



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111982949 A

(43) 申请公布日 2020.11.24

(21) 申请号 202010837453.5

(22) 申请日 2020.08.19

(71) 申请人 东华理工大学

地址 330013 江西省南昌市广兰大道418号

(72) 发明人 何剑锋 吴廉晖 聂逢君 袁兆林

叶志翔 汪雪元 周世融

陈谢熠阳

(74) 专利代理机构 南昌丰择知识产权代理事务

所(普通合伙) 36137

代理人 张荣

(51) Int.Cl.

G01N 23/223 (2006.01)

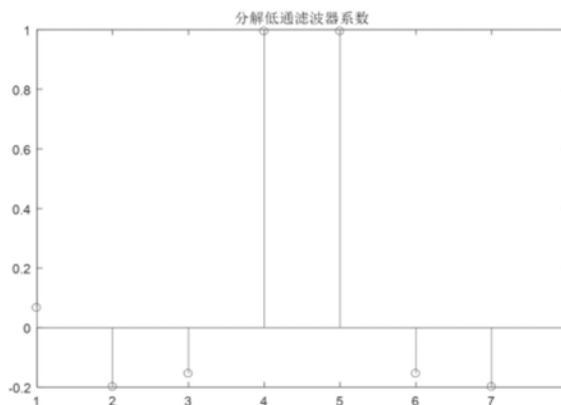
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法

(57) 摘要

本发明公开了一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法,其方法步骤如下:第1步,对EDXRF光谱信号进行四次微分处理,使重叠峰的分离度变大;第2步,利用小波变换对四次微分处理过的信号进行多尺度分解,找出重叠峰所在的合适尺度高频离散细节信号;第3步,对高频信号乘以一个大于1的系数进行一定比例的放大;第4步,利用放大后的高频细节信号进行小波反变换重构信号,得到分离的重叠峰。本发明的优点是:此方法能有效的分解分离度较低的重叠峰,且在解决EDXRF光谱的重叠峰现象具有实用性。



1. 一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法,其特征是步骤如下:

第1步,对EDXRF光谱信号进行四次微分处理,使重叠峰的分离度变大;

第2步,利用小波变换对四次微分处理过的信号进行多尺度分解,找出重叠峰所在的合适尺度高频离散细节信号;

第3步,对高频信号乘以一个大于1的系数进行一定比例的放大;

第4步,利用放大后的高频细节信号进行小波反变换重构信号,得到分离的重叠峰。

2. 根据权利要求1所述的一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法,其特征是:所述四次导数法定义为:假设一个离散信号为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,那么他的导数谱可以表示为:

$$x_t^n \approx \frac{x_{t+1}^{n-1} - x_t^{n-1}}{h} \quad (1)$$

上式中, n 为导数阶数, $n \geq 1$; h 为步长;导数谱有如下性质;

(1) 信号函数的偶数阶导数极值点或奇数阶导数的零点是原始信号函数的极值点;

(2) 信号函数的偶数阶导数极值点或奇数阶导数的极值点点是原始信号函数的形变点;

(3) 信号函数波形随着导数阶数增加,峰宽变得越来越小,且峰型变得越来越尖锐。

3. 根据权利要求1所述的一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法,其特征是:

所述三样条小波变换进行重叠峰分解的方法为:选择尺度函数和小波函数,然后将重叠信号进行离散化小波变换,进而得到不同尺度上的分量,其中高频部分代表能谱峰信号,对高频信号进行乘以一个加权系数而将其进行分解;

设 m 为自然数,则定义 m 阶B样条 $N_m(x)$ 如下:

$$N_1(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0,1), \\ 0, & \text{其他}, \end{cases} \quad (2)$$

$$N_m(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} N_m(x-t) N_1(t) dt = \int_0^1 N_m(x-t) dt, \quad m > 1. \quad (3)$$

通过递推的形式可以得到B样条,首先,取 $N_1(x)$ 为Haar尺度函数,然后通过 $N_{m-1}(x)$ 和 $N_1(x)$ 作卷积来定义 $N_m(x)$;如果将(2)式中取:

$$M_1(x) = \begin{cases} 1, & x \in [-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}], \\ 0, & \text{其他}, \end{cases} \quad (4)$$

并定义 $M_m(x) = \int_{-1/2}^{1/2} M_m(x-t) dt, m > 1$. 这时,称 $M_m(x)$ 为 m 阶中心B样条。

4. 根据权利要求1所述的一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法,其特征是:

所述第1步中分离度的定义具体为:分离度 R 是描述相邻两峰之间重叠度的一个指标,其定义为

$$R = \frac{\mu_1 - \mu_2}{2(\sigma_1 + \sigma_2)} \quad (5)$$

R的值越小,重叠度越高;

重叠谱峰通常有三种峰信号进行模拟分别是Gaussian峰信号、Lorentzian峰信号以及Tsallis峰信号;

Gaussian峰信号:

$$f(x) = Ae^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

Lorentzian峰信号:

$$f(x) = A\sigma^2 / [(x-\mu)^2 + \sigma^2] \quad (7)$$

Tsallis峰信号:

$$f(x) = A \left[1 + \frac{q-1}{3-q} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2} \right]^{\frac{-1}{(q-1)}} \quad (8)$$

上式中, σ 是峰的宽度,A表示峰值, μ 是峰的顶点位置;而Gaussian峰和Lorentzian峰可以通过Tsallis峰调节q得到;当q接近1为Gaussian峰,q=2的时候为Lorentzian峰;选用Tsallis峰信号进行建模。

5.根据权利要求4所述的一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法,其特征是:

如取 $q=1.8$,同时取A的值分别为2,1.5,1.5; σ 分别取4,2,1; μ 分别取20,24,28;即峰位20,24,28;而峰1和峰2的 R_1 为0.33,峰2和峰3的 R_2 为0.67。

一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种X射线荧光光谱分析的检测方法,具体为一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法。

背景技术

[0002] 能量色散X射线荧光(EDXRF)光谱分析是放射线物质的一种重要检测方法,广泛的应用在地质、环境和考古等领域。其中,X荧光光谱的重叠峰分解是至关重要的环节。近年来,国内外研究人员提出了多种重叠峰分解方法。主要包括:傅里叶变换法、导数法、小波变换法、等等。但是傅里叶变换法实际操作中难度过大,导数法对信噪比要求很高,小波基的选择对小波变换法起至关重要的作用且重叠峰分离度较低时分峰误差过大。林兆培,李钰,吴慧文等人的论文:基于二次微分和小波变换的色谱重叠峰分析将二次微分与近似对称的紧支集正交系列小波变换应用于色谱的重叠峰分解,但只对分离度高于0.4的重叠峰进行分解且没有进行误差分析。而四次导对比二次微分能有效的提高分离度和去除杂峰,结合三样条小波变换法可以更准确的分离重叠峰。当X射线能量与元素接近时,会出现X荧光光谱严重重叠甚至完全重叠的情况。对于这一问题,本文提出一种四次导结合三样条小波变换的方法来解决重叠峰严重重叠的问题。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法,此方法能有效的分解分离度较低的重叠峰,且在解决EDXRF光谱的重叠峰现象具有实用性。

[0004] 本发明采用的技术方案如下:一种四次导数结合三样条小波变换分离EDXRF光谱重叠峰方法,其特征是步骤如下:

[0005] 第1步,对EDXRF光谱信号进行四次微分处理,使重叠峰的分离度变大;

[0006] 第2步,利用三样条小波变换对四次微分处理过的信号进行多尺度分解,找出重叠峰所在的合适尺度高频离散细节信号;

[0007] 第3步,对高频离散细节信号乘以一个大于1的系数进行一定比例的放大;

[0008] 第4步,利用放大后的高频离散细节信号进行小波反变换重构信号,得到分离的重叠峰。

[0009] 本发明所述四次导数法定义为:假设一个离散信号为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,那么他的导数谱可以表示为:

$$[0010] \quad x_t^n \approx \frac{x_{t+1}^{n-1} - x_t^{n-1}}{h} \quad (1)$$

[0011] 上式中, n 为导数阶数, $n \geq 1$; h 为步长;导数谱有如下性质;

[0012] (1) 信号函数的偶数阶导数极值点或奇数阶导数的零点是原始信号函数的极值

点；

[0013] (2) 信号函数的偶数阶导数极值点或奇数阶导数的极值点点是原始信号函数的形变点；

[0014] (3) 信号函数额波形随着导数阶数增加,峰宽变得越来越小,且峰型变得越来越尖锐。

[0015] 本发明所述三样条小波变换进行重叠峰分解的方法为:选择尺度函数和小波函数,然后将重叠信号进行离散化小波变换,进而得到不同尺度上的分量,其中高频部分代表能谱峰信号,对高频信号进行乘以一个加权系数而将其进行分解;

[0016] 设 m 为自然数,则定义 m 阶B样条 $N_m(x)$ 如下:

$$[0017] \quad N_1(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0,1), \\ 0, & \text{其他}, \end{cases} \quad (2)$$

$$[0018] \quad N_m(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} N_m(x-t) N_1(t) dt = \int_0^1 N_m(x-t) dt, m>1. \quad (3)$$

[0019] 通过递推的形式可以得到B样条,首先,取 $N_1(x)$ 为Haar尺度函数,然后通过 $N_{m-1}(x)$ 和 $N_1(x)$ 作卷积来定义 $N_m(x)$;如果将(2)式中取:

$$[0020] \quad M_1(x) = \begin{cases} 1, & x \in [-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}], \\ 0, & \text{其他}, \end{cases} \quad (4)$$

[0021] 并定义 $M_m(x) = \int_{-1/2}^{1/2} M_m(x-t) dt, m>1$.这时,称 $M_m(x)$ 为 m 阶中心B样条。

[0022] 本发明所述第1步中分离度的定义具体为:分离度 R 是描述相邻两峰之间重叠度的一个指标,其定义为

$$[0023] \quad R = \frac{\mu_1 - \mu_2}{2(\sigma_1 + \sigma_2)} \quad (5)$$

[0024] R 的值越小,重叠度越高;

[0025] 重叠谱峰通常有三种峰信号进行模拟分别是Gaussian峰信号、Lorentzian峰信号以及Tsallis峰信号;

[0026] Gaussian峰信号:

$$[0027] \quad f(x) = Ae^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

[0028] Lorentzian峰信号:

$$[0029] \quad f(x) = A\sigma^2 / [(x-\mu)^2 + \sigma^2] \quad (7)$$

[0030] Tsallis峰信号:

$$[0031] \quad f(x) = A \left[1 + \frac{q-1}{3-q} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2} \right]^{\frac{-1}{(q-1)}} \quad (8)$$

[0032] 上式中, σ 是峰的宽度, A 表示峰值, μ 是峰的顶点位置;而Gaussian峰和Lorentzian峰可以通过Tsallis峰调节 q 得到;当 q 接近1为Gaussian峰, $q=2$ 的时候为Lorentzian峰;选用Tsallis峰信号进行建模。

[0033] 如取 $q=1.8$,同时取 A 的值分别为2,1.5,1.5; σ 分别取4,2,1; μ 分别取20,24,28;即峰位20,24,28;而峰1和峰2的 R_1 为0.33,峰2和峰3的 R_2 为0.67。

[0034] 本发明的优点是:本方案提出了一种四次导结合三样条小波变换分解重叠峰的新方法;通过模拟实验证明可以有效的分解重叠峰。然后,用此方法处理了仿真能量色散X荧光(EDXRF)光谱以及实测X荧光光谱,都实现了重叠峰的分解且误差较小,可以实现元素的辨别。结果证明:此方法能有效的分解分离度较低的重叠峰,且在解决EDXRF光谱的重叠峰现象具有实用性。

附图说明

- [0035] 图1为本发明三阶样条小波bior3.5分解低通滤波器系数示意图。
- [0036] 图2为本发明三阶样条小波bior3.5分解高通滤波器系数示意图。
- [0037] 图3为本发明三阶样条小波bior3.5重构通滤波器系数示意图。
- [0038] 图4为本发明三阶样条小波bior3.5重构低通滤波器系数示意图。
- [0039] 图5为本发明模拟信号重叠峰示意图。
- [0040] 图6为本发明四次导初步处理模拟信号示意图。
- [0041] 图7为本发明重叠峰分解模拟结果示意图。
- [0042] 图8为本发明重叠峰分解仿真结果示意图。
- [0043] 图9为本发明实测T铅黄铜元素的X荧光光谱示意图。
- [0044] 图10为本发明实测T铅黄铜元素的重叠峰分解结果示意图。
- [0045] 图11为本发明实测轻元素的X荧光光谱示意图。
- [0046] 图12为本发明实测轻元素的分解结果示意图。

具体实施方式

[0047] 本发明是这样来工作和实施的,能量色散X射线荧光(EDXRF)光谱中待测元素的信息包含在特征峰峰位和特征峰净峰面积中。对于特征峰的准确检测是EDXRF光谱分析的关键。很多元素的特征X射线之间的能量差非常小,特别是在在低原子序数中,荧光光谱产生过程中又存在各种干扰导致实测X荧光数据的谱峰会严重的重叠,本发明以重叠峰作为研究对象,提出一种四次导数结合三样条小波变换处理重叠峰的方法。通过数学模型模拟重叠峰检测了该方法的可行性,并仿真了实测X荧光光谱数据进行检测得到良好的效果,最后使用了CIT-3000SY X荧光元素录井仪实测T铅黄铜数据和混合轻元素数据荧光光谱作为验证。

[0048] 本发明首先详细介绍了导数法以及三样条小波法分解重叠的原理。导数法阶数越高信号越畸形但可以有效提高重峰分离度,而三样条小波变换对低分离度重峰处理较为无力但能有效的保持峰型。通过模拟数据发现,其中三个重叠峰中的峰1和峰2的分离度 $R=0.33$,峰2和峰3的分离度 $R=0.67$,经过四阶导之后信号存在一定的重叠,但是四阶导处理后不仅保留了信号的峰位值,并且出现了分离度变大的现象,结合三样条小波变换的特点,通过调节分解层次的数值以及对高频信号乘以一个大于1的系数进行一定比例的放大再进行重构,结果实现了对模拟重叠峰的分解。其中对三样条小波的分解层数为四层高频放大系数为六倍。然后,进行了仿真K元素的重叠光谱,实现了重叠峰的分解,通过仿真实验表明新方法能准确的识别峰位,且误差在1%以内,证明了新方法对X荧光光谱重叠峰分解的适用性。验证了此方法对分解重叠峰具有可行性。最后用此方法对CIT-3000SY X荧光元素录

并仪实测T铅黄铜元素数据以及混合轻元素数据X荧光光谱进行处理,实现了对重叠峰的分解,且分解后的峰位误差控制在1%之内,具有较高的准确率。

[0049] 1、导数法。

[0050] 导数的定义:假设一个离散信号为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,那么他的导数谱可以表示为:

$$[0051] \quad x_t^n \approx \frac{x_{t+1}^{n-1} - x_t^{n-1}}{h} \quad (1)$$

[0052] 上式中,n为导数阶数, $n \geq 1$;h为步长。导数谱有如下性质:

[0053] (1) 信号函数的偶数阶导数极值点或奇数阶导数的零点是原始信号函数的极值点。

[0054] (2) 信号函数的偶数阶导数极值点或奇数阶导数的极值点点是原始信号函数的形变点。

[0055] (3) 信号函数额波形随着导数阶数增加,峰宽变得越来越小,且峰型变得越来越尖锐。

[0056] 有文献表明,四阶导数法能有效去除谱中的细小杂峰,可将重叠的特征峰分离,四阶导数对重叠峰的分辨效果优于一阶和二阶导数。导数用于定位X荧光能谱特征峰的理论成熟简单,适用性广。根据导数谱的上述性质可知,对能谱信号进行四阶导数法之后,信号的每一个极值点和零点都能清晰的显示出来,同时使得信号的半峰宽变小,峰型变尖锐,从而使得严重重叠的重叠峰信号出现初步的分离,并且具有对重叠峰进行分辨的基础,并能精确的判断信号的精细的结构。但是由于导数使用阶数越高噪声随之放大的特点在具体使用过程中不能得到更广泛的推广,所以急需一种方法能让导数发挥作用。

[0057] 2、三样条小波变换理论。

[0058] 对于不同的样条小波基,由于其滤波器不相同的,因此分解重叠峰的效果也不相同。二阶样条小波基分解出的峰型为锯齿状,四阶样条小波基分解出的峰位值误差较大。三阶样条小波基的重叠峰分解效果较好,分解重叠峰后所得的信号的峰位置不变、峰面积误差也较小,鉴于样条小波的优势。所以选用三阶样条小波基。

[0059] 2.1、样条小波的性质和定义:利用小波变换进行重叠峰分解的基本思路为:首先选择适当的尺度函数和小波函数,然后将重叠信号进行离散化小波变换,进而得到不同尺度上的分量,其中高频部分代表能谱峰信号,最后对高频信号进行乘以一个加权系数而将其进行分解。

[0060] 设m为自然数,则定义m阶B样条 $N_m(x)$ 如下:

$$[0061] \quad N_1(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0,1), \\ 0, & \text{其他}, \end{cases} \quad (2)$$

$$[0062] \quad N_m(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} N_m(x-t) N_1(t) dt = \int_0^1 N_m(x-t) dt, \quad m > 1. \quad (3)$$

[0063] 通过递推的形式可以得到B样条,首先,取 $N_1(x)$ 为Haar尺度函数,然后通过 $N_{m-1}(x)$ 和 $N_1(x)$ 作卷积来定义 $N_m(x)$ 。如果将(2)式中取:

$$[0064] \quad M_1(x) = \begin{cases} 1, & x \in [-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}], \\ 0, & \text{其他}, \end{cases} \quad (4)$$

[0065] 并定义 $M_m(x) = \int_{-1/2}^{1/2} M_m(x-t) dt, m>1$. 这时, 称 $M_m(x)$ 为 m 阶中心 B 样条。

[0066] 如图1-4所示给出了三阶样条小波 bior3.5 的低通和高通滤波器系数。

[0067] 2.2、四阶导数法结合三阶 B 样条小波算法实现步骤如下:

[0068] 第1步, 对信号进行四次微分处理, 使重叠峰的分离度变大;

[0069] 第2步, 利用小波变换对四次微分处理过的信号进行多尺度分解, 找出重叠峰所在的合适尺度高频离散细节信号;

[0070] 第3步, 对高频信号乘以一个大于1的系数进行一定比例的放大;

[0071] 第4步, 利用放大后的高频细节信号进行小波反变换重构信号, 得到分离的重叠峰。

[0072] 3、四次导结合三样条小波变换分解低分离度重叠峰。

[0073] 分离度 R 是描述相邻两峰之间重叠度的一个指标, 其定义为

$$[0074] \quad R = \frac{\mu_1 - \mu_2}{2(\sigma_1 + \sigma_2)} \quad (5)$$

[0075] R 的值越小, 重叠度越高。

[0076] 重叠谱峰通常有三种峰信号进行模拟分别是 Gaussian 峰信号、Lorentzian 峰信号以及 Tsallis 峰信号。

[0077] Gaussian 峰信号:

$$[0078] \quad f(x) = Ae^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

[0079] Lorentzian 峰信号:

$$[0080] \quad f(x) = A\sigma^2 / [(x-\mu)^2 + \sigma^2] \quad (7)$$

[0081] Tsallis 峰信号:

$$[0082] \quad f(x) = A \left[1 + \frac{q-1}{3-q} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2} \right]^{\frac{-1}{(q-1)}} \quad (8)$$

[0083] 上式中, σ 是峰的宽度, A 表示峰值, μ 是峰的顶点位置。而 Gaussian 峰和 Lorentzian 峰可以通过 Tsallis 峰调节 q 得到。当 q 接近 1 为 Gaussian 峰, $q=2$ 的时候为 Lorentzian 峰。因此, 选用 Tsallis 峰信号进行建模更具有代表性。

[0084] 取 $q=1.8$, 同时取 A 的值分别为 2, 1.5, 1.5。 σ 分别取 4, 2, 1。 μ 分别取 20, 24, 28。即峰位 20, 24, 28。而峰 1 和峰 2 的 R_1 为 0.33, 峰 2 和峰 3 的 R_2 为 0.67。图 5 可以看出峰 1 峰 2 严重重叠峰 2 峰三部分重叠, 并且接近实际的重叠峰信号。

[0085] 如图 6 所示, 通过四阶导初步处理后峰的位置和峰数都显示清楚, 所以利用四阶导进行初步处理是可行, 但同时可以看到经过四阶导之后信号存在一定的重叠, 所以需要另一种方法进行进一步的处理。

[0086] 如图 7 所示, 通过对模拟信号进行四阶导初步处理在进行三样条小波处理, 模拟信号峰的峰位为 20, 24, 28。处理后的峰位为 19.9, 24.2 和 27.8 峰位的误差分别为 0.05%, 0.83% 以及 0.71%。分解效果理想误差小, 可以达到定量定性分析要求。结果表明四次导结合三样条小波变换可以有效分解重叠峰。

[0087] 表 1 峰位结果分析

[0088] Table 1 Peak position analysis

	重叠峰峰 1	重叠峰峰 2	重叠峰峰 3
[0089] 标准峰位 (道址)	20.0	24.0	28.0
检测峰位 (道址)	19.9	24.2	27.8
误差(%)	0.50	0.83	0.71

[0090] 4、光谱仿真实验分析。

[0091] 据X射线能量表:K元素的 K_{α} 为3.313keV, K_{β} 为3.589keV,能量仅差279keV;当光谱仪测量K元素时,光谱峰会产生严重的重叠。已知一组K系谱线不重叠的光谱,识别其能量峰道址为标准能量峰道址,进行能量线性刻度 $E=0.0307\text{keV}/\text{ch}$ 。K元素的 K_{α} K_{β} 能量道址分别为113与122。用式(8)进行模拟EDXRF光谱中存在的低分离度重叠峰。 K_{α} K_{β} 能量峰的比值为5:1。模拟表达式如(9)所示,结果如图8所示。

$$[0092] \quad f(x)=20\left[1+\frac{1.8-1}{3-1.8}\frac{(x-113)^2}{(5.3)^2}\right]^{\frac{-1}{(1.8-1)}}+4\left[1+\frac{1.8-1}{3-1.8}\frac{(x-122)^2}{(3.8)^2}\right]^{\frac{-1}{(1.8-1)}} \quad (9)$$

[0093] 如图8所示,模拟EDXRF光谱的重叠峰得到了分解,且图8中的原始谱线中的重叠峰用肉眼已经很难观察。识别分解后的峰位,结果如表2所示,重叠峰分解结果误差小于1%。根据结果表明,四次导结合三样条小波变换能较好的分解EDXRF光谱中的重叠峰。

[0094] 表2峰位结果分析

[0095] Table 2 Peak position analysis

	模拟 K 的 K_{α} 能量峰	模拟 K 的 K_{β} 能量峰
[0096] 能量 (keV)	3.313	3.589
标准峰位 (道址)	113	122
检测峰位 (道址)	112	121
误差 (%)	0.88	0.81

[0097] 5、实测X荧光数据解析结果。

[0098] 在本实验中采用的是CIT-3000SY X荧光元素录井仪实测的T铅黄铜元素数据以及混合轻元素数据,在T铅黄铜数据中在道址400-430之间Ni的 K_{α} 以及Co的 K_{β} 能量分别为7.477和7.649keV,仅相差0.172keV,处于严重重叠状态。而在轻元素数据中,可以观察到在道址230-270之间的Cr和Mn元素存在严重重叠,能量相差0.484keV,对于元素辨别造成较大困难。对这两组本组数据已经进行过谱光滑本底扣除等预处理,然后进行四阶微分结合三样条小波分解,其中小波分解层数为四层,放大系数为6倍。分解结果如下图9-12所示。

[0099] 已知Ni的 K_{α} 标准峰位410,Co的 K_{β} 为419道址,用寻峰法识别分解后的光谱峰位为408、420道址,误差仅为0.5%,0.2%,Cr和Mn的标准峰位分别为241道址和254道址,分解后的误差仅为0.4%。且重叠峰分解效果明显,结果表明:四阶导结合三样条小波分解实际X荧光光谱中分离度较低的重叠峰具有精确的结果。

[0100] 表3峰位值结果分析

[0101] Table 3 Peak position analysis

	Ni 的 K_{α} 峰	Co 的 K_{β} 峰	Cr 的 K_{α} 峰	Mn 的 K_{α} 峰	
[0102]	能量 (keV)	7.477	7.649	5.414	5.898
	标准峰位 (道址)	410	419	241	254
	检测峰位 (道址)	408	420	242	255
	误差 (%)	0.5	0.2	0.4	0.4

[0103] 6、研究结果。

[0104] 本发明详细研究了导数法以及样条小波法,提出了一种四次导结合三样条小波变换分解重叠峰的新方法。通过模拟实验证明可以有效的分解重叠峰。然后,用此方法处理了仿真能量色散X荧光光谱以及实测EDXRF光谱,都实现了重叠峰的分解且误差较小,可以实现元素的辨别。结果证明:此方法能有效的分解分离度较低的重叠峰,且在解决EDXRF光谱的重叠峰现象具有实用性。

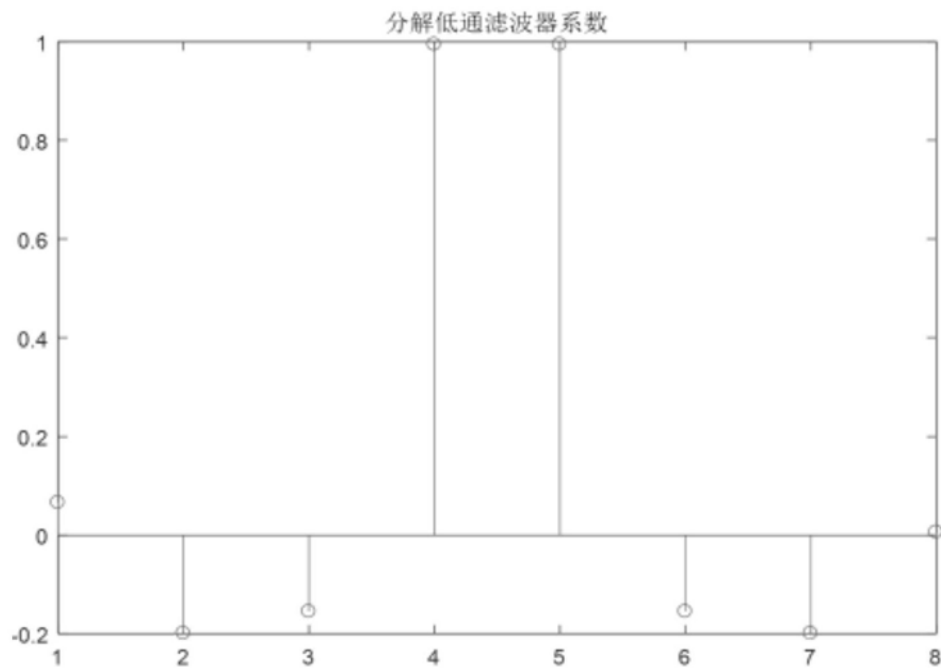


图1

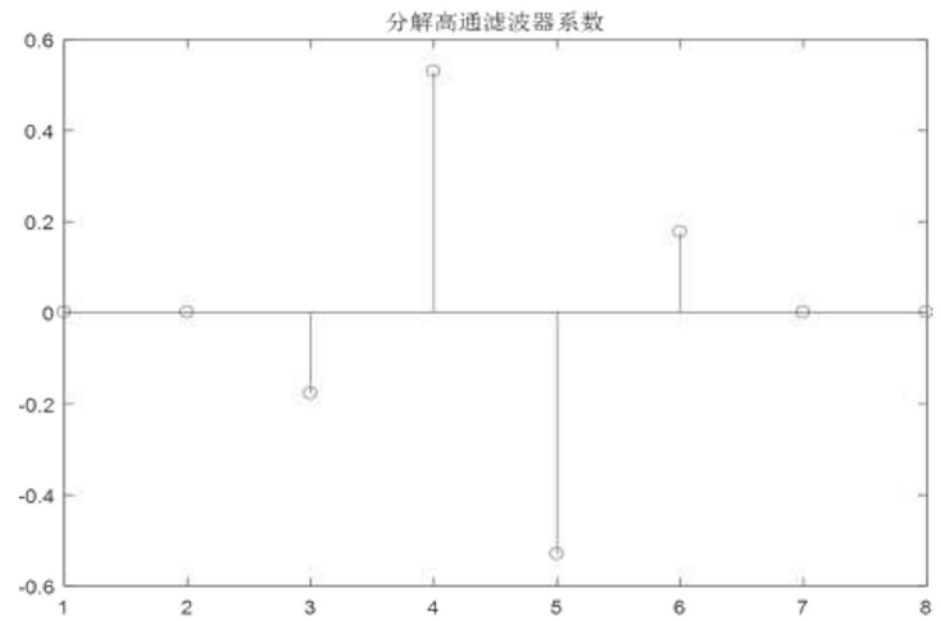


图2

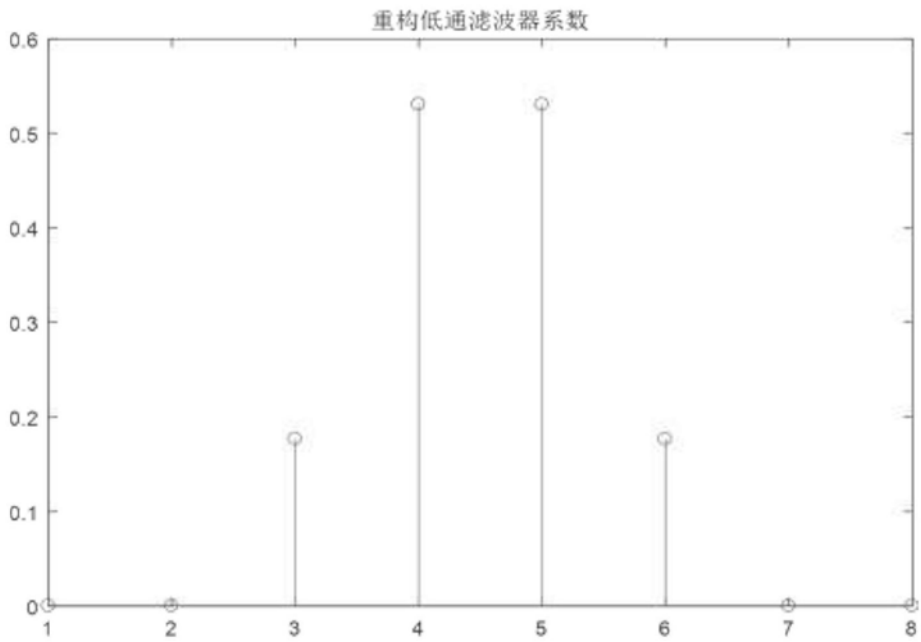


图3

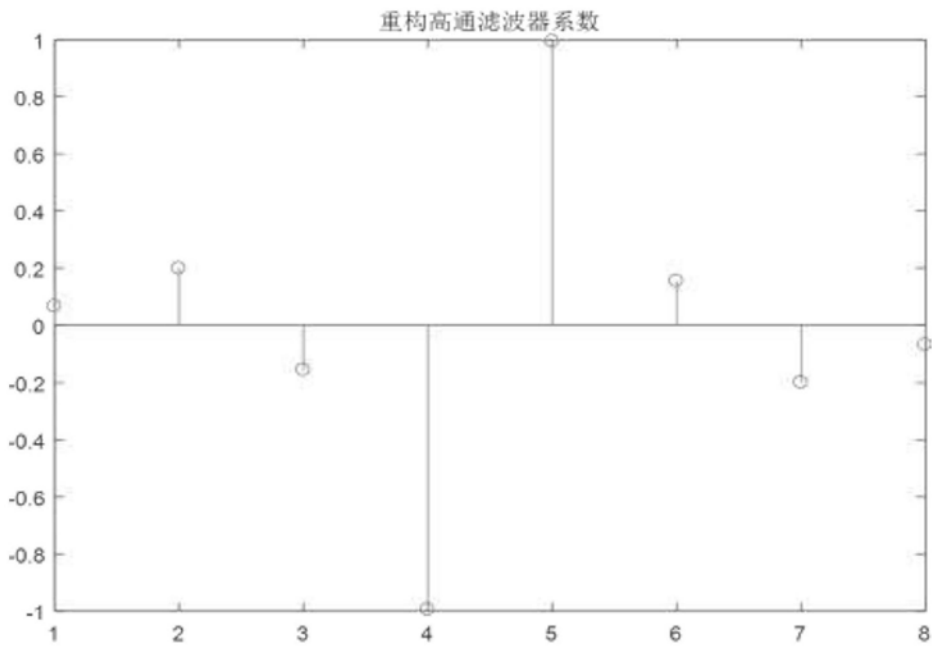


图4

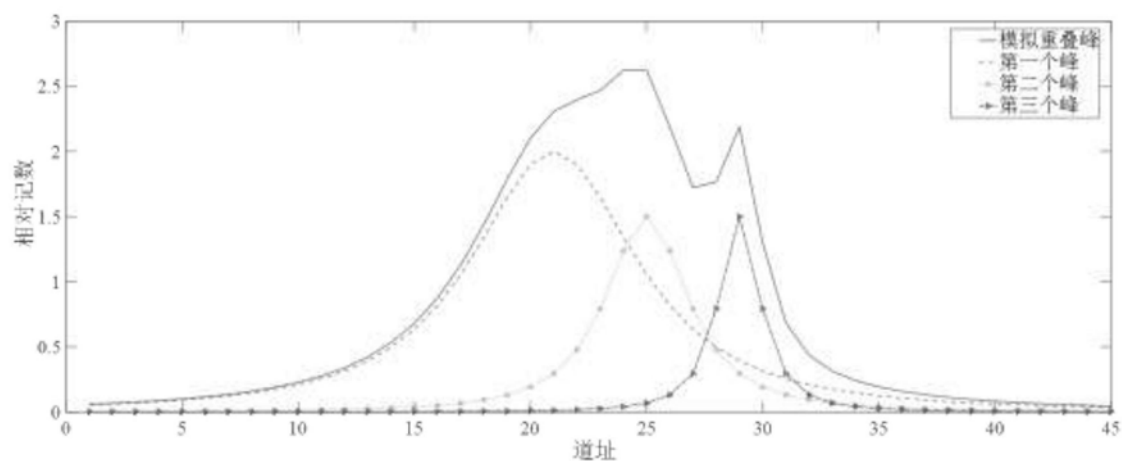


图5

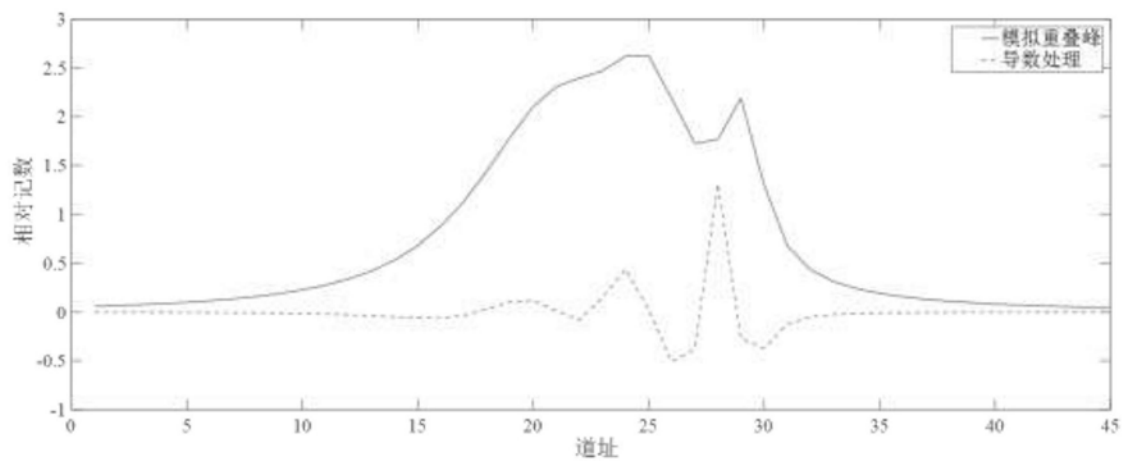


图6

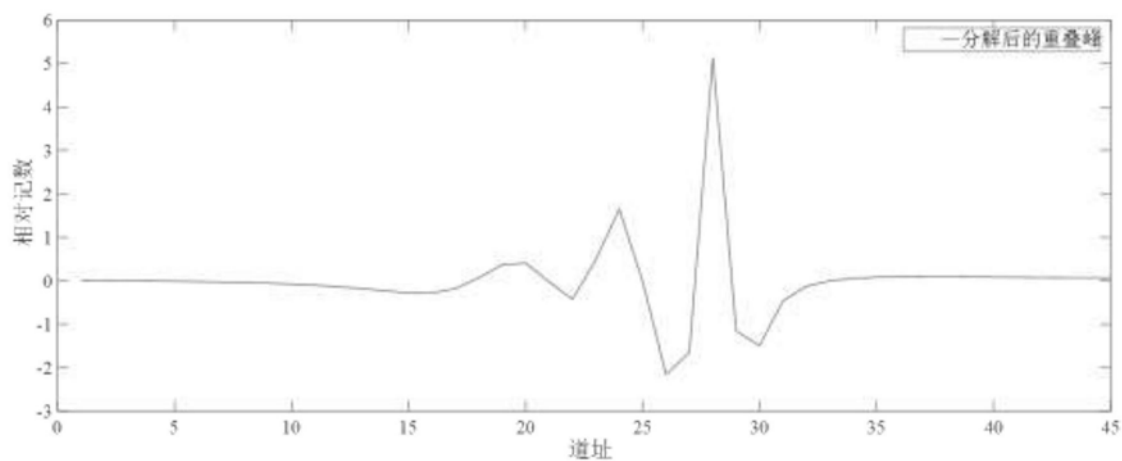


图7

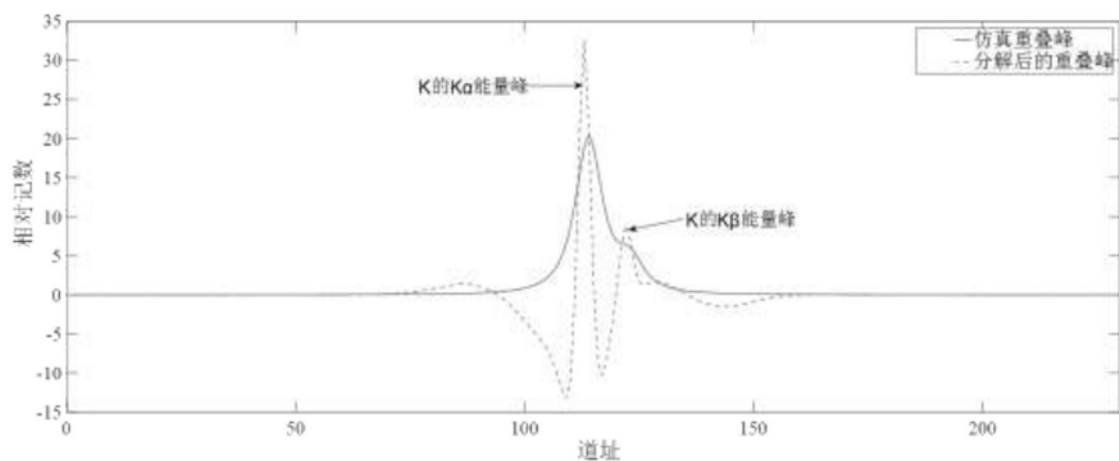


图8

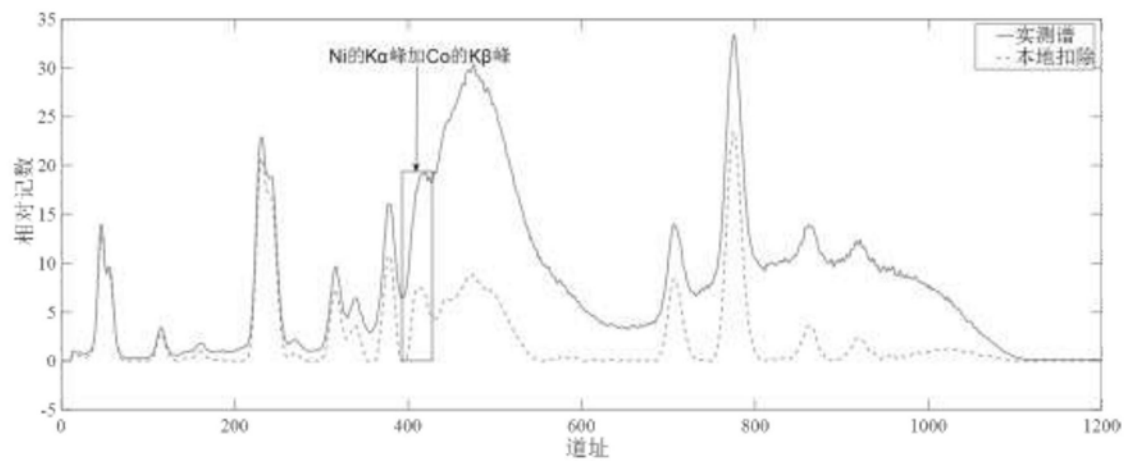


图9

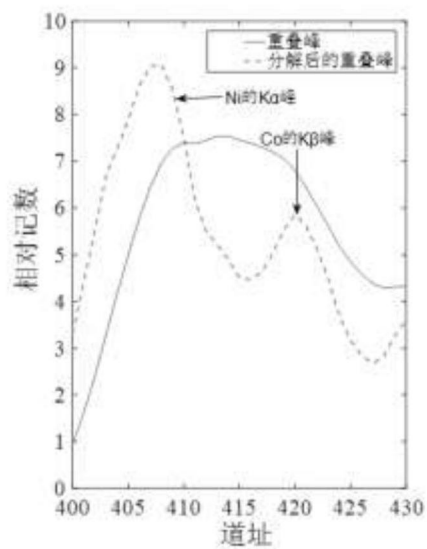


图10

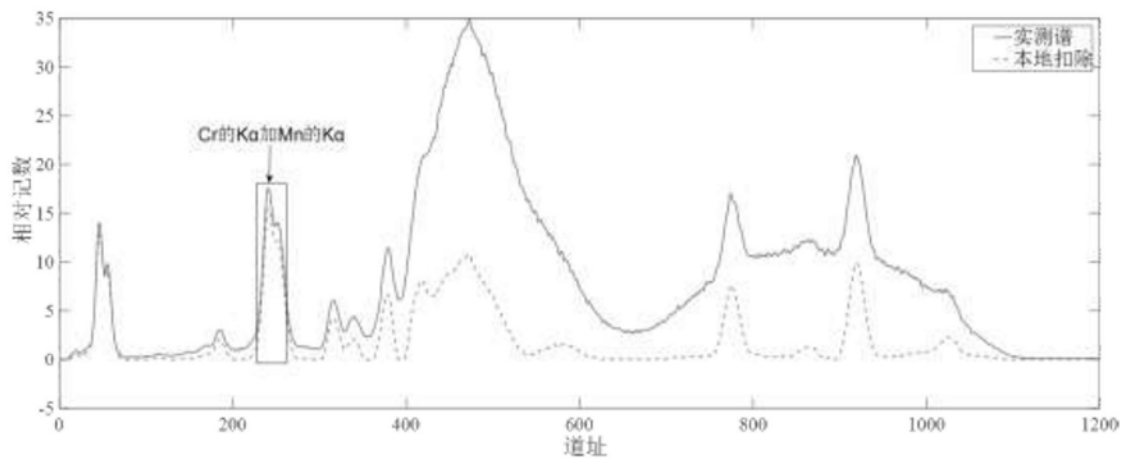


图11

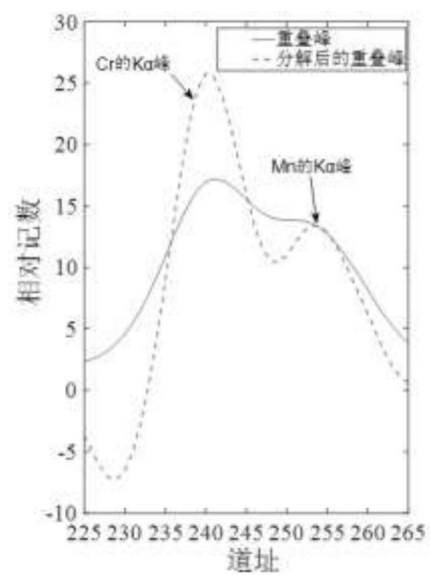


图12