

文章编号:1673-9469(2015)04-0047-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2015.04.011

重力异常处理中小子域滤波法的改进

蔡 钟^{1,2},倪小东^{1,2}

(1. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室,江苏 南京 210098;
2. 河海大学 岩土工程研究所,江苏 南京 210098)

摘要:在重力资料处理中,小子域滤波法会导致异常边界严重失真。为了弥补这一缺陷,提出一种改进的小子域滤波法,通过对子域剖分方式的改进以达到提升计算速度和控制异常边界失真的效果。通过模型试验对该方法的可行性进行验证,试验结果表明:重力异常数据利用改进的小子域滤波法多次迭代计算后,可以较好地反映地质体边界的分布情况,失真现象得到明显抑制;利用该方法描绘出虎林盆地断裂分布图,得到了25条断裂的分布情况,与已有的地质资料存在很好的对应关系。

关键词:小子域滤波法;剖分方式;多次迭代;虎林盆地

中图分类号:P631.1

文献标识码:A

An improvement on small sub - domain filtering method in processing gravity anomalies

CAI Zhong^{1,2}, Ni Xiao-dong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China; 2. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China)

Abstract: Small sub - domain filtering method is one of common methods in processing gravity data. After processing gravity anomaly data, the cascade bands of gravity anomaly become more convergent, which could be used to reflect geological boundaries. Multiple iterations can improve the effect of convergence, but they also cause serious distortions of boundaries of gravity anomalies. In order to remedy the defect, we use an improved small sub - domain filtering method which raises calculation speed and alleviates the distortions of abnormal boundaries by improving partition mode. We conducted a model experiment to verify the feasibility of this method. The Model experiment shows that geological boundaries can be better reflected by gravity anomaly data after reusing the improved small sub - domain filtering method several times, and the distortions of abnormal boundaries are well alleviated. We reused this method to process gravity anomaly data of Hulin Basin several times. Then we got the map of Hulin Basin faults distribution by the result, and a distribution of 25 faults was obtained. The result matches well with existing geological data.

Key words: small sub - domain filtering method; partition mode; multiple iterations; Hulin Basin

重力异常是地下物质密度不均匀分布的综合反映,在勘探领域具有重要意义,已经成为研究地下断裂的基础性资料^[1]。为了了解深度较大地层处的地质构造,需要对已知的重力异常数据进行

低通滤波处理。传统的低通滤波方法在滤除高频噪声的同时,也会不可避免地模糊掉区域异常之间的界限。为了弥补这一不足,杨高印^[2]基于滑动平均法原理^[3]提出了一种新的低通滤波方

收稿日期:2015-09-16

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2014B04914);教育部博士点新教师基金资助项目(20110094120002)
作者简介:蔡钟(1989-),男,江苏南通人,硕士,从事地球物理勘探方面的研究。

法——小子域滤波法,该方法在进行低通滤波的同时,可以在一定程度上增强区域异常间的界限特征,提高区域异常界限的辨识度;之后,张凤旭等^[4]采用平面“三方向小子域滤波法”进行断裂构造的识别,有效提高了断裂识别的精度;肖峰等^[5]在传统小子域滤波法的基础上提出了新的子域划分方法,使得区域异常间界限的增强效果更好;马涛、马国庆等^[6-7]在改变子域划分方式的同时,改进了小子域滤波法的判定准则,使计算结果更加合理。然而大部分研究都集中于异常边界的增强效果,边界失真情况对整个图像的可读性同样至关重要,目前针对边界失真现象的研究较少。本文在前人研究的基础上提出一种新的小子域剖分方法,与传统的小子域滤波法相比,新方法计算速度更快,在突出区域异常效果的同时,可以减少异常边界的失真。

1 方法原理

传统的小子域滤波法将窗口分解成位于中心点不同侧面的8个子域,以 5×5 的窗口为例,如图1(a)所示(黑色部分)。滤波时,首先计算各个子域内异常值的均方差,以均方差作为平缓系数,取平缓系数最小子域内的异常平均值作为滤波输出,赋予窗口中心点。本文提出的方法与传统的小子域滤波法相比,不同之处在于子域的剖分方式,本文提出的方法将窗口分解成10个子域,同样以 5×5 的窗口为例,如图1(b)所示(黑色部

分)。本文提出的子域剖分方式中每个子域只包含7个数据点,而传统子域剖分方式包含15个数据点,子域的数据点更少可以保证计算速度更快,而且在更小范围内对重力异常进行处理,可以减小异常边界的失真,使异常梯级带更加收敛,地质体边界更加清晰。

2 模型试验

为了验证新方法的边界增强效果,建立如下模型:三个平行的立方体,自西向东,顶部埋深分别是0.1 km(1号立方体),0.6 km(2号立方体)和1.1 km(3号立方体),中心分别位于5、10、15 km处,立方体的边长均为2.0 km。

模型的重力异常图(图2)中内部等值线近似为圆形或正方形,外部等值线近似为一些长轴在x方向上的椭圆,包裹着内部等值线, V_z 的最大值出现在左起第一个立方体边界内部,而最小值出现在所有立方体边界的外部。总体上呈高低相间分布,图中三个白色正方形是三个不同埋深的立方体边界在水平面的投影。每个立方体的中心在地表面的投影位置与 V_z 的极大值相对应,而立方体的边界处则呈密集等值线(梯度带)形态展布,但密集程度较低,表明未经过处理的重力异常数据 V_z 虽然能反映地质体的边界,但效果并不明显。此外,因三个立方体的埋深不同,极值的绝对值大小随立方体埋深的增大逐渐减小,致使埋深较大的立方体边界在重力异常图中无明显反映。

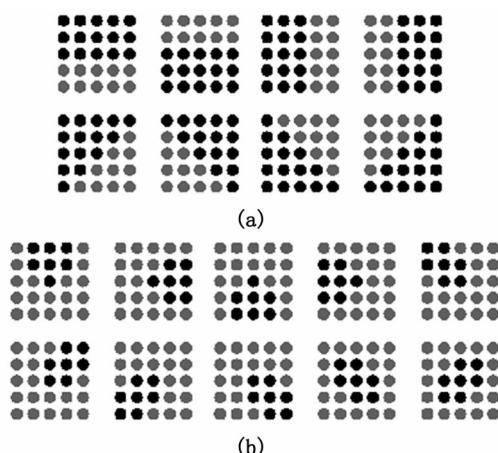


图1 两种不同的小子域滤波法剖分示意图

Fig. 1 The sketch maps of two different small sub-domain filtering methods

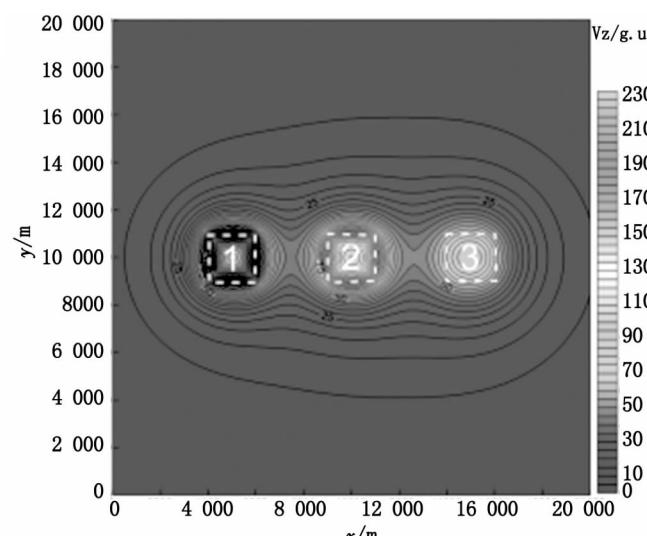


图2 模型的重力异常图

Fig. 2 The gravity anomalies of the model

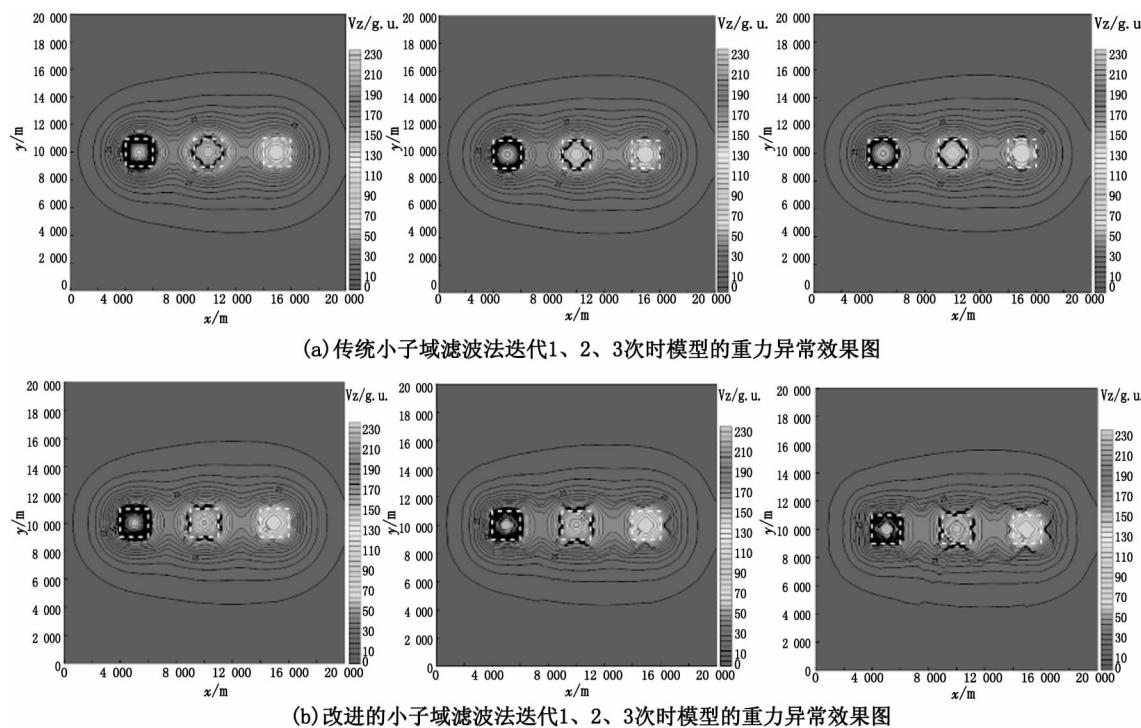


图3 利用不同的小子域滤波法迭代不同次数的重力异常效果图

Fig. 3 The results of different small sub-domain filtering methods for gravity anomaly data of the model

图3(a)分别代表利用传统的小子域滤波法迭代1次、2次以及3次时模型的重力异常效果图。各图中外部等值线近似为一些长轴在x方向上的椭圆,包裹着内部等值线,等值线有些部分会出现波折,处理后的Vz最大值出现在左起第一个立方体边界内部,而最小值出现在所有立方体边界的外部。总体上呈高低相间分布,图中三个白色正方形是三个不同埋深的立方体边界在水平面的投影。每个立方体的中心在地表面的投影位置与处理后的Vz极大值相对应,而立方体的边界处则呈密集等值线(梯度带)形态展布,随着正方体埋深的增大,立方体中心处对应的极值减小,边界处的等值线密集程度也减小。这些特点与图2类似,不同之处在于立方体边界处的等值线相比于图3更加密集,随着迭代次数的增加,等值线的密集程度也增加。与此同时,密集等值线相对于立方体边界的失真程度也会随着迭代次数和立方体埋深的增加而增大。各图中1号立方体边界周围的密集等值线随着迭代次数的增加逐渐由正方形变为圆形,2号立方体边界周围的密集等值线随着迭代次数的增加逐渐由十字形变为圆形,3号立方体在迭代3次后(图3(a)等3幅图),边界周围的等值线密集程度并不高,呈现为十字形。

图3(b)分别代表利用改进的小子域滤波法迭代1次、2次以及3次时模型的重力异常效果

图。各图中等值线的特点与图3(a)类似,而且立方体边界处的等值线密集程度也会随着迭代次数的增加而增加,两者的主要区别在于梯度带的变形程度。1号立方体周围的等值线随着迭代次数的增加虽然存在少量变形,但始终保持正方形的边界特征。在同样迭代次数的条件下,2号立方体周围的等值线的变形程度大于1号立方体,但也基本保持正方形的边界特征。经过3次迭代后(图3(b)等3幅图),3号立方体周围的等值线密集程度仍然较低,而且与1号、2号立方体周围的等值线相比,变形较大。

根据图3的对比结果,可以发现小子域滤波法虽然能使异常梯级带更加收敛,但也会让异常边界严重失真,随着迭代次数的增加,失真程度也会增大。而改进的小子域滤波法控制异常边界失真的效果要好于传统的小子域滤波法,经过多次迭代后也能较好地保持异常边界的原有特征,两者结合可以更好地提取地质体边界。但是对于深度较大的重力异常边界,需要增加迭代次数才能得到比较明显的梯度带,同时需要注意变形问题。

3 应用实例

为了验证改进的小子域滤波法的实际应用效果,选择虎林盆地重力异常数据进行处理。虎林盆地位于黑龙江省东部,东部靠近俄罗斯锡霍特

山脉,南部接近兴凯湖,西部与密山、宝清一带相邻,北面为完达山,面积约为 $6\ 500\ km^2$ 。图4为虎林盆地的重力异常数据的等值线图,从图中发现,在盆地的东北部和南部地区存在局部等值线密集的情况,这是存在地下断裂的反映,但这些等值线的密集程度并不高,不能以此为依据来判断地下断裂的具体位置以及长度。

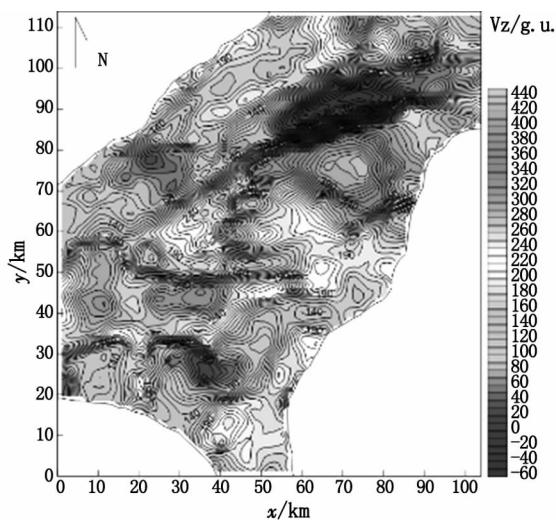


图4 虎林盆地重力异常图

Fig. 4 The gravity anomalies of Hulin Basin

从图5中可以看出,迭代5次后,密集等值线处变得更加清晰,并且密集等值线没有随着迭代次数的增加产生较大变形。根据图5(b)描

绘出虎林盆地断裂分布图(图6(a)),得到了虎林盆地25条断裂的分布情况。图6(b)是高丽坤、蒋甫玉^[8]基于虎林盆地重力梯度张量图给出的虎林盆地断裂分布图,图中共有断裂21条。两图对比可以发现,图6(a)中的F1~F5与图6(b)中的f1~f5两两对应,分别代表了虎林盆地5条深大断裂,这5条断裂在图5和图6中的位置、走向以及长度基本一致。剩余的断裂大多为盆地内部二级构造单元间的分界线,这些断裂在两幅图中的分布也具有很高的相似性。图6(a)中的F6与图6(b)中的f21对应,图6(a)中的F7与图6(b)中的f20对应,图6(a)中的F11是图6(b)中的f7和f10的联合,图6(a)中的F13和F15与图6(b)中的f13对应,图6(a)中的F16与图6(b)中的f14对应,图6(a)中的F19是图6(b)中的f15和f17的联合,图6(a)中的F24、F25分别和图6(b)中的f9、f8对应。这些对应的断裂在两幅图中的位置、走向以及长度稍有差别,但偏差不大。由于两图都是推断图,因此两图间也存在一些偏差较大的断裂,甚至一些断裂只出现在了其中一幅图中,例如:图6(a)中F8、F9、F12、F17、F20是图6(b)中不存在的,是本文新发现的断裂;而图6(b)中的f6、f11是图6(a)中不存在的断裂。

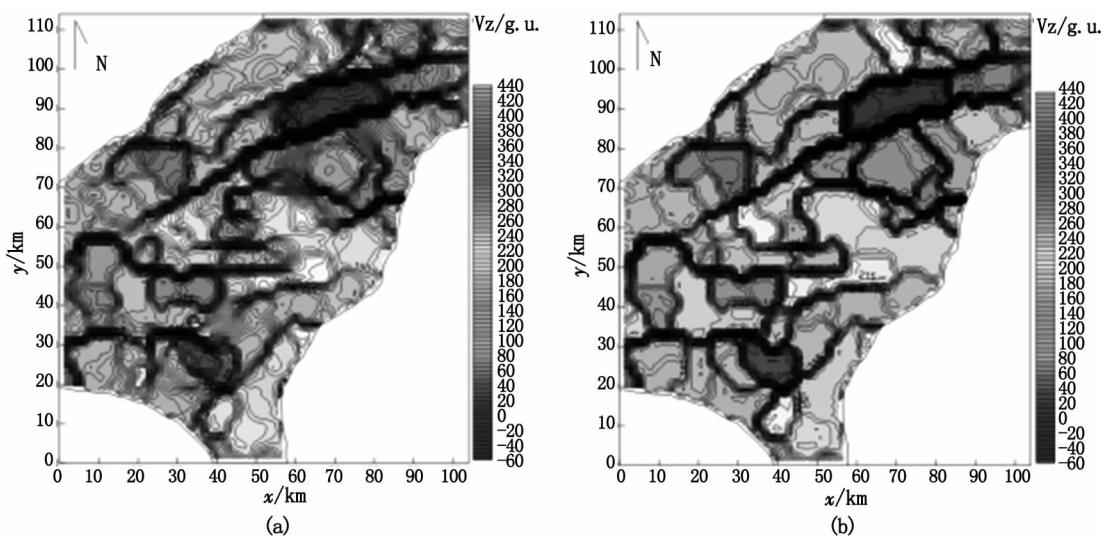


图5 利用改进的小子域滤波法迭代不同次数的虎林盆地重力异常效果图

Fig. 5 The enhanced gravity anomalies of Hulin Basin by improved small-domain filtering

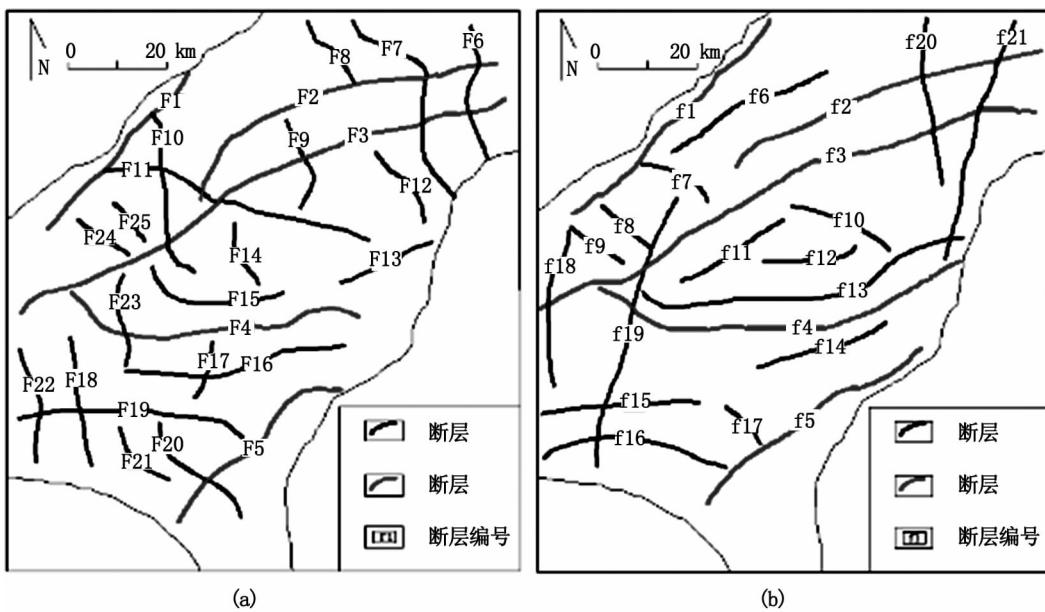


图6 虎林盆地断裂分布图

Fig. 6 The maps of Hulin Basin faults distribution

4 结论

1)本文改进了小子域滤波法的子域剖分方式,将子域包含的数据点由原来的15个减少为7个,提升了计算速度,而且在更小范围内处理重力异常限制了异常边界的失真,使异常梯级带更加收敛,地质体边界更加清晰。

2) 模型实验的计算结果表明,改进的小子域滤波法与传统的小子域滤波法相比,在控制重力异常边界变形方面具有较大的优势,结合多次迭代的方法,可以在控制异常边界失真的前提下,较好地提取地质体边界。但是对于埋深较大的重力异常边界,需要增加迭代次数才能得到比较明显的梯度带,同时需要注意变形问题。

3) 利用改进的小子域滤波法对虎林盆地的重力异常数据进行处理, 编制了虎林盆地断裂分布图, 与前人给出的虎林盆地断裂分布图存在很好的对应关系, 同时发现了 5 条新断裂, 对于编写地质资料具有参考意义。

参考文献：

- [1]肖 锋,吴燕冈,孟令顺.重力异常图中的边界增强和提取技

- 术[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(4): 1197–1203.

[2] 杨高印. 位场数据处理的一项新技术—小子域滤波法[J]. 石油地球物理勘探, 1995, 30(2): 240–244.

[3] 裴益轩, 郭民. 滑动平均法的基本原理及应用[J]. 火炮发射与控制学报, 2001(1): 21–23.

[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[J]. 地球物理学报, 2007, 50(5): 1543–1550.

[5] 肖锋, 吴燕冈, 孟令顺. 位场数据处理中小子域滤波的改进[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(1): 136–139.

[6] 马涛, 王铁成, 王雨. 一种改进的网格数据保持梯度滤波方法[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(2): 198–201.

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

[8] 高丽坤, 蒋甫玉, 黄麟云. 利用重力梯度张量研究黑龙江省虎林盆地的断裂构造[J]. 高校地质学报, 2011, 17(2): 281–286.

(责任编辑 王利君)