

低水平 γ 测量的物质屏蔽

田均良 李明荣 李雅琦

摘 要

根据环境中低水平放射性测量的要求,选用适宜的多层次屏蔽材料,设制了低水平 γ 测量的物质屏蔽装置,使NaI(Tl)探测系统的本底降低100倍,满足了 10^{-10} 居里级的弱放射性样品的测量要求。文中对屏蔽材料的选择,本底的稳定性、剩余本底的来源和进一步降低本底的途径都进行了分析和讨论。

由于 γ 射线的测量对样品制备要求简单,并可较方便地鉴别不同的放射性核素,所以在地化、生物、土壤、医学等方面都开展了 γ 射线测量技术的有关应用研究工作,特别是近年来随着人们对环境研究的重视,环境材料中天然放射性和放射性污染分布、迁移的研究向 γ 测量工作提出了更多的要求。为了完成上述工作中经常遇到的弱放射性的测量任务,除了改善几何条件、增大探测器面积以提高测量效率外,同时需要降低本底以求最佳的品质因数($\frac{\eta^2}{B}$)。

在低水平放射性测量中,更重要的是要求一个低而稳定的本底计数。 γ 闪烁计数器的本底比 α 、 β 粒子计数器一般要高一个数量级,这也是 γ 计数器在低水平工作中受到限制的一个主要因素。因此,不少人对 γ 测量中的本底成份进行了分析研究,采用各式各样的措施以获得尽可能低的本底^[1-4]。

由于条件所限,我们仅从物质屏蔽着手,用NaI(Tl)晶体($\Phi 40 \times 40$)配NTA-1024多道分析仪组成低本底 γ 谱仪,获得了较低的本底计数,67计数/分(0.1—2MeV)。初步满足约 10^{-10} 居里级的样品测量任务。

一、屏蔽材料选择

除了探测器本身的放射性外,本底的来源主要是宇宙射线和环境放射性。但由于 μ 介子、核子等宇宙射线中的硬成份具有极高的穿透性能(核子成份的自由程约为 $165\text{g}/\text{cm}^2$,而 μ 介子高达 $10^4\text{g}/\text{cm}^2$),致使实际的物质屏蔽对它们几乎不起作用。选择屏蔽材料主要考虑对宇宙射线中的软成份和周围放射性等低能成份的屏蔽作用。虽然水、混凝土是廉价可取的屏蔽材料,但由于体积庞大,在室内安装困难,大都采用钢和铅作为屏蔽材料。为了减少屏蔽材料本身的放射性,用精炼的或者用二次世界大战以前的钢,百年以上的老铅就更为理想。若将2.61MeV的 γ 射线减弱100倍,钢需要16cm,铅需9.7cm。人们已观察到钢的屏蔽效果比铅好一些^[4],但由于铅的高密度而使其屏蔽结构紧凑以及加工方便等原因,它仍作为低水平 γ 测量的主要屏蔽材料。

我们选用了铅,厚度为10cm,但由于条件所限仅进行表面去污处理。考虑到射线在

铅中产生70—80keV铅的k α 射线,加了1mm镭皮吸收层,对于镭的22keV的k α 射线则用0.5mm的紫铜来吸收。另用7mm有机玻璃衬里。

二、屏蔽结构及效果

物质屏蔽采用分层屏蔽结构,外层用10mm厚六面均为弧形的铅砖垒成铅井,内层顺序以镭、紫铜、有机玻璃作为衬层。探头支架和样品架均采用有机玻璃。铅井顶盖为滑动式,换取样品可在顶部进行,其结构如图1所示。铅井内部尺寸从减少散射的影响考虑,自然是越大越好,但体积越大,屏蔽内表面增大,材料中的放射性和射线引起的次级效应对本底贡献也随之增加。根据实际需要,铅井内部空间为直径30cm,高90cm。

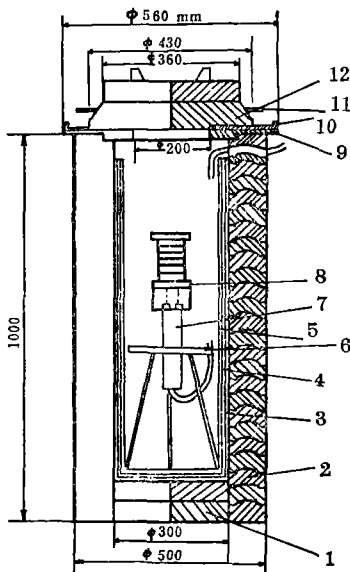


图 例

1. 铅盘
2. 弧形铅砖
3. 镭皮衬层
4. 紫铜衬层
5. 有机玻璃衬层
6. 有机玻璃探头架
7. 探头
8. 有机玻璃样品架
9. 不锈钢滑面
11. 滑键
11. 拉手
12. 半圆顶盖

图1 屏蔽结构图 (单位: mm)

表1列出了屏蔽效果,由表1可见,通过物质屏蔽后在小于2.3MeV能区内,本底降低了100倍。镭、铜等内屏蔽比单用10cm铅的本底降低了22%。

表1 物质屏蔽效果 ($Zr < 2.3\text{MeV}$)

材 料	不用屏蔽	100m/mPb	Pb + Cd + Cu
本底 (计数/分)	10878	111	86
减 弱 倍 数		98	126

三、本底及其稳定性

该套装置对于我们使用的NaI(Tl)晶体在0.1—2MeV范围内,本底计数为67/分。按探测器面积平均计算是1.07cpm/cm²。这个数值低于IAEA统计的采用物质屏蔽 γ 测量装置的平均本底。^[4]

分别对长期和短期稳定性进行了观测。长期稳定性通过24小时内定期监测本底, 每次测量25分钟, 结果表明本底涨落符合泊松分布。对于短期稳定性, 每次测量50分钟连续测量24小时, 对于测量数据在0.1—2MeV范围内, 每隔50道(约22keV) 分段进行 χ^2 分析。由表2可见本底的短期稳定性也是可靠的。

表2 各个能量区间的 χ^2 值

能 量 区 间 (道数) χ^2	11—50 21.5	51—100 13.18	101—150 19.15	151—200 13.72	201—250 14.28
能 量 区 间 (道数) χ^2	251—300 14.40	301—350 10.09	351—400 14.42	401—450 15.80	451—510 17.02
备 注	$\chi^2_{\frac{\alpha}{2}} = 22.36$ $\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}} = 5.89$				

为了减少室温变化对光电倍增管的增益、高压的影响, 设备所在房间采取了恒温措施, 在24小时的测量中, 对 ^{137}Cs 的662keV 光电峰的峰位每隔30分钟监测一次, 其结果表明峰位的漂移在24小时内(不用峰稳装置) 小于1%。

四、剩 余 本 底 分 析

按照IAEA的测量资料, 采用单纯物质屏蔽的NaI(Tl)探测器, 在0.1—2MeV能区内本底降低到0.85cpm/cm²) 以下并不困难。Rundo不用反符合技术达到了更低的本底(0.5cpm/cm²)。但他们都采用了水或硼砂石蜡的屏蔽层, 来减弱中子对本底的贡献。若将宇宙射线的其它成份考虑在内, 估计宇宙射线对本底的贡献约占本底计数的30%。

在屏蔽材料中的放射性也是一个主要的本底来源。由于我们仅用的铅没经过挑选, 其中的放射性杂质以及镭和钍系子体都是不可忽略的。在长时间监测的本底谱中可以看到这些核素的本底峰大约占本底计数的25%, 是来于屏蔽材料中的放射性。

NaI(Tl)晶体和光电倍增管中的 ^{40}K , 也是本底计数的一种来源。据估计^[2]普通的NaI晶体中的 ^{40}K 含量约20—50ppm。若将 ^{40}K 对本底的贡献按10计数/分计算, 则占本底计数的15%。其它30%的本底计数是未被考虑的一些因素引起的。

还需指出, 氡、钍射气对本底的影响, 在我们这样的屏蔽体积中也是不可忽视的。Moses等人^[1]指出空气中氡的浓度涨落可达40倍。我们也发现因气压的异常变化, 本底计数每分钟可能增加4—5个。为了克服这种影响, 尽管是地面上的实验室, 良好的通风换气还是需要的。Brar等人^[5]把屏蔽设计成密闭系统, 以“干净”的气体代替室内的空气, 这就更彻底的克服了因射气涨落对本底的影响。

五、效率及测量灵敏度

用 ^{137}Cs 薄膜点源,在距晶体表面50mm处测量,用TPA方法计算光电峰面积,则对662keV的光电峰探测效率为2%。

测量灵敏度按照Currie^[6]推荐的方法,分别用临界水平和定量探测极限衡量。

临界水平由下式计算:

$$L_c = 2.33\sqrt{\mu} \quad (\text{计数}) \dots\dots (1)$$

式中 μ 为平均计数。若以B表示平均计数率, T表示测量时间, η 表示探测效率, 则(1)可改为:

$$A_c = 2.33\sqrt{\frac{B}{T}}/\eta \quad (\text{光子数/分}) \dots\dots (2)$$

(2)式表示当置信水平为95%, 测量本底和样品时间相等时(T), 用于判断样品中放射性的最小放射性强度。

定量探测极限由下式表示:

$$L_Q = 50 \left[1 + \left(1 + \frac{\mu_B}{12.5} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (\text{计数}) \dots\dots (3)$$

通过和上面相同的变换后得出:

$$A_Q = \frac{50}{\eta T} \left[1 + \left(1 + \frac{TB}{12.5} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (\text{光子数/分}) \dots\dots (4)$$

(4)式表示当相对标准偏差为10%时, 定量探测的最小放射性强度。

若取测量时间为100分钟, 对于 ^{137}Cs 662keV光电峰下本底计数率B = 7 计数/分, 探测效率为2%, 则这个装置的临界水平和定量探测极限分别为:

$$A_c = 1.39 \times 10^{-11} \text{Ci}$$

$$A_Q = 9.63 \times 10^{-11} \text{Ci}$$

若测量时间为1,000分钟, 则

$$A_c = 4.39 \times 10^{-12} \text{Ci}$$

$$A_Q = 2.78 \times 10^{-11} \text{Ci}$$

由上可以看出, 通过适当分层的物质屏蔽和恒温、通风等措施, 取得了较低而稳定的本底, 基本上可以测量 10^{-10}Ci 级的样品, 达到了预期指标。该装置在安装后的使用中配用环形样品盒, 增加了测量效率, 提高了品质因数, 已较满意地完成了黄土地区土壤、作物和粉煤灰及其它环境材料中的弱放射性测量任务。

参 考 文 献

1. C. E. Crouthamel, Applied Gamma-Ray Spectrometry, P166—172, 1970.
2. Siegbahn, K., Alpha, Beta, and Gamma-Ray Spectrometry, P510, 1965.
3. 杨基芳等, 原子能科学技术, 第10期, 1965, P853.
4. ICRU Report 22, Measurement of Low-level Radioactivity, P17—22, 1972.
5. Brar, S. S., Nelson, D. M., and Gustafson, P. F., J. Appl. Rad. Isotope, 18, 1967, P261—265.
6. Currie, L. A., Anal. Chem. 40, 1968, P586.

野燕枯在小麦中的残留试验*

张 卫 刘宏斌

提 要

应用 ^{14}C 标记的野燕枯,按照每亩80克用量喷洒小麦,在我们盆栽试验条件下,收获后小麦粒中残留为0.047ppm,茎叶中残留为13.50ppm,颖壳中为0.14ppm,根部为21.17ppm,其残留均未超过容许值。野燕枯在小麦各部分的残留顺序是根>茎、叶>颖壳>籽实。

野燕麦是世界性杂草,在我国有14个省区遭受野燕麦的危害,发生面积达4,000多万亩,每年损失粮食约10亿公斤,尤其是西北5省受害最重,每年损失粮食3.55亿公斤。据调查,陕西省发生面积达31万亩,尤以关中渭河流域麦田最为突出,野燕麦在田间发生的密度高达每亩10—15万株,每年因野燕麦为害减产在4,000万公斤以上^[8]。

用野燕枯(化学名称是1·2—二甲基3·5—二苯基吡唑硫酸盐)防治野燕麦,经多年喷洒试验证明,它具有选择性强,用量少,使用简便,对作物安全且效果显著等特点,但是喷施于麦田之后,小麦同时被喷洒,作为化学制剂的野燕枯在小麦植株,特别是在小麦籽实中残留如何?这对于化学除草剂野燕枯的投产使用都是十分重要的。为此,我

• 本试验得到西北大学化学系刘源发教授的指导和帮助,在此一并致谢。

A Material Shading Equipment for Determination of Low Level Gamma Activities

Tian Junliang Li Mingrong Li Yaqi

Abstract

According to requirements for determination of lower Gamma activities, a material shading equipment has been designed and installed by using multy-layer materials. Background of a Gamma detecting system with a NaI(Tl) scintillation detector was reduced 100 times, compared with the original without the shading equipment. It is satisfactory to meet demands for determination of the samples with lower Gamma activities about 10^{-10} Ci. Some factors, such as choices of suitable materials and the methods for further lowerity the background, are discussed in the paper.