

小波变换在地面高精度磁测数据处理中的应用

龙建钢¹ 吴云鹏² 吴小平¹

(1. 中南大学地球科学与信息物理工程学院, 长沙 410083;

2. 成都信息工程学院计算机学院, 成都 610225)

摘要 地面高精度磁法测量在弱磁性目标体及隐伏磁性体勘探中被广泛应用。这一方法由于观测灵敏度和精确度高, 也夹杂大量干扰噪声信号, 因而其数据处理和解释也很繁杂和困难。通过对叠加超大幅度高频噪声信号进行小波变换处理, 并将处理结果与圆滑处理结果进行比较, 得知合适的尺度系数的小波变换能够很好地压制、去除超高、超大幅度的高频噪声干扰。应用小波变换方法, 对老挝某地的地面高精度磁法测量的实测数据进行处理, 得到了与实际地质情况相吻合的结果资料。

关键词 小波 小波变换 高精度磁法测量 高频噪声 高斯函数

中图分类号: P631.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-7801(2014)01-0044-05

0 引言

地面高精度磁法勘探在矿产资源勘查中已经被广泛应用^[1,3,7-8]。地面磁法勘探是在地面观测地下介质磁性差异引起的磁场变化的一种地球物理勘查方法^[1,3,7-8]。高精度磁法勘探是指磁测总误差小于或等于5 nT的磁法测量工作^[1,3], 主要用于弱磁性目标物的勘查以及隐伏磁性体在地表产生的弱磁异常等^[3]。

地面高精度磁法测量可以直接用于磁铁矿床的普查和勘探, 能够精确查明磁铁矿的平面分布范围^[3,5]; 利用各岩、矿测定的磁参数, 通过一定方法可以进一步推断、确定矿体的埋深及产状; 可以用于寻找与磁性矿物共生的金属矿床; 结合地质的研究, 查找有利成矿构造异常带, 进行验证, 以达到找矿目的^[3,5]。地面高精度磁法勘探资料的解释成果, 对指导地质勘探、找矿具有较好的地质效果。

影响地面高精度磁法测量的因素很多。除了测区内人文干扰外, 还有观测气候, 甚至观测人员的个人习惯等, 都会影响观测结果。所有这些干扰噪声的随机性都很大, 表现在实测数据中就是一种叠加

的高频干扰噪声。一般数据处理中, 多采用单异常点剔除、沿测线数据圆滑处理、数字滤波等方式进行加工处理, 对于大部分叠加的干扰噪声都有很好的压制和消除。

在本文中, 作者介绍了小波变换在地面高精度磁测数据处理中的应用。采用小波变换的多尺度滤波性质, 分析了给定源信号叠加超高、超大噪声干扰的信号数据, 通过对比信号的圆滑处理, 发现小波变换中只要采用合理的尺度, 就能取得优于圆滑处理的效果。

老挝川圹高原西南部的万象省赛松奔县, 地处北东向琅琅拉邦(Luangprabang) 构造成矿带和北西向长山(Truongson) 构造成矿带的交接部位。这两个带都属构造—火山岛弧区, 主要由多个花岗类深成岩侵入的古生代—新生代变沉积岩和火山岩组成。最近几年矿床统计资料显示, 该区域为老挝矿化蚀变带最为密集的区域, 矿点分布最为集中, 矿种有铜、铅、锌、锡、金、铁、锑等。目前找到的普比亚和赛松奔大型铜金矿、南巴坦锡矿、帕来铅锌矿等矿床都位于这两个成矿构造带上, 该区域矿床主要是斑岩型铜金矿和夕卡岩型铜矿。纳猛矿区就位于该区

[收稿日期] 2013-07-26

[基金项目] 国家自然科学基金(编号: 41174103) 和博士点基金(编号: 20070533075) 共同资助。

[第一作者简介] 龙建钢, 男, 1963年生, 硕士, 工程师, 从事地球物理勘探方法研究工作。

域内,2012年5—7月在此区域开展地面高精度磁法测量,因当时正值雨季,雷电现象频繁,地面高精度磁法测量结果混合叠加了超高、超大噪声干扰信号数据。通过对该区实测地面高精度磁测数据的小波变换处理,解释结果与实际地质情况基本相符。

1 小波与小波变换

小波变换是空间(时间)和频率的局部变换,因而能有效地从信号中提取信息。通过伸缩和平移等运算功能可对函数或信号进行多尺度的细化分析,解决了Fourier变换不能解决的许多难题。小波变换综合了应用数学、物理学、计算机科学、信号与信息处理、图像处理、地震勘探等多个学科。小波分析是时间—尺度分析和多分辨分析的一种新技术,它在信号分析、语音合成、图像识别、计算机视觉、数据压缩、地震勘探、大气与海洋波分析等的研究方面都取得了有科学意义和应用价值的成果。

设有函数: $\psi \in L^2(R) \cap L^1(R)$ 且 $\hat{\psi}(0) = 0$,

则称函数:

$$\psi_{a,b}(x) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad a, b \in R, a \neq 0 \quad (1)$$

为小波族函数。

且有:

$$\begin{aligned} W_f(a,b) &= f(x) \times \psi_{a,b}(x) \\ &= |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \overline{\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)} dt \end{aligned} \quad (2)$$

$W_f(a,b)$ 称为信号函数 $f(x)$ 的小波变换。其中 a 为尺度因子 b 为时间因子。

小波变换的公式有内积形式和卷积形式,两种形式的实质都是一样的。它要求的就是一一个个小波分量的系数,也就是“权”。其直观意义就是首先用一个时窗最窄,频窗最宽的小波作为尺子去一步步地“量”信号,也就是去比较信号与小波的相似程度。信号局部与小波越相似,则小波变换的值越大,否则越小。当一步比较完成后,再将尺子拉长一倍,又去一步步地比较,从而得出一组组数据。如此这般循环,最后得出的就是信号的小波分解。

(2)式的前半部分展示的就是信号函数与小波信号族的卷积。

2 小波变换对高频干扰的压制与消除

小波变换又有“数学显微镜”之称谓,主要是由小波变换中的两个参数变化引起,尺度因子可以控制信号缩放的倍数,而时间因子可以控制分析信号的部位。

将式(2)两边同时进行Fourier变换可得:

$$\begin{aligned} F[W_f(a,b)] &= F[f(x) \times \psi_{a,b}(x)] \\ &= F[f(x)] F[\psi_{a,b}(x)] \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $F[W_f(a,b)]$ 、 $F[f(x)]$ 、 $F[\psi_{a,b}(x)]$ 分别表示相应函数的Fourier变换。

由小波的定义可知,小波函数是一个有界的收敛函数,其有效成分主要集中在低频部分,因此,(3)式说明小波变换实质也是可以应用于低通滤波处理。

图1所示为一正弦函数 $\sin(x)$ 及叠加200%随机干扰的函数曲线图,图中看到随机干扰的跳跃性非常大,表现为干扰信号的高频特性。

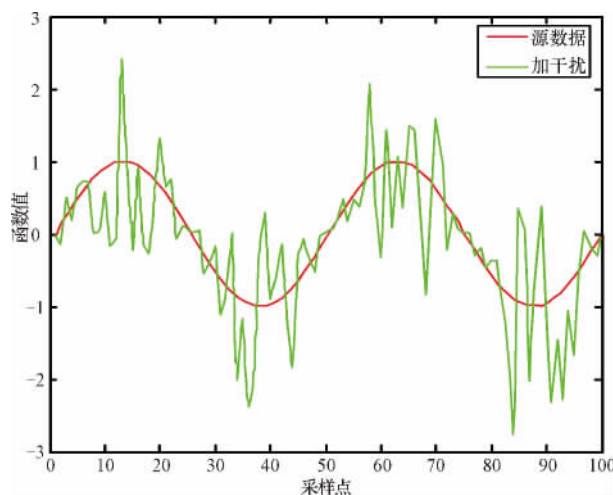


图1 源函数及添加随机噪声的函数曲线

图2所示,对叠加干扰噪声的信号分别进行5点2次圆滑和7点2次圆滑处理,干扰信号有一定的压制作用,但结果并不理想。圆滑处理可以解决连续点间的数据的跳跃问题,但不能解决超高、超大高频噪声的去除问题。

式(4)是高斯函数,高斯函数具有全部的小波函数性质,它也是一个小波函数。我们下面就利用高斯函数来做小波函数进行小波变换。

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

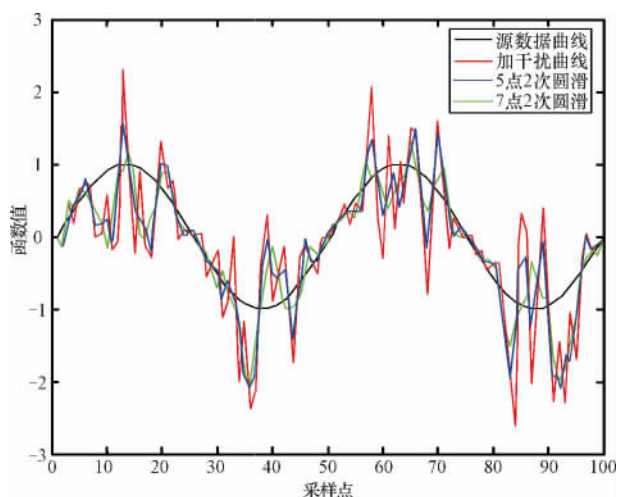


图2 对干扰信号进行圆滑处理结果

图3所示为通过对叠加噪声的信号进行小波变换的结果图,从图中可以看到,只要我们选择合理的尺度(尺度3),小波变换后的结果与源信号基本一致。由此可知,小波变换对超高、超大高频噪声干扰有很好的压制、去除效果。

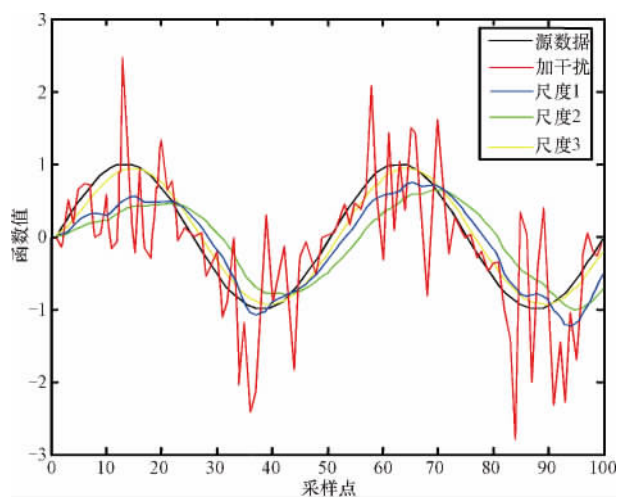


图3 多尺度小波变换结果

3 小波变换应用于地面高精度磁测数据处理效果

图4为老挝某地的地面高精度磁法测量结果图。从图中看到,异常非常紊乱,且存在沿测线方向(南北向)的异常挂带现象,通过与地质资料进行对比解释,发现这种呈南北方向的磁异常是不符合地质规律的。该区的磁异常主要是由北部的花岗岩和

南部的灰岩接触部位的含矿夕卡岩引起,而构造接触带走向为近北西—南东方向。这种严重背离实际地质状况的现象,使得本次地面高精度磁法测量结果解释非常困难。通过综合分析,由于当时实施该物探工程时,正值当地雨季,雷电现象多发,主要原因可能是由于观测日期及气候条件变化等随机原因造成的随机干扰引起。

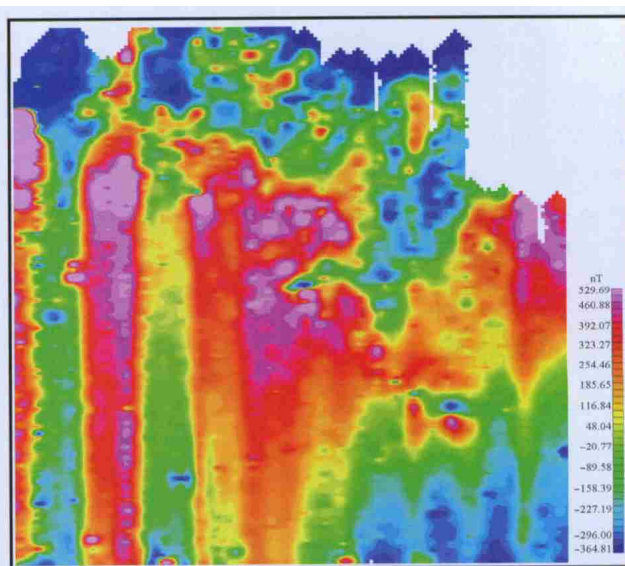


图4 老挝某地地面高精度磁测源数据

图5所示为沿测线方向进行了小波变换,从图中可以看到,沿测线方向上的杂乱异常得到了很好的压制和去除,但线间挂带异常依然存在。

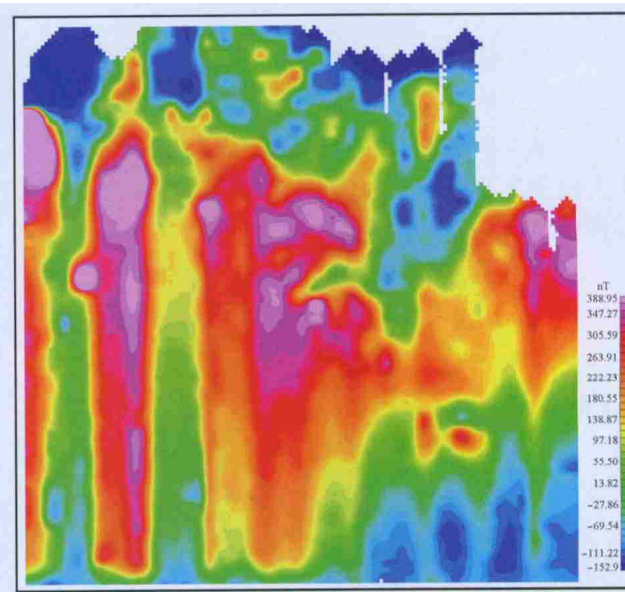


图5 沿测线方向小波变换结果

图6所示为沿垂直测线方向进行小波变换的结果。从图中可以清晰地看到,沿测线的挂带异常已经压制、去除殆尽了,但沿测线方向的高频干扰依然可见。

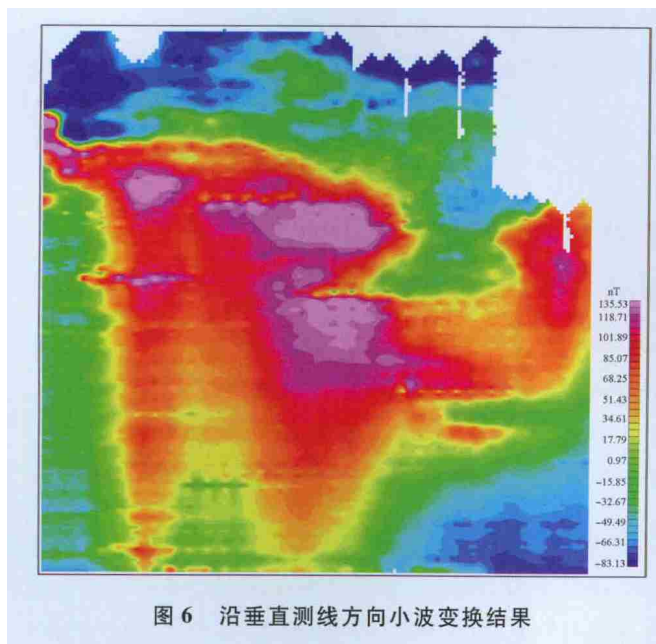


图6 沿垂直测线方向小波变换结果

图7所示为对测区数据进行二维小波变换的结果图。从图中可以看到,实测数据的高频干扰基本得到压制与消除,从异常形态和分布区域,可以简单推断该区的地质构造的平面分布情况。

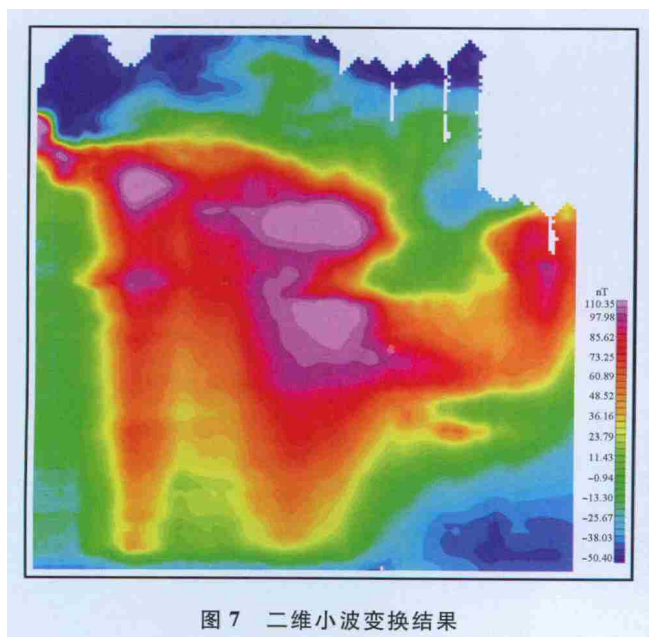


图7 二维小波变换结果

图8是根据高精度地面磁法测量结果,进行二维小波变换,从而推断出该区的地质断层平面图,图

中所显示的断层位置与实际地质情况完全相符,可以推断含矿夕卡岩体与接触带完全一致,并受后期构造的影响而产生不连续的串珠状形态。因而可知这次小波变换处理是完全成功的。

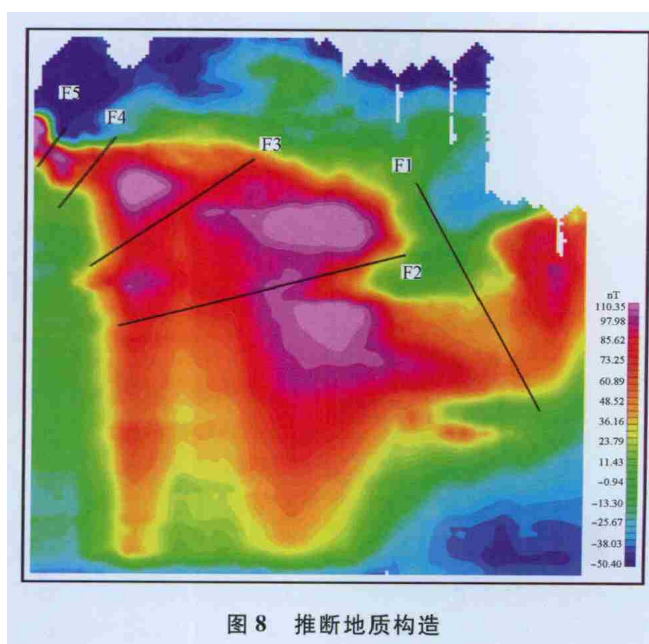


图8 推断地质构造

4 结语

地面高精度磁法测量,在区域或矿区地质构造勘查以及背景磁性较弱的中浅性磁性矿床的勘探中,发挥着越来越多的作用,但由于磁性探测仪器的应用对环境要求较高,而现在很多矿区的人文地理条件非常复杂,使得地面高精度磁法测量数据叠加大量高频成分的干扰噪声,给地面高精度磁法测量结果的处理与解释带来困难。

通过上面例子可以看出,应用小波变换的方法来处理地面高精度磁法测量的数据,只要选择合理的尺度系数,就能够很好地压制和去除超高、超大噪声干扰。

参考文献

- [1] 孙中任,赵雪娟,黄永卫. 浅谈常规数据处理在地面高精度磁测工作中的应用[J]. 地质与勘探, 2004, 140(9): 250-256.
- [2] Eirik Mauring, Ola Kihle. Leveling aerogeophysical data using a moving differential median filter[J]. Geophysics 2006, 71(1): 5-11.
- [3] 孙中任,赵雪娟,甄凡玉. 地面高精度磁测成图工作中异常分离的重要性[J]. 物探与化探, 2007, 31(9): 43-46.
- [4] 熊盛青. 发展中国航空物探技术有关问题的思考[J]. 中国地

- 质 2009, 36(6): 1366 – 1374.
- [5] 骆 遥,王 平,段树岭,等. 航磁垂直梯度调整 ΔT 水平方法研究[J]. 地球物理学报, 2012, 55(11): 3854 – 3861.
- [6] 于长春,范正国,王乃东,等. 高分辨率航磁方法及在大冶铁矿区的应用[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 979 – 983.
- [7] 熊盛青. 我国航空重磁勘探技术现状与发展趋势[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(1): 113 – 117.
- [8] 孙中任,赵雪娟,王丽娜. 地面磁测数据正常场改正现行方法探讨[J]. 地质与勘探, 2011, 47(7): 679 – 685.
- [9] 郭志宏,管志宁,熊盛青. 长方体 ΔT 场及其梯度场无解析奇点理论表达式[J]. 地球物理学报, 2004, 46(6): 1131 – 1138.
- [10] Huang H P. Airborne geophysical data leveling based on line to line correlations[J]. Geophysics, 2008, 73(3): F83 – F89.
- [11] 王彦国,张凤旭,刘 财,等. 位场垂向梯度最佳自比值的边界检测技术[J]. 地球物理学报, 2013, 56(7): 2463 – 2472.
- [12] 张凤旭,张凤琴,刘 财,等. 断裂构造精细解释技术——三方向小子域滤波[J]. 地球物理学报, 2007, 50(5): 1543 – 1550.

Application of the wavelet transform in the ground magnetic data processing

LONG Jian – gang¹, WU Yun-peng², WU Xiao-ping¹

(1. College of Geosciences and Info – Physics Engineering, Central – South University, Changsha 410083;

2. College of Computer Science & Technology, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225)

Abstract: The ground high precision magnetic survey is widely used for prospecting of the weak magnetic object and hidden magnetic bodies. Due to the extreme observation sensitivity and high precisions of the ground magnetic survey method, the survey data-set commonly bears large amount of disturbing noises, thus it results in the difficulty during the data processing and data interpretation. The authors has applied the wavelet transform approach to deal with the high frequency disturbing noise, and compared the transformed result with the smoothed result, found that the wavelet transform at certain scale can suppressed and reduced the added noise signal. Applying the wavelet transform method to the original high precision magnetic survey conducted in the exploration project in Laos, the authors achieved similar interpretation results in accordance with the geological conditions.

Key words: wavelet; wavelet transform; high precision magnetic survey; high frequency noise; gaussian function