

基于脉冲波形采样技术的核辐射多参数测量系统

邱晓林 方国明 许 鹏 弟宇鸣
(第二炮兵工程学院 西安 710025)

摘要 本文介绍了一种基于脉冲波形采样技术的核辐射多参数测量系统,包括系统特点、组成(硬件配置)、工作原理、实验数据及其分析等。与传统的常用核仪器相比,它可在一个平台上同时进行核辐射的多参数测量,而且可以通过软件编程随意开发出用户自定义的仪器,因此,在核辐射一般性研究,相关性分析,以及某些特殊任务中均显示出极好的应用前景。

关键词 虚拟仪器(VI),核电子学,辐射探测,核仪器

中图分类号 TL822+.4

核辐射监测常为各种核仪器(系统)的使用、转运、数据处理乃至维护和修理费用所难。为解决此类问题,我们引入虚拟仪器(VI)的概念,设计出基于脉冲波形采样技术的核辐射多参数测量平台^[1]。实验测定结果表明,在该平台上实现了利用单一(仪器)系统的多参数同步测量(包括脉冲信号的幅度、计数率、脉冲间隔、上升时间等)。该系统不仅可按照常规工作方式对能谱分析、活度分析等单参数测量任务,还可进行波形甄别、粒子鉴别等分析,且信息来自同一载体。

1 系统组成及工作原理

本系统由双通道数据采集卡、计算机及分析软件组成,可同时接入两个射线探头。系统配置原理及部件的技术指标分别如图1及表1所示。本文涉及的实验及数据均取自单探测器+数据采集卡+计算机硬件+NISCOPE。

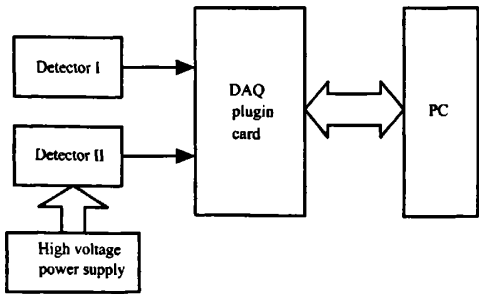


图1 系统硬件组成示意图
Fig. 1 Block diagram of the system scheme

从探头输出的脉冲信号,经高速数据采集板(卡)实时波形采集、存储,通过标准通用接口(如PCI或PXI等)将实时采集的脉冲信号波形传入计算机。由计算机获得实时脉冲信号的波形数据,根据波形参数由软件提取所需的粒子信息,如脉冲的幅度,上升(下降)时间、计数、时间间隔等,即可将这些信息分门别类,并按传统方式完成能谱分析、活度分析等单参数测量、分析任务,或由分析软件对波形进行甄别,实现粒子鉴别和相关性研究。

通用测试平台+自定义程序,可构成各种“核仪器”,如谱仪、定标器等,或是更为复杂的多参数仪器,如粒子鉴别等。采用了NI PCI-5122双通道数据采集卡,故可配置两种射线探测器,同步采集它们的输出信号,为相关分析提供了前提保证。

表1 系统主要部件技术指标
Table 1 Specification of the system's main parts

部件名称 Name	技术指标及功能描述 Specifications and description
探头 Detectors	Cd(Zn)Te, Si(Au) junction, NaI, auxiliary HV power supply
数据采集卡 DAQ plugin card	100M 采样率, 100M 带宽, 14 位分辨率 高速数据采集卡 NI PCI-5122, NI-SCOPE 驱动软件。 PCI-5122 specifications: 2 channels simultaneously sampled at 14-bit resolution, 256MB of memory per channel, sampling rate 100M/s, 100M bandwidth, 50Ω or 1MΩ input impedance, 200mV—20V input range, 75 dBc SFDR, 62dB SINAD; NI-SCOPE drive softer.
PC	P4, 2.93G, 1GDDRII, 533M

第一作者:邱晓林,男,1959年出生,1982年毕业于国防科技大学,主要从事核电子学与探测技术方面的教学与研究,副教授
收稿日期:2006-10-13,修回日期:2006-12-15

2 系统测试实验

在该系统的测试实验中使用了三种探头, 现在以 Cd (Zn) Te 为例 (标准放射源 ^{137}Cs) 说明测试原理。

2.1 信号的实时采样

实验内容包括捕捉脉冲信号和测试脉冲参数。

2.1.1 脉冲信号的捕捉

数据采集卡 NI PCI-5122 的设置参数: 量程为 200 mV; 实时采样率为 100 MHz; 采样模式为连续采样 10 万脉冲 (采取负信号下降沿触发方式); 实验测量时间: 在有限的实验测量时间段内, 未出现存储器溢出现象。

根据数据采集卡厂商提供的数据^[2], 为保证符合 Nyquist 定理的要求, 采集卡在 100 MHz 实时采样时已对输入信号进行高频陷波。从脉冲上升时间的测量 (>200 ns) 及数据采集卡的分辨时间 (10 ns) 可推算出, 脉冲实际上升时间 >199 ns, 故可排除频率混迭问题。

图 2 显示一些具有典型特点的波形 (负脉冲, a 为后沿堆积脉冲; b 为无堆积脉冲; c 为前沿堆积脉冲。图中左下角的“c zoom in”子图为 c 前沿的放大, 较原图的前沿堆积更明显), 它们有的是 ^{137}Cs γ 射线的全能峰脉冲, 有的是康普顿效应产生的脉冲。为了分析方便, 采用 MATLAB 软件计算对脉冲波形进行分析处理, 并画出幅度分布图作一比较。

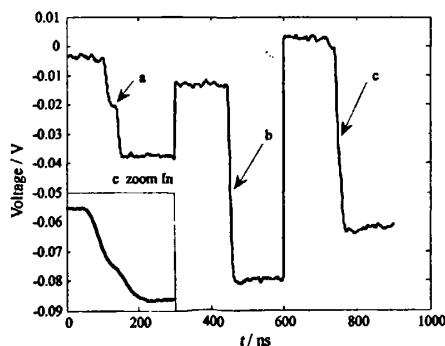


图 2 ^{137}Cs γ 射线在 Cd (Zn) Te 探测器中形成的典型脉冲
a 后沿堆积脉冲; b 无堆积脉冲; c 前沿堆积脉冲
Fig.2 Typical pulses from ^{137}Cs γ -rays in a Cd (Zn) Te detector
a Piling-up in the lagging-edge; b No piling-up; c Piling-up in the leading-edge

2.1.2 脉冲信号参数的测试

脉冲幅度范围为 30—200 mV; 脉冲上升时间为 200 ns。

图 2 中发生前沿堆积的脉冲, 会使数据处理时间过长, 可采取拒绝法剔除此种脉冲。

我们也使用了 Au (Si) 探头测量了 ^{241}Am 的 α 和 β 粒子, 其脉冲信号上升时间分别为 0.8 μs 和 3—5 μs ; 虽然不能排除探测器及数据采集卡内置放大器本身对上升时间的贡献, 但至少说明可根据脉冲信号的上升时间对入射粒子进行类型甄别。用 NaI 探头测量 γ 光子, 上升时间约为 1 μs 。说明不同类型的探测器对采集波形的影响。

2.2 按传统方式采样、分析

以幅度分析 (PHA) 方式为例, 即“谱仪”模式。

方法一: 寻找前置放大器输出的脉冲信号波形的最小点和最大点, 读取其差值, 取差值的 90% 进行幅度甄别并统计, 其幅度谱如图 3 Method 1。

方法二: 通过卡尔曼基线评估及 Savitzky-Golay 滤波结合对脉冲信号处理, 获取脉冲起始点和峰值点, 以其差进行幅度甄别并统计, 所得幅度谱如图 3 Method 2。

方法三: 采取脉冲信号前沿堆积拒绝, 卡尔曼基线评估确定起始点, 指数拟合确定峰值点, 取其幅度值进行甄别并统计, 其幅度谱如图 3 Method 3。

由此可见, 对前置放大器输出脉冲的软件处理而得的幅度分布都真实地显示了 ^{137}Cs 的能谱特征 (这里只显示了前 450 道)。但三种方法的幅度分布有差异, 因处理脉冲时所得脉冲的最大值并不一样, 归一化后造成了峰值有所移动。

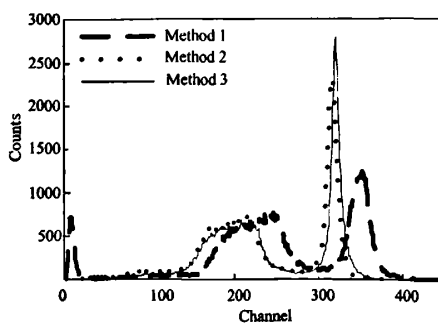


图 3 经不同方式程序处理后的幅度分布图
Fig.3 Energy spectra of ^{137}Cs processed by different methods

2.3 上升时间分布

本系统进行幅度分析时, 也获得了脉冲上升时间的分布 (图 4)。图中经 Method 3 进行前沿堆积处理后得到的上升时间分布, 显然好于 Method 1。

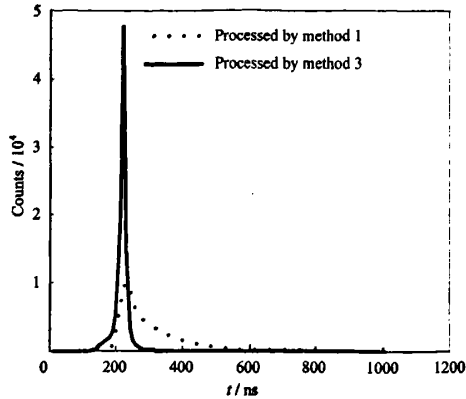


图 4 通过处理后的上升时间分布图
Fig. 4 Histogram of rise-time after different processing methods

3 结果分析

3.1 幅度谱特征图对比

用 Cd(Zn)Te 探头+Inspector1200 谱仪对实验用标准放射源 ¹³⁷Cs 测量，所得能谱如图 5 所示。

将图 3 中方法二、三对脉冲波形处理后的幅度分布和 Inspector1200 谱仪测得的 ¹³⁷Cs γ 能谱进行比对、分析后可得到以下的结果：

(1)由于信号未经过放大调理，虽然本系统采用

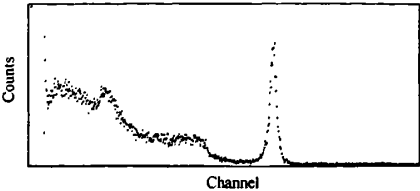


图 5 Inspector1200 谱仪测得的 ¹³⁷Cs γ 能谱
Fig. 5 γ-ray energy spectra of ¹³⁷Cs using Inspector1200 spectroscopy

的方法几乎完全剔除了基线偏移和噪声的影响，但同时也失去了 X 射线峰，而 Inspector2000 谱仪含有很多低能量噪声。(2)由于没有设置上阈值，因而系统捕捉到了异常大脉冲，说明系统采用的软件算法还需完善。而谱仪在测谱时就剔除了超过一定幅度的脉冲，所以谱仪显示的谱图道数较高，而本系统显示的是对最大脉冲(超量程)归一化后的幅度分布图，所以能峰处于相对低道处。如果人为的剔除异常脉冲，也可显示很宽。但为了真实反映实际以及进一步研究探讨，本次测量时没有设置更多限制。(3)本系统 ¹³⁷Cs 的能量分辨率(FWHM)与传统谱仪 FWHM 的比较见表 2。

由表 2 可知，本系统达到了较好的效果，也为进一步研究提供了很好的前期工作。如分析方法，脉冲幅度取值算法对幅度谱的有益贡献还需进一步探讨、完善。

表 2 能量分辨率比较
Table 2 Comparison of energy resolutions

脉冲分析方法 PHA methods		FWHM/keV
1	稍加程序直接提取脉冲(10 万脉冲) Directly picking up the height of pulse (10 ⁵ pulses)	7.67
2	通过改进算法提取脉冲(10 万脉冲) Using Kalman baseline evaluating and Savitzky-Golay filtering (10 ⁵ pulses)	3.26
3	考虑前沿堆积算法提取脉冲(10 万脉冲) Additionally considering leading-edge (10 ⁵ pulses)	2.96
4	考虑前沿堆积算法提取脉冲(1 万脉冲) Additionally considering leading-edge (10 ⁴ pulses)	2.94
5	传统谱仪测量(1000s) Measurement by traditional spectroscopy(1000s)	2.2

3.2 上升时间分析

本系统很好地给出了上升时间分布图，如图 4 所示。由图 4 中第一方法处理很明显可以看出，最初用简单处理之后所得的脉冲上升时间还存在较大的不合理，理应是一个高斯分布，可问题又在哪。通过进一步对长时间脉冲提取分析，得知是前沿堆

积所造成的。然后考虑前沿堆积改写算法，得上升沿时间分布如图 4 中第三种方法所得的时间分布所示，这说明采用较好的算法可以获取更好的上升时间信息，约在 180—230 ns 之间（已知数据采集卡上升时间<10 ns）。因为虽经各方努力，目前仍未得到 Cd(Zn)Te 这一参数，根据判断实际脉冲上升时间约在 10—100 ns 之间。

4 下一步工作

从本软件处理系统与传统仪器,如谱仪的实验结果对比可以看出,虽然系统在射线的强度、能谱及粒子分辨等方面有其能进行同时或个别数据获取与分析的特点,但由于系统构建时间较短,在数据获取、分析等算法方面还没有达到最佳,这就造成某些指标,就幅度变换而言,如幅度变换的分辨率、精确度、线性误差,时间分辨等没有进行充分的测量、对比。但能肯定的是,许多在硬件上的问题,可以通过软件的方法加以弥补,这也正是采用 VI 技术的优势所在。下一步的工作主要包括:(1)系统的最大数据采集量或有效采样时间;(2)连续采样的效率或数据冗余度;(3)数据获取指标评估;(4)能量及时间刻度,能谱分析及处理;(5)多种粒子的定量分辨;(6)核信号的统一分析研究。

5 结论

可以看出,基于脉冲波形采样技术的核辐射测

量在方法上是完全可行的。正因为 VI 技术所提倡的“软件就是仪器”的仪器设计理念,使我们用户可以根据现有条件,定义和设计出既满足一般测量要求又能实现某些特殊任务的、区别于传统原理和技术的核仪器。

实验和数据分析结果表明,虽然这些“核仪器”在某些指标上与传统仪器相比尚有一定的差距和不足,但由于采用了现代测试技术与核仪器的有机结合,只要能在软件上进一步加以完善并进行一体化设计,离其实际应用指日可待。

参考文献

- 1 邱晓林, 马文彦. 第二炮兵工程学院学报, 2002, 16(3): 67—71
QIU Xiaolin, MA Wenyan. Journal of the second artillery engineering institute, 2002, 16(3): 67—71
- 2 The measurement and automation catalog, NI Company, 2005

A nuclear radiation multi-parameter measurement system based on pulse-shape sampling

QIU Xiaolin FANG Guoming XU Peng DI Yuming

(the Second Artillery Engineering Institute, Xi'an 710025, China)

Abstract In this paper, A nuclear radiation multi-parameter measurement system based on pulse-shape sampling is introduced, including the system's characteristics, composition, operating principle, experiment data and analysis. Compared with conventional nuclear measuring apparatus, it has some remarkable advantages such as the synchronous detection using multi-parameter measurement in the same measurement platform and the general analysis of signal data by user-defined program.

Key words VI, Nuclear electronics, Radiation detection, Nuclear apparatus

CLC TL822⁺.4