

CN920.1005

CNIC-605.2

SINREF-2000

中国核科技报告

放射性活度测量标准装置及其应用

ESTABLISHMENT AND APPLICATION OF STANDARD
DEVICES FOR RADIOACTIVITY MEASUREMENT

(In Chinese)



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC—00519

SINRE—0029

放射性活度测量标准装置及其应用

周昌贵 李星垣 陈子根

(中国核动力研究院,四川)

摘 要

为建立放射性活度测量标准设计、制造和安装了 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合和 $4\pi\text{-}\gamma$ 电离室两套标准装置。前者是绝对测量标准,不确定度在 $\pm(0.3\sim 5)\%$,后者为工作标准,不确定度在 $\pm(1\sim 5)\%$ 。两者结合,满足了国家检定系统对于放射性活度量值传递的需要。

ESTABLISHMENT AND APPLICATION OF STANDARD DEVICES FOR RADIOACTIVITY MEASUREMENT

(In Chinese)

Zhou Changgui Li Xingyuan Chen Zigen
(NUCLEAR POWER INSTITUTE OF CHINA, SICHUAN)

ABSTRACT

In order to establish the radioactivity measurement standards a $4\pi\beta-\gamma$ coincidence apparatus and $4\pi\gamma$ ionization chamber have been installed at the laboratory. The $4\pi\beta-\gamma$ coincidence apparatus is for the absolute measurement, and its uncertainty is $\pm(0.3\sim 5)\%$. The $4\pi\gamma$ ionization chamber is for working standard, and its uncertainty is $\pm(1\sim 5)\%$. The combination of these devices can meet the quality requirements controlled by National Verification System in the transfer of radioactivity values.

引言

放射性活度是放射性核素制备和应用中最重要的一个物理量,因而,放射性活度测量在许多实际工作中有十分重要的地位。作为放射性计量标准,我们建立了放射性活度直接测量的 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量装置和间接测量的 $4\pi\gamma$ 电离室活度标准装置。

$4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合法,不仅可以直接测量 $\beta\text{-}\gamma$ 核素,利用效率示踪和外推技术,还可以直接测量纯 β 放射性核素和衰变纲图较复杂的各种衰变类型的核素,而且测量的准确度高。但是从制源、测量到数据处理,整个技术比较复杂,要求严格,花费较大,只有在具备相当条件的实验中方可使用。

$4\pi\gamma$ 电离室长期稳定性好,工作条件简单,操作方便,几何条件、工作电压等对测量结果影响小,经过仔细的刻度,可以间接测量各种 γ 核素的放射性活度,并满足必要的准确度,便于推广应用。

$4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量装置与 $4\pi\gamma$ 电离室结合,构成了检定系统,满足了量值传递的需要。

1 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量标准装置

1.1 装置

方框图见图1。

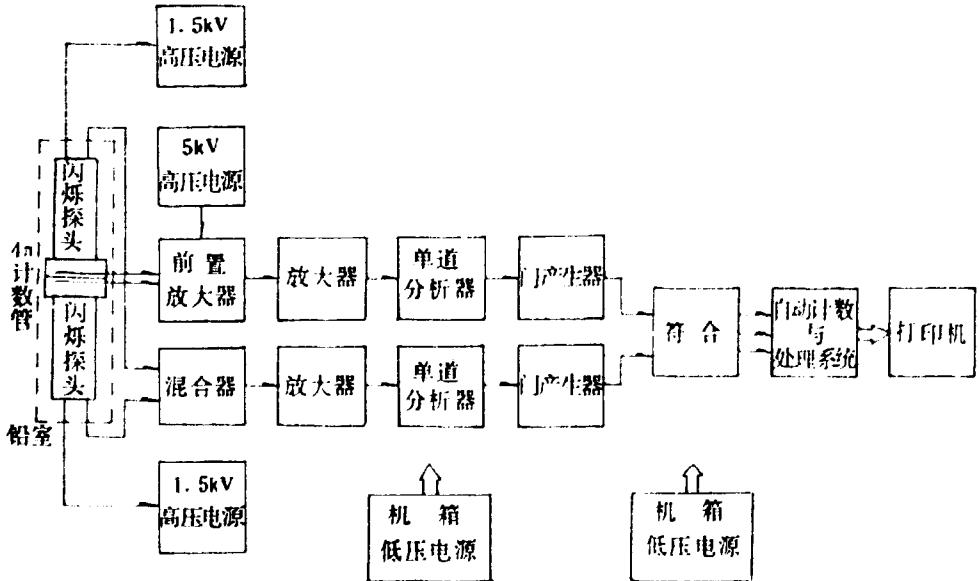


图1 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合装置方框图

本装置主要由一个 4π 流气式正比计数器,一对NaI(Tl)探测器和NIM插件及自动计数系统组成。

$4\pi\beta$ 探测器工作气体为高纯甲烷,阳极丝为 $30\mu\text{m}$ 的涂金钨丝,管内有效长度为50mm。坪长大于300V,坪斜小于 $0.5\%/100\text{V}$ 。

γ 探测器由 $75\times 75\text{mm}$ NaI(Tl)晶体和GDB-76F光电倍增管组成的一对闪烁探头。 γ 道

将 VYNS 膜材料 8g, 充分溶解在 100mL 的 1,2-二氯乙烷溶液中, 经过滤后, 利用水面张力制取 $15\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的均匀薄膜。用真空镀膜机镀上 $15\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的金层, 再经高压静电喷雾硅胶加抗静电剂获得 $\phi 7\text{mm}$ 的圆斑, 用差重法在十万分之一的天平上称取 15~35mg 的源溶液, 滴在圆斑上, 待自然干燥后, 覆盖一层镀金膜, 便成为标准薄膜源。

1.3 测量原理

用 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合装置测量放射性活度, 最适合的是即时发射的 $\beta\text{-}\gamma$ 放射性核素(如 ^{60}Co)。只要测得 β 、 γ 和符合道的计数率, 按(1)式即可得到被测核素活度。

$$N_0 = \frac{N_\beta N_\gamma}{N_c} \quad (1)$$

式中: N_β ——经本底、死时间校正后的 β 道计数率;

N_γ ——经本底、死时间校正后的 γ 道计数率;

N_c ——经本底、符合分辨时间校正后的符合道计数率。

对具有复杂衰变纲图的 $\beta\text{-}\gamma$ 放射性核素, 需采用符合外推技术。

从基本原理出发, 经必要推导^[1], 可以得到(2)式:

$$N_\beta = N_0[1 - \theta(1 - \epsilon_\beta)] \quad (2)$$

式中: θ ——与被测核素核衰变参数相关的系数, 一般接近于常数;

ϵ_β —— β 探测器对某一组所选择的 β 粒子的探测效率。

我们采用膜吸收方法, 改变 ϵ_β , 得到一组 $\frac{N_\beta N_\gamma}{N_c}$ 值, 并作曲线外推到 $\frac{1-\epsilon_\beta}{\epsilon_\beta}$ 为 0 时所对应的 $\frac{N_\beta N_\gamma}{N_c}$ 值, 即为被测放射性溶液活度 N_0 。

对于纯 β 核素(如 ^{90}Sr 、 ^{90}Y)或非即时发射的 $\beta\text{-}\gamma$ 核素(如 ^{137}Cs)。需采用效率示踪和符合外推技术。它是将一定量的 $\beta\text{-}\gamma$ 放射性核素作示踪剂, 与待测核素均匀地混合后, 制成薄膜源, 然后改变效率, 进行符合外推, 求出混合源的总活度。在扣除示踪核素的活度后, 便得到待测核素的活度, 即

$$A_x = \frac{N_T - A_0 M_0}{M_x} \quad (3)$$

式中: A_x ——待测核素的比活度, $\text{Bq} \cdot \text{mg}^{-1}$;

A_0 ——示踪核素的比活度, $\text{Bq} \cdot \text{mg}^{-1}$;

N_T ——混合源的总活度, Bq ;

M_0 ——混合源中示踪核素的质量, mg ;

M_x ——混合源中待测核素的质量, mg 。

必须注意, 示踪剂核素的选择, 要便于精确测量和均匀混合。

1.4 测量方法与数据处理

不同核素, 有不同复杂程度的衰变纲图。根据核素的衰变纲图, 制定测量方案, 确定计算公式。

测量方案确定后,必须正确的选择工作条件,确定修正参数,如工作电压、放大倍数、甄别阈、死时间、分辨时间、延迟时间等。

例如,对 ^{137}Cs 测量,我们采用了效率示踪外推技术。选择的测量条件是,用 ^{60}Co 作示踪核素。 β 工作高压:3.05kV; β 甄别阈:0.5V; γ 甄别阈:7.2V,积分测量; β 、 γ 道死时间: $1 \pm 0.2\mu\text{s}$ 。

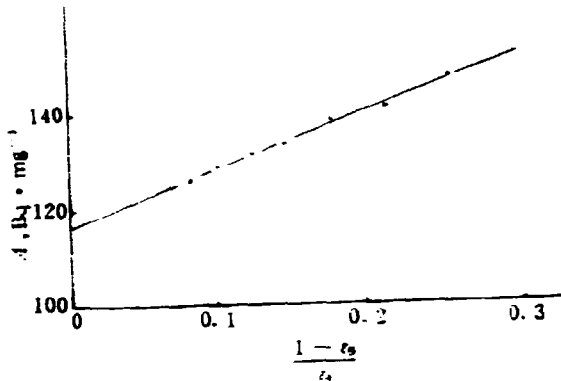


图4 ^{137}Cs 符合外推曲线

$4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量,尤其是效率示踪和符合外推,计算十分复杂。为此,研制了自动计数与数据处理系统。该系统具有必要的软件包,包括Campion公式和Cox-Ishan公式的 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量程序和最小二乘法多项式外推程序等,从而使数据处理大大简化而准确。

1.5 测量范围和不确定度

$4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量装置的测量范围在 $10^2 \sim 10^4 \text{Bq}$ 。用本装置测量 ^{60}Co 的不确定度可以达到 $\pm 0.3\%$ 。测量其它 β 或 $\beta\text{-}\gamma$ 放射性核素,根据衰变纲图的复杂程度,测量结果的总不确定度在 $\pm (0.3 \sim 5)\%$ 。本装置曾参加过国家计量院和国防科工委放射性计量一级站组织的 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{241}Am 等,多次全国性放射性比活度测量比对,结果在误差范围内符合。

表1例出了1989年10月由国家计量研究院组织的 ^{60}Co 放射性溶液比对结果。由表可见,本装置测量结果与计量院测量结果偏差为0.08%;与6家参比单位测量结果的平均值偏差为0.1%。结果证明,本装置性能稳定可靠,数据准确。

表1 ^{60}Co 溶液比对结果

测量结果, $\text{Bq} \cdot \text{mg}^{-1}$			偏差%	
本装置	计量院	平均值	与计量院	与平均值
103.78	103.86	103.68	-0.08	+0.1

作为例子,表2列出了测量 ^{60}Co 时的误差来源。

结果的影响小于±0.2%。本装置的测量范围为 $3.7 \times 10^4 \sim 3.710^{10}$ Bq。在测量范围内,测量结果的总不确定度为±(1~5)% (置信度99.7%)。

2.2 装置的使用

应用该装置,可以很方便的实现 ^{51}Cr 、 ^{125}I 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{241}Am 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等多种核素的测量。如果需要,可以读取电流值,根据事先刻度的校准因子,求得被测核素活度。即

$$A = kI \quad (4)$$

式中: k ——刻度因子, $\text{Bq} \cdot \mu\text{A}^{-1}$;

I ——测量电流, μA 。

一般来说,我们用该装置进行放射性溶液活度测量,样品瓶为5mL青霉素瓶,溶液量4mL (与刻度条件一致)。为了扩展该装置的应用,我们在规定的刻度条件下,实现了弱密封 ^{60}Co 、 ^{192}Ir 源和 ^{170}Tm 等低能光子源的活度测量。当然,测量的准确度,很大程度上取决于标准源的准确度,被测源与标准源之间的差别等。

该装置使用方便,性能可靠,可以保证国家放射性活度标准的跟踪性能。

3 考核结果

本文描述的 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量装置和 $4\pi\gamma$ 电离室两项标准装置,前者是中国核动力研究院的最高计量标准,后者是工作标准,构成该院的量值传递系统,完成国家检定系统表规定的放射性活度量值传递。

1989年11月,国防计量考核委员会,对上述放射性活度测量标准进行了全面考核。考核结果均合格,并分别颁发了《计量标准考核合格证书》。

4 应用与效益

$4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量装置为我院的放射性活度测量提供了标准,在废水处理、安全防护,环境保护、物理测量、同位素研制生产等方面得到了应用;还为西南物理研究院,国营八二一厂等提供了 ^{137}Cs 、 ^{144}Ce 等测量标准,在量值传递中发挥了作用。

$4\pi\gamma$ 电离室活度标准,由于它使用方便、指标先进,建立一年多来,已在量值传递和同位素生产中起到了重要作用。 $4\pi\gamma$ 电离室提供的标准溶液,校验了反应堆污水监测系统。 $4\pi\gamma$ 电离室直接为小密封源生产提供了测试数据,还用本装置检定了本系统兄弟单位的 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 等刻度用源。

参加 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量的还有翟盛庭同志。

参 考 文 献

[1] 放射性核素浓度的绝对测量(1979年讨论会资料选编),原子能出版社,1981

放射性活度测量标准装置及其应用

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

原子能出版社激光照排中心排版

北京市海淀区三环快速印刷厂印刷

☆

开本 787×1092 1/16 ·印张 1·字数 8 千字

1991 年 5 月北京第一版·1991 年 5 月北京第一次印刷

印数 1-120

ISBN7-5022-0527-6

TL·290

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



ISBN7-5022-0527-6

1L • 290

P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre