文章编号:1673-0062(2011)02-0001-05

# γ能谱滤波方法比对研究

袁新宇,刘良军,周剑良\*

(南华大学 核科学技术学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:对现行各种γ能谱滤波方法进行比对研究,发现各种滤波方法对能谱数据均有一定压缩与展宽;能域滤波时,谱线展宽增加重峰出现几率;频域滤波时,应注意滤波器及其参数的选取;小波变换能很好地保持信号的高频突变成分不受破坏,相比较而言,改进阈值方法能很好地保留硬阈值与软阈值的优点,适于弱峰的检测.针对重心法滤波器的不足,提出一种1倍标准差检测滤波算法,该方法能很好地保留能谱突变成分,维持谱峰净面积基本不变,对平台滤波效果等同于5点重心法,且算法简单.
 关键词:改进重心法;小波分析;傅立叶变换法;改进阈值
 中图分类号:TL84

## Comparative Study on $\gamma$ -ray Spectrum by Several Filtering Method

#### YUAN Xin-yu, LIU Liang-jun, ZHOU Jian-liang\*

(School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: Comparative study was conducted on results of gamma-ray spectrum by using a majority of active smoothing method, which were used to show filtering effect. The results showed that peak was widened and overlap peaks increased with energy domain filter in  $\gamma$ -ray spectrum. Filter and its parameters should be seriously taken into consideration in frequency domain. Wavelet transformation can keep signal in high frequency region well. Improved threshold method showed the advantages of hard and soft threshold method at the same time by comparison, which was suitable for weak peaks detection. A new filter was put forward to eke out gravity model approach, whose denoise level was detected by standard deviation. This method not only kept signal and net area of peak well, but also attained better result and had simple computer program.

key words: improved gravity model approach; wavelet analysis; fourier transform method; improved threshold

收稿日期:2011-04-07

基金项目:江西省教育厅青年科学基金资助项目(GJJ10176);核技术应用教育部工程研究中心(东华理工大学)开放 基金资助项目(HJSJYB2010-07)

**作者简介:**袁新宇(1984 - ),女,湖北随州人,南华大学核科学技术学院硕士研究生.主要研究方向:核辐射测量方法 与辐射防护.\*通信作者

γ 衰变常伴随着  $\beta$  或  $\alpha$  衰变而产生,而中子 与物质相互作用同样也可能产生感生 γ 放射性, 这些都说明在很大一部分情况下,测量 y 射线仪 器谱可作为分析待测环境中存在那种放射性核 素、其含量多少的重要依据.理论上,某一能量 γ 射线谱为垂直于能量轴的直线.由于测量时间内 探测器产生离子对/空穴—电子对的统计涨落、探 测器的边缘效应、电子线路的弹道亏损和脉冲的 堆积效应使得谱线展宽成类高斯峰[1]. 而探测器 的缺陷、电子学线路寄生电容或电感等影响使得 类高斯峰出现"拖尾". 除 γ 射线与物质的主要三 种(光电效应、康普顿散射和电子对效应)相互作 用外,瑞利散射、汤姆逊散射、德布茹意克散射、光 致核反应和势散射使得能谱从类高斯峰转变成连 续谱.在连续谱中,还有源的自吸收、射线与周围 屏蔽材料反应、轫致辐射以及宇宙中子与 u 介子 等的影响导致仪器谱趋于复杂<sup>[2]</sup>.放射性统计涨 落、电子学噪声(以下统称两者为噪声)导致仪器 谱中各道数据均存在统计涨落的影响,要从这样 数据中直接分析出样品中到底含有那种核素、精 确含量多少非常困难,必须借助于一定的数学方 法去除噪声对后续处理的影响.

噪声对能谱数据处理的影响主要有:丢失弱 峰、出现假峰以及边界道难以确定.这些使得后续 定性、定量分析不准确,由此必须从能谱数据当中 滤除掉噪声的影响.滤波过后,谱线应保留仪器谱 的特征:1)峰位与峰面积应尽可能地保持稳定; 2)尽可能减小重峰出现的几率.以下就现行γ能 谱数据平滑方法展开详细探讨,并提出改进措施.

### 1 滤波原理

1964年 A. Savitzky 和 J. Egolay 提出了一个用 于谱数据平滑处理的滤波器响应函数<sup>[3]</sup>.即对某 点进行滤波时,采用其左右 m 点数据构成w = 2m+1点计算窗口,用多项式最小二乘法对该窗 口数据进行拟合,获得中心点拟合数据作为滤波 后该点值.根据采用的多项式次数不同分为2、3、 4和5次多项式最小二乘移动平滑滤波器,之后 又提出箱型滤波器.

由于质点系受到合外力为零时其质心保持不 变,而位于地面上的小质点系重心与质心重合,由 此提出重心法滤波器.假设相邻两道受噪声影响 为零,由于能谱只存在整数道,可得3点重心法 公式

$$y'_{i} = \frac{1}{4}(y_{i-1} + 2y_{i} + y_{i+1})$$
(1)

由此原理可得 w = 2m +1 点重心法滤波器, 可以看出其效果相当于对 γ 射线仪器谱做 m 次 3 点重心法滤波.

此滤波器假设噪声变化剧烈,即噪声属于高频成分.据此可从频率对能谱数据进行滤波,截断 γ能谱频域中高频成分,保留低频信号以达到滤 除高频噪声的目的,低通傅立叶变换法由此应运 而生.

通过数学变换将该滤波器转换到能谱,发现 其相当于低通滤波函数与能谱数据进行褶积变换 去除高频噪声<sup>[4]</sup>.由于能谱数据为离散量,该方 法被称为离散函数褶积变换方法.

但上述方法只是单纯将高频部分当作噪声. 并不能很好辨别有用信号的高频部分和噪声引起 的高频干扰.而小波变换具有多分辨率特性,从而 能够处理缓和变化成分与剧烈变化成分并存的信 号.小波变换降噪源于能谱分析中函数的伸缩和 平移,是傅立叶变换降噪方法的发展与延拓.采用 该方法进行滤波时,阈值的选择是关键.阈值过 高,则会将能谱信号分量也当作噪声去掉,丢失过 多的能谱信号;阈值过低,又会使得滤波效果不 好,噪声去除不彻底.现行的阈值计算方法有 DJ 方法<sup>[5]</sup>、Rigrsure 方法<sup>[6]</sup>、Heursure 方法<sup>[7]</sup>、Minimax 方法<sup>[8]</sup>. 为使得处理后的小波系数与不含噪 声能谱小波变换系数的偏差平方和最小,必须对 小波系数进行阈值处理,处理方法有硬阈值、软阈 值、改进阈值.目前改进阈值方法很多<sup>[9-13]</sup>,各种 方案的优略性有待进一步验证.本文后续小波改 进阈值方法为在软阈值前加一校正参数,校正参 数调节方法见文献[13].以下就上述各方法滤波 效果进行比对研究.

## 2 γ能谱数据处理实验

数据处理在 MATLAB7.1 上进行.实验数据 为 GBW04305a 铀镭平衡粉末放射源 HPGe γ 谱 仪测量仪器谱,如图 1 所示(为更好显示能谱细 节,道址在1-16 的低能端噪声高计数及10000-16384 道范围高能端本底未画出).

在编程处理中,重心法、多项式最小二乘移动 平滑法以及离散函数褶积变换方法滤波边界点会



从图 2 总可以看出:前 3 种滤波方法对能谱 均有一定压缩与展宽,滤波窗口越宽,谱线被压缩 越低,展宽越严重,增加重峰出现几率;采用理想 低通滤波器傅立叶变换,峰边界出现振荡,这与理 想低通滤波器在能域表现相同,产生假峰.为此采 用高斯低通滤波器傅立叶变换(如图 3 所示)对 同一谱线进行处理,结果表明:高斯函数标准差越 大,能谱被压缩与展宽越明显,而高斯函数峰值越 大,滤波能谱基线被抬的越高,反之被压缩的越 低.一般情况下取 *A* = 1,此时滤波能谱基线高度 不变,标准差取能谱对<sup>60</sup>Co 的 1.332 MeV(HPGe γ谱仪)或<sup>137</sup>Cs 的 0.661 MeV 特征峰半宽度的 1/2.355倍.





a—w 点多项式最小二乘滑移变换法;b—w 点重心法; c—w 点离散高斯函数褶积变换法; d—理想低通滤波器傅立叶变换法;

- 图 2 几种滤波器对 GBW04305 a 铀镭平衡 粉末放射源 HPGe γ谱滤波部分结果
- Fig. 2 A section of  $\gamma$ -ray spectrum measured with radioactive GBW04305 *a* and denoising results by several methods





## 图 3 傅立叶高斯低通滤波器对 GBW04305 a 仪器谱谱中两特征峰(93/609 keV)平滑效果 Fig. 3 Smoothing results of two characteristic peak form GBW04305a γ-ray spectrun by FFTguass low-pass filtering

从表1可以看出,采用5点离散高斯函数褶 积变换与5点重心法滤波对峰位与净峰面积压缩 严重,滤波后峰位计数超过仪器谱计数1倍标准 差范围,在噪声对峰位计数影响之外,说明过滤了 大量有用信息.采用小波分析方法硬阈值能很好 保留峰区形状,但对边界道计数(峰区小计数道) 噪声消除不够,导致采用总峰面积法计算峰面积 时本底计数偏大;而小波软阈值方法对统计涨落 过滤充分,峰面积同样减小;采用小波改进阈值方 法,在很好保留峰区高计数突变的同时,对边界道 统计涨落又有一定的削弱,最小地减小由于滤波 引起的净峰面积变化.

为弥补重心法不足,在此提出采用1倍标准 差检测的重心法滤波方案,具体步骤如下:1)采 用5点重心法对能谱某点进行滤波;2)如果滤波 后该点数据在原始谱数据的1倍标准差以内,则 采用上述滤波数据作为该点滤波能谱值,否则采 用3点重心法对该点进行滤波;3)再次同上判 别,若不符合,则该点采用原始谱数据作为滤波后 的值.从表1可以看出,该方法也能很好保持能谱 突变成分,对平台噪声过滤效果与5点重心法等 同,滤波过后对净峰面积较小微弱,适用于弱峰分 析.且算法简单,窗口各道系数均为正数,滤波能 谱数据不会出现负值,适用于便携式γ能谱仪.

滤波方法	全能峰道址	峰位 计数	计数的相 对偏差/ %	一倍标准差1)	全能峰 净面积	净面积的 相对偏差/%
仪器谱	2704	629		_	3996	_
5 点多项式	2703	612.66	-2.60	是	3824.44	-4.29
5 点重心法	2703	592.69	-5.77	否	3733.34	- 6. 57
5 点离散高斯函数褶积变换	2703	582.56	-7.38	否	3669.43	- 8.17
傅立叶理想低通	2704	615.57	-2.14	是	3822.55	-4.34
小波硬阈值	2704	628.83	-0.03	是	3890.66	-2.64
小波软阈值	2704	614.04	-2.38	是	3889.38	- 2.67
小波改进阈值	2704	617.14	-1.89	是	3918.36	- 1.94
改进重心法	2704	629	0	是	3994.33	-0.04

表 1 各种滤波算法对 609 keV 特征峰平滑结果 Table 1 Results of Characteristic peak at 609 keV by all smooth filtering method

注:1) 是否在原始峰位计数一倍标准差1范围内?

# 3 结束语

本文详细讲述现行各种 γ 能谱滤波方法机 理,通过实验研究发现:各种滤波方法对能谱数据 均有一定压缩与展宽;重心法、多项式最小二乘移 动平滑法以及离散函数褶积变换方法对能谱滤波 时,滤波窗口越宽,谱线被压缩越低,展宽越严重, 增加重峰出现几率;理想低通滤波器傅立叶变换 滤波,峰边界出现一些小峰(引起假峰);而高斯 低通滤波器傅立叶变换,高斯函数标准差越大,能 谱被压缩与展宽越明显,高斯函数峰值越大,滤波 能谱基本被抬的越高,反之被压缩的越低;小波变 换能很好地保持信号的高频突变成分不受破坏, 相比较而言,小波软阈值方法噪声过滤充分,而硬 阈值方法能很好地保留信号的原始形状,但噪声 过滤不充分,改进阈值方法平衡两者优缺点.针对 重心法滤波器的不足,提出一种1倍标准差检测 滤波算法,该方法能很好地保留能谱突变成分,维 持谱峰净面积基本不变,对平台滤波效果等同于 5点重心法,且算法简单,适用于便携式γ谱仪.

#### 参考文献:

- [1] 吴和喜,刘庆成,杨波,等. SNIP 法在天然放射性核素 γ 能谱分析中的应用[J].核技术,2010,33(7):513-516.
- [2] 刁立军,侯铁栋,李玮,等.用反符合和热中子屏蔽降 低γ谱仪本底[J].核技术,2010,33(7):501-505.
- [3] 庞巨丰.γ能谱数据分析[M].西安:陕西科学技术出版社,1990.
- [4] 汤彬.γ测井分层解释法[M].北京:原子能出版社,1993.
- [5] Donoho D L, Johnstone I M. Wavelet shrinkage:asymptoia
  [J]. Jounal of the Royal Statistical Society Series(B), 1995,57:301-369.

- [6] 张丽,罗超,张志沛.柴油机强噪声信号的小波去噪辨 识[J].内燃机学报,2001,19(4):365-368.
- [7] Donoho D L, Johnstone I M. Threshold selection for wavelet shrinkage of noisy data [C]//New Opportunities for Biomedical Engineers. Proceedings of the 16th Annual International Conference of the IEEE, Engineering in medicine and biology society, 1994, 16(1): A24-25.
- [8] 周忠来,施聚生.小波分析去噪方法在声目标识别系 统中的应用研究[J].现代引信,1998,19(4):19-25.
- [9] 程文波,陈劲松.一种新的改进阈值的小波包图像去噪 方法[J]. 西安科技大学学报,2010,30(4):479-483.
- [10] Sudha S, Suresh G R, Sukanesh R. Comparative study on speckle noise suppression techniques for ultrasound images [J]. International Journal of Engineering and Technology, 2009, 1(1):57-62.
- [11]李道平,姚小兰,伍清河,等.自适应小波去噪算法及 其在偏心补偿中的应用[J].北京理工大学学报, 2010,30(2):179-196.
- [12] 魏文畅,杨俊杰,蔡建立. 基于小波变换的半软阈值参数算法研究[J]. 计算机工程与应用,2009,45(1): 73-76.
- [13] 刘光达,赵立荣.基于小波分析的医学 CR 影像随机 噪声消除[J].精密光学工程,2000,8(5):428-431.