

# HPGe $\gamma$ 谱仪系统死时间校正方法的实验研究

周丰群<sup>1,2</sup> 杨景康<sup>1</sup> 拓飞<sup>1</sup> 易艳玲<sup>1</sup> 孔祥忠<sup>1,1)</sup>

1 (兰州大学现代物理系 兰州 730000)

2 (平顶山学院物理系 平顶山 467000)

**摘要** 给出了 HPGe  $\gamma$  谱仪系统死时间校正的一种实用方法. 用强源干扰找到了 HPGe  $\gamma$  谱仪系统百分死时间与计数率丢失校正因子的关系, 使该系统允许计数率大大提高, 从而解决了放射性定量测量中的一些困难.

**关键词** HPGe  $\gamma$  谱仪 死时间 校正因子

## 1 引言

在定量的  $\gamma$  谱分析中, 需要精确地定出样品的  $\gamma$  谱中特征  $\gamma$  射线全能峰的净面积. 但是, 由于放射性粒子的随机性和这种粒子在  $\gamma$  谱仪系统中产生的电荷、收集, 放大器的甄别成形以及脉冲信号的变换、存储等都需要一定时间, 这就引起了系统的失效时间即死时间, 所以必须对  $\gamma$  谱仪系统测得的  $\gamma$  峰面积计数的丢失进行校正. 为解决这个问题, 人们提出了各种测量死时间的方法<sup>[1-3]</sup>, 如双源法、衰变源法和参考峰法等等.

现代的  $\gamma$  谱仪系统, 其死时间的构成很复杂, 由死时间引起的计数丢失都采用活时间(即有效测量时间)计数法进行自动补偿<sup>[4]</sup>, 并在多道上显示死时间相对于实际测量时间的百分比(即百分死时间<sup>[2]</sup>), 且给出总测量时间和活时间. 由活时间计数法的补偿修正是否合理与谱仪系统的总计数率有关. 另外, 偶然加和的计数丢失也与总计数率有关, 因此, 在实验上很难区别它们各自的丢失. 通常是通过实验来测定经自动修正后的计数率与总计数率的关系, 并进行修正. 测量方法有<sup>[4]</sup>: 脉冲产生器方法、强源干扰法和用短半衰期的强放射源法. 一般是先通过实验, 测定计数丢失修正可以忽略时的允许总计数率的范围(或允许的百分死时间范围), 以后测量时, 把计数率控制在这一范围内, 避免了计数的丢失修正. 但在放射性活化分析的测量中, 有时很难做到: 使  $\gamma$  谱仪系统既在允

许总计数率的范围内(以避免死时间引起的计数丢失修正), 又使测量所需时间满足要求. 为了解决这个问题, 本文试图利用强源干扰找到  $\gamma$  谱仪系统百分死时间与计数率丢失校正因子的关系, 由它来对测量活性作修正.

## 2 测定计数率丢失校正因子的方法

当百分死时间不能忽略时,  $\gamma$  谱仪系统记录到某条特征  $\gamma$  射线的净计数率为  $n$ , 而它的真实净计数率为  $n_0$ , 则

$$n_0 = fn, \quad (1)$$

式中的  $f$  为要测定的计数率丢失校正因子. 测定计数率丢失校正因子  $f$  的步骤如下:

首先, 把一个活度不太强且具有多条  $\gamma$  射线的长寿命放射源固定在探测器的某一个位置上, 测出其中强度较大的几条  $\gamma$  射线的净计数率, 要求不确定度与百分死时间均不大于 1%. 然后, 再把一个活度较强的  $\gamma$  源(其发射的所有  $\gamma$  射线对要测定的特征  $\gamma$  射线无影响)依次放在探测器的不同位置, 使  $\gamma$  谱仪系统的百分死时间  $t$  的值不同, 分别测出上述长寿命源的各项  $\gamma$  射线的净计数率, 要求不确定度不大于 1%. 根据以上测量结果, 确定出计数丢失修正可以忽略时允许的百分死时间范围, 求出在此范围内各条  $\gamma$  射线的平均净计数率:  $n_{10}, n_{20}, n_{30}, \dots, n_{i0}, \dots$ . 再求出百分死时间依次增大时,  $n_{i0}$  与各条  $\gamma$  射线的净计数率  $n_i$  的比值

$f_i$ . 最后, 用最小二乘法进行曲线拟合, 确定出每条  $\gamma$  射线的计数率丢失校正因子  $f$  与百分死时间  $t$  的关系:  $f = f(t)$ .

为完成上述实验, 选用了具有多条  $\gamma$  射线的长寿命放射源进行测量.

### 3 测量及结果

用自制的  $^{152}\text{Eu}$  (含有少量的  $^{154}\text{Eu}$ ) 源作为多条  $\gamma$  射线的长寿命放射源, 固定在探测器 2cm 处, 此时百分死时间为 0.23% (注: 多道上显示的百分死时间是在 0 与 1% 之间交替变化, 显示 0 的时间长, 而显示 1% 的时间短, 二者的时间比约为 5:1. 0.23% 是

根据  $\gamma$  谱上显示的总时间减去活时间后, 再除以总时间得到的), 测量其中 6 条强度较大的  $\gamma$  射线的净计数率, 它们的能量分别为<sup>[5]</sup>: 121.8keV, 344.3keV, 778.9keV, 1085.9keV (1084.0keV 对其净计数率有贡献, 但不影响测出的  $f = f(t)$ ), 1112.1keV, 1408.0keV. 另外, 因  $^{152}\text{Eu}$  源内的  $^{154}\text{Eu}$  中有 123.1keV, 346.7keV, 1110.0keV 和 1408.4keV  $\gamma$  射线分别对上述相应的  $\gamma$  射线的净计数率有影响, 但不影响测出的  $f = f(t)$ . 然后, 保持上述  $^{152}\text{Eu}$  源的位置不变, 再把一个活度较强的  $^{137}\text{Cs}$  源依次放在探测器的不同位置, 使  $\gamma$  谱仪系统显示的百分死时间依次为 0.35%, 0.53%, 0.68%, 1.00%, ..., 14.15%, 分别测出上述 6 条  $\gamma$  射线的净计数率, 见表 1 和表 2.

表 1 百分死时间在不大于 1% 范围内 6 条  $\gamma$  射线的净计数率

死时间	121.8keV 计数率	344.3keV 计数率	778.9keV 计数率	1085.9keV 计数率	1112.1keV 计数率	1408.0keV 计数率
0.23%	52.64±0.11	17.06±0.07	3.485±0.035	2.643±0.026	2.675±0.005	3.195±0.022
0.35%	53.52±0.11	17.19±0.07	3.395±0.031	2.632±0.024	2.707±0.024	3.255±0.023
0.53%	52.81±0.11	16.98±0.07	3.433±0.027	2.580±0.023	2.655±0.021	3.193±0.019
0.68%	52.68±0.11	16.92±0.08	3.456±0.031	2.637±0.024	2.678±0.024	3.154±0.022
1.00%	53.03±0.11	17.02±0.09	3.386±0.027	2.645±0.019	2.660±0.019	3.202±0.019

表 2 百分死时间在 1% <  $t$  < 15% 范围内 6 条  $\gamma$  射线的净计数率

死时间	121.8keV 计数率	344.3keV 计数率	778.9keV 计数率	1085.9keV 计数率	1112.1keV 计数率	1408.0keV 计数率
1.38%	51.95±0.16	16.58±0.10	3.394±0.031	2.624±0.024	2.638±0.021	3.147±0.019
2.32%	49.80±0.15	16.00±0.13	3.330±0.030	2.498±0.022	2.567±0.021	3.035±0.018
3.52%	48.91±0.15	15.61±0.14	3.242±0.029	2.392±0.019	2.446±0.020	2.953±0.018
4.43%	47.93±0.14	15.43±0.12	3.174±0.032	2.361±0.019	2.409±0.019	2.872±0.014
5.54%	47.15±0.14	14.91±0.12	3.126±0.028	2.350±0.016	2.388±0.017	2.879±0.012
7.13%	45.79±0.14	14.50±0.12	2.997±0.027	2.264±0.016	2.312±0.014	2.809±0.011
8.51%	43.79±0.13	14.29±0.11	2.936±0.029	2.207±0.018	2.209±0.0215	2.704±0.011
9.49%	44.38±0.13	14.24±0.13	2.934±0.032	2.198±0.018	2.259±0.016	2.710±0.011
10.99%	42.52±0.13	13.35±0.13	2.736±0.036	2.079±0.021	2.099±0.024	2.568±0.010
12.53%	40.89±0.16	13.43±0.12	2.790±0.036	2.046±0.018	2.094±0.017	2.576±0.008
14.15%	39.51±0.04	13.05±0.14	2.668±0.035	2.025±0.018	2.005±0.016	2.494±0.007

由表 1 可知, 在百分死时间不大于 1% 的范围内, 上述 6 条  $\gamma$  射线中的任何一条, 其净计数率在一定误差范围内基本一致. 按不等精度多次测量的计算方法<sup>[6]</sup>, 分别计算出这 6 条  $\gamma$  射线在百分死时间不大于 1% 的范围内的平均净计数率  $n_{i0}$  ( $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$ ), 进而求出对不同的百分死时间时, 这 6 条  $\gamma$  射线的  $n_{i0}$  与  $n_i$  的比值  $f_i$ . 用最小二乘法拟合出 6 条  $\gamma$  射线的计数率丢失校正因子  $f$  与百分死时间  $t$  的函数关系及其曲线, 如图 1 所示. 为便于比较, 把这 6 条拟合曲线画在图 2 中. 由图 1 和图 2 可以看出, 对不同的  $\gamma$  射线拟合出的  $f = f(t)$  函数关系有差异, 但与  $\gamma$  射线的能量无关, 例如, 能量为 121.8keV 和能量为 1112.1keV 的两

条  $\gamma$  射线拟合出的曲线基本上重叠在一起. 另外, 在最大相对误差小于 1.5% 的范围内, 这 6 条  $\gamma$  射线拟合出的函数关系一致.

为得到较精确的  $f = f(t)$  曲线, 对同一个实验点 (即百分死时间取相同值  $t_i$  时), 对不同的  $\gamma$  射线分别求出其计数率丢失校正因子  $f_i$ , 再求出其对应的计数率丢失校正因子  $f_i$  的平均值, 最后用最小二乘法拟合出  $f = f(t)$  曲线, 如图 2 中的粗实线所示, 该曲线的计数率丢失校正因子  $f$  与百分死时间  $t$  的具体函数关系为

$$f(t) = 2.20t + 0.9986 \quad (1\% < t < 14\%). \quad (2)$$

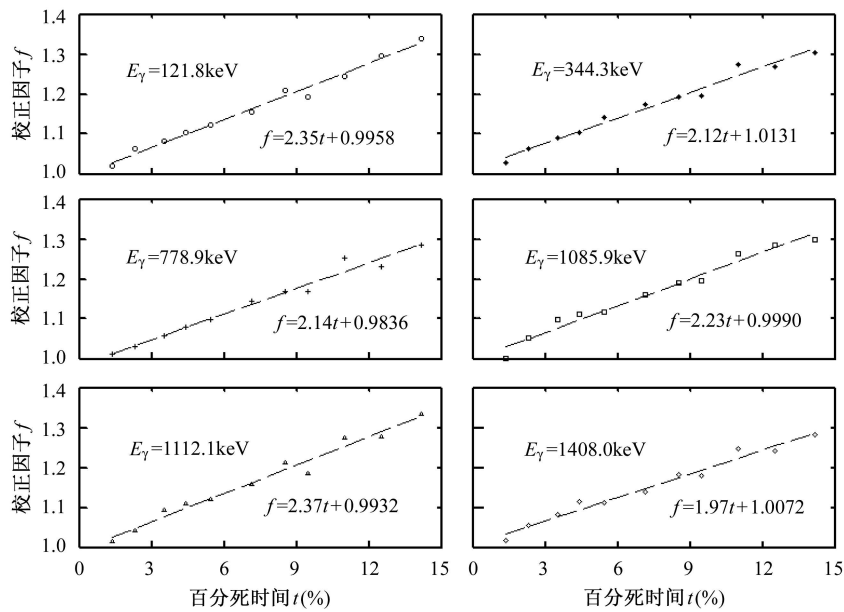


图 1 不同能量的 6 条  $\gamma$  射线的  $f = f(t)$  曲线

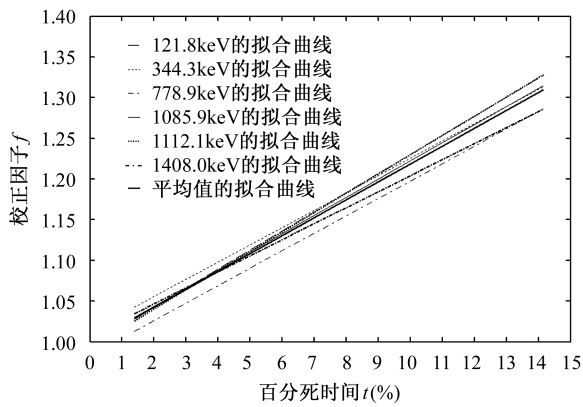


图 2 用平均值拟合的  $f = f(t)$  曲线与其他几条曲线的比较

### 4 讨论

在 2cm 处测量任何样品时, 如果百分死时间  $t$  满足:  $1\% < t < 14\%$ , 把  $t$  代入式(2)中, 求出  $f(t)$  后,  $\gamma$  谱

仪系统测得的特征  $\gamma$  射线的峰面积计数或计数率乘以  $f(t)$ , 即为修正后的计数或计数率。

在实际的放射性定量测量中, 当样品的活度较大时, 放在近距离处测量, 然后用上述方法对测得的峰面积计数或计数率进行校正, 可以提高数据的获取速度, 大大地减少测量的时间, 这对于多核素的混合样品和短半衰期的核素测量特别有利。当样品的活度过强时, 死时间过大, 不仅不能提高测量速度, 还可能对探测设备造成损伤。因此, 当死时间过大时, 计数丢失校正已失去其本来的意义。作为科研, 把死时间引起的计数丢失校正的范围尽可能扩大, 以解决特殊需要时所遇到的困难。但在实际的测量中, 一般将百分死时间控制在 1% 以内, 这样不需要进行计数丢失校正, 只有在必要时, 才需要采用上述方法进行计数丢失校正。

用式(2)对计数率丢失进行校正的误差约为 1.3%, 误差的主要来源是全能峰面积计数率的统计误差。

## 参考文献(References)

- 1 XIANG Si-Cang, WANG Yong-Chang, YUAN Jun-Qian et al. Nuclear Techniques, 1991, **14**(6): 355—358(in Chinese) (项斯苍, 王永昌, 袁俊谦等. 核技术, 1991, **14**(6): 355—358)
- 2 HE Fu-Qing, LONG Xian-Guan, LIU Man-Tian et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 1991, **11**(3): 177—179(in Chinese) (何福庆, 龙先灌, 刘慢天等. 核电子学与探测技术, 1991, **11**(3): 177—179)
- 3 HE Fu-Qing, LONG Xian-Guan, PENG Xiu-Feng et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 1996, **16**(2): 142—143(in Chinese) (何福庆, 龙先灌, 彭秀峰等. 核电子学与探测技术, 1996, **16**(2): 142—143)
- 4 GU Dang-Chang. Method & Technology of Activity Measurements of Radionuclide. Beijing: Science Press, 1994, 257—258 (in Chinese) (古当长. 放射性核素活度测量的方法和技术. 北京: 科学出版社, 1994, 257—258)
- 5 Firestone R B, Shirley V S. Table of Isotopes. New York, 1996
- 6 Fudan University, Qinghua University, Beijing University. Nuclear Experimental Method(The Third Edition). Beijing: Atomic Energy Press, 1997, 6—13 (in Chinese) (复旦大学, 清华大学, 北京大学. 原子核物理实验方法(第3版). 北京: 原子能出版社, 1997, 6—13)

## Experimental Study on the Method of Deadtime Correction for HPGe $\gamma$ Spectrometer System

ZHOU Feng-Qun<sup>1,2</sup> YANG Jing-Kang<sup>1</sup> TUO Fei<sup>1</sup> YI Yan-Ling<sup>1</sup> KONG Xiang-Zhong<sup>1,1)</sup>

1 (Department of Modern Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

2 (Department of Physics, Pingdingshan University, Pingdingshan 467000, China)

**Abstract** A practical method of deadtime correction for HPGe  $\gamma$  spectrometer system was given. The relation between the percent deadtime and the correction of counting rate losses for HPGe  $\gamma$  spectrometer system was found by using a strong  $\gamma$  source. Therefore, the activity measurement can be implemented at relatively high count rate, with this  $\gamma$  spectrometer.

**Key words** HPGe  $\gamma$  spectrometer, deadtime, coefficient of correction