

面源均匀性对 γ 谱仪探测效率的影响分析

田自宁, 贾明雁, 张 洋, 申茂泉, 晏 林, 冯天成, 成智威

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004—714X(2010)04—0483—02

【摘要】 目的 研究面源均匀性对探测效率的影响。方法 使用偏差分布和积分均匀性两种方法表征两块 ²⁴¹Am 面源的均匀性, 并对两块面源在不同高度进行实验测量其对探测效率的影响。结果 两块面源都是一半放射性较强, 一半放射性较弱; 1 ²⁴¹Am 面源和 2 ²⁴¹Am 面源积分均匀性分别为 15.89%、12.12%, 两块面源探测效率最大偏差为 6% 左右。结论 面源均匀性对探测效率有一定的影响。

【关键词】 面源均匀性; 探测效率

实验室 γ 能谱分析技术是快速、有效地确定待测样品中各种 γ 放射性核素活度浓度的重要手段, 在环境辐射监测中起着重要作用。γ 谱仪在对环境样品进行放射性测量前, 必须进行能量刻度和效率刻度。按照效率刻度方法的不同, 环境样品的 γ 能谱分析方法主要有相对测量法^[1]、蒙卡模拟计算^[2-3]及 Labsoc 系统无源刻度测量法^[4]。在放射性测量中, 在对面源进行效率刻度时常需要知道放射面源均匀性这一重要参量, 以评价效率刻度结果的准确性。笔者对比进行了研究。

研究中使用 HPGe 探测器进行了步进式扫描测量, 并用偏差分布法和积分均匀性表示了 2 ²⁴¹Am 面源的均匀性。由于均匀面源很难得到, 实验测量均匀面源的 γ 射线探测效率无法实现, 因此笔者使用 Labsoc 无源刻度系统刻度了均匀面源在不同高度效率值, 并和不同高度两块面源实验值进行比较, 以探讨面源均匀性对探测效率的影响。

1 面源均匀性表征方法

使用两种方法表征面源均匀性, 即偏差分布和积分均匀性。其中偏差分布计算式^[5-6]为:

$$R_{di} = (N_i - \bar{N}) / \bar{N} \times 100\% \quad (1)$$

$$N = \sum_{i=1}^n N_i / n \quad (2)$$

式(1)、(2)中, N_i 为面源上第 i 个测量点的计数率, n 为总测量点数; R_{di} 为相对偏差。用偏差分布法, 得到的是偏差的一个范围。按偏差大小将面源分段, 标在放射源相应部位, 由这种偏差分布图可以看到放射性相对活度的分布。

积分均匀性 R_g 的计算式^[7]为:

$$R_g = (N_{max} - N_{min}) / (N_{max} + N_{min}) \times 100\% \quad (3)$$

式中, N_{max} 、 N_{min} 分别为所有测量点中最高和最低的计数率。采用积分均匀性的这种表示方法, 表达简单明确, 但不能明确表明放射源不均匀性的具体分布情况。

2 实验测量

2.1 仪器及设备 测量仪器为 CANBERRA 公司生产的低本底 HPGe γ 谱仪系统。使用直径 70mm 高 30mm 的同轴型 HPGe 探测器, 相对效率为 34.4%, 对 ⁶⁰Co 的 1.332 5 keV γ 射线的能量分辨率为 1.70 keV。铅屏蔽体厚度为 10.0 ㎝~20.1 500 keV 的积分本底计数率为 1.6 cps。多道谱仪 (8192 道) 的型号为 DSA1000 使用 Genie2000 能谱获取与分析软件进行能谱获取与处理, 该软件能够自动计算峰面积及其统计涨落, Labsoc 无源效率刻度计算软件可模拟计算均匀面源在不同高

度的探测效率。实验所用面源数据见下表 1。

表 1 ²⁴¹Am 面源信息

编号	铝衬底直径 (mm)	活性区直径 (mm)	活度 (Bq)	面源活度 不确定度 (%)
1#	100	74.5~75.0	1548	1.8 (k=3)
2#	100	74.5~75.0	1240	2.1 (k=3)

2.2 实验方法 使用核探测技术的计数法作面源均匀性检验, 测量过程如图 1 所示, 该实验在低本底 HPGe γ 谱仪系统内完成。面源平均分成 16 个大小一样的扇形, 则每个扇形孔的角度大小为 22.5°, 这些相邻扇形半径按阿拉伯数字依次编号 (编号 1~16 标在铅准直器上), 则每个相邻扇形大小相等, 扇形孔的角度大小都为 22.5°。测量时在面源被测一侧与 HPGe 探测器之间加一层 5 ㎝厚直径为 20 ㎝的圆盘状铅屏蔽体, 由于该圆盘状铅屏蔽体质量较大, 因此该圆盘状铅屏蔽体放置在特制的测试架上。在屏蔽体上留一使放射源发出的 γ 射线直接入射到探测器上的扇形孔, 大小形状和面源上扇形孔一致, 这个扇形孔即是获取放射源均匀性数据的面积元。测量时, 采用步进式扫描测量 ²⁴¹Am 面源 59.54 keV 射线的峰计算率, 即面源每测一次则按圆周顺时针方向以 22.5° 为单位旋转一次, 即面源上的箭头从 1 旋转到 2 依次类推。测量过程中, 使计数涨落在 0.5% 左右即可。

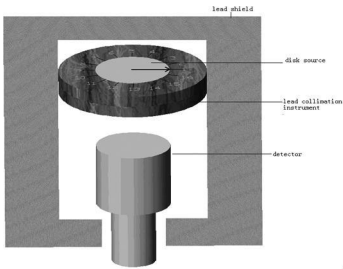


图 1 面源均匀性检验实验

在不同高度对两块面源测定其探测效率, 探测效率计算公式如下式:

$$\epsilon = \frac{N}{A \cdot P_\gamma \cdot t} \quad (4)$$

式中, N 表示峰计数, A 表示面源活度 (Bq), P_γ 表示 γ 射线发射率, t 表示测量时间 (s)。

使用 Labsoc 计算软件模拟计算均匀面源在不同高度的探测效率, Labsoc 可以模拟计算均匀面源的探测效率。

3 实验结果与分析

3.1 面源均匀性 对采用步进式扫描测量得到两块 ²⁴¹Am 面源 59.54 keV 射线的峰计算率, 根据式(1)、(2)计算得到 ²⁴¹Am 面源均匀性偏差分布, 如下图 2.3。

作者单位: 西北核技术研究所, 陕西 西安 710024
作者简介: 田自宁 (1980—), 男, 工程师, 硕士, 研究方向: 核技术应用与放射性测量。

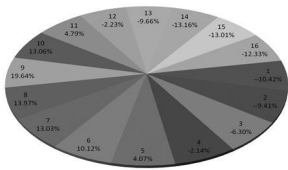


图 2 1#²⁴¹Am面源均匀性偏差分布

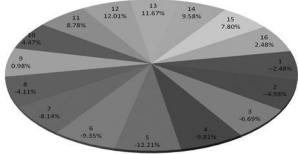


图 3 2#²⁴¹Am面源均匀性偏差分布

其中扇形偏差分布只表示放射性物质的大致分布,并不表示扇形内是均匀分布。从图 2和图 3可以看出面源一半放射性强,一半放射性弱。

通过式(3)计算得到 1#²⁴¹Am面源和 2#²⁴¹Am面源积分均匀性分别为 15.89%、12.12%, 2#面源的均匀性要好于 1#面源的均匀性。

3.2 面源均匀性对探测效率的影响 两块面源放置在离探头不同高度位置进行实验测量,获得它们的²⁴¹Am峰计数,使统计涨落小于 1.0%,根据式(4)计算 59.54keV射线的探测效率。使用 Labsocs无源效率刻度软件计算均匀面源 59.54keV射线探测效率,通过 Labsocs软件定义直径为 75mm的均匀面源,并设置其离探头的距离来获得面源在不同高度的探测效率。均匀面源探测效率 Labsocs计算值和面源探测效率实验值结果如下表 2和图 4所示。

表 2 ²⁴¹Am面源探测效率结果比较

面源高度 (mm)	1# 实验值	2# 实验值	Labsocs 计算值	1#相对 偏差 (%)	2#相对 偏差 (%)	相对偏差 (%)
0	0.239	0.229	0.253	-5.74	-9.70	4.39
10	0.160	0.160	0.172	-7.13	-7.15	0.02
15	0.141	0.141	0.145	-3.01	-2.80	-0.21
20	0.120	0.121	0.123	-3.00	-1.78	-1.24
25	0.103	0.106	0.106	-2.99	-0.74	-2.26
35	0.077	0.080	0.080	-4.14	-0.19	-3.96
45	0.059	0.063	0.062	-4.37	1.67	-5.94
50	0.053	0.056	0.055	-4.06	1.11	-5.11

其中 1#相对偏差 = (1#实验值 - Labsocs计算值) / Labsocs计算值, 2#相对偏差 = (2#实验值 - Labsocs计算值) / Labsocs计算值, 相对偏差 = (1#实验值 - 2#实验值) / 2#实验值。

从表 2中可见除高度为 0mm的面源探测效率外, 2#面源的探测效率更接近 Labsocs计算的均匀面源探测效率,原因是 2#面源均匀性要好于 1#面源均匀性。从相对偏差那一列可以看出, 两块面源的探测效率比较分析, 它们的探测效率也存在偏差, 因此面源均匀性对其探测效率有一定的影响。

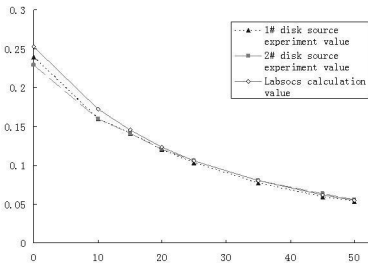


图 4 ²⁴¹Am面源探测效率随高度的变化关系

4 结论

使用偏差分布法表示了两块面源的放射性物质的分布情况是面源一半放射性较强,一半放射性较弱; 1#²⁴¹Am面源和 2#²⁴¹Am面源积分均匀性分别为 15.89%、12.12%, 即 2#面源的均匀性要好于 1#面源的均匀性; 并对两块面源在不同高度进行实验测量,得到了面源在不同高度的探测效率。分析了面源均匀性对探测效率的影响,结果表明: 两块面源探测效率最大偏差为 6%左右; 2#面源和 1#面源在不同高度的探测效率与 Labsocs模拟计算均匀面源探测效率结果进行比较,得出 2#面源结果更接近于 Labsocs计算结果; 因此, 面源均匀性对探测效率有一定的影响。

参考文献:

[1] Patricia Morneau, Reinhard Bemdt. Attenuation of a non-parallel beam of gamma radiation by thick shielding: application to the determination of the ²³⁵U enrichment with NaI detectors[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2005 A 550: 675-690.

[2] Helmer RG, Hardyb JC, Jacobb VE, et al. The use of Monte Carlo calculations in the determination of a Ge detector efficiency curve[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2003 A 511: 360-381.

[3] Takashi Nakamura. Monte Carlo calculation of peak efficiencies and response functions of coaxial-type Ge(Li) detectors for disk gamma-ray sources[J]. Nuclear Instruments and Methods, 1975 131: 521-527.

[4] Canberra User's Manual of Model S573 ISOCS Calibration Software[M]. USA, 2002.

[5] 陈志才. 放射源均匀性及其测定[J]. 同位素, 1999 12(3): 169-173.

[6] Yoshida Makoto, Manin RH, et al. Preparation of extended sources with homogeneous polyethylene ion-exchange membranes[J]. Applied Radiation and Isotopes, 1990 41(4): 387-394.

[7] Ganet P, Martinez S, Ouahyoun E, et al. A Method for the measurement of SPECT Uniformity[J]. Medecine Nuclaire, 1996 20(6): 394-399.

(收稿日期: 2010-05-16)