

优化小子域滤波方法研究及其应用

马国庆* 杜晓娟 李丽丽

(吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林长春 130021)

马国庆, 杜晓娟, 李丽丽. 优化小子域滤波方法研究及其应用. 石油地球物理勘探, 2013, 48(4): 658~662

摘要 低通滤波是重磁数据处理中必不可少的处理手段。利用小子域滤波法进行低通滤波处理时能够很好地保留异常之间的界限,因此此法在实际数据处理中得到广泛应用。但是,小子域滤波法存在子域剖分方式不合理导致异常曲线扭曲的缺陷。本文针对现有小子域滤波法的子域剖分方式和判别准则进行相应改进,使其更加合理,并通过理论模型试算,证明了优化小子域滤波方法的有效性,最后将该方法应用于四川实测航磁异常数据的处理中,结果表明能更好地保留异常之间的界限特征,滤波输出结果合理、稳定。

关键词 重磁数据 低通滤波 小子域滤波 区域场 界限

中图分类号: P631 **文献标识码**: A

1 引言

利用重磁异常解决特定的地质任务之前,需要对重磁数据进行低通滤波^[1],以便从反映地下综合异常体的异常中提取出目标体异常。频谱分析技术是重磁数据进行低通滤波最常用的方法之一^[2],但利用此类方法进行滤波时往往会模糊异常之间的界限。为改善这一缺陷,杨高印^[3]提出了利用小子域滤波法进行低通滤波以获得区域场,该方法能很好地保留异常之间的界限。张凤旭等^[4]提出利用三方向小子域滤波算法进行断裂的识别,实际应用效果较好^[5,6];马涛等^[1]针对传统子域划分方式存在的偏心问题进行改进,提出了对称子域划分方式,使输出结果更加稳定,但该剖分方式只是局部对称;肖锋等^[7]采用田字形子域划分方式进行低通滤波,使异常之间的界限得到增强。

上述改进后的方法使小子域滤波后的结果更加符合实际情况,但是均未考虑观测点处于区域场及局部弱异常干扰的情况,为了进一步提高小子域滤波法的有效性和实用性,本文对子域划分方式和判别准则进行了相应的改进,使其适用性更强,输出结果更加合理,能更好地保留异常之间的界限特征。

2 传统小子域滤波法探析

传统小子域滤波法是基于滑动平均法进行改进的,首先在中心点不同侧面布设8个子域(图1),并计算8个子域内异常的变化,以均方差作为平缓系数进行衡量,然后以平缓系数为最小子域的平均值作为区域场的输出结果,该方法很好地完成了低通滤波,并对异常之间的界限进行了保留。

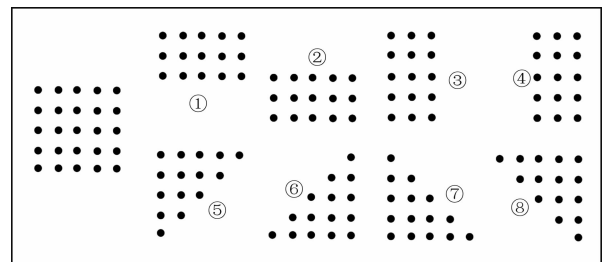


图1 传统小子域滤波方法的子域划分方法^[3]

但在利用传统小子域滤波法进行低通滤波时,会存在以下缺陷:

(1)当计算点本身已经处于平稳的区域场中时,周围任意子域的平均值都不能准确描述该点的区域场特征,会引起异常形态的畸变;

* 吉林省长春市西民主大街938号521室,130021。Email:magq08@mails.jlu.edu.cn

本文于2012年1月5日收到,最终修改稿于2013年6月2日收到。

本研究由深部探测技术与实验研究专项 SinoProbe-09-01 (201011080)和中国地质调查局地质矿产调查评价专项项目(GZH003-07-03)联合资助。

(2)传统子域划分方式的不对称性使得数据变化平缓区的重心向数据变化剧烈区偏移,造成异常梯级带形态的扭曲,异常曲线呈现不规则的弯曲;

(3)当计算点所在区域内存在的局部异常相对于区域异常幅值较小时,测量值的均方差对于局部异常的反映不灵敏。

针对以上小子域滤波法存在的问题,本文提出相应改进措施,使其能更好地完成低通滤波。

3 优化小子域滤波法

本文对子域的划分方式及其判别准则进行相应的修改,使输出结果更加合理,使该方法适用性更强。

3.1 子域划分方法

针对传统小子域滤波方法的子域划分应具备两个基本条件:一是子域的对称性;二是计算点本身已处于区域场。为此给出如图 2 所示的划分方法。从图 2 中可以看出,改进后的子域划分方式包括×字形和十字形两种划分方式,这两种划分方式完全对称,避免了对异常形态的挤压,并且考虑了计算点本身处于区域场的情况。从子域的方向中可以看出,×字形划分方式(图 2b)能更好地体现水平与垂直方向的构造,而十字形划分方式(图 2a)对于倾斜走向的构造效果更佳。在对实际数据进行处理时,可以分别采用两种方式进行滤波,然后以两种结

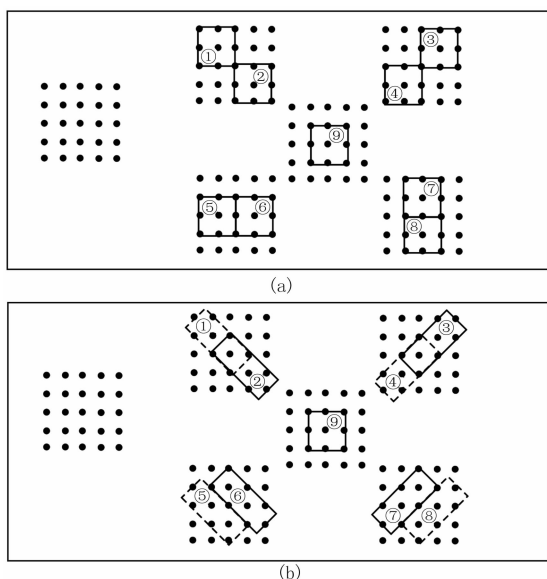


图 2 改进的子域划分方法

(a)“+”字形划分方式;(b)“×”字形划分方式

果的平均作为最后的结果,可有效突出不同方向上的异常,适应性较强。

3.2 子域判别准则

传统小子域滤波是以子域内数据的均方差作为判别准则,即

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})^2} \quad n = 0, 1, 2, \dots, 8 \quad (1)$$

式中: f 代表重力或磁力异常; \bar{f} 为子域的平均值; σ_n 为取得最小值的子域的平均值作为输出结果。

当窗口内存在的局部异常相对区域异常较小时,窗口内异常的均方差并不一定大,有时反而会小,因此常规的子域判别方法无法消除局部的弱异常,与方法的初衷相悖;总水平导数具有突出浅部异常和地质体界限的特性,但是当异常范围较宽时异常的正上方与异常外部的总水平导数均接近零值,会出现判别准则的混乱,因此本文采用原始异常和水平导数的均方误差联合的方法进行子域的选取,可有效降低单一变量所带来的不确定性。其判别准则如下:

(1)首先在 9 个子域内选取均方误差较小的前 3 个(具体数字可根据实际情况进行设定)区域作为靶区;

(2)计算选定的 3 个子域水平导数的均方差为

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (TD_i - \overline{TD})^2}$$

其中: $TD = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$; \overline{TD} 代表子域内总水平导数的平均值。

(3)在事先选定的 3 个子域中选取水平导数均方差最小区域的均值 \bar{f} 作为最后的输出结果;

(4)滑动到下一点,直至完成全区的计算。

经过改进后的小子域滤波算法充分考虑了实际数据处理中可能存在的问题,使该方法的应用效果更佳。

4 理论模型

为了检测改进后小子域滤波法的有效性,设计如下地质模型:在地下存在 3 个长方体,其具体参数如表 1 所示。

根据表 1 中的各项参数可以得到地下地质体模型及其所产生的重力异常,如图 3 所示。

表 1 模型参数

模型	长 m	宽 m	高 m	密度差 g/cm ³
绿	4	4	3	0.8
红	30	20	10	0.8
黄	30	20	10	0.8

分别采用传统的小子域滤波法和优化小子域滤波方法对重力异常进行处理,图 4 为其试验结果。从图 4 中可以看出:传统小子域滤波法能较好地突出异常变化较大的界限,但是滤波结果的重心明显向数据变化剧烈区偏移,曲线会出现不规则的弯曲,由于判别准则在边界处不灵敏,使其不能很好地保留拐弯处的界限特征,也未能很好地消除浅部局部异常的干扰(图 4a,图 4e);改进的小子域滤波法能有效地突出异常之间的界限,而且未出现重心偏移现象,曲线弯曲度较小,且在边界突变处表现也较好(图 4b,图 4c,图 4d,图 4f),且×字形小子域滤波算法(图 4b)在拐角处的滤波效果要好于十字形小子域滤波方法(图 4c),这也说明×字形划分方式对于

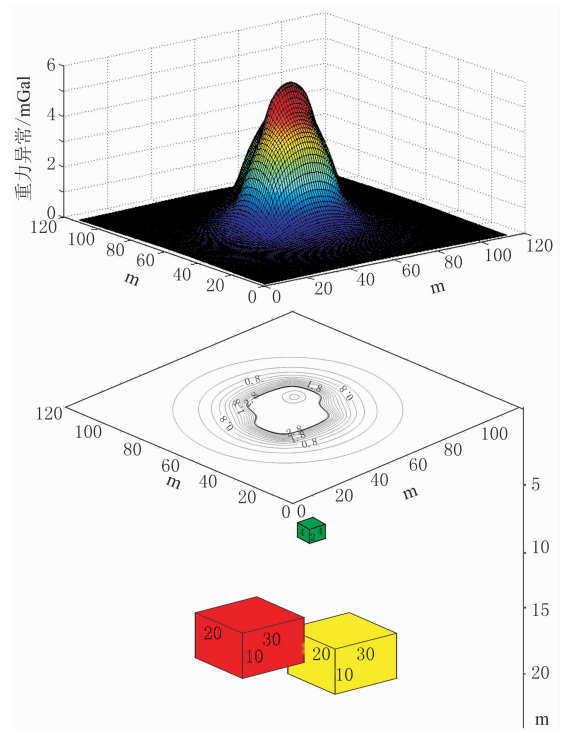


图 3 地质模型(下)及其引起的重力异常(上)

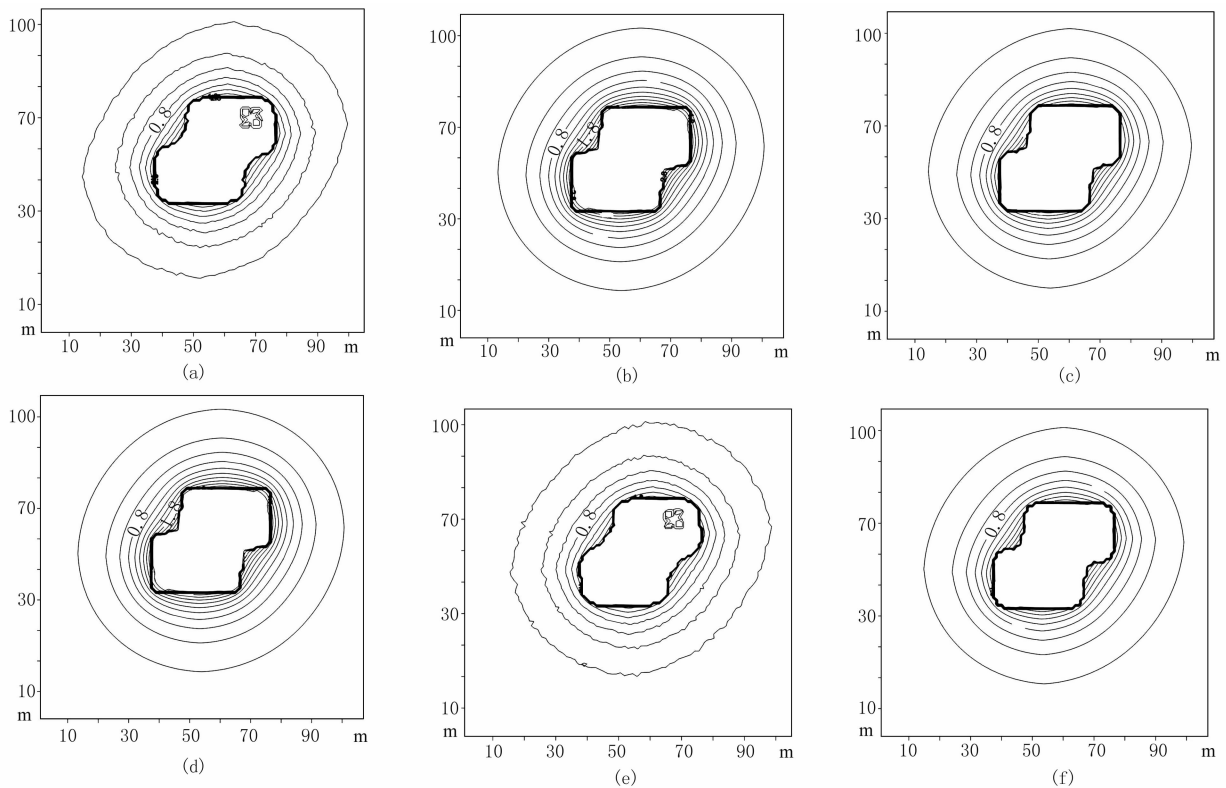


图 4 不同窗口的小子域滤波结果(等值线间距为 0.2mGal)

(a)传统方法,窗口尺寸为 5×5; (b)改进后×字形,窗口尺寸为 5×5; (c)改进后+字形,窗口尺寸为 5×5; (d)改进后×字形与+字形叠加,窗口尺寸为 5×5; (e)传统方法,窗口尺寸为 9×9; (f)改进后×字形与+字形叠加,窗口尺寸为 9×9。窗口尺寸均以 m 为单位。

水平与垂直方向上的构造线能更好地保留;随着窗口尺寸的加大,可以看到传统小子域滤波算法(图4e)所保留的边界较为圆滑,与真实界限差距较大,而改进后的方法几乎不受影响,依然很稳定(图4f)。

5 实例

以地矿部航空物探地质总队编绘的1:100万四川盆地航空磁力异常平面图(图5)为例。根据其分布特征将四川盆地大致分为三个区:Ⅰ—负异常区,包括龙门山等负异常和分散的小范围的正异常,在成都南部存在一个的正值圈闭;Ⅱ—强磁场区,以

南充和巴中为代表的强磁异常,与Ⅰ、Ⅲ区之间以磁异常梯级带为界限;Ⅲ—弱磁场区,由西向东磁异常值逐渐增加,但增加幅度较小。

利用传统的小子域滤波算法和改进后的小子域滤波法对航磁异常进行滤波处理(图6,图7),滤波窗口尺寸为 5×5 。

从图6、图7的处理结果中可以看出,传统的小子域滤波算法能较好地保留异常之间的界限,但在数据平缓区域等值线出现了抖动(图6a)。改进后的方法可以有效滤除浅部小的干扰(图6b,图7),使异常曲线更加光滑,异常之间界限更加明显,且十字形滤波输出结果(图7a)之间的界限好于 \times 字形滤波结果(图6b),这是由于梯级带的走向均为倾斜导

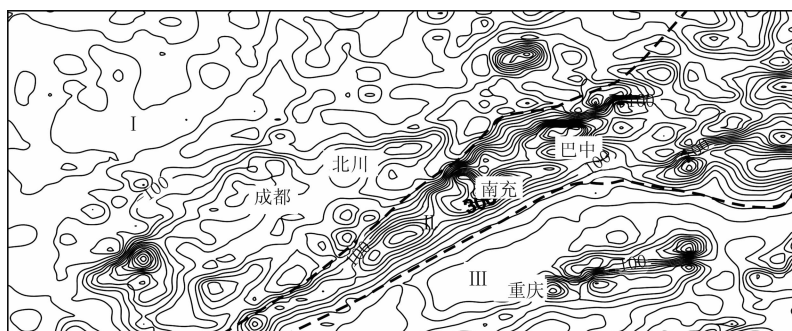
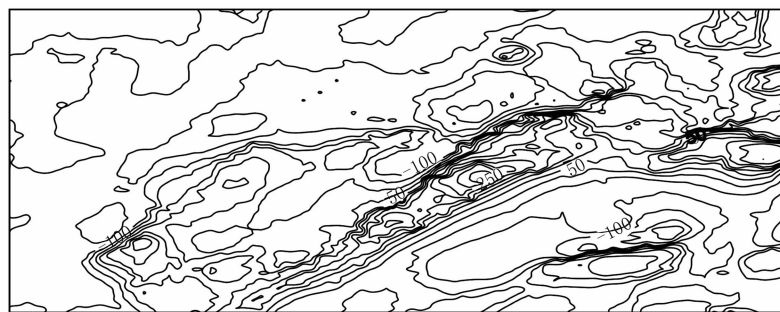


图5 四川盆地航磁异常(等值线间距40nT)



(a)



(b)

图6 航磁异常小子域滤波结果(一)(等值线间距40nT)

(a)传统方法;(b)改进后 \times 字形

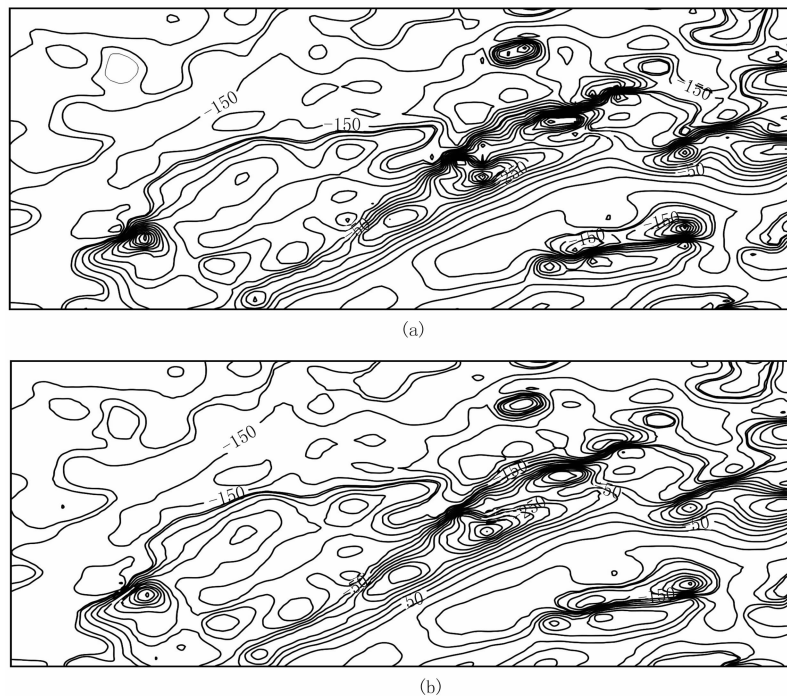


图7 航磁异常小子域滤波结果(二)(等值线间距40nT)

(a)改进后+字形;(b)改进后×字形与+字形叠加

致,因此在未知区域进行低通滤波时,可采用以上两种结果的叠加(图7b),不会遗漏任何形式的界限。从本试验中也可以看出叠加后的结果中异常之间的梯级带依然清晰,总体看改进后方法的应用效果更好。

6 结论

本文对传统的小子域滤波法子域划分方式及判别准则进行了改进,使其更加符合实际情况,能更好地完成低通滤波。通过理论模型和实际数据的处理可以看出,改进的小子域滤波法比传统算法效果更佳,滤波输出结果更加合理、稳定,异常之间的界限得到了更好的保留,有很好的应用效果。

参考文献

- [1] 马涛,王铁成,王雨.一种改进的网格数据保持梯度滤波方法.石油地球物理勘探,2007,42(2):198~201
Ma Tao, Wang Tiecheng and Wang Yu. An improved gradient preserved grid data filtering approach. *OGP*, 2007, 42(2):198~201
- [2] 熊光楚.位变滤波及其在重、磁异常解释中的应用.物探与化探,1979,3(5):43~49
- [3] 杨高印.位场数据处理的一项新技术——小子域滤波法.石油地球物理勘探,1995,30(2):240~244
Yang Gaoyin. A new technique for potential-field data processing: small subdomain filtering. *OGP*, 1995, 30(2):240~244
- [4] 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.地球物理学报,2007,50(5):1543~1550
Zhang Fengxu, Zhang Fengqin, Liu Cai et al. A technique for elaborate explanation of faulted structures: three directional small subdomain filtering. *Chinese J Geophys*, 2007, 50(5):1543~1550
- [5] 张凤旭,刘万崧,张兴洲等.用重力三方向小子域滤波解释伊通盆地断裂.地球科学—中国地质大学学报,2009,34(4):665~672
Zhang Fengxu, Liu Wansong, Zhang Xingzhou et al. Explanation of faulted structure in Yitong basin using three-directional small sub domain filtering. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2009, 34(4):665~672
- [6] 张凤旭,张兴洲,张凤琴等.中国东北地区重力场研究——利用改进的三方向小子域滤波划分主构造线及大地构造单元.地球物理学报,2010,53(6):1475~1485
Zhang Fengxu, Zhang Xingzhou, Zhang Fengqin et al. Study of gravity field in Northeastern China area: Classification of main structure lines and tectonic units using the improved three-directional small subdomain filtering. *Chinese J Geophys*, 2010, 53(6):1475~1485
- [7] 肖锋,吴燕冈,孟令顺.位场数据处理中小子域滤波的改进.石油地球物理勘探,2010,45(1):136~139
Xiao Feng, Wu Yangang and Meng Lingshun. An improvement on small subdomain filtering in potential field data processing. *OGP*, 2010, 45(1):136~139

(本文编辑:冯杏芝)