

文章编号:1000-6931(2001)03-0254-04

HPGe 探测器的效率曲面研究

李琦,连琦,常永福,夏兵

(西北核技术研究所,陕西 西安 710024)

摘要:研究了高效率 HPGe 探测器测量近距离面源情况下的效率曲面。通过测量 8 种单能 射线核素点源在探测器表面各点的相对效率及其面源效率,拟合得到了 HPGe 探测器的峰效率曲面和总效率曲面的解析表达式。使用该曲面计算的⁶⁰Co、¹⁵²Eu 的真符合校正因子与实验测量结果基本一致。

关键词:效率曲面;真符合校正;面源;点源

中图分类号:TL816.2 文献标识码:A

1 原理

探测器示意图示于图 1。探测器表面各点对于单能射线的峰效率、总效率与探测器中心的峰效率、总效率的比值分别为相对峰效率 p 和相对总效率 t , 它们是坐标 r 的函数,表示为:

$$p = p(r) \quad (1)$$

$$t = t(r) \quad (2)$$

需要校正的核素为面源,探测器对单能面源的峰效率、总效率为 p_1 、 t_1 ,其与 p 、 t 间的关系为:

$$p_1 = \frac{m_p \int dS}{N} \quad (3)$$

$$t_1 = \frac{n_t \int dS}{N} \quad (4)$$

式中: S 为探测器面积; N 为源的 射线强度; s 为单位面积源 射线强度; m 为探测器对于单能射线峰效率归一化因子; n 为探测器对于单能射线总效率归一化因子。

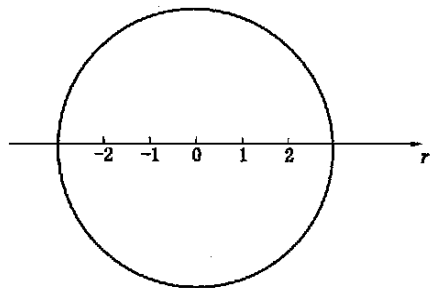


图 1 探测器示意图

Fig. 1 The schematic diagram of detector
负值表示坐标轴反方向

收稿日期:2000-01-10;修回日期:2000-06-18

作者简介:李琦(1974—),男,陕西长安人,研究实习员,核物理专业

探测器表面各点的峰效率 $\rho_p(E, r)$ 、总效率 $\rho_t(E, r)$ 与能量 E 、坐标 r 的关系分别为:

$$\ln \rho_p(E, r) = a_1(\ln E)^2 r^2 + a_2 r^2 + a_3 r + a_4(\ln E)^2 + a_5 \ln E + a_6 r^2 \ln E + a_7 r \ln E + a_8 r(\ln E)^2 + a_9 \quad (5)$$

$$\ln \rho_t(E, r) = b_1(\ln E)^2 r^2 + b_2 r^2 + b_3 r + b_4(\ln E)^2 + b_5 \ln E + b_6 r^2 \ln E + b_7 r \ln E + b_8 r(\ln E)^2 + b_9 \quad (6)$$

式中: $a_1 \sim a_9$ 和 $b_1 \sim b_9$ 均为系数,且为实数。

将探测器表面各点对于不同能量单能射线的峰效率、总效率代入式(5)、(6),得:

$$A \times a = \rho_p$$

$$a = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6 \ a_7 \ a_8 \ a_9] \quad (7)$$

$$B \times b = \rho_t$$

$$b = [b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5 \ b_6 \ b_7 \ b_8 \ b_9] \quad (8)$$

式中: a 、 b 为系数矩阵,且为实数; A 、 B 为由探测器各点坐标及不同射线能量计算得到的矩阵; ρ_p 、 ρ_t 分别为探测器表面各点对应不同单能射线的峰效率列向量和总效率列向量。

用最小二乘法解式(7)、(8)得到 a 、 b ,即探测器峰效率和总效率的曲面解析表达式。

2 实验及其结果

2.1 源的制作

制作了 ^{241}Am 、 ^{109}Cd 、 ^{57}Co 、 ^{141}Ce 、 ^{51}Cr 、 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 和 ^{65}Zn 8种单能滤材源,制作方法同文献[1]。另外,还制作了 ^{60}Co 、 ^{152}Eu 滤材源。为了刻度探测器表面各点的相对效率,对8种单能核素均制作了相应的点源。

2.2 探测器效率曲面

刻度探测器表面各点的相对效率时,在探测器表面沿径向标定好固定的几何位置,在每个位置处测量谱,通过Gamma Vision软件解谱得到相对峰效率。相对总效率与峰效率的刻度方法不同,其净峰面积的全谱计数率扣除掉本底谱计数率得到。本底谱总计数率为 6.022 s^{-1} 。另外,刻度总效率时,还需扣除X射线的计数贡献。在测量谱时,为准确测定总效率,需调节多道阈值,使之达到5.8 keV,将测到的谱外推至能量为0处,以得到总计数率。用 ^{54}Mn 、 ^{51}Cr 源刻度得到的探测器表面各点的相对峰效率曲线、相对总效率曲线示于图2。

2.2.1 效率刻度 测量采用ORTEC GEM60195型HPGe探测器。首先测量置于远距离处(25 cm)的 ^{152}Eu 点源,对探测器进行能量刻度。尔后,将各单能面源置于探测器表面,与探测器同轴,获取能谱。测量时,分别选择各源的测量时间,使主峰累计计数达到 2×10^4 个以上。用测得的各单能面源峰效率刻度得到的探测器峰效率曲线为:

$$\ln \rho_p = -0.1417E + 3.744 + 0.7076E^{-1} - 0.1051E^{-2} + 0.007046E^{-3} - 0.000185E^{-4} \quad (9)$$

拟合得到探测器的总效率曲线为:

$$\ln \rho_t = -0.0940(\ln E)^2 + 0.941 \ln E - 3.923 \quad (10)$$

2.2.2 效率曲面 由式(3)、(4)、(5)、(6),用Matlab^[2]软件编程,拟合得到的探测器表面各点的峰效率和总效率曲面示于图3。拟合得到的峰效率曲面解析表达式为:

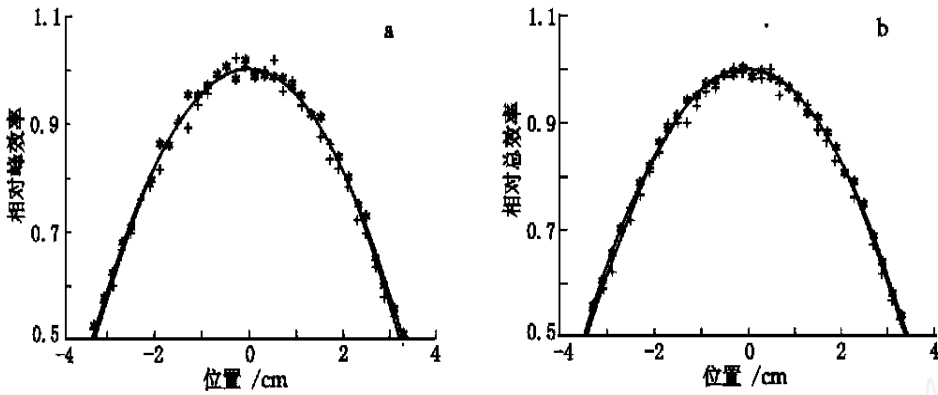


图 2 用⁵⁴Mn、⁵¹Cr 测得的探测器表面各点的相对峰效率(a)与相对总效率(b)

Fig. 2 The relative peak efficiency(a) and the relative total efficiency(b)

of any dot on the surface of the detector measured by ⁵⁴Mn, ⁵¹Cr

横坐标为距离中心点的位置;负值表示沿相反的方向

+ — ⁵¹Cr; * — ⁵⁴Mn

$$\ln \eta_p = 0.00186r^2(\ln E)^2 + 0.00799r^2\ln E - 0.001567r(\ln E)^2 - 0.0583r^2 - 0.00248r\ln E - 0.410(\ln E)^2 - 0.00347r - 1.39\ln E - 3.01 \quad (11)$$

总效率曲面解析表达式为:

$$\ln \eta_t = -0.00203r^2(\ln E)^2 + 0.00110r^2\ln E - 0.000431r(\ln E)^2 - 0.0523r^2 + 0.00024r\ln E - 0.0807(\ln E)^2 - 0.00258r - 0.364\ln E - 1.56 \quad (12)$$

本方法的不确定度主要来源于标准源活度、峰面积测量值、总面积测量值、发射几率和点源移动距离的不确定度。根据不确定度传递理论^[3]计算得到的峰效率 $\eta_p(E)$ 的不确定度为 1.4%, 总效率 $\eta_t(E)$ 的不确定度为 1.5%。

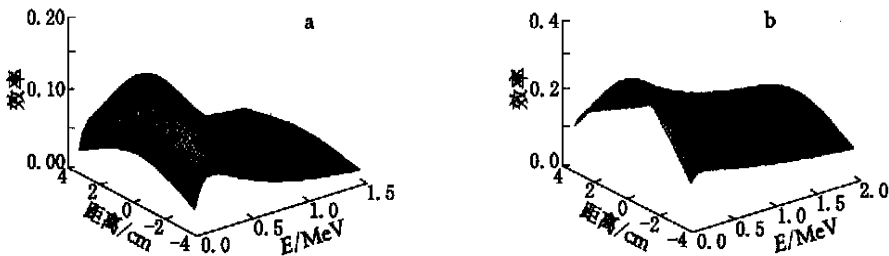


图 3 探测器的峰效率曲面(a)和总效率曲面(b)

Fig. 3 The peak efficiency surface(a) and total efficiency surface(b) of the detector

根据文献[4],效率刻度的精确度可用实验测定值 η_i 和拟合函数的计算值 η_{fit} 的相对偏差来表示,即

$$\delta_i = (\eta_i - \eta_{fit}) / \eta_{fit} \quad (13)$$

本实验值与拟合值间的相对偏差均处在 $\pm 5\%$ 之间,效率不确定度和效率刻度的精确度

皆满足文献[4]的要求。根据拟合得到的峰效率曲面和总效率曲面解析表达式,使用文献[5]中的方法,用 Matlab 的数值积分功能编程,计算得到 ^{152}Eu 的 334 keV 和 779 keV 全能峰的校正因子分别为 1.10 和 1.25,这一因子的实测值分别为 1.15 和 1.30; ^{60}Co 的 1 173 keV 和 1 332 keV全能峰的校正因子计算值分别为 1.16 和 1.17,实测值分别为 1.20 和 1.19。 ^{60}Co 的两个能量值虽已超出拟合曲面实测能量范围,但校正计算结果表明:本方法所拟合的效率曲面可用以进行未知能量峰的真符合校正,拟合的效率曲面具有较强的实用性。

3 结束语

通过制作一系列面源刻度得到了探测器对各单能射线的峰探测效率和总效率。用单能点源在探测器表面移动,测得探测器对各单能源沿半径方向的相对峰效率和相对总效率曲线。将实验数据进行拟合,得到了探测器的三维效率曲面图。用该效率曲面计算了 ^{152}Eu 和 ^{60}Co 特征能峰的真符合校正因子。计算结果与实验结果均符合良好,表明本方法是可行的。

参考文献:

- [1] 夏兵,连琦,谢金川,等. HPGe 谱仪测量滤材样品的效率刻度[A]. 第三届环境放射化学学术讨论会会议论文集[C]. 西安:西北核技术研究所,1999. 194~198.
- [2] 张宜华. 精通 MATLAB5[A]. 北京:清华大学出版社,1998. 27~44.
- [3] 复旦大学,清华大学,北京大学合编. 原子核物理实验方法[M]. 北京:原子能出版社,1987. 6~9.
- [4] 古当长. 放射性活度测量的方法和技术[M]. 北京:科学出版社,1994. 262~273.
- [5] 连琦,夏兵,李琦,等. HPGe 探测器测量滤材样品的真符合校正[A]. 第三届环境放射化学学术讨论会会议论文集[C]. 西安:西北核技术研究所,1999. 199~205.

Studies on the Efficiency Surface of the HPGe Detector

LI Qi, LIAN Qi, CHANG Yong-fu, XIA Bing

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: The efficiency surface of the HPGe detector in close distance between the plane radiation source is studied in the paper. According to having been measured relative efficiency of 8 kinds of dot sources with single energy ray, the peak efficiency and the total efficiency surfaces of the HPGe detector are fitted. The true coincidence correction factors of ^{60}Co and ^{152}Eu calculated by the efficiency surface agree with the experimental results measured.

Key words: efficiency surface; true coincidence correction; plane source; dot source