

文章编号:1000-6931(2001)01-0069-04

## 一种自适应的 射线能谱数据平滑方法

肖 刚<sup>1</sup>,周春林<sup>2</sup>,李天柁<sup>2</sup>,韩 峰<sup>2</sup>,弟宇鸣<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学 能源与动力工程学院 核能与热能工程系,陕西 西安 710049;  
2. 第二炮兵工程学院,陕西 西安 710025)

**摘要:**分别采用自适应小波方法和传统的多项式拟合移动平滑方法平滑 射线能谱,在此基础上,计算<sup>60</sup>Co 刻度源 1 332 keV 峰的半高宽和<sup>238</sup>U 的活度。结果表明:采用自适应小波方法平滑后的计算结果优于传统方法的结果。

**关键词:**能谱;自适应小波方法;平滑

**中图分类号:**O571.32<sup>+</sup>4 **文献标识码:**A

在 射线能谱分析中,需要采用平滑方法消除数据统计涨落。传统的数据平滑方法为多项式拟合移动平滑方法<sup>[1]</sup>,该方法有两点不足:1) 易引起较大的谱形畸变,从而可能引起丢失弱峰或出现假峰;2) 缺乏自适应性,数据平滑的次数往往依赖于实际工作经验。

近些年,在信号处理领域,小波分析成功应用于数据压缩、图像处理和自适应滤波等方面<sup>[2]</sup>,取得了比传统方法更好的效果。基于信号和噪声在多尺度空间内不同的传播特性建立的小波自适应滤波方法同样可应用到放射性 射线能谱的数据平滑中。

### 1 能谱的小波变换与逆变换

对一平方可积函数  $f$  进行小波分解,就是用一母波函数  $\psi_{a,b}(x)$  来对其进行展开,即  $Wf(a,b) = (f, \psi_{a,b})$ 。由于小波函数进行相应的平移和伸缩,使得它优于传统的傅立叶变换方法,在能量频率平面内具有可变的分辨率。

设小波函数满足一定的正则条件,记  $\psi_s(x) = \frac{1}{s} \psi(\frac{x}{s})$ ,为用尺度  $s$  对  $\psi(x)$  作伸缩后得到的函数,在  $s$  下函数  $f(x)$  的小波变换定义为如下卷积形式:

$$Wf(s,x) = f * \psi_s(x) = \frac{1}{s} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi(\frac{x-t}{s}) dt \quad (1)$$

为便于数值计算,通常对尺度  $s$  进行二进制离散。二进制小波变换可表示为:

收稿日期:1999-09-07;修回日期:1999-11-04

作者简介:肖 刚(1969—),男,四川青神人,讲师,核反应堆工程专业

$$W_j f(x) = \frac{1}{2^j} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{x-t}{2^j}\right) dt \quad (2)$$

若小波  $\psi(x)$  满足  $\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(x)|^2 dx = 1$ , 这里,  $\hat{f}(x)$  为  $f(x)$  的傅立叶变换,  $A, B$  为常数, 则存在重构小波  $\psi_j(x)$ , 使得  $f(x) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} W_j f * \psi_j(x)$ , 其中,  $\sum_{j=-\infty}^{+\infty} \hat{\psi}_j(2^j \xi) \hat{\psi}_j(2^j \xi) = 1$ 。

## 2 自适应小波消除统计涨落的原理

假定欲研究的是 能谱信号  $f(t)$ , 测量得到的相应的数据为

$$y(t_i) = f(t_i) + z_i \quad i = 1, n$$

其中:  $z_i$  是统计涨落;  $z_i$  是涨落强度;  $t_i$  是道址; 总的道宽  $n = 2^{j+1}$ 。

从数据  $y(t)$  中消除统计涨落, 检测出  $f(t)$  的方法由 3 个步骤组成。

1) 对数据  $y(t)$  做小波变换, 得出带有噪声的小波系数  $c_{j,k}, j = 1, j_0, j_0$  为选择的最大尺度,  $i = 0, n - 1$ 。

2) 计算各尺度小波系数的标准差  $s_i, i = 1, j_0$ ; 对各尺度, 计算浮动阈值  $t = \sqrt{2 \lg n} \cdot s_i / \sqrt{n}$ ; 用非线性阈值函数  $\tau_i(\cdot) = \text{sgn}(|\cdot| - t)$  作用于小波系数, 由此给出小波系数  $c_{j,k}$  的估计值  $\hat{c}_{j,k}$ 。

3) 在此基础上进行小波反演, 重构得到能谱  $f(t)$  的估计值  $\hat{f}(t)$ 。

## 3 基于小波数据平滑与传统方法平滑处理的 能谱分析实例

### 3.1 $^{60}\text{Co}$ 源 能谱 1 332 keV 峰半高宽 (FWHM) 计算结果比较

探测器相对效率为 38.3 %, 能量分辨率为 1.77 keV (对  $^{60}\text{Co}$  1 332.5 keV 峰), 抑制系数大于 4.5。将  $^{60}\text{Co}$  刻度源置于高纯锗探测器端面上 25 cm 处, 探测器高压为 2 000 V, 放大倍数为  $50 \times 1.45$ , 获取时间为 1 100 s, 测量获取 能谱。分别用小波平滑和五点平滑 (2 次) 后的 能谱示于图 1。采用小波方法平滑后计算得到的 1 332 keV 峰半高宽和峰高及采用五点平滑 1~5 次、由计算机仿真程序直接计算的 1 332 keV 峰的半高宽列于表 1。

表 1 用小波方法和五点平滑方法平滑后的  $^{60}\text{Co}$  刻度源 1 332 keV 峰的半高宽 (FWHM)

Table 1 FWHM of 1 332 keV peak of  $^{60}\text{Co}$  after adaptive wavelet smoothing and five points smoothing

处理方法	峰高/计数	FWHM/道数	处理方法	峰高/计数	FWHM/道数
原始谱	997	9.92	3 次平滑	907	11.17
小波平滑	992.42	10.06	4 次平滑	888	11.42
1 次平滑	952	10.56	5 次平滑	870	11.68
2 次平滑	928	10.91			

从图 1 及表 1 可以看出: 相对于传统的平滑方法, 小波平滑方法消除统计涨落彻底且引起的峰形畸变小, 这对于在高本底谱中分辨重峰和识别弱峰具有重要意义。

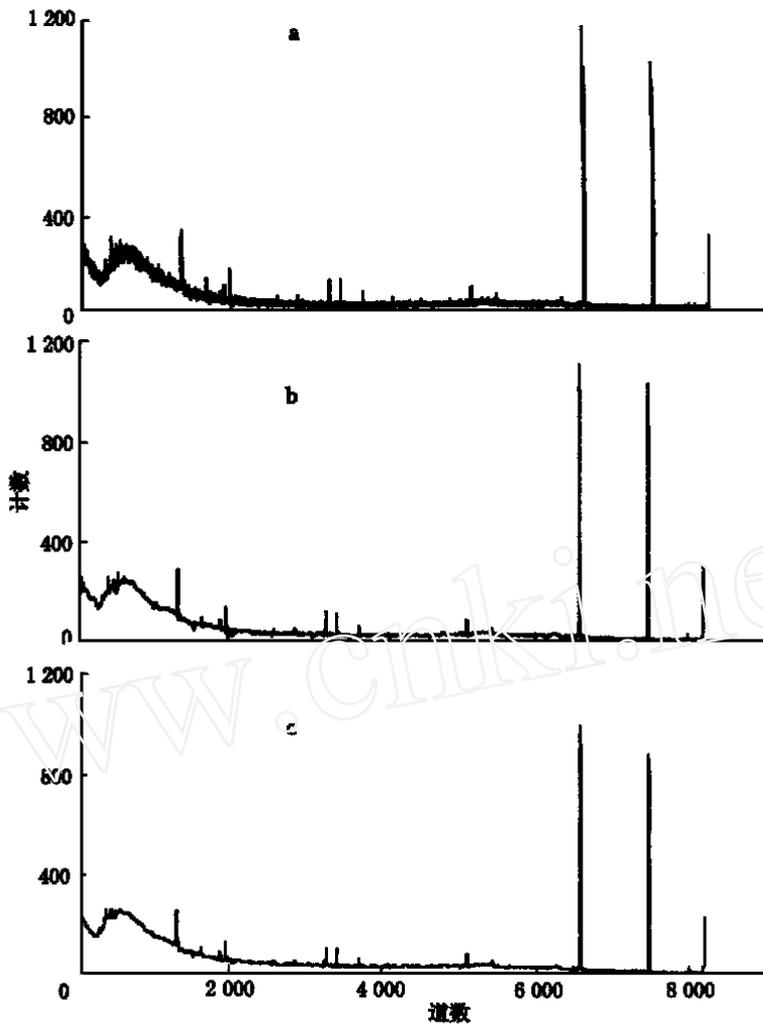


图1 小波方法平滑和五点平滑(两次)后的 $^{60}\text{Co}$ 源能谱

Fig. 1  $^{60}\text{Co}$  spectrum after wavelet smoothing and five points smoothing

a——测量获取的能谱;b——小波平滑后的能谱;c——五点平滑(两次)后的能谱

### 3.2 标准样品 $^{238}\text{U}$ 活度计算结果比较

能谱 HB1119、BTJ、TH1119、BD1125 是在低本底下用反符合高纯锗谱仪测量获得的。其中:HB1119 是自配的混合标准泥土样, $^{238}\text{U}$  活度值为  $(83.99 \pm 2.59)$  Bq;BTJ 是中国计量科学研究院提供的标准泥土样,其活度值为  $(40.27 \pm 5.32)$  Bq;TH1119 是标准钍样;BD1125 是本底谱。测量条件均为:高压 2 800 V,主放大倍数  $30 \times 0.7$ ,获取时间 21 600 s。传统的能谱法采用相对比较法进行计算,即以 HB1119 为标准样品计算假定未知样品 BTJ 的活度值,计算机处理能谱时,采用五点平滑。计算 $^{238}\text{U}$  活度时,考虑到 $^{234}\text{Th}$  与 $^{238}\text{U}$  之间满足平衡条件,可选择 $^{234}\text{Th}$  的 92.6 keV 的全能峰来确定 $^{238}\text{U}$  的活度,并将 $^{234}\text{Th}$  子体 $^{228}\text{Ac}$  的

93.4 keV X射线对 $^{234}\text{Th}$  92.6 keV 峰的干扰予以扣除。基于小波方法与传统方法平滑处理后得到 BTJ 样品的 $^{238}\text{U}$  活度计算值列于表 2。

表 2 BTJ 样品 $^{238}\text{U}$ 活度计算值

Table 2 Activities of  $^{238}\text{U}$  after adaptive wavelet smoothing and five points smoothing

处理方法	A/Bq	处理方法	A/Bq
小波平滑	31.42	3 次平滑	27.66
1 次平滑	28.24	4 次平滑	27.75
2 次平滑	28.03	5 次平滑	27.60

$^{234}\text{Th}$  的全能峰位于低能段,且峰较弱,定量计算 $^{238}\text{U}$  活度的影响因素比较多,获得准确可靠的计算结果比较困难。从表 2 可看出:通过小波平滑后的计算结果优于传统平滑方法处理后的计算结果。

#### 4 结语

传统的 能谱数据平滑是在能域或频域里进行的,通过本工作的计算可以看出:利用小波方法把 能谱展开在联合能量-频率空间内,同时利用能谱在能域和频域的信息的平滑方法优于传统的方法。

能谱的联合能量-频率展开方法不仅小波方法一种,在其它方法的基础上设计的 能量-频率数据平滑方法可能效果更好,这需要进一步开展工作。

#### 参考文献:

- [1] 庞巨丰. 能谱数据分析[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1990. 541~716.
- [2] 赵延年,熊小芸. 子波变换与子波分析[M]. 北京:电子工业出版社,1997. 214~219.

## An Adaptive Method for Spectra Smoothing

XIAO Gang<sup>1</sup>, ZHOU Chun-lin<sup>2</sup>, LI Tian-Tuo<sup>2</sup>, HAN Feng<sup>2</sup>, DI Yu-ming<sup>2</sup>

(1. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** Adaptive wavelet method and multinomial fitting gliding method are used for smoothing spectra, respectively, and then FWHM of 1332 keV peak of  $^{60}\text{Co}$  and activities of  $^{238}\text{U}$  standard specimen are calculated. Calculated results show that adaptive wavelet method is better than the other.

**Key words:** spectra; adaptive wavelet method; smoothing