

文章编号:1673-0062(2012)01-0005-05

核信号数字符合测量的实验研究

颜拥军¹, 赖伟¹, 周剑良¹, 邱建雄²

(1. 南华大学核科学技术学院, 湖南衡阳 421001; 2. 浙江中烟工业有限责任公司杭州卷烟厂, 浙江杭州 310008)

摘要:数字符合技术是目前国际放射性核素计量学研究的热点, 是一种很有发展前景的、灵活的核脉冲处理技术. 本文介绍了一种数字符合方法的实现方案, 利用高速数据采集卡从探测器采集到的数据, 并根据数字符合的特点, 用 Matlab 软件对数字符合技术中的死时间、滤波、基线校正、脉宽分析和符合等算法进行研究. 采用⁶⁰Co 源的 β - γ 符合测量活度实验进行验证, 并得到了一些初步结果.

关键词:数字符合; 核信号; 数字滤波

中图分类号:TL82 **文献标识码:**B

Experimental Research of Digital Coincidence Measurement

YAN Yong-jun¹, LAI Wei¹, ZHOU Jian-liang¹, QIU Jian-xiong²

(1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2. Hangzhou Cigarette Factory, China Tobacco Zhejiang Industrial CO., LTD, Hangzhou, Zhejiang 310008, China)

Abstract: Digital Coincidence Counting (DCC) is a promising, flexible nuclear pulse processing technology. In this paper, an implementation scheme of the digital coincidence is introduced. The nuclear detector signal was sampled to the computer by the high speed acquisition card, and then processed through Matlab. The relative Coincidence processing algorithms include deadtime processing, digital filter, baseline correction, pulse width analysis and digital coincidence algorithm, and the preliminary results of β - γ coincidence measurement with ⁶⁰Co source show that the realization scheme of DCC in this paper is practical.

key words: digital coincidence; nuclear signal; digital filter

数字符合 (Digital Coincidence), 是一种减少符合测量中由脉冲堆积, 符合事件之间的平均时延, 假峰和由死时间导致的漏计数等因素引起的不确定度的直接有效的手段, 它对于符合测量的

发展和应用有着十分重要作用. 特别是 1996 年 Buckman 和 Ius 提出了数字符合的概念^[1]以来, 数字符合技术在国外放射性核素活度测量取得了一定的进展. 国际上已经有澳大利亚的 ANSTO 和

收稿日期: 2012-02-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (11175082)

作者简介: 颜拥军 (1968-), 男, 湖南湘乡人, 南华大学核科学技术学院高级工程师. 主要研究方向: 核技术应用和核仪器.

英国的 NPL^[1]、韩国的 KRIS^[2]、捷克的 CMI^[3-4] 和俄罗斯的 VNIIFTRI^[5] 等研究所开展数字符合的研究工作。为此,国际放射性核素计量学委员会(ICRM) 指示其下属的放射性核素计量技术工作组对数字符合技术进行研究^[6]。在我国,许鹏等^[7](2007)利用虚拟仪器技术,采用设置阈值的方法进行数字符合测量实验,实现了用软件替代硬件进行符合。

本文提出了数字符合的一种初步的实现方案。由于处理算法是数字符合的基础,所以着重介绍了处理算法的基本构成和实现。另外,本文以⁶⁰Co源的 β - γ 符合测量活度实验对构建的数字符合系统进行了验证,并得到了一些初步的结果。

1 数字符合的原理

本文研究的数字符合与传统符合的原理一

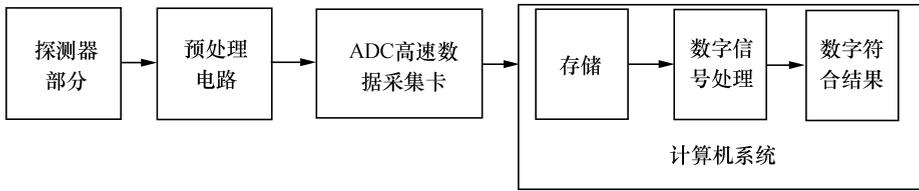


图1 数字符合测量原理框图

Fig. 1 The principle diagram of digital coincidence measurement

2 数字符合的处理算法设计

实现数字符合的关键在于核脉冲数据的处理算法的设计。图2为数字符合的算法流程图,采集数据处理过程包括死时间测量及处理、滑动平均滤波、基线校正处理、成形处理及符合处理。

2.1 死时间测量算法

在对采样脉冲序列的分析中,常常会有规律地出现一段数值为零的数据,如图3所示,这段停止采集的时间就是数字符合测量的死时间,可以看到,由于基线漂移的存在,使得死时间段表现得相当明显。在死时间处理算法中,通过判断核脉冲数据中的长串数值为零的数据段,来识别死时间区,并且死时间区的长度即为采集死时间。据此可测量死时间,并从测量总时间中扣除。另外,还应将死时间段的曲线数据值恢复为正常相邻的数据值,以消除其对后续数据处理的影响,死时间数据处理结果如图4所示。

致,只不过是实现方式不同而已。传统的符合技术是通过硬件符合线路,对成形为方波的 β 信号和 γ 信号进行符合,直接得到符合信号,是实时符合。数字符合的思想是利用高速数据采集卡,将探测器输出的核脉冲信号(模拟信号)直接转换为数字信号,再通过计算机软件来进行各种数据处理过程,完成符合的功能,是离线符合。设计数字符合测量的原理如图1所示。探头部分获得核脉冲信号,经预处理电路放大调节其幅度范围与采集卡的量程相匹配后,由ADC数据采集卡采样得到脉冲信号的数据并存入计算机存储器中,然后计算机对所得的数据进行数字信号处理和数字符合分析。预处理电路的作用是将探头输出的脉冲放大到与ADC采集卡的量程一致。

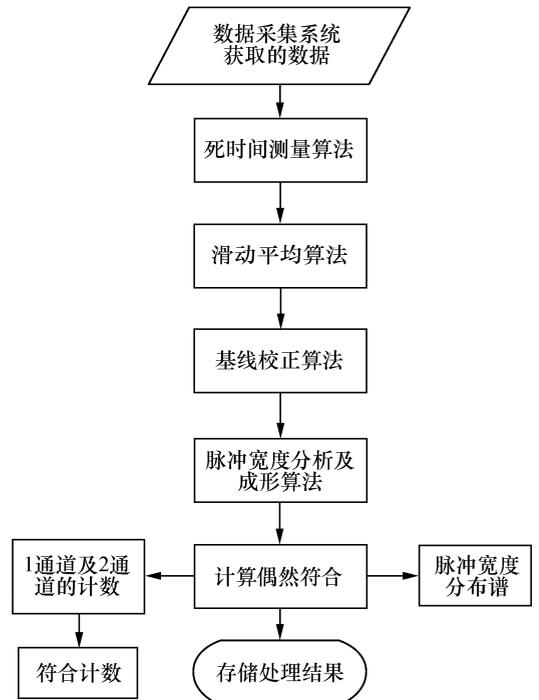


图2 数字符合数据处理算法总流程图

Fig. 2 The diagram of data processing

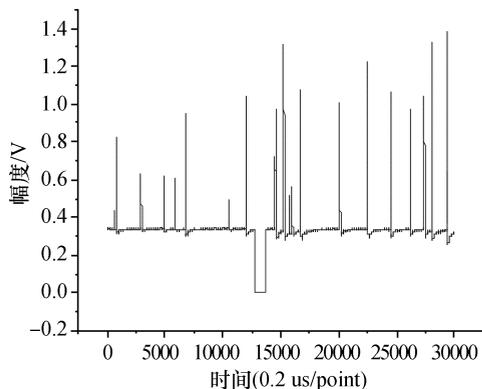


图3 含有死时间数据段的核信号

Fig. 3 Nuclear signal with deadtime segment

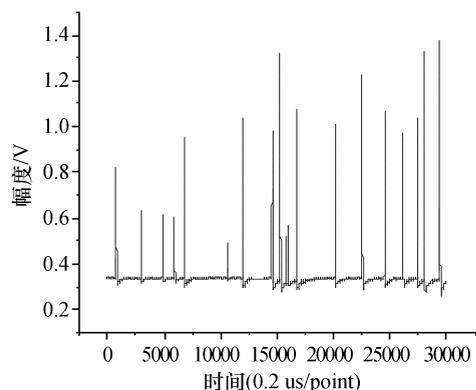


图4 死时间处理后的核信号

Fig. 4 The nuclear signal after deadtime processing

2.2 滑动平均滤波算法

滑动平均法常用于时域滤波,尽管很简单,但是对抑制随机噪声并保留陡峭边沿来说是最优的。而脉冲的到达时间与获得良好时间分辨率有着直接的关系,为了滤除信号中叠加的高频噪声,提高核脉冲识别精度,采用滑动平均滤波算法对核信号进行滤波。

滑动平均法的原理是对数据点 $x(i)$ 中的附近 $2 \times p$ 点平均后得到滤波结果 $y(i)$, 其对应的噪声减少率 $NRR = 1/N$ 。其数学模型为:

$$y(i) = \frac{1}{2p+1} (x(i-p) + \dots + x(i) + \dots + x(i+p)), (i > p) \text{ 其中, } i \text{ 为数据的序号, 正整数;}$$

考虑使用滑动平均法的另一个原因是它能够按递归算法实现,大大减少了数据处理时间:

$$y(i) = y(i-1) + (x(i+p) - x(i-p-1)) / (2p+1) \text{ 根据 } 3 \text{ dB 衰减条件下的滑动平均}$$

滤波点数 N 与截止频率/采样频率(即 W_c) 的关系 $W_c = (0.32 + 2.2N)^{-1}, N \geq 2$ 及核脉冲信号的频谱分布,本文选择 $p = 11$ 进行滑动平均滤波,其效果如图5所示。从局部放大图可以看到,高频噪声被极大地抑制,而核脉冲的上升沿仍保持陡峭的边沿。

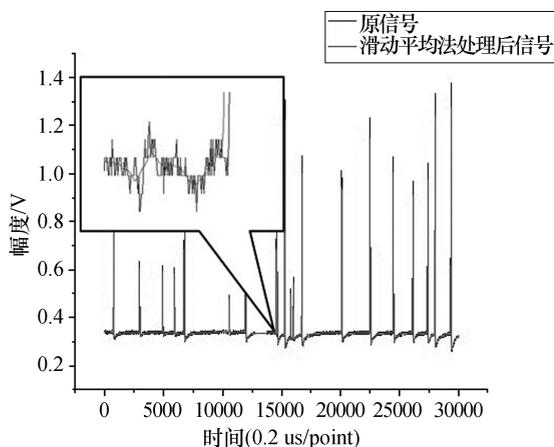


图5 滑动平均处理及局部放大效果图

Fig. 5 The effect of moving average and detail view

2.3 基线漂移校正算法

在采集核脉冲信号时,由于受到仪器,放射源活度大小等多方面的影响,所采集的核脉冲信号常常伴有基线漂移现象。基线漂移严重时,往往使波形识别和参数测量愈加困难。因此,对基线漂移纠正方法的研究,在核脉冲处理中有着重要意义。

中值滤波是数字图像处理中应用非常广泛的一种较少边缘模糊的非线性滤波方法,不仅能够去除或减少随机噪声和脉冲干扰,还能很大程度上保留图像的边缘信息。中值滤波是这样定义的,取长度为 $N = 2p + 1$ (p 为正整数) 的滤波窗口,设在第 i 个时间点输入信号序列在窗口中的样点是:

$$x(i-p), \dots, x(i), \dots, x(i+p)$$

此时的输出定义为:

$$f(x, N) = \text{med}[x(i-p), \dots, x(i), \dots, x(i+p)]$$

其中, $\text{med}[\]$ 表示对窗口内所有数从小到大排序后取中值的运算。

中值滤波要求窗口半径大于噪声的延续宽度,所以根据核脉冲的脉冲间隔分析结果,核脉冲宽度范围为 30 ~ 50 个时间点之间,选择 101 点为中值滤波窗宽,拟合的基线如图6所示,经基线漂移处理后效果图7所示。

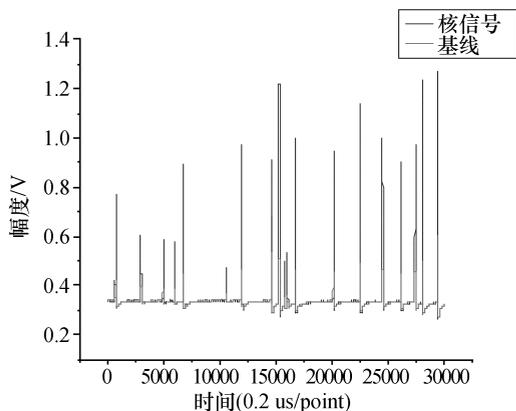


图6 中值法拟合基线图

Fig. 6 The baseline processed with Median algorithm

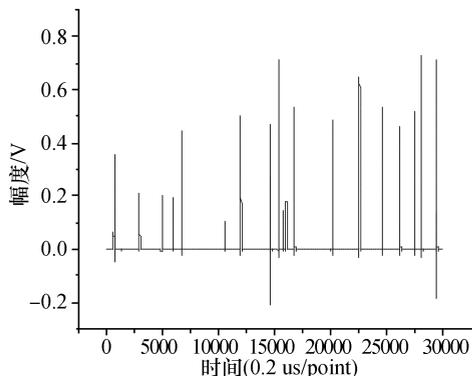


图7 基线漂移校正处理图

Fig. 7 The baseling drift correction

2.4 成形算法及脉冲宽度分析

为了便于对信号进行符合测量,需要对核脉冲信号进行成形处理.本文采用的成形算法主要是根据脉冲前沿拾取法来设计的.脉冲前沿拾取法是模拟符合中最常用的拾取方法,通常是用固定甄别阈来拾取核脉冲,要求甄别阈要足够低,但还要略高于噪声电平.在模拟符合中,固定的甄别阈存在对不同幅度的脉冲造成触发时间的时移的缺陷,而在数字符合中完全可以得以消除.方法是在用固定甄别阈检测到脉冲时再往前查询脉冲前沿的过零点,作为核脉冲的上升起点;往后查询脉冲后沿的过零点,作为脉冲的下降终点.记录核脉冲的起点和终点时间值得到脉冲宽度.由于干扰噪声的脉冲宽分布往往与核脉冲的宽度分布有较大的差异,根据脉冲宽度谱,可以分析前面所有算法的处理总效果.另外,记录脉冲的各个起点亦可得核到核脉冲时间间隔,可用于短寿命核素的多时间分析.

核脉冲成形是为了便于之后的符合处理,其原理是根据脉冲上升的起点时间,可通过设置成形脉宽,使得在脉冲上升起点后的成形脉宽范围内为特定幅度,其余时间为零,从而得到近似于矩形的脉冲波形.核脉冲成形处理的效果如图8所示.

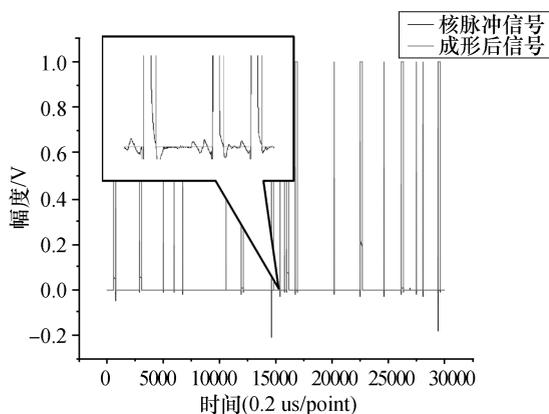


图8 核脉冲成形处理及局部放大效果图

Fig. 8 Shaping of nuclear pulse and detail view

符合测量算法原理:成形后,比较1通道数据与2通道数据,当两通道都不为零时,则表示发生了符合,记录为非零数值,符合计数加1;否则记录为零,符合计数不变.

3 实验

本文所用的数字符合测量分析平台由阿尔泰 PCI-8002 4路 40 MHz 同步采样 AD 卡,方正文祥 E520 台式计算机,VB 编写的数据采集接口程序和 Matlab 软件组成.探头部分为 NaI(Tl) 闪烁体探测器和塑料闪烁体探测器,由 NIM 机箱高压插件提供高压.为了便于与传统模拟测量方式进行比较,所用放射源为 ^{60}Co 源,整体装置架构如图9所示.

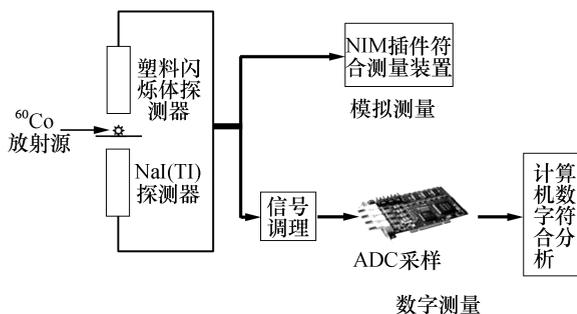


图9 实验装置架构示意图

Fig. 9 The diagram of experiment device

为了验证数字符合实现方案的有效性,本文用构建的数字符合测量平台测量 ^{60}Co 源的活度,并与传统模拟测量结果进行比较.实验所用的 ^{60}Co 源于2008年10月出厂,活度为 $18.5 \times$

10^5Bq ,传统符合测量日期2011年10月,数字符合测量日期为2011年11月.根据符合测量原理^[8],其测量结果如表1所示.

表1 两种测量结果比较

Table 1 Comparison of two measurement

测量方式	测量时间/s	源活度测量值/Bq	计算误差/%	源活度真实值/Bq	与真实值相对偏差/%
传统符合	10	119 452	1.1	124 693	4.2
数字符合	0.950 3	110 269	9.1	123 335	10.6

从实验结果可以看到,该数字符合实现方案测量的结果与传统符合测量结果相相差7.6%,与真源真实活度相差10.6%,偏差存在的原因应该是数字符合测量涉及海量数据的处理,因此测量时间受限,此外NIM模块易受干扰影响及源的刻度也有一定偏差.

4 总 结

本文提出了一种初始的数字符合实现方案,并对数字符合处理算法的死时间处理算法、数字滤波算法、基线校正算法、脉宽分析算法和符合算法进行详细描述;并给出了初步实验结果,表明方案确实可行,但有待进一步的工作来改善数字符合的处理算法和解决长时间测量和多次测量的问题,并对源进行准确刻度以及改善NIM模块组件的抗干扰性能.

参考文献:

- [1] Buckman S M, Ius D. Digital coincidence counting[J]. Nucl. Instr. Methods. A, 1996, 369(2):368-374.
 [2] Tae Soon Park, Hwang Han Yull, Lee Jong Man. An im-

prove coincidence counting technique for standardization of radionuclides[J]. Appl. Radiat. Isot., 1998, 49(9): 1147-1151.

- [3] Havelka Miroslav, Auerbach Pavel, Sochorov Jana. Software coincidence counting[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2002, 56(1):265-268.
 [4] Havelka Miroslav, Auerbach Pavel, Sochorova Jana. Application of pulse mixing method in software coincidence counting[J]. Applied Radiation and Isotope, 2004, 60(2):409-413.
 [5] Chernyshev V I, Korostin S V, Iordanskii P A. A digital coincidence method[J]. Measurement Techniques, 2004, 47(12):1204-1210.
 [6] Keightley John, Tae Soon Park. Digital coincidence counting for radionuclide standardization[J]. Metrologia, 2007, 44(4):S32-S35.
 [7] 许鹏,邱晓林,弟宇鸣,等.基于虚拟仪器技术的软件符合实验[J].原子能科学技术,2007,41(4):493-496.
 [8] 马文彦,邱晓林,齐格奇,等.用符合法测量 β 放射源的活度[J].计量技术,2002(7):32-34.
 [9] 杨彬,颜拥军,周剑良.核信号数字滤波成形算法仿真研究[J].核技术,2010,33(11):818-823.