相加后从主放大输出的其中一路经单道后作为 TAC 的停止信号。中心探测器的阳极信号经恒比定时器后输出的信号就作为 TAC 的起始信号。用  $^{241}\text{Am}$   $\alpha$  源测得的多丝室的时间晃动大约是 200ns。用聚乙烯薄膜在中子照射下由 (n,p) 反应测得质子的时间晃动大约为 600ns。

我们选择 CsI(Tl) 闪烁探测器作为能量探测器,它具有 (n,p) 截面小和很好的 PSD 性能。经挑选,我们使用 GDB50L 型光电倍增管。用  $^{241}\text{Am}$  5.486MeV 的  $\alpha$  粒子的测量其分辨特性,对准直源,能量分辨约为 6%;对斜入射粒子,能量分辨约为 8.0%。CsI(Tl) 闪烁体脉冲形状 PSD 信号的一个主要作用就是用来鉴别粒子。整个 PSD 电路分为三部分<sup>[1]</sup>,选通电路、过零定

时电路和恒比定时部分。对我们研制的 PSD 分辨系统,用高压倍加器产生的 150keV 的氘束轰击  ${}^6\text{Li}$  靶和 T 靶所产生的不同能量的  $\alpha$  粒子、质子和  $\gamma$  进行了分辨实验,得到了很好的结果。

内层丝信号和中心探测器上的信号产生快符合信号,快符合信号再经过门电路对相应的外层丝进行选通。输出的快符合信号有两种:一种是总快符合信号,另一种是 8 路快符合信号。总快符合信号输入到慢符合电路和作为地址编码的最后选通信号。8 路快符合信号有两个作用:一是输入到对应的 8 路线性门中,作为线性门的开门信号;二是输入到地址编码电路中,作为各路地址编码的选通信号。

在(中子、带电粒子)反应的双微分截面测量实验中将要获取 5 个参数,除地址编码外,其余 4 个参数均要经模拟-数字变换而得到。模-数变换是由 CAMAC 插件 ADC 完成的。在通常情况下,ADC 8 路输入的线性门和峰探测器均处于关闭状态,只有当 ADC 接收到外界加在 ADC 的 STORE 输入端的一个触发信号时,8 路输入的线性门和峰保持器才同时打开接收输入信号。

我们采用分布式计算机数据获取系统。IBM-PC 作为主计算机,在实验过程中用于数据的在线分析;将带有微处理器 HD64180 的 CAMAC 机箱控制器作为前端处理机,专门用于数据采集,读出的事件数据按一定格式依次存放在缓冲区中。采集结束或缓冲区满时,主计算机从中读出数据并记录在磁盘上。在采集数据期间,主计算机可以随时对数据进行采样分析;在屏幕上显示直方图、散点图等。

### 3 二维粒子分辨技术

我们使用多路望远镜系统,测量了  ${}^{60}\text{Ni}(n, X\alpha)$  核反应的双微分截面,系统在中子场中连续辐照了约 160h,源靶距离为 400mm,使用的中子产额为  $2 \times 10^9/\text{s}$ ,整个实验得到的真计数约  $8 \times 10^4$ 。

在数据离线分析过程中,除了删除偶然符合计数和本底数外,最重要的一步就是粒子鉴别。图 2、3 是实验中所采集到的 PSD 谱和  $\Delta E$  谱;我们首先使用 PSD 谱来鉴别  $\gamma$  射线,由图 2

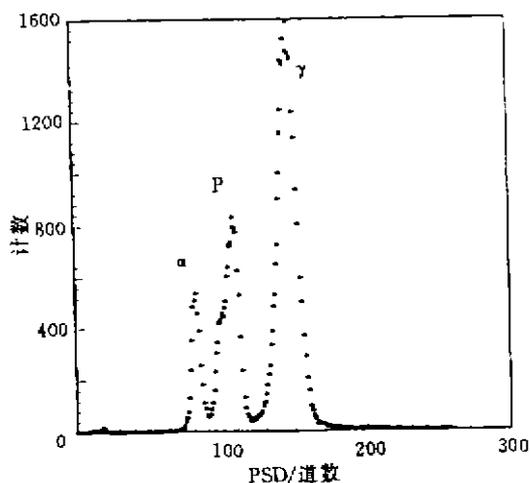


图 2 CsI(Tl)闪烁体的脉冲形状分辨 PSD 谱

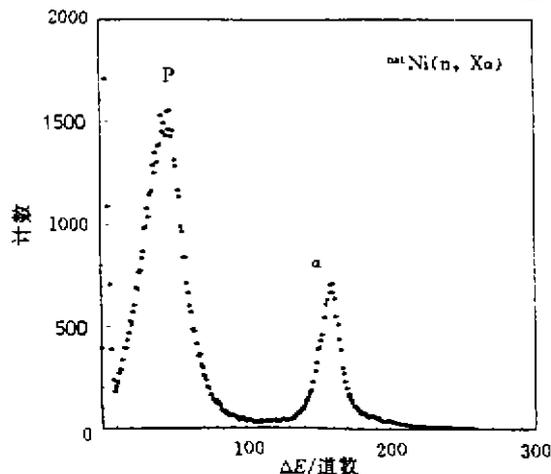


图 3 多丝正比室的能损  $\Delta E$  谱

可知,PSD 能较好地分辨出  $\alpha$ 、p 和  $\gamma$ 。图 3 表明, $\alpha$  和 p 粒子的能量损失有较大的区别。但是单从这些一维谱图还不能完全鉴别出  $\alpha$  和 p 粒子,因为这些谱的重叠部分既不能认为仅是  $\alpha$  粒

子也不能认为仅是 p 粒子,而是两种粒子的共同贡献,每种粒子所占的份额还跟它们各自的能

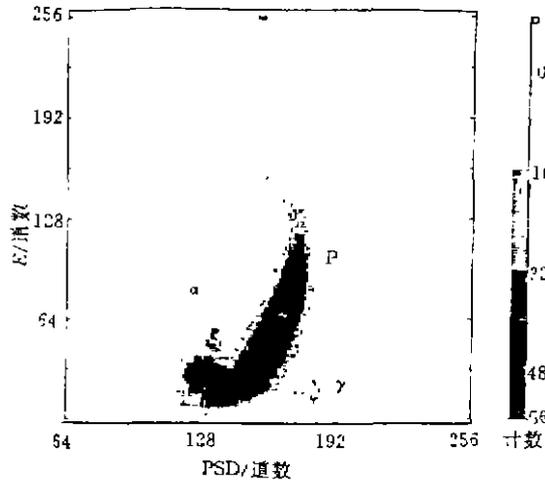


图 4 二维 E-PSD 粒子分辨谱

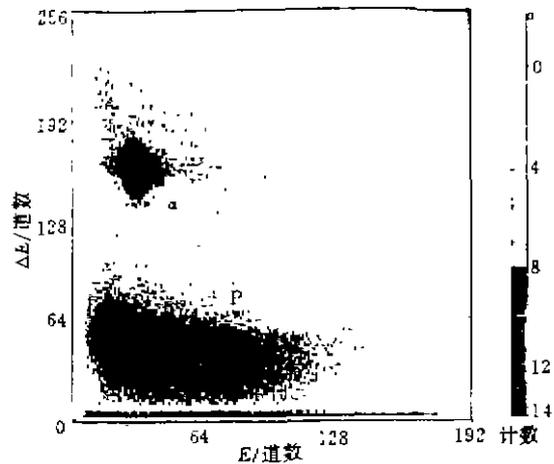


图 5 望远镜 E-ΔE 粒子分辨谱

量有关。图 4 是由 E-PSD 组成的二维粒子分辨图,实际上表明了 PSD 谱的分辨随出射粒子能量的变化。由图可知,在低能区域,PSD 谱中  $\alpha$  和 p 粒子是重叠的,无法分开,随着能量的增加, $\alpha$  和 p 粒子逐渐分开,当能量道址大于 90 道(约 6MeV)后, $\alpha$  和 p 粒子的分辨已很明显。图 5 是 E- $\Delta E$  谱,表明从靶中发射带电粒子主要是  $\alpha$  和 p 粒子,计数明显地分为两簇,即  $\alpha$  粒子簇和 p 粒子簇,两簇的界线明显与否取决于能量和多丝室本身的分辨,用  $^{241}\text{Am}$  源的 5.486MeV 的  $\alpha$  粒子测量其分辨特性,结果对点源,能量损失  $\Delta E$  的分辨约 15%,E- $\Delta E$  谱中两种粒子特别是  $\alpha$  粒子集中于低能区域是由于我们使用了厚 Ni 靶的缘故。图 6 是

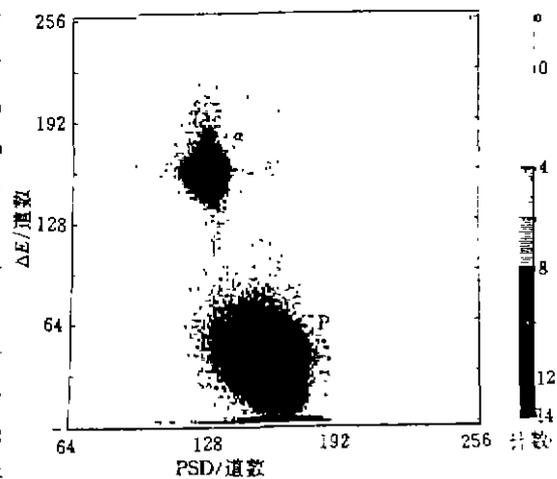


图 6 二维  $\Delta E$ -PSD 粒子分辨谱

$\Delta E$ -PSD 谱,该图充分地把  $\Delta E$  对粒子的分辨特性同 PSD 对粒子的分辨特性结合在一起,达到了最佳分辨  $\alpha$  和 p 粒子的效果。实际进行粒子鉴别时,首先在  $\Delta E$ -PSD 图中选择合适的道范围,按需要删除 p 或  $\alpha$  粒子,然后进一步用 E-PSD 和 E- $\Delta E$  谱来检查其分辨结果。3 图联合使用得到了极好的效果。

二维粒子分辨技术已经成功地用于  $^{60}\text{Ni}(n, Xp)$ 、 $^{56}\text{Fe}(n, Xp)$  和  $^{60}\text{Ni}(n, X\alpha)$  核反应的双微分截面测量中<sup>[4,5]</sup>,并得到了理想的结果。

#### 参 考 文 献

- 1 叶邦角,范扬眉,王忠民等.一个用于(中子、带电粒子)核反应测量的多路望远镜系统.高能物理与核物理,1994,18:13.
- 2 梅文,虞孝麒,叶邦角等.一个从丝室中同时获取带电粒子能量、位置和时间信号的前端电路.核电子学与探测技术,1991,11(5):270.
- 3 叶邦角,范为,范扬眉等.一个 CsI(Tl)探测器脉冲形状分辨  $\alpha$ 、p 和  $\gamma$  的电路.核电子学与探测技术,1994,14(3):129.

- 4 Ye Bangjiao, Fan Yangmei, Wang Zhongmin et al. Proton emission in reaction of 14.6 MeV neutrons with natural iron. Nucl Sci Eng, 1996, 122, 136.
- 5 Ye Bangjiao, Wang Zhongmin, Fan Yangmei et al. Measurement of double-differential (n, Xp) cross sections of natural nickel in 14.6 MeV neutron energy. Nucl Phys A, (to be published).

(1996年4月5日 收到)

## The Electronics and the Particle Identification in the Multi-Telescope System

Ye Bangjiao Yu Xiaoqi Fan Yangmei Wang Zhongmin  
Jin Shuguang Han Rongdian Du Huajing

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

### Abstract

This paper describes the electronic system of USTC multi-telescope system and the technology of particle identification used in the experiment of measuring double-differential (n, X) cross sections. Besides the energy loss  $\Delta E$  spectrum and pulse shape discrimination PSD spectrum, this system also uses the technology of two-dimensional particle identification to discriminate particles, i. e. the E- $\Delta E$ , E-PSD, and  $\Delta E$ -PSD spectra are combined to identify particles and good results have been obtained.

(Key Words: Particle identification Two-dimensional spectra Fast neutron Double-differential cross sections)

### 【作者简介】

叶邦角,男,34岁,副教授,博士;虞孝麒,男,57岁,教授;范扬眉,女,54岁,副教授;王忠民,男,60岁,高工;金曙光,男,24岁(已离校);韩荣典,男,58岁,教授,副校长,博导;杜淮江,男,41岁,助工。

(上接第119页,Continued from page 119)

## Dual BGO Detector Spectrum Logging

Ji Pengsong Zhuang Renlin Lin Qian Zhang Zhi Chen Chen

(Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing, 100084)

### Abstract

The logging result of single crystal C/O spectral logging instrument (SCCSLI), which uses one detector, is influenced by bore hole conditions, such as bore hole diameter, fluid type, casing size, etc. These influences make the sensitivity and distinguishing ability of SCCSLI poor and its application difficult. The efficiency of BGO crystal is high, and dual BGO crystal C/O spectral logging instrument (DBCCSLI) uses two detectors, one is near the detector, and the other is far from the detector. The compensation of the two detectors greatly decreases the influence of bore hole conditions and improves the sensitivity and distinguishing ability between oil and water. Thus, usage of the C/O spectral logging instrument in lower porosity environment becomes possible.

(Key Words: BGO crystal Single detector C/O spectrum logging Double detector C/O spectrum logging)

### 【作者简介】

吉朋松,男,31岁,硕士,测井室主任;庄人遴,男,58岁,副研究员;林谦,男,33岁,副研究员,硕士;张智,男,24岁,博士生;陈晨,女,26岁,助教,硕士。