

# 原子能院核物理与工业同位素仪表研究的新进展

潘大金

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

**摘要** 本文介绍原子能院近年来在通用核物理仪器和工业同位素仪表开发研究方面的现状与取得的新进展,重点介绍在同位素仪表开发方面的新产品新技术.

**关键词** 核物理仪器,工业同位素仪表.

## 1 前言

三十多年来,原子能院在低能核物理仪器(包括核电子学与核探测器技术)的研究方面,随着电子技术的发展,经过多次产品换代,目前已形成了一批定型的系列产品,这些产品包括探测器和核电子学仪器.核探测器有:电离室、硅(锂)X射线探测器、高纯锗同轴探测器、高纯锗平面低能光子探测器及硅平面工艺型室温探测器等.电子学系列产品有:电荷灵敏前置放大器、微弱电流放大器、 $\pm 3\text{kV}$ 与 $\pm 5\text{kV}$ 高压电源,谱仪放大器系列(IAE311、312、313和314);谱仪ADC系列:线性放电法ADC、AE201(1024道)、IAE202(2048道)、IAE203(4096道);逐次逼近法快速ADC:4096道IAE221(变换时间 $25\mu\text{s}$ )和IAE222(变换时间 $10\mu\text{s}$ );微机多道分析器系列:1024道(包括通用型和便携型)、2048道、4096道和8192道通用型;时幅变换器与时间分析器(分析路数可达64路);通用脉冲产生器(滑移脉冲产生器和脉冲线性测试仪);专用脉冲产生器(随机脉冲幅度谱产生器);单道分析器;多路计数器;反应堆参数测量系列仪表(动态参数测量系统和 $4\pi\gamma$ 符合 $\gamma$ 活性相对测量与绝对测量装置等).这些通用核仪表在核物理、反应堆物理、冶金、地质、石油勘探、建材分析、医学、环境等许多领域获得了广泛的应用.

随着研究工作的深入,近年来,在这些产品的某些方面的研究又取得一些进展,如高纯锗探测器、谱仪放大器的计数率、高分辨率ADC、微机多道的数据获取与传送速度、快电子学及数字化波形记录仪与宽带示波器(1GHz)等在性

能指标上有新突破.在系统配套方面,利用前面的电子部件建立各种应用系统,例如 $\gamma$ 谱仪系统和环境监测系统也有新的进展.

随着转民工作的深入和国民经济发展的需求,近年来在研究方向上,逐渐向工业同位素仪表转移,开发出了一批在国民经济建设中具有重要应用前景的新产品,如骨密度扫描仪、人发分析仪、黄金成色仪、核子皮带秤、中子水分计和快速晶闸管(非核产品)等.

## 2 通用核物理仪器研究的新进展

通用核物理仪器在技术上比较成熟,但随着研究工作的深入,也发现存在一些问题.解决了这些问题,工作又进入一个新水平.下面介绍其中部分工作.

### 2.1 高纯锗探测器

高纯锗探测器是高分辨 $\gamma$ 谱仪的前端部件,主要问题是提高分辨率,我院新研究的高纯锗探测器<sup>[1]</sup>目前能量分辨率已达到 $\text{FWHM} = 1.75\text{keV}$ ,探测效率为(21~40)%,峰康比为52:1.

高纯锗探测器无论是P型或N型,生产工艺稳定,都做到了较高的成品率.

### 2.2 谱仪放大器

谱仪放大器是模拟信号处理的主要部件,它除了放大信号外,还要对信号滤波成形处理,以取得最好的信噪比,提高分辨率.最近新研制的IAE314型谱仪放大器就考虑了这些问题,如极零调节、基线恢复、门控积分和反堆积等功能,使放大器在高计数率( $5 \times 10^4$  cps)工作条件

下,谱仪的能量分辨率恶化小于 12%。其它指标也比较好,积分非线性为 0.05%,增益漂移为  $\pm 0.01\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

### 2.3 谱仪 ADC

谱仪 ADC 是  $\gamma$  谱分析的关键部件,高分辨率谱仪要求大的道数,一般在 8192 道以上。采用我国自己提出的双向滑尺均道原理<sup>[2]</sup>研制的逐次逼近法谱仪 ADCIAE223,道数已达到了 8192,速度 13 $\mu\text{s}$ ,有效线性范围  $>99.8\%$ ,积分非线性好于 0.02%,微分非线性  $<\pm 1\%$ 。

### 2.4 微机多道系统

微型机的发展,使多道分析器的设计变得很简单,只要用一台谱仪 ADC 加上缓存接口即成。但它带来的新问题是数据获取和传送显示公用缓存总线,存在总线竞争问题,处理不好将造成计数损失。

微机多道 (PMCA)<sup>[3]</sup>,目前已设计成 PC 机卡,在新研制和定型的 PMCB(多道缓存)卡系列产品 PMCB2 和 PMCB8(含 PMCB4)较好地解决了上述问题。

1)在解决多道(MCA)数据获取和传送速度方面,做到了实时数据获取与实时快速传送,特别是采用了伪随机地址 DMA 单字传送和死时间实时修正技术,MCA 在高计数率下工作,几乎没有数据丢失。

2)实时数据传送带来了获取数据显示的实时性,达到了古典型多道的显示效果。

### 2.5 低功耗多道谱仪

微机多道的另一新品种是低功耗 PC-MCA 卡整体化结构,它将谱放 ADC、稳谱器和接口融为一体,做成 PC 机卡,直接插入手提式 PC 机中或通用 PC 机中使用,功耗 2W。

### 2.6 快速电子学

在快电子学研究方面,基于应用微通道板的 1GHZ 快速示波器的实验研究工作取得了实质性的进展。这类示波器在核爆实验、自由电子激光等高新技术研究中,有重要应用价值。

### 2.7 通用高纯锗 $\gamma$ 谱仪

通用高纯锗  $\gamma$  谱仪,目前定型了两种型号: GPY-1 和 GPY-2,两种的基本配置相同,即包

括:高纯锗探测器(P型或N型)、5kV 高压电源、谱仪放大器(LAE314)、8192 道 ADC、8192 道缓存、微型机 PC-386 或 486 亦或 286 微机、打印机、NIM 机箱电源和 MCA 仿真软件。二者不同之处在于:1 型的 ADC 用进口的 ND583(变换时间 7 $\mu\text{s}$ ,有效线性范围 99%),缓存用 M8 型,数据传送用 DMA 方式,一次送 8192 一道死时间为  $4 \times 0.52\mu\text{s}$ ;而 2 型用的 ADC 是本院的 IAE223(变换时间为 13 $\mu\text{s}$ ,线性范围 99.8%),缓存用上述 PMCB8,数据传送用伪随机地址 DMA 单字实时传送,不占获取时间,ADC 获取数据的死时间,用计数损失实时修正技术处理,无计数丢失问题,适于高计数率分析环境,并配有谱分析软件包。

谱仪的主要技术指标:能量分辨率 FWHM 为 1.75keV;探测效率为(21~23)%;峰康比为 52:1,积分非线性好于 0.03%,微分非线性好于 1%;在  $5 \times 10^4/\text{s}$  的计数率下,能量分辨率变坏小于 12%;在室温下连续工作 16 小时,1.33 MeV 的  $\gamma$  峰漂移小于 0.015%。

### 2.8 高纯锗低能光子谱仪

这种谱仪主要用于探测能量在 100keV 以下的低能光子,应用于核物理、核化学、地质、冶金等。主要指标:高纯锗探测器,有效面积 130mm<sup>2</sup>,有效直径 13mm,厚度 9.7mm,铍窗 25 $\mu\text{m}$ ,能量分辨 159eV(对 <sup>56</sup>Fe 源 Mn K<sup>o</sup> 5.894 keV X 射线),其配置与高纯锗  $\gamma$  谱仪相同。

## 3 核工业下水 $\gamma$ 射线在线连续监测

环境保护是当前国际上关心的重要问题。随着核电站的发展,防止核工业下水放射性污染成为一个重要问题。为杜绝核工业下水对环境的污染,在北京市环境保护局(通过核工业总公司)的指令下,于 1993 年建成了我国第一套核工业下水  $\gamma$  射线在线连续监控系统,并通过了部级鉴定。该系统监控原子能院地区 4 条工业下水管道(设有污水暂存池)。这套系统将 NaI(Tl)晶体放在水池中,通过电子学系统和计算机,对 4 条工业下水中的  $\gamma$  放射性活度进行在线连续监测,每天测量水中  $\gamma$  射线活度总排放

量,并存盘.按日、月、年建立监测档案.全部工作由计算机自动进行.在监测中如发现异常,则立即报警并进行事故元素分析,给出事故分析报告.本系统具有较高的探测灵敏度.本系统各路的探测下限分别为(对 $^{137}\text{Cs}$ 源):

1路:  $0.24\text{Bq/L}$  ( $6.5 \times 10^{-12}\text{Ci/L}$ )

2路:  $0.18\text{Bq/L}$  ( $4.9 \times 10^{-12}\text{Ci/L}$ )

3路:  $0.24\text{Bq/L}$  ( $6.5 \times 10^{-12}\text{Ci/L}$ )

4路:  $1.46\text{Bq/L}$  ( $3.95 \times 10^{-12}\text{Ci/L}$ )

目前,国际上达到的最高探测限:日本为  $21.5\text{Bq/L}$  ( $5.9 \times 10^{-10}\text{Ci/L}$ )<sup>[4]</sup>;大亚湾核电站系统为  $40\text{Bq/L}$  ( $1.08 \times 10^{-9}\text{Ci/L}$ ).本系统优于国外上述系统.

#### 4 新型民用工业同位素仪表

近年来,原子能院在开发工业同位素仪表方面取得了一些进展,下面介绍几种深受欢迎的新产品.

##### 4.1 骨密度扫描仪

骨密度扫描仪主要用于检查骨质疏松症.骨质疏松症是由于生理或病理变化引起骨矿物质丢失,从而导致骨机能不全或骨折危险性增加的疼痛综合症.它是一种多发的慢性致残性并威胁人类的疾病.利用骨密度仪测量活体骨矿物质含量是当代医学发展的重要课题,它对于骨代谢的基础理论研究及其各种原因造成钙、磷代谢平衡障碍,骨矿物质减少的早期诊断、治疗观察具有重要意义,在临床医学上是一种准确、简便、无损检测方法,可弥补常规的血、尿、X光等检测方法的不足.仪器在核医学科、骨科、妇科、小儿科、内分泌科、肿瘤科及老年康复科均获得临床应用.仪器包括:放射源、探测器、扫描机械装置和微机.主要特点:连续检测,达到扫描效果,同时显示桡规、尺骨的骨矿定量分布;自动定位,操作方便,测量快速,重复性好,3分钟内可得到测量结果.该仪器在1989年获北京首届国际博览会银奖.

##### 4.2 人发元素分析仪

微量元素对生长发育、神经系统、内分泌、感染与免疫、畸形、肿瘤、心血管病、创伤愈和和

性机能等有直接的影响.人体头发中含微量元素较高,利用本仪器可方便、无痛苦、无感染地对人体进行微量元素分析采样.本仪器采用X射线正比计数管作探测元件,它比采用硅(锂)探测器的X荧光分析仪具有价格便宜、维护简便(不用液氮)、体积小、重量轻、灵敏面大、探测效率高等优点.仪器还包括电子学线路和微机系统,仪器能在5分钟内测出锌、钙、铅、铁及铜等的含量,测量限分别好于  $0.16\text{g}$ 、 $0.33\text{g}$ 、 $0.33\text{g}$  和  $0.21\text{g}$ .此仪器还可用血液及其它场合的微量元素分析.

##### 4.3 黄金成色仪

黄金白银的成色测定至今仍普遍采用试金石检验方法,这种方法比较原始并且对检验人员的技术和经验均要求较高,对被测样品也有一定破坏和损耗.该方法对银铂等贵金的成色测定就更麻烦更困难了.本项目是由中国人民银行总行提出,由国家科委下达核工业总公司开展的科研任务,目的是分析样品中金银的含量.黄金成色仪采用能量色散X荧光分析方法,利用不同元素在受激发后发出不同能量的特征X射线来区分样品中所含元素,是通过测量X射线的强度来确定该元素含量的基本原理而设计的.它包括激发源、探测器、前端电子学线路与多道分析器及计算机.多道分析器收集待测样品受激发后发出的次级X射线谱,经解谱软件计算出各元素的含量.这里把黄金样品作为受激发靶,用高Z原子序数的元素的X射线来激发低Z元素发出X射线,由于各种元素对X射线都有吸收和散射效应(即基体效应),故在解谱中要求较好地解决这个问题.

仪器设计中的探测器采用正比计数管,优点是造价低便于推广.电子学线路考虑了降低噪声提高精度等问题.仪器配备了低成本PC机,内存640K,配置了软盘和针式打印机.本仪器能无损、快速地检测金银锭、金银条、金银饰品及沙金中含金银量,是金银收购部门、金银制品经营部门和金银生产加工部门的理想的成色检测仪,可取代传统的试金石方法,填补了国内空白.仪器对样品的测量时间4~8分钟单次测

量标准偏差 $<0.3\%$ ,银单次测量标准偏差 $<(1\sim 2)\%$ ,能自动显示测量结果打印成色报告.具有识别包金和镀金的能力和一机多用的功能.

#### 4.4 中子水分计

主要用于焦炭砂子等物料含水量的在线测量,配上计算机可用于生产过程中含水量的调节控制,达到最优水平.在玻璃制造过程中用以控制配料成分比例,在高炉上可用于控制炉温从而恒定炉温降低焦化和提高生铁产量.

中子水分计采用中子源和热中子探测器测量水分分布,测量范围含水量为 $(1\sim 15)\%$ ,测量精度为 $(0.5\sim 1)\%$ ,反应时间 $10\sim 20$ 秒,工作环境温度为 $-15\sim 450^\circ\text{C}$ (探头)和 $0\sim 45^\circ\text{C}$ (主机).

根据上述原理研制的中子土壤水分计是一种快速精确的非破坏测量的测量土壤中水分含量的工具,在农业、林业、地质、水文、水利、气象和环境等方面具有广泛的用途,仪器达到了英国 IH-型和美国 CPN503DR 型中子土壤水分计

的性能.

#### 5 新型半导体器件

配合市场需要,原子能院开展了电力半导体器件的开发,主要以开发快速高频晶闸管为主,并建立了生产线.目前,开发的新产品快速晶闸管有 $500\text{A}$ 、 $800\text{A}$ .其关断时间 $t_g$ 达到 $10\sim 20\mu\text{s}$ .高频晶闸管有 $50\text{A}$ 、 $200\text{A}$ 、 $500\text{A}$ ,工作频率 $5\sim 20\text{kHz}$ .另外还开发了 ZK 系列快速整流管以及 Kp,zp 系列普通整流管和晶闸管.

#### 参 考 文 献

- 1 高德喜,孙复生.核电子学与探测技术,1992,12:134
- 2 Xin xianjie, Pan Dajing. Nucl. Instr and Meth., 1987, A259:521
- 3 刘永生,潘大金.核电子学与探测技术,1992,12:311
- 4 Toshimi SASAKI, et al. Journal of Nuclear and Technology, 1983, 204:317

## Progress of Studies on Nuclear Physics and Industry Isotope Instruments in CIAE

Pan Dajing

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

**Abstract** This paper describes the present status and the progress of studies on nuclear physics and industry isotope instruments in China Institute of Atomic Energy, with the emphasize on the new products and new technology of industry isotope instruments.

**Key Words** nuclear physics instruments, industry isotope instruments.