

doi:10.3969/j.issn.1674-3504.2009.03.010

基于 SNIP 算法扣除 γ 能谱本底的探讨及应用

尹旺明, 刘宏章, 汤彬*

(东华理工大学核工程技术学院, 江西 抚州 344000)

摘要:在自然 γ 能谱全谱分析中,为了分离无用信息及提高解释精度,须进行 γ 全谱连续本底的自动扣除。介绍了 γ 能谱本底的来源及特征,探讨了 SNIP 算法扣除 γ 能谱本底的数学原理及过程,重点开展了 SNIP 方法在 γ 能谱本底扣除中的初步应用。通过对三个不同能量的全能峰的比较分析,指出应根据 γ 能谱中谱峰宽度的差异,选择合适的变换宽度,以便获得最佳的全谱本底扣除效果。实验证明,该技术可应用于自然 γ 能谱测井的软件处理平台中。

关键词: γ 能谱;本底;SNIP 算法;峰面积

中图分类号:P631.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-3504(2009)03-0245-04

核工业的迅速发展,特别是核电的异军突起,带动了核资源勘查和环境监测技术的发展,表现在核仪器硬件的不断改进和软件中谱分析方法的不断更新上(李必红等,2008)。在进行自然 γ 能谱全谱分析前需对全谱做本底扣除(庞巨丰,1990;腰善丛,2002),正确的扣除本底方法应满足三个特征(Morhac et al.,1997):首先是简单、快速且特征参数的个数少;其次是易实现计算机自动处理;第三,能剔除康普顿散射射线对谱峰计数的贡献。在 γ 能谱的全谱本底评估方法中,SNIP 算法已得到国外核数据计算系统的应用。因此,本文引用 SNIP 算法开展了 γ 全谱本底扣除的应用实验,并对实验结果进行了分析。

1 γ 能谱本底的来源及其特征

γ 能谱的全谱本底主要来自三个方面(庞巨丰,1990):第一,康普顿效应引起的连续谱分布。对单能 γ 能谱,康普顿分布在低能区是随道址缓慢变化的平滑谱。对于具有多种能量 γ 峰的复杂 γ 能谱,所有 γ 峰的康普顿分布均叠加在一起。因此,本底的总特征将是一个随能量而平滑下降的函数。第二, γ 射线在探测器灵敏体积内的小角度散射。此过程使 γ 光子仅损失很小的能量,因而,所

测得的全能峰将出现低能拖尾现象。第三,天然本底,主要来自仪器的电子学噪声、宇宙射线、大气中氦子体及探头材料中的放射性核素产生的辐射。

2 SNIP 算法的原理及扣除本底的过程

Ryan 等(1988)最早分析了 SNIP 算法扣除 γ 能谱本底的原理,Morhac 等(1997)对该算法进行了改进。在实际扣除 γ 能谱本底的过程中,一般首先用 LLS 运算符(Hampton et al.,1994)对每道计数值进行变换,该变换公式如下:

$$v(i) = \ln[\ln(\sqrt{y(i)+1}+1)+1] \quad (1)$$

式中 i 为道址数; $y(i)$ 为道址 i 对应的计数; v 为运算结果保存向量。

(1) 式中的自然对数运算符可处理高计数谱峰,而求平方根运算符对增强弱峰很敏感。

然后根据 SNIP 算法依次迭代计算 $v_1(i), v_2(i)$ 直到 $v_m(i), m$ 为人为设定的参数。即第 p 次迭代中第 i 道的 $v_p(i)$ 值确定方式为通过比较 $v_{p-1}(i)$ 跟 $v_{p-1}(i+p), v_{p-1}(i-p)$ 的平均值的大小,并取两者中的小值。其数学原理如下:

$$v_p(i) = \min\left\{v_{p-1}(i), \frac{1}{2}[v_{p-1}(i+p) + v_{p-1}(i-p)]\right\} \quad (2)$$

(2) 式中的 p 值有两种变化方式:一是从 1 开始每次迭代运算后加 1 直到等于给定的 m 值(变换窗宽逐增法);二是从给定的 m 值开始每次迭代运算后减 1 直到等于 1(变换窗宽逐减法)。

当 $v_m(i)$ 计算完后,再进行反 LLS 运算即可求

收稿日期:2009-02-26

基金项目:国家“863”项目(2007AA06Z111)

作者简介:尹旺明(1982—),男,硕士生,研究方向为核探测技术与智能仪器。*通讯作者:汤彬(1963—),男,博士,教授,研究生导师,主要从事放射性地球物理及计算机应用技术的教学与研究。

得全谱的基线谱。上述扣除本底的全部运算过程可用 matlab 语言描述如下(对变换窗宽逐增法):

```

for i = 1:N
    v(i) = log(log(sqrt(y(i) + 1) + 1) + 1);
% LLS 变换
end
for p = 1:m % SNIP 过程
    for i = p + 1:N - p
        a1 = v(i);
        a2 = (v(i - p) + v(i + p))/2;
        if a1 > a2 % 取两者中的小值
            w(i) = a2;
        else w(i) = a1;
    end
end
for i = p + 1:N - p
    v(i) = w(i); % w 写回到 v 中
end
end
for i = 1:N % LLS 逆变换
    b(i) = (exp(exp(v(i)) - 1) - 1)^2 - 1;
end
for i = 1:N % 计算全谱的净计数谱
    n(i) = y(i) - b(i);
end

```

上述代码中的向量 b 对应基线谱。向量 y 减去向量 b 后得到了 γ 全谱的净计数谱(保存在向量 n 中)。

3 实验数据分析与讨论

实验采用美国 ORTEC 公司生产的 GEM35P4 型 HPGe γ 谱仪,其对 ^{60}Co 1.33 MeV 的能量分辨率为 1.71 keV,相对探测效率为 38.9%,峰康比为 70:1(参阅 ORTEC 公司网站数据)。对核工业放射性勘查计量站中的铀-钍混合测井模型(编号:UThF-0.07-0.2-I)进行 γ 能谱测量。测量时间为 600 s,总道数选为 8 192 道。然后提取谱数据,在 Matlab 中用上述代码对能谱的本底进行扣除。

本底扣除效果可用单峰的净计数保留率 $r(m)$ 和本底扣除率 $t(m)$ 两个系数来评价(Morhac et al, 1997),这两个系数的表达式如下:

$$r(m) = \frac{\text{PNC}(m)}{\text{PNC}_0} \times 100\% \quad (3)$$

$$t(m) = \frac{\text{PNC}(m)}{\text{PTC}(m)} \times 100\% \quad (4)$$

式中 $\text{PNC}(m)$ 为扣除本底后的净峰计数(随 m 值变化); PNC_0 为未扣除本底的净峰计数; PTC 为扣除本底后的总峰计数。本文中的 PNC 值采用 TPA 法计算(庞巨丰,1990)。考虑到 HPGe 探测器测得的 γ 能谱,其低、中、高能段的能量分辨率并不相同。因此,在全谱范围内,有针对性的选取数个不同能量的 γ 全能峰,分别取不同的 m 值,观察这些全能峰的本底扣除效果(表 1)。

本次实验中 1 001.0 keV,1 377.7 keV 和 2 204.2 keV 三个 γ 全能峰的本底扣除效果分别见图 1,2,3。

从表 1 和图 1,2,3 中可知,在 γ 全谱范围内,对于不同宽度的单能谱峰,令 $W = 2m + 1$ (W 称为“窗”宽,即变换宽度), m 值取在 $(w - 1)/2$ 附近,能获得最佳的谱峰本底扣除效果——不影响谱峰的形状和净峰面积。在实际自然 γ 能谱全谱分析中,笔者建议先利用寻峰算法确定每个待进行解释的特征峰的峰位及其左、右边界,然后针对每个不同宽度(W) 的谱峰,采用 SNIP 算法对每个特征峰的本底进行自适应扣除。

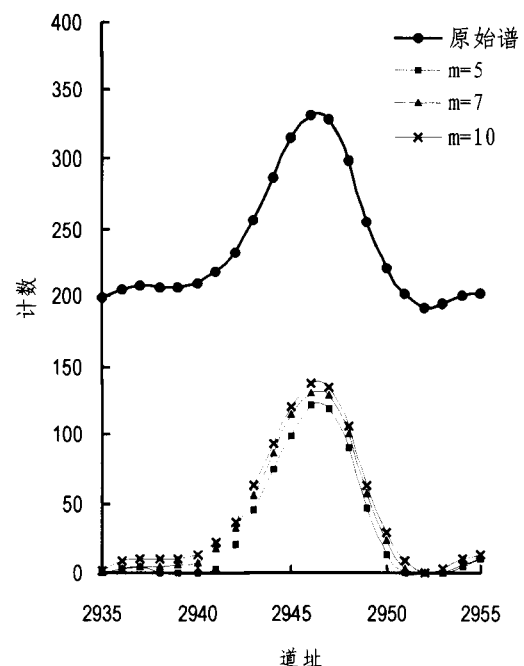


图 1 Pa-234m 的 1 001.0keV 原始全能峰及扣除本底后的净计数峰

Fig.1 The original 1 001.0 keV full-energy peak of Pa-234m and net peaks after the background subtraction

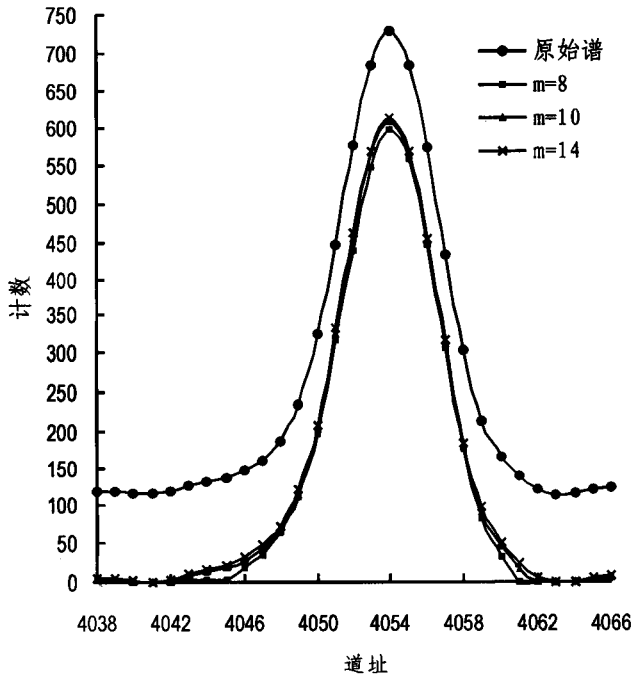


图 2 Bi-214 的 1 377.7 keV 原始全能峰及扣除本底后的净计数峰

Fig. 2 The original 1 377.7 keV full-energy peak of Bi-214 and net peaks after the background subtraction

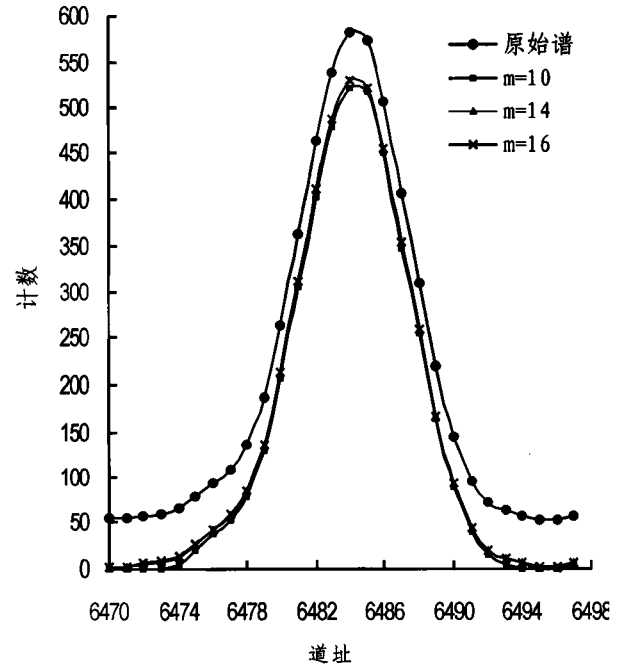


图 3 Bi-214 的 2 204.2 keV 原始全能峰及扣除本底后的净计数峰

Fig. 3 The original 2 204.2 keV full-energy peak of Bi-214 and net peaks after the background subtraction

表 1 SNIP 算法中不同 m 值对 γ 全能峰的本底扣除的影响

Tab. 1 Effect of different values of m in SNIP algorithm on background elimination of γ full-energy peaks

核素	γ 能量/keV	FWHM/keV	谱峰区间	m	$r(m)/\%$	$t(m)/\%$
Pb-214	351.9	1.44	1027 ~ 1044	6	95.6	100.0
				7	97.5	99.3
				8	98.4	98.8
Bi-214	609.3	1.60	1783 ~ 1803	8	99.0	100.0
				10	99.7	99.8
				12	99.9	99.6
Pa-234m	1001.0	1.76	2938 ~ 2951	7	96.2	95.7
				8	98.8	94.0
				12	100.7	87.8
Bi-214	1377.7	2.12	4040 ~ 4062	10	96.6	100.0
				12	97.9	100.0
				14	98.6	100.0
Bi-214	1764.5	2.27	5179 ~ 5202	10	99.1	100.0
				12	99.5	99.6
				14	99.5	99.1
Bi-214	2204.2	2.48	6470 ~ 6494	10	97.7	100.0
				12	99.6	100.0
				14	99.9	99.4
Tl-208	2614.5	2.66	7673 ~ 7707	12	99.7	99.8
				14	99.9	99.5
				16	100.0	99.4

4 结论

在高分辨率 γ 全谱分析之前采用 SNIP 算法做全谱本底扣除后,使得计算机自动寻峰及净峰面积计算变得十分容易。当参数取值合理时基本不影响峰形,且从净计数谱中获得的净峰面积跟原始谱中计算的净峰面积结果保持一致。此外根据 SNIP 算法编写的计算机程序非常简洁,同时消耗的计算时间很少,具有快速、高效的优点,并在应用中取得了理想的效果,因此非常适合移植到 γ 能谱测井的软件平台中。

参考文献

李必红,陆士立,韩绍阳. 2008. 车载伽玛能谱测量数据处理方法探

讨[J]. 东华理工大学学报,31(3):265-268

- 庞巨丰. 1990. γ 能谱数据分析[M]. 西安: 陕西科学技术出版社.
- 腰善丛. 2002. 天然伽玛射线谱的全谱分析[J]. 国外铀金地质, 19(04):222-230.
- Hampton C V, Lian B, McHarris W C. 1994. Fast-Fourier-transform spectral enhancement techniques for gamma-ray spectroscopy[J]. Nucl. Instr. and Meth A, 353:280-284.
- Morhac M, Kliman J, Matousek V, et al. 1997. Background elimination methods for multidimensional gamma-ray spectra[J]. Nucl. Instr. and Meth A, 401:113-132.
- Ryan C G, Clayton E, Griffin W L, et al. 1988. SNIP, a statistics-sensitive background treatment for the quantitative analysis of PIXE spectra in geoscience applications[J]. Nucl. Instr. and Meth B, 34:396-402.

Discussion and Application of Eliminating the Background in γ -ray Spectrum by SNIP Algorithm

YIN Wang-ming, LIU Hong-zhang, TANG Bin

(Faculty of Nuclear Engineering and Technology, East China Institute of Technology, Fuzhou, JX 344000, China)

Abstract: In order to separate useless spectrum information and improve the accuracy of interpretation in full spectrum analysis, continuous background have to be eliminated automatically. In this paper, the origins and characteristics of the background in γ -ray spectrum are introduced, the theory and process of the sensitive nonlinear iterative peak clipping (SNIP) algorithm which be used as a method for elimination of the background is discussed. The author use derived procedure to estimate the background of a multichannel γ -ray spectrum, according to comparison of three full-energy peaks, suitable width of the clipping window for peaks with different widths can attain the optimal effect of continuous background elimination. The result obtained is satisfactory and proves that this mean applying to the software platform of natural γ -ray spectral logging system is practical.

Key Words: γ -ray spectrum; background; SNIP algorithm; peak area