

基于整体变分模型的地球化学数据降噪研究^①

魏友华^{1,2,3}, 刘 斌^{1,2,3}, 董跃华^{1,3}

1. 成都理工大学 数学地质四川省重点实验室, 成都 610059;

2. 成都理工大学 地球物理学院, 成都 610059;

3. 成都理工大学 管理科学学院, 成都 610059

摘要: 地球化学数据处理中如何有效地消除噪声是能否正确利用地球化学信息进行矿产预测的关键. 借鉴整体变分模型在图像去噪上的应用, 本文将其用于地球化学数据降噪处理, 通过仿真实验和西藏自治区洞噶普铜矿的 1:1 万土壤地球化学数据处理具体应用, 结合累积频率法进行元素异常分带序列划分, 可以发现经过整体变分模型降噪后的数据更能体现元素的空间分布特征, 达到还原真实信息的目的, 突出地球化学中成矿元素的异常, 从而提高圈定矿产资源远景区的精度.

关键词: 整体变分模型; 地球化学异常; 数据降噪; 成矿预测

中图分类号: P628

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2015)1-0079-07

在找矿实践中, 地球化学数据是重要的信息源, 如何从中提取出地球化学的找矿信息, 揭示其中的地质本质, 是成矿预测工作的主要内容之一^[1-3]. 地球化学数据是经过采样、预处理和分析等步骤得来, 而在上述一系列过程中相应地会产生采样误差、预处理误差和分析误差, 由此叠加形成了地球化学数据中的噪声^[4-5]. 在矿产预测实践中, 主要工作是如何从地化数据中挖掘有效的矿体信息, 但地球化学数据在获取的过程中存在误差, 因而要充分提取地球化学信息, 突出主体优势, 关键问题就是有效的消除噪声^[6-8].

整体变分(Total Variation, TV)模型是经典的图像处理变分模型^[9]. 在各种基于偏微分方程的去噪模型中, TV 方法处理的结果得到了比较令人满意的输出图像, 因为它在去除噪声的同时并不会对图像的边缘产生扭曲和模糊, 成为应用较多的主流图像去噪方法之一^[10-11]. 但目前地球化学数据处理中未见到 TV 模型的应用, 如果将某项地球化学元素值视为像素点上的灰度值, 则 TV 方法算法思想符合地球化学数据的空间分布特征, 可用于地球化学数据降噪处理. 本文将 TV 方法引入地球化学数据降噪处理, 并用西藏自治区洞噶普铜矿的 1:1 万土壤地球化学数据进行验证.

1 TV 模型

TV 模型是由 Rudin, Osher, Fatemi 等人提出的^[12-13], 其衡量最优的准则是图像函数的 TV 能量最小, 因为含噪图像的 TV 能量比原图像的 TV 能量总是要大, 这样就将图像去噪问题转化成一个 TV 能量最小

① 收稿日期: 2013-11-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41272363); 国土资源部公益性行业科研专项(201011002-08); 中国地质调查局地质调查项目(122011120212); 数学地质四川省重点实验室开放基金项目(scsxdz2011011); 四川省教育厅资助科研项目(13ZB0063).

作者简介: 魏友华(1976-), 男, 四川绵竹人, 副教授, 主要从事数学地质、应用数学研究.

化问题, 得出了 TV 模型如下:

$$\min_u E(u) = \iint_{\Omega} |\nabla u| \, dx dy \quad (1)$$

且满足以下两个约束条件:

$$\iint_{\Omega} u(x, y) \, dx dy = \iint_{\Omega} u_0(x, y) \, dx dy \quad (2)$$

$$\frac{1}{|\Omega|} \iint_{\Omega} (u(x, y) - u_0(x, y))^2 \, dx dy = \delta^2 \quad (3)$$

其中 u 为原始图像, u_0 为加入均值为 0, 方差为 δ^2 的噪声后图像, 上式是一个约束泛函极值问题.

2 TV 模型去噪

利用 TV 正则定义的图像能量泛函如下:

$$\min_u E(u) = \iint_{\Omega} |\nabla u| \, dx dy + \frac{\lambda}{2} \iint_{\Omega} |u(x, y) - u_0(x, y)|^2 \, dx dy \quad (4)$$

需求取一函数 u 使该能量 E 达到最小值. 用 Euler—Lagrange 方程可以得到相对应的极值条件, 即得到一个二阶偏微分方程如下:

$$-\nabla \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) + \lambda(u - u_0) = 0 \quad (5)$$

采用偏微分方程的数值解法中的最速下降法来求解, 结果如下:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) + \lambda(u - u_0) \quad (6)$$

上式中引入了时间演化参数 t_0 . 在实际的求解过程中, 为了避免可能出现的 $|\nabla u| = 0$ 而导致结果的不稳定, 图像 u 的 TV 模用 $\sqrt{|\nabla u|^2 + \epsilon^2}$ 来表示, 其中 ϵ 是一个正常数.

3 仿真实验

3.1 图像仿真

选用一幅灰色图像进行去噪恢复实验. 图 1 为用 Matlab 语言中 Image 函数显示的假彩色原始图像, 图 2 为添加了高斯噪声的图像, 图 3 为运用 TV 方法降噪恢复后的图像. 图 4 是将图像灰度值转化为一维数据绘制的波动图, 从上到下依次为原始图像波动图、噪声图像波动图、降噪恢复图像波动图. 从图 4 的 (1)、(2) 对比可以看出, 添加噪声后很多像素点对应的灰度值有较大变化, 经过 TV 方法去噪恢复后图 4 的 (1)、(3) 基本一致. 从图 1 和图 3 也可以看出 TV 方法去噪恢复的图像效果较好, 能有效地去除添加在图像上的噪声.

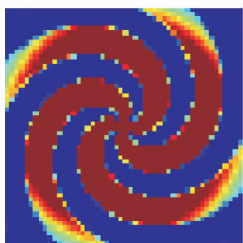


图 1 原始图像

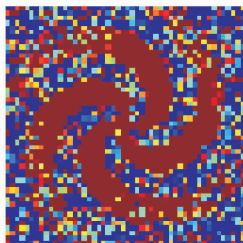


图 2 添加噪声的图像

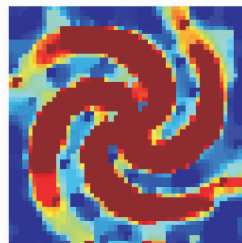


图 3 降噪恢复图像

3.2 地化数据仿真

下面采用地球化学数据进行仿真实验, 选取了某一矿区某元素含量值, 共 2 337 个数据点. 由于图像

可以看作是一个二维数组, 所以首先运用反距离加权法对其进行插值, 插值后为 101×71 的二维数组, 其仿真结果见图 5~图 8.

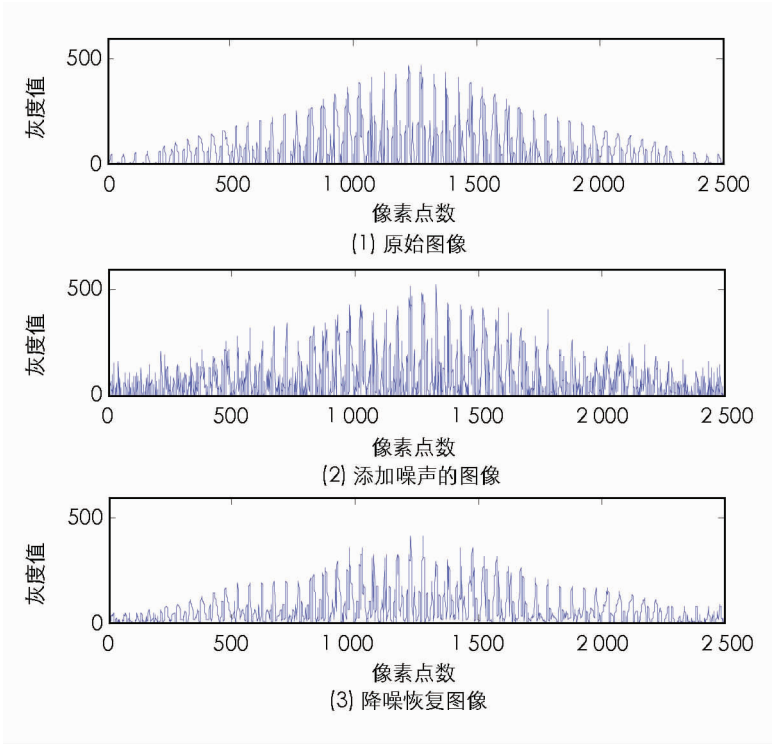


图 4 图像波动图

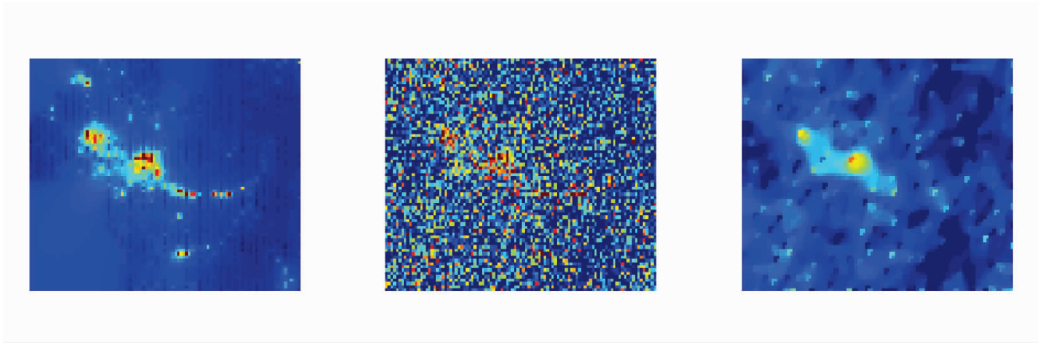


图 5 原始数据 图 6 添加了噪声的数据 图 7 恢复后数据

从图 8 的(1)和(2)对比可以看出噪声让波动图形发生了较大的变化, 如元素位置坐标在 $[0, 1000]$ 内噪声明显比原始值要大很多. 从图 8 的(1)和(3)的对比可以看到除了横坐标位置在 3000、4000 等处的特高值被剔除外, (1)和(3)的波动图形的整体形态非常接近, 说明 TV 方法的去噪效果还是比较好的, 有效地抑制了噪声. 从图 5~图 7 也可以直观看到虽然附加了噪声的图像(图 6)将原始图像(图 5)的特征掩盖了, 但是经过 TV 降噪处理的图形(图 7)基本恢复了原始图(图 5)的特征.

4 实际应用

洞噶普铜矿 1:1 万土壤地球化学测量数据总共采样 2 337 个, 实际采样点位置如图 9 所示. 共分析了 Au, Ag, Cu, Pb, Zn 5 种地球化学元素, 经统计得到数据的特征指标如表 1 所示.

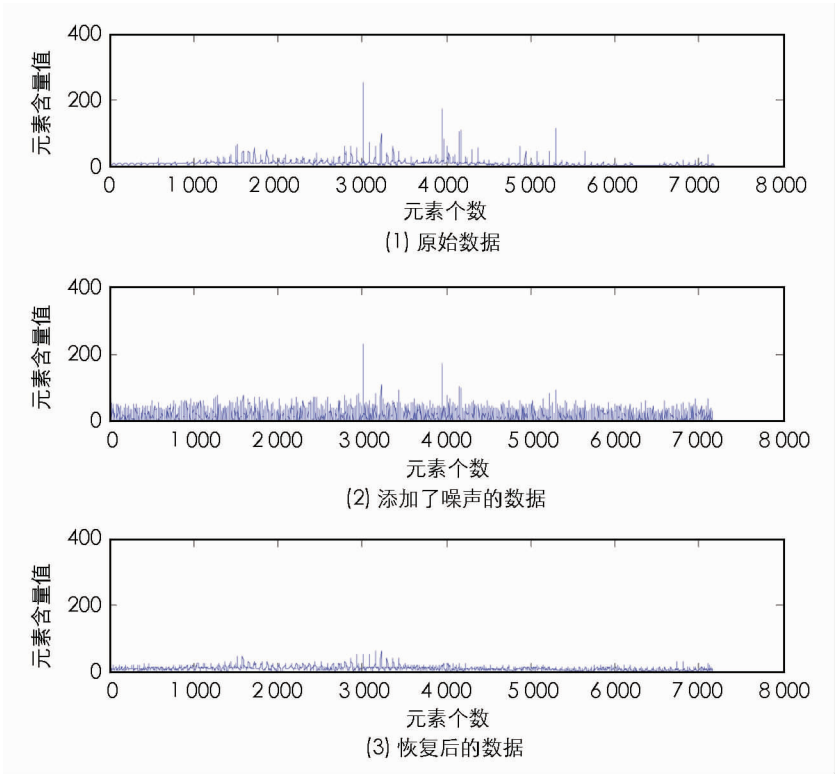


图 8 数据波动图

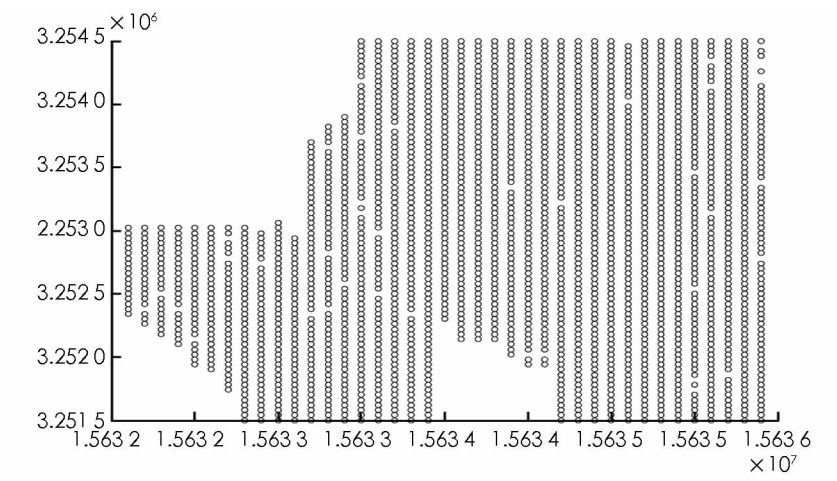


图 9 采样散点图

表 1 洞噶普土壤地球化学测量元素地球化学特征参数表元素

指标	Au	Ag	Cu	Pb	Zn
最小值	1.100	0.02	9.76	6.80	13.80
最大值	9 050.00	38.40	4 541.00	18 053.00	2 754.00
平均值	24.50	0.25	74.54	43.31	105.92
标准差	274.40	0.92	191.43	381.20	144.49
方差	75 330	0.852 5	36 660	145 382	20 886
衬度系数	0.45	0.196	0.25	0.246	0.183
偏度系数	29.15	33.02	14.87	45.28	9.36
峰度系数	912.02	1 291.60	295.20	2 132.45	124.61
变异系数	11.74	0.039	8.19	16.31	6.18

注：各元素单位： $\omega(\text{Au})/10^{-9}$ ， $\omega(\text{Ag})/10^{-6}$ ， $\omega(\text{Cu})/10^{-6}$ ， $\omega(\text{Pb})/10^{-6}$ ， $\omega(\text{Zn})/10^{-6}$ 。

由于 Cu 和 Au 是该矿区的成矿元素, 因此本文重点考虑 Au 和 Cu 元素的去噪情况. 其他元素类似处理, 文中不作详细叙述.

依据 TV 算法图像去噪思想, 分别得到 Au 元素原始数据去噪前后对比波动图和 Cu 元素原始数据去噪前后对比波动图如图 10 和图 11 所示.

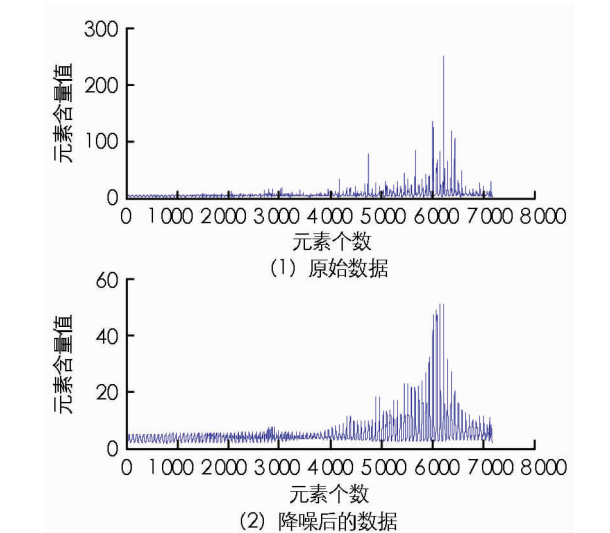


图 10 Au 元素数据去噪对比波动图

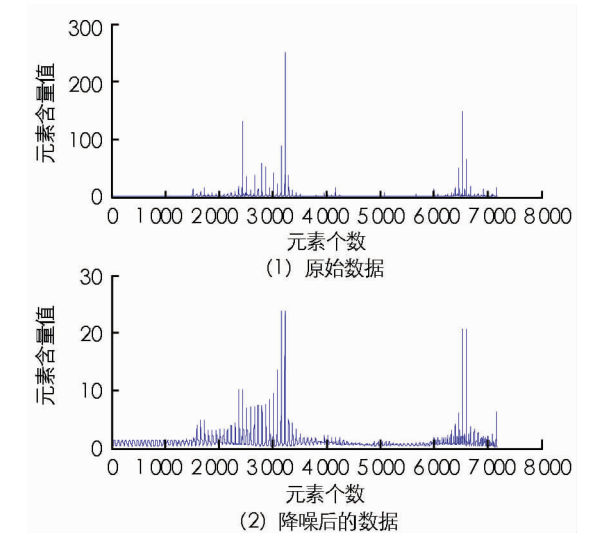


图 11 Cu 元素数据去噪对比波动图

从图 10 和图 11 可以看出 Au 元素与 Cu 元素原始数据与降噪数据波形图比较一致, 但经过 TV 算法进行处理的数据波动更小, 说明当原始数据中含有奇异值时, TV 算法可以有效地改善这些数据对结果带来的影响, 元素含量值的波动范围明显减小, 数据变化趋于平缓. 此种算法可以合理地去除地球化学数据噪声, 使异常区域的圈定更加合理. 由此可见, 应用 TV 算法对地球化学数据降噪处理是可行的.

为了体现元素的空间分布特点, 绘制相应元素的等值线图, 如图 12~图 15 所示. 所圈定的异常的外带、中带和内带, 同样采用累积频率来圈定异常等值线图, 选定的分级频率为 85%, 95%, 98%, 得到的对比结果如表 2 所示.

表 2 地球化学数据和经 TV 算法处理后圈定的分带序列

元素	Au(原始)	Cu(原始)	Au(去噪后)	Cu(去噪后)
内带	92.57	243.733	65.845 5	215.464 2
中带	53.217	155.191	45.413 6	141.292 2
外带	27.14	88.315 1	25.462 4	89.226 4

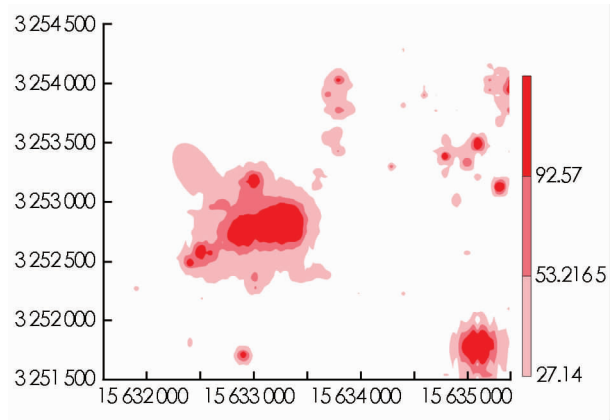


图 12 原始数据 Au 元素异常图

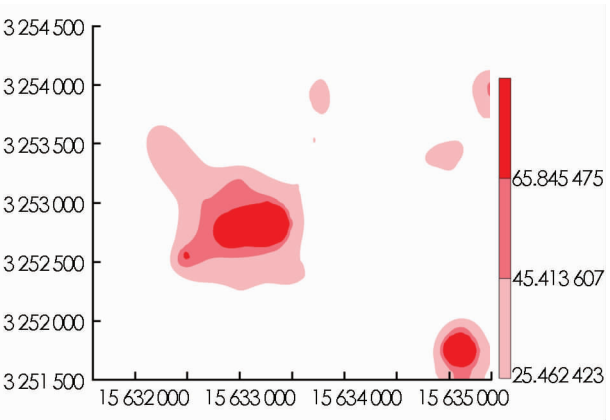


图 13 去噪后 Au 元素异常图

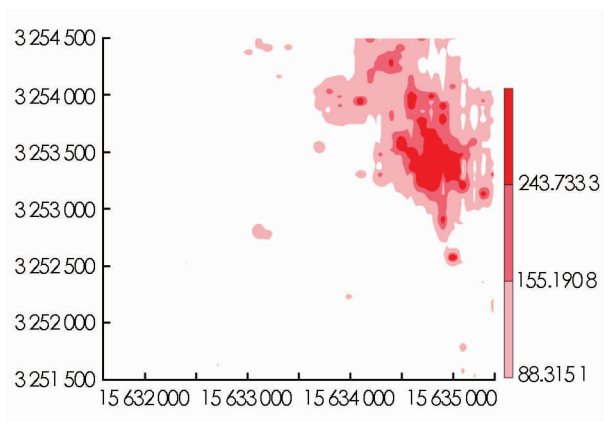


图 14 原始 Cu 元素异常图

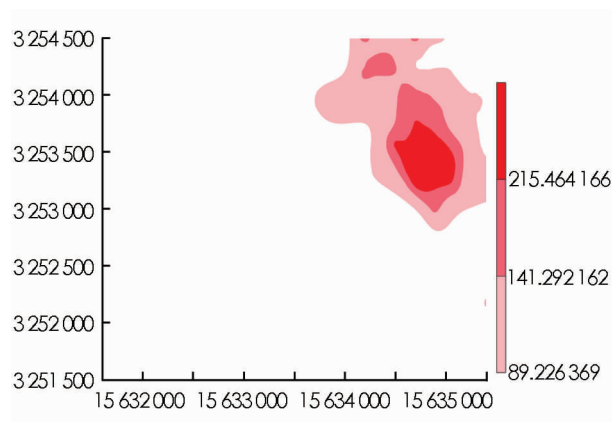


图 15 去噪 Cu 元素异常图

比较 Au 与 Cu 元素原始数据等值线图与其降噪处理后 Au 与 Cu 元素等值线图可以看出, 降噪后的等值线图不仅突显异常区域, 同时还过滤了轻微的假异常现象, 便于下一步地质工作. 如 Au 元素原始数据等值线图左下部分位置[1563280, 3251700]附近的异常在后期的工程验证中未被发现, 由此可以看出经过 TV 降噪后元素分布更加符合实际情况.

4 结 论

本文在偏微分方程对图像进行降噪的基础上将 TV 模型用于研究地球化学数据降噪问题, 通过仿真实验说明了 TV 模型用于地球化学数据降噪的可行性, 并将该方法用于西藏自治区洞噶普铜矿的 1:1 万土壤地球化学数据降噪处理, 获得较好的效果. 本文主要是利用了 TV 方法来进行地球化学数据降噪处理, 这只能算是做了极为有限的应用, 对该算法的理论研究及应用研究有待进一步加强.

参考文献:

- [1] 裴 韬, 鲍征宇. 地球化学数据去噪方法研究 [J]. 地质地球化学, 1998, 26(4): 86—90.
- [2] 李春华. 白山地区地球化学元素组合求异模型研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [3] 吴锡生, 纪宏金, 陈 明. 化探数据处理的发展、现状与趋势 [J]. 物探化探计算技术, 1994, 16(1): 84—88.
- [4] 赵鹏大, 陈永清. 地质异常矿体定位的基本途径 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1998, 23(2): 111—114.
- [5] 肖 斌, 赵鹏大, 侯景儒. 现代地质统计学的新进展 [J]. 世界地质, 1999, 18(3): 81—87.
- [6] 韩天成, 张振飞, 吕新彪, 等. 东天山中段区域化探异常评价方法研究 [J]. 地质与勘探, 2011, 7(5): 885—893.
- [7] ALLEGRE C J, LEWIN E. Scaling Laws and Geochemistry Distributions [J]. Earth and Planetary Letters, 1995, 132: 1—13.
- [8] 陈 聆, 魏友华, 郭 科. 用含量面积法确定深切割地区地球化学异常 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2004, 29(5): 867—869.
- [9] 陈 集. 基于小波变换与偏微分方程的图像去噪算法研究 [D]. 西安: 西北大学, 2010.
- [10] 李 玲, 胡学刚, 蒋 伟. 一种基于 LIP 的全变分图像去噪新模型 [J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2011, 34(1): 134—138.
- [11] 王益艳. 基于平滑核的广义变分去噪模型 [J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2010, 27(6): 59—63.
- [12] RUDIN L, OSHER S, FATEMI E. Nonlinear Total Variation Based Noise Removal Algorithms [J]. Physica D, 1992 (60): 259—268.
- [13] CHAN T F, OSHER S, SHEN J. The Digital TV Filter and Nonlinear Denoising [J]. IEEE trans on Image Processing, 2001, 10(2): 231—241.

Study on Geochemical Data Denoising Based on Total Variation Model

WEI You-hua^{1,2,3}, LIU Bin^{1,2,3}, DONG Yue-hua^{1,3}

1. Geomathematics Key Lab of Sichuan Province, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. College of Geophysics, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

3. College of Management, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China

Abstract: It is the key problem in predicting mineral resources that how to effectively eliminate the noise during geochemical data processing. In this paper, the total variation model into the geochemical data denoising has been taken, as it is in the the application of image denoising. The simulation experiments and application in 1 : 10 000 soil geochemical data of Donggapu copper ore, Tibet shows the data reduced noise by the total variation model can reflect the spatial distribution of elements better than not reduced noise, and achieve the true information. Then the data reduced noise by total variation model can improve the accuracy of metallogenic prediction.

Key words: total variation modeling; Geochemical anomalies; data noise reduction, Metallogenic prediction

责任编辑 陈绍兰