

基于小波变换的 γ 能谱分析

闫学昆¹, 刘明健², 张娜³, 贾铭椿¹, 龚军军¹

(1. 海军工程大学 核能科学与工程系, 湖北 武汉 430033;

2. 海军核化安全研究所, 北京 100077;

3. 上海交通大学 微电子学院, 上海 200030)

摘要: 为进行 γ 能谱分析, 需要减少、抑制放射性计数的统计涨落。针对常用平滑滤波方法中存在的不足, 使用小波变换的方法对复杂的 γ 能谱进行平滑滤波, 获得了令人满意的效果。这更有助于精确找出全部的全能峰的峰位和计算全能峰的面积, 使得 γ 能谱的分析更为精确。

关键词: γ 能谱分析; 小波变换; 平滑滤波; Daubechies 小波; MATLAB 软件

中图分类号: TN711; TL82; O571

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2007)04-0505-04

γ -Spectrum Analyzing Based on Wavelet Transform

YAN Xue-kun¹, LIU Ming-jian², ZHANG Na³, JIA Ming-chun¹, GONG Jun-jun¹

(1. Department of Nuclear Energy Science and Engineering, Naval Engineering University, Wuhan 430033, China;

2. Institute of Navy Nuclear and Chemical Defence, Beijing 100077, China;

3. School of Microelectronics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Statistical fluctuation should be filtered when the γ -spectrum is analyzed. In order to overcome the shortcoming of general smooth filtering methods, wavelet transform theory is used to filter the complex γ -spectrum. The statistical fluctuation of γ -spectrum is filtered well, and the shape of its characterize peak is kept well too. This method can make the γ -spectrum analyzing more precise on ascertaining species and intensity of the radioactive nuclides.

Key words: γ -spectrum analysis; wavelet transform; smooth filtering; Daubechies wavelet; MATLAB software

γ 射线能量和强度可通过测量 γ 射线能谱来确定。 γ 能谱中最有意义的是全能峰, 其峰位反映了 γ 射线的能量, 由它可判断发射射线的核素种类; 其面积反映了峰内 γ 脉冲计数的总和, 它与 γ 射线的强度成正比, 是 γ 射线强度

测量的基础。所以, γ 能谱分析的关键是精确找出全部全能峰的峰位和计算全能峰的面积。但因物理过程的统计特性, 测量得到的 γ 能谱带有统计涨落。为得到较理想的 γ 能谱, 通常采用延长测量时间或增大放射源强度的方法,

通过记录尽可能多地 γ 粒子入射事件来减小统计涨落。当这两个因素都受到限制时,需采取一定的数学方法进行平滑滤波处理,以减少和抑制放射性计数的统计涨落,同时又保留 γ 能谱的最基本特征^[1]。

针对传统能谱平滑方法存在的不足,本工作研究使用小波变换的方法对 γ 能谱进行平滑滤波,以使 γ 能谱的分析更为精确。

1 传统能谱平滑滤波方法

传统能谱平滑方法有重心法、最小二乘平滑滤波法、傅立叶变换法及离散函数褶积移动变换法。其中,最小二乘平滑滤波法^[2-3]最为常用,该方法主要有两点不足:1) 易引起能谱的形变,从而可能会丢失弱峰;2) 缺乏自适应性,数据的平滑主要依赖于实际工作经验。

使用 GEM35-p4 型 8192 道 HPGe 谱仪测量模拟天然土壤(主要核素为铀、钍、镭、钾)的放射性,得到的 γ 能谱数据示于图 1。

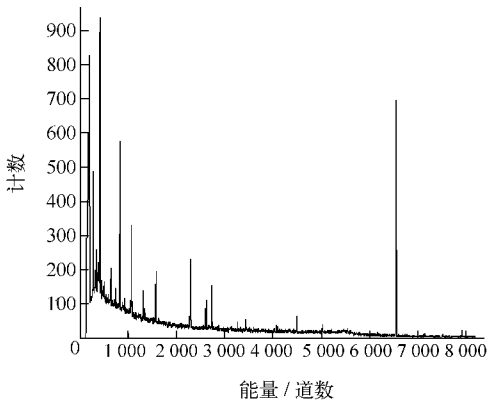


图 1 模拟天然土壤放射性的 γ 能谱原始数据谱形
Fig. 1 Measured data of the simulated-crude-soil

为了便于能谱显示,截取 300~450 道之间的数据,采用 5 点和 7 点的最小二乘平滑处理结果分别示于图 2、3。所采用的 5 点和 7 点光滑公式^[2]分别为:

$$\bar{Y}(i) = \frac{1}{16}(y_{i-2} + 4y_{i-1} + 6y_i + 4y_{i+1} + y_{i+2}) \quad (1)$$

$$\bar{Y}(i) = \frac{1}{64}(y_{i-3} + 6y_{i-2} + 15y_{i-1} + 20y_i + 15y_{i+1} + 6y_{i+2} + y_{i+3}) \quad (2)$$

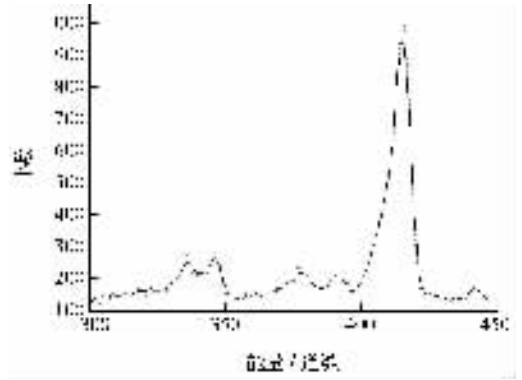


图 2 5 点最小二乘移动平滑滤波
Fig. 2 Comparison between smoothed spectrum (five point least square) and original data
虚线——原始数据;实线——5 点最小二乘平滑滤波

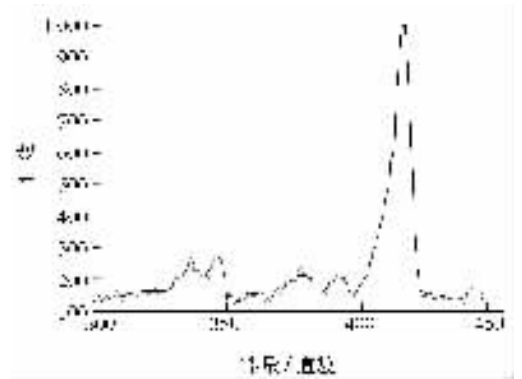


图 3 7 点最小二乘移动平滑滤波
Fig. 3 Comparison between smoothed spectrum (seven point least square) and original data
虚线——原始数据;实线——7 点最小二乘平滑滤波

从图 2、3 可看出,采用 5 点和 7 点最小二乘平滑滤波后,低计数率部分与原数据均符合较好,但高计数率部分能谱均发生了形变,最高计数明显下降。这将使计算得到的全能峰净面积偏小,影响 γ 射线强度的精确测量。一般说来,对同一平滑滤波方法,参加平滑的采样点数越多,短周期的统计起伏越受抑制,拟合后的能谱曲线越光滑;取同样多的点数时,高阶函数平滑后的能谱曲线比低阶函数平滑后的能谱曲线更接近真实分布,平滑效果也更精确,但计算量将随函数阶数的增高而增大。

从数字信号处理的角度看,最小二乘平滑滤波法是用一低通滤波器来抑制能谱数据的高频噪声,该方法的有效性取决于经过 DFT(离

散傅立叶变换)后能谱信号是否还集中在低频区和能否与统计涨落信号分开^[4]。但 DFT 分析只具有最佳频域分辨率,完全没有道域分辨率,导致低通滤波器在滤掉统计涨落的同时也滤掉了高频部分的能谱。所以,最小二乘平滑滤波法最适合分析低频信号,即形状变化较缓和的能谱。

2 小波变换方法分析 γ 能谱

2.1 小波变换

小波变换是从傅立叶变换发展起来的一种新的信号处理方法,是窗口大小固定但形状可改变,时间窗和频率窗也均可改变的时频局域化分析方法^[5]。小波变换方法被誉为数学显微镜,即在信号的低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率;在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率。正是这种特性,使小波变换对信号具有了自适应性。

小波变换的含义为:把基本小波的函数 $\psi(t)$ 作位移 τ 后,在不同尺度 a 下与待分析信号 $x(t)$ 做内积。公式表达为:

$$WT_x(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt \quad a > 0 \quad (3)$$

等效的频域表示为:

$$WT_x(a, \tau) = \frac{\sqrt{a}}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) \psi(a\omega) e^{i\omega\tau} d\omega \quad (4)$$

式中: $X(\omega)$ 、 $\psi(\omega)$ 分别为 $x(t)$ 和 $\psi(t)$ 的傅立叶变换。

只要适当选择基本小波函数,使 $\psi(t)$ 在时域上为有限支撑、 $\psi(\omega)$ 在频域上又比较集中,便可使小波变换在时频和频域均具有表征信号局部特征的能力,这样,有利于分析高低频信号并存的 γ 能谱。

2.2 Daubechies 小波平滑滤波

小波分析时所用的小波函数 $\psi(t)$ 具有多样性,使用不同的小波函数分析同一问题会产生不同的结果。针对 γ 能谱的平滑滤波问题,综合考虑选择小波函数的几点标准^[5],以选用压缩参数为 1.5、分解级数为 4 的 5 阶 Daubechies(db5)小波为例,对 300~450 道间的能谱数据重新进行平滑滤波,结果示于图 4。

小波函数 $\psi(t)$ ^[5]为:

$$\psi(t) = \sum_{k=2}^{2N-1} g_k \varphi(2t-k) \quad (5)$$

式中: $\varphi(t)$ 为尺度函数; N 值不同,权重 g_k 也不同。

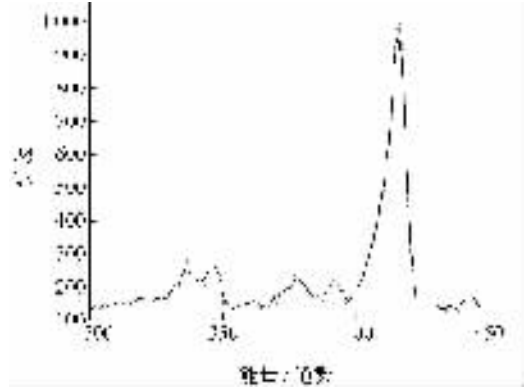


图 4 5 阶 Daubechies 小波平滑滤波

Fig. 4 Comparison between the filtered spectrum (Daubechies wavelet) and the original data
虚线——原始数据;实线——db5 小波平滑滤波

将图 4 与图 2、3 比较后可看出:采用小波滤波平滑后,不仅统计涨落被有效抑制,且能谱形状也未发生变化,这更便于后续的寻峰、全能峰净面积计算,使得 γ 能谱的分析更为精确。平滑滤波过程中充分利用了 MATLAB 软件强大的数学处理功能,具有编程简短、高效等优点。只需将测得的能谱原始数据在 MATLAB 中保存为“*.m”格式的文件,便可进行分析。

3 讨论

能谱平滑滤波之后,采用一阶导数寻峰方法找到最大全能峰的峰位,均为第 416 道。然后再采用 Covell 法^[2](窗口为 5)计算全能峰的净面积,计算结果列于表 1。

由表 1 可以看出,采用小波变换的方法对 γ 能谱进行平滑滤波后,再计算全能峰净面积,效果明显优于传统的平滑滤波方法,进而可以更为精确确定 γ 射线强度。

可见,在分析 γ 能谱时,采用小波变换的方法进行平滑滤波,这样,既能有效减少、抑制统计涨落,又能较好保持 γ 能谱形状。解析过程中还利用小波变换的方法提高了 γ 能谱的弱峰检测能力^[6]。这些均使得全能峰峰位的确定和

净面积的计算更为精确,从而提高了分析 γ 能谱的精度。

表 1 3种滤波平滑方法结果

Table 1 Results from three smooth filtering methods

数据处理方法	全能峰峰位/道	计数	计数的相对误差/%	全能峰净面积	净面积的相对误差/%
原始数据	416	1 018	0	4 548	0
5点最小二乘法	416	960.69	5.63	4 399.1	3.27
7点最小二乘法	416	936.91	7.97	4 332.6	4.74
db5小波平滑	416	1 007.4	1.04	4 536.2	0.26

参考文献:

- [1] 胡炳根. 核辐射探测技术[M]. 长沙:国防科学技术大学出版社,1996:317-326.
- [2] 屈建石,王晶宇. 多道脉冲分析系统原理[M]. 北京:原子能出版社,1987:206-245.
- [3] 郭余峰. 自然伽马能谱的平滑滤波处理[J]. 大庆石油学院学报,2003,27(3):113-117.
GUO Yufeng. The disposal of gentle filter on natural gamma energy spectrum[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2003, 27(3): 113-117 (in Chinese).
- [4] 胡广书. 数字信号处理[M]. 北京:清华大学出版社,2003:93-138.
- [5] 飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与 MATLAB7 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2005:14-47.
- [6] 于国梁,张一云,黎亚平,等. 用小波分析方法提高 γ 谱弱峰检测能力的研究[J]. 四川大学学报:自然科学版,2005,42(2):334-339.
YU Guoliang, ZHANG Yiyun, LI Yaping, et al. The application of wavelet analysis in improving the capability of detecting low signal of γ -ray spectra[J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition, 2005, 42(2): 334-339 (in Chinese).