

小波分析在航空放射性谱数据处理中的应用

李兵海¹ 陈涛²

(1. 核工业航测遥感中心, 河北 石家庄 050002 2. 西华师范大学 国土资源学院, 四川 南充 637002)

摘要 在航空放射性数据处理过程中引入小波分析技术, 可得到较传统数据处理方法更为真实、理想的谱数据。研究表明, 处理后的谱数据能准确识别主能量窗以外的航空放射性谱数据中所包含的微弱信息, 从而获得有关研究对象的更多信息; 在航空放射性环境测量中, 能够正确有效地提取谱数据中低能谱的信息, 提高对人工放射性核素的分辨能力。

关键词 小波分析; 数据处理; 航空放射性测量; 低能谱; 人工核素

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2006)04-0334-04

作为重要的对地观测技术和遥感技术一样, 航空物探以其宏观性强、快速低廉以及对地面条件适应力强等特点, 在地质调查、土地资源调查与监测、油气与矿产资源勘查等许多领域发挥了重要作用, 已成为国土资源调查、评价和管理工作中的重要高科技手段^[1]。

在航空放射性测量中, 测量系统所收录的数据包含了丰富的信息。航空放射性测量数据是地表、地下不同深度地质体的放射性特征在地表的综合反映, 同时还包含了各种噪声。如何将这些复合的数据通过数学的方法进行分解, 提取深部砂岩型铀矿化的有关信息, 是铀资源航空放射性勘查发展领域中的重要课题。

另一方面, 具有一定埋深的砂岩型铀矿体放射出的伽马射线中, 只有很少的伽马光子能够保持其原有的特征能量并被主能量窗(K、U、Th窗)所捕获。矿体放射的伽马射线在穿越矿体盖层时发生的康普顿散射现象, 会使相当数量的伽马光子能量变低。即在主能量窗以下的全谱数据中, 仍有可能包含着相当的深部砂岩型铀矿化的有关信息。正确提取这些非主能量窗信息, 去除噪音, 对航空放射性测量寻找铀矿非常重要。在航空放射性环境调查中, 正确有效提取低能谱数据的信息, 对正确识别环境航空放射性测量中的人工核素也具有重要的意义。

1 小波分析

20世纪80年代初期, 法国地球物理学家 Morlet 在研究地球物理信号处理方法时, 首先提出了小波

的概念, 其基本思想是通过一个母函数在时间上的平移和在尺度上的伸缩, 获得一种能自动适应各种频率成分的有效信号分析手段。传统的信号分析是建立在傅里叶(Fourier)变换的基础之上的。由于傅里叶分析使用的是一种全局的变换, 要么完全在时域, 要么完全在频域, 因此无法表述信号的时频局域性质, 而这种性质恰恰是非平稳信号最根本和最关键的性质^[2-3]。小波分析自提出以来, 已在信号分析、图像分析、量子物理和非线性科学等领域得到了迅速发展^[4-7], 小波分析也为航放资料处理提供了新的手段。

设 $\Psi(t) \in L^2(R)$ ($L^2(R)$ 表示平方可积的实数空间, 即能量有限的信号空间), 其傅里叶变换为 $\hat{\Psi}(\omega)$, 当 $\hat{\Psi}(\omega)$ 满足允许条件(完全重构条件或等分辨率条件)

$$C_{\Psi} = \int_R \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (1)$$

时, 称 $\Psi(t)$ 为一个基本小波或母小波(mother wavelet)。将母函数 $\Psi(t)$ 经伸缩和平移后得:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (2)$$

$$a, b \in R, a \neq 0.$$

其中 a 为尺度参数, b 为位置参数。与此对应, 在频域上则有

$$\hat{\psi}_{a,b}(\omega) = \sqrt{a} e^{-i\omega b} \hat{\Psi}(a\omega). \quad (3)$$

可以看出, 当 $|a|$ 减小时, 时域宽度减小, 频域宽度增大, 而且 b 的窗口中心向 $|\omega|$ 增大方向移动。这说明连续小波的局部是变化的, 在高频时, 时间窗分

分辨率高,在低频时,时间窗分辨率低,即小波变换具有更好的时频窗口特性。

令 $a = a_0^j$ $b = ka_0^j b_0$, 则式(2)为离散小波系列

$$\psi_{j,k}(t) = a_0^{-j/2} \psi\left(\frac{t - ka_0^j b_0}{a_0^j}\right) = a_0^{-j/2} \psi(a_0^{-j}t - kb_0) \quad (4)$$

若令 $a_0 = 2$ $b_0 = 1$ 则得二进小波

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k) \quad (5)$$

设 $f(t)$ 是需要分析的实数空间 $L^2(R)$ 一个离散信号,若以 $\{W_{2^j} f(k)\}_{k \in Z}$ 表示其二进小波变换,则有

$$W_{2^j} f(k) = \langle f(t) | \psi_{2^j}(k) \rangle = \frac{1}{2^j} \int_R f(t) \psi^*(2^{-j}t - k) dt \quad (6)$$

式(6)相应的逆变换为

$$f(t) = \sum_{j \in Z} \int W_{2^j} f(k) \psi_{2^j}(2^{-j}t - k) dk \quad (7)$$

其中 $\psi^*(2^{-j}t - k)$ 与 $\psi_{2^j}(2^{-j}t - k)$ 为复共轭函数,笔者所进行的小波变换均是通过式(6)分解信号,通过式(7)重构信号的。

在航空放射性测量数据处理中,对数据进行小

波分解,其实质就是把采集到的数据分成 2 个部分,即高频部分和低频部分,而低频部分通常包含了数据的主要信息。根据分析的需要,可以继续对所得的低频部分进行分解,如此又得到了更低频率部分的信息和频率相对较高部分的信息。当然,也可以对高频部分进行分解,这样,就把航空放射性混频数据分解为若干个互不重叠的频带数据,从而完成数据的滤波或检波,达到提取特征信号的目的。

2 处理航空放射性谱数据的试验

航空放射性测量是一种单次测量,主要受统计涨落影响,测量结果可以认为是真实信息与噪声的叠加。噪声的主要来源为统计涨落,统计涨落是符合高斯分布的随机噪声。如何降低统计涨落的影响,去除这种噪声,一直困扰航放数据处理人员。小波如果能从航空放射性测量数据中去除这种噪音,提取真实谱数据,就能提取主能量窗以下的其他能量峰信息,上述问题就可迎刃而解。为此我们作了以下试验:在标准正弦信号上叠加一正态分布的随机噪音,用 db6(Daubechies 系列的小波简称为 dbN,

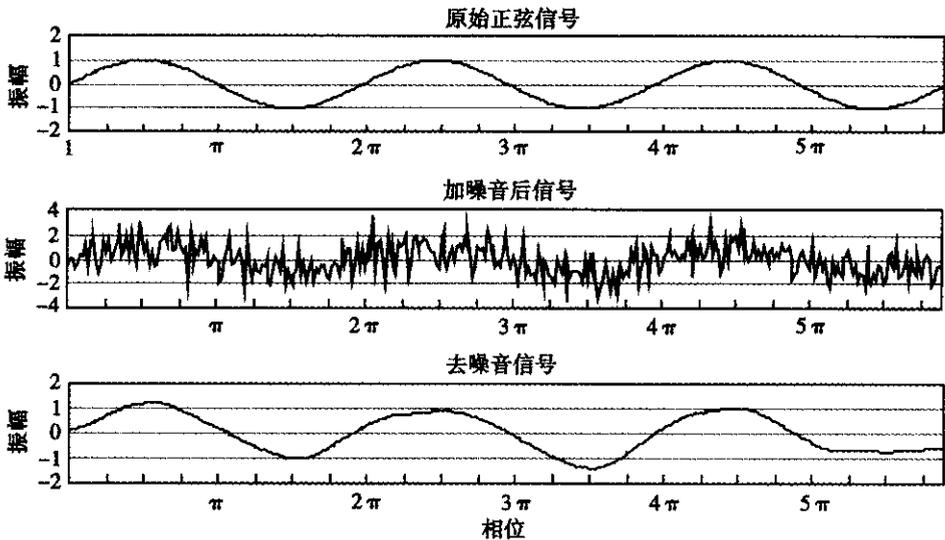


图 1 小波分析实验曲线

其中 N 表示阶数,db 是小波名字的前缀)小波分解并重构,结果如图 1 所示。

小波处理后的数据基本上正确反映了正弦信号的信息,这说明小波能够把叠加在真实信息上的符合高斯分布的随机噪音去除掉,再现被噪音掩盖的真实信息,由此可以认为小波分析在航空放射性测量数据处理方面应该有一定的效果和优势。

单点航空放射性测量谱数据是航测伽马能谱仪记录一次得到的数据,有 256 个,即 256 道谱数据,第一道数据为宇宙射线窗,不用考虑,2~34 道数据

没有被仪器记录(为了减少需要能谱仪处理的脉冲数,仪器被设置一个能量阈,阈值以下的所有脉冲都不会被记录),全部为 0;为了处理方便,1~34 道数据被删除。

图 2 为用滑动平均和小波分析对某航空放射性单点实测全谱数据处理的总体对比结果。为了更清楚地对比,将曲线重叠在一幅图上,得到图 3、图 4。可以看出 5 点滑动平均滤波反映的信息和第二层小波分析低频信息基本类似,但是不如小波反映的明显,曲线光滑程度也远远不及小波分析处理

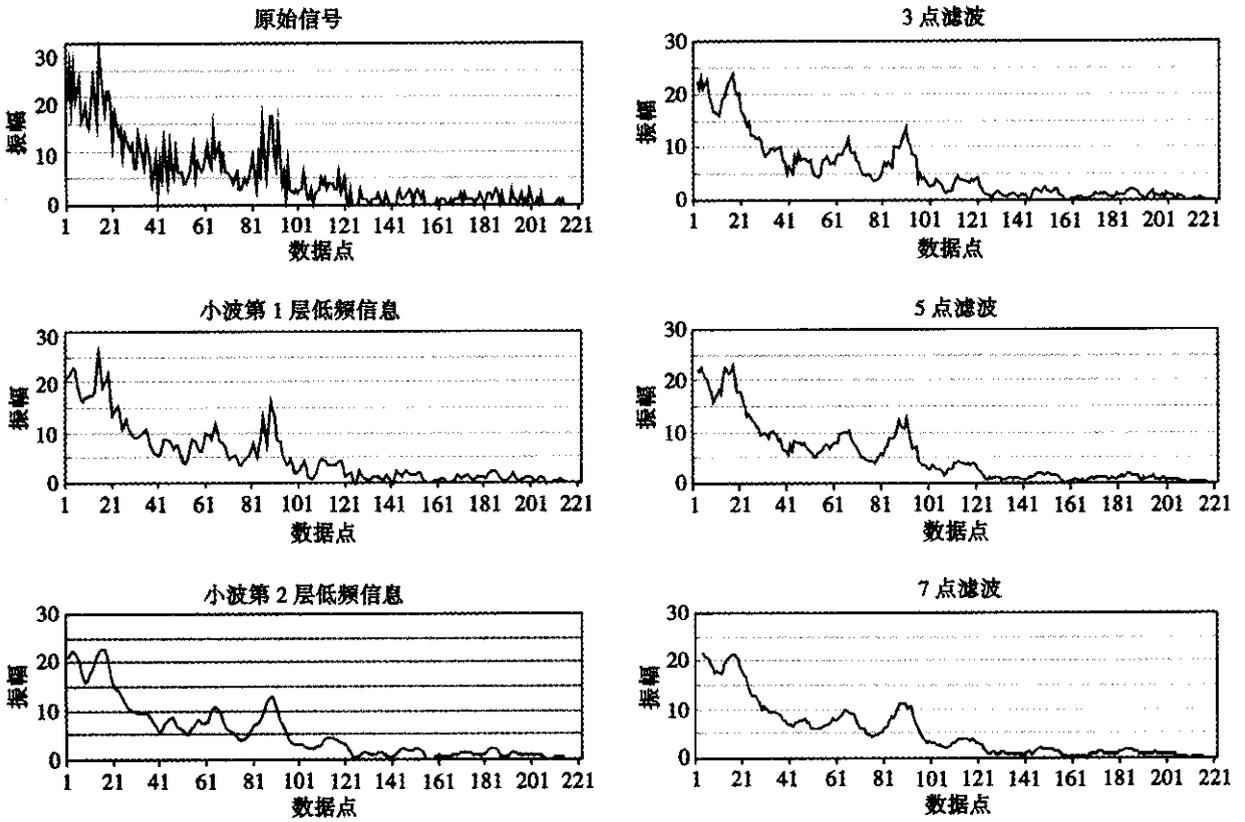


图2 小波和滑动平均处理谱数据总体对比

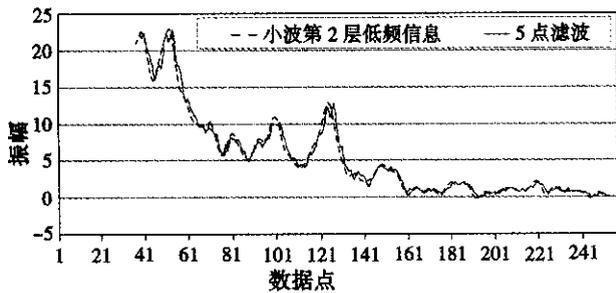


图3 小波和5点滑动平均处理谱数据对比

曲线,7点滑动平均在第57点即第90道的小峰已经非常不明显了,基本呈平滑的曲线,而第二层小波低频信息曲线却反映出一个峰值,从而把被7点滑

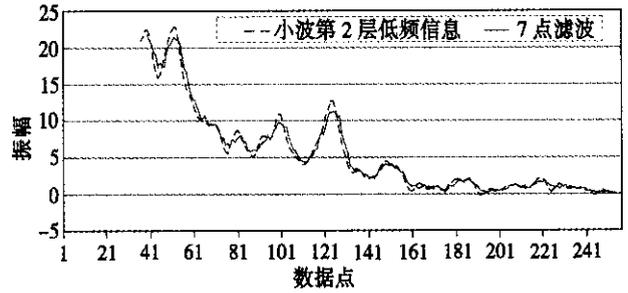


图4 小波和7点滑动平均处理谱数据对比

动平均处理后所淹没的信息显现了出来。可见7点滑动平均处理方法所反映的信息少于第二层小波分析低频信息,并且曲线光滑程度也不及小波,这就说

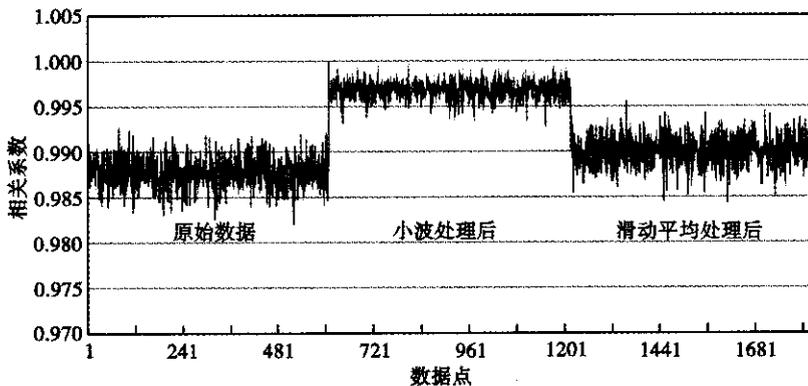


图5 原始数据、小波、5点滑动与真实值的相关系数比较

表 1 小波与滑动平均处理结果

	始道	终道	原始数据与真实值相关系数平均值	小波分析与真实值相关系数平均值	滑动平均值与真实值相关系数平均值	原始数据与真实值相关系数均方差	小波分析与真实值相关系数均方差	滑动平均值与真实值相关系数均方差
全谱	39	256	0.987806	0.996821	0.990099	0.0017680	0.0009359	0.0017289
低能部分	39	128	0.963535	0.99057	0.971312	0.0060744	0.0031730	0.0055595
高能部分	129	256	0.915211	0.977743	0.969634	0.0165599	0.007189	0.0067510

明,小波分析在单点滤波方面要优于滑动平均处理方法。

小波提取的低频信息是否能反映真实信息呢?为此,我们测了 609 个¹³⁷Cs 源谱数据,其平均值代表真实值,对这 609 个¹³⁷Cs 源谱数据分别用小波分析和 5 点加权平均方法进行处理,用其结果和真实值作相关分析,结果见图 5 和表 1。

前 609 个数据为原始谱数据与真实谱值的相关系数,平均值为 0.987 8;第 610 个数据为 609 个谱数据平均值与真实谱值的相关系数,第 611 ~ 第 1 220 个数据为小波处理后的谱信息与真实谱值的相关系数,平均值为 0.996 8;第 1 221 ~ 第 1 830 个数据为 5 点加权滑动平均处理后的谱信息与真实谱值的相关系数,平均值为 0.990 1;相关系数越接近于 1,说明数据的真实程度越高,非常明显,小波分析低频信息的真实程度高于 5 点加权滑动平均处理和原始谱数据。

相关系数的标准偏差可以反映受统计涨落影响的大小,标准偏差越小,受统计涨落影响越小。由表 1 可知,小波处理后的全谱标准偏差是原始数据标准偏差的 52.94%,精度提高 0.89 倍;5 点加权滑动平均处理后的全谱标准偏差是原始数据标准偏差的 97.79%,精度仅提高 0.02 倍;小波处理后的全谱标准偏差是 5 点加权滑动平均处理后的 54.13%,说明小波处理比 5 点加权滑动平均处理的精度提高 0.85 倍。在低能谱段,小波处理后的标准偏差是原始数据标准偏差的 52.24%,提高精度 0.91 倍;5 点加权滑动平均处理后的标准偏差是原始数据标准偏差的 91.52%,精度几乎没提高;小波处理后的标准偏差是 5 点加权滑动平均处理后的 57.07%,说明小波处理比 5 点加权滑动平均处理精度提高 0.75 倍;在高能谱段,小波处理后的标准偏差是原始数据标准偏差的 43.41%,提高精度 1.30 倍;5 点加权滑动平均处理后的标准偏差是原始数据标准偏差的 40.77%,精度提高 1.45 倍,说明在高能部分小波处理与 5 点加权滑动平均处理相比,没有明显的提高,

这可能是由于所测谱数据中高能核素含量太低(房间内本底的水平)的缘故。从表 1 中也可以看出小波分析在处理放射性航空测量低能谱数据具有明显的优势,能够更真实的反映数据低能谱的信息。

3 结论

(1)小波分析能够有效地去除叠加在测量数据上的噪声,再现被噪声掩盖的真实信息。

(2)小波分析航空放射性单点数据可得到较 5 点加权滑动平均处理方法更为真实、理想的谱数据,这样能够更加真实地反映地下地质体的放射性特征信息。

(3)小波分析在处理航空放射性谱数据,特别在低能谱部分,能够有效地提高数据低能谱部分处理后的精度,为识别人工核素准确度的提高准备了条件,使得航空放射性测量应用于航空放射性环境测量成为可能,拓宽了航空放射性测量的应用领域。

(4)小波分析为航空放射性全谱数据处理的后续工作提供了较好的谱线形状,使全谱剥离的全能峰面积法可以得以实施。

参考文献:

- [1] 熊盛清. 国土资源遥感和航空物探信息系统建设进展[J]. 国土资源信息化, 2004(4): 11.
- [2] 薛年喜. MATLAB 在数字信号处理中的应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [3] 张德干, 郝见巨, 徐凌宇. 基于小波理论的数据挖掘方法研究[J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22(8): 946.
- [4] 王振国, 李晶, 陈裕明. 基于小波变换的分频最小光滑滤波去噪[J]. 物探化探计算技术, 2002, 24(2): 313.
- [5] 詹毅. 小波变换去噪方法研究[J]. 物探化探计算技术, 2001, 23(4): 299.
- [6] 胡昌华, 张军波. 基于 MATLAB 的系统分析与设计—小波分析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1999.
- [7] 邢培育, 崔克清. 基于小波理论的图像压缩算法[J]. 南京化工大学学报, 2001, 23(4): 77.
- [8] 侯遵泽. 小波分析及其在勘查地球物理中的应用[J]. 物探与化探, 1998, 22(1): 71.

6 程序补充说明

(1)当剖析图数量过多时,运行 Winsurfer 中途会出错,程序重启,从出错的地方再做一次即可。

(2)对于剖析图中要求填充的情况,在启动 Winsurfer 时,先打开任意一个图并手动使之成为填充方式,再启动本程序即可,有问题请联系,必定答复。

(3)增加 BNK 文件可以实现 x 、 y 坐标及图框的美化要求。

7 结束语

在现有的 GIS 系统没有该功能的情况下,此程序便利的、无需太多的学习即可实现图册绘制。Gsmac 是个方便的环境,这里仅是抛砖引玉。

THE PROCESS OF APPLYING WINSUFER TO AUTOMATIC DRAWING OF ANALYTICAL GRAPHIC ATLAS

ZHANG Lei, LIU De-peng

(Anhui Academy of Exploration Technique, Bengbu 233005, China)

Abstract This paper describes a method for automatic drawing of analytical map with Winsurfer. Winsurfer provides a script development environment :Gsmac. Being a script process developed under Gsmac, the technique is easy to operate. If the data and the interior belt, intermediate belt and outer belt of each element as well as grade documents *.LVL and grid documents of geological maps of various composite anomalies are prepared, the analytical graphic atlas can be drawn automatically.

Key words Gsmac, Winsurfer; script development; LVL documents, composite anomaly; interior, intermediate and outer belts

作者简介 张雷(1959-),男,工程师,江苏人。1989年毕业于安徽广播电视大学计算机系,主要从事数据处理、算法编程、井中三分量磁测工作。

上接 337 页

THE APPLICATION OF WAVELET ANALYSIS TO DATA-PROCESSING OF AIRBORNE RADIOACTIVE SPECTRA

LI Bing-hai¹, CHEN Tao²

(1. Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, China 2. Institute of Land and Resources, China West Normal University Nanchong 637002, China)

Abstract The authors applied wavelet analysis to the data processing in airborne radioactive survey, and analyzed the effect of wavelet used in spectral data processing. It is shown that the method of wavelet analysis for spectral data processing can gain more true and more ideal information than the traditional data processing method, and can accurately identify information which is beyond the main energy windows. Thus, the weak information included in airborne radioactive data can be obtained, and the geologists can get more information of the studied objects. The resolution of man-made radioactive nuclides can be improved by using low-energy spectral information in the airborne radioactive survey.

Key words wavelet analysis; data processing, airborne radioactive survey; low-energy spectra; man-made nuclide

作者简介 李兵海(1970-),男,工程师,成都理工大学地球探测与信息技术专业工学硕士,长期从事 3S 技术研究及应用,以及小波数据处理等方面的研究(Email lbh183@163.com)。